Publikationen des Umweltbundesamtes

Verschärfung der Lärmgrenzwerte von zivilen Strahlflugzeugen unter besonderer Berücksichtigung des Zusammenhangs zwischen den Lärm- und Schadstoffemissionen von Strahltriebwerken

Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes
FuE-Vorhaben
Förderkennzeichen 202 54 131

August 2006

Henning Arps
Andreas Hermann
Dr. Wiebke Zimmer
Dr. Walter Krebs
Dr. Stefan Donnerhack
Fritz Kennepohl
Hartmut Kuhfeld

Umwelt Bundes Amt
Für Mensch und Umwelt

Verschärfung der Lärmgrenzwerte von zivilen Strahlflugzeugen unter besonderer Berücksichtigung des Zusammenhangs zwischen den Lärm- und Schadstoffemissionen von Strahltriebwerken (FKZ 202 54 131)

- Endbericht -

Darmstadt, August 2006

Autoren:

Henning Arps, Büro Darmstadt
Andreas Hermann LL.M, Büro Darmstadt
Dr. Wiebke Zimmer, Büro Berlin

Dr. Walter Krebs (Empa)
Dr. Stefan Donnerhack (MTU Aero Engines)
Fritz Kennepohl (MTU Aero Engines)

sowie unter Mitarbeit von
Hartmut Kuhfeld (DIW)

Öko-Institut e.V.
Geschäftsstelle Freiburg
Postfach 50 02 40
D-79028 Freiburg
Tel.: +49-(0)761-452950
Fax: +49-(0)761-475437

Büro Berlin
Novalisstraße 10
D-10115 Berlin
Tel.: (030) 280 486-80
Fax: (030) 280 486-88

Büro Darmstadt
Rheinstraße 95
D-64295 Darmstadt
Tel.: (06151) 8191-0
Fax: (06151) 8191-33

www.oeko.de

www.oeko.de

Berichts-Kennblatt

1.	Berichtsnummer	2.	3.
4.	Titel des Berichts Verschärfung der Lärmgrenzwerte von zivilen Strahlflugzeugen unter besonderer Berücksichtigung des Zusammenhangs zwischen den Lärm- und Schadstoffemissionen von Strahltriebwerken		
5.	Autor(en), Name(n), Vorname(n) Arps, Henning; Hermann, Andreas; Zimmer, Wiebke Krebs, Walter (Empa); Donnerhack, Stefan; Kennepohl, Fritz (MTU Aero Engines); Kuhfeld, Hartmut (DIW)	8.	Abschlussdatum im August 2006
		9.	Veröffentlichungsdatum
6.	Durchführende Institution (Name, Anschrift) Öko-Institut e.V. Rheinstrasse 95 64295 Darmstadt	10.	UFOPLAN-Nr. 202 54 131
		11.	Seitenzahl 191
7.	Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Postfach 1406 06831 Dessau	12.	Literaturangaben 127
		13.	Tabellen und Diagramme 31
		14.	Abbildungen 38
15.	Zusätzliche Angaben Anhang enthält zusätzlich 119 Seiten (S. 179 ff.) mit Teilen A bis AC		
16.	Kurzfassung Die Belastung durch Fluglärm im direkten Umfeld von Flugplätzen ist ein schwerwiegendes Umweltproblem. Im Rahmen dieser Studie wird geprüft, inwiefern eine Verschärfung der Zulassungsgrenzwerte für Strahlflugzeuge ein wirkungsvolles Instrument des aktiven Schallschutzes darstellen kann. Alle neuen Luftfahrzeuge müssen die Kriterien des ICAO *Annex 16* für Lärmgrenzwerte erfüllen, um für den Betrieb zugelassen zu werden. Auf Basis der Darstellung dieses Regelwerks zur Lärmzertifizierung, der aktuellen Geräuschemissionen an Verkehrsflughäfen sowie einem Überblick zur Lärmminderungstechnologie sind Szenarien zur zukünftigen Entwicklung der Immissionssituation an idealisierten Flughäfen ausgestaltet worden. Hierzu sind u. a. Annahmen zur Grenzwertverschärfung getroffen worden, die das technische Lärmminderungspotenzial berücksichtigen. Die Bewertung der Szenarien erfolgte über Lärmberechnungen mit Flula2, einer Abschätzung der ökonomischen Effekte sowie einer umfassenden rechtlichen Prüfung. In den abschließenden Empfehlungen werden neben allgemeinen Schlussfolgerungen auch Konsequenzen aus den Szenariountersuchungen, die nennenswerte Lärmminderungspotenziale aufzeigen, gezogen. Ergänzend werden die Trade-off Effekte zwischen Lärm- und Schadstoffemissionen näher untersucht und hierzu mögliche zukünftige Triebwerkstechnologien beschrieben, die einen erfolgreichen Weg zur Minimierung der Emissionen ermöglichen können.		
17.	Schlagwörter Lärmschutz, Lärmminderung, Lärmgrenzwerte, Strahlflugzeuge, Trade-off Effekt, aktiver Schallschutz, Lärmzertifizierung, Grenzwertverschärfung, Lärmminderungstechnologie, Geräuschemission, ökonomische Effekte, rechtliche Rahmenbedingungen		
18.	Preis	19.	20.

Inhaltsverzeichnis

Berichts-Kennblatt I

Inhaltsverzeichnis II

Abbildungsverzeichnis VI

Tabellenverzeichnis VIII

Abkürzungsverzeichnis X

1 Einleitung 1

1.1 Hintergrund und Problemdarstellung 1

1.2 Aufgabenstellung und Zielsetzung 2

1.3 Gliederung und Vorgehensweise 4

2 Darstellung der Lärmzertifizierung nach *Annex 16* 6

2.1 Aufgabenstellung 6

2.2 Einleitung und Hintergrund 6

2.3 Rechtliche Einordnung bestehender Regelwerke 8

2.3.1 Die internationale Ebene (ICAO) 8

2.3.2 Europarechtliche Ebene 14

2.3.3 Nationale Ebene 19

2.3.4 Zwischenfazit 23

2.3.5 An die Lärmzertifizierung anknüpfende Rechtsvorschriften 25

2.4 Konsequenzen der Rechtsvorschriften für Maßnahmenvorschläge zur Bekämpfung von Lärmproblemen 38

2.4.1 Kurzfristige Maßnahmenvorschläge 38

2.4.2 Mittel- und langfristige Maßnahmenvorschläge 40

2.5 Methodik (Messverfahren) 43

2.6 Bewertung des Regelwerks nach *Annex 16* 51

2.7 Lärmschutzregelungen an internationalen Flughäfen 59

2.8 Schlussfolgerungen 63

3 Überblick Geräuschemissionen 66

3.1 Aufgabenstellung 66

3.2 Methode 66

3.2.1 Allgemeines 66

3.2.2 Auswahl der Flughäfen 66

3.2.3 Unterscheidbare Flugzeugtypen 67

3.2.4 Bewegungszahlen ... 68
3.2.5 Kenngrößen ... 68
3.3 Ergebnisse ... 69
3.3.1 Schallanteil pro Flugzeugtyp ... 69
3.3.2 Vergleich der Schallanteile ... 71
3.3.3 Schallanteil der lauten Flugzeugtypen ... 73
3.4 Erweiterte Analysen ... 74
3.4.1 Schallpegel pro Sitzplatz ... 74
3.4.2 Zertifizierungsdaten ... 76
3.5 Beurteilung ... 82
4 Stand und zukünftige Entwicklung der Lärmminderungstechnologie sowie Bewertung möglicher Trade-off Effekte ... 84
4.1 Aufgabenstellung ... 84
4.2 Hauptlärmquellen der Flugzeugzelle ... 84
4.3 Hauptlärmquellen des Triebwerks ... 86
4.4 Einfluss der Gondel und der Triebwerksinstallation ... 86
4.5 Statusbeschreibung Flugzeug- und Triebwerkslärm ... 86
4.6 Zielsetzungen der “ACARE Vision 2020“ ... 88
4.7 Darstellung wichtiger Lärm-Technologieprogramme und Konfigurationsstudien ... 90
4.7.1 Studien zu lärmarmen Flugzeugkonfigurationen ... 91
4.7.2 Studien zu Lärmtechnologien am Flugzeug ... 92
4.7.3 Studien zu lärmarmen Triebwerkskonfigurationen und Technologien ... 93
4.7.4 Studien zu Lärmtechnologien an Triebwerk und Gondel ... 95
4.7.5 Themenübergreifende Studien ... 98
4.7.6 Roadmap zu Fluglärmzielen ... 102
4.8 Trade-off Effekte zwischen Lärm- und Schadstoffemissionen ... 103
4.8.1 Übersicht zu Stoßrichtungen bei Schadstoff- und Lärmemissionen ... 104
4.8.2 Trade-Bewertungen an den Beispielen GTF und IRA ... 107
4.9 Fazit und Schlussfolgerungen ... 110
5 Ausgestaltung der Szenarien ... 111
5.1 Vorgehensweise ... 111
5.2 Grundannahmen zu den idealisierten Flughäfen ... 112
5.2.1 Eckdaten ... 113
5.2.2 Verkehrsprognose ... 113

5.2.3 Zukünftiger Flottenmix 116
5.2.4 Vorgehensweise zur Ermittlung der zukünftigen Flottenmixe 123
5.2.5 Flugspuren (An- und Abflugrouten) 126
5.3 Konkrete Ausgestaltung der Szenarien 128
5.3.1 Kurzfristiger Zeithorizont 130
5.3.2 Mittel- bis langfristiger Zeithorizont 130
5.3.3 Flugbewegungen für idealisierte Flughäfen 133
5.4 Rechtliche Prüfung und Bewertung 134
5.4.1 Verschärfung der Lärmgrenzwerte zur Zulassung von Flugzeugen auf der ICAO-Ebene 134
5.4.2 Verschärfung der Lärmgrenzwerte zur Zulassung von Flugzeugen in der EU oder nur in Deutschland 135
6 Darstellung und Bewertung der Ergebnisse für die Szenariountersuchungen 137
6.1 Berechnungsmethode 137
6.1.1 Allgemeines 137
6.1.2 Definition der Flugbahnen 137
6.1.3 Akustische Quellendaten 138
6.1.4 Berechnungen mit Flula2 139
6.2 Auswertung 140
6.2.1 Methode 140
6.2.2 Ergebnisse 142
6.2.3 Beurteilung 146
6.3 Fazit 149
6.4 Exkurs: Abschätzung der ökonomischen Effekte 150
6.4.1 Ökonomische Bedeutung des Luftverkehrs 150
6.4.2 Folgen für die Luftverkehrsgesellschaften 152
6.4.3 Ökonomische Folgen für die Flughafenbetreiber 153
6.4.4 Gesamtwirtschaftliche Auswirkungen 153
6.4.5 Fazit 154
7 Zusammenfassung und Empfehlungen 155
7.1 Allgemeine Schlussfolgerungen 155
7.2 Schlussfolgerungen zum Trade-off Effekt 159
7.3 Konsequenzen aus der Szenariountersuchung 160
7.3.1 Analyse des zukünftigen Flottenmixes 161
7.3.2 Abschließende Empfehlungen und Ausblick 164

8 Quellen 168

9 Anhang 177

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Projektdesign UBA F&E-Vorhaben *Verschärfung der Lärmgrenzwerte* ... 3
Abbildung 2 Überblick über die Struktur der ICAO bei der Bearbeitung von Umweltaspekten ... 9
Abbildung 3 Überblick über die anzuwendenden Regelwerke für die Musterzulassung und die Lärmschutzanforderungen ... 24
Abbildung 4 Messstandorte zur Lärmzertifizierung nach ICAO *Annex 16* ... 47
Abbildung 5 Grafische Darstellung der Lärmgrenzwerte nach ICAO *Annex 16* für *Chapter* 3 Flugzeuge ... 50
Abbildung 6 Darstellung Anzahl der Lärmschutzregelungen an internationalen Flughäfen seit 1970 ... 60
Abbildung 7 Darstellung der kumulativen Lärmzertifizierungswerte in EPNdB für die *Airbus Family* ... 64
Abbildung 8 Prozentualer Anteil der Schallenergie der 10 schallintensivsten Flugzeugtypen, geordnet nach abnehmendem Schallanteil beim Start bzw. bei der Landung. Zum Vergleich sind zusätzlich die prozentualen Bewegungszahlen angegeben. ... 70
Abbildung 9 Vergleich der Schallanteile der 10 schallintensivsten Flugzeugtypen auf verschiedenen Flughäfen für Starts (a) und Landungen (b) ... 72
Abbildung 10 Kumulativer Schallanteil der Flugbewegungen der nach abnehmender Quellenstärke geordneten Flugzeuge auf verschiedenen Flughäfen für Starts (a) und Landungen (b) ... 73
Abbildung 11 Schallpegel L_{Sitz} gem. Gl. 5 beim Start für verschiedene Flugzeugkategorien ... 75
Abbildung 12 Summe der Differenzen an den drei für die Zertifizierung maßgebenden Messpunkten zwischen Zertifizierungswert und Grenzwert nach ICAO *Chapter* 3. ... 77
Abbildung 13 Vergleich der in EPNdB ausgewiesenen Zertifizierungswerte für die Messpunkte "*Take-off*" und "*Lateral*" mit den aus den Empa-Quellendaten resultierenden, auf 305 m normierten A-bewerteten Ereignispegeln L_{AE} ... 79
Abbildung 14 Zertifizierungspegel für Airbus A320 mit unterschiedlichen Triebwerkskonfigurationen in Abhängigkeit von der Abflugmasse an den drei Messpunkten "*Take-off*", "*Lateral*" und "*Approach*" ... 81
Abbildung 15 Hauptlärmquellen der Flugzeugzelle ... 85
Abbildung 16 Hauptlärmquellen eines Turbofantriebwerks ... 85
Abbildung 17 Beiträge der Triebwerk-Lärmquellen ... 87
Abbildung 18 Einfluss vom Nebenstromverhältnis auf den Lärmpegel bei T/O ... 88
Abbildung 19 Große Fortschritte bei der Lärmreduktion ... 89

Abbildung 20 Zusammenfassung der Ziele von *ACARE Vision 2020* 90
Abbildung 21 In K2020 vorgeschlagene lärmarme Flugzeugkonfigurationen 91
Abbildung 22 Modullärm im Vergleich von konventionellem Turbofan (TF, BPR = 5) mit Getriebefan (GTF, BPR = 12) 94
Abbildung 23 EU-Plattform SILENCE(R)..... 100
Abbildung 24 SILENCE(R)-Bewertung der Lärmminderungstechnologien 101
Abbildung 25 SILENCE(R)-Lärmminderungstechnologien für Triebwerk und Gondel 101
Abbildung 26 Roadmap der Triebwerks- und Zellenbeiträge zur Fluglärmreduktion bis 2020 102
Abbildung 27 Übersicht Getriebefan-Konfiguration (GTF)..... 108
Abbildung 28 Übersicht *Intercooled Recuperative Aero-Engine* (IRA) 109
Abbildung 29 Vorgehensweise Ausgestaltung Szenarien 112
Abbildung 30 Idealisierte An- und Abflugspuren Flughafen *Typ A* mit Hauptabflugrichtungen 126
Abbildung 31 55 dB-Konturlinie Leq(24h), Flughafen Typ A, Szenarien: Referenz 1 (schwarz), Szenario 1 (blau) und Szenario 2 (rot) 142
Abbildung 32 55 dB-Konturlinie Leq(24h), Flughafen Typ A, Szenarien: Referenz 2 (schwarz), Szenario 3 (blau) und Szenario 4 (rot) 142
Abbildung 33 Flughafen Typ A, Pegeldifferenz dLeq(24) Szenario 1 minus Referenz 1 143
Abbildung 34 Flughafen Typ A, Pegeldifferenz dLeq(24) Szenario 2 minus Referenz 1 143
Abbildung 35 Mittlere Reduktion der von der Fluglärmimmission betroffenen Flächen der Flughäfen Typ A, B und C bezüglich der betreffenden Referenzszenarien 145
Abbildung 36 Mittlere Pegelreduktion auf den untersuchten Flughäfen A, B und C 146
Abbildung 37 Zusammenhang zwischen Lärmreduktion und Einfluss auf die Ausgaben 158
Abbildung 38 Anzahl der Flugbewegungen pro Flugzeugtyp für die langfristigen Szenarien am Flughafen Typ C 163

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	*Chapter*-Stufen nach ICAO *Annex 16* für Strahlflugzeuge	7
Tabelle 2	Berechnungsschritte zur Ermittlung des EPNL nach *Annex 16*	48
Tabelle 3	Lärmgrenzwerte Unterschall-Strahlflugzeuge *Chapter* 3 nach *Annex 16*	49
Tabelle 4	Grenzwertüberschreitungen *Lärmliste 1* Strahlflugzeuge für *Chapter* 3	53
Tabelle 5	Vergleich Pegelangaben in EPNdB und Spitzenpegel nach FAA	56
Tabelle 6	Vergleich der Angaben zu Zertifizierungsmessungen in Lärmlisten für Strahlflugzeuge für ausgewählte Flugzeugtypen	58
Tabelle 7	Vergleich der Messwerte für Lärmzertifizierungsmessungen ausgewählter Boeing- und Airbus Flugzeugtypen	59
Tabelle 8	Einstufung des Quota-Count System sowie beispielhafte Flugzeugtypen	61
Tabelle 9	Übersicht Flughäfen	67
Tabelle 10	Eckdaten idealisierte Flughäfen Typ A, B und C	113
Tabelle 11	Anzahl der Flugbewegungen für die drei Flughäfen Typ A bis C	116
Tabelle 12	Verteilung der Flugbewegungen (nur Landungen) je GC-Stufe am Flughafen *Typ A*	123
Tabelle 13	Verteilung der Flugbewegungen (nur Landungen) je GC-Stufe am Flughafen Typ B	124
Tabelle 14	Verteilung der Flugbewegungen (nur Landungen) je GC-Stufe am Flughafen *Typ C*	124
Tabelle 15	Verteilung der Flugbewegungen (nur Landungen) je RC 2-Typ am Flughafen *Typ A*	125
Tabelle 16	Bahnbelegung Flughafen *Typ A* (Szenarien)	127
Tabelle 17	Übersicht Flugspuren Flughafen *Typ A*	127
Tabelle 18	Bahnbelegung Flughafen *Typ B* (Szenarien)	127
Tabelle 19	Bahnbelegung Flughafen *Typ C* (Szenarien)	128
Tabelle 20	Übersicht Ausgestaltung der Szenarien	128
Tabelle 21	Einordnung der RC 2-Typen (Strahlflugzeuge) nach Zweck-Klassen 1 bis 6	130
Tabelle 22	Ausgestaltung der Szenarien für 2012 und 2020 im Überblick	132
Tabelle 23	Übersicht der Anlagen zur Routenbelegung an den drei Flughafentypen A bis C	134
Tabelle 24	Abgeleitete Quellendaten für neue Flugzeugtypen	139
Tabelle 25	Übersicht Berechnungen mit Flula2	139
Tabelle 26	Durch Lärmkonturen der Belastungsniveaus 55 dB, 60 dB und 65 dB umschlossene Flächen für verschiedene Szenarien (Angaben in Quadratkilometer)	144

Tabelle 27 Differenz zwischen den zu einzelnen Szenarien gehörenden Flächen für verschiedene Belastungsniveaus 144
Tabelle 28 Statistische Kennzahlen der an den einzelnen Gitterpunkten ermittelten Pegeldifferenzen verschiedener Szenarien 145
Tabelle 29 Übersicht Effekte der Szenariountersuchung für die drei Flughafentypen 161
Tabelle 30 Übersicht Anzahl und Anteil der Flugbewegungen mit „*Chapter 5*“ Flugzeugen 162
Tabelle 31 Schallenergieanteile der fünf lärmintensivsten Flugzeugtypen am Flughafen Typ A 164

Abkürzungsverzeichnis

Abk.	Erläuterung
%E_A	prozentualer Anteil der Schallenergie, Landung
%E_D	prozentualer Anteil der Schallenergie, Start
°C	Grad Celsius
ACARE	Advisory council of aeronautical research in Europe
ADP	Advanced ducted propfan: Triebwerk mit sehr hohem BPR (UHBR)
ANTLE	Affordable near term low emission engine
APU	Auxiliary power unit: Hilfsgasturbine
Art.	Artikel
ATFI	Advanced turbofan integrator, PWC Demoprogramm für GTF
AzB	Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen nach dem Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm (FluglärmG)
bar	Bar
BAZL	Bundesamt für Zivilluftfahrt
BGBl	Bundesgesetzblatt
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung
BPR	Bypass ratio = Nebenstromverhältnis
BZ	Brennstoffzelle
C	Tonkorrektur
CAEP	Committee on Aviation Environmental Protection
CLEAN	Component validator for environmental friendly aero-engine
CO_2	Kohlendioxid
CS	Certification Specification
D	Zeitkorrektur
DAC	Double annular combustor: Brennkammer für low-NO_x Emissionen
dB	Dezibel; logarithmisches Maß zur Beschreibung von Geräuschpegeln
DES	Datenerfassungssystem für AzB
DFS	DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Langen
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Abk.	Erläuterung
DOC	Direct operating cost: direkte Flugzeug-Betriebskosten
E_A	mit Bewegungszahl gewichtete Schallenergie, Landung
E_D	mit Bewegungszahl gewichtete Schallenergie, Start
EASA	European Aviation Safety Agency
ESRA	Eurocontrol Statistical Reference Area
ECAC	European Civil Aviation Conference
EG	Europäische Gemeinschaft
EMPA	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
EPNdB	Effective Perceived Noise in dB, Einzelereignispegel
EPNL	Effective Perceived Noise Level
ETM	Environmental Technical Manual
EU	Europäische Union
F&E	Forschung und Entwicklung
FAA	Federal Aviation Administration
Flula	Flug-Laermprogramm der EMPA
FMS	Flight Management System
GC	Generic-Class
GE	General Electric
GTF	Geared Turbofan: Getriebefan Triebwerk
HDT	Hochdruckturbine
HDV	Hochdruckverdichter
Hz	Hertz
i. V. m.	in Verbindung mit
ICAO	International Civil Aviation Organization, Montreal
IFR	Instrument Flight Rules (Instrumentenflugregeln)
INM	Integrated Noise Model
IRA	Intercooled Recuperative Aero-engine, Wärmetauschertriebwerk
ISO	International Organization for Standardization
kPa	Kilo-Pascal
L_a	Anflug-Lärmmesspunkt nach ICAO *Annex 16*
L_{AE}	Ereignispegel
L_{Amax}	Maximalwert des gemessenen Schalldruckpegels L_{AS} nach DIN 45 643
L_{AS}	A-bewerteter Schalldruckpegel mit Zeitkonstante "Slow" nach DIN 45 643
L_{AZ}	Einzelereignispegel nach DIN 45643-1

Abk.	Erläuterung
LBA	Luftfahrt-Bundesamt
L_{DEN}	Tag-Abend-Nacht-Lärmindex nach Umgebungslärmrichtlinie 2002/49/EG in Dezibel als A-bewerteter äquivalenter Dauerschallpegel gemäß ISO 1996-2
L_{EPN}	Effective Perceived Noise Level
L_{eq}	äquivalenter Dauerschallpegel
L_s	seitlicher Lärmmesspunkt nach ICAO *Annex 16*
L_{Sitz}	auf einzelnen Sitzplatz normierter Schallpegel
LSV	Lärmschutz-Verordnung
LTO	Lande-Start-Zyklus, relevant für NOx-Zertifizierung
$L_ü$	Startüberflug-Lärmmesspunkt nach ICAO *Annex 16*
LuFo	Luftfahrt-Forschungsprogramm
LuftGerPO	Prüfungsordnung für Luftfahrtgerät
LuftVG	Luftverkehrsgesetz (LuftVG) vom 1. August 1922 (RGBl. I S. 681)
LuftVZO	Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung
LVL	Lärmvorschrift für Luftfahrzeuge
m	Meter
MDT	Mitteldruckturbine
MDV	Mitteldruckverdichter
MTOM	Maximum-Take-Off-Mass (Maximale Abflug- bzw.Startmasse)
NDT	Niederdruckturbine
NDV	Niederdruckverdichter
NEWAC	geplantes integriertes Programm im 6.EU-Rahmenprogramm
NfL	Nachrichten für Luftfahrer
Ni	Anzahl Bewegungen des Typs i pro Jahr (Starts oder Landungen)
NOx	Summe der Stickoxid-Emissionen
N_S	typische Anzahl Sitzplätze
OPR	Overall pressure ratio: Gesamtdruckverhältnis
P 3	Performancegröße: Druck am Verdichteraustritt
PAX	Passagier
Pkm	Personenkilometer
PNL	Perceived Noise Level
PNLTM	Max. Tone Corrected Perceived Noise Level
QC	Quota Count
RC2	akustischer Referenztyp

Abk.	Erläuterung
RR	Rolls-Royce
S%E_A	kumulative Summe der prozentualen Schallenergie, Landung
S%E_D	kumulative Summe der prozentualen Schallenergie, Start
S-/L-Entgelt	Start- und Landeentgelt
SARPS	Standards and Recommended Practices
SPL	Sound Pressure Level (Schalldruckpegel)
T 3	Performancegröße: Temperatur am Verdichteraustritt
T 4	Performancegröße: Temperatur am Brennkammeraustritt
TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
TALON	PW low-NOx Brennkammerkonzept
TF	Turbofan : Triebwerk mit Nebenstrom
tkm	Tonnenkilometer
Trwk	Triebwerk
UBA	Umweltbundesamt
UHBR	Ultra high BPR-Triebwerk
U_{tip}	Fanblatt-Spitzengeschwindigkeit
V_{jet}	Strahlaustrittsgeschwindigkeit

1 Einleitung

Die Belastung durch Fluglärm im direkten Umfeld von Flugplätzen ist ein schwerwiegendes Umweltproblem. Trotz zum Teil sinkender Lärmpegel innerhalb der Messnetze der Flughafenbetreiber sowie des einzelnen Fluggeräts ist die Bevölkerung nach wie vor z. T. stark betroffen, dies ist vor allem dadurch bedingt, dass das Luftverkehrsaufkommen in den vergangenen Jahren kontinuierlich gewachsen ist und die zur Verfügung stehenden Verkehrsprognosen auch zukünftig von einer Steigerung der Anzahl der Flugbewegungen ausgehen. Aktuelle Umfrageergebnisse des UBA zu Erhebungen über die Lärmbelästigung zeigen, dass Fluglärm zunehmend von vielen als störend empfunden wird. Daraus wird seitens des Umweltbundesamts gefolgert, dass „eine deutliche Verschärfung der Lärmgrenzwerte für Strahlflugzeuge auf internationaler Ebene“ (UBA 2003) erforderlich ist. „Hierdurch sollen die Luftfahrzeug- und Triebwerkshersteller für die Konstruktion ihrer Luftfahrzeuge und Triebwerke frühzeitig anspruchsvolle Zielwerte erhalten“ (UBA 2003).

1.1 Hintergrund und Problemdarstellung

Die aktuell geltende Bestimmungen zur Ermittlung der Lärmpegel sowie der Lärmgrenzwerte für die der Zulassungspflicht unterliegenden Luftfahrzeuge fordern, dass „die technische Ausrüstung des Luftfahrzeugs so gestaltet ist, dass der durch seinen Betrieb entstehende Lärm das nach dem jeweiligen Stand der Technik unvermeidbare Maß nicht übersteigt“ (LVL 2004). Darüber hinaus geltende Bestimmungen bezüglich der Emissionsgrenzwerte gibt es derzeit nicht. Insofern ist zu problematisieren, ob und inwiefern dieses Regelwerk bereits Anreize zum Einsatz und Anschaffung lärmarmer Luftfahrzeuge bietet, und welche Chancen dieses Instrument darüber hinaus bieten kann, einen relevanten Beitrag zum aktiven Schallschutz zu leisten.

Die Lärmzertifizierung basiert auf den Vorgaben der ICAO und hat aus methodischer Sicht langfristig keine Änderungen erfahren, sondern es sind lediglich die geltenden Lärmgrenzwerte zum Oktober 1977 sowie erneut zum Januar 2006 verschärft worden. Damit haben die Regelungen zum *Chapter 3* Standard fast 30 Jahre Bestand gehabt und das endgültige Ausscheiden der *Chapter 2* Flugzeuge ist in Europa zum April 2002 mit einem ganztägigen Start- und Landeverbot erfolgt, also 25 Jahre nach Beginn der Gültigkeit der Musterzulassung von *Chapter 3* Strahlflugzeugen.

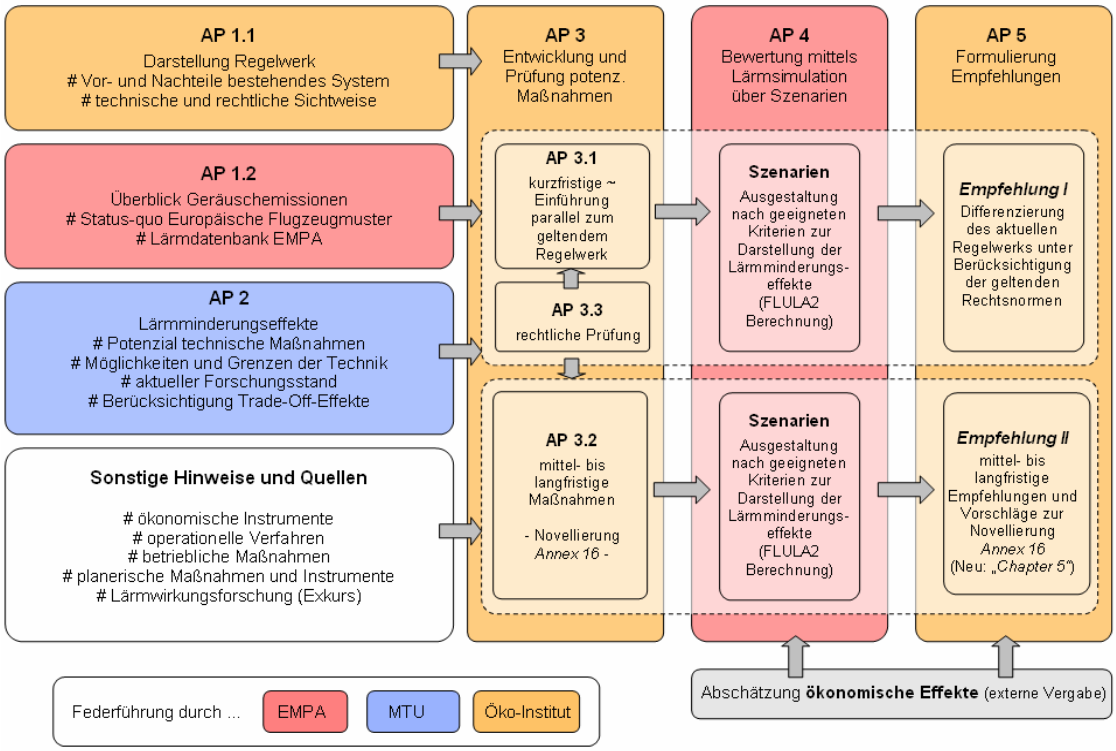
Aufgrund der internationalen Verflechtungen des Luftverkehrs ist von großen Interesse, ob eine Anreizwirkung nachweisbar ist, welche Effekte durch eine Setzung von Lärmgrenzwerten über die bisherigen Regeln hinaus zur Lärmminderung erzielt werden können, und welche Hemmnisse für eine strengere Regelauslegung bestehen. Tatsache ist, dass eine Vielzahl der heutzutage verkehrenden Flugzeuge die neu geltenden Lärmvorschriften des *Chapter* 4 bereits unterschreitet.

1.2 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Die Hauptaufgabe für die Bearbeitung des Gutachtens besteht darin, Vorschläge zur Fortentwicklung des Instruments Lärmzertifizierung zu entwickeln. Damit soll geprüft werden, inwiefern dieses Instrument einen Beitrag zur aktiven Lärmschutzpolitik beisteuern kann. Hierzu werden fundierte Vorschläge für neue Lärmgrenzwerte der zivilen Strahlflugzeuge zugrunde gelegt und aus der Bewertung der Ergebnisse werden weitergehende Empfehlungen abgeleitet. Die Zielgruppen der Ergebnisse sind einerseits die Luftfahrzeug- und Triebwerkshersteller, die für die Konstruktion der Luftfahrzeuge verantwortlich sind, aber andererseits auch die zuständigen Akteure an den einzelnen Flughäfen, die für eine erfolgreiche Umsetzung der Lärmschutzpolitik verantwortlich sind. Die mittel- bis langfristige Fortschreibung erfolgt für diese Studie unter der Annahme, dass im Rahmen einer erneuten Novellierung der Zertifizierungsregeln ein „*Chapter 5*“ Standard neu eingeführt wird, der sich an den zu erwartenden technischen Entwicklungen im Flugzeug- und Triebwerksbau orientiert.

Die Entwicklung der Szenarien basiert auf den Erkenntnissen zum Status-quo bezüglich der aktuell geltenden Zertifizierung, einem Überblick zu den Geräuschemissionen an europäischen Verkehrsflughäfen sowie dem Stand der Perspektiven zu Lärmminderungstechnologien. Zur Darstellung des aktuell geltenden Regelwerks werden das Messverfahren und die zugehörigen Bestimmungen beschrieben sowie eine rechtliche Einordnung der bestehenden Regelwerke in diesem Themenbereich gegeben. Das Ziel dieses Abschnitts besteht darin, die Vor- und Nachteile des bestehenden Regelwerks im *Annex 16* darzustellen und zu erläutern. Der Überblick zu den Geräuschemissionen an europäischen Verkehrsflughäfen zeigt beispielhaft an ausgewählten Flughäfen den aktuellen Stand der Emissionssituation, indem u. a. die schallintensivsten Flugzeugtypen identifiziert werden oder der Flugzeugmix zwischen den betrachteten Flughäfen verglichen wird. Zum Abschluss der Status-quo Analyse wird ein Überblick zum aktuellen Stand und der zukünftigen Entwicklung der Lärmminderungstechnik am Gesamtsystem Flugzeug gegeben, der auch den aktuellen Stand der Forschung berücksichtigt. Bestandteil dieses Abschnitts ist des Weiteren eine Betrachtung des Zielkonflikts zwischen gegenseitig konkurrierenden Designzielen bei der Entwicklung eines Flugtriebwerks (Trade-off Effekt). Im Fokus der Untersuchung steht dabei der Zielkonflikt zwischen den Lärm- und Abgasemissionen.

Abbildung 1 Projektdesign UBA F&E-Vorhaben *Verschärfung der Lärmgrenzwerte*



Aufbauend auf diesen Erkenntnissen sind insgesamt sechs Szenarien entwickelt und ausgestaltet worden, die einerseits unterschiedliche Zeithorizonte erfassen (kurz- und mittel- bis langfristig) sowie andererseits verschieden streng definierte Vorgaben enthalten. Damit wird der gesamte Spielraum der potenziell möglichen Entwicklungen abgebildet und in der anschließenden Auswertung betrachtet. Die wesentlichen Eckpunkte der Szenarien sind in einem gemeinsamen internen Workshop unter Beteiligung aller Projektpartner (inkl. Auftraggeber) erarbeitet worden. Zu diesem Zeitpunkt erfolgt weiterhin eine konkrete rechtliche Prüfung der Vorschläge, um deren Chancen zur Umsetzung zu prüfen. Für die Bewertung der Ergebnisse werden Auswirkungsbetrachtungen in Form von Fluglärmsimulationen durchgeführt, um anhand der Fluglärmkonturen für verschiedene Belastungsniveaus eine Beurteilung der Auswirkungen treffen zu können. Diese Bewertung wird durch die Betrachtung der potenziellen Kostenfolgen für die Airlines und die Flughafenbetreiber abgerundet, damit die Maßnahmenvorschläge auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht beurteilt werden.

1.3 Gliederung und Vorgehensweise

Das Gutachten ist in insgesamt neun Kapitel gegliedert. Die Analyse des Status-quo ist dreigeteilt und umfasst folgende Kapitel:

- Der aktuelle Stand des Regelwerks *Annex 16* sowie seine Umsetzung in deutsches und internationales Luftverkehrsrecht ist in **Kapitel 2** dargestellt, indem dazu die Messmethodik sowie die Grenzwerte von *Annex 16* ausführlich beschrieben werden. Daneben wird die rechtliche Einordnung in die internationalen, europäischen und nationalen Regelwerke vorgestellt (siehe Kapitel 2.3).
- Ein Überblick zu den Schallemissionen der gegenwärtig europaweit eingesetzten Luftfahrzeuge ist Gegenstand des **dritten Kapitels**. Hierzu erfolgt eine Gesamtschau zu den Geräuschemissionen an den europäischen Flughäfen. Dazu wird differenziert die Schallemissionssituation für einzeln ausgewählte Flughäfen und der dort verkehrenden Flugzeugtypen betrachtet. Zusätzlich wird u. a. eine erweiterte Analyse zu Schallpegelwerten pro Sitzplatz durchgeführt (siehe Kapitel 3.4). Für diese Analysen werden jeweils die Lärmdatenbank der Empa und aktuelle Bewegungsstatistiken der betrachteten Flughäfen ausgewertet.
- Die Darstellung der kurz- und langfristigen Perspektiven der Triebwerkslärmminderungstechnik sowie ein Überblick zu den Lärmminderungspotenzialen am Gesamtsystem Flugzeug erfolgt in **Kapitel 4**. Hierzu werden aktuelle Veröffentlichungen ausgewertet und zusammengefasst sowie die vorhandenen Kenntnisse des Triebwerksherstellers *MTU Aero Engine* für triebwerksrelevante Themen detailliert dargestellt. Zusätzlich wird der mögliche Trade-off Effekt von (sinkenden) Lärmemissionen und (steigenden) Schadstoffemissionen bewertet (siehe Kapitel 4.8).

Die Ausgestaltung der Szenarien, die im **Kapitel 5** dargestellt wird, erfolgt durch die Auswertung vorhandener Quellen (z. B. Luftverkehrsprognosen, Methode zur Ermittlung des Flottenmixes), die Anpassung an die hier gewählte Fragestellung durch ergänzende Modifikationen sowie zusätzlicher Annahmen, die im Projektkonsortium erarbeitet und abgestimmt wurden. Zusätzlich werden die Szenariovorschläge hinsichtlich ihrer rechtlichen Umsetzbarkeit anhand der maßgeblichen Regelwerke geprüft.

In **Kapitel 6** folgt die Darstellung und Bewertung der Ergebnisse, die auf der Erstellung von Fluglärmsimulationen mit dem *Fluglaermprogramm 2* (Flula2) der Empa beruhen. Zusätzlich sind u. a. weitere Auswertungen mittels statistischer Kennzahlen durchgeführt worden, die für eine abschließende Beurteilung herangezogen werden. Der inhaltliche Abschluss der Arbeiten folgt in **Kapitel 7** mit der Formulierung von

konkreten Empfehlungen zur Fortentwicklung der Lärmzertifizierung sowie einem Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf.

Das Gutachten wird mit der Angabe der verwendeten Quellen in **Kapitel 8** sowie dem Anhang als **Kapitel 9** vervollständigt. Der Anhang enthält ergänzende Erläuterungen und Analysen zu den vorangegangenen Kapiteln und wichtige Grundlageninformationen zu den vorgenommenen Auswertungen (z. B. Verkehrszahlen an den betrachteten Flughäfen, Routenbelegungsstatistiken für die Szenarien).

2 Darstellung der Lärmzertifizierung nach *Annex 16*

2.1 Aufgabenstellung

Die Erläuterung zum bestehenden Regelwerk umfasst erstens die Darstellung der Methodik und der geltenden Lärmgrenzwerte (siehe Kapitel 2.5). Die Zertifizierung richtet sich nach ICAO Vorgabe bislang ausschließlich auf die Muster- bzw. Verkehrszulassung neuer Fluggeräte und nicht auf den Flottenbestand und darf auf keinen Fall als eine Zumutbarkeitsschwelle des Fluglärms interpretiert werden. In Deutschland ist als Regelwerk die Lärmvorschrift für Luftfahrzeuge (LVL) zu beachten, wie auch die Aufgaben und Funktionen des Luftfahrt-Bundesamts (LBA) als zuständiger Behörde. Die weiteren Erläuterungen des europäischen und internationalen Luftverkehrsrechts vervollständigen die rechtlichen Darstellungen (siehe Kapitel 2.3). Weiterhin wird gezeigt, dass mittlerweile eine Vielzahl an Einzelregelungen an internationalen Verkehrsflughäfen existiert, die sich die Eingruppierung nach *Chapter*-Stufen zunutze machen (siehe Kapitel 2.7). Den Abschluss der Ausführungen bilden die Schlussfolgerungen (siehe Kapitel 2.8).

2.2 Einleitung und Hintergrund

Die Regelung im *Annex 16* der ICAO zur Lärmzertifizierung (ICAO 2005) dient nach bundesdeutschem Luftverkehrsrecht der Muster- und Verkehrszulassung von neuen Luftfahrzeugen. Mit Hilfe dieser Zertifizierung wird der Nachweis erbracht, dass „die technische Ausrüstung des Luftfahrzeugs so gestaltet ist, dass der durch seinen Betrieb entstehende Lärm das nach dem jeweiligen Stand der Technik unvermeidbare Maß nicht übersteigt“ (LVL 2004). Diese Nachweispflicht nach der LVL besteht aufgrund einer EG-Verordnung (EG Nr. 1702/2003) bzw. der Umweltschutzvorschriften der ICAO im *Annex 16*. Die Einstufung der zivilen Strahlflugzeuge erfolgt nach dem Zeitpunkt der Zertifizierung in drei Stufen (*Chapter 2* bis *4*).

Weiterhin wird diese Einstufung auch im Rahmen der Ausgestaltung von verschiedenen Instrumenten des aktiven Schallschutzes (z. B. Kontingentmodelle, Nachtflugbeschränkungen, lärmabhängige Start- und Landeentgelte) verwendet. Beispiele zur mittlerweile bestehenden Vielfalt der Regelungen an internationalen Verkehrsflughäfen auf Basis der Lärmzertifizierung nach ICAO sind in Kapitel 2.7 dargestellt.

Tabelle 1 *Chapter*-Stufen nach ICAO *Annex 16* für Strahlflugzeuge

Lärmeinstufung nach ICAO *Annex 16*	Gültigkeit der Musterzulassung für Strahlflugzeuge	Kurzbeschreibung
Chapter 2	vor 6. Okt. 1977	In der EU gilt nach Abschluss des schrittweisen Abzuges der *Chapter 2* Flugzeuge zum 31.03.2002 ein allgemeines Start- und Landeverbot; Ausnahmen sind ausschließlich über Sonderregelungen möglich
Chapter 3	6. Okt. 1977 bis 1. Jan. 2006	Lärmgrenzwerte gelten differenziert nach Start (plus Anzahl Triebwerke) und Landung (siehe Tabelle 3); Bewertungsverfahren entsprechend Vorgaben Appendix 2 , *Annex 16*
Chapter 4	ab 1. Jan. 2006	Lärmgrenzwerte gelten entsprechend *Chapter 3* Fluggerät sowie Unterschreitung um kumulativ 10 EPNdB an den drei Zertifizierungs-Lärmmessstellen; Bewertungsmethodik entspricht *Chapter 3*
Anmerkung: *Chapter 2* Flugzeuge werden im Rahmen des Gutachtens nicht weiter berücksichtigt.		

Die Nachweispflicht nach den im *Annex 16* genannten Forderungen besteht ausschließlich für Strahlflugzeuge, für die die so genannte Musterzulassung[1] bzw. Verkehrszulassung erteilt werden soll. Diese Regelung bezieht sich damit nicht auf den bestehenden Flottenbestand bzw. den täglichen Flugbetrieb, sondern stellt ausschließlich dar, welche Geräuschemissionen von einzelnen Flugzeugtypen (bzw. Varianten) generell zulässig sind. Die Lärmgrenzwerte sind in *Annex 16* bzw. nach bundesdeutschem Recht in der LVL, die wiederum hinsichtlich des Nachweisverfahrens sowie der Grenzwerte auf den *Annex 16* verweist, festgelegt.[2]

[1] bzw. Änderung der Musterzulassung, Änderung von Stücken eines Musters, Zulassung von Einzelstücken und der Änderung von Einzelstücken; siehe LVL 1.3.

[2] Weitere Hintergrundinformationen zur historischen Entwicklung der Lärmzertifizierung nach ICAO Regularien finden sich beispielsweise in der Dokumentation zum ICAO-Workshop „Noise Certification" im Oktober 2004 (siehe unter www.icao.int/icao/en/env/NoiseCertification_04/index.html, z. B. Beitrag BIP2/1 von A. Depitre oder *Noise Regulation Timeline* von Boeing siehe *Airport Noise Regulations* unter www.boeing.com/commercial/noise/caep5.html).

2.3 Rechtliche Einordnung bestehender Regelwerke

In diesem Kapitel werden die wesentlichen internationalen, europäischen und deutschen Rechtsvorschriften beschrieben, die für die Lärmzertifizierung von Luftfahrzeugen und damit zusammenhängenden Zulassungsverfahren (Verkehrszulassung, Musterprüfung, Musterzulassung) wichtig sind. Zusätzlich wird auf Vorschriften eingegangen, die an die Lärmzertifizierung anknüpfen und für den Betrieb von Luftfahrzeugen von Bedeutung sind (Kapitel 2.3.5). Die sich aus den Vorschriften ergebenden Rahmenbedingungen dienen als Grundlage für die spätere rechtliche Bewertung der Maßnahmenvorschläge.

2.3.1 Die internationale Ebene (ICAO)

2.3.1.1 Funktion und Rechtsetzungskompetenz der ICAO

Völkerrechtliche Vorgaben für den internationalen Luftverkehr, die auch den Fluglärm regeln werden u. a. von der ICAO (*International Civil Aviation Organisation*) gesetzt. Die ICAO wurde am 7.12.1944 in Chicago aufgrund des Abkommens über die Internationale Zivilluftfahrt (Chicagoer Abkommen) gegründet.[3] Dieses Abkommen bildet als völkerrechtlicher Vertrag[4] die grundlegende Rechtsordnung für den internationalen Luftverkehr.[5] Aufgrund der weltweiten Geltung setzt das Chicagoer Abkommen den Ordnungsrahmen für die Entwicklung der Zivilluftfahrt.[6] Weitere Rechtsquellen für luftverkehrsrechtliche Regelungen auf der Ebene des internationalen Rechts sind unilaterale und bilaterale Luftverkehrsabkommen zwischen Staaten, das Allgemeine Übereinkommen über den internationalen Dienstleistungshandel (General Agreement on Trade in Services - GATS)[7] sowie das Völkergewohnheitsrecht.[8] Da diese weiteren Quellen aber nicht den Kern, der in diesem Gutachten behandelten Fragestellung - der Zulassung von Luftfahrzeugen - betreffen, werden sie nicht näher ausgeführt.

Ziele der ICAO sind in Art. 44 Chicagoer Abkommen geregelt. Ein Hauptziel der ICAO ist danach, die Grundsätze und Technik der internationalen Luftfahrt zu entwickeln

---

3 Giemulla / Schmid, § 31 LuftVG, Rn. 34.

4 Vgl. Rosenthal 1989, S. 150.

5 Der ICAO gehören derzeit 181 Staaten an. Deutschland trat der ICAO 1956 bei, siehe: Schwenk / Giemulla 2005, S. 89 und 574; Giemulla / Schmid, § 31 LuftVG Rn. 35.

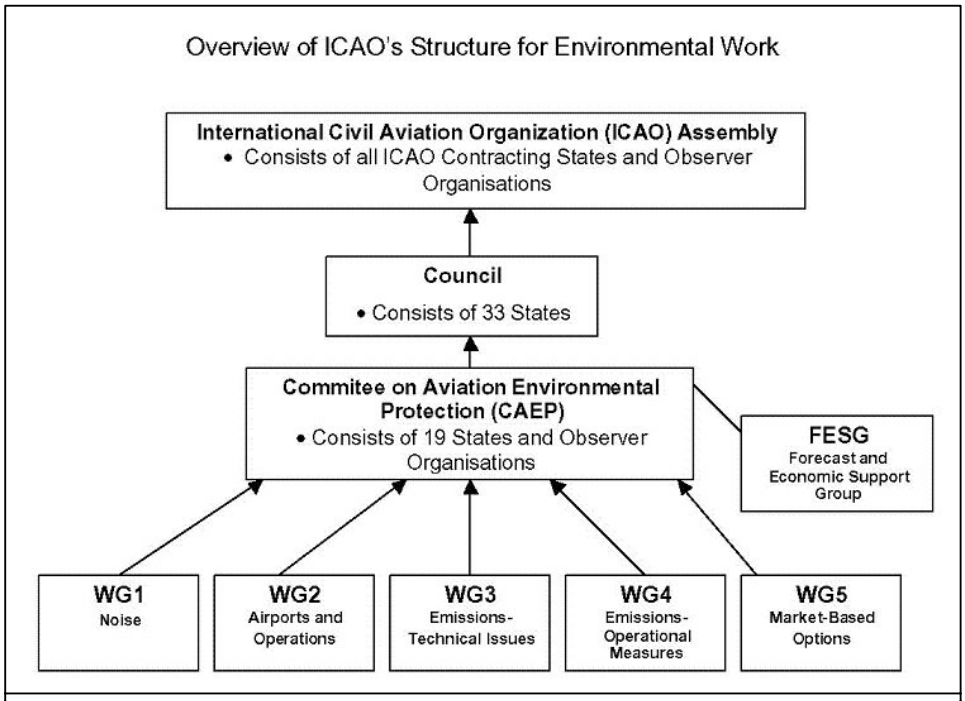
6 Birmanns, S., Internationale Verkehrsflughäfen, S. 82.

7 BGBl. 1994 II, S. 1473.

8 Neben dem Chicagoer Abkommen sind noch die Vereinbarung über den Durchflug im Internationalen Fluglinienverkehr vom 7. Dezember 1944 (International Air Service Transit Agreement, BGBl. 1956 II, S. 442) sowie die Vereinbarung über internationale Luftbeförderung vom 7. Dezember 1944 (International Air Transport Agreement, ICAO-Doc. 2817, 1944, S. 71 ff.) zu nennen. Beide Vereinbarungen sind für die im Gutachten behandelte Fragestellung nicht von direkter Bedeutung.

sowie den internationalen Luftverkehr zu fördern.[9] Aspekte des Umweltschutzes sind in Art. 44 Chicagoer Abkommen nicht genannt. Dass der Umweltschutz nicht zu den ursprünglichen Zielen des Chicagoer Abkommens zählt, zeigt sich auch darin, dass er nicht in der Präambel des Chicagoer Abkommens genannt ist.[10] Auch wenn die ICAO sich nicht explizit mit dem Umweltschutz befasst,[11] spielt dieser aber bei der Normierung verkehrspolitischer, verkehrsrechtlicher und luftfahrttechnischer Fragen des internationalen Luftverkehrs eine Rolle[12] (siehe dazu die folgende Grafik zur Arbeitsstruktur der ICAO bei Umweltaspekten).

Abbildung 2 Überblick über die Struktur der ICAO bei der Bearbeitung von Umweltaspekten



Quelle: Center for Clean Air Policy, Controlling Airport-Related Air Pollution, June 2003

Aus dem Chicagoer Abkommen lässt sich eine **Verpflichtung**, Maßnahmen zugunsten der Lärmbekämpfung an der Quelle zu ergreifen (Triebwerks- und Flugzeugkonstruktion, die Festsetzung von Lärmhöchstwerten und die staatliche Verkehrszulassung von Luftfahrzeugen), nicht entnehmen.[13] Zwar muss nach Art. 31

9 Schwenk / Giemulla 2005, S. 86.

10 Die regulativen Absichten eines völkerrechtlichen Vertrags sind regelmäßig in seiner Präambel niedergelegt. Deshalb kommt der Präambel im Hinblick auf die Interpretation des Vertrages eine wichtige Bedeutung zu, vgl. Birmanns, S., Internationale Verkehrsflughäfen, S. 85.

11 Mengel / Siebel, S. 283.

12 Mengel / Siebel, S. 283.

13 Zu Verpflichtungen aus anderen Rechtsquellen, wie z. B. des Völkergewohnheitsrechts siehe Rosenthal 1989, S. 145 ff.

Chicagoer Abkommen jedes in der internationalen Luftfahrt eingesetzte Luftfahrzeug ein Lufttüchtigkeitszeugnis haben. Aufgrund Art. 33 Chicagoer Abkommen wäre dann eine völkervertragliche Rechtspflicht zur gegenseitigen Anerkennung dieser Lärmkriterien gegeben, wenn die Lärmeigenschaften zu den Lufttüchtigkeitsmindestanforderungen der ICAO zählen würden. Denn nach Art. 33 haben sich die Vertragsstaaten verpflichtet, die von einem Eintragungsstaat ausgestellten und für rechtswirksam erklärten Lufttüchtigkeitszeugnisse anzuerkennen, wenn die Zeugnisse den Mindestanforderungen der ICAO entsprechen oder darüber hinausgehen. Als Rechtsfolge ergibt sich daraus, dass nach Art. 40 Chicagoer Abkommen ein Luftfahrzeug nur mit besonderer Erlaubnis des überflogenen Staates am internationalen Luftverkehr teilnehmen darf. Die Lärmeigenschaften zählen aber nicht zu den Lufttüchtigkeitsanforderungen, die in Annex 8 (Airworthiness of Aircraft) zum Chicagoer Abkommen geregelt sind.[14]

Auch wenn keine Verpflichtung besteht, Maßnahmen zugunsten der Lärmbekämpfung an der Quelle zu ergreifen, so ist basierend auf der generalklauselartigen Ermächtigung des Art. 37, Satz 2, Chicagoer Abkommen eine **Kompetenz** der ICAO zur Erzeugung von luftfahrtrechtlichen Vorschriften zu finden, deren einheitliche Anwendung im internationalen Interesse als notwendig erscheint.[15] Art. 37 Chicagoer Abkommen regelt unter “Adoption of international standards and procedures”:

> *“Each contracting State undertakes to collaborate in securing the highest practicable degree of uniformity in regulations, standards, procedures, and organization in relation to aircraft, personnel, airways and auxiliary services in all matters in which such uniformity will facilitate and improve air navigation.*
>
> *To this end the International Civil Aviation Organization shall adopt and amend from time to time, as may be necessary, international standards and recommended practices and procedures dealing with:*
>
> *[…]*
>
> *(e) Airworthiness of aircraft*
>
> *[…]”*

Danach ist auch die Verschärfung der Lärmgrenzwerte für Luftfahrzeuge durch die ICAO - wie in den vergangenen Jahrzehnten geschehen - möglich. Bei einer solchen Verschärfung sind die folgenden Vorgaben einzuhalten:

Die Verschärfung der Lärmgrenzwerte muss mit den grundsätzlichen Zielen der ICAO vereinbar sein. Es ist das primäre Ziel, die Grundsätze und Technik der internationalen Luftfahrt zu entwickeln sowie Planung und Entwicklung des internationalen Luftverkehrs zu fördern.[16] Nach Art. 44 ICAO sind darüber hinaus weitere Ziele verbunden, wie z. B. ein sicheres und geordnetes Wachstum der internationalen

[14] Rosenthal 1989, S. 145.

[15] Mengel /Siebel, S. 284; Rosenthal 1989, S. 151.

[16] Vgl. Art. 44 und die Präambel des Chicagoer Abkommens.

Zivilluftfahrt in der ganzen Welt zu gewährleisten, den sicheren, regelmäßigen, leistungsfähigen und wirtschaftlichen Luftverkehr zu sichern und die Flugsicherheit zu fördern.

Die Rechtssetzungsformen, in denen die ICAO die Befugnis hat, internationale Normen des Luftrechts zu schaffen, sind:[17]

- internationale Richtlinien (International Standards),
- Empfehlungen (Recommended Practices) und
- Verfahren (Procedures).

Zu den Verfahren (Procedures) zählen z. B. die Flugrouten und die Start- und Landeverfahren. Auf sie soll im Folgenden nicht näher eingegangen werden, sondern auf die „International Standards“ (= Richtlinien) und die „Recommended Practices“ (= Empfehlungen) (abgekürzt SARPs).

Die Annahme der internationalen Richtlinien und Empfehlungen fällt nach Art. 54 lit. l in den Kompetenzbereich des Rates. Zu den verbindlichen Aufgaben des Rates zählt es auch, die SARPs aus Zweckmäßigkeitsgründen zu Anhängen des Chicagoer Abkommens zu bestimmen sowie alle Vertragsstaaten darüber zu informieren. Bislang wurden 18 Annexe geschaffen, beispielhaft zum Betrieb des Luftfahrtgeräts (*Annex 6*), zur Lufttüchtigkeit (*Annex 8*) oder zum Umweltschutz (*Annex 16*).

2.3.1.2 Rechtsverbindlichkeit der SARPs

Juristisch ist es umstritten, inwieweit für die Vertragsstaaten aus den ICAO-Richtlinien und -Empfehlungen eine Pflicht zur Übernahme in das nationale Recht folgt[18]. Ein zwingendes Erfordernis zur Umsetzung der Annexe in nationales Recht ergibt sich aus dem Chicagoer Abkommen nicht. Die Richtlinien und Empfehlungen (SARPs) der 18 Annexe des Chicagoer Abkommens entfalten nur dann in einem Vertragsstaat Rechtswirkung, wenn sie in nationale Gesetze überführt werden (§ 32 Abs. 3 Satz 1 LuftVG); in Deutschland also z.B. bei einer Umsetzung durch Gesetz oder Rechtsverordnung.[19]

Zustandekommen der SARPs im Contracting-out-Verfahren

Zur Annahme oder Änderung eines bestehenden Annexes (wie z. B. *Annex 16*) ist ein Annahmebeschluss des Rates notwendig, der mit Zweidrittelmehrheit zu Stande kommen muss (Art. 90 i. V. m. Art. 54 lit. l Chicagoer Abkommen)[20]. Die Vorschriften treten dann in der Regel drei Monate nach Mitteilung an die Vertragsstaaten in Kraft, sofern nicht die Mehrheit der Vertragsstaaten dem Rat ausdrücklich ihre Ablehnung mitgeteilt hat (Art. 90 lit. a Satz 2 Chicagoer Abkommen). Nach Ablauf dieser

[17] Zur Rechtssetzungskompetenz der ICAO: Rosenthal 1989, S. 150 mit weiteren Nachweisen in Fn. 3.

[18] Rosenthal 1989, S. 151 ff.; eindeutig nicht als bindend werden die Vorgaben von *Annex 16* von Gratjios angesehen, S. 37.

[19] Hofmann / Grabherr, Einleitung, S. 10.

[20] Ipsen 2005, S. 928.

Missbilligungsfrist unterrichtet der Rat die Mitgliedstaaten unverzüglich über das Inkrafttreten (date of effectiveness) der SARPs (gemäß Art. 90 lit. b Chicagoer Abkommen). Vom Zeitpunkt des In Kraft Tretens ist der Zeitpunkt der Anwendbarkeit (date of applicability) zu unterscheiden, mit dem der Rat einzelnen Vertragsstaaten die Möglichkeit gibt, einen längeren Zeitraum für die Übernahme der Vorschriften in das innerstaatliche Recht vorzusehen. Bis zum „date of applicability", das in der Regel eine fünfmonatige Frist ist, sollen die Mitgliedstaaten die bei der Übernahme der SARPs in die nationalen Rechtsordnungen erforderlichen Abweichungen der ICAO mitteilen.

Neue oder geänderte Normen bedürfen also nicht der Ratifizierung durch eine bestimmte Anzahl von Vertragsstaaten. Ausreichend für das In-Kraft-Treten eines Annexes zum Chicagoer Abkommen ist vielmehr ein qualifizierter Ratsentscheid in Verbindung mit der Mehrheit der Vertragsstaaten, wobei Stillschweigen als Zustimmung gilt. Dieses so genannte „contracting-out-Verfahren" sorgt für das Eintreten einer völkerrechtlichen Bindung von Normen, ohne dass die ausdrückliche Zustimmung aller einzelnen Mitgliedstaaten erforderlich ist.

Rechtswirkung der SARPs

Die Antwort auf die Frage, ob allen in der ICAO vertretenen Staaten eine strikte Rechtspflicht obliegt, die im contracting-out-Verfahren zu Stande gekommenen Vorschriften in ihre innerstaatliche Rechtsordnung zu übernehmen, ergibt sich aus den Artikeln 37 und 38 Chicagoer Abkommen. Schon der Wortlaut von Art. 37 Chicagoer Abkommen spricht gegen eine strikte Bindungswirkung. Dort heißt es:

> *„Jeder Vertragsstaat verpflichtet sich, daran mitzuarbeiten, dass für Vorschriften, Richtlinien, Verfahren und Organisation in Bezug auf Luftfahrzeuge [...] der höchstmöglichste Grad an Einheitlichkeit in allen Angelegenheiten erreicht wird, in denen dies die Luftfahrt erleichtert und verbessert."*

Einheitlichkeit ist also zwar ein mit Nachdruck geforderter Anspruch, aber kein zwingendes Muss.

Gegen eine strikte Bindungswirkung der SARPs spricht auch Art. 38 Satz 1 Chicagoer Abkommen:

> *„Jeder Staat, der es für undurchführbar hält, einer internationalen Richtlinie oder einem solchen internationalen Verfahren in jeder Hinsicht nachzukommen (...) oder es für nötig hält, Vorschriften oder Verfahren anzunehmen, die irgendwie von denjenigen abweichen, die durch eine internationale Richtlinie festgesetzt sind, wird den Unterschied zwischen seiner eigenen Regelung und derjenigen, die durch die internationale Richtlinie festgelegt ist, sofort der ICAO anzeigen."*

Damit erkennt Art. 38 Satz 1 Chicagoer Abkommen auch nach In-Kraft-Treten von SARPs die Möglichkeit nationaler Alleingänge an. Sowohl hinsichtlich der inhaltlichen Begründung des Ausscherens als auch beim formalen Vorgehen werden durch Art. 38

S. 1 Chicagoer Abkommen keine hohen Anforderungen gestellt. Der Vertragstaat muss nur behaupten, die Anwendung der SARPS sei in seinem Staat undurchführbar oder – noch weicher – eine Abweichung von den SARPS erscheine in dem betreffenden Staat notwendig.

Bei der Ermittlung der Rechtsverbindlichkeit der SARPs für die Vertragsstaaten ist jedoch nicht nur auf den Wortlaut der Artikel 37 und 38 des Chicagoer Abkommens einzugehen, sondern auch auf den Regelungszweck des Chicagoer Abkommens. Da sich die Vertragsstaaten zur Erfüllung der in Art. 44 Chicagoer Abkommen genannten Aufgaben (siehe oben Kapitel 2.3.1.1) verpflichtet haben, kann es nicht im alleinigen Ermessen der Vertragsstaaten liegen, ob und wie sie die SARPs umsetzen. Es ist deshalb davon auszugehen, dass „nach Inkrafttreten der Anhänge eine abgeschwächte Verpflichtung begründet wird, diese nach Möglichkeit in die innerstaatliche Rechtsordnung zu übernehmen“[21]. Die Mitgliedstaaten dürften dabei nach eigenem Ermessen handeln, seien aber den Grundsätzen von Treu und Glauben verpflichtet. Das bedeutet aber letztlich, dass die ICAO-Mitgliedstaaten – vorbehaltlich anderer Regelungen wie der Verpflichtungen z. B. auf europäischer Ebene – nicht gezwungen werden können, die SARPs umzusetzen.

Die Folgen eines Alleingangs eines Vertragsstaats bei der Anwendung eines Standards lassen sich im Umkehrschluss aus Art. 33 Chicagoer Abkommen schließen. Art. 33 regelt zur Anerkennung von Zeugnissen oder Zertifikaten („Recognition of certificates and licenses“) durch die Vertragsstaaten:

> *„Certificates of airworthiness and certificates of competency and licenses issued or rendered valid by the contracting State in which the aircraft is registered, shall be recognized as valid by the other contracting States, provided that the requirements under which such certificates or licenses were issued or rendered valid are equal to or above the minimum standards which may be established from time to time pursuant to this Convention.“*

Bei einer Abweichung eines Vertragstaates unterhalb der vereinbarten Standards sind die anderen Vertragsstaaten nicht verpflichtet Zeugnisse und Zertifikate, wie das Luftverkehrstüchtigkeitszeugnis, des abweichenden Staates anzuerkennen. Sie können in der Folge z. B. die Einflugerlaubnis eines Flugzeuges, dessen Luftverkehrstüchtigkeitszeugnis nicht den Mindestanforderungen entspricht, in ihr Hoheitsgebiet verweigern.[22] Aus Art. 33 Chicagoer Abkommen ist aber umgekehrt zu schließen, dass ein Vertragsstaat einem Flugzeug eines anderen Mitgliedstaates nicht den Einflug in seinen Luftraum verweigern kann, wenn das Flugzeug die Mindestanforderungen der ICAO erfüllt.

Erfüllt ein Vertragsstaat nicht die Vorgaben des Chicagoer Abkommens und kommt es deswegen zu Streitigkeiten, riskiert er, dass die Versammlung dem betreffenden

---

[21] Rosenthal 1989, S. 155.

[22] Vgl. Northeast States for Coordinated Air Use Management and Center for Clean Air Policy, Controlling Airport-Related Air Pollution, June 2003, p.V-3.

Vertragsstaat das Stimmrecht in der Versammlung entzieht (Art. 88 Chicagoer Abkommen).

2.3.2 Europarechtliche Ebene

Voraussetzung für die Aufnahme des Luftverkehrs mit einem Luftfahrtgerät ist in der Europäischen Union die Verkehrs- und Musterzulassung des Luftfahrtgeräts. War diese Aufgabe bislang eine Aufgabe der EU-Mitgliedstaaten, so ist mit der Verordnung (EG) Nr. 1592/2002 (so genannte „Grundverordnung“)[23] der Erlass von Normen bezüglich der Konstruktion, Herstellung, Instandhaltung und des Betriebs von luftfahrttechnischen Erzeugnissen, Teilen und Ausrüstungen auf die EU-Ebene verlagert worden.

2.3.2.1 Die VO (EG) 1592/2002 und die EASA[24]

Auf EU-Ebene ist im Zusammenhang mit der Musterzulassung von Luftfahrzeugen und der Erteilung von Lärmzeugnissen zunächst auf die Grundverordnung zur Festlegung gemeinsamer Vorschriften für die Zivilluftfahrt einzugehen. Mit der Grundverordnung wird die Zulassung von Luftfahrtgerät in der EU, die bislang von den EU-Mitgliedstaaten durchgeführt wurde, erheblich umstrukturiert (vgl. zu den in Deutschland geltenden Vorschriften für die Zulassung von Luftfahrzeugen Kapitel 2.3.3). So wird mit der so genannten Grundverordnung eine Europäische Agentur für die Sicherheit der Zivilluftfahrt gegründet (EASA)[25]. Der EASA wurde nach der Grundverordnung die zentrale Rolle bei der Zulassung von Luftfahrtgeräten und allen damit zusammenhängenden Fragen übertragen. Sie ist zuständig für die Ausstellung von Lufttüchtigkeits- und Umweltzeugnissen im Hinblick auf die Konstruktion, die Herstellung, die Instandhaltung und den Betrieb von luftfahrttechnischen Erzeugnissen, Teilen und Ausrüstungen (Art. 15, Art 4., Art. 1 lit. a Grundverordnung). Zu den „Erzeugnissen“ zählen nach der Grundverordnung das Luftfahrzeug, ein Motor oder ein Propeller (Art. 3 lit. b), zu den „Teilen und Ausrüstungen“ zählen auch Teile eines Motors oder eines Propellers (Art. 3 lit. d). Nach Art. 4 der Grundverordnung müssen Luftfahrzeuge, einschließlich eingebauter Erzeugnisse, Teile und Ausrüstungen,

a) die von einer Organisation konstruiert oder hergestellt wurden, über die die Agentur oder ein Mitgliedstaat die Sicherheitsaufsicht ausübt ,oder

---

[23] Verordnung (EG) Nr. 1592/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Juli 2002 zur Festlegung gemeinsamer Vorschriften für die Zivilluftfahrt und zur Errichtung einer Europäischen Agentur für Flugsicherheit, ABl. Nr. L 240 vom 07.09.2002, S.1; zuletzt geändert durch Verordnung (EG) Nr. 1701/2003 der Kommission vom 24. September 2003 zur Anpassung von Artikel 6 der Verordnung (EG) Nr. 1592/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Festlegung gemeinsamer Vorschriften für die Zivilluftfahrt und zur Errichtung einer Europäischen Agentur für Flugsicherheit, ABl. Nr. L 243 vom 27.09.2003, S. 5.

[24] Homepage unter: http://www.easa.eu.int/home/.

[25] Siehe dazu das 3. Kapitel der Verordnung (EG) Nr. 1592/2002.

b) die in einem Mitgliedstaat registriert sind oder

c) die in einem Drittland registriert sind und von einem Betreiber eingesetzt werden, über den ein Mitgliedstaat die Betriebsaufsicht ausübt,

der Grundverordnung entsprechen, es sei denn, die behördliche Sicherheitsaufsicht hierfür wurde an ein Drittland delegiert und sie werden nicht von einem Betreiber mit Sitz in der EU eingesetzt.

Den nationalen Behörden, wie z. B. dem Luftfahrt-Bundesamt, verbleibt bei der Zulassung von Luftfahrtgerät nur noch ein geringer eigenständiger Handlungsraum.[26] Demnach sind den nationale Normen und damit im Aufgabenbereich des LBA nur noch Luftfahrzeuge unterworfen, für die keine Musterzulassung bzw. kein Lufttüchtigkeitszeugnis auf der Grundlage der Grundverordnung und ihrer Durchführungsverordnungen ausgestellt wurde und die bestimmten Kategorien angehören, wie z. B. Flugzeuge mit höchstens zwei Sitzen, Luftfahrtgerät in militärdienstlicher Verwendung oder Luftfahrzeuge für Forschungs- und Versuchszwecke (siehe Art. 4 Absatz 2 i. V. m. Anhang II der Grundverordnung).[27]

Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass die EASA aufgrund ihrer derzeitigen personellen und organisatorischen Struktur noch nicht in der Lage ist, die ihr zugewiesenen Aufgaben (Art. 15 Grundverordnung) ständig wahrzunehmen. Deshalb hat die EASA auf die Möglichkeit der Beauftragung der nationalen Luftfahrtbehörden zurückgegriffen.[28] In einer vertraglichen Vereinbarung zwischen der EASA und dem LBA vom 30.03.2004 wird das LBA ermächtigt die in Art. 15 Grundverordnung aufgeführten Aufgaben (Erteilung des Lufttüchtigkeits- und des Umweltzeugnisses) für die EASA wahrzunehmen. Das LBA richtet sich bei der Ausübung der übertragenen Aufgaben nach den Vorschriften der Grundverordnung oder darauf erlassener Vorschriften. Soweit Vorschriften nicht existieren, kann auf die in Deutschland geltenden Vorschriften zurückgegriffen werden. Wie die tatsächliche Wahrnehmung der Aufgaben zwischen EASA und dem LBA in Zukunft aussehen wird, lässt sich zurzeit nicht sagen, aber eine längerfristige Einbindung der nationalen Luftfahrtbehörden erscheint wahrscheinlich.

2.3.2.2 Die Erteilung der Musterzulassung und die Lärmzertifizierung

Die Grundverordnung bildet den Rahmen für die Ausfüllung der der EASA zugewiesenen Aufgaben und Verfahren. Diese generellen Anforderungen werden in

[26] Schwenk/Giemulla 2005, S. 269.

[27] Schwenk/Giemulla 2005, S. 268.

[28] Siehe das Beauftragungsschreiben an das LBA vom 26.09.2003, abgedruckt in: Schwenk/Giemulla 2005, S. 282.

Durchführungsverordnungen präzisiert. Im Zusammenhang mit der Musterzulassung und Lärmzertifizierung ist die Verordnung (EG) Nr. 1702/2003[29] zur Erteilung von Lufttüchtigkeits- und Umweltzeugnissen für Luftfahrzeuge zu erläutern.

Für Erzeugnisse (Luftfahrzeug, Motor und Propeller) muss eine Musterzulassung vorliegen (Art. 5 Abs. 2a Grundverordnung). Bei der Musterzulassung, die die für das Erzeugnis anzuwendenden Bauvorschriften (Zulassungsspezifikationen) enthält, wird eine so genannte Musterbauart genehmigt. Damit ein einzelnes Luftfahrzeug das Lufttüchtigkeitszeugnis erhält, muss es der Musterbauart, die in der Musterzulassung genehmigt wird, entsprechen. Die Zulassungsspezifikationen (certification specifications - CS) werden von der EASA in Kraft gesetzt und auf ihrer Website (www.easa.eu.int) bekannt gemacht. Sie beruhen auf den im Rahmen der JAA (Joint Aviation Authorities) erarbeiteten JARs (Joint Aviation Requirements).[30] Die JAA besitzt als Arbeitsgemeinschaft keine Rechtssetzungsbefugnis, weshalb die JARs, in denen für bestimmte Luftfahrzeuge detaillierte technische Vorgaben getroffen werden, nur empfehlenden Charakter haben. Dies gilt nur, soweit die JARs nicht durch den nationalen Gesetzgeber oder Gemeinschaftsorgane in nationales Recht oder EU-Recht übernommen werden (zur Rechtsverbindlichkeit der Zulassungsspezifikationen siehe sogleich in Kapitel 2.3.2.3).[31] Für die Zulassung von Luftfahrtgerät von Bedeutung sind die JAR-21[32], JAR-25 und JAR-145[33]. In Bezug auf den vom Luftfahrtgerät ausgehenden Lärm von besonderem Interesse ist die Zulassungsspezifikation CS-36 (Aircraft Noise).

Im Rahmen der Entwicklung und Herstellung von Erzeugnissen (Luftfahrzeugen, Motoren) bzw. von Teilen ist mit Hinblick auf die Musterzulassung das Lärmzeugnis von Bedeutung (Anhang 1, Teil 21 der Verordnung (EG) Nr. 1702/2003). Die Lärmschutzanforderungen und Zertifizierungsspezifikationen richten sich nach

---

29 EG Nr. 1702/2003 der Kommission zur Festlegung der Durchführungsbestimmungen für die Erteilung von Lufttüchtigkeits- und Umweltzeugnissen für Luftfahrzeuge und zugehörige Erzeugnisse, Teile und Ausrüstungen sowie für die Zulassung von Entwicklungs- und Herstellungsbetrieben vom 24. September 2003, ABl. Nr. L 243 vom 27.09.2003, S. 6.

30 Schwenk/Giemulla 2005, S. 277.

31 Schwenk/Giemulla 2005, S. 29.

32 In der deutschen Fassung: JAR-21dt. Bestimmungen der Joint Aviation Authorities Zulassungsverfahren für Luftfahrzeuge und zugehörige Produkte und Teile Änderungsstand 1 – 1997 vom 16.03.1998 (BAnz. Nr. 137a vom 28. Juli 1998), zuletzt geändert durch die Bekanntmachung vom 26.03.1999 (BAnz. S. 6435)

33 In der deutschen Fassung: JAR-145 dt. Technische Vorschriften und Verwaltungsverfahren in der Zivilluftfahrt (94/C 297/10) vom 25.10.1994 (ABl. Nr. C 297/12).

Annex 16 des Chicagoer Abkommens; für Unterschall-Strahlflugzeuge ergeben sie sich aus Band I, Teil II; Kapitel 2, 3 und 4.[34]

2.3.2.3 Rechtsverbindlichkeit der Zulassungsspezifikationen

Welche Rechtsverbindlichkeit die Zulassungsspezifikationen (CS) haben, ist bislang nicht abschließend geklärt. Die Bestimmungen von Art. 249 des EG-Vertrages geben hierzu keinen näheren Aufschluss, da sich dieser Artikel nur auf Verordnungen, Richtlinien, Empfehlungen und Stellungnahmen der Europäischen Kommission, des Rates und des Parlamentes bezieht. Jedoch ist nach dem Wortlaut der Grundverordnung und nach den „Explanatory Notes", die den Zulassungs-spezifikationen beigefügt werden, von einer verbindlichen Wirkung der Zulassungs-spezifikationen (CS) für die Mitgliedstaaten und die betroffenen Unternehmen auszugehen. So lassen die in den Artikeln 13, 14, 43 und 45 Verordnung (EG) Nr. 1592/2002 geregelten Vorschriften zum Erlass von Veröffentlichungen, des Verfahrens, der Anhörung der Mitgliedstaaten, der amtlichen Veröffentlichung sowie der gerichtlichen Überprüfbarkeit von Einzelentscheidungen den Schluss auf eine bindende rechtliche Qualität der Zertifizierungsspezifikationen zu.[35]

Bis zum In-Kraft-Treten der Verordnung (EG) Nr. 1592/2002 hatte die Verordnung (EG) 3922/91[36] für den Bereich der Musterzulassungsvorschriften auf die JAR-25 und JAR-145 verwiesen. Dadurch waren diese beiden JARs zu unmittelbar geltendem EG-Recht geworden und waren auch in Deutschland anzuwenden.[37] Dies gilt heute nicht mehr, da aufgrund von Art. 57 Abs. 1 VO 1592/2002 der Anhang II der VO 3922/91 zum 28.09.2003 aufgehoben wurde. Den JAR-25 und JAR-145 wurde damit der Status einer rechtsverbindlichen EG-Norm entzogen. Nach Art. 56 Abs. 1 VO (EG) Nr. 1592/2002 soll die EASA die Zulassungsaufgaben nach Art. 15 VO (EG) Nr. 1592/2002 am selben Tag übernehmen an dem die EG-Normen außer Kraft treten. Die Mitgliedstaaten können allerdings in einer Übergangszeit von 42 Monaten[38] weiterhin Zulassungen und Zeugnisse ausstellen, wenn dies nach den Durchführungsbestimmungen der Kommission erfolgt (Art. 56 Abs. 2 VO (EG) Nr. 1592/2002). Nach Art. 57 Abs. 2 i. V. m. Art. 8 Abs. 2 VO (EG) Nr. 1592/2002 können die Mitgliedstaaten für die Regelung dieser Bereiche nationale Normen anwenden.

---

[34] Siehe Anhang I Teil 21A-18 der Verordnung (EG) Nr. 1702/2003; vgl. auch Art .6 Abs. 1 Grundverordnung: „Erzeugnisse, Teile und Ausrüstungen müssen den Umweltschutzanforderungen des Anhang 16 des Abkommens von Chicago in der Ausgabe vom März 2002 für Band I und vom November 1999 für Band II, mit Ausnahme der Anlagen zu Anhang 16, entsprechen."

[35] Schwenk/Giemulla 2005, S. 272 ff.

[36] Verordnung (EWG) Nr. 3922/1991 des Rates vom 16.12.1991 zur Harmonisierung der technischen Vorschriften und Verwaltungsverfahren in der Zivilluftfahrt, ABl. Nr. L 373 vom 31.12.1991, S. 4; zuletzt geändert durch die Verordnung (EG) Nr. 2871/2000 der Kommission vom 28.12.2000, ABl. Nr. L 333 vom 29.12.2000, S. 47.

[37] Weitere in der EG und damit auch in Deutschland rechtsverbindlich geltende JARs sind in Art. 3 i. V. m. Anhang II aufgeführt.

[38] Die Übergangszeit endet am 28.03.2007.

Die rechtsverbindliche Anwendbarkeit der JAR-25 (Zulassung von Großflugzeugen) in Deutschland ist durch den direkten Verweis der 2. Durchführungsverordnung zur Luftfahrtgeräteprüfungsverordnung[39] auf die JAR-25 gewährleistet.

2.3.2.4 Phase-out von *Chapter 2* Flugzeugen

Nach Abschluss des schrittweisen Abzuges der *Chapter 2* Flugzeuge zum 31.03.2002 in der Europäischen Union gemäß Richtlinie 92/14/EWG[40] besteht für die Flugzeuge dieser *Chapter*-Stufe ein ganztägiges Start- und Landeverbot. Beschränkungen oder Instrumente, die *Chapter 2* Flugzeuge betreffen, sind damit mittlerweile obsolet und werden im Folgenden nicht weiter betrachtet. Die entsprechende Regelung im bundesdeutschen Recht findet sich in § 11c LuftVO [*Beschränkungen der Starts und Landungen von Flugzeugen mit Strahltriebwerken*].

Die Umsetzung bzw. das Verfahren zur Regelung des schrittweisen Abzugs der *Chapter 2* Flugzeuge in der EU hat sich als äußerst kompliziert und langwierig erwiesen. Unter anderem wurde die Ausrüstung der lauten *Chapter* 2 Fluggeräte mittels so genannter *Hushkits*, die einen nachrüstbaren Schalldämpfer darstellen und eine Einstufung in die günstigere *Chapter 3* Stufe ermöglichen, problematisiert. Insbesondere auf den Widerstand der USA hin wurden die EU-Verordnung (so genannte *Hushkit-Verordnung*[41]) ausgesetzt und der Prozess bis zum endgültigen Verbot der nachgerüsteten Flugzeuge verzögert und entschärft (siehe u. a. Koch 2003). Diese Verordnung war nach Ansicht von [Knorr 2003/2004] „*einer der umstrittensten umweltpolitischen Rechtsakte der vergangene(n) Jahre*“. Die Nachfolgeregelung zur *Hushkit-Verordnung*, die im Jahr 2002 zurückgezogen wurde, findet sich mit der EU-Betriebsbeschränkungsrichtlinie, die sich am von der ICAO entwickelten Standard des *Balanced Approach* orientiert (siehe Ausführungen in Kapitel 2.3.5.1).

---

[39] Zweite Durchführungsverordnung zur Verordnung zur Prüfung von Luftgerät (Lufttüchtigkeitsforderungen für Luftfahrtgerät) vom 3.02.2000 (BAnz. S. 4897) zuletzt geändert durch die Verordnung vom 12.02.2003 (BAnz. S. 3701).

[40] Richtlinie 92/14/EWG des Rates vom 02.03.1992 zur Einschränkung des Betriebs von Flugzeugen des Teils II Kapitel 2 Band 1 des Anhangs 16 zum Abkommen über die internationale Zivilluftfahrt, 2. Ausgabe (1988), ABl. L 76 vom 23.03.1992, S. 21. Geändert durch Richtlinien: 98/20/EG des Rates vom 30.03.1998, ABl. L 107 vom 7.04.1998, S. 4; Richtlinie 1999/28/EG der Kommission vom 21.04.1999, ABl. L 118 vom 6.05.1999, S. 53; Verordnung (EG) Nr. 991/2001 der Kommission, ABl. L 138 vom 22.05.2001, S. 12.

[41] Verordnung (EG) Nr. 925/99 des Rates zur Registrierung und zum Betrieb innerhalb der Gemeinschaft von bestimmten Typen ziviler Unterschall-Strahlflugzeuge, die zur Einhaltung der in Band I Teil II Kapitel 3 von *Annex 16* festgelegten Normen umgerüstet und neu bescheinigt worden sind, ABl. EG vom 04.05.1999, Nr. L 115, S. 1

2.3.2.5 Rolle und Kompetenzen der European Civil Aviation Conference (ECAC)

Die Arbeit der ICAO findet ihre Fortsetzung auf europäischer Ebene in der ECAC, einem informellen Zusammenschluss der europäischen Staaten. Nach einer vorbereitenden Initiative des Europarates wurde die ECAC 1955 gegründet und hat heute 38 europäische Staaten als Mitglieder.[42] Im Gegensatz zur ICAO kommt der ECAC keine Rechtssetzungsbefugnis zu. Es handelt sich bei den Beschlüssen der ECAC um unverbindliche Empfehlungen an die Mitgliedstaaten (vgl. Art. 1 Abs. 3 ECAC-Konstitution).[43] Jedoch darf dabei nicht übersehen werden, dass die ECAC für die Sacharbeit in der europäischen Luftverkehrspolitik eine wichtige Institution ist, insbesondere durch ihr Organ der „Versammlung der Leiter der nationalen Luftfahrtbehörden". Dieser Versammlung kommt die Aufgabe zu, das inhaltliche Arbeitsprogramm der ECAC vorzubereiten, entsprechende begleitende Untersuchungen vorzunehmen sowie die notwendigen Arbeitsgruppen einzusetzen (Art. 7 Abs. 2 ECAC-Konstitution).

2.3.3 Nationale Ebene

Luftfahrzeuge müssen so beschaffen sein, dass die Emissionen, die sie im Rahmen des bestimmungsgemäßen Betriebs verursachen, die Grenzwerte zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen einhalten (§ 38 Abs. 1 S. 1 BImSchG[44]). Weiterhin gilt für Luftfahrzeuge ein Minimierungsgebot dahingehend, dass beim Betrieb vermeidbare Emissionen verhindert und unvermeidbare Emissionen auf ein Mindestmaß reduziert werden müssen (§ 38 Abs. 1 S. 2 BImSchG).[45] Dieses allgemeine Gebot des Bundes-Immissionsschutzgesetzes wird durch § 2 Abs. 1, S. 2, Nr. 4 Luftverkehrsgesetz (LuftVG)[46] konkretisiert. Danach darf ein Luftfahrzeug zum Verkehr nur zugelassen werden, wenn die technische Ausrüstung des Luftfahrzeugs so gestaltet ist, dass das durch den Betrieb entstehende Geräusch das nach dem jeweiligen Stand der Technik unvermeidbare Maß nicht übersteigt.[47] Die Zulassung muss widerrufen werden, wenn die Voraussetzungen nach § 2 Abs. 1 LuftVG nicht mehr vorliegen (§ 2 Abs. 4 LuftVG).

---

42 http://www.ecac-ceac.org/index.php?content=lstsmember&idMenu=1&idSMenu=10.

43 Tietje 2001, S. 458.

44 Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) vom 26. September 2002 (BGBl. I, S. 3830) zuletzt geändert durch Art. 1 des Gesetzes vom 25. Juni 2005 (BGBl I, Nr. 39, S. 1865).

45 Vgl. Feldhaus 2005, § 38 Rn 1 ff.

46 Luftverkehrsgesetz (LuftVG) vom 1. August 1922, RGBl I 1922, S. 681; neu gefasst durch Bekanntmachung vom 27. 3.1999, BGBl. I, S. 550; zuletzt geändert durch Art. 2 Gesetz vom 19. 4.2005, BGBl I, S. 1070.

47 Vgl. auch Stoermer 2005, S. 55.

Bevor ein Flugzeug für den Verkehr zugelassen wird, muss eine Verkehrs- und Musterzulassung des Luftfahrtgeräts erfolgen (§ 2 Abs. 1 S. 2 LuftVG).[48] Im Rahmen der Musterzulassung erfolgt dabei die Lärmzertifizierung des Luftfahrtgeräts. Die dem Stand der Technik entsprechenden Lärmgrenzwerte werden nach Anhörung der Luftfahrtindustrie vom Luftfahrt-Bundesamt bekannt gemacht, gem. § 3 Abs. 2 Luftverkehrs-Zulassungs-Verordnung (LuftVZO)[49]

Zu den in der LuftVZO geregelten Erfordernissen für den Verkehr deutscher Luftfahrzeuge zählen insbesondere

- die Verkehrszulassung (durch die Erteilung eines Lufttüchtigkeitszeugnisses § 10 LuftVZO) und
- die Eintragung in das Luftfahrzeugregister (auch Luftfahrzeugrolle genannt) (§ 14 LuftVZO).

Im Folgenden soll die rechtliche Systematik der Verkehrs- und Musterzulassung erläutert werden.

2.3.3.1 Verkehrszulassung (§§ 6 bis 13 LuftVZO)

Ein Luftfahrzeug wird nur dann in die Luftfahrzeugrolle eingetragen, wenn es über eine Verkehrszulassung verfügt. Die Voraussetzungen für die Verkehrszulassung sind in § 2 Abs. 1 Nr. 1 bis 4 LuftVG abschließend aufgezählt. Eine wichtige Voraussetzung für die Verkehrszulassung ist die Musterzulassung des Luftfahrzeugs (§ 2 Abs. 1 Nr. 1 LuftVG; §§ 1 bis 5 LuftVZO). Zudem muss im Rahmen der Verkehrszulassung nachgewiesen werden, dass die technische Ausrüstung des Luftfahrzeugs so gestaltet ist, dass das durch seinen Betrieb entstehende Geräusch das nach dem jeweiligen Stand der Technik unvermeidbare Maß nicht übersteigt (§ 2 Abs. 1 Nr. 4 LuftVG). Dazu wird bei der Verkehrszulassung ein Lärmzeugnis erstellt (§ 10 Abs. 4 LuftVZO), wenn die Einhaltung von § 3 LuftVZO i. V. m. den Lärmschutzanforderungen für Luftfahrzeuge nachgewiesen ist. Der Nachweis erfolgt für deutsche Luftfahrzeuge durch die Musterzulassung (siehe sogleich unten). Stimmt das Luftfahrzeug, für das die Verkehrszulassung beantragt wird mit dem nach den geltenden Lärmgrenzwerten zugelassenen Muster überein, ist ein weiterer Nachweis über die Geräuschwerte nicht mehr erforderlich.[50] Ausländische Lärmzeugnisse werden anerkannt, wenn sie den in § 10 Abs. 5, Abs. 6 LuftVZO festgesetzten Werten entsprechen.

Mit der Verkehrszulassung wird zum Ausdruck gebracht, dass gegen die Verwendung des Luftfahrtgeräts keine Sicherheitsbedenken bestehen. Der Staat übernimmt mit der Verkehrszulassung national und international die Verantwortung für die Lufttüchtigkeit

---

48 Vgl. aber die Verschiebung der Gesetzgebungskompetenz auf die EU-Ebene in: Kapitel 2.3.2.

49 Luftverkehrs-Zulassungs-Verordnung (LuftVZO) in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. März 1999, BGBl. I, S. 610; zuletzt geändert durch die Verordnung vom 4. April 2005, BGBl. I; S. 992.

50 BVerwG, Urteil vom 29.01.1991, Az.: 4 C 51.89; BVerwGE 87, S. 33 (335).

des zugelassenen Luftfahrtgeräts (vgl. Artikel 33 Chicagoer Abkommen). Die Prüfung schließt mit der Erteilung eines Lufttüchtigkeitszeugnisses ab (§ 10 Abs.1 LuftVZO).

Erteilung einer Verkehrszulassung für Luftfahrzeuge aus Drittländern

Bei der Erteilung der Verkehrszulassung für Luftfahrzeuge, die außerhalb der EU hergestellt wurden, sind zwei Fallgruppen zu unterscheiden:

1. Außerhalb der EU hergestellte neue oder gebrauchte Luftfahrzeuge, die in die Bundesrepublik Deutschland importiert und hier zugelassen werden sollen.
2. Außerhalb der EU zugelassene Luftfahrzeuge, die in die Bundesrepublik Deutschland einfliegen, ohne dass sie hier zum Verkehr zugelassen werden sollen.

Für Luftfahrzeuge der 1. Fallgruppe, die nach Deutschland importiert werden, kann die zuständige Behörde des Herstellerstaates ein besonderes Lufttüchtigkeitszeugnis für den Export oder ein normales Lufttüchtigkeitszeugnis erstellen. Nach dem *Mehrseitigen Übereinkommen über Lufttüchtigkeitszeugnisse eingeführter Luftfahrzeuge*[51] sind die Vertragsparteien verpflichtet, die Lufttüchtigkeit eines Luftfahrzeugs zum Zweck der Einfuhr gegenseitig anzuerkennen; dies aber nur unter bestimmten Voraussetzungen, u. a. nur bei Einhaltung der im Chicagoer Abkommen vorgeschriebenen Mindestanforderungen bezüglich der Lufttüchtigkeit. Entsprechendes gilt für gebrauchte im Ausland bereits zugelassene Luftfahrzeuge.

Für Luftfahrzeuge der 2. Fallgruppe gilt nach Art. 33 Chicagoer Abkommen, dass die Lufttüchtigkeitszeugnisse, die vom Vertragsstaat, in dem das Luftfahrzeug eingetragen ist, ausgestellt oder als gültig anerkannt worden sind, von den anderen Vertragsstaaten als gültig anerkannt werden müssen. Dies gilt allerdings nur, wenn die Anforderungen, nach denen die Zeugnisse ausgestellt oder anerkannt worden sind, den Mindestanforderungen des Chicagoer Abkommens entsprechen oder darüber hinausgehen. Dies bedeutet, dass im Ausland zugelassenen Luftfahrzeugen, welche die Lärmgrenzwerte von *Annex 16* des Chicagoer Abkommens einhalten, i. d. R. der Einflug in den deutschen Luftraum erlaubt ist. Die Einflugerlaubnis kann nicht mit der Begründung versagt werden, dass die Flugzeuge über die ICAO hinausgehende strengere nationale oder europäische Lärmschutzanforderungen nicht einhalten.

2.3.3.2 Musterzulassung (§§ 1 bis 5 LuftVZO)

Luftfahrtgerät darf in Deutschland grundsätzlich nur nach bestimmten Bauvorschriften (Lufttüchtigkeitsforderungen) gebaut werden (§ 32 Abs. 4 Nr. 1 LuftVG i. V. m. § 1 Abs. 1 Nr. 1, § 3 LuftVZO). Der Nachweis der Erfüllung dieser Forderungen wird für Luftfahrtgerät in der Musterprüfung erbracht, nach deren Abschluss die Musterzulassung ausgesprochen wird. Sinn und Zweck ist es zu verhindern, dass verkehrs-

[51] Übereinkommen vom 22.04.1960 (BGBl. II 1962, S. 23).

unsichere Luftfahrtgeräte in die Serienfertigung gelangen.[52] Rechtlich ist die Musterzulassung die staatliche Zulassung eines Flugzeugs mit der Wirkung, dass Einzelstücke, die dem zugelassenen Muster nachgebaut sind, zum Verkehr zugelassen werden können (§§ 15 ff. LuftGerPO).

Im Rahmen der Musterzulassung erfolgt auch die Lärmzertifizierung eines Luftfahrtgeräts. Für das Muster muss nachgewiesen werden, dass die technische Ausrüstung des Luftfahrzeugs so gestaltet ist, dass die durch seinen Betrieb entstehenden Lärm- und Abgasemissionen das nach dem jeweiligen Stand der Technik unvermeidbare Maß nicht übersteigen (§ 3 Abs. 2 Nr. 2, § 3 Abs. 3 LuftVZO). Beim „Stand der Technik“ handelt es sich um einen unbestimmten Rechtsbegriff ohne Beurteilungsspielraum, der in der Praxis durch das LBA (siehe zum LBA: Kapitel 2.3.3.3) konkretisiert wird.[53] Nach Anhörung der Luftfahrtindustrie gibt das LBA die festgelegten Lärm- und Abgasemissionsgrenzwerte in den Nachrichten für Luftfahrer (NfL) bekannt (§ 3 Abs. 2 Nr. 2 LuftVZO). Die derzeit gültigen Lärmvorschriften sind in den „Lärmvorschriften für Luftfahrzeuge (LVL)“ vom 1. August 2004 geregelt.[54] Die LVL verweist bei zivilen Unterschall-Strahlflugzeugen auf die im *Annex 16* zum Chicagoer Abkommen beschriebenen Nachweisverfahren sowie die dort genannten Lärmgrenzwerte (siehe Kapitel 2.5).

Hat die zuständige Stelle im Rahmen der Verkehrszulassung Zweifel, ob das Ausmaß des durch den Betrieb entstehenden Geräuschs dem des lärmschutzgeprüften Musters entspricht, kann sie eine entsprechende Bescheinigung durch eine ihrer Meinung nach geeignete Stelle verlangen (§ 8 Abs. 2 Nr. 6 LuftVZO).

Die Musterzulassung und die Verkehrszulassung garantieren nicht die unbeschränkte Nutzung des Luftraums, da sie ausschließlich Voraussetzung für die Aufnahme des Luftverkehrs sind.[55] Das gleiche gilt für das Lärmzeugnis nach § 11 c LuftVO.[56] Nach § 11 c Abs. 1 Satz 1 LuftVO dürfen zivile Flugzeuge mit Strahltriebwerken in Deutschland nur dann starten und landen, wenn sie ein Lärmzeugnis oder eine ihm entsprechende Urkunde des Staates haben, in denen sie zum Verkehr zugelassen sind. Das Lärmzeugnis ist danach Voraussetzung für Starts und Landungen im Bereich der Bundesrepublik Deutschland, aber dies bedeutet nicht, dass

52 Giemulla / Schmid, § 2 LuftVG, Rn 5.

53 Giemulla / Schmid, § 3 LuftVZO, Rn 18; Schulte 2003, S. 125.

54 Vorgänger dieser Vorschrift waren bis zum Juli 2003 die „Lärmschutzanforderungen für Luftfahrzeuge (LSL)“.

55 Gronefeld 2003, S. 84.

56 Luftverkehrs-Ordnung (LuftVO) in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. März 1999, BGBl. I S. 580; zuletzt geändert durch die 8. Zuständigkeitsanpassungsverordnung vom 25. November 2003, BGBl. I, S. 2304.

ein jederzeitiger Zugang zu Verkehrsflughäfen oder ein Anspruch auf Freistellung von Betriebsbeschränkungen besteht.[57]

2.3.3.3 Das Luftfahrt-Bundesamt

Das Luftfahrt-Bundesamt (LBA) ist als Bundesoberbehörde für Aufgaben der Zivilluftfahrt zuständig. Es untersteht dem Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (BMVBS). Oberstes Ziel des LBA ist die Abwehr von Gefahren für die Sicherheit der Luftfahrt sowie für die öffentliche Sicherheit und Ordnung.

Die Aufgaben des LBA sind im Gesetz über das LBA[58] geregelt. So nimmt es in Deutschland die Aufgabe der Verkehrs- und Musterzulassung von Luftfahrzeugen wahr. Die Lärmzulassung ist ebenso wie die Emissionszulassung von Triebwerken Bestandteil dieser Aufgabe. Weitere Aufgaben sind die Prüfung oder Überwachung der Prüfungen zur Feststellung der Verkehrssicherheit (Lufttüchtigkeit) des Luftfahrtgeräts, die Zulassung der Muster des Luftfahrtgeräts, die Zulassung des Luftfahrtgeräts zum Luftverkehr, die Führung der Luftfahrzeugrolle sowie sonstiger Verzeichnisse für Luftfahrtgerät oder die stichprobenweise Kontrolle des technischen und betrieblichen Zustandes von Luftfahrzeugen als Maßnahme der Luftaufsicht nach § 29 LuftVG.

2.3.4 Zwischenfazit

Die Regelungen für die Musterzulassung von Luftfahrzeugen sind sowohl auf der internationaler, europäischer und nationaler Ebene zu finden, wobei die Lärmschutzanforderungen sich an den Vorgaben im *Annex 16* orientieren. Einen Überblick über die anzuwendenden Regelwerke für die Musterzulassung und die Lärmschutzanforderungen gibt die folgende Abbildung 3.

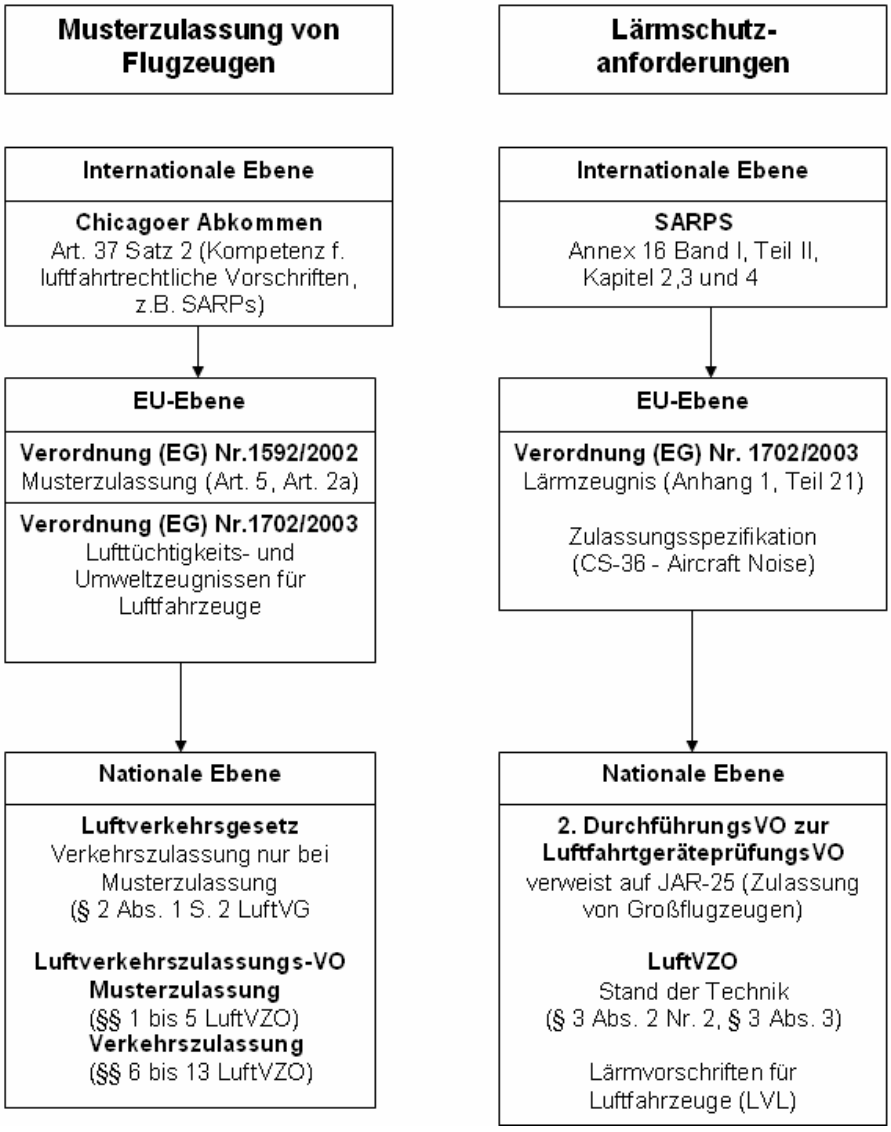
Rechtlich ist es umstritten, inwieweit aus den Internationalen Richtlinien (*International Standards*) und Empfehlungen (*Recommended Practices*) der ICAO, zu denen auch die Lärmzertifizierung nach *Annex 16* zählt, eine Pflicht zur Übernahme der Regelungsinhalte für die Vertragsstaaten (und damit auch für Deutschland) folgt. Deutschland könnte danach im Rahmen der Musterzulassung auch von den Vorgaben der ICAO in *Annex 16* abweichen und strengere Lärmgrenzwerte für in Deutschland zugelassene Luftfahrzeuge erlassen. Diese müssten der ICAO lediglich bekannt gemacht werden.

---

[57] Gronefeld 2003, S. 84.

[58] Gesetz über das Luftfahrt-Bundesamt vom 30. November 1954, BGBl. I, S. 354, zuletzt geändert durch Art. 288 der siebten Zuständigkeitsanpassungs-Verordnung, vom 29. Oktober 2001, BGBl. I, S. 2785.

Abbildung 3 Überblick über die anzuwendenden Regelwerke für die Musterzulassung und die Lärmschutzanforderungen



Dem stehen allerdings zwei Bedenken stark entgegen. So haben die ICAO-Empfehlungen eine so weite Verbreitung, dass sie faktisch eine weltweit gültige Zulassungsnorm für neu entwickelte Flugzeuge darstellen. Eine Verschärfung der Lärmgrenzwerte für in Deutschland zugelassene Luftfahrzeuge würde wegen der internationalen Verflechtung zu einer Benachteiligung der deutschen Halter führen. Denn aufgrund von Art. 33 Chicagoer Abkommen und aufgrund zwei- und mehrseitiger Luftverkehrsabkommen ist Deutschland verpflichtet, den Verkehr im Ausland zugelassener Luftfahrzeuge in Deutschland zu dulden, insbesondere wenn diese

Luftfahrzeuge den ICAO-Standards entsprechen.[59] Eine einseitige Verschärfung für deutsche Halter würde zu dem widersprüchlichen Ergebnis führen, dass ausländische Halter mit lärmstärkeren Luftfahrzeugen des gleichen Musters in Deutschland verkehren dürften.

Zudem ist zu beachten, dass die Normsetzungskompetenz für Verkehrs- und Musterzulassungen von Strahlflugzeugen durch die Verordnung (EG) Nr. 1592/2002 auf die EU-Ebene übergegangen ist. Fraglich ist, inwieweit die aufgrund der Verordnung (EG) Nr. 1702/2003 erlassenen Zulassungsspezifikationen, z. B. CS-36 (Aircraft Noise), für Deutschland Verbindlichkeit erlangt. So ist im Rahmen der Musterzulassung von Luftfahrzeugen in den Mitgliedstaaten der EU, die von der EASA aufgestellte Zulassungsspezifikation CS-36 (*Aircraft Noise*) zu beachten, die wiederum auf die ICAO Vorgaben in *Annex 16* verweist. Ob den Zulassungsspezifikationen der EASA eine für die Mitgliedstaaten verbindliche Wirkung zukommt, ist allerdings derzeit rechtlich noch nicht geklärt.

2.3.5 An die Lärmzertifizierung anknüpfende Rechtsvorschriften

Lärmprobleme an Flughäfen können nicht nur durch die stetige Fortentwicklung von lärmärmeren Flugzeugen vermindert werden, sondern auch durch Betriebsbeschränkungen und -verbote an Flughäfen für ältere oder besonders laute Flugzeuge. Sowohl durch Beschränkungen und Verbote als auch durch lärmabhängige Start- und Landeentgelte kann an Flughäfen Einfluss auf die Entwicklungsdynamik von lärmärmeren Flugzeugen ausgeübt werden. Beide Instrumente haben dabei einen Bezug zum ICAO *Annex 16*, indem sie auf die *Chapter*-Stufen zurückgreifen. Dazu wird zunächst die Betriebsbeschränkungs-Richtlinie 2002/30/EG[60], die Betriebsbeschränkungen einschließlich Start- und Landeverboten an Flughäfen mit Lärmproblemen vorsieht, sowie ihre Umsetzung in Deutschland vorgestellt. Anschließend wird auf die Grundprinzipien des Chicagoer Abkommens sowie der Vorgaben auf europäischer und nationaler Ebene für die Festlegung von Start- und Landeentgelten eingegangen.

[59] Schwenk / Giemulla 2005, S. 296.

[60] Richtlinie 2002/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. März 2002 über Regeln und Verfahren für lärmbedingte Betriebsbeschränkungen auf Flughäfen der Gemeinschaft, ABl. der EG Nr. L 85/40 vom 28.03.2002.

2.3.5.1 Richtlinie über lärmbedingte Betriebsbeschränkungen 2002/30/EG

Die Richtlinie über lärmbedingte Betriebsbeschränkungen 2002/30/EG[61] hat das Ziel, an Flughäfen der Mitgliedstaaten einen gemeinsamen Rahmen von Regeln und Verfahren für Betriebsbeschränkungen zu schaffen.[62] An Flughäfen mit vergleichbaren Lärmproblemen sollen zukünftig die gleichen Betriebsbeschränkungen gelten.[63]

Ziel der folgenden Untersuchung ist es, herauszuarbeiten, ob und welche Betriebsbeschränkungen die Richtlinie ermöglicht und unter welchen Bedingungen, insbesondere für welche Lärmzertifizierungsklassen, die Betriebsbeschränkungen zulässig sind.

Zunächst ist festzustellen, dass die Richtlinie nur für bestimmte Flughäfen gilt, so für Zivilflughäfen in den Mitgliedstaaten mit mehr als 50.000 Flugbewegungen[64] ziviler Unterschallflugzeuge im Kalenderjahr (Art. 2 lit. a Richtlinie 2002/30/EG) sowie für Stadtflughäfen (Art. 2 lit. b i. V. m. Anhang I Richtlinie 2002/30/EG).[65] Die Flughäfen, die derzeit nach der Richtlinie 2002/30/EG als Stadtflughäfen angesehen werden, sind in Anhang I der Richtlinie aufgeführt.[66] Danach ist Berlin-Tempelhof der einzige deutsche Stadtflughafen. Allerdings ist die Liste nicht statisch, sondern kann in einem so genannten Regelungsverfahren geändert werden.[67]

Art der Betriebsbeschränkungen

Die Richtlinie erlaubt Betriebsbeschränkungen an den oben genannten Flughäfen unter Berücksichtigung der Vorgaben in Art. 4, 5 und 6 Richtlinie 2002/30/EG. Unter Betriebsbeschränkung versteht die Richtlinie,

> *„eine lärmrelevante Maßnahme zur Begrenzung oder Reduzierung des Zugangs ziviler Unterschallflugzeuge zu einem Flughafen. Darin*

---

61 Richtlinie 2002/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26.März 2002 über Regeln und Verfahren für lärmbedingte Betriebsbeschränkungen auf Flughäfen der Gemeinschaft, ABl. Nr. L 85/40 vom 28.03.2002.

62 Vgl. dazu das Ziel in Art. 1 lit. a Richtlinie 2002/30/EG.

63 Vgl. den 7. Erwägungsgrund der Richtlinie 2002/30/EG.

64 Die Anzahl der Flugbewegungen ist unter Berücksichtigung des Durchschnitts der letzten drei Kalenderjahre vor der Anwendung der Bestimmungen dieser Richtlinie auf den betreffenden Flughafen zu ermitteln. Als „ziviles Unterschallflugzeug“ definiert Art. 2 lit. c Richtlinie 2002/30/EG ein Flugzeug mit einer höchstzulässigen Startmasse von 34.000 kg oder mehr oder mit einer maximalen Sitzzahl von mehr als 19 Passagiersitzen.

65 Unter Stadtflughafen versteht die Richtlinie einen „Flughafen im Zentrum eines Ballungsraums, der über keine Piste mit einer Startrollstrecke von mehr als 2.000 m verfügt und der lediglich Punkt-zu-Punkt-Flugdienste zwischen europäischen Staaten oder innerhalb europäischer Staaten anbietet, wo eine große Anzahl von Menschen objektiv durch Fluglärm belästigt wird und wo jede Zunahme der Flugbewegungen bei der extremen Lärmsituation eine besonders große Belästigung bedeutet“.

66 Zu den Stadtflughäfen in Anhang I zählen bislang: Berlin-Tempelhof, Stockholm Bromma, London City, Belfast City.

67 Art. 2 Abs. 2 i. V. m. Art. 13 Abs. 3 Richtlinie 2002/30/EG und Art. 5 des Beschlusses 1999/468/EG.

eingeschlossen sind Betriebsbeschränkungen, durch die knapp die Vorschriften erfüllende Luftfahrzeuge von bestimmten Flughäfen abgezogen werden sollen, sowie partielle Betriebsbeschränkungen, die den Betrieb ziviler Unterschallflugzeuge je nach Zeitraum einschränken." (Art. 2 lit. e Richtlinie 2002/30EG).

Die Definition des Begriffs „Betriebsbeschränkung" i. S. d. Richtlinie ist weit zu verstehen. Es soll jede „lärmrelevante Maßnahme" davon erfasst werden, die das Ziel hat, den Zugang von zivilen Unterschallflugzeugen zu einem Flughafen zu begrenzen oder zu reduzieren. Dieses weite Verständnis fußt zum einen auf dem Spielraum, den der unbestimmte Rechtsbegriff „lärmrelevante Maßnahme" lässt und zum anderen auf der Formulierung „darin eingeschlossen", die darauf hinweist, dass es sich bei den genannten lärmrelevanten Maßnahmen um eine nicht abschließende Aufzählung handelt.

Als Betriebsbeschränkungen zählt die Richtlinie in Art. 2 lit. e ausdrücklich die folgenden auf:

- Betriebsbeschränkungen, durch die knapp die Vorschriften erfüllende Luftfahrzeuge von bestimmten Flughäfen abgezogen werden sollen,
- partielle Betriebsbeschränkungen, die den Betrieb ziviler Unterschallflugzeuge je nach Zeitraum einschränken.

Als weitere Betriebsbeschränkungen zählt Nr. 1.4 Anhang II der Richtlinie 2002/30/EG, u. a. auf:

- die Festlegung von Lärmhöchstwerten,
- die Einschränkung oder das Verbot nächtlicher Starts und Landungen,
- die Bevorzugung bestimmter Start- und Landebahnen sowie
- die Erhebung von Lärmentgelten.

Nicht mehr zu den Betriebsbeschränkungen im Sinne der Richtlinie 2002/30/EG zählen sicherlich die Musterzulassung und die Lärmzertifizierung von Luftfahrzeugen. Für diese besteht mit den Verordnungen Nr. 1592/2002 und Nr. 1702/2003 ein eigener Regelungsbereich, der nicht konkrete Betriebsbeschränkungen an Flughäfen betrifft, sondern die generelle „Betriebserlaubnis" von Luftfahrzeugen in Europa (vgl. die Abschnitte 2.3.2.1 und 2.3.2.2).

Umfang der Betriebsbeschränkungen / *Balanced Approach*

Zu klären ist zudem der Umfang der möglichen Betriebsbeschränkungen an einem Flughafen und hier insbesondere die Frage, ob der Erlass und das Ausmaß der Betriebsbeschränkungen von einer bestimmten Lärmklassifizierung abhängen.

Dabei ist zunächst festzuhalten, dass die Mitgliedstaaten beim Erlass von allen Betriebsbeschränkungen nach der Richtlinie 2002/30/EG den so genannten *Balanced Approach* („ausgewogenen Ansatz") verfolgen müssen (Art. 4 Abs. 1 Richtlinie

2002/30/EG). Der *Balanced Approach* ist ein Verfahrenskonzept zur Bekämpfung von Fluglärm, auf den sich die Vertragsstaaten der ICAO auf der 33. ICAO-Versammlung in der Entschließung A33-7[68] geeinigt haben. Die Richtlinie definiert den „ausgewogenen Ansatz" in Art. 2 lit. g als

> *„Ansatz, innerhalb dessen die Mitgliedstaaten die möglichen Maßnahmen zur Lösung des Lärmproblems auf einem Flughafen auf ihrem Gebiet prüfen, insbesondere die absehbare Auswirkung einer Reduzierung des Fluglärms an der Quelle, der Flächennutzungsplanung und -verwaltung der lärmmindernden Betriebsverfahren und Betriebsbeschränkungen."*

Damit übernimmt die Kommission[69] in der Betriebsbeschränkungsrichtlinie das Verfahrenskonzept des *Balanced Approach* der ICAO auch für die Flughäfen der Gemeinschaft.[70] Im Gemeinschaftsrecht selbst sind weitergehende Informationen zum Hintergrund des *Balanced Approach* und der Anwendung in der EU aus den Unterlagen zum Gesetzgebungsverfahren der EU-Betriebsbeschränkungsrichtlinie nicht vorhanden, insbesondere sind in den Gesetzesmaterialien über die eigentlichen Vorschriften hinaus keine konkreten Aussagen zum „Umfang" des *Balanced Approach* enthalten.[71] Das Parlament betont in seiner Stellungnahme zur 1. Lesung, dass der ausgewogene Ansatz ein wichtiger Schritt ist, um Lärmminderung zu erreichen. Es weist aber darauf hin, dass ebenfalls strengere technische Normen, beispielsweise strengere Lärmnormen für Flugzeuge, bei gleichzeitiger Außerdienststellung lauter Flugzeuge notwendig sind, um eine effektive und dauerhafte Lärmreduzierung zu erreichen.[72] Für die Auslegung des *Balanced Approach* auf der Ebene des Gemeinschaftsrechts sind damit die Resolution A 33-7 sowie erläuternde Dokumente

---

68 Vgl. zum „*Balanced Approach*": Assembly Resolution A33-7, insbesondere Anhang B und C, unter: www.icao.int/icao/en/env/a33-7.htm.

69 Vgl. auch den 10. Erwägungsgrund der Richtlinie 2002/30/EG.

70 Hobe/Stoffel 2002 weisen darauf hin, dass die Definition des *Balanced Approach* völlig der Definition der ICAO Resolution A 33-7 Annex C entspricht und sie nicht im Wege einer dynamischen Verweisung übernommen werden konnte, da dies die Rechte und Pflichten der europäischen Gesetzgebungsorgane, über das anzuwendende Recht autonom zu entscheiden, verletzen würde.

71 Vgl. den Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über Regeln und Verfahren für lärmbedingte Betriebsbeschränkungen auf Flughäfen der Gemeinschaft KOM (2001) 695 endg. vom 28.11.2001; den Bericht des Ausschusses für Regionalpolitik, Verkehr und Fremdenverkehr (A5-0053/2002) endg. vom 25.02.2002; die Stellungnahme des Ausschusses der Regionen (ABl. der EU Nr. C 192 vom 12.8.2002, S. 63), die Stellungnahme des Wirtschafts- und Sozialausschusses (ABl. der EU Nr. C 125 vom 27.5.2002, S. 14).

72 Vgl. den 11. Erwägungsgrund im Standpunkt des Parlaments, ABl. der EU Nr. C 47E vom 27.02.2003, S. 392.

entscheidend.[73] Zu berücksichtigen ist das Dokument 9829 „*Guidance on the Balanced Approach to Aircraft Noise Management*“.[74]

Der von der ICAO entwickelte *Balanced Approach* zur Verminderung (engl. Management) von Lärm an Flughäfen beinhaltet die Identifizierung eines Lärmproblems an einem Flughafen und die Analyse der verschiedenen verfügbaren Maßnahmen zur Verminderung von Lärm. Zur Erreichung des Ziels, den Lärm so kostengünstig wie möglich zu verringern, sind vier Elemente zu berücksichtigen:[75]

- Minderung des Lärms an der Quelle (engl. „*reduction at source*“),
- Flächennutzung und -verwaltung (engl. „*land-use planning and management*“),
- Lärmmindernde Betriebsverfahren (engl. „*noise abatement operational procedures*“),
- Begrenzungen des Flugbetriebs (engl. „*operating restrictions*“).

Unter “*operating restriction*”[76] versteht die ICAO jede lärmbezogene Maßnahme, die den Zugang eines Luftfahrzeugs zu einem Flughafen begrenzt oder reduziert (engl. „any noise-related action that limits or reduces access of an aircraft to an airport”).[77]

Die Definition der „Betriebsbeschränkung“ in Art. 2 lit. e Richtlinie 2002/30/EG baut auf der ICAO-Definition auf, beschreibt sie aber ausführlicher. Nach der Definition in Art. 2 lit. e sind Betriebsbeschränkungen im Rahmen der Richtlinie nur aufgrund der Lärmeigenschaft des Flugzeugs zulässig („lärmrelevante Maßnahme“). Betriebsbeschränkungen für zivile Unterschallflugzeuge können dazu dienen, dass

- eine bestimmte Anzahl von (zukünftigen oder möglichen) Flugbewegungen an einem Flughafen nicht überschritten wird („Begrenzung“),
- eine bestehende Anzahl von Flugbewegungen zurückgefahren wird („Reduzierung“),

---

73 Es ist nicht entscheidend, ob mit dieser Bezugnahme tatsächlich, wie nach Ansicht von Hobe/Stoffel 2002 (S. 199), der ganze Inhalt der Resolution A 33-7 Bestandteil des Gemeinschaftsrechts wird oder die Resolution nur als Auslegungsmaterial im Rahmen der Auslegung herangezogen wird.

74 ICAO; Guidance on the Balanced Approach to Aircraft Noise Management, DOC 9829 AN/451, First Edition 2004. Die Leitlinien der ICAO im Dokument 9829 stehen unterhalb der SARPs selbst und haben keine direkte Bindungswirkung für die Vertragsstaaten der ICAO, sondern können selbst nur zur Auslegung der SARPs dienen (vgl. zu den SARPs Kapitel 2.3.1.2).

75 Vgl. die Erklärung im Glossar der ICAO, “*Guidance on the Balanced Approach to Aircraft Noise Management*”, DOC 9829. Vgl. ferner die Stellungnahme Nr. 1.11 des Wirtschafts- und Sozialausschusses des Europäischen Parlaments, ABl. Nr. C 125 vom 27.5.2002, S. 14.

76 Diese sind im Kontext des Gutachtens von besonderer Bedeutung und werden deshalb weitergehend untersucht.

77 Gemäß Nr. 7.7.1. ICAO, “*Guidance on the Balanced Approach to Aircraft Noise Management*”, DOC 9829. Vgl. auch die gleichlautende Erklärung im Glossar zum vorgenannten ICAO-Dokument.

- Luftfahrzeuge von einem Flughafen verbannt werden („von bestimmten Flughäfen abgezogen werden“), was die Richtlinie aber explizit nur für „knapp die Vorschriften erfüllende Luftfahrzeuge regelt,
- der Zugang zeitlich beschränkt ist („partielle Betriebsbeschränkungen“).

Die Prüfung des möglichen Umfangs der Betriebsbeschränkungen entsprechend dem *Balanced Approach* kann als eine Verhältnismäßigkeitsprüfung verstanden werden, also einer Anforderung, der alle Rechtsvorschriften in der EU oder in Deutschland genügen müssen. Die Verhältnismäßigkeitsprüfung, angewandt auf das Verfahrenskonzept des *Balanced Approach,* bedeutet, dass die getroffenen Maßnahmen geeignet und erforderlich sein müssen, um das Lärmproblem zu lösen. Geeignet ist eine Maßnahme, wenn sie das Ziel – hier die Lärmverminderung – fördert. Erforderlich ist eine Maßnahme, wenn es keine gleich geeignete weniger einschränkende Maßnahme zur Lösung des Lärmproblems gibt. In der Richtlinie 2002/30/EG wird die Eignung der Maßnahme oder des Maßnahmenpakets als „nicht restriktiver, als es zur Verwirklichung der für einen bestimmten Flughafen festgelegten Umweltziele notwendig ist“ (Art. 4 Abs. 3, S. 1) definiert.

Neben diesen grundsätzlich zu berücksichtigenden Anforderungen an Betriebsbeschränkungen enthält die Richtlinie 2002/30/EG spezielle Regelungen für **„knapp die Vorschriften erfüllende Luftfahrzeuge“.** Für diese dürfen an einem Flughafen ganztägige Start- und Landeverbote erlassen werden (Art. 6 Abs. 1 S. 1 Richtlinie 2002/30/EG). Unter „knapp die Vorschriften erfüllende Luftfahrzeuge“ sind solche zu verstehen, welche die in Anhang 16, ***Chapter 3*** **des ICAO-Abkommens festgelegten Höchstwerte um eine kumulative Marge von höchstens 5 EPNdB unterschreiten** (Art. 2 lit. d Richtlinie 2002/30/EG). Allerdings darf ein vollständiger Ausschluss dieser Flugzeuge erst erlassen werden, wenn eine nach Art. 5 Richtlinie 2002/30/EG durchgeführte Prüfung aller möglichen Maßnahmen - einschließlich partieller Betriebsbeschränkungen - zu dem Ergebnis kommt, dass die Lärmschutzziele für diesen Flughafen anders nicht erreicht werden können. Für den vollständigen Ausschluss von knapp die Vorschriften erfüllenden Luftfahrzeugen sieht Art. 6 Abs. 1 lit. a und b Richtlinie 2002/30/EG ein gegenüber Art. 9 der Verordnung (EWG) Nr. 2408/92 abweichendes Verfahren vor. So dürfen erst sechs Monate nach Abschluss der Prüfung und des Beschlusses zur Betriebsbeschränkung auf dem Flughafen keine im Vergleich zur entsprechenden Vorjahresperiode zusätzlichen Flugbewegungen mit knapp die Vorschriften erfüllenden Luftfahrzeugen zugelassen werden (Art. 6 Abs. 1 lit. a Richtlinie 2002/30/EG). Frühestens sechs Monate danach kann erst von jedem Betreiber verlangt werden, die Zahl der Flugbewegungen seiner nur knapp die Vorschriften erfüllenden Luftfahrzeuge, die den betreffenden Flughafen anfliegen, um jährlich bis zu 20 % der ursprünglichen Gesamtzahl an Flugbewegungen zu reduzieren (Art. 6 Abs. 1 lit. b Richtlinie 2002/30/EG).

Auch für alle anderen ***Chapter 3*** **Flugzeuge, die nicht zu den knapp die Vorschriften erfüllenden gehören**, könnte eine Prüfung entsprechend Art. 5 i. V. m.

Anhang II Richtlinie 2002/30/EG zu dem Ergebnis kommen, dass nur ein partielles oder vollständiges Start- und Landeverbot zur Erreichung der Lärmschutzziele an dem Flughafen führt. Bei **Stadtflughäfen** ermöglicht die Richtlinie einen entsprechenden Ausschluss von *Chapter 3* Flugzeugen sogar ausdrücklich (Art. 6 Abs. 2 i. V. m. Art. 6 Abs. 1 Richtlinie 2002/30/EG). Über den „Umweg" der Definition von knapp die Vorschriften erfüllenden Luftfahrzeugen können die Mitgliedstaaten unter Berücksichtigung des *Balanced Approach* auch *Chapter 3* Flugzeuge von einem Stadtflughafen ausschließen, indem sie die Definition in Art. 2 lit. d zu den „*knapp die Vorschriften erfüllenden Luftfahrzeugen*" strenger auslegen. Jedoch darf die Begriffsbestimmung der knapp die Vorschriften erfüllenden Luftfahrzeuge nicht soweit ausgedehnt werden, dass davon auch *Chapter 4* Flugzeuge erfasst werden (Art. 6 Abs. 2, 2. Halbsatz Richtlinie 2002/30/EG). Deutschland hat von dieser Ausdehnung der Begriffsbestimmung für knapp die Vorschriften erfüllende Luftfahrzeuge an Stadtflughäfen Gebrauch gemacht und lässt auch die *Chapter 3* Flugzeuge darunter fallen (siehe unten in Abschnitt 2.3.5.2).

Ein ausdrücklich formuliertes Verbot für Betriebsbeschränkungen bei ***Chapter 4* Flugzeugen** enthält die Richtlinie 2002/30/EG nicht. Aber ausgehend von der Regelung in Art. 6 Abs. 2, 2. Halbsatz 2002/30/EG, die zwei unterschiedliche Regelungsaspekte verknüpft, werden für *Chapter 4* Flugzeuge in der Literatur zum Luftverkehrsrecht Schlussfolgerungen gezogen.

Nach Ansicht von Hobe/Stoffel ist aus der Regelung in Art. 6 Richtlinie 2002/30/EG zu schließen, dass für *Chapter 4* Flugzeuge einheitliche Lärmstandards innerhalb der EU gelten sollen. Daraus folge, dass typenbezogene Betriebsbeschränkungen von *Chapter 4* Flugzeugen, z. B. in der Form von „Chapter 4+Bonusliste Luftfahrzeuge" unzulässig seien.[78] Der Grund liege darin, dass die Kommission mit der Richtlinie 2002/30/EG eine abschließende Harmonisierung der Regelungen zur Beschränkung von *Chapter 3* und *Chapter 4*-Flugzeugen habe treffen wollen. Weiterhin kommen Hobe/Stoffel in einem Erstrechtschluss zu der Auffassung, dass die Untersagung von schärferen Lärmstandards in der Richtlinie für *Chapter 4* Flugzeuge bei Stadtflughäfen, auf denen strengere Maßstäbe möglich sind,[79] dann erst recht auch bei allen anderen Flughäfen im Sinne von Art. 2 lit. a Richtlinie 2002/30/EG gelten muss.[80] Im Folgenden soll auf diese beiden Punkte näher eingegangen werden:

1) Die zeitlichen Beschränkungen für *Chapter 4* Flugzeuge
2) Die Verschärfung der Lärmstandards für *Chapter 4* Flugzeuge (*Chapter 4*-Bonusliste)

[78] Stoffel 2004, S. 65.

[79] Vgl auch den 15. Erwägungsgrund der Richtlinie 2002/30/EG.

[80] Hobe/Stoffel 2002, S. 201.

1) **Zeitliche Betriebsbeschränkungen für *Chapter 4* Flugzeuge**:

Es ist zwischen Betriebsbeschränkungen, die auf den Abzug von Flugzeugen an einem Flughafen gerichtet sind und partiellen Betriebsbeschränkungen zu unterscheiden. Betriebsbeschränkungen mit dem Ziel eines Abzugs von *Chapter 4* Flugzeugen an einem Flughafen, sind nach der Betriebsbeschränkungsrichtlinie nicht zulässig. Als Ergebnis einer Prüfung nach Art. 5 i. V. m. Anhang II 2002/30/EG können aber partielle Betriebsbeschränkungen auch für *Chapter*-4-Flugzeuge möglich sein.[81] Dies folgt aus dem im EG-Recht anerkannten Verhältnismäßigkeitsgrundsatz, wonach eine Maßnahme u. a. erforderlich sein muss. Erforderlich ist eine Maßnahme, wenn es keine andere Maßnahme gibt, die das Ziel ebenso gut erreicht aber weniger einschränkend für den Betroffenen ist. Übertragen auf eine partielle Betriebsbeschränkung für *Chapter*-4-Flugzeuge bedeutet dies: Partielle Betriebsbeschränkungen für *Chapter 4* Flugzeuge können erforderlich sein, wenn eine Verhältnismäßigkeitsprüfung ergibt, dass andere weniger einschneidende Maßnahmen nicht zu einer erfolgreichen Bekämpfung des Lärmproblems an einem Flughafen führen. Ist die partielle Betriebsbeschränkung erforderlich, muss sie schließlich nach dem Verhältnismäßigkeitsgrundsatz auch angemessen sein, d. h. die Maßnahme darf nicht völlig außer Verhältnis zum angestrebten Ziel stehen. Die Angemessenheit kann ebenso wie die Erforderlichkeit im Einzelfall an einem Flughafen mit einem Lärmproblem gegeben sein.[82]

Dieser Auslegung steht die Reglung in Art. 6 nicht entgegen. Bei Art. 6 handelt es sich um die speziellere Norm, die den allgemeineren Vorschriften in Art. 4 und Art. 5 Richtlinie 2002/30/EG vorgeht. Art. 6 Abs. 1 Richtlinie 2002/30/EG regelt, dass bei einem ganztägigen Start- und Landeverbot von knapp die Vorschriften erfüllenden Luftfahrzeugen - in Abweichung vom Verfahren nach Art. 9 Verordnung 2408/92/EWG - das in Art. 6 Abs. 1 lit. a und lit. b Richtlinie 2002/30/EG geregelte Verfahren anzuwenden ist. Der Vorrang von Art. 6 bezieht sich demnach nur auf Betriebsbeschränkungen mit dem Ziel des Abzugs von Flugzeugen (siehe auch die Überschrift des Artikels 6) nicht jedoch auf partielle Betriebsbeschränkungen.

2) **Verschärfung der Lärmstandards für *Chapter 4* Flugzeuge und Einführung einer *Chapter 4*-Bonusliste**:

Als Ausnahme erlaubt es Art. 6 Abs. 2 Richtlinie 2002/30/EG den Mitgliedstaaten eine abweichende Definition der knapp die Vorschriften erfüllenden Luftfahrzeugen auf den

---

[81] Vgl. auch Gronefeld, V., „Die Berücksichtigung der Lärmklassifizierung von Flugzeugen in der Flughafenplanung“, der für Chapter-4-Flugzeuge darauf hinweist, dass sich aus der Richtlinie 2002/30/EG keine Garantien für einen beschränkungsfreien Betrieb dieser Luftfahrzeuge ergeben, in: Ziekow, J. (Hrsg.), Speyerer Luftverkehrsrechtstag 2003, S. 83.

[82] Die Rechtmäßigkeit von Betriebsbeschränkungen in Deutschland für Chapter-4-Flugzeuge ist bislang gerichtlich noch nicht geklärt. Die Entscheidung des Bundesverwaltungsgerichts zum Flughafen „Berlin-Brandenburg-International“ (BBI) vom März 2006 könnte aber weiteren Aufschluss über die Zulässigkeit von Betriebsbeschränkungen für Chapter-4-Flugzeuge in Deutschland geben.

Stadtflughäfen zu erlassen, mit dem Ziel eines Abzugs von Flugzeugen an diesen Flughäfen. Dabei handelt es sich um eine *spezielle Regelung* für die Verschärfung der Lärmstandards von knapp die Vorschriften erfüllenden Luftfahrzeugen an *Stadtflughäfen*. Die Definition dieser Luftfahrzeuge darf nicht soweit reichen, dass *Chapter 4* Flugzeuge erfasst werden.

Für den Erlass von leistungsbedingten Betriebsbeschränkungen schreibt Art. 4 Abs. 4 Richtlinie 2002/30/EG hingegen generell vor, dass von den Lärmwerten nach *Annex 16* auszugehen ist. Daraus folgt, dass die Mitgliedstaaten innerhalb der bestehenden *Chapter*-Einteilung in *Annex 16* keine Verschiebungen von Lärmgrenzwerten im Hinblick auf leistungsbedingte Betriebsbeschränkungen vornehmen dürfen. Sie dürfen also z. B. nicht den Lärmgrenzwert für den Beginn von *Chapter* 4 zum Zwecke von leistungsbedingten Betriebsbeschränkungen hoch setzen oder innerhalb eines Chapters mit dem Ziel leistungsbedingter Betriebsbeschränkungen differenzieren. Damit ist den Mitgliedstaaten für *Chapter 4* Flugzeuge an Stadtflughäfen oder anderen Flughäfen im Sinne von Art. 2 lit. a Richtlinie 2002/30/EG untersagt, eine *Chapter 4*-Bonusliste mit dem Ziel einer differenzierten Entgeltordnung oder anderen Betriebsbeschränkungen zu erlassen.

Die Betriebsbeschränkungsrichtlinie untersagt es den Mitgliedstaaten aber nicht, für die Zulassung von Flugzeugen strengere Lärmgrenzwerte als *Chapter* 4 vorzuschreiben. Denn die Betriebsbeschränkungsrichtlinie gilt nur für den Betrieb von Flugzeugen. Die Verschärfung der Zulassungsgrenzwerte in den Mitgliedstaaten wäre nur dann europarechtswidrig, wenn die Betriebsbeschränkungsrichtlinie eine abschließende Regelung für den Rahmen von Lärmgrenzwerten treffen wollte. Die Kommission führt in ihrer Begründung zum Richtlinienvorschlag unter dem Punkt Subsidiarität und Verhältnismäßigkeit aus, dass die Betriebsbeschränkungsrichtlinie bei zwei Schlüsselparametern einen harmonisierten Ansatz erfordert:[83]

1. Bei den Schwellenwerten in Dezibel, die zur Begriffsbestimmung von knapp die Vorschriften erfüllenden Flugzeugen verwendet werden (Art. 6);
2. Bei der Prüfmethode in Zusammenhang mit der Lärmminderung (Art. 5 und Anhang 2).

Nach der Gesetzesbegründung sieht die Betriebsbeschränkungsrichtlinie keine weiteren abschließenden Harmonisierungsregelungen vor, insbesondere nicht zur Frage, ob die Mitgliedstaaten die Lärmgrenzwerte für die Flugzeugzulassung über *Chapter* 4 hinaus verschärfen dürfen.

[83] KOM (2001) 695 endgültig vom 28.11.2001, Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über Regeln und Verfahren für lärmbedingte Betriebsbeschränkungen auf Flughäfen der Gemeinschaft, Randnummer 25, S. 8.

2.3.5.2 Umsetzung der Richtlinie 2002/30/EG in Deutschland

Die Vorgaben der Betriebsbeschränkungsrichtlinie 2002/30/EG wurden in Deutschland mit der 8. Verordnung zur Änderung der Luftverkehrs-Zulassungs-Verordnung (LuftVZO) vom 4. April 2005 umgesetzt. Dazu wurden in der Luftverkehrs-Zulassungs-Verordnung[84] ein eigener Unterabschnitt (§ 48a bis § 48f LuftVZO) „Lärmbedingte Betriebsbeschränkungen von knapp die Vorschriften erfüllenden zivilen Unterschall-strahlflugzeugen an Flughäfen“ sowie eine neue Anlage 5[85] eingefügt, die die Vorgaben der Betriebsbeschränkungsrichtlinie weitgehend eins zu eins umsetzen.

So übernimmt § 48a LuftVZO die Definitionen von Art. 2 Richtlinie 2002/30/EG ergänzt um die Definition eines „Entwicklungslandes“. § 48b LuftVZO regelt in Umsetzung des Art. 6 Richtlinie 2002/30/EG die **Betriebsbeschränkungen** für knapp die Vorschriften erfüllende Unterschallstrahlflugzeuge. Nach § 48b Abs. 1 LuftVZO steht ein mögliches Start- und Landeverbot für knapp die Vorschriften erfüllende Luftfahrzeuge an einem Flughafen im Ermessen der Luftfahrtbehörde. Das im Fall eines Start- und Landeverbots einzuhaltende Verfahren nach Art. 6 Abs. 1 lit. a und b Richtlinie 2002/30/EG wird in § 48d LuftVZO übernommen.

Für **Stadtflughäfen** macht die LuftVZO in § 48b Abs. 2 von der Möglichkeit in Art. 6 Abs. 2 Richtlinie 2002/30/EG Gebrauch, strengere Maßnahmen zu erlassen. Art. 6 Abs. 2 erlaubt den Mitgliedstaaten, an Stadtflughäfen auch für andere Luftfahrzeuge als knapp die Vorschriften erfüllende Luftfahrzeuge Start- und Landeverbote zu erlassen; jedoch nicht für solche Luftfahrzeuge, die die Lärmstandards von *Chapter* 4 in *Annex 16* erfüllen. Dies bedeutet faktisch, dass nach Art. 6 Abs. 2 auch für *Chapter 3* Flugzeuge an Stadtflughäfen Start- und Landeverbote ausgesprochen werden können. Die Regelung in § 48b Abs. 2 LuftVZO schöpft diesen Rahmen der Richtlinie 2002/30/EG voll aus, indem sie Start- und Landeverbote an Stadtflughäfen in Deutschland auch für Luftfahrzeuge, die den kumulativen Höchstwert von *Chapter 3* Flugzeugen um bis zu 10 EPNdB unterschreiten, in das Ermessen der Behörde stellt (vgl. auch die grafische Darstellung in Abbildung 12). Allerdings wird diese Regelung keine einschneidende Wirkung in Deutschland entfalten, da sie bislang nur für den Stadtflughafen Berlin-Tempelhof anwendbar ist.

Im Hinblick auf die Regelungsmöglichkeiten zu Betriebsbeschränkungen für **andere als knapp die Vorschriften erfüllende Luftfahrzeuge** bleiben die Regelungen in den §§ 48 a bis f LuftVZO hinter den Vorgaben des Art. 4 und des Art. 5 der Richtlinie 2002/30/EG zurück. So sehen Art. 4 und Art. 5 Richtlinie 2002/30/EG auch Vorgaben zu Betriebsbeschränkungen für andere Luftfahrzeuge als knapp die Vorschriften erfüllende Luftfahrzeuge vor. Danach können die Mitgliedstaaten bei Lärmproblemen

---

84 In der Fassung der Bekanntmachung vom 27. März 1999, BGBl. I, S. 610, zuletzt geändert durch die 9. Verordnung zur Änderung der Luftverkehr-Zulassungs-Ordnung vom 27. Juli 2005., BGBl. I, S. 2275.

85 Die Anlage 5 der LuftVZO entspricht dem Anhang II der Richtlinie 2002/30/EG.

an Flughäfen, im Rahmen des *Balanced Approach* grundsätzlich Betriebsbeschränkungen prüfen, wie z. B. Lärmentgelte, Lärmhöchstwerte sowie Beschränkungen oder Verbote nächtlicher Starts und Landungen. Die Umsetzung in der LuftVZO regelt hingegen nur Betriebsbeschränkungen für knapp die Vorschriften erfüllende Luftfahrzeuge.

In § 48f Abs. 1 LuftVZO findet sich schließlich die Umsetzung der in Art. 8 Richtlinie 2002/30/EG geregelten Freistellung von knapp die Vorschriften erfüllenden Luftfahrzeugen, die in Entwicklungsländern eingetragen sind. Danach sind knapp die Vorschriften erfüllende Luftfahrzeuge aus Entwicklungsländern von den Betriebsbeschränkungen nach § 48b LuftVZO unter bestimmten Voraussetzungen bis zum 28. März 2012 ausgenommen.

2.3.5.3 Schlussfolgerungen aus der Betriebsbeschränkungsrichtlinie

Betriebsbeschränkungen können an bestimmten Flughäfen der Mitgliedstaaten aufgrund der Betriebsbeschränkungsrichtlinie 2002/30/EG nicht generell erlassen werden, sondern nur nach einer Einzelfallprüfung für jeden Flughafen entsprechend dem *Balanced Approach*. Die Richtlinie ermöglicht es den Mitgliedstaaten im Rahmen des *Balanced Approach* und bei Einhaltung der Vorgaben in Art. 6 an einem Flughafen i. S. d. Richtlinie ein ganztägiges Start- und Landeverbot für Flugzeuge zu erlassen, welche die nach *Chapter 3* festgelegten Höchstwerte um eine kumulative Marge von höchstens 5 EPNdB unterschreiten (knapp die Vorschriften erfüllende Flugzeuge). In Deutschland können an Stadtflughäfen auch ganztägige Start- und Landeverbote für Flugzeuge erlassen werden, die den kumulativen Höchstwert von *Chapter 3* Flugzeugen um bis zu 10 EPNdB unterschreiten (§ 48b Abs. 2 LuftVZO).

Auch für *Chapter 4* Flugzeuge können die Mitgliedstaaten unter Einhaltung des Verfahrens von Art. 5 i. V. m. Anhang II Richtlinie 2002/30/EG partielle Betriebsbeschränkungen erlassen.

Die Mitgliedstaaten dürfen keine Differenzierungen innerhalb der bestehenden *Chapter*-Einstufungen von *Annex 16* zum Zweck von leistungsbedingten Betriebsbeschränkungen vornehmen; eine *Chapter 4*+ Bonusliste ist nicht zulässig. Darüber hinaus dürfen die Mitgliedstaaten keine Regelungen zum vollständigen Abzug von Flugzeugen an Flughäfen erlassen, die über die Lärmgrenzwerte von *Chapter* 3 hinausgehen. Damit sind Regelungen, die den Abzug von *Chapter 4* Flugzeugen beabsichtigen, europarechtswidrig.

2.3.5.4 Rechtliche Grundprinzipien für die Erhebung von Start- und Landeentgelten

Durch die Erhebung von Start- und Landeentgelten kann Einfluss auf die Flugzeugmuster genommen werden, die die Luftverkehrsgesellschaften an einem Flughafen einsetzen. Jedoch sind bei der Ausgestaltung von Start- und Landeentgelten an deutschen Flughäfen rechtliche Vorgaben auf der internationalen, europäischen und deutschen Rechtsebene zu beachten. Auf der Ebene des internationalen Rechts sind

dies die „ICAO Policies on Charges for Airports and Air Navigation Services“[86], das „Airport Economics Manual“[87] sowie das auf der 33. ICAO-Versammlung in der Entschließung 33/7 beschlossene Verfahrenskonzept für Betriebsbeschränkungen an Flughäfen, der so genannte *Balanced Approach*. Auf der EU-Ebene kann der zurückgezogene Richtlinienvorschlag KOM (2002) 684 endg. zu Lärmentgelten[88] sowie die Umsetzung des *Balanced Approach* in Art. 4 der Betriebsbeschränkungsrichtlinie 2002/30/EG Anhaltspunkte geben. Die Ausgestaltung der Entgeltregelungen in Deutschland basiert auf einer privatrechtlichen Vereinbarung zwischen der Luftverkehrsgesellschaft und dem Flughafenunternehmen. Bei der privatrechtlichen Ausgestaltung zu beachten sind die von der Rechtsprechung im Rahmen der so genannten Billigkeitskontrolle entwickelten Maßstäbe sowie kartellrechtliche Vorgaben nach dem Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen (GWB)[89]. Eine Analyse der internationalen, europäischen und deutschen Rechtsvorschriften ergibt, dass die folgenden Vorgaben für die Ausgestaltung eines lärmabhängigen Start- und Landeentgeltsystems in Deutschland zu beachten sind:[90]

- Lärmentgelte sollen nur auf Flughäfen mit Fluglärmproblemen angewendet werden. Es existieren allerdings keine rechtlichen Vorgaben zur Definition von Fluglärmproblemen.
- Die Einführung von lärmabhängigen S-/L-Entgelten muss geeignet und erforderlich sein (siehe „*Balanced Approach*“). Das heißt, die lärmabhängigen S-/L-Entgelte müssen geeignet sein, das Lärmproblem an dem Flughafen zu lösen. Erforderlich sind sie, wenn es kein anderes Instrument gibt, das bei gleicher Eignung die betroffenen Flughafennutzer weniger stark beeinträchtigt.
- Die Lärmentgelte müssen **diskriminierungsfrei** ausgestaltet sein. Dies ist der Fall, wenn die Erhebung von unterschiedlich hohen Lärmentgelten für Flugzeuge einen sachlichen Anknüpfungspunkt hat, z. B. den Schallpegel des jeweils startenden und landenden Flugzeugs. Sowohl nach den Empfehlungen der ICAO als auch nach dem Richtlinienvorschlag der EU-Kommission KOM

---

86 Angenommen vom Rat am 22.06.1992 auf dem 14. Treffen der 136. Sitzung, abgeändert am 8.12.2000 auf dem 18. Treffen der 161. Sitzung, Doc 9028/6, 6. Ausgabe, 2001.

87 Airport Economics Manual, Doc 9562, First Edition, ICAO 1991.

88 Der geänderte Richtlinienvorschlag KOM (2002) 683 endgültig vom 29.11.2002 ersetzt den Richtlinienvorschlag KOM (2001) 74 endgültig vom 20.12.2001 über die Festlegung eines Gemeinschaftsrahmens für die Lärmeinstufung ziviler Unterschallluftfahrzeuge zur Berechnung von Lärmentgelten.

89 Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen (GWB), in der Bekanntmachung der Neufassung vom 15. 7.2005, BGBl. I, S. 2114; zuletzt geändert durch Art. 2 Abs. 18 des Gesetzes vom 12.8.2005; BGBl. I, S. 2354.

90 Eine ausführliche Analyse der Rechtsvorschriften zu den Start- und Landeentgelten auf allen drei Ebenen findet sich im Gutachten Öko-Institut 2004.

(2002) 683 gilt als maßgeblicher Schallpegel der bei der Lärmzertifizierung für Luftfahrzeuge nach *Annex 16* ermittelte Schallpegel.

- Die Lärmentgelte müssen **transparent** ausgestaltet sein. Dazu gehört insbesondere, dass die lärmabhängigen S-/L-Entgelte als Bestandteil des gesamten Entgelts pro Flugzeug einzeln ausgewiesen werden und die Berechnung sowie die Berechnungsmethode für die Flughafennutzer nachvollziehbar sind.
- Die Lärmentgelte müssen die Kosten zur Vermeidung und Verminderung von Lärmproblemen decken (**Kostendeckungsprinzip**). Dazu dürfen Dienstleistungen, Maßnahmen und Einrichtungen berücksichtigt werden, wie z. B. Schallschutzmaßnahmen an Gebäuden.
- Lärmabhängige S-/L-Entgelte sollten jeweils für sich **aufkommensneutral** sein.
- Die lärmabhängigen Entgelte sollten auf der Basis der Regeln der Buchführung („sound accounting principles“) festgelegt werden und mit den übrigen Entgelten in Verbindung stehen, z. B. durch Auf- und Abschläge.
- Das (lärmabhängige) S-/L-Entgelt darf nicht in so einer Höhe festgesetzt werden, dass es einem Verbot gleichkommt.
- Die Steigerung der Lärmentgelte sollte nur graduell erfolgen, um unangemessene Störungen der Flughafennutzer zu vermeiden. Unter bestimmten Bedingungen kann auch eine andere Herangehensweise genutzt werden.
- Bevor ein Entgeltsystem an einem Flughafen festgeschrieben wird, sollen die Flughafennutzer rechtzeitig durch Konsultationen eingebunden werden (**Konsultationsprinzip**).

Die zuvor genannten Kriterien sind bei einer Weiterentwicklung der bestehenden Start- und Landeentgelt-Systeme zu berücksichtigen (siehe auch die Ausführungen in Kapitel 2.6).

2.4 Konsequenzen der Rechtsvorschriften für Maßnahmenvorschläge zur Bekämpfung von Lärmproblemen

Die im Kapitel 2.3 ausgeführten rechtlichen Grundlagen führen im Hinblick auf die Bekämpfung von Lärmproblemen an deutschen Flughäfen zu folgenden Konsequenzen für kurzfristige sowie mittel- bis langfristige Maßnahmen.

2.4.1 Kurzfristige Maßnahmenvorschläge

Die Umsetzung von kurzfristigen Maßnahmenvorschlägen zur Verschärfung der Lärmgrenzwerte für Strahlenflugzeuge wird auf der Ebene des nationalen Rechts verortet. Ein kurzfristiges Handeln (innerhalb von einem oder zwei Jahren) ist durch die Änderungen des Rechtsrahmens i. d. R. nicht möglich, da Gesetzgebungsverfahren in Deutschland oder der EU mindestens zwei Jahre benötigen. Deshalb müssen kurzfristige Maßnahmenvorschläge eher im Rahmen der bestehenden Rechtslage umzusetzen sein. Es werden dazu die Möglichkeiten für partielle Betriebsbeschränkungen in Abhängigkeit von den *Chapter*-Einstufungen erörtert. Dabei wird aufgrund des thematischen Zusammenhangs auch auf Betriebsbeschränkungen mit dem Ziel eines vollständigen Abzugs von *Chapter* 3 Flugzeugen von einem Flughafen oder von allen Flughäfen in Deutschland eingegangen, auch wenn es sich dabei um mittel- bis langfristige Maßnahmen handelt. Ferner wird die Möglichkeit einer „Verschärfung“ der Entgeltordnungen an Flughäfen durch lärmabhängige Start- und Landeentgelte behandelt.

2.4.1.1 Betriebsbeschränkungen/-verbote nach den *Chapter*-Stufen

Der Begriff „Betriebsbeschränkung“ i. S. d. Art. 2 lit. e der Betriebsbeschränkungsrichtlinie ist weit zu verstehen. Er umfasst u. a.:

- Die Festlegung von Lärmhöchstwerten an einem Flughafen,
- die Bevorzugung bestimmter Start- und Landebahnen sowie
- die Erhebung von Lärmentgelten;
- Betriebsbeschränkungen, durch die knapp die Vorschriften erfüllende Luftfahrzeuge von bestimmten Flughäfen abgezogen werden sollen und
- partielle Betriebsbeschränkungen, die den Betrieb ziviler Unterschallflugzeuge je nach Zeitraum einschränken.

Im Rahmen des Gutachtens werden nur die letzten beiden Beschränkungen untersucht.

Allgemein gilt für alle Betriebsbeschränkungen, dass sie nicht generell für alle Flughäfen in Deutschland (ebenso in den anderen EU-Mitgliedstaaten) erlassen werden können, sondern die unterschiedlichen Arten von Betriebsbeschränkungen

müssen bei jedem Flughafen entsprechend der Lärmbelastung nach dem *Balanced Approach* individuell ermittelt werden. Ergibt die Prüfung für einen Flughafen, dass Betriebsbeschränkungen im engeren Sinne als Instrument gewählt werden, so können die Beschränkungen nicht bei allen Flugzeug-Chaptern gleich angewendet werden:

- Für alle *Chapter 3* Flugzeuge können an deutschen Stadtflughäfen 24-stündige Start- und Landeverbote nach dem *Balanced Approach* erlassen werden (§ 48b Abs. 2 LuftVZO).
- Für *Chapter 4* Flugzeuge ist noch nicht rechtlich abschließend geklärt, ob partielle Betriebsbeschränkungen erlassen werden können. In diesem Gutachten wird die Auffassung vertreten, dass partielle Betriebsbeschränkungen an allen Flughäfen nach der Richtlinie 2002/30/EG bei Berücksichtigung des *Balanced Approach* möglich sind (siehe zu der Diskussion in Kapitel 2.3.5.1).

Partielle Betriebsbeschränkungen von *Chapter* 3 Flugzeugen sind auch an anderen Flughäfen als Stadtflughäfen möglich. Betriebsbeschränkungen für *Chapter* 3 Flugzeuge, die auf einen vollständigen Abzug dieser Flugzeuge von den deutschen Flughäfen gerichtet sind, sind nach der Betriebsbeschränkungsrichtlinie in Deutschland nicht möglich. Offen ist aber, ob die EU eine entsprechende Regelung erlassen könnte. Die Bindungswirkung der ICAO-Resolution A 33-7 für die Vertragsstaaten ist nicht eindeutig. Es ist deshalb umstritten, ob die EU in einer Novellierung der Betriebsbeschränkungsrichtlinie einen entsprechenden Abzug von *Chapter* 3 Flugzeugen beschließen könnte. Die ICAO lehnt in ihrer Resolution A 33-7 Betriebsbeschränkungen für *Chapter* 3 Flugzeuge mit dem Ziel einer Gesamtausmusterung generell ab, da eine derartige Gesamtausmusterung aus Kosten-Nutzen-Gründen nicht zu rechtfertigen sei.[91] Betriebsbeschränkungen sollen nur auf lokaler Ebene und nur bei Berücksichtigung des *Balanced Approach* möglich sein.[92] Ein Alleingang der EU würde zu ähnlichen Problemen führen, wie es der Streit zwischen der EU und den USA um das *Phasing-Out* von *Chapter* 2 Flugzeugen sowie die Hushkit-Verordnung gezeigt haben. Dies umso mehr, als die EU zur Beilegung des Streits um das Phasing-out von *Chapter* 2 in der Betriebsbeschränkungsrichtlinie den von der ICAO getragenen *Balanced Approach* zur Bekämpfung von Lärmproblemen übernommen hat. Dieser sieht gerade nicht ein allgemeines Verbot von bestimmten *Chapter*-Flugzeugen vor, sondern die individuelle Lösung von Lärmproblemen an dem jeweiligen Flughafen.

91 Vgl. EU-Kommission Betriebsbeschränkungen, Einführung 2.7 zur Begründung.

92 Anmerkungen zum *Phasing-Out* von *Chapter 3* auf ICAO-Ebene (Dr. Assad Kotaite).

2.4.1.2 „Verschärfung“ der Entgeltordnung in Deutschland

Im Rahmen der kurzfristig realisierbaren Maßnahmenvorschläge könnten an deutschen Flughäfen die lärmabhängigen Anteile der Start- und Landeentgelte durch Einführung einer *Chapter*-4-Bonusliste verschärft werden. Die Einführung einer Bonusliste für *Chapter*-4-Flugzeuge mit dem Ziel einer Differenzierung zwischen lauten und lärmärmeren Flugzeugen innerhalb dieses Chapters ist nach der hier vertretenen Ansicht nicht zulässig (siehe die eingehendere Diskussion der Frage in Kapitel 2.3.5.1). Es ist allerdings noch nicht gerichtlich geklärt, ob eine solche *Chapter*-4-Bonusliste nach dem Erlass der Betriebsbeschränkungsrichtlinie zulässig ist.

Allgemein ist zu sagen, dass die Steuerungswirkung von lärmabhängigen Entgelten zur Verbesserung der Lärmsituation an Flughäfen bislang nicht nachweisbar ist. Wie die Analyse der S-/L-Entgeltsysteme in einer Studie des Öko-Instituts[93] zeigt, enthält die bisherige Struktur der lärmabhängigen S-/L-Entgelte zwar zielführende Elemente, die für eine Weiterentwicklung der Modelle empfohlen werden (siehe Kapitel 2.7). Grundsätzlich wurde aber für den Status-quo festgestellt, dass der finanzielle Anreiz nicht ausreichen wird, die intendierten Reaktionen bei den Fluggesellschaften hervorzurufen (Einsatz lärmärmerer Flugzeuge, zeitliche oder räumliche Verlagerung der Flugbewegungen). Dass die heutigen lärmabhängigen S-/L-Entgeltsysteme kaum eine Lenkungswirkung entfalten dürften, bestätigte auch die orientierende Analyse der Kostenstrukturen der Airlines. Reaktionen der Airlines wären damit nur zu erwarten, wenn die Lärmkomponente der S-/L-Entgelte deutlich über den im Status-quo üblichen Rahmen hinaus erhöht würde.

2.4.2 Mittel- und langfristige Maßnahmenvorschläge

Zu den langfristigen Maßnahmevorschlägen zählen grundsätzlich die Fluglärmminderung an der Quelle (Flugzeugtriebwerk und Flugzeugzelle) sowie planerische Maßnahmen am Flughafen und in seinem Umfeld. Auf die planerischen Maßnahmen soll im Rahmen dieser Studie nicht näher eingegangen werden. Bei der Fluglärmminderung an der Quelle ist an die Verschärfung der Lärmgrenzwerte durch die Einführung einer neuen Lärmklasse („*Chapter* 5“) auf der Ebene der ICAO, der Europäischen Union oder in einem Alleingang in Deutschland zu denken. Die Lärmbekämpfung an der Quelle sollte dabei gerade im Bereich der internationalen Luftfahrt im Mittelpunkt stehen. Denn dieser Ansatz entspricht dem Vorrang der Schadensprävention auf dem Gebiet des Umweltschutzes, da damit erreicht wird, dass vermeidbarer Fluglärm gar nicht erst entstehen kann.[94]

---

93 Öko-Institut 2004.

94 Rosenthal, S. 144.

2.4.2.1 Verschärfung der Lärmgrenzwerte zur Zulassung von Flugzeugen auf der ICAO-Ebene

Nach der weitgehenden Ermächtigung in Art. 37 S. 2 Chicagoer Abkommen besteht eine fast uneingeschränkte Kompetenz der ICAO zur Schaffung luftfahrtrechtlicher Vorschriften.[95] Danach ist auch die Verschärfung der Lärmgrenzwerte für Luftverkehrsflugzeuge durch die ICAO (z. B. durch ein neues „*Chapter 5*“) möglich. Bei einer solchen Verschärfung sind die folgenden Vorgaben einzuhalten:

Die Verschärfung der Lärmgrenzwerte müsste mit den grundsätzlichen Zielen der ICAO vereinbar sein, nämlich die Grundsätze und Technik der internationalen Luftfahrt zu entwickeln sowie Planung und Entwicklung des internationalen Luftverkehrs zu fördern. Nach Art. 44 ICAO sind darüber hinaus weitere Ziele damit verbunden, wie ein sicheres und geordnetes Wachstum der internationalen Zivilluftfahrt in der ganzen Welt zu gewährleisten, den sicheren, regelmäßigen, leistungsfähigen und wirtschaftlichen Luftverkehr zu sichern und die Flugsicherheit zu fördern.

Ferner müssen die Empfehlungen der CAEP technisch umsetzbar (feasible), ökonomisch vernünftig (reasonable) und für die Umwelt vorteilhaft (beneficial) sein.[96] Es bestehen also keine zeitlichen Vorgaben für die Verabschiedung von neuen SARPs außer in Abhängigkeit von der technischen Umsetzbarkeit.

Regelungen zum Phasing-Out von *Chapter* 3 auf der ICAO-Ebene sind rechtlich möglich, würden dem *Balanced Approach* aber insoweit widersprechen, als danach die Lärmprobleme eines Flughafens individuell zu lösen sind und nicht durch einen generellen Abzug von Flugzeugen. Die ICAO müsste für einen generellen Abzug von *Chapter* 3 Flugzeugen diese von einem *Balanced Approach* ausnehmen und einen „Abzugsplan“ für *Chapter* 3 Flugzeuge entwickeln.

2.4.2.2 Verschärfung der Lärmgrenzwerte zur Zulassung von Flugzeugen in der EU oder nur in Deutschland

Die Einführung von schärferen Lärmgrenzwerten für die Zulassung von Flugzeugen in der **EU** ist prinzipiell möglich. Die Normsetzungs-Kompetenz für die Verkehrs- und Musterzulassungen von Strahlflugzeugen ist durch die Verordnung (EG) Nr. 1592/2002 von den Mitgliedstaaten auf die EU-Ebene übergegangen. Es ist rechtlich allerdings umstritten, inwieweit aus den Internationalen Richtlinien (International Standards) und Empfehlungen (Recommended Practices) der ICAO, zu denen auch die Lärmzertifizierung nach *Annex 16* zählt, eine Pflicht zur Übernahme der Regelungsinhalte für die Vertragsstaaten folgt. Die EU könnte danach im Rahmen der Musterzulassung auch von den Vorgaben der ICAO in *Annex 16* abweichen und strengere Lärmgrenzwerte für in der EU zugelassene Luftfahrzeuge erlassen. Diese müssten der ICAO lediglich bekannt gemacht werden.

---

95 Vgl. zur Rechtssetzungskompetenz der ICAO: Rosenthal, S. 150.

96 Vgl. die Ausführungen im Clean Air Report, June 2003.

Unklar ist, ob Deutschland auch in einem nationalen Alleingang die Zulassungsgrenzwerte verschärfen könnte. Bis zum In-Kraft-Treten der Verordnung (EG) Nr. 1592/2002 war die Einführung von schärferen Lärmgrenzwerten in **Deutschland** zwar möglich. Allerdings konnte dies nur für Luftfahrzeuge gelten, die in Deutschland zugelassen sind. Flugzeugen, die in anderen Ländern zugelassen sind und den Lärmzertifizierungsvorgaben der ICAO entsprechen, dürften prinzipiell aufgrund von Art. 33 ICAO Starts- und Landungen an deutschen Flughäfen nicht versagt werden. Die Beschränkung auf nur in Deutschland zugelassene Flugzeuge gilt auch nach In-Kraft-Treten der Verordnung (EG) Nr. 1592/2002. Nicht geklärt ist aber, ob die aufgrund der Verordnung (EG) Nr. 1702/2003 erlassenen Zulassungs-spezifikationen, z. B. CS-36 (*Aircraft Noise*) für Deutschland Verbindlichkeit haben. So ist im Rahmen der Musterzulassung von Luftfahrzeugen in den Mitgliedstaaten der EU, die von der EASA aufgestellte Zulassungsspezifikation CS-36 (*Aircraft Noise*) zu beachten, die wiederum auf die ICAO Vorgaben in *Annex 16* verweist. Ob dieser Zulassungsspezifikationen eine für die Mitgliedstaaten verbindliche Wirkung zukommt ist allerdings derzeit rechtlich noch nicht geklärt.

Sowohl der Verschärfung der Zulassungswerte auf EU-Ebene als auch noch mehr auf der nationalen Ebene stehen allerdings Bedenken entgegen. So haben die ICAO-Empfehlungen eine so weite Verbreitung, dass sie faktisch eine weltweit gültige Zulassungsnorm für neu entwickelte Flugzeuge darstellen.[97] Eine Verschärfung der Lärmgrenzwerte für in Deutschland zugelassene Luftfahrzeuge würde wegen der internationalen Verflechtung zu einer Benachteiligung der deutschen Halter führen. Denn aufgrund von Art. 33 Chicagoer Abkommen und zwei- und mehrseitiger Luftverkehrsabkommen ist Deutschland verpflichtet, den Verkehr im Ausland zugelassener Luftfahrzeuge in Deutschland zu dulden, insbesondere wenn diese Luftfahrzeuge den ICAO-Standards entsprechen.[98] Eine einseitige Verschärfung für deutsche Halter würde zu dem widersprüchlichen Ergebnis führen, dass ausländische Halter mit lärmstärkeren Luftfahrzeugen des gleichen Musters in Deutschland verkehren dürften. Entsprechende Überlegungen können für verschärfte Zulassungs-werte auf der EU-Ebene angestellt werden. Im Gegensatz zu einem nationalen Alleingang wäre aber der Lärmminderungseffekt stärker, da neu in der EU zugelassene Flugzeuge auch an allen europäischen Fughäfen verkehren und somit zu einer Verbesserung der Lärmsituation beitragen könnten.

---

97 Die einheitliche Anwendung der SARPs wird im internationalen Interesse als notwendig erachtet, vgl. Mengel / Siebel: *Ziviler Luftverkehr und Klimaschutz*, in: Koch / Carpar, *Klimaschutz im Recht*, S. 284.

98 Schwenk / Giemulla 2005, S. 296.

2.5 Methodik (Messverfahren)

Die anzuwendende Methodik zur Lärmzertifizierung wird im Appendix 2 *Beurteilung Chapter 3* (*Evaluation Method for Noise Certification*) von *Annex 16* beschrieben. Die methodische Abhandlung enthält v. a. Angaben über die Definition des zu verwendenden Lärmindex, die Rahmenbedingungen der Messung bzw. der Messumgebung, das Messverfahren, die anzuwendende Berechnung sowie die Dokumentation.[99] Die Methode zur Messung und Bewertung der Fluglärmemissionen im Rahmen der Lärmzertifizierung beinhaltet eine Reihe von Annahmen und Parametern, die im Rahmen sonstiger Lärmerfassungsmethoden nicht zur Anwendung kommen. Hierbei ist insbesondere auf den zu berechnenden Lärmindex EPNL (*Effective Perceived Noise Level*) inklusive der zu berücksichtigenden Tonkorrektur zu verweisen. Das gewählte Einheitsverfahren ermöglicht aber jederzeit den Vergleich der Ergebnisse zur Lärmzertifizierung untereinander und gewährleistet bei weltweiter Anerkennung des standardisierten Verfahrens eine globale Klassifikation von Lärmstandards.

Lärmindex

Im Rahmen von *Annex 16* wird als Lärmmaß der Index EPNL (bzw. als Einheit [EPNdB]) verwendet, der während der Start- und Landephase gemessen und anschließend (rechnerisch) bewertet wird. Hierbei handelt es sich um einen Lärmstörpegel, der insbesondere für Zertifizierungsmessungen Verwendung findet und von der amerikanischen FAA zu diesem Zweck eingeführt und von der ICAO übernommen wurde (Piehler 2003). Der Lärmstörpegel EPNL unterscheidet sich als Einzelschallpegel von anderen Lärmindizes durch die Berücksichtigung einer speziellen Ton- sowie Zeitkorrektur, die die besondere Charakteristik von Fluglärmereignissen erfasst.[100] Im Vergleich zu weiteren Einzelschallpegeln zur Fluglärmerfassung (z. B. L_{AZ}, L_{Amax} nach DIN 45 643[101]) wird nicht die A-Bewertung verwendet, sondern ein in der ISO 3891[102] definiertes Verfahren, so dass der Vergleich zu anderen Pegelwerten mit der A-

[99] Die Beschreibung des Messverfahrens wird durch das ICAO Doc. 9501 ergänzt, das das technische Verfahren nach *Annex 16* präzisiert und vereinheitlicht. Nähere Angaben siehe unter Rahmenbedingungen im weiteren Verlauf des Textes.

[100] Der Perceived Noise Level (PNL) wurde zur Beurteilung von Fluglärmgeräuschen der Strahlflugzeuge entwickelt (Kryter 1959 a und Kryter 1959 b). Hintergrund für diese Untersuchungen ist der Generationswechsel der Flugzeuge vom Propeller- zum Turbinenbetrieb. Auf Basis von Befragungen zur Belästigung wurde u. a. von Kryter eine alternative Bewertung entwickelt, die eine bessere Korrelation zwischen Belästigung und Lärmindex als die bisherigen Bewertungsmuster aufweist.

[101] DIN 45 643 Messung und Beurteilung von Flugzeuggeräuschen; z. B. Teil 2 für Fluglärmüberwachungsanlagen nach § 19a LuftVG.

[102] ISO 3891 *Acoustics - Procedure for describing aircraft noise heard on the ground*, 1'st Edition 1978, corrected and reprinted 1981.

Bewertung nicht zulässig ist[103] (siehe auch Ausführungen zum Vergleich zwischen Zertifizierungspegeln und A-bewerteten Spitzenpegeln in Kapitel 2.6). Der Lärmindex EPNL basiert auf dem gemessenen Schalldruckpegel (Sound Pressure Level, SPL), der rechnerischen Ermittlung des Perceived Noise Level (PNL) für die Terzbänder im Frequenzbereich 50 bis 10.000 Hz, der Zeitbewertung für die Dauer des Geräuschs während eines Vorbeifluges sowie auf einer Tonkorrektur und stellt damit eine subjektive Größe, die die Belastung des Betroffenen abbilden soll, dar.

Formel: L_{EPN} bzw. $EPNL = 10 * \log_{10} \frac{1}{T_O} \int_{-\infty}^{+\infty} 10^{PNLT/10} dt$ in [dB] bzw. [EPNdB]

mit $T_O = 10s$

$$PNLT(k) = PNL(k) + C(k)$$

$$PNL(k) = 40 + \frac{10 * \log_{10} N(k)}{\log_{10} 2} \text{ und } C(k) = Tonkorrektur$$

$$N(k) = 0.85 \cdot n(k) + 0.15 \sum_i n(i,k)$$

mit $n(i,k)$: perceived noisiness

$n(k)$: max(n(i,k))

k : Zeitinkrement Index

Rahmenbedingungen

Als Rahmenbedingungen für die Wahl der idealen Messumgebung werden Vorgaben zu den Witterungsbedingungen (Temperatur, Wind, Dämpfung etc.) und zum Flugweg (vertikale und laterale Position) für normierte Standardbedingungen gegeben. Dabei soll eine Anpassung des Messaufwands je nach Fragestellung erfolgen. Die Messumgebung soll idealerweise ein flaches Terrain sein und relevanter externer Einfluss auf das Geräuschfeld soll vermieden werden. Alle Parameter sind zu dokumentieren und zu kontrollieren (siehe Berichtswesen). Falls die tatsächlichen Bedingungen während der Messung nicht den geforderten Referenzbedingungen entsprechen, sind entsprechende Korrekturen zum Abgleich der Flugversuche vorzunehmen. Dies betrifft veränderte Flugprofile, die Luftdämpfung sowie die Geräuschemissionen der Triebwerke (bei Geschwindigkeits- und Schubkorrekturen). Neben *Annex 16* ist hierfür ICAO Doc. 9501 (*Environmental Technical Manual, ETM*) heranzuziehen, das nähere Ausführungen zur Vereinheitlichung der Methodik enthält.

[103] Für den Vergleich von Werten in EPNdB und dB(A) kann vereinfacht als Faustformel EPNdB = dB(A) + 13 gesetzt werden (ADV 2005).

Re-Zertifizierung

Unter einer Re-Zertifizierung für Flugzeugtypen wird die aufgrund einer Überprüfung erfolgte Änderung der ursprünglichen Zertifizierungseinstufung (von *Chapter 3* zu *Chapter* 4) verstanden, die keine Modifikation am Flugzeug selbst voraussetzt. Damit soll berücksichtigt werden, dass sich technische Details des Regelwerks geändert haben und gewährleistet ist, dass der aktuelle technische Standard erfüllt wird. Hiervon sind *Chapter* 3 Flugzeugtypen betroffen, die nach *Annex 16* mit Stand Nov. 1993 (oder früher) zertifiziert worden sind (Böttcher 2004). Der administrative Teil zur Re-Zertifizierung erfolgt in *Annex 16* (Kapitel 4.7) und die technische Beschreibung im ETM (Appendix 8). Das notwendige Verfahren benötigt den gleichen Umfang und Aufwand wie für einen neuen Flugzeugtyp und ist einheitlich durchzuführen, es ermöglicht damit Flugzeugtypen, die aufgrund des Datums ihrer Musterzulassung *Chapter* 3 zuzuordnen sind, nachträglich einer günstigeren *Chapter*-Stufe zugeordnet zu werden. Die Re-Zertifizierung ist aus Sicht der Luftverkehrsgesellschaften bzw. Luftfahrzeugbetreiber insbesondere notwendig, um im Rahmen der lokalen Lärmschutzregelungen an den Flughäfen (z. B. Einstufung in Entgeltordnung, ordnungsrechtliche Maßnahmen), die häufig eine Gruppierung auf Basis der *Chapter*-Stufen vornehmen, eine möglichst günstige Einstufung zu erfahren.

Messverfahren

Das zugehörige Messverfahren wird detailliert in *Annex 16* (v. a. Appendix 2 *Evaluation Method for Noise Certification*) (ICAO 2005), ICAO Doc. 9501[104] (ICAO 2004 c) sowie ISO 3891 dargestellt und gilt einheitlich sowohl für *Chapter 3* als auch *Chapter 4* Strahlflugzeuge. Im deutschen Regelwerk LVL wird ausgeführt, dass die Lärmmessungen in Übereinstimmung mit den Methoden von *Annex 16* durchzuführen sind (siehe LVL 1.4 *Nachweispflicht bei der Verkehrszulassung*).

Für die Messkampagne werden Referenzbedingungen (Temperatur 25 °C, Druck 101.325 kPa bzw. 1.013 bar und rel. Luftfeuchtigkeit 70 %) genannt. Weiterhin werden die zu verwendenden Komponenten des Messsystems aufgeführt (Windschirm, Mikrophon, Aufnahmeeinheit, Analyse-Teil), die jeweils zur Messung von Schalldruckpegeln im Terzband geeignet sein müssen. Der Analyse-Teil soll die Anforderungen der Klasse 2 nach IEC 61260[105] erfüllen. Die Kalibrierung nach den Genauigkeitsanforderungen der Klasse 1L der IEC 60942[106] ist ebenso Voraussetzung. Zur Berücksichtigung des Hintergrundlärms soll eine separate Messung stattfinden.

[104] ICAO Doc. 9501: Environmental Technical Manual on the Use of Procedures in the Noise Certification of Aircraft, 3rd-Edition – 2004, ICAO 2004 b.

[105] DIN EN 61260, Ausgabe:2003-03 Elektroakustik - Bandfilter für Oktaven und Bruchteile von Oktaven (IEC 61260:1995 + A1:2001); deutsche Fassung EN 61260:1995 + A1:2001.

[106] DIN EN 60942, Ausgabe:2004-05 Elektroakustik - Schallkalibratoren (IEC 60942:2003); deutsche Fassung EN 60942:2003.

Das Messergebnis soll 20 dB unterhalb des maximalen PNL liegen; weiterhin soll innerhalb der t_{10}-Zeit[107] der Fluglärm den Umgebungslärm um 3 dB je Messung übertreffen.

Über das Messgerät wird der Schalldruckpegel (*Sound Pressure Level, SPL*) im Terzband für den Frequenzbereich 50 Hz bis 10.000 Hz aufgenommen, der entsprechend dargestellt und ausgewertet werden kann. Für die Messung ist die Zeitbewertung *Slow* zu wählen. Falls das Messgerät keine Slow-Bewertung ermöglicht, kann die Zeitbewertung über einen definierten Rechenweg im Anschluss zur Messung simuliert werden. Das Messgerät ist darüber hinaus regelmäßig zu kalibrieren.

Die Messstandorte für die drei Lärmmesspunkte (Start, Start-Überflug und Landung) sind folgendermaßen vorgegeben (siehe auch Abbildung 4):

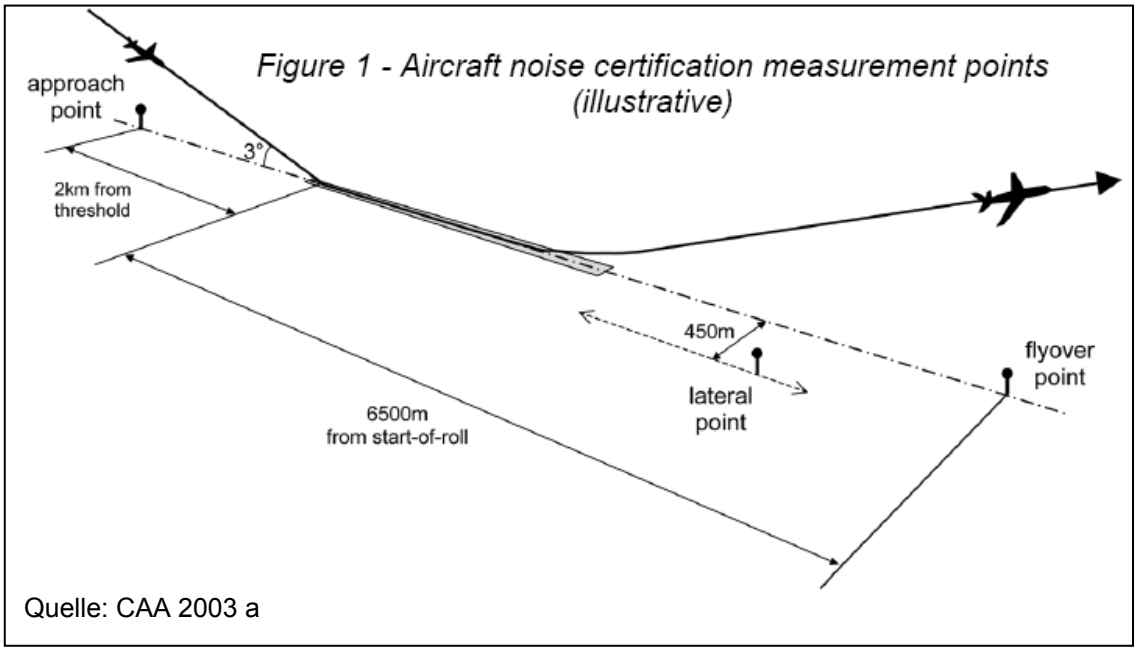
- **Überflug-Lärmmesspunkt** (Start): Punkt auf der verlängerten Mittellinie der Startbahn in einer Entfernung von 6.500 m zum Startpunkt (*flyover reference noise measurement point*).
- **Seitlicher Lärmmesspunkt** (Start): Punkt auf einer Linie im Abstand von 450 m zur Mittellinie der Startbahn, an dem der Lärmpegel des Flugzeugs eine Maximum erreicht (*lateral full-power reference noise measurement point*).[108]
- **Landeanflug-Lärmmesspunkt** (Landung): Punkt am Boden auf der verlängerten Mittellinie der Landebahn, der 120 m senkrecht unterhalb des 3° Gleitpfades liegt. Der Gleitpfad trifft 300 m hinter der Landebahnschwelle auf der Landebahn auf. Im ebenen Gelände entspricht diese Festlegung einer Entfernung von 2.000 m vor der Landebahnschwelle (*approach reference noise mesaurement point*).

Zugelassene Messstellen bzw. Institutionen werden vom LBA in den *Nachrichten für Luftfahrer* (NfL) veröffentlicht. Die genannten Institutionen besitzen die entsprechende Infrastruktur und sind zur Durchführung der Lärmzertifizierungsmessungen berechtigt.

[107] Die T_{10}-Zeit ist die Zeitspanne innerhalb eines Flugzeuggeräuschs, während der der Schalldruckpegel (hier PNLT) um nicht mehr als 10 dB unter dem Schalldruckpegelmaximum (hier PNLTM) des Fluglärmereignisses liegt.

[108] Anmerkung: Der Standort ist per Definition nicht exakt örtlich festgelegt und kann je nach Flugzeugtyp variieren, so dass mehrere Messungen zur Ermittlung des maximalen Lärmstörpegels notwendig sind.

Abbildung 4 Messstandorte zur Lärmzertifizierung nach ICAO *Annex 16*



Quelle: CAA 2003 a

Berechnung (aus Messwerten)

Das Ergebnis des notwendigen Berechnungsschritts stellt der Lärmindex EPNL in [EPNdB] dar. Hierzu sind fünf Berechnungsschritte notwendig, um vom gemessenen Schalldruckpegel zum EPNL zu gelangen (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2 Berechnungsschritte zur Ermittlung des EPNL nach *Annex 16*

Berechnungsschritte	**Zielgröße**
0. Ausgangspunkt: gemessener Schalldruckpegel (SPL) im Terzband	SPL(i,k)
1. Ermittlung des momentanen *Perceived Noise Level* (PNL) über drei Zwischenschritte (Ermittlung *Perceived Noiseness* n(i,k), Berechnung des gesamten wahrgenommenen Lärms N(k) sowie Umrechnung N(k) zu PNL(k))	PNL(k)
2. Berechnung der Tonkorrektor C(k) je Spektrum; Berechnung gemäß Vorgaben in Kapitel 4.3 bzw. ETM	C(k)
3. Ermittlung tonkorrigierter PNL (tone corrected perceived noise levels) über die Addition des PNL(k) mit dem Tonkorrekturfaktor sowie Bestimmung des Maximalwerts des PNL: PNLTM	PNLT(k), PNLTM
4. Berechnung der Zeitkorrektur D über das Integral des PNLT(k) während der t_{10}-Zeit gemäß Vorgaben im Kapitel 4.5	D
5. Ermittlung des Lärmstörpegels EPNL durch Addition des PNLTM mit der Zeitkorrektur D	EPNL
Anmerkung: Die fünf Berechnungsschritte sowie die notwendigen Zwischenschritte zur Ermittlung des EPNL nach *Annex 16* werden im Appendix 2, Kapitel 4, detailliert beschrieben. Ergänzend sind im ETM (*Environmental Technical Manual*, ICAO Doc. 9501) Vorgaben zu den notwendigen Berechnungsschritten enthalten.	

Berichtswesen

Im *Annex 16* werden Vorgaben für die notwendige Dokumentation der Lärmzertifizierung gegenüber der zuständigen Behörde gemacht und es wird die Darstellung aller relevanten und notwendigen Daten inkl. der notwendigen Korrekturen und Anpassungen gefordert. Hierzu zählen u. a. Angaben zur Messausrüstung, der Meteorologie und der Topografie. Weiterhin werden Daten über die Flugzeugkonfiguration (z. B. Anordnung der Triebwerke, Modifikationen am Flugzeug) sowie die Flugwege (z. B. Fluggeschwindigkeit) gesammelt. Zusätzlich ist die Angabe der statistischen Wertigkeit in Form der 90 %-Konfidenzintervalle notwendig, so dass der Bereich angegeben wird, der +/- 1,5 EPNdB umfasst.

Die Angabe der Ergebnisse erfolgt als Lärmstörpegel EPNL durch das korrigierte arithmetische Mittel der Lärmwerte der gültigen Lärmmessflüge, wobei mindestens 6 Messungen pro Messpunkt erforderlich sind. Die Dokumentation steht in der beschriebenen Form in der Regel nicht frei zur Verfügung. Dagegen sind die so genannten Lärmlisten, die die Zusammenstellung aller nach den Vorgaben von *Annex 16* zertifizierten Luftfahrzeuge eines Landes beinhalten, z. T. frei verfügbar. Als zuständige Behörde in Deutschland führt das LBA acht Lärmlisten für die unterschiedlichen Kategorien der Luftfahrzeuge.[109] Die *Lärmliste 1* (LBA 2005) enthält die zertifizierten Lärmwerte für alle zivilen Strahlflugzeuge, die in Deutschland zugelassen sind.

Lärmgrenzwerte nach ICAO *Annex 16*

Im *Annex 16* sind folgende Lärmgrenzwerte (ausgedrückt als EPNL in [EPNdB]) für Flugzeuge mit Strahltriebwerken des *Chapter 3* definiert:

Tabelle 3 Lärmgrenzwerte Unterschall-Strahlflugzeuge *Chapter* 3 nach *Annex 16*

höchstzulässige Startmasse MTOM [kg]	Lärmgrenzwert EPNL in [EPNdB]				
	Seitlicher Messpunkt L_S	Startüberflug $L_Ü$ Anzahl Triebwerke			Anflug L_A
		≤ 2	3	≥ 4	
≥ 400.000	103				
≥ 385.000		101	104	106	
≥ 280.000					105
≤ 48.125		89			
≤ 35.000	94				98
≤ 28.615			89		
≤ 20.234				89	

Erläuterung: Die Lärmgrenzwerte von *Annex 16* sind gewichtsabhängig definiert. Ober- und unterhalb der jeweiligen Angaben zu den höchstzulässigen Startmassen [MTOM] gelten konstante Lärmgrenzwerte. Innerhalb der angegebenen Spannen sind die Lärmgrenzwerte linear ausgestaltet, indem sie sich anhand des logarithmisch aufgetragenen Gewichts [MTOM in kg] sowie des Lärmstörpegels [EPNL in EPNdB] ableiten lassen.

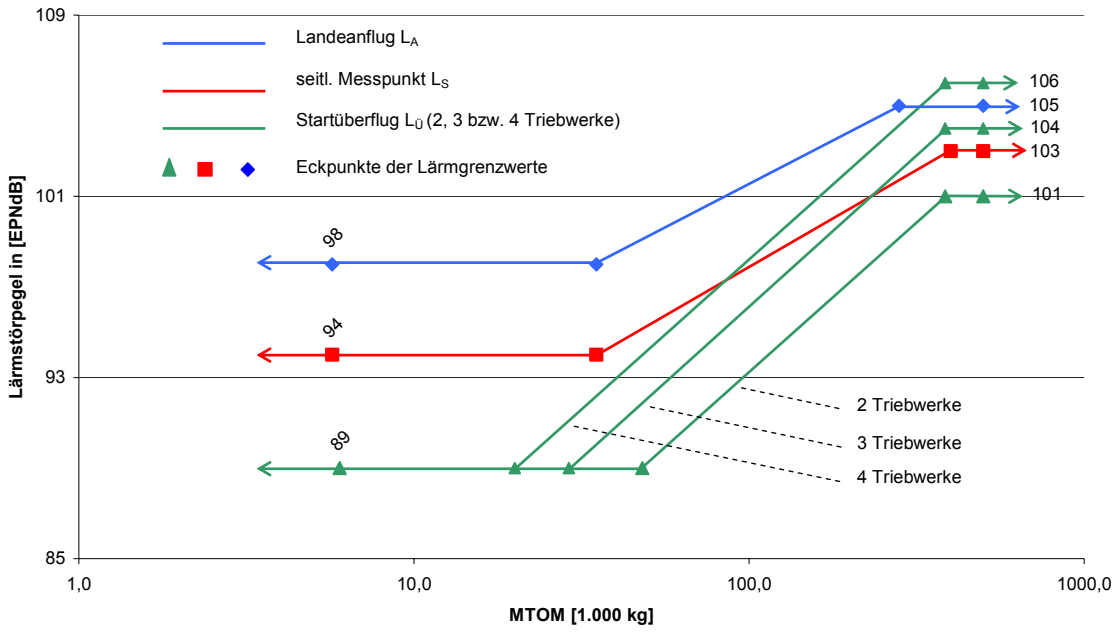
[109] Weitere frei zugängliche Lärmlisten finden sich beispielsweise im Internet bei der *Federal Aviation Administration* (FAA) für die USA oder beim Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) für die Schweiz.

Es gelten folgende Ausgleichsregelungen für *Chapter 3* Fluggerät, falls an einem oder zwei Messpunkten die Lärmgrenzwerte überschritten werden (siehe *Annex 16*, Kapitel 3.5 *Trade-offs*):

- Die Überschreitung in Summe darf nicht mehr als 3 EPNdB betragen.
- Die Überschreitung an einem einzelnen Messpunkt darf nicht mehr als 2 EPNdB betragen.
- Jede Überschreitung muss durch Abgleich mit den anderen Messpunkten ausgeglichen werden.

Diese Regelungen sind entsprechend der Formulierung im *Annex 16* in § 10 LuftVZO [*Verkehrszulassung, Rücknahmen und Widerruf*] übernommen worden.

Abbildung 5 Grafische Darstellung der Lärmgrenzwerte nach ICAO *Annex 16* für *Chapter* 3 Flugzeuge



Chapter 4 Lärmstandard

Das Umweltkomitee *CAEP* der *ICAO* hat im September 2001 eine Einigung auf einen schärferen *Chapter 4* Lärmstandard für zivile Unterschall-Strahlflugzeuge und schwere Propellerflugzeuge erzielt, deren Regelung für neu zugelassene Flugzeugmuster ab 1. Januar 2006 gilt. Diese werden allgemein als *Chapter 4* Flugzeuge bezeichnet, weil sie im Kapitel 4 von *Annex 16* geregelt sind. Diese neue Regelung sieht keine separate Ausweisung von Lärmgrenzwerten vor, sondern bezieht sich auf die bestehenden Grenzwerte für *Chapter 3* Flugzeuge und trifft zusätzliche Vereinbarungen zur

Unterschreitung dieser Grenzwerte. *Chapter 4* sieht für neu in Dienst gestellte Flugzeuge folgende Regelungen vor:

- Eine Absenkung um kumulativ 10 EPNdB gegenüber den bisherigen *Chapter 3* Grenzwerten;
- dabei darf es an keinem der Messpunkte zu einer Überschreitung der für *Chapter 3* Flugzeuge geltenden Lärmgrenzwerte kommen;
- die Summe der Abweichungen der EPNL an zwei Messstellen darf dabei nicht weniger als 2 EPNdB betragen (im Vergleich zu *Chapter 3*).

Die Einführung dieses neuen Standards geht auf eine langjährige Initiative verschiedener Akteure zurück, die sich für eine Verschärfung der Lärmgrenzwerte eingesetzt haben (z. B. Bundesregierung[110] oder EU[111]).

2.6 Bewertung des Regelwerks nach *Annex 16*

Das Ziel der nachfolgenden Bewertung ist es, auf Basis der Erkenntnisse zum bestehenden Regelwerk, Empfehlungen für die Fortentwicklung von *Annex 16* zu geben. Dafür werden zunächst die Vor- und Nachteile des aktuellen Systems ausführlich dargestellt. Hierzu wird zwischen

- dem Charakter einzelner Gestaltungselemente des bestehenden Regelwerks und
- allgemeinen Vor- und Nachteilen, die sich aufgrund der gewählten Methodik ergeben

differenziert. Für eine Bewertung des Regelwerks erscheint die möglichst umfassende Berücksichtigung aller bestehenden Vor- und Nachteile wichtig, damit die zulässigen Geräuschemissionen bzw. das Zertifizierungsverfahren zukünftig ein wirkungsvolles Instrument zugunsten einer Geräuschminderung sein können. Dabei hat sich herausgestellt, dass sich verschiedene Aspekte, die bei erster grober Annäherung als Vor- oder Nachteil interpretiert werden könnten, in der Praxis nicht als solche erwiesen haben. In diesem Kontext ist insbesondere auf folgende drei Aspekte hinzuweisen:

- idealisierte Messbedingungen vs. tatsächlichen Flugbetrieb,
- Ausnutzung der Regelungen zur Kompensation zwischen den Messpunkten,
- Festlegung von konstanten Ober- und Untergrenzen.

Die standardisierten Vorgaben zur Messdurchführung, wie sie im *Annex 16* definiert werden, entsprechen nicht der flugbetrieblichen Praxis, so dass die Schlussfolgerung

[110] Siehe z. B. *Flughafen-Konzept* der Bundesregierung (Entwurf vom 30. August 2000).

[111] Siehe u. a. Mitteilung der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament, den Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen Luftverkehr und Umwelt: *Wege zu einer nachhaltigen Entwicklung* vom 1. Dezember 1999, KOM(1999) 640 endgültig.

möglich ist, dass die tatsächlich stattfindenden Geräuschimmissionen zu einer höheren oder niedrigeren Betroffenheit führen könnten bzw. die Zertifizierungswerte nicht für weitergehende Betrachtungen des Immissionsschutzes geeignet sind. Ob und inwiefern die normierten Messungen im Vergleich zum tatsächlichen Flugbetrieb zu geringeren oder höheren Ergebnissen der Geräuschbelastung führen können, ist im Rahmen einer Studie des ERCD der englischen CAA untersucht worden (CAA 2003 b).

Diese Studie wurde vor dem Hintergrund der Quota Count (QC) Klassifikation an den drei Londoner Flughäfen Heathrow, Stansted und Gatwick, deren Einstufung und Bewertung allein auf Basis der Zertifizierungslärmpegel erfolgte, zur Validierung der QC-Klassifikation („*certificated noise*“) und realer Lärmmessungen („*operational noise*“) durchgeführt (zum QC-System siehe auch Kapitel 2.7). Für diese Validierung ist das Lärmmessnetz in der Form modifiziert worden, dass auch EPNL Pegel gemessen werden können und möglichst identische Standorte analog zum Zertifizierungsverfahren zur Verfügung stehen. Mittels einer umfangreichen Analyse, die einen Großteil der nachts verkehrenden Flugzeuge an den drei Londoner Flughäfen berücksichtigt, konnte nachgewiesen werden, dass die 95%-Vertrauensintervalle der Differenzen zwischen Messwert und Zertifizierungswert nicht größer als +/-1 EPNdB sind. Im Rahmen der Untersuchung wurden lediglich wenige Flugzeugtypen identifiziert, deren tatsächliche Lärmmessung deutlich vom Zertifizierungswert bzw. der Einstufung in das QC-System abwich. Aufgrund dieser Studie kann demzufolge die Befürchtung, dass wesentliche Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Lärmzertifizierung und Messungen im realen Flugbetrieb zulasten oder zugunsten der Lärmbetroffenen bestehen, nicht gestützt werden. Dieser Sachverhalt kann zumindest als Anhaltspunkt dafür dienen, dass keine nennenswerten Vor- oder Nachteile daraus entstehen. Im Rahmen der ERCD-Studie wird aber auch deutlich darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse nicht ohne weiteres auf andere Flughäfen übertragbar sind, weil die besondere Charakteristik jedes einzelnen Flughafens zu berücksichtigen ist.

Die Kompensationsmöglichkeit zwischen den Emissionspunkten, wie sie in den ICAO Regularien vorgesehen ist (so genannte „Trade-offs“ im *Annex 16*), könnte den Anreiz behindern, an allen Messstellen die Lärmgrenzwerte zu unterschreiten, wenn sie bereits an ein oder zwei der drei Stellen erfüllt werden. Allerdings zeigt sich bei der Analyse der aktuellen *Lärmliste 1* des LBA, dass Grenzwertüberschreitungen der *Chapter* 3 Stufe sowie der nur knapp diese Vorschrift erfüllenden Flugzeugtypen nur bei einem sehr geringen Anteil der Flugzeugtypen vorkommen (siehe Tabelle 4). Diese Überschreitungen betreffen Flugzeugtypen, die überwiegend zu den selteneren und/oder älteren Flugzeugtypen zählen und keinen nennenswerten Beitrag zur emittierten Schallenergie an den betrachteten Flughäfen leisten.[112] Wie sieht es bei geringen Grenzwertunterschreitungen aus, also Flugzeugtypen, die die Vorschriften

[112] *Take-off* Messpunkt: z. B. Beech Jet 400A oder DC-9 83 (MD 83); seitlicher Messpunkt: A 321-211, B 737-200, Cessna 560, DC-9 83 (MD 83) oder DC-9 87 (MD 87); Approach Messpunkt: B 747-230, DC-10 30, A 300, B 737-300/-400/-500 und Fan Jet Falcon.

knapp einhalten? Zwischen 3 (0,3 % am *Take-off* Messpunkt) und 79 Flugzeugtypen (6,7 % am *Approach* Messpunkt) liegen in einem Bereich der Unterschreitung von bis zu 1 EPNdB. [113]

Tabelle 4 Grenzwertüberschreitungen *Lärmliste 1* Strahlflugzeuge für *Chapter* 3

Zertifizierungsmesspunkt	Grenzwertüberschreitungen *Chapter* 3 Fluggeräte	Anteil *knapp* die Grenzwerte einhaltende *Chapter* 3 Fluggeräte
	%-Anteil der **Über**schreitungen je Zertifizierungsmesspunkt (Anzahl)	%-Anteil der **Unter**schreitungen je Lärmgrenzwert mit 0 bis 1 EPNdB (Anzahl)
Startüberflug	0,2 % (2)	0,3 % (3)
Seitlicher Messpunkt	1,9 % (22)	6,4 % (75)
Anflug	2,6 % (30)	6,7 % (79)
kumuliert *Chapter 4*	15,7 % (184)	-

Quelle: LBA 2005, eigene Auswertung

Anmerkung: Die aktuelle *Lärmliste 1* des LBA weist 1.174 Flugzeugtypen bzw. Varianten für Flugzeugtypen der *Chapter* 3 Klassifikation aus (Stand 24-06-2005); die Zeile „kumuliert *Chapter 4*“ weist den Anteil der Flugzeugvarianten mit 10 EPNdB Differenz aus; 10 EPNdB entspricht der Grenzwertsenkung für *Chapter 4* Flugzeuge.

Die Prüfung innerhalb der *Lärmliste 1* des LBA (LBA 2005) zeigt also, dass aus der Option zur Kompensation zwischen den Messpunkten kein allgemeiner Vor- oder Nachteil abgeleitet werden kann, weil maximal 7 % aller zugelassenen Flugzeugtypen einen Lärmgrenzwert überschreiten. Damit kann der positive Gesichtspunkt dieser Regelung durchaus geltend gemacht werden, nämlich dass die Kompensationsmöglichkeit zwischen den Emissionspunkten verhindert, dass geringfügige Grenzwertüberschreitungen mit hohem Aufwand seitens der Triebwerks- oder Luftfahrzeughersteller beseitigt werden müssen.

Die Grenzwerte für die drei Zertifizierungsmessstellen sind unter- und oberhalb einer definierten höchstzulässigen Startmasse (MTOM) konstant, so dass in diesen Bereichen keine gewichtsabhängige Komponente enthalten ist. Im Allgemeinen kann man davon ausgehen, dass die Wahl von konstanten Ober- und/oder Untergrenzen für die Grenzwertfestlegung ungünstig sein kann, weil dadurch keine weiteren Anreize zur Unterschreitung geboten werden. Allerdings zeigt die Analyse der *Lärmliste 1* des LBA,

[113] Beispiele am seitlichen Messpunkt: A 321, B 747-200, DC-9 und Regionaljets; Beispiele am Approach Messpunkt:: A 300, B 737, MD 11.

dass die obere konstante Grenzwertfestlegung keinen Einfluss hat, weil keine entsprechend schweren zivilen Strahlflugzeuge zertifiziert worden sind bzw. für den Verkehr zugelassen sind.[114] Andererseits würde der konstante Lärmgrenzwert real eine Verschärfung gegenüber leichteren Fluggeräten bedeuten.

Unter der Annahme, dass die untere Grenze linear fortgesetzt würde, zeigt sich, dass einzelne Flugzeugtypen davon profitieren, dass die gewichtsbezogene Untergrenze beispielsweise für den seitlichen Messpunkt ab 94 EPNdB konstant ist. Unter dieser Annahme würden verschiedene Flugzeugtypen den Grenzwert überschreiten, die den Businessflugzeugen zuzuordnen sind.[115] Das Gleiche gilt für die anderen beiden Zertifizierungsmesspunkte.[116] Aufgrund der dargestellten Situation, dass sich die Grenzwertfestlegung bei konstanten MTOM lediglich auf wenige Flugzeugtypen, die keinen wesentlichen Beitrag zu den Geräuschemissionen leisten, beschränkt, kann geschlussfolgert werden, dass keine relevanten Schwierigkeiten aufgrund dieses Ausgestaltungselements auftreten.

Bei der bestehenden Regelung zur Lärmzertifizierung nach *Annex 16* sind weiterhin Vor- und Nachteile zu konstatieren, die sich aufgrund der bestehenden Methodik des Verfahrens ergeben. Als Vorteile des bestehenden Verfahrens sind zu nennen:

+ Das Verfahren nach *Annex 16* stellt ein weltweit standardisiertes Messverfahren dar, das allgemein zur Klassifikation der Lärmstandards für jeden einzelnen Flugzeugtyp anerkannt ist. Die Lärmzertifizierungswerte sind für jedes Flugzeug bekannt und liegen über das Lärmzeugnis bzw. die Lärmliste vor. Das einheitliche Messverfahren gewährleistet eine Vergleichbarkeit untereinander und verhindert unter Berücksichtigung und Einhaltung des umfassenden Regelwerks, dass Spielräume zur Umgehung der Restriktionen bestehen bzw. ausgenutzt werden können. Damit liegt ein praxistaugliches und häufig angewandtes Verfahren mit umfassenden Erfahrungen vor.

+ Der verwendete Lärmindex EPNL kann als suffizientes Lärmmaß bewertet werden, das, im Gegensatz zu den üblichen Lärmmaßen, wichtige Parameter zur adäquaten Bewertung von Fluglärmimmissionen berücksichtigt. Der Lärmstörpegel EPNL enthält u. a. eine Ton- (Tonkorrektur in Abhängigkeit von der Frequenz) und Zeitbewertung (Berücksichtigung der t_{10}-Zeit), die die

[114] Derzeit befindet sich der Flugzeugtyp A 380 in der Zertifizierung. Das Gewicht von ca. 550 t liegt deutlich über dem oberen festen Grenzwert für die Startmasse von 400 t, wie sie im Rahmen der Zertifizierung bei der Grenzwertfestlegung nach *Annex 16* Berücksichtigung findet. Damit wird die Ausgestaltung der Zertifizierung mit einer festen Obergrenze für diesen Flugzeugtyp zum Nachteil. Dieser Aspekt ist ebenso bei langfristig geplanten Flugzeugkonzepten für 2020+, die z. T. ein MTOM > 550 t aufweisen, zu beachten.

[115] Beispiele für den seitlichen Messpunkt: Learjet 55, Cessna 560 und 650, Beech Jet 400a, Falcon 10.

[116] Beispiele für den Approach Messpunkt: Fan Jet Falcon, Beech Jet 400, Falcon 10, HS 125; Beispiele für den *Take-off* Messpunkt: Leerjet 55, Beech Jet 400A, IAI 1124, HS 125.

Störwirkung des Fluglärms gegenüber anderen Lärmindizes besser abbilden sollen.

+ Die gewichts- und triebswerkszahlabhängige Grenzwertsetzung in *Annex 16* berücksichtigt, dass mit zunehmender Masse ein wachsendes Potenzial der Leistungserstellung erbracht wird. Damit wird erreicht, dass Flugzeugtypen mit steigendem Gewicht in der Regel eine entsprechend größere Zahl an Flugpassagieren (bzw. als Angabe in Personenkilometer Pkm oder Fracht in tkm) befördern können. Diese Regelung erscheint auch aus Sicht des Lärmschutzes vorteilhaft, weil die Geräuschemissionen pro Passagier (bzw. Tonne Fracht) geringer ausfallen, so dass die emittierte Lärmenergie bei gleicher Anzahl beförderter Passagiere reduziert wird (vergleiche auch Ausführungen in Kapitel 3.4.1 mit Angaben zu Schallpegeln pro Sitzplatz).

Folgende Nachteile des bestehenden Verfahrens sind zu konstatieren:

- Das geschilderte Verfahren (siehe v. a. Kapitel 2.5) beinhaltet ein Mess- und Bewertungsverfahren zur Ermittlung des EPNL, das sehr aufwendig ist und nicht den sonstigen Standards der Lärmerfassung entspricht (z. B. keine A-Bewertung). Damit wird die Nachvollziehbarkeit der Messung für die Zertifizierungspegel deutlich erschwert. Aufgrund des großen Aufwands für Zertifizierungsmessungen sind nur wenige Institutionen dazu in der Lage und Nachprüfungen sind (nahezu) ausgeschlossen.
- Trotz der umfangreichen Dokumentation, wie sie im Verfahren gefordert wird, besteht eine mangelnde Transparenz, weil in der Regel ausschließlich die abschließenden Messergebnisse veröffentlicht werden. Selbst die Lärmlisten werden lediglich z. T. von den Ländern bzw. den zuständigen Institutionen veröffentlicht. Erschwerend kommt hinzu, dass sich die Detailliertheit der vorliegenden Lärmlisten stark voneinander unterscheidet und deswegen Vergleiche kaum möglich sind.
- EPNL-Pegelwerte können nicht mit anderen Ergebnissen der Fluglärmerfassung (z. B. Messung nach § 19a LuftVG[117]) verglichen werden, weil andere Lärmindizes verwendet werden. Der Lärmindex EPNL hat sich, obwohl er speziell für die Bewertung von Fluglärmimmissionen entwickelt wurde, nicht allgemein durchgesetzt. Es ist keine Publikation bekannt, die Untersuchungen (abgesehen von der Lärmzertifizierung selbst) unter Berücksichtigung des EPNL thematisiert. Die fehlende Übertragbarkeit bzw. Vergleichbarkeit mit anderen A-bewerteten Pegelwerten hat dazu geführt, dass beispielsweise von der amerikanischen FAA parallel zu Lärmliste eine Liste mit geschätzten A-

[117] Nach § 19a LuftVG [Anlagen zur Messung des Fluglärms] ist die Messung nach DIN 45 643, Teil 2 *Messung und Beurteilung von Flugzeuggeräuschen* vorgesehen.

bewerteten Spitzenpegeln veröffentlicht wird (CAA 2002). Die Liste enthält für die Messpunkte *Take-off* und *Approach* Maximalschallpegel L_{Amax}, die z. B. für Strahlflugzeuge aus Berechnungen mit dem *Integrated Noise Model* (INM)[118] abgeleitet wurden oder von Angaben der Flugzeughersteller stammen (siehe *Tabelle 5*).

Tabelle 5 Vergleich Pegelangaben in EPNdB und Spitzenpegel nach FAA

Flugzeugtyp	Triebwerk	MTOM [kg]	FAA-Lärmliste EPNL in [EPNdB]		geschätzte L_{Amax} in [dB(A)]	
			Take-off	*Approach*	*Take-off*	*Approach*
B 747-400	CF6-80C2B1F	396.893	99,8	103,8	87,9	94,2
B 737-300	CFM 56-3B-2	56.472	82,8	99,6	71,5	89,5
B 757-300	RB 211-535E4B	106.989	84,0	95,2	69,0	85,7
A 310-324	PW 4152	150.000	90,6	100,2	76,2	91,6
A 319-131	V 2522A5	71.999	85,3	94,5	73,2	83,5
A 320-231	V 2500.A1	73.500	86,6	96,6	72,9	84,7
Learjet 60	PW 305A	10.478	70,8	87,7	60,9	77,4
MD 80	JT8D-217C	72.575	91,5	93,7	78,3	83,8
Quelle:			FAA 2001		FAA 2002	
Anmerkung: beispielhafte Auswahl einzelner Flugzeugtypen						

- Die Verschärfung der Lärmgrenzwerte ab Januar 2006 übt keinen Einfluss auf bestehende Produktionsreihen von Flugzeugtypen aus, die bereits eine entsprechende Zertifizierung nachweisen konnten. Diese Flugzeugtypen können weiterhin hergestellt werden, obwohl sie eventuell die strengeren Normen des *Chapter* 4 nicht einhalten, so dass die Verschärfung keine Auswirkungen auf diese in Produktion befindlichen Flugzeugmuster hat.

[118] Integrated Noise Model (INM): Fluglärmberechnungsprogramm entwickelt von der FAA, Washington.

Exkurs: Grenzwertregelungen bei Personenkraftwagen

Vergleicht man das Regelwerk zur Lärmzertifizierung der Luftfahrzeuge nach ICAO mit den Abgasgrenzwerten von Otto- und Diesel-Pkw zeigt sich, dass dort gemäß Vorgabe der EU-Richtlinien sowohl seitens der Produzenten regelmäßige Kontrollen während der Produktion (Serienprüfung) als auch seitens der Fahrzeughalter während der Fahrzeuglebensdauer (Typprüfung) nachgewiesen werden müssen. Jedes einzelne Fahrzeug muss regelmäßig zur Abgasmessung vorgeführt werden (nach StVZO, Anlage 23). Weiterhin sind die Grenzwerte im Abstand von wenigen Jahren verschärft worden (*Euro-I* Standard gültig ab 1992 bis zum aktuellen *Euro IV* Standard gültig ab 2005). Insgesamt wurden mit den Stufen EURO-II bis IV die Schadstoffemissionen neuer Pkw mit Ottomotor gegenüber Otto-Pkw ohne Katalysator um 90 bis 95 % reduziert.

Die Lärmgrenzwerte von Kraftfahrzeugen werden dagegen durch die Europäische Gemeinschaft auch als Anforderungen an Neufahrzeuge festgesetzt und die Geräusch-emissionsgrenzwerte bzw. Fahrgeräuschgrenzwerte gelten allein für die Erstzulassung von Kraftfahrzeugen. Seit 1980 sind die Anforderungen an die Geräuschemissionen in drei Stufen verschärft worden, wobei die letzte Absenkung 1996 wirksam wurde. Kraftfahrzeuge müssen so beschaffen sein, dass die Geräuschentwicklung das nach dem jeweiligen Stand der Technik unvermeidbare Maß nicht übersteigt (§ 49 StVZO). Weil die bestehenden Grenzwerte die Berücksichtigung der Antriebsgeräusche umfassen, sind zusätzliche Regelungen für Abrollgeräusche zur Einführung lärmarmer Reifen eingeführt worden.

Neben der Darstellung der Vor- und Nachteile erscheint ebenfalls die Prüfung sinnvoll, inwiefern Unterschiede zwischen nationalen Lärmlisten bestehen oder ob zwischen den Flugzeugherstellern Unterschiede hinsichtlich der Zertifizierungsmessungen bestehen. Denkbar wären Unterschiede hinsichtlich einer ungleichförmigen Einhaltung der bestehenden Lärmgrenzwerte, so dass z. B. einzelne Lärmmesspunkte vernachlässigt werden.

Ein exemplarischer Vergleich verschiedener nationaler Lärmlisten zu Strahlflugzeugen zeigt, dass die ermittelten Zertifizierungspegel für die gleichen Flugzeugtypen sehr ähnlich bzw. nahezu identisch sind (siehe Tabelle 6) Innerhalb dieser zufällig ausgewählten Flugzeugtypen zeigt sich, dass lediglich die Zertifizierungsmessungen *Approach* für die B 747-400 um maximal 2,1 EPNdB voneinander abweichen. Alle anderen Zertifizierungswerte zeigen, dass nahezu Übereinstimmung besteht bzw. sich die Abweichungen im Rahmen der Messungenauigkeiten bewegen (max. 0,4 EPNdB). Allerdings zeigt sich auch, dass ein vollständiger Abgleich schwierig zu bewerkstelligen ist, weil die Bezeichnungen zwischen den nationalen Lärmlisten nicht einheitlich gewählt sind, so dass eine eindeutige Zuordnung z. T. nicht möglich ist.

Tabelle 6 Vergleich der Angaben zu Zertifizierungsmessungen in Lärmlisten für Strahlflugzeuge für ausgewählte Flugzeugtypen

Flugzeugtyp	Triebwerk	MTOM	Lärmliste Deutschland			Lärmliste USA			Lärmliste Schweiz		
			takeoff	sideline	approach	takeoff	sideline	approach	takeoff	sideline	approach
		[kg]	[EPNdB]			[EPNdB]			[EPNdB]		
B 737-300	CFM 56-3B-1	56.470	84,4	90,4	99,9	84,4	90,4	99,6	-	-	-
B 737-300	CFM 56-3B-1	63.276	87,5	89,9	100,0	87,5	89,9	100,1	-	-	-
B 737-300	CFM 56-3B-2	56.472	-	-	-	82,8	92,2	99,6	82,9	92,2	99,9
B 737-800	CFM 56-7B24	79.002	88,6	92,1	96,5	88,6	92,1	96,5	-	-	-
B 737-800W	CFM 56-7B24	79.002	87,5	92,1	96,3	87,5	92,1	96,3	-	-	-
B 747-400	CF6-80C2B1F	396.900	99,8	98,2	101,7	99,8	98,2	103,8	-	-	-
B 747-400	CF6-80C2B1F N1 Modifier	396.900	99,9	98,2	101,7	99,9	97,9	103,8	-	-	-
A 340-313	CFM56-5C4	275.000	95,4	96,1	97,0	-	-	-	95,6	96,1	96,9
A 319-112	CFM56-5B6/2P	64.000	83,5	93,9	95,0	-	-	-	83,1	94,0	94,8
A 310-325	PW4156A	164.000	91,7	96,8	100,2	-	-	-	91,8	96,8	100,3
DC 10-30	CF6-50C2	251.748	96,8	97,8	105,0	96,8	97,8	105,0	-	-	-
DC 10-15	CF6-50C2-F	206.390	-	-	-	93,8	95,6	103,1	93,8	95,6	103,1
AVRO 146-RJ85	LF-507-1F	43.998	84,3	88,4	97,3	-	-	-	84,3	88,4	97,3
Learjet 60	PW 305 A	10.659	70,8	83,1	87,7	70,8	83,2	87,7	70,8	83,1	87,7
Learjet 60	PW 305 A	10.479	70,8	83,1	87,7	70,8	83,1	87,7	-	-	-
Quellen			LBA 2005			FAA 2001			BAZL 2004		

Anmerkung: Schallpegelangaben in [EPNdB] sind den genannten Lärmlisten entnommen; die Auswahl der Flugzeugtypen erfolgte zufällig

Eine zusätzliche Auswertung der deutschen *Lärmliste 1* hinsichtlich systematischer Abweichungen soll prüfen, ob beispielsweise die Flugzeughersteller eine unterschiedliche Gewichtung vornehmen bzw. Messpunkte unterschiedlich bewerten. Der Vergleich zufällig ausgewählter häufiger Flugzeugtypen zeigt, dass keine systematischen Verschiebungen zugunsten oder zulasten eines Zertifizierungspunktes erkennbar sind. Aufgrund der Konstruktion und Ausstattung der einzelnen Fluggeräte lässt sich demzufolge keine Tendenz erkennen, dass die Flugzeugtypen eines Herstellers an einem der Zertifizierungsmesspunkte den Grenzwert knapp unterschreiten bzw. in den Bestrebungen zur Einhaltung der Grenzwerte einen Messpunkt eher vernachlässigen als andere Messpunkte (siehe Tabelle 7).

Es ist also nicht identifizierbar, ob ein Zertifizierungspunkt systematisch vernachlässigt wird. Der Vergleich mit Veröffentlichungen der Luftverkehrsgesellschaften und Luftfahrzeughersteller (z. B. Abbildung 7) zeigt weiterhin, dass die Angaben mit den Lärmlisten übereinstimmen. Allerdings ist an dieser Stelle ebenso darauf hinzuweisen, dass die starke Differenzierung der *Lärmliste 1* des LBA, die beispielsweise über 100 verschiedene Typen und Varianten der A 320 ausweist, in den Veröffentlichungen nicht berücksichtigt werden kann. Innerhalb der Vielzahl von Flugzeugtypvarianten bewegen sich die Ergebnisse der Lärmzertifizierung innerhalb einer Spannbreite (siehe auch Kapitel 3.4.2.2).

Tabelle 7 Vergleich der Messwerte für Lärmzertifizierungsmessungen ausgewählter Boeing- und Airbus Flugzeugtypen

	Flugzeugtyp	Variante	Triebwerk	MTOM [kg]	Zertifizierungspegel je [EPNdB]			Grenzwert je [EPNdB]			Differenz (Grenzwert - Zert.-pegel) je [EPNdB]		
					takeoff	lateral	approach	takeoff	lateral	approach	takeoff	lateral	approach
Airbus	A 300	B4-601	GE CF6-80C2A1	165.000	91,3	97,1	99,1	96,2	99,8	103,3	**4,9**	**2,7**	**4,2**
	A 300	B4-622-R 00 (03)	4158 Phase III, Mod 10925	170.500	90,8	96,7	100,6	96,3	99,9	103,3	**5,5**	**3,2**	**2,7**
	A 319	111 000 (02)	CFM56-5B5	64.000	83,8	92,3	92,8	90,7	96,2	100,0	**6,9**	**3,9**	**7,2**
	A 319	132 000 (01)	IAE V2524-A5	64.000	81,7	92,7	94,2	90,7	96,2	100,0	**9,0**	**3,5**	**5,8**
	A 320	214 011 (02)	CFM56-5B4/P, Mod 30307	75.500	85,0	94,4	95,7	91,6	96,9	100,6	**6,6**	**2,5**	**4,9**
	A 320	232 015	IAE V2527-A5	78.000	85,2	91,6	95,3	91,7	96,9	100,7	**6,5**	**5,3**	**5,4**
	A 321	213 006 (01)	CFM56-5B2, Mod. 31616	83.000	86,6	96,0	95,5	92,2	97,2	100,9	**5,6**	**1,2**	**5,4**
	A 321	232 001(01)	IAE V2530-A5, Mod. 28960	93.000	88,8	94,1	95,6	92,8	97,6	101,3	**4,0**	**3,5**	**5,7**
	A 340	313 000 (01)	CFM56-5C4	253.500	91,9	96,4	96,9	103,6	101,3	104,7	**11,7**	**4,9**	**7,8**
	A 340	642 000 (01)	RR trent 556-61	365.000	93,5	95,5	99,9	105,7	102,7	105,0	**12,2**	**7,2**	**5,1**
Boeing	B 737	300	CFM56-3B-2	62.822	85,5	91,9	99,9	90,5	96,2	100,0	**5,0**	**4,3**	**0,1**
	B 737	375	CFM56-3B-1	61.235	86,5	90,2	99,6	90,4	96,1	99,9	**3,9**	**5,9**	**0,3**
	B 737	800 (20)	CFM56-7B-27 Winglets	78.244	85,7	94,7	96,3	91,8	97,0	100,7	**6,1**	**2,3**	**4,4**
	B 737	800 (04)	CFM56-7B-26	78.244	87,1	93,8	96,5	91,8	97,0	100,7	**4,7**	**3,2**	**4,2**
	B 747-400	(02)	CF6-80C2B1F	394.625	99,7	98,3	103,3	106,0	103,0	105,0	**6,3**	**4,7**	**1,7**
	B 747-400	(03)	CF6-80C2B1F	396.900	99,8	98,2	101,7	106,0	103,0	106,2	**6,2**	**4,8**	**4,5**
	B 757	200 27B	RB211-535E4, Package B	103.872	83,5	93,2	95,0	93,5	98,0	101,7	**10,0**	**4,8**	**6,7**
	B 757	300 (10)	RB211-535E4-B-37 mit 48 Outlet Guide Vanes	116.978	86,2	95,1	95,4	94,1	98,5	102,1	**7,9**	**3,4**	**6,7**
	B 777	200 (IGW) (15)	RB211 Trent 895	297.556	93,4	98,3	99,4	99,5	101,9	105,0	**6,1**	**3,6**	**5,6**
	B 777	200 (04)	GE90-76B	242.671	88,3	93,2	97,6	98,3	101,2	104,5	**10,0**	**8,0**	**6,9**

Quelle: *Lärmliste 1* Strahlflugzeuge, LBA 2005

Anmerkung: Die Auswahl der Flugzeugtypen erfolgte zufällig

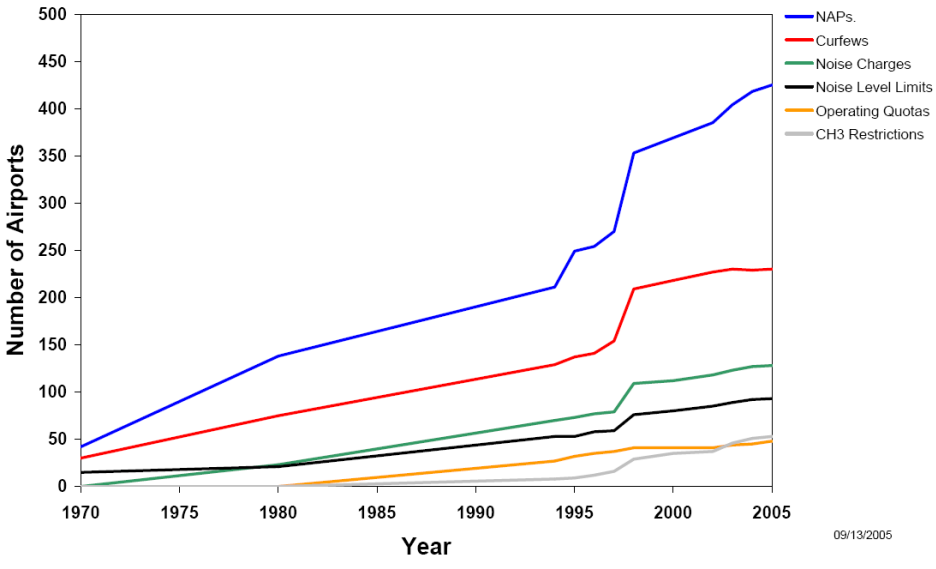
2.7 Lärmschutzregelungen an internationalen Flughäfen

Die Notwendigkeit zum Lärmschutz an Flughäfen wird allgemein akzeptiert, findet sich in den Regelungen des Luftverkehrsrechts und wird aufgrund des wachsenden Luftverkehrs auch weiterhin v. a. als wichtiger Baustein zum Schutz vor Lärmbelästigungen oder Gesundheitsschäden sowie zur Erhöhung der Akzeptanz gegenüber den Lärmbetroffenen, insbesondere im unmittelbaren Umfeld der Flughäfen, angesehen. Die Anzahl von Lärmschutzregelungen an den Flugplätzen hat sich in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten stark erhöht (siehe Abbildung 6). Es existiert mittlerweile eine Vielzahl an unterschiedlichen Regelungen und Instrumenten, die sich z. T. die Lärmzertifizierung nach *Annex 16* bzw. die *Chapter*-Stufen zu Nutze machen, wobei keine einheitliche Anwendung oder Ausgestaltung besteht, sondern

eine (fast) unüberschaubare Anzahl und Vielfalt entstanden ist, weil in der Regel lokale flughafenspezifische Einzelregelungen getroffen wurden und werden.

Zum Beispiel beinhalten einzelne Instrumente, wie z. B. Start- und Landeentgeltsysteme, eine Vielfalt von Einzelregelungen zu Bemessungsgrundlagen oder Klasseneinteilungen der Flugzeugtypen (siehe z. B. Öko-Institut 2004). Diese Vielfalt führt zu mangelnder Übersichtlichkeit und Uneinheitlichkeit, so dass (nahezu) keine Vergleichbarkeit oder Transparenz gewährleistet werden kann.[119] Im Folgenden wird beispielhaft aufgezeigt, in welcher Form Regelungen Anwendung finden. Damit soll gezeigt werden, dass durch die geeignete Wahl der Ausgestaltung des Instruments positive Effekte zum Lärmschutz erzielt werden können (Bsp. Quota-Count System an den Londoner Flughäfen). Andererseits zeigt das Beispiel der Entgeltmodelle, dass ein Effekt zur aktiven Lärmminderung bzw. eine Anreizwirkung bislang nicht nachzuweisen ist (Öko-Institut 2004). Grundsätzlich ist aber darauf hinzuweisen, dass erst lokale Lärmschutzregelungen die Berücksichtigung örtlicher Betroffenheiten ermöglichen und diese Ortsspezifika für einen angemessenen aktiven Lärmschutz wichtig sind (siehe auch Exkurs zur Lärmwirkungsforschung Anlage I). Solche Regelungen sind dann aus Sicht der Systematik als vorteilhaft einzustufen, wenn eine gemeinsame Struktur (z. B. einheitliche Bemessungsgrundlage) verwendet wird, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Abbildung 6 Darstellung Anzahl der Lärmschutzregelungen an internationalen Flughäfen seit 1970



Quelle: Boeing 2005

[119] Eine Übersicht zu bestehenden Regelungen stellt die Datenbank *Boeing Airport Noise Regulations* zur Verfügung, die aktuell und umfassend über bestehende Instrumente und Maßnahmen zur Lärmminderung an allen internationalen Verkehrsflughäfen informiert (www.boeing.com/commercial/noise).

Londoner Quota-Count System

Die bestehende Regelung am Flughafen London-Heathrow wird als kombiniertes Lärm- und Bewegungskontingent beschrieben (Öko-Institut 2003). Für den Nachtzeitraum von 23:30 bis 6:00 (Ortszeit) gelten Restriktionen für die Anzahl der Flugbewegungen über die maximal zu vergebenden Lärmpunkte, über die der Einsatz lärmarmer Flugzeuge gefördert werden soll.[120] Neben dieser Regelung gelten weitere Maßnahmen des aktiven Schallschutzes wie ein Nachtflugverbot für Flugzeuge der höchsten Quota-Count Klassen oder Maximalpegelbegrenzungen (Marohn 2003). Die Kontingentregelung besteht seit Einführung der *Night Noise Categories* im Jahr 1993 (CAA 2005) als Vorläufer zum aktuell seit 1995 bestehenden Quota-Count System, das für die drei Londoner Flughäfen Heathrow, Gatwick und Stansted gilt (British Airways 2005). Für jeden der drei Flughäfen werden Kontingente in Form von „*noise quotas*" pro Sommer- bzw. Wintersaison für den definierten Nachtabschnitt (23:30 – 6:00) festgelegt.

Tabelle 8 Einstufung des Quota-Count System sowie beispielhafte Flugzeugtypen

EPNdB	Quota Count	Bsp. Flugzeugtyp
< 90,0	**0,5**	Anflug: A 320, B 737-800 Abflug: ATR 42, BAe 146
90,0 – 92,9	**1**	Anflug: B 737-500, A 340-600 Abflug: A 320-200,
93,0 – 95,9	**2**	Anflug: B 747-400, MD 11 Abflug: A 300, B 767-300
96,0 – 98,9	**4**	Anflug: B 747-200, TU 154 Abflug: DC 10, B 747-400
99,0 – 101,9	**8**	Anflug: B 747-100, Abflug: B 747-SP, B 747-200F
> 101,9	**16**	Anflug: Concorde Abflug: DC 8, IL 86

Anmerkung: Die Einstufung in die *Quota Count* erfolgt entsprechend der Veröffentlichung der CAA getrennt für Start und Landung und orientiert sich an den Zertifizierungswerten nach *Annex 16* für jeden einzelnen Flugzeugtyp (inkl. Triebwerksausstattung). Sie gilt für Strahlflugzeuge ab 11.600 kg MTOM.

Berechnungsmethodik: *Chapter 3*: *Take-off* = (*Take-off* + sideline) / 2; *Chapter* 2: [(*Take-off* + sideline) / 2] + 1,75 *Chapter 2* und *3*: *Approach* = *Approach* -9

Quelle: CAA 2005 und Boeing 2005

[120] Das System des Lärmpunktekontos wurde in ähnlicher Weise am Flughafen Frankfurt/Main mit dem Bescheid vom 26. April 2001 und 24. Sept. 2001 des Hessischen Verkehrsministeriums (HMWVL, Wiesbaden) im Rahmen des Vollzugs der Betriebsgenehmigung nach § 6 LuftVG übernommen.

Für das Lärmkontingent werden den Flugzeugen je nach zertifiziertem EPNL-Lärmpegel pro Start und Landung Quotenpunkte (*noise quotas*) zugeteilt, welche im Laufe der Flugplansaison für alle Bewegungen innerhalb des Nachtzeitraums addiert werden, nachdem im Rahmen der Flugplankoordinierung eine Maximalzahl ermittelt worden ist. Für die Über- und Unterschreitung des Punktekontos bestehen Regelungen, die in der nächsten Flugplansaison Anwendung finden.[121] Dieses Quota-Count System an den drei Londoner Flughäfen hat Einfluss auf die Konstruktion des A 380 genommen. Seitens des Herstellers Airbus wurde während der Entwicklung des A 380 das neue Ziel ("*design target*") formuliert, die am Flughafen London-Heathrow geltenden Kriterien für QC/2 zu erfüllen (CAA 2005). Diese Zielsetzung lässt sich v. a. mit der Absicht erklären, dass ein Start- und Landeverbot für Flugzeuge der Klasse QC/4[122] geplant wird. Für die ursprünglich geplante Konstruktion des A 380 wurde prognostiziert, dass er in die Lärmklasse QC/4 fallen würde (snecma 2002). Seitens Airbus wurde die neue Zielsetzung durch zusätzliche Modifikationen realisiert und es ist gelungen, die prognostizierten Geräuschimmissionen des A 380 unterhalb der Einstufung QC/4 zu halten, während z. B. selbst die kleinere bzw. leichtere B 747 (*Jumbo*) z. T. in die Stufe QC/4 fällt (Airbus 2004 b).

Eine Überprüfung des QC-Systems, die von der CAA durchgeführt wurde, hat gezeigt, dass die gewählte Methode über die Zertifizierungswerte angemessen ist, weil keine alternative, ähnlich einfache und verfügbare Methode den Sachverhalt besser darstellen würde (CAA 2002). Schließlich hat sich gezeigt, dass zwischen zertifizierten Lärmmessungen und den tatsächlichen Messungen lediglich vereinzelt Differenzen auftreten, die v. a. durch die unterschiedlichen Flugverfahren zu erklären sind (siehe auch Kapitel 2.6).

Entgeltmodelle

Eine Untersuchung des Öko-Instituts hat aufgezeigt, dass innerhalb der untersuchten Flughäfen eine Vielzahl an Regelungen besteht, die jeweils in Form örtlicher Entgeltmodelle realisiert wurden (Öko-Institut 2004). Im Rahmen einer systematischen und umfassenden Status-quo Analyse wurden die mit Stand 2002 an europäischen und deutschen Flughäfen eingesetzten lärmabhängigen S-/L-Entgeltsysteme hinsichtlich ihrer Struktur (z. B. Höhe und Spreizung der Entgelte, zeitliche Ausdifferenzierung der

[121] Ungenutzte QC können in die nächste Saison übertragen werden, solange sie unter 10 % der Gesamtquote liegen; falls das Punktekonto überschritten wird, erfolgt in der darauf folgenden Flugplansaison die Herabsetzung des Kontingents wobei eine Überschreitung nur bis 20 % erlaubt ist und bei mehr als 10 % um das doppelte im folgenden Flugplan abgezogen wird.

[122] Bislang ist an dem Londoner Flughäfen die Koordinierung von Starts und Landungen von Flugzeugen der Klassen QC/8 und QC/16 während der gesamten Nacht verboten; für Starts sind gewisse Ausnahmen formuliert, um u. a. Verspätungen abzuwickeln (CAA 2005).

Entgelte) und ihrer monetären Anreizwirkung zur Einführung lärmärmerer Flugzeuge untersucht.

Im Rahmen bestehender S-/L-Entgeltsysteme wird vielfach die *Chapter* Einteilung nach *Annex 16* zur Differenzierung der Entgelthöhe der speziellen Start- und Landeentgelte verwendet. Erst im Rahmen neu strukturierter Entgeltmodelle findet stattdessen eine Orientierung an vor Ort gemessenen Einzelschallpegeln (z. B. Frankfurt/Main, Hamburg) statt. Eine Differenzierung der *Chapter 3* Flugzeuge wird teilweise dadurch vorgenommen, dass die so genannte Bonusliste ergänzt wird (z. B. Düsseldorf, Berlin-Tegel). Die Bonusliste wurde vom BMVBS zusammengestellt und beinhaltet eine Differenzierung innerhalb der *Chapter 3-Stufe*, indem lärmärmere Flugzeugtypen separat ausgewiesen werden. Veröffentlicht wird die Bonusliste in den „Nachrichten für Luftfahrer, Teil I“, wobei diese von den Flughäfen z. T. modifiziert und ergänzt wird.

Die Analyse der S-/L-Entgeltsysteme zeigte hinsichtlich der Struktur der lärmabhängigen S-/L-Entgelte zielführende Elemente, die für eine Weiterentwicklung der Modelle empfohlen werden. Hierzu zählen u. a. Elemente wie Transparenz der Entgeltsysteme durch klare Trennung zwischen MTOM-abhängigem Entgelt und der Lärmkomponente, Orientierung am Verursacherprinzip durch getrennte Erfassung von Start und Landung, höhere Bepreisung der Nacht sowie weiterer sensibler Tageszeiten und die Berücksichtigung der lokalen Geräuschimmissionssituation.

Grundsätzlich wurde aber für den Status-quo festgestellt, dass der finanzielle Anreiz nicht ausreichen wird, die intendierten Reaktionen bei den Fluggesellschaften hervorzurufen (Einsatz lärmärmerer Flugzeuge, zeitliche oder räumliche Verlagerung der Flugbewegungen). Dass die heutigen lärmabhängigen S-/L-Entgeltsysteme kaum eine Lenkungswirkung entfalten dürften, bestätigte auch die orientierende Analyse der Kostenstrukturen der Airlines. Reaktionen der Airlines wären damit nur zu erwarten, wenn die Lärmkomponente der S-/L-Entgelte deutlich über den im Status-quo üblichen Rahmen hinaus erhöht würde. Wobei einschränkend darauf hinzuweisen ist, dass dieser Effekt auf Basis des heutigen Standes der Erkenntnisse nicht sicher vorausgesehen werden kann.

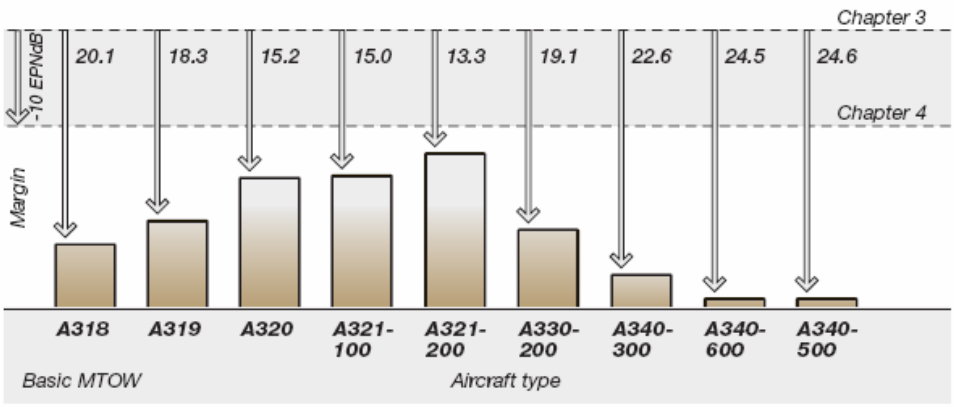
2.8 Schlussfolgerungen

Die Darstellung und Beschreibung der Methode zur Lärmzertifizierung nach *Annex 16* hat gezeigt, dass es sich im Vergleich zu anderen (Flug-) Lärmbewertungsmethoden um ein aufwendiges und komplexes Verfahren handelt. Nach ICAO besteht das einzige Ziel in der Lärmzertifizierung an sich und es sind keine weitergehenden operativen Regelungen oder Lärmschutzmaßnahmen auf Basis der *Chapter* Klassifizierung beabsichtigt. Diese Beschränkung bezieht sich ebenfalls auf die Neueinführung der strengeren Zertifizierung für *Chapter* 4 Flugzeuge (ICAO 2001 b). Dem entgegen steht

die gängige Praxis, dass im Rahmen bestehender Lärmschutzregelungen die *Chapter*-Einstufung verwendet wird.

Ein Blick auf die aktuell verkehrenden Flugzeuge im internationalen Luftverkehr zeigt, dass bereits ein Großteil der Luftfahrzeuge die schärferen Kriterien des *Chapter 4* Standards erfüllt. Nach einer Analyse des Umweltbundesamts werden bereits ca. ¾ aller derzeit in Deutschland zugelassenen Flugzeuge die verschärften Kriterien ab 2006 erfüllen. Allerdings wird darauf hingewiesen, dass dieser Ansatzpunkt über den *Annex 16* sinnvoll und notwendig erscheint für weitergehende Grenzwertvorschläge[123]. Ebenso zeigt sich bei der Betrachtung einer aktuellen Auswahl von Flugzeugen der Firma Airbus, dass die neuen Lärmgrenzwerte bereits von allen Typen z. T. deutlich unterschritten werden (siehe Abbildung 7).

Abbildung 7 Darstellung der kumulativen Lärmzertifizierungswerte in EPNdB für die *Airbus Family*



Quelle: Airbus 2004

Weiterhin unterschreiten alle Flugzeuge der Lufthansa die derzeitigen Lärmgrenzwerte; 2004 erfüllten bereits 88 % der Flotte die neuen ICAO-Lärmgrenzwerte (Lufthansa 2004 b), heute gilt dies schon für über 90 %[124] (Lufthansa 2005 b). Ebenso weist beispielhaft IBERIA für über 90 % ihrer Flotte aus, dass die schärfsten Lärmstandards nach *Chapter 4* bereits heute erfüllt werden (IBERIA 2005). Weiterhin zeigt das Beispiel der Flotte der British Airways, dass im Jahr 2003/04 bereits 83,4 % entsprechend *Chapter 4* ausgerüstet sind (British Airways 2004). Vergleichbare Angaben machen auch weitere Luftverkehrsgesellschaften, wie zum Beispiel die

[123] Das UBA hat die Lärmwerte der in Deutschland zugelassenen Flugzeugmuster und Baureihen analysiert. Dabei zeigte sich, dass bereits 78 % der heute nach *Chapter 3* ICAO *Annex 16* zugelassenen Strahlflugzeuge die *Chapter 4* Lärmgrenzwerte einhalten (UBA 2003).

[124] Diese Aussage gilt ebenfalls für die Flotte der Lufthansa-Cargo, die durch die Umflottung ausschließlich auf Maschinen des Typs MD 11 die Lärmgrenzwerte vom *Chapter 4* durchweg erfüllt (Lufthansa 2004 c).

Singapore Airlines, deren gesamte Flotte bereits heute die Anforderungen nach *Chapter 4* erfüllt (*Singapore Airlines* 2004) oder beim Integrator UPS - dort entsprechen 92 % der aktuellen Flotte der Frachtflugzeuge der neuen Zertifizierungsstufe (UPS 2005). Somit wird deutlich, dass mit der Einführung der neuen *Chapter 4 Stufe* lediglich der Status-quo der modernen Passagierflotten festgeschrieben wird. Derzeit besteht damit kein Anreiz zur weiteren Fortentwicklung und Verbesserung der Lärmemissionen, wenn bereits heute die Anforderungen erfüllt werden. Diese Schlussfolgerung wird ebenfalls durch die weiteren im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durchgeführten Untersuchungen bestätigt (siehe Kapitel 3.4.2.1).

Aufgrund der geschilderten Problematik wird z. T. die Eignung und Effektivität der Lärmzertifizierung in ihrer aktuellen Form für weitergehende Lärmschutzmaßnahmen kritisch beurteilt. „Zulassungsgrenzwerte [sind] als Instrument zur Forcierung des technischen Fortschritts nur bedingt geeignet“ (Fichert 1999), so dass von Fichert der Einsatz von anderen Instrumenten favorisiert wird. Zulassungsgrenzwerte in der geschilderten Form würden keine kurzfristigen Erfolge zur Förderung des technischen Fortschritts zur Lärmminderung in Konstruktion und Bau ermöglichen. Nach [Fichert 1999] könnten erst restriktivere Maßnahmen wie z. B. ein Produktionsverbot alter zugelassener Flugzeugtypen nach In-Kraft-Treten neuer Richtwerte als Lärmgrenzwerte weitergehende Anreize zur Entwicklung und In-Dienst-Stellung lärmärmerer Triebwerke bzw. Flugzeugtypen darstellen.

Die derzeitigen rechtlichen Rahmenbedingungen zeigen, dass ein Abweichen von den geltenden Bestimmungen der ICAO grundsätzlich möglich ist, hierzu aber wesentliche Bedenken bestehen bzw. offene Fragen rechtlich noch nicht abschließend geklärt sind (siehe Kapitel 2.3), so dass es notwendig erscheint, das Zertifizierungsregelwerk beizubehalten. Problematisch sind in diesem Zusammenhang insbesondere die internationalen Verflechtungen im Luftverkehr sowie die offenen Fragen im Zusammenhang mit der Neugründung der EASA sowie den neuen EU-weit geltenden Regelwerken und der damit einhergehenden Aufgabenverteilung.

3 Überblick Geräuschemissionen

3.1 Aufgabenstellung

Es soll der gegenwärtige Stand der Geräuschemissionen der auf europäischen Flughäfen verkehrenden Flugzeugmuster dargestellt werden. Hierzu wird die Schallemission der auf verschiedenen Flughäfen startenden und landenden Flugzeuge ermittelt und mit den betreffenden Bewegungszahlen gewichtet dargestellt. Um der unterschiedlichen Flottenzusammensetzung auf den einzelnen Flughäfen Rechnung zu tragen, wird die Auswertung an mehreren Flughäfen durchgeführt. Dabei werden sowohl große wie auch mittlere bis kleine Flughäfen untersucht. Als akustische Bezugsgröße werden die am realen Flugverkehr gemessenen Quellendaten der Empa Lärmdatenbank verwendet. Zu Vergleichszwecken werden die akustischen Kennwerte der Empa-Quellendaten den von den Luftfahrtbehörden veröffentlichten Zertifizierungsdaten gegenübergestellt. In einer zusätzlichen Untersuchung werden die für die einzelnen Flugzeugtypen ausgewiesenen Zertifizierungsdaten mit den gültigen ICAO-Grenzwerten verglichen.

3.2 Methode

3.2.1 Allgemeines

Zur Berechnung des Anteils der Schallenergie pro Flugzeugtyp an der gesamten Schallenergie wird für jeden Flugzeugtyp die Schallemission mit der betreffenden Bewegungszahl gewichtet und im Verhältnis zur gesamten Schallenergie gesetzt. Für die Auswertung werden die akustischen Kenndaten der in der EMPA-Lärmdatenbank enthaltenen Typen verwendet. Als charakteristische akustische Kenngröße wird der auf Referenzbedingungen[125] normierte Ereignispegel L_{AE} verwendet. Die maßgebenden Bewegungszahlen werden den von den einzelnen Flughäfen veröffentlichten Flugbetriebsdaten entnommen. Es wird lediglich eine pauschale, auf die gesamte Schallleistung bezogene Analyse durchgeführt. Die zeitliche und räumliche Verteilung der Schallenergie wird dabei nicht berücksichtigt. Um der sehr unterschiedlichen Schalleistung der Flugzeuge beim Start und bei der Landung Rechnung zu tragen wird die Auswertung für diese beiden Flugphasen getrennt durchgeführt.

3.2.2 Auswahl der Flughäfen

Um eine möglichst repräsentative Aussage über den aktuellen Stand der Geräuschemission auf europäischen Flughäfen zu erhalten, wird die Untersuchung an

[125] vgl. hierzu Kapitel 3.2.5.

mehreren Flughäfen durchgeführt, die sich sowohl bezüglich Verkehrsaufkommen als auch bezüglich Betriebsart unterscheiden. Bei der Auswahl wurden folgende Kriterien berücksichtigt:

- Flughafengröße (Anzahl Bewegungen pro Jahr)
- Betriebsart (Anteil Interkontinentalverkehr, Kurz- und Mittelstrecken, Frachtverkehr)
- Verfügbarkeit von aktuellen Betriebsdaten

Aufgrund der genannten Kriterien wurden die nachfolgenden 5 Flughäfen ausgewählt (weitere Verkehrszahlen zu den ausgewählten Flughäfen siehe Anhang A):

Tabelle 9 Übersicht Flughäfen

Flughafen (Datenquelle)	Jahr	Bewegungszahl (Start+Landung)	Betriebsart
Frankfurt/Main (Fraport 2005)	2004	458.800	Großer Interkontinentalflughafen
Zürich (ZRH 2004)	2004	266.600	Mittelgroßer Interkontinentalflughafen
Genf (GVA 2003)	2003	161.600	Mittelgroßer Flughafen
Köln (Köln 2004)	2004	152.600	Großer Anteil Frachtflugzeuge
Hamburg (Ham 2003)	2003	149.700	Mittelgroßer Flughafen

3.2.3 Unterscheidbare Flugzeugtypen

Damit die für die verschiedenen Flughäfen vorliegenden Bewegungszahlen sinnvoll miteinander verglichen werden können, müssen die verwendeten Typengruppen überall möglichst gleich sein. Da sich die Bezeichnungen und Gruppierungen der verschiedenen Flugzeugtypen auf den untersuchten Flughäfen unterscheiden, müssen diese Bezeichnungen teilweise geändert oder ergänzt werden. Auf der Basis der in der Empa-Datenbank verwendeten Bezeichnungen wird eine neue Typenbezeichnung "RC2" eingeführt. Mit dieser Bezeichnung sollen einerseits die Flugzeuge bezüglich Hersteller, Baumuster, Baureihe usw. unterschieden werden, andererseits soll die Anzahl der unterschiedlichen Typen dennoch überschaubar bleiben. Die Zuordnung der einzelnen Flugzeugtypen zum Referenztyp RC2 ist im Anhang B dargestellt.

3.2.4 Bewegungszahlen

Es werden die jährlichen Gesamtbewegungszahlen pro RC2-Typ verwendet. Die Bewegungszahlen der untersuchten deutschen Flughäfen liegen in Form von Übersichtstabellen mit unterschiedlicher Detaillierungsstufe vor. Wo erforderlich, wurde bei den Flughafenbehörden für Zusatzinformationen nachgefragt, um die Zuordnung zu den vereinheitlichten Typenbezeichnungen RC2 vorzunehmen. Die Bewegungszahlen der beiden Schweizer Landesflughäfen liegen dagegen als detaillierte Bewegungslisten mit genauen Angaben bezüglich Flugzeugtyp, Flugroute, Start- bzw. Landezeit usw. vor. Die Zuordnung zu den RC2-Typen erfolgt mit Datenbank-Werkzeugen.

Es wird lediglich eine pauschale Auswertung der Gesamtbewegungszahl pro Typ und Jahr vorgenommen. Saisonale oder tageszeitliche Unterschiede sowie die räumliche Verteilung auf die einzelnen An- und Abflugrouten werden nicht berücksichtigt. Eine detaillierte Übersicht über die typenspezifischen Bewegungszahlen ist im Anhang zu finden.

3.2.5 Kenngrößen

Als charakteristische akustische Kenngröße wird der auf Standardbedingungen normierte Ereignispegel L_{AE} gemäß Empa-Lärmdatenbank verwendet. Diese Kennzahl definiert den Ereignispegel eines geradlinigen Vorbeiflugs in der Entfernung D_{ref} = 305 m mit der Geschwindigkeit V_{ref} = 160 kt in Start- bzw. Landekonfiguration. Der Ereignispegel L_{AE} stellt somit ein Maß für die von einem einzelnen Flugzeug abgestrahlte Schallenergie dar.[126] Die effektive Entfernung und Geschwindigkeit wird in der vorliegenden Untersuchung jedoch nicht berücksichtigt. Da sich die Geräuschemission von startenden und landenden Flugzeugen stark unterscheidet, wird diese Auswertung für Starts und für Landungen getrennt durchgeführt.

Durch die Gewichtung der typenspezifischen Ereignispegel L_{AE} mit den jährlichen Bewegungszahlen werden für jeden Flugzeugtyp die Schallenergien *E_D* bzw. *E_A* bestimmt. Diese Größen charakterisieren die gesamte vom betreffenden Flugzeugtyp abgestrahlte Schallenergie beim Start bzw. bei der Landung unter Berücksichtigung der jährlichen Anzahl an Flugbewegungen. Diese für jeden Flugzeugtyp ermittelte Schallenergie wird anschließend in Prozent zur gesamten von allen auf dem betreffenden Flughafen verkehrenden Flugzeugen abgestrahlten Schallenergie dargestellt (*%E_D* bzw. *%E_A)*.

Für spezielle Untersuchungen werden noch die zusätzlichen Größen *S%E_D* bzw. *S%E_A* eingeführt. Diese stellen die kumulative Summe der nach verschiedenen Kriterien geordneten Energieanteile *%E_D* und *%E_A* dar. Damit kann unter anderem

[126] Für schwere Strahlflugzeuge stehen in der Quellendatenbank der Empa je zwei unterschiedliche Quellenwerte für hohes und für mittleres Abfluggewicht zur Verfügung. In der vorliegenden Auswertung werden diese je zu 50 % berücksichtigt.

die Frage beantwortet werden, wie viel eine gewisse Anzahl der schallintensivsten Flugzeugtypen zur gesamten Schallenergie beiträgt. Im Nachfolgenden werden die genauen Definitionen der verwendeten Kenngrößen angegeben.

Ereignispegel:

$$L_{AE} = 10 \lg\left(\frac{1}{T_0}\int 10^{\frac{L_i(t)}{10}} dt\right) \qquad \text{Gl. 1}$$

Schallenergie pro Typ:

$$E_D_i = N_i \cdot 10^{\frac{LAE_D_i}{10}} \text{ bzw. } E_A_i = N_i \cdot 10^{\frac{LAE_A_i}{10}} \qquad \text{Gl. 2}$$

Prozentualer Anteil der Schallenergie:

$$\%E_D_i = \frac{E_D_i}{\sum_{j=1}^{n} E_D_j} \text{ bzw. } \%E_A_i = \frac{E_A_i}{\sum_{j=1}^{n} E_A_j} \qquad \text{Gl. 3}$$

Kumulative Summe der prozentualen Schallenergie:

$$S\%E_D_k = \sum_{j=1}^{k} \%E_D_j \text{ bzw. } S\%E_A_k = \sum_{j=1}^{k} \%E_A_j \qquad \text{Gl. 4}$$

mit :

$L_i\,(t)$ =	Momentaner Schalldruckpegel des Typs i bei Überflug unter Referenzbedingungen.[127]
T_0 =	Bezugszeit = 1 s
$L_{AE}_D_i$	Ereignispegel unter Referenzbedingungen beim Start des Typs i (analoge Bezeichnung für Landungen)
N_i =	Anzahl Bewegungen (Starts oder Landungen) des Typs i pro Jahr

3.3 Ergebnisse

3.3.1 Schallanteil pro Flugzeugtyp

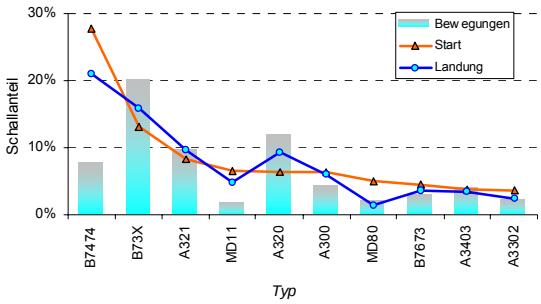
Nachfolgend werden für jeden Flughafen die prozentualen Schallanteile der 10 schallintensivsten Flugzeugtypen (RC2-Typen) für Start und Landung dargestellt. Zum Vergleich sind in den Diagrammen auch die prozentualen Bewegungszahlen der betreffenden Flugzeuge dargestellt. Weitere Daten und Diagramme sind im Anhang zu finden.

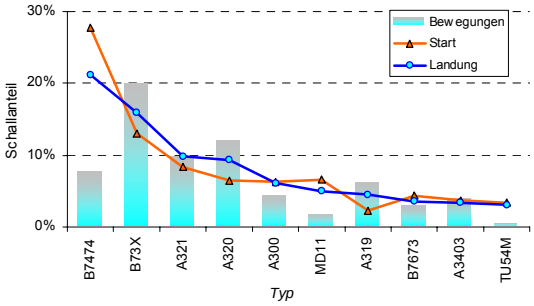
[127] Geradliniger Vorbeiflug mit Entfernung D_{ref} = 305 m und Geschwindigkeit v_{ref} = 160 kt in Standardatmosphäre (15°C, 70 % r. F.).

Abbildung 8 Prozentualer Anteil der Schallenergie der 10 schallintensivsten Flugzeugtypen, geordnet nach abnehmendem Schallanteil beim Start bzw. bei der Landung. Zum Vergleich sind zusätzlich die prozentualen Bewegungszahlen angegeben.

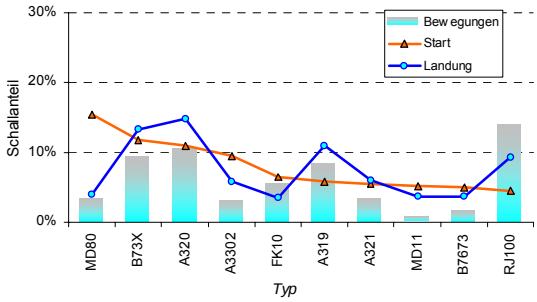
Start | Landung

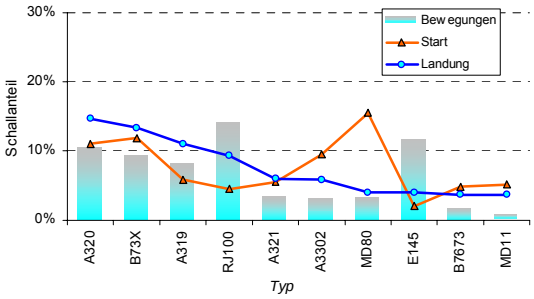
Frankfurt (2004)



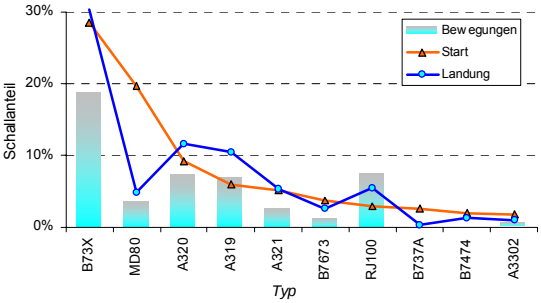


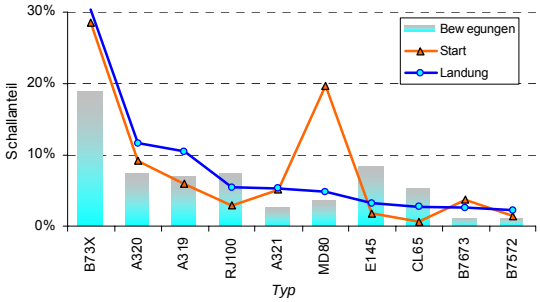
Zürich (2004)



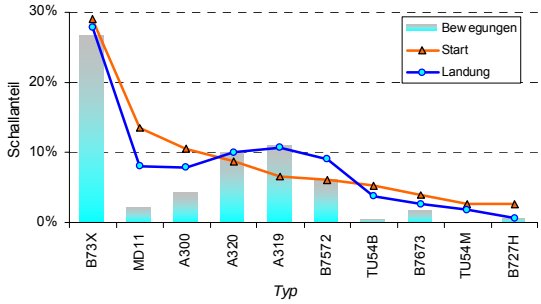


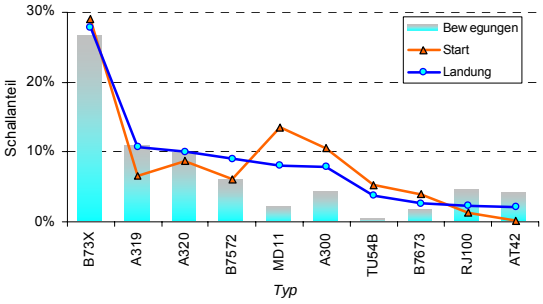
Genf (2003)



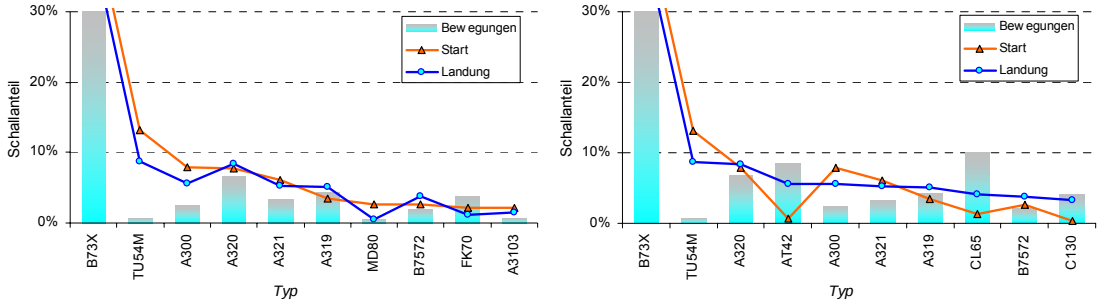


Köln/Bonn (2004)





Hamburg (2003)



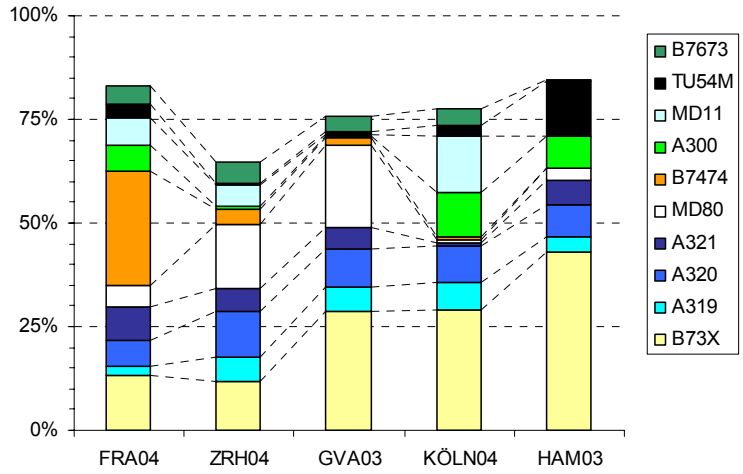
Der Schallanteil der einzelnen Flugzeugtypen an der gesamten Schallenergie unterscheidet sich sowohl zwischen den beiden untersuchten Flugphasen "Start" und "Landung" als auch zwischen den verschiedenen Flughäfen. Während in Frankfurt der Jumbo B747-400 sowohl beim Start als auch bei der Landung die schallintensivste Flugzeugklasse darstellt, wird die Gesamtschallenergie auf den übrigen Flughäfen vor allem durch die mittelgroßen Flugzeuge der Baureihen Boeing B737 (neuere Baureihen ab B737-300) und Airbus A320 dominiert. Auf den Flughäfen Zürich und Genf tragen zudem die Bewegungen der MD80 maßgeblich zur Gesamtbelastung bei. Auf den Flughäfen Köln/Bonn und Hamburg tragen zusätzlich die zahlenmäßig wenigen Bewegungen der Tupolev 154 erheblich zur Gesamtbelastung bei.

Während der relative Schallanteil bei neueren Flugzeugen wie Airbus A320, Boeing B737 und B747 für Start und Landung ungefähr gleich ausfällt, tragen die Bewegungen der MD80 und MD11 bei den Starts wesentlich stärker zur Gesamtschallleistung bei als bei der Landung. Dass heißt, diese Flugzeuge sind vor allem beim Start sehr laut, während sie beim Landeanflug verhältnismäßig lärmarm sind.

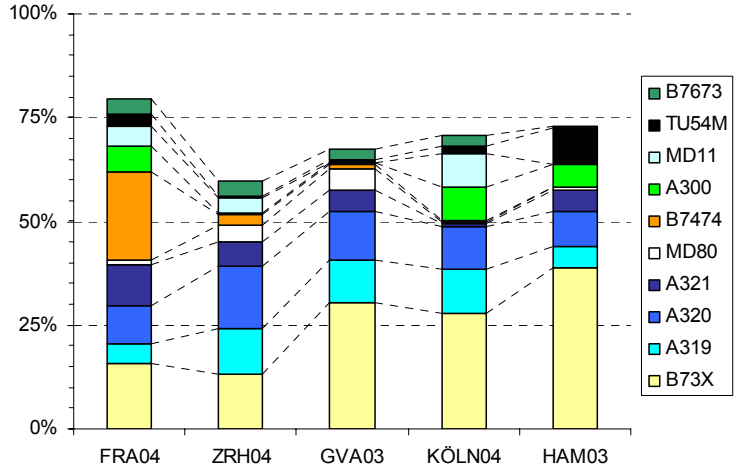
3.3.2 Vergleich der Schallanteile

In einer weiteren Untersuchung wird der Schallanteil derjenigen Flugzeugtypen analysiert, welche über alle untersuchten Flughäfen betrachtet am meisten zur gesamten Schallenergie beitragen. Dabei werden nur die 10 schallintensivsten Flugzeugtypen untersucht. Für die Auswahl dieser Typen werden für jeden einzelnen Flugzeugtyp die auf den fünf Flughäfen für Starts berechneten Schallanteile %E_D gemittelt und die 10 Typen mit den höchsten Schallanteilen identifiziert. Je nach Flughafen beträgt der Anteil der auf diese Weise ausgewählten Flugzeuge an der gesamten Schallenergie 65 bis 84 Prozent.

Abbildung 9 Vergleich der Schallanteile der 10 schallintensivsten Flugzeugtypen auf verschiedenen Flughäfen für Starts (a) und Landungen (b)



a)



b)

Der Darstellung in Abbildung 9 ist zu entnehmen, dass die Schallemission durch die Bewegungen der Flugzeugtypen der Baureihe Boeing B737 und der Airbus Familie A320 (A318 bis A321) dominiert wird. Auf den Flughäfen Köln/Bonn, Hamburg und Genf tragen diese Typen etwa 50 % zur gesamten Schallenergie bei. Bei den Landungen ist der Schallanteil dieser Flugzeugkategorie noch höher. Etwas weniger dominant sind diese Flugzeugtypen auf den Flughäfen Frankfurt und Zürich, wo sie etwa ein Drittel zur gesamten Schallenergie (Start) beitragen. Die restlichen Flugzeugtypen tragen sehr unterschiedlich zur Gesamtbelastung bei. In Frankfurt tragen vor allem die Bewegungen der Boeing B747-400 maßgeblich zur gesamten Schallemission bei, während diese auf den restlichen Flughäfen nur eine untergeordnete Rolle spielen. Auf den Schweizer Flughäfen Zürich und Genf ist die Belastung durch die Starts der MD80 von Bedeutung. Da diese Typen im Landeanflug verhältnismäßig lärmarm sind, tragen sie aber nur unbedeutend zur Gesamtbelastung bei Landungen bei. In Köln/Bonn sind noch die Großraumflugzeuge MD 11 und Airbus

A 300 zu erwähnen, welche bei den Starts zusammen knapp 25 % und bei der Landung gut 15 % der abgestrahlten Schallleistung verursachen. Die Tupolev 154M schließlich tragen einzig in Hamburg nennenswert zur gesamten Schallemission bei.

Die detaillierten Schallanteile der einzelnen Typen sowie weitere grafische Darstellungen sind in den Anhängen C und D zu finden.

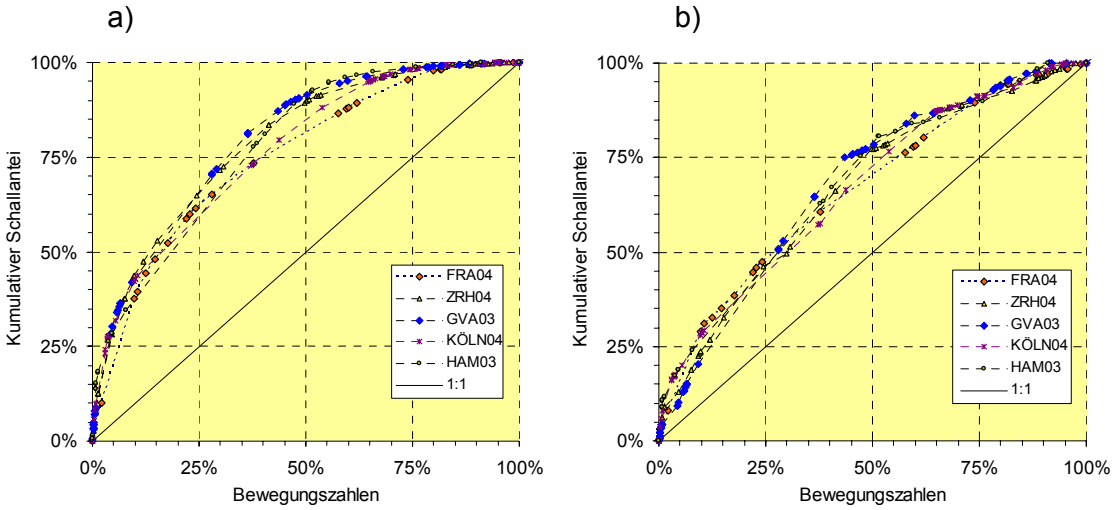
3.3.3 Schallanteil der lauten Flugzeugtypen

In dieser Untersuchung wird analysiert, wie groß der Einfluss der sehr lauten Flugzeuge auf die gesamte Schallemission ist. Hierzu werden für die auf den einzelnen Flughäfen verkehrenden, nach abnehmendem Ereignispegel sortierten Flugzeugtypen die kumulativen Schallanteile $S\%E_D_k$ bzw. $S\%E_A_k$ (vgl. Gl. 4) sowie die dazugehörenden Bewegungszahlen ermittelt und miteinander verglichen.

In der Abbildung 10 sind diese kumulativen Schallanteile für die verschiedenen Flughäfen in Abhängigkeit zu den betreffenden Bewegungszahlen dargestellt. Aus dieser Darstellung ist erkennbar, dass bei den Starts die wenigen ganz lauten Flugzeuge weit überproportional zur Gesamtbelastung beitragen. Lediglich 5 % der Bewegungen der lautesten Flugzeuge bewirken bereits 25 % der Gesamtbelastung. 50 % der Schallenergie wird von 15 bis 20 % aller Starts verursacht. Bei den Landungen ist der Schallanteil der sehr lauten Flugzeugtypen etwas weniger groß. 25 % der Landungen der lautesten Flugzeuge bewirken demnach erst knapp 50 % der Schallenergie.

Trotz der sehr unterschiedlichen Flottenzusammensetzung ist das Verhältnis zwischen Schallemission und Bewegungszahl auf allen untersuchten Flughäfen sehr ähnlich. Dies bedeutet, dass der Anteil der übermäßig lauten Flugzeuge auf allen untersuchten Flughäfen praktisch gleich groß ist.

Abbildung 10 Kumulativer Schallanteil der Flugbewegungen der nach abnehmender Quellenstärke geordneten Flugzeuge auf verschiedenen Flughäfen für Starts (a) und Landungen (b)



3.4 Erweiterte Analysen

3.4.1 Schallpegel pro Sitzplatz

Zur weiteren Beurteilung der Schallintensität der verschiedenen Flugzeugtypen wird der Schallanteil pro Sitzplatz L_{Sitz} ermittelt, indem die zum Ereignispegel L_{AE} gehörende Schallenergie durch die Anzahl der Sitzplätze dividiert und das Ergebnis wieder als Pegel dargestellt wird.

$$L_{Sitz} = 10\lg\left(\frac{1}{N_s}10^{LAE/10}\right) = L_{AE} - 10\lg(N_S) \qquad \text{Gl. 5}$$

mit L_{AE} = Ereignispegel unter Referenzbedingungen
N_S = typische Anzahl Sitzplätze

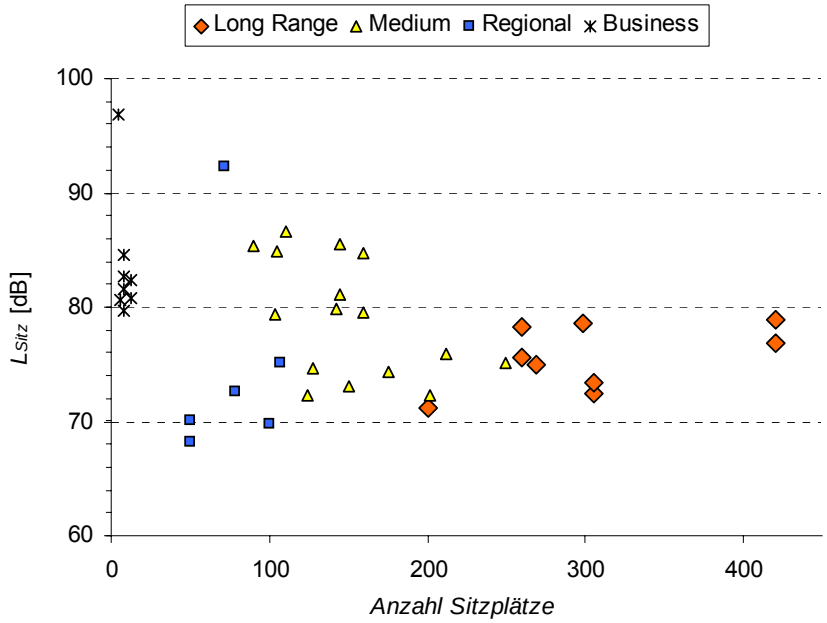
Die Auswertung wird für Starts und für Landungen getrennt vorgenommen. Für die Anzahl der Sitzplätze werden die im Internet zugänglichen Zahlen für eine typische Bestuhlungsdichte verwendet.[128] Bei Langstreckenjets wird dabei die Sitzanzahl für eine typische 3-Klassen-Bestuhlung verwendet, bei Kurz- und Mittelstreckenjets die für eine 2-Klassen Bestuhlung. Die so ermittelte Zahl der Sitzplätze kann zwar je nach Ausführung beträchtlich variieren. Da diese Zahl aber bloß logarithmisch in die Berechnung eingeht, ist die hier vorgenommene Ermittlung für die vorgesehene Abschätzung der sitzplatzbezogenen Schallemission vollkommen genügend. So bewirkt eine eventuelle Differenz der angenommen Sitzzahl von der effektiven Zahl um 20 % im Ergebnis lediglich eine Abweichung von knapp 0,8 dB und kann im Rahmen der hier vorgenommenen Abschätzung vernachlässigt werden.

Da aufgrund der unterschiedlichen Einsatzart Regionalflugzeuge sinnvollerweise nicht mit Langstreckenflugzeugen verglichen werden, werden die Flugzeuge für diese Untersuchung in die nachfolgenden vier Klassen eingeteilt und getrennt ausgewertet:

- Long Range: Schwere Langstreckenflugzeuge,
- Medium: Mittelstreckenflugzeuge,
- Regional: Regionalflugzeuge,
- Business: Business-Jets.

[128] z.B. www.airliners.net/info/

Abbildung 11 Schallpegel L_{Sitz} gem. Gl. 5 beim Start für verschiedene Flugzeugkategorien



Weitere Diagramme sind im Anhang G zu finden.

Die Darstellung in Abbildung 11 zeigt, dass mit Ausnahme der verhältnismäßig lauten Businessjets die pro Sitzplatz erzeugte Schallenergie mit zunehmender Sitzplatzzahl geringfügig zunimmt. Das bedeutet, dass die Schallleistung der großen und schweren Flugzeuge überproportional mit der Anzahl der Sitzplätze zunimmt. Die geringste Schallleistung pro Sitzplatz verursachen dabei die Regionalflugzeuge mit ca. 70 dB/Sitz. Moderne Mittelstreckenflugzeuge verursachen etwa 75 dB/Sitz, während die schweren Langstreckenjets im Bereich 75 - 80 dB/Sitz liegen. Zu den gemäß dieser Untersuchung lautesten Flugzeugen gehören die Businessjets. Wegen der sehr geringen Sitzplatzzahl liegt der sitzplatzbezogene Schallpegel bei diesen Typen mehrheitlich über 80 dB/Sitz. Mit 80 bis 85 dB/Sitz gehören auch die Mittelstrecken-flugzeuge älterer Bauart wie B 727, B 737-200 oder TU 154 zu den lauteren Flugzeugen und liegen damit im Bereich der Businessjets.

Wie bereits oben erwähnt können die verschiedenen Flugzeugkategorien aufgrund der unterschiedlichen Einsatzart nicht direkt miteinander verglichen werden. Langstreckenjets haben wegen der für die geforderte Reichweite erforderlichen Treibstoffmenge grundsätzlich ein schlechteres Verhältnis zwischen Nutzlast und Gesamtgewicht. Es erstaunt daher nicht, dass diese Flugzeuge generell lauter sind als die für kleinere Reichweiten konzipierten Kurz- und Mittelstreckenjets. Eher unerwartet ist der Befund, dass innerhalb vergleichbarer Flugzeugkategorien die pro Sitzplatz abgestrahlte Schallleistung mit zunehmender Sitzplatzzahl tendenziell eher zunimmt. So gehören unter den Regionaljets die verhältnismäßig kleinen Typen CL 65 und E 145 mit lediglich 50 Sitzplätzen zu den lärmärmsten Flugzeugen überhaupt. Auch bei

den Mittel- und Langstreckenjets nimmt der sitzplatzbezogene Schallpegel mit zunehmender Sitzplatzzahl geringfügig zu, sofern die übermäßig lauten, älteren Baumuster nicht mit berücksichtigt werden. Die Zunahme ist jedoch nur sehr gering und unter Berücksichtigung der Unsicherheiten durch die hier vorgenommenen Vereinfachungen und Verallgemeinerungen nicht signifikant. Umgekehrt zeigt diese Untersuchung, dass der Ersatz von großen Flugzeugen durch eine entsprechend größere Anzahl kleinerer Typen unter Beibehaltung der Sitzplatzkapazität nicht grundsätzlich zu einer Erhöhung der beim Betrieb erzeugten Schallleistung führen muss.

3.4.2 Zertifizierungsdaten

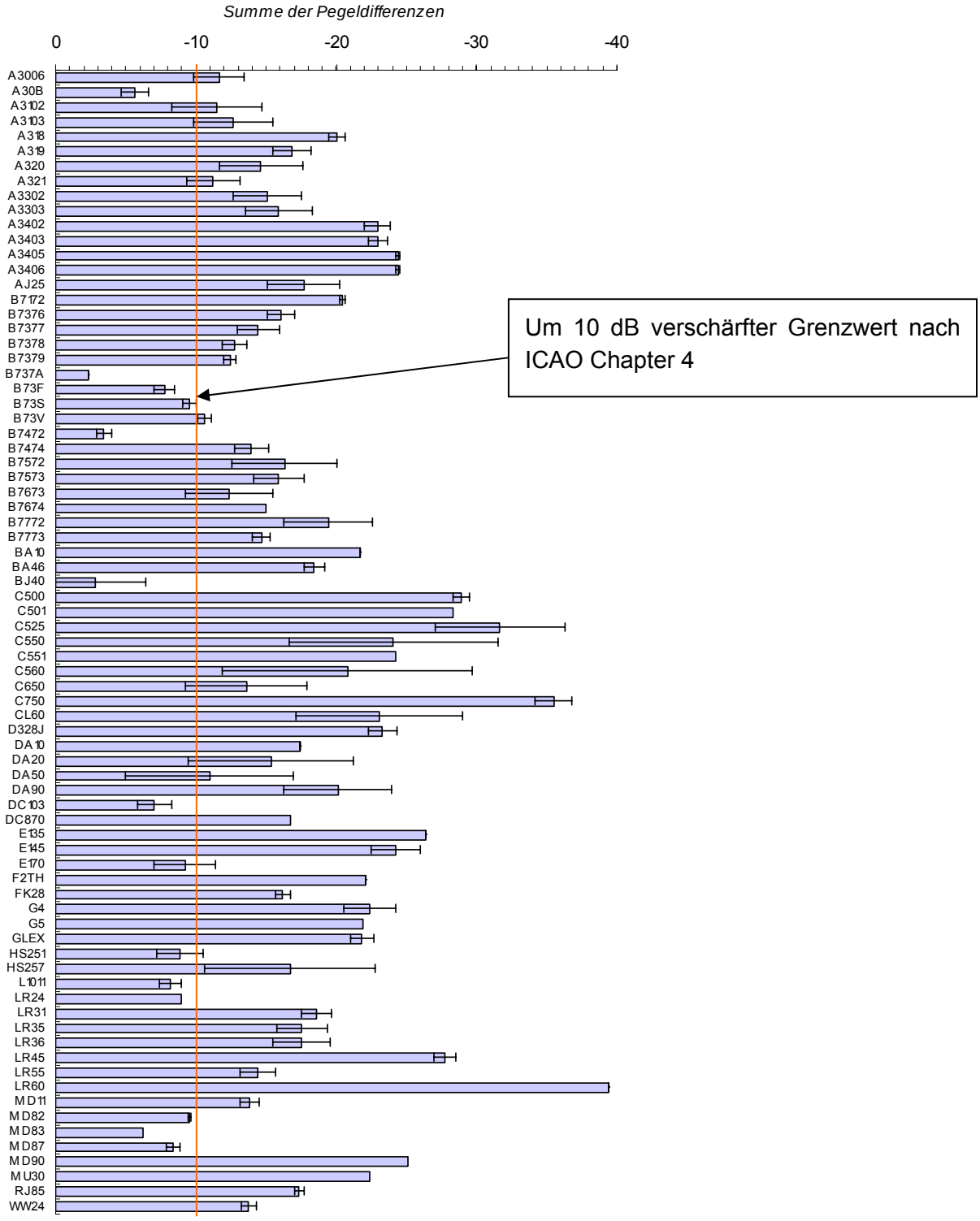
3.4.2.1 Vergleich mit dem ICAO-Grenzwert

Die neu vorgesehene Zertifizierung nach ICAO *Chapter* 4 sieht eine kumulative Verschärfung der bisherigen Grenzwerte gemäß *Chapter* 3 um 10 dB vor. Viele der heute nach *Chapter* 3 zugelassenen Flugzeuge erfüllen bereits diese verschärften Grenzwerte. Dies zeigt die nachfolgende Analyse, welche mit Hilfe der vom LBA veröffentlichten Zertifizierungsdaten[129] durchgeführt wurde. Die Darstellung in Abbildung 12 zeigt die an den drei Messpunkten "*Take-off*", "*Lateral*" und "*Approach*" resultierende kumulative Pegeldifferenz zwischen dem für die einzelnen Flugzeugtypen ausgewiesenen Zertifizierungswert und dem Grenzwert nach ICAO *Chapter* 3 (siehe auch Kapitel 2.8). Da zur Mehrzahl der hier unterschiedenen Flugzeugtypen mehrere Zertifizierungswerte für unterschiedliche Abflugmasse (MTOM), Triebwerks-konfiguration und weitere Modifikationen vorliegen, wird in der Darstellung für jeden Flugzeugtyp der Mittelwert der resultierenden Pegeldifferenzen ausgewiesen. Als Maß für die Streuung der für einzelne Flugzeugtypen geltenden Zertifizierungswerte wird die Standardabweichung der Differenzen durch entsprechende Fehlerbalken angegeben.

Die Darstellung zeigt, dass lediglich ältere Baumuster wie Airbus A 300B2, Boeing B 737A und B 747-200 sowie DC 10-30 und die Baureihe MD 80 - 87 die verschärften Anforderungen von ICAO *Chapter* 4 nicht erfüllen. Flugzeuge der neuesten Generation unterschreiten die geforderten Werte dagegen teilweise deutlich. So werden die Grenzwerte nach *Chapter* 3 von den Airbus-Typen A 330 um rund 15 dB und von den Typen der Baureihe A 340 um mehr als 20 dB unterschritten. Ebenfalls um mehr als 15 dB werden die Grenzwerte von den Boeing-Typen B 757 und B 777 unterschritten. Sehr große Unterschreitungen der Grenzwerte werden auch von Regionaljets neuerer Bauart erreicht. Mehr als 20 dB Pegeldifferenz werden beispielsweise von den Flugzeugen Embraer E 135/145 und CL 60 erreicht. Von modernen Businessjets werden die Grenzwerte teilweise gar um mehr als 30 dB unterschritten (Cessna C 525 und C 750) wobei der Learjet LR 60 mit einer kumulativen Pegeldifferenz von knapp 40 dB den Spitzenwert darstellt.

[129] www.lba.de/deutsch/technik/laermlisten/laermlisten.htm

Abbildung 12 Summe der Differenzen an den drei für die Zertifizierung maßgebenden Messpunkten zwischen Zertifizierungswert und Grenzwert nach ICAO *Chapter* 3.



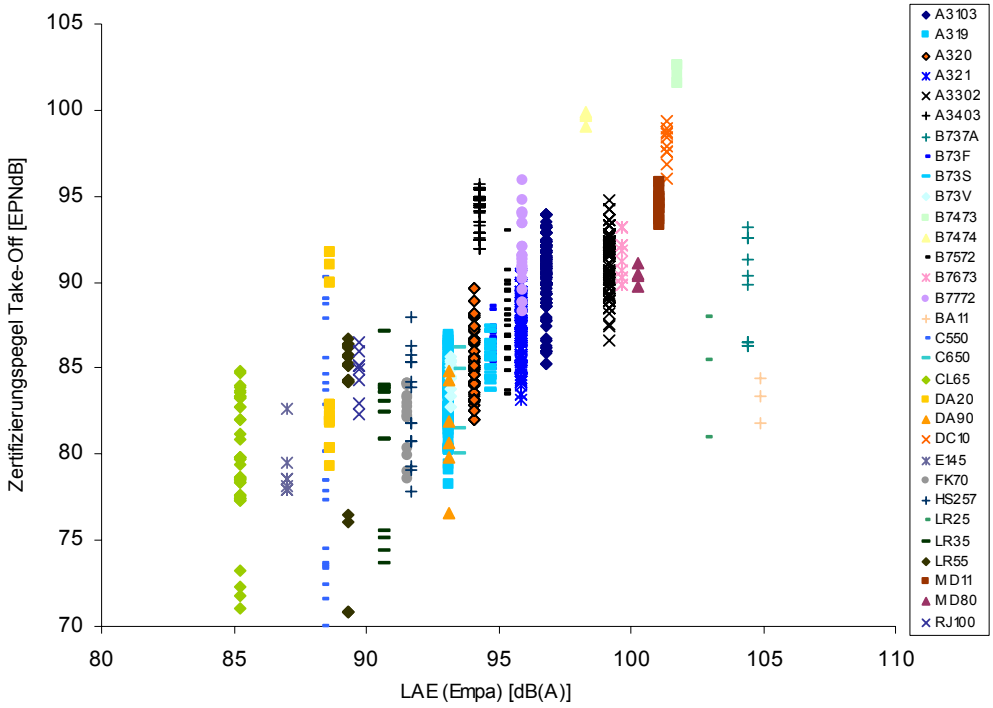
3.4.2.2 Vergleich mit Empa-Daten

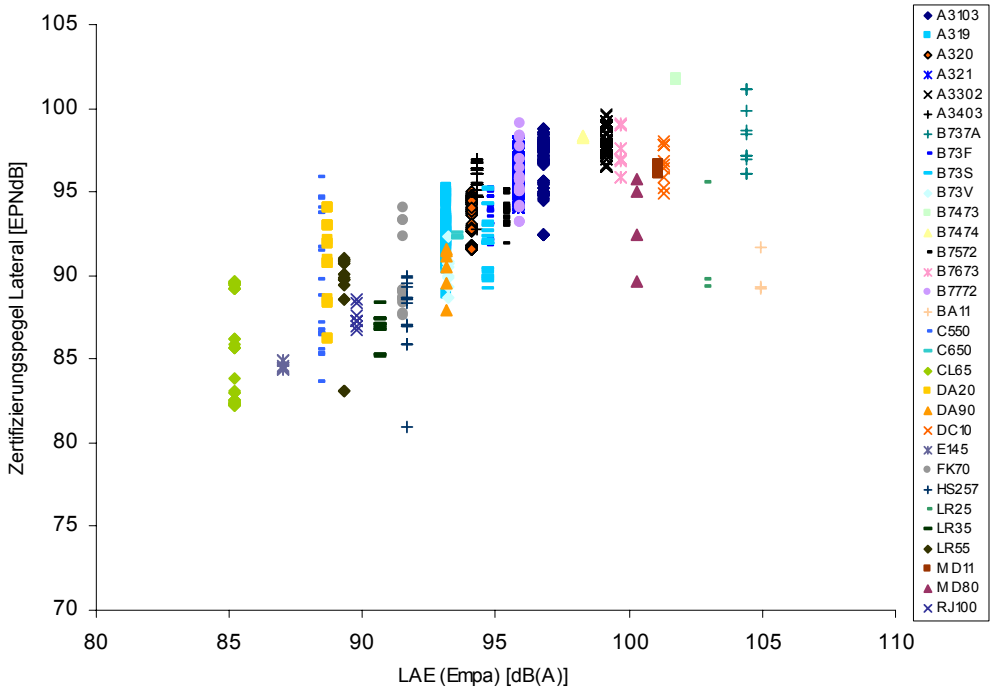
Für die Verkehrszulassung wird für jeden Flugzeugtyp neben vielen weiteren Nachweisen eine Lärmzertifizierung verlangt. Die hierzu erforderlichen Zertifizierungsverfahren werden durch die ICAO im Detail festgelegt. Die für die Zertifizierung vorgeschriebenen Betriebsbedingungen können dabei von den im normalen Flugbetrieb herrschenden Bedingungen abweichen. Zudem werden die Zertifizierungspegel als "Effective Perceived Noise Level" gemessen, einer akustischen Maßeinheit, welche die Tonhaltigkeit der Schallquelle speziell gewichtet. Zur Beurteilung der durch den Flugverkehr verursachten Lärmimmission in der Umgebung von Flughäfen wird aber in der Regel der A-bewertete Schalldruckpegel verwendet, welcher beträchtlich vom EPNL abweichen kann (weitere Ausführungen siehe Kapitel 2.5).

Aus diesem Grund ist ein direkter Vergleich von Zertifizierungsdaten mit anderen Lärmdaten wie beispielsweise den an Monitoringstationen gemessenen Pegeln oder mit simulierten Schallpegeln nicht ohne weiteres möglich. Um die daraus resultierenden Abweichungen abschätzen zu können, werden die vom LBA veröffentlichten Zertifizierungsdaten mit den akustischen Quellendaten der Empa verglichen. Hierzu müssen die für eine sehr detaillierte Typendifferenzierung vorliegenden Zertifizierungsdaten den akustischen Kenndaten aus dem Quellendatensatz der Empa zugeordnet werden. Diese Zuordnung wird manuell aufgrund der Typenbezeichnungen und der Triebwerksbezeichnungen vorgenommen.

Abbildung 13 zeigt den Zusammenhang zwischen den in EPNdB ausgewiesenen Zertifizierungswerten für die Messpunkte "*Take-off*" und "*Lateral*" und den A-bewerteten Ereignispegeln LAE für die entsprechenden Referenztypen aus der Empa-Lärmdatenbank. Die in den Zertifizierungsdaten enthaltene Differenzierung für unterschiedliche Abflugmassen kann dabei nicht berücksichtigt werden. Die hier verwendeten Daten der Empa gelten für mittlere Abflugmassen und sind ein Mittelwert aus Messungen für verschiedene Subtypen und Flugkonfigurationen.

Abbildung 13 Vergleich der in EPNdB ausgewiesenen Zertifizierungswerte für die Messpunkte "*Take-off*" und "*Lateral*" mit den aus den Empa-Quellendaten resultierenden, auf 305 m normierten A-bewerteten Ereignispegeln L_{AE}





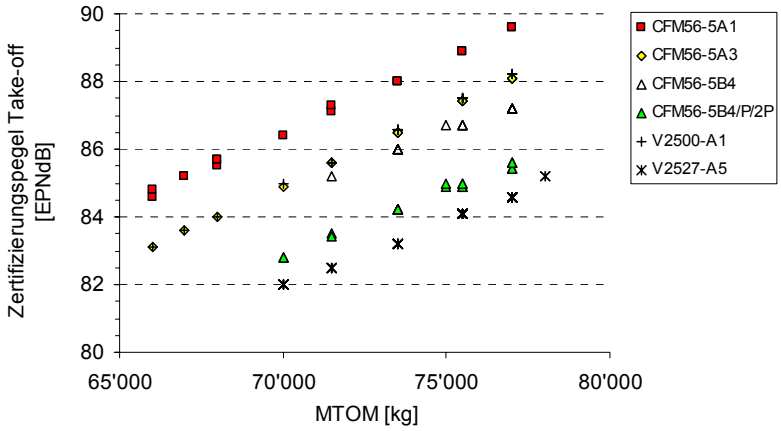
Aus der Darstellung ist ersichtlich, dass die zu den einzelnen Flugzeugtypen gehörenden Zertifizierungswerte sehr stark streuen. Generell werden am Zertifizierungspunkt "*Take-off*" größere Spannen zwischen den einzelnen Zertifizierungswerten beobachtet als bei den beiden anderen Messpunkten "*Lateral*" und "*Approach*". Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass sich im Wert "*Take-off*" neben der Schallleistung des Flugzeuges auch dessen Steigvermögen direkt niederschlägt. Große Streuungen werden vor allem bei diversen Businessjets beobachtet. Für die Cessna C 550 Citation beträgt die Spanne zwischen höchstem und niedrigstem Zertifizierungswert am Messpunkt "*Take-off*" 17 dB. Dies ist offenbar vor allem darauf zurückzuführen, dass ein Teil der Zertifizierungswerte für "Startverfahren mit thrust cutback" gelten und andere nicht. Aber auch bei größeren Passagierflugzeugen, bei welchen generell "Startverfahren mit thrust cutback" zur Anwendung gelangen, beträgt die Spanne zwischen maximalem und minimalem Zertifizierungswert teilweise mehrere Dezibel (A 330-200: 8,2 dB, A 320: 7,6 dB, B 757-300: 6,8 dB). Diese Zertifizierungen unterscheiden sich bezüglich Triebwerkstyp, maximaler Abflugmasse (MTOM) sowie der dazugehörigen Klappenstellungen.

3.4.2.3 Einflussfaktoren

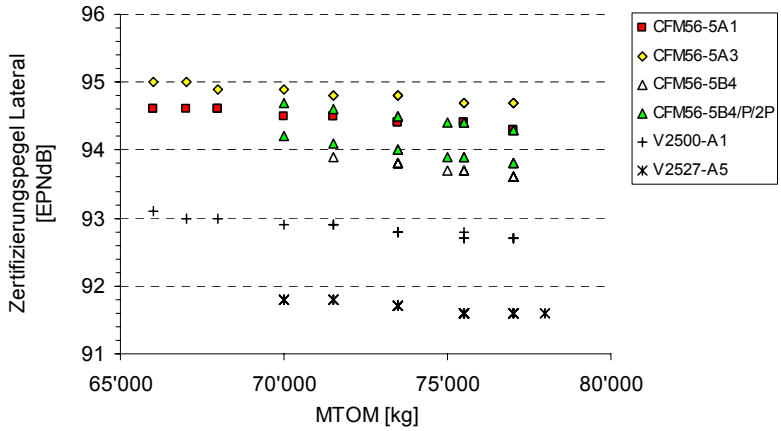
Um die bei der Zertifizierung maßgebenden Einflussfaktoren im Detail zu analysieren, werden die für einzelne Flugzeugtypen ausgewiesenen Zertifizierungspegel für unterschiedliche Triebwerkskonfigurationen als Funktion der Abflugmasse dargestellt. Die Auswertung wird nur exemplarisch für die Typen Airbus A 320, A 321 A 330 sowie für die Boeing B 777 durchgeführt. In Abbildung 14 sind die für unterschiedliche Flugzeugkonfigurationen resultierenden Zertifizierungswerte für den Airbus A 320 an den drei Messpunkten "*Take-off*", "*Lateral*" und "*Approach*" in Abhängigkeit von der maximalen Abflugmasse dargestellt. Entsprechende Darstellungen für die anderen Flugzeugtypen sind im Anhang H einsehbar.

Aus diesen Abbildungen ist ersichtlich, dass die Zertifizierungspegel sowohl von der zertifizierten Abflugmasse als auch vom Triebwerkstyp abhängen. Die Auswirkungen von Abflugmasse und Triebwerkstyp sind jedoch nicht an allen Messpunkten gleich. So werden beispielsweise für den Airbus A 320 am Messpunkt "*Take-off*" die höchsten Pegel für das mit dem Triebwerk CFM 56-5A1 ausgerüstete Modell erreicht. Diese Pegel liegen für alle Abflugmassen rund 1,5 dB über den für das Triebwerk CFM56-5A3 zertifizierten Werten. Am Messpunkt "*Lateral*" werden umgekehrt für das mit CFM 56-5A3 Triebwerken ausgerüstete Modell die höchsten Pegel erreicht, welche ca. 0.5 dB über den betreffenden Werten der mit CFM 56-5A1 ausgerüsteten Modelle liegen. Noch einmal andere Verhältnisse werden bei den Landungen am Zertifizierungspunkt "*Approach*" beobachtet. Hier sind die bei Starts gegenüber den CFM 56 Triebwerken deutlich lärmärmeren Triebwerke V 2500-A1 die lautesten.

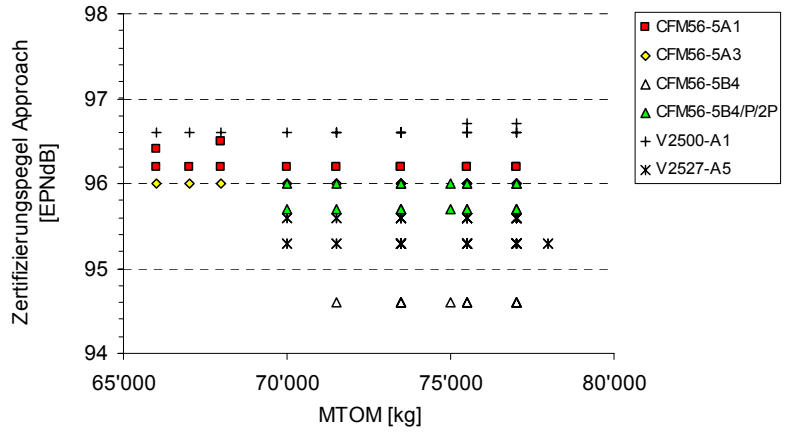
Abbildung 14 Zertifizierungspegel für Airbus A320 mit unterschiedlichen Triebwerkskonfigurationen in Abhängigkeit von der Abflugmasse an den drei Messpunkten "*Take-off*", "*Lateral*" und "*Approach*"



Take-off



Lateral



Approach

Die Abhängigkeit der ausgewiesenen Zertifizierungspegel von der Abflugmasse unterscheidet sich an den einzelnen Zertifizierungspunkten ebenfalls markant. Während die am Messpunkt "*Take-off*" ausgewiesenen Pegel für alle untersuchten Flugzeugtypen praktisch linear mit der Abflugmasse zunehmen, wird an den beiden anderen Messpunkten "*Lateral*" und "*Approach*" nur eine sehr geringe Abhängigkeit der Zertifizierungswerte von der Abflugmasse festgestellt. Für die Typen A 320 und A 321 nehmen die am Messpunkt "*Lateral*" ausgewiesenen Pegel mit zunehmender Abflugmasse sogar geringfügig ab.

Bei den an den Zertifizierungspunkten gemessenen Pegeln handelt es sich um reine Immissionspegel, welche neben der Schallquelle von verschiedenen weiteren Einflussfaktoren abhängen. So hängen die am Messpunkt "*Take-off*" gemessenen Pegel sehr stark von der Überflughöhe und damit vom Steigvermögen des Flugzeuges ab. Beim seitlichen Messpunkt "*Lateral*" spielen zudem Bodeninterferenzen eine große Rolle, da das Flugzeug unter einem flachen Schalleinfallswinkel gemessen wird. Die Zertifizierungswerte charakterisieren somit weniger die Schallleistung der Quelle als vielmehr die unter ganz speziellen Bedingungen resultierende Schallimmission an spezifischen Immissionspunkten. Aus diesem Grund lassen die an den Zertifizierungspunkten gemessenen Schallpegel keine direkten Schlüsse auf die effektive Schallleistung des betreffenden Flugzeuges zu.

3.5 Beurteilung

Über alle Flughäfen betrachtet wird die Schallemission hauptsächlich durch den Flugbetrieb der relativ lärmarmen Mittelstreckenjets neuerer Bauart der Typen Boeing B 737 (ab Serie 300) und Airbus A 319/320/321 dominiert. Die vergleichsweise geringe Schallleistung dieser Flugzeugtypen wird durch eine entsprechend höhere Anzahl Bewegungen mehr als aufgewogen. Im Mittel über alle untersuchten Flughäfen tragen diese Flugzeuge etwa 50 % zur gesamten Schallenergie bei. Diese Flugzeugtypen dominieren die Schallleistung sowohl bei Starts als auch bei Landungen, wobei der Schallanteil bei den Landungen noch etwas höher ausfällt als bei den Starts.

Eine detailliertere Analyse zeigt, dass zwischen den untersuchten Flughäfen beträchtliche Unterschiede bezüglich der von den einzelnen Flugzeugtypen verursachten Schallanteile bestehen. Während die Typen B 737 auf den mittelgroßen Flughäfen Köln/Bonn, Hamburg und Genf die mit Abstand schallintensivste Flugzeuggruppe bilden, mit einem Schallanteil zwischen 30 und 40 %, tragen auf dem Flughafen Zürich die Bewegungen der bereits etwas älteren Baureihe MD 80 - 87 mit gut 15 % Schallanteil am meisten zur gesamten Schallleistung bei. Auf dem primär auf Interkontinentalverkehr ausgerichteten Flughafen Frankfurt/Main bildet dagegen der Jumbo B 747 mit knapp 30 % Schallanteil die schallintensivste Flugzeuggruppe. Der von den schweren Langstreckenjets B 747, MD 11, DC 10, A 340 sowie B 777 verursachte Schallanteil beträgt in Frankfurt rund 40 %. Auf den Flughäfen Zürich und Köln/Bonn beträgt dieser Anteil etwa 15 %, während er auf den übrigen Flughäfen

weniger als 5 % beträgt. Auf den Flughäfen Frankfurt, Zürich und Genf spielt der Schallanteil der sehr lauten Jets älterer Bauart praktisch keine Rolle, während die zahlenmäßig geringen Bewegungen der Typen B 727, B 737A und DC 9 sowie der östlichen Flugzeuge der Typen TU 154B/M und YK 42 auf den Flughäfen Köln/Bonn und Hamburg immerhin für gut 10 % der Gesamtschallleistung verantwortlich sind.

Eine Untersuchung der auf die Anzahl der Sitzplätze bezogenen Schallemission ergibt, dass mit Ausnahme der verhältnismäßig lauten Businessjets die pro Sitzplatz erzeugte Schallenergie nur geringfügig von der Anzahl der Sitzplätze abhängt. Aufgrund der unterschiedlichen Einsatzart können dabei nicht alle Flugzeuge direkt miteinander verglichen werden. Die Untersuchung zeigt aber, dass auch für Flugzeuge mit vergleichbarem Einsatzspektrum die sitzplatzbezogene Schallenergie nur unwesentlich von der Sitzplatzzahl abhängt. Die pro Sitzplatz abgestrahlte Schallleistung nimmt dabei mit zunehmender Sitzplatzzahl tendenziell eher zu.

In einer zusätzlichen Untersuchung wurden Zertifizierungsdaten mit den ICAO-Grenzwerten verglichen. Dieser Vergleich zeigt, dass lediglich ältere Baumuster wie Airbus A 300B2, Boeing B 737A und B 747-200 sowie DC 10-30 und die Baureihe MD 80 - 87 die verschärften Anforderungen von ICAO *Chapter 4* nicht erfüllen. Flugzeuge der neuesten Generation unterschreiten die nach *Chapter 4* geforderten Werte dagegen heute bereits deutlich.

4 Stand und zukünftige Entwicklung der Lärmminderungstechnologie sowie Bewertung möglicher Trade-off Effekte

4.1 Aufgabenstellung

Die Lärmeigenschaften eines Flugzeuges können nur im Zusammenwirken aller Lärmquellen des Gesamtsystems, also Flugzeugzelle und Triebwerk gemeinschaftlich, betrachtet werden. Ursache dafür ist die hochkomplexe Wechselwirkung von einzelnen Schallquellen untereinander bei der Entstehung des Gesamtsystemlärms. Da in der vorliegenden Gemeinschaftsstudie kein Flugzeughersteller beteiligt ist, hat MTU neben der Darstellung aller triebwerksrelevanten Themen die Zusatzaufgabe übernommen, auch die lärmrelevanten Zusammenhänge und Situationen des Flugzeug-Gesamtsystems, der Zelle und der entsprechenden Wechselwirkungen mitzubehandeln. Zu diesen Themen werden überwiegend publizierte Informationen verwendet. Die integrale Betrachtung ist auch deswegen unbedingt erforderlich, da die im Rahmen der Studie geforderten Trade-off Bewertungen grundsätzlich nur in ihren Auswirkungen am Gesamtsystem aussagekräftig durchgeführt werden können.

In den folgenden Kapiteln werden zunächst die hauptsächlichen Lärmquellen an der Flugzeugzelle (Kapitel 4.2) und beim Triebwerk (Kapitel 4.3) identifiziert und schließlich einige Hinweise zum Beitrag der Gesamtkonfiguration und Triebwerksinstallation gegeben (Kapitel 4.4).

4.2 Hauptlärmquellen der Flugzeugzelle

Die Hauptlärmquellen der Flugzeugzelle sind in Abbildung 15 identifiziert. Dazu können noch einige allgemeine Erläuterungen gegeben werden. Die Lärmeigenschaften von Klappen, Fahrwerk, Vorflügel etc. hängen sehr von den konstruktiven Ausführungen dieser Module ab. Der Grenzschicht-induzierte Lärm von Zelle und Flügel hängt zum einen von der aerodynamischen Qualität, zum anderen natürlich auch von der Größe aller Flächen und damit von der Flugzeuggesamtgröße ab. Weitere Lärmquellen können kleinere Störstellen wie vertiefte Abdeckplatten und Kanten im Zellenaußenbereich sein. Diese singulären Lärmquellen können signifikant zum Gesamtlärm beitragen, wenn dadurch tonale Anteile in besonders gut wahrnehmbaren Frequenzbereichen erzeugt werden.

Abbildung 15 Hauptlärmquellen der Flugzeugzelle

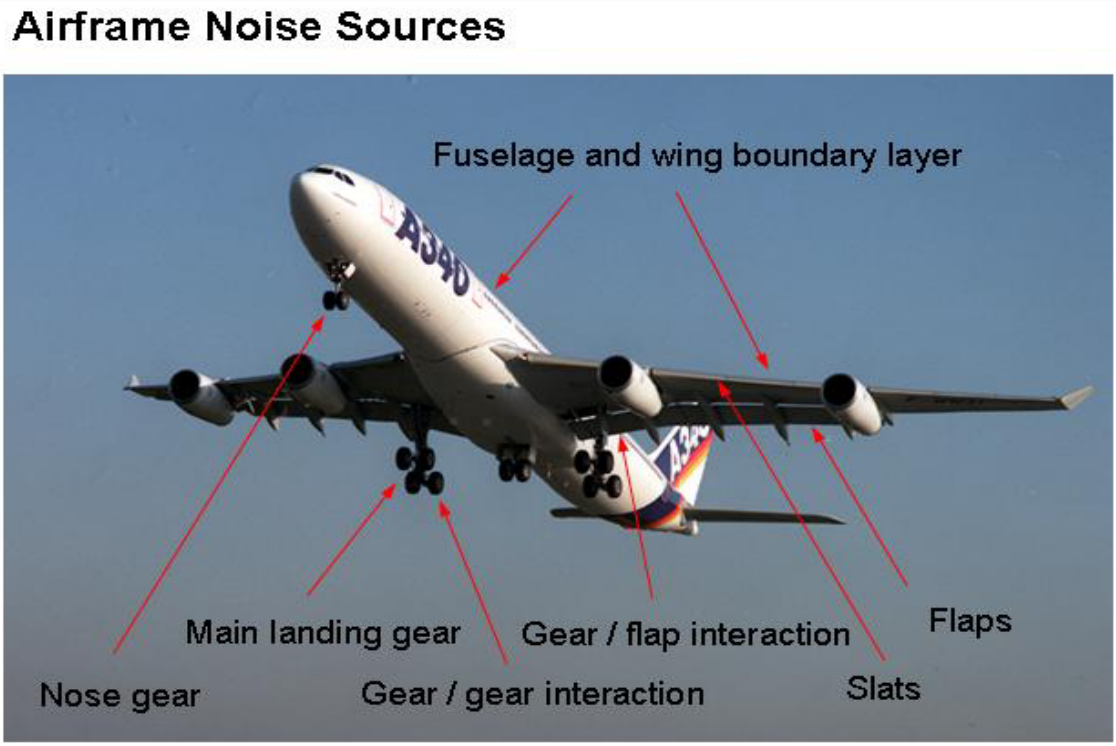
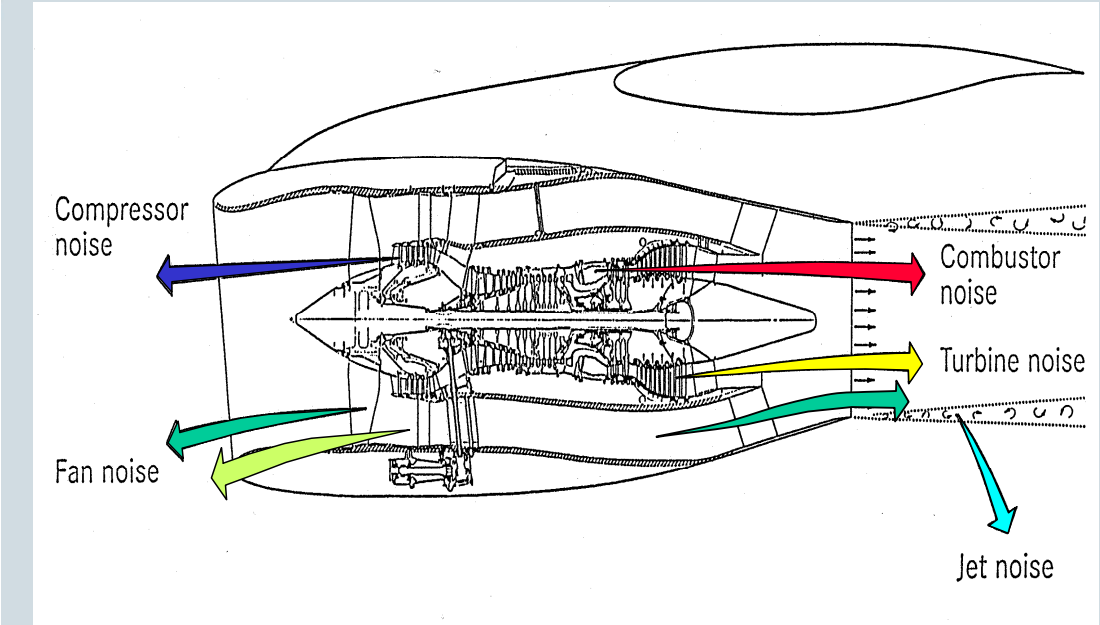


Abbildung 16 Hauptlärmquellen eines Turbofantriebwerks



4.3 Hauptlärmquellen des Triebwerks

Die Hauptlärmquellen des Triebwerks sind in Abbildung 16 identifiziert. Auch hier sollen noch einige allgemeine Erläuterungen gegeben werden. Bei Strahllärm und Brennkammerlärm handelt es sich um Breitbandanteile, während die Lärmanteile der Turbokomponenten Fan, Verdichter und Turbine große tonale Anteile besitzen. Beim Fanlärm wird in Abbildung 16 noch auf die Bedeutung der Interaktion von Rotor- und Stator-Strömung hingewiesen. Der Strahllärm hängt sehr stark vom Niveau der Strahlgeschwindigkeit des Triebwerks ab und kann daher über den Parameter des spezifischen Schubs und damit über das Nebenstromverhältnis deutlich beeinflusst werden.

4.4 Einfluss der Gondel und der Triebwerksinstallation

Maßgeblichen Einfluss auf den Gesamtsystemlärm hat neben den in Kapitel 4.2 und 4.3 beschriebenen Einzellärmquellen auch noch die Interaktion der beiden Teilsysteme Zelle und Triebwerk, die durch die Gesamtkonfiguration, also auch durch die Art der Triebwerksinstallation am Flugzeug, festgelegt wird. Während die heute gebräuchlichste Triebwerksinstallation “under wing“ nur begrenzte Lärmabschirmungseigenschaften durch Rumpf und Flügel in seitliche Richtungen und nach unten hin besitzt, bieten die ebenfalls bekannten Heck- oder “*over wing*“-Anordnungen hier Vorteile.

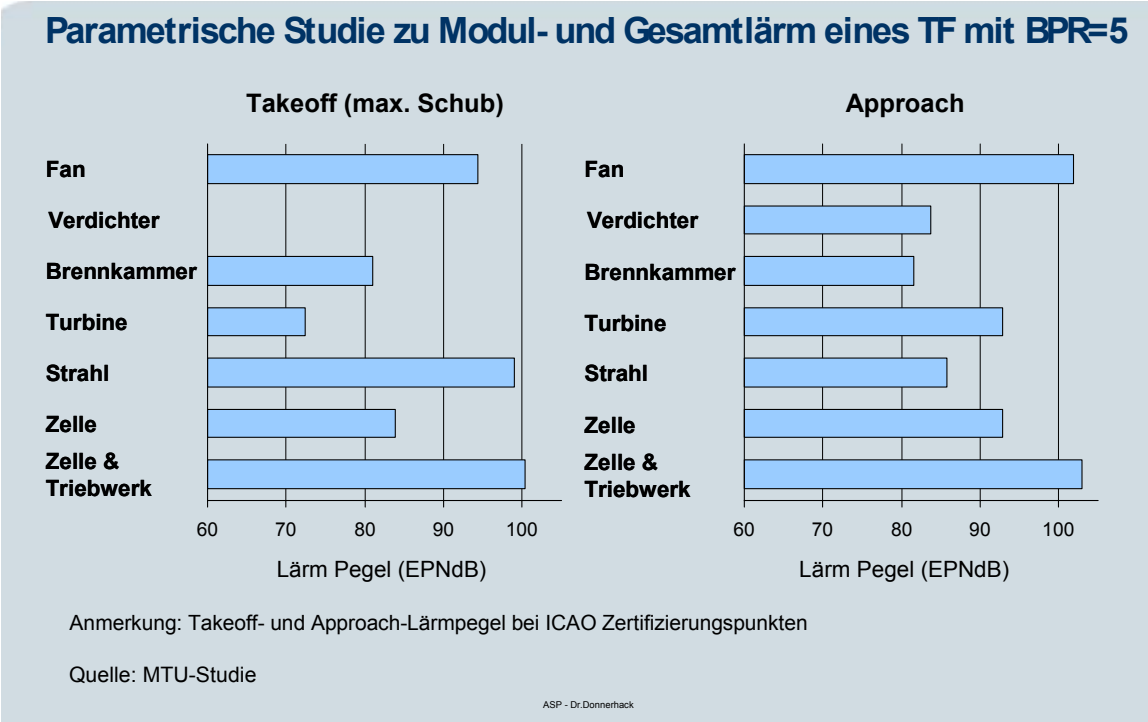
4.5 Statusbeschreibung Flugzeug- und Triebwerkslärm

In diesem Kapitel wird eine Statusübersicht mit dem Schwerpunkt auf Triebwerkslärm gegeben. Abbildung 17 gibt einen Überblick über die absoluten Lärmbeiträge der oben beschriebenen Einzellärmquellen in einer typischen “*state of the art*“-Anwendung: Mittelstreckenflugzeug mit Triebwerken der Kategorie Nebenstromverhältnis = 5. Dargestellt sind hier für zwei der drei ICAO-Lärmmesspunkte (T/O-Sideline und *Approach*) die Anteile der Turbokomponenten Fan, Verdichter und Turbine sowie der Strahllärm, der Brennkammerlärm und der integrale Zellenlärm. In der jeweils untersten Zeile ist der Gesamtsystemlärm dargestellt. Die Angaben sind in der gebräuchlichen Lärm-Pegel Einheit EPNdB. Es handelt sich um analytische Daten.

Zu erkennen sind die unterschiedlichen Lärmbeiträge bei den beiden Messpunkten: Bei T/O dominieren die Beiträge von Strahl und Fan. Demgegenüber sind die restlichen Beiträge in der Wahrnehmung hier nahezu vernachlässigbar. Dagegen tragen bei *Approach* neben dem Fan auch die Zelle und als drittgrößter Beitrag die (Niederdruck-) Turbine wesentlich bei. Beim Vergleich beider Messpunkte sei noch daran erinnert, dass sich die Absolutwerte wegen der verschiedenen Messabstände und des frequenzabhängigen atmosphärischen Dämpfungsverhaltens sehr unterschiedlich verhalten können.

Aus dieser Darstellung kann abgeleitet werden, dass bei einem Triebwerksdesign sehr unterschiedliche Module bei sehr unterschiedlichen Betriebspunkten in Hinsicht auf das Lärmverhalten optimiert werden müssen. Es ist dabei auch der Hinweis von Bedeutung, dass Maßnahmen an einzelnen Modulen nur in soweit sinnvoll sind, bis das Niveau weiterer Lärmquellen erreicht wird. Eine überproportionale Verringerung einzelner Lärmquellen ohne Betrachtung des Gesamtsystems ist daher wenig sinnvoll und empfehlenswert.

Abbildung 17 Beiträge der Triebwerk-Lärmquellen

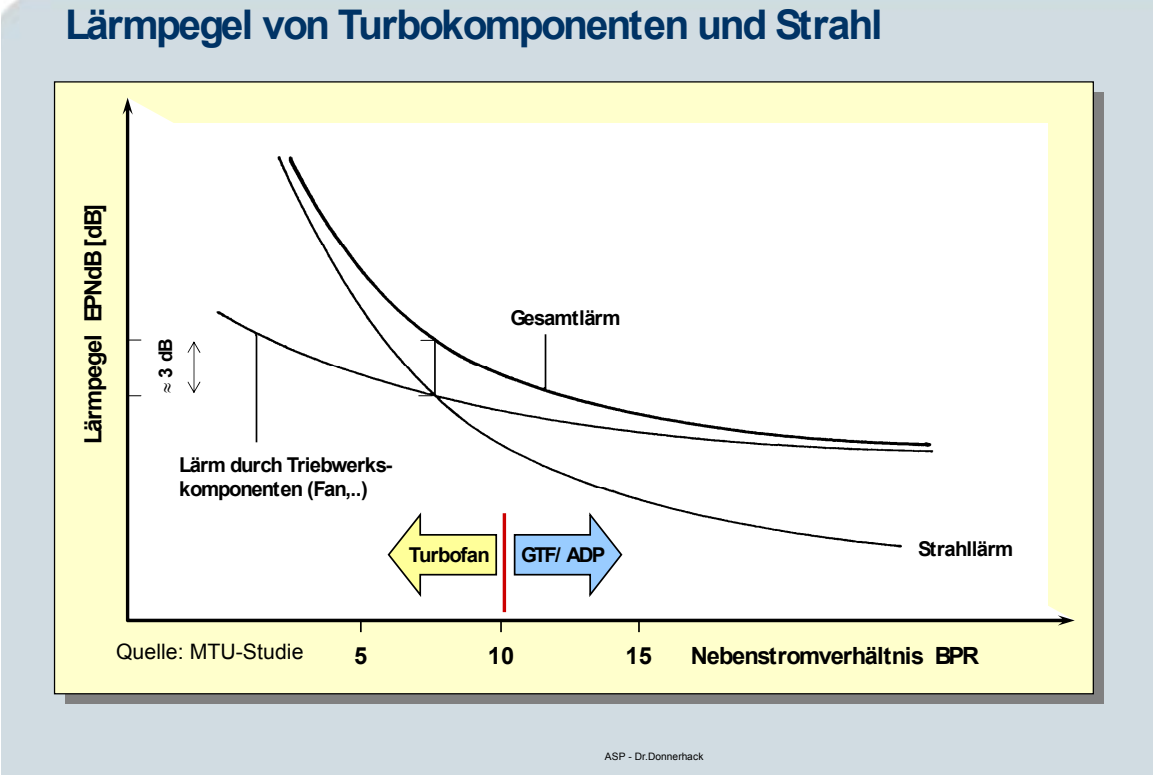


Die folgende Abbildung 18 gibt den prinzipiellen Zusammenhang der beiden hauptsächlichen Triebwerksquellen Strahllärm und Lärm durch Turbokomponenten sowie den Gesamtlärm über dem Parameter Nebenstromverhältnis (Bypass Ratio = BPR) an, hier für den Betriebspunkt T/O. In Abbildung 18 ist eine Regime-Unterteilung in die Gebiete des konventionellen Turbofans (BPR<10) und der so genannten Getriebefans (GTF für BPR > 10) mit eingetragen.

Während bei Triebwerken ohne Nebenstrom, den "*Turbojet*"-Triebwerken der ersten Generation sowie den "*Turbofan*"-Triebwerken mit kleinem Nebenstrom, also BPR < 5, der Strahllärm alle anderen Lärmquellen deutlich dominiert, tragen bei Turbofan-Triebwerken mit höheren Nebenstromverhältnissen, also 6 < BPR < 9, auch die Turbokomponenten, hier besonders der Fan, bei verringertem Gesamtlärmpegel zum Gesamtlärm maßgeblich bei. Bei Nebenstromverhältnissen BPR > 9 dominiert dann bei weiter abgesenktem Gesamtlärmpegel der Beitrag der Turbokomponenten, besonders

des Fans. Siehe dazu auch Abbildung 19 mit dem Lärmverhalten bei *Sideline* für die gesamte Triebwerkshistorie und die Angaben für den Parameter BPR der Beispieltriebwerke.

Abbildung 18 Einfluss vom Nebenstromverhältnis auf den Lärmpegel bei T/O



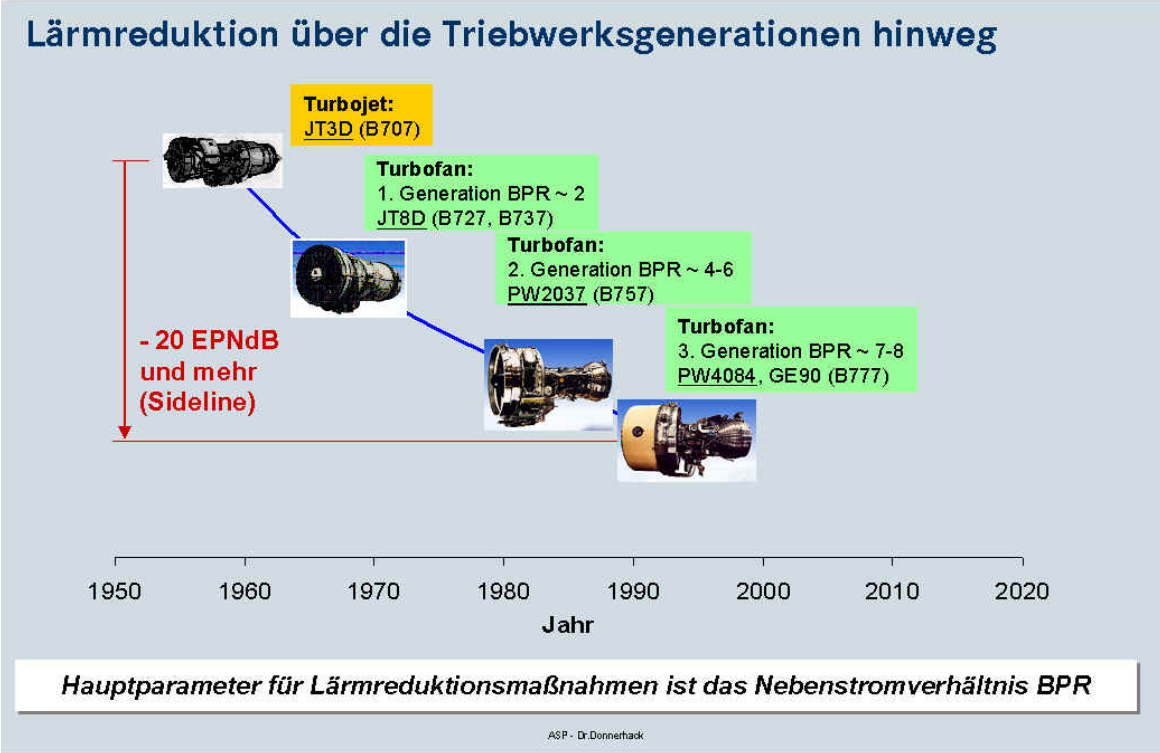
4.6 Zielsetzungen der "ACARE Vision 2020"

Die Lärmverbesserungen bei den Triebwerken in der Vergangenheit sind praktisch im Gleichschritt mit den ständigen Bemühungen zur Verbesserung des Vortriebswirkungsgrades und damit mit Verbesserungen der Wirtschaftlichkeit (spezifischer Brennstoffverbrauch) einhergegangen. Über die verschiedenen Triebwerksgenerationen hinweg konnte auf diese Weise der Triebwerkslärm um mehr als 20 EPNdB (Einzelpunkt, z. B. *T/O-Sideline*) gesenkt werden, dies entspricht in etwa einer Viertelung des Lärmempfindens. Abbildung 19 zeigt diesen Zusammenhang an einigen ausgewählten Triebwerksbeispielen über der Zeit.

Durch die Kombination aus stetig wachsendem Luftverkehr mit infolgedessen stark gewachsener Lärmbelastung einerseits und einer weltweit ständig zunehmenden Sensibilisierung der Bevölkerung andererseits hat das Thema Fluglärm inzwischen eine große Bedeutung bei der Industrie erhalten: Neue Produkte (Triebwerke und Flugzeuge) werden zunehmend für erhöhte Lärmanforderungen definiert und ausgelegt

und auch die Kaufentscheidungen der Fluggesellschaften werden zunehmend durch die Lärmthematik beeinflusst.

Abbildung 19 Große Fortschritte bei der Lärmreduktion



Die europäische Aero-Industrie ist unter dem Namen "*ACARE Vision 2020*" eine Selbstverpflichtung eingegangen, nach der das auch weiterhin erwartete wachsende Flugverkehrsaufkommen nicht zu Lasten der Umwelt gehen darf. Die *ACARE Vision 2020* definiert sehr hochgesteckte ehrgeizige Ziele, die in Abbildung 20 zusammengefasst sind. Für den Fluglärm wird dabei innerhalb des betrachteten Zeitintervalls eine weitere Halbierung des Empfindens vorgegeben. Neben der Lärmreduktion wurden weitere Ziele definiert:

- für NO_x Reduktion um 80 %,
- für CO_2 Reduktion um 50 %,
- Reduktion der Unfallraten um das Fünffache,
- Halbierung der Markteintrittszeiten,
- Reduktion der Betriebskosten .

Abbildung 20 Zusammenfassung der Ziele von *ACARE Vision 2020*

Als Folge von *ACARE Vision 2020* sind inzwischen verschiedene Technologieprogramme auf europäischer und nationaler Ebene mit dem Schwerpunktthema Lärm abgeschlossen bzw. in Arbeit oder auch in Planung mit dem Ziel, eine Roadmap für die Produktreife bis 2020 darstellen zu können.

4.7 Darstellung wichtiger Lärm-Technologieprogramme und Konfigurationsstudien

Im folgenden Unterkapitel 4.7 wird eine Übersicht mit Zielen und Ergebnissen zu den wichtigsten Programmen im Bereich des Fluglärms gegeben. Gegliedert ist dieser Abschnitt in 5 Unterpunkte:

- Studien zu lärmarmen Flugzeugkonfigurationen (Kapitel 4.7.1),
- Studien zu Lärmtechnologien am Flugzeug (Kapitel 4.7.2),
- Studien zu lärmarmen Triebwerkskonfigurationen und Technologien (Kapitel 4.7.3),
- Studien zu Lärmtechnologien an Triebwerk und Gondel (Kapitel 4.7.4),
- Themenübergreifende Studien (Kapitel 4.7.5).

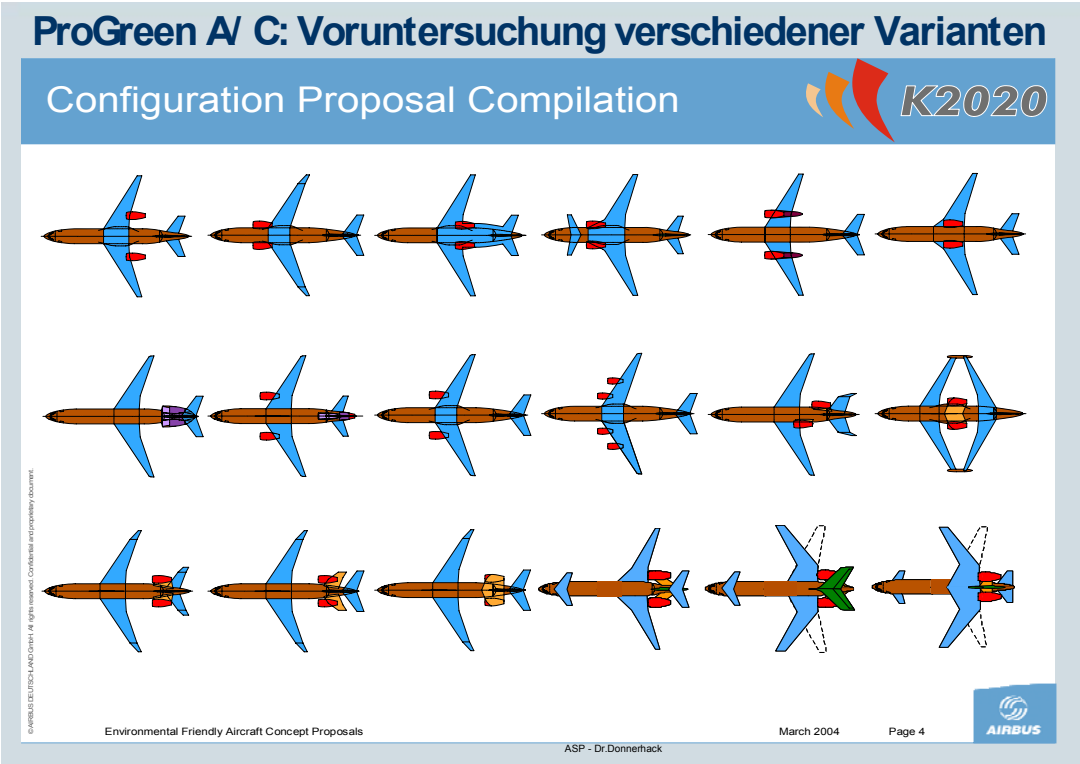
4.7.1 Studien zu lärmarmen Flugzeugkonfigurationen

A. Konfig2020

Im nationalen Programm "*LuFo III*: Konfigurationen 2020" werden unter der Leitung von Airbus-D verschiedene Flugzeug-Leitkonzepte mit unterschiedlichen Hauptzielen untersucht. Das Leitkonzept "*ProGreen - umweltfreundliches Flugzeug*" zielt dabei vor allem auf Umweltthemen wie Lärm und Emissionen, aber auch auf die Herstellprozesse und die Wiederverwendbarkeit der eingesetzten Werkstoffe. Zur Lärmthematik werden in diesem Programm zahlreiche unterschiedliche Konzepte der Triebwerksintegration und der Abschirmung von Triebwerkslärm auf ihre jeweilige Eignung für ein Flugzeugdesign hin untersucht. Abbildung 21 fasst alle beim Beginn der Studie vorgestellten Integrationsvarianten skizzenhaft zusammen.

Ziel dieser Untersuchungen ist es festzustellen, inwieweit die Flugzeugkonfiguration selbst einen signifikanten Anteil des Triebwerkslärms über Abschirmung an Flügeln, Zelle, Heckleitwerk, den Triebwerken selbst, untereinander oder durch zusätzliche Abschirmmaßnahmen reduzieren kann, ohne die Triebwerke mit übermäßigem Einsatz von Lärmmaßnahmen nachteilig zu belasten. Ein Hauptthema bei diesen Untersuchungen ist der "Trade" der Gewichtseinflüsse von Konfigurationsmaßnahmen. Neben dem Mehrgewicht verhält sich die Mehrzahl der vorgeschlagenen Konfigurationen nachteilig bei allen Wartungsaspekten. MTU ist an "Konfig2020" mit der Bereitstellung von Triebwerksdaten beteiligt.

Abbildung 21 In K2020 vorgeschlagene lärmarme Flugzeugkonfigurationen



B. NACRE

Im 6. Rahmenprogramm der EU wurde zum 01. April 2005 das große integrierte Programm "*NACRE - New Aircraft Concepts Research in Europe*" unter der Leitung von Airbus-F gestartet. In diesem Programm werden ebenfalls verschiedene Flugzeugleitkonzepte mit unterschiedlichen Hauptzielrichtungen untersucht, darunter ebenfalls das "ProGreen". In Ergänzung zu den Konzeptstudien der Konfig2020 Phase I werden in NACRE Design-Lösungen für ausgewählte Triebwerksintegrationen erarbeitet. MTU ist an NACRE ebenfalls mit der Bereitstellung von Triebwerksdaten beteiligt. Die Zielsetzungen beider großer Airbus-Konfigurationsprogramme orientieren sich an den Globalzielen von *ACARE Vision 2020*.

C. NASA Quiet Green Transport

Ein NACRE vergleichbares US-Programm ist "*NASA Quiet Green Transport*". Nach Einschätzung des NACRE-Konsortiums haben die USA hier in zeitlicher Hinsicht einen Vorsprung, sowohl im Bereich der numerischen Techniken als auch bei Hardware-Tests.

4.7.2 Studien zu Lärmtechnologien am Flugzeug

A. Leiser Verkehr und Quiet Air Traffic II

In diese Kategorie fallen die Arbeiten im branchenübergreifenden nationalen Verbundvorhaben "*Leiser Verkehr / Quiet air traffic II*". Im Verbundvorhaben, das unter Leitung des DLR steht und den Bahn- und Straßenverkehr sowie die Lärmwirkungsforschung einbezieht, werden einige ausgewählte Lärmminderungsmaßnahmen am Flugzeug durchgeführt und bei Überflügen vermessen. Partner des DLR sind Lufthansa, Airbus und SNECMA. Die folgenden Themen sind in Behandlung:

- Aero-Maßnahme: vortex-generation,
- Chevron Düse: hier als Kerntriebwerks-Düse,
- Lande- und Start-Prozeduren.

In Verbindung mit Array-Messungen ("akustische Kamera") konnten die einzelnen Maßnahmen bei den Überflügen identifiziert und quantifiziert werden.

Die Auswahl der Themen wurde durch die Möglichkeiten des einfachen Adaptierens und Anbaus von lärmmindernden Einrichtungen, Verkleidungen etc. an Flugzeug und Triebwerk vorgegeben. Es handelt sich bei diesen Programmen also im Wesentlichen um Demonstrationen. Einige der demonstrierten Maßnahmen (Chevron-Kerntriebwerks-Düse, Anstellwinkel bei Landeanflug) besitzen bereits ein hohes Maß an Produkt- oder Prozedureignung.

B. FREQUENZ

Am *LuFo III*-Vorhaben “FREQUENZ” sind die Deutsche Lufthansa (Koordinator), Airbus-D, Rolls-Royce D, Dornier, EADS F&T und 3 Hochschulen beteiligt. Das Projekt beinhaltet numerische Studien (CFD/CAA) und Windkanalversuche zum Lärm der Flügelklappen.

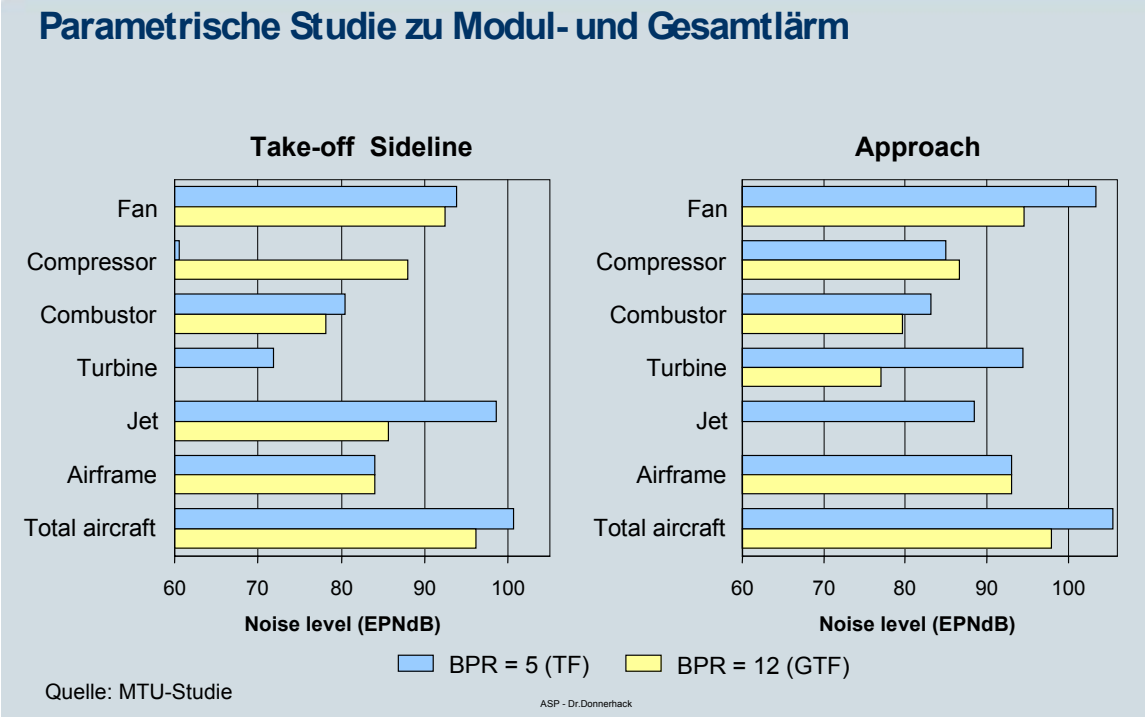
4.7.3 Studien zu lärmarmen Triebwerkskonfigurationen und Technologien

A. EEFA-E mit ANTLE und CLEAN

EEFA-E (Efficient and Environmentally Friendly Aero-Engine) und die Teilprogramme ANTLE (Affordable Near Term Low Emission Engine; für die nähere Zukunft) und CLEAN (Component Validator for Environmental Friendly Aero-Engine; für die fernere Zukunft) sind Teil des 5. EU-Rahmenprogramms. Aufgabe der Technologie-Plattformen ANTLE und CLEAN war die Verifizierung unterschiedlicher Komponententechnologien im Triebwerksversuch. Die Versuche sind inzwischen abgeschlossen und die zugehörigen Berichte stehen kurz vor der Weitergabe an den Auftraggeber. In besonderem Zusammenhang mit der vorliegenden Studie steht das Versuchsvehikel CLEAN, das neben einer low-NOx-Brennkammer auch eine so genannte “schnelllaufende Niederdruckturbine“ für die Triebwerksbauform Getriebefan validiert hat. In Kapitel 4.5 “Statusbeschreibung“ wurde bereits der besondere Einfluss des Parameters BPR auf den Triebwerkslärm behandelt und in Abbildung 18 wurde dazu für Werte BPR > 10 das Regime der Getriebefans identifiziert. Die Bauform des Getriebefans unterscheidet sich vom konventionellen Turbofan durch ein Übersetzungsgetriebe zwischen Niederdruckturbine und Fan. Damit lassen sich die Drehzahlen von Fan und NDT unabhängig voneinander besser an ihre jeweiligen Optima legen. Dies bedeutet zunächst die Option auf deutlich lärmgünstigere Fan-Drehzahlen. Weiterhin kann mit einem Getriebefan der Bereich größerer BPR erschlossen werden, so dass auch der Strahllärm weiter abgesenkt werden kann. Eine Kernkomponente des Getriebefans ist die schnelllaufende NDT, die deutlich effizienter arbeiten kann als die konventionelle langsame NDT. Wegen verschiedener Eigenarten der Lärmausbreitung von Turbomodulen trägt auch die schnelllaufende NDT weniger zum *Approach*-Lärm bei als eine entsprechende konventionelle NDT eines TF-Triebwerks. In Abbildung 22 sind die modulseitigen Lärmbeiträge für einen Getriebefan mit BPR = 12 dargestellt. Für diese Darstellung gelten ebenfalls die Bemerkungen aus Kapitel 4.5.

Nach Abbildung 22 gewinnt der Getriebefan durch seine Bauweise einen Lärmbonus auf dem Niveau Gesamtsystem von etwa 5 - 6 dB in jedem Lärmmesspunkt.

Abbildung 22 Modullärm im Vergleich von konventionellem Turbofan (TF, BPR = 5) mit Getriebefan (GTF, BPR = 12)



B. US-Status zum Getriebefan

"Getriebefan an der Schwelle zum Produkt"

Haupttreiber der Getriebefanbauweise ist der US-Hersteller P&W, der bereits seit Mitte der 90er-Jahre verschiedene Technologieprogramme und sogar Verkaufskampagnen für GTF durchgeführt hat, u. a.:

- ADP-Demonstrator (Advanced Ducted Propfan; mit MTU-Beteiligung);
- PW8000 (1998/1999 Kampagne für 32k-Antrieb; mit MTU-Beteiligung);
- ATFI (Flug-Demo für Regional- und Business-Anwendungen; geleitet von PW-C; mit MTU-Beteiligung);
- PW800 (Kampagne für Regional- und Business-Anwendungen; geleitet von PW-C; mit MTU-Beteiligung).

Die beteiligten Hersteller sehen in der Getriebefan-Bauweise einen geeigneten Weg, das Design-Dilemma zwischen Fan-Geschwindigkeit und damit Fanlärm einerseits und der Wirkungsgradanforderung an die Niederdruckturbine andererseits aufzulösen. Ein weiterer Vorteil besteht in der verbesserten Arbeitsverteilung der Turbomodule untereinander mit der Option, die Anzahl der Bauteile reduzieren zu können. Außerdem eröffnet GTF das Potenzial zu höheren BPR und damit höheren Vortriebswirkungsgraden.

Die Nachteile des GTF sind:

- höhere Komplexität des Antriebs,
- Thermalhaushalt des Getriebes,
- höheres Gewicht (zusätzliches Getriebe, schwere Niederdruckturbine),
- Demonstration im Flugversuch steht bisher noch aus.

In den USA werden derzeit von P&W unter dem Namen “GTF“ erneut (mit Unterstützung durch MTU) Technologie- und Demonstrationsanstrengungen unternommen, den Getriebefan als wirtschaftlichen und lärmarmen Antrieb der nächsten Generation zu etablieren.

C. VITAL

VITAL ist das zum 1. Januar 2005 gestartete große integrierte Technologievorhaben der EU im 6. Rahmenprogramm zur Thematik „Niederdrucksysteme“, also Fan, Niederdruck-Verdichter, -Turbine, -Welle und Installation. VITAL hat die Zielsetzung, durch die Kombination von Modultechnologien mit der Triebwerkskonfiguration einen Gewinn an Vortriebswirkungsgrad von etwa 7 % und eine Absenkung des Lärms von etwa 18 dB kumulativ gegenüber “*state of the art*“ bei Neutralität im Gewicht zu erreichen. Die angestrebte Technologiereife ist für die betrachteten Module und Technologien nicht einheitlich. Das Globalziel von VITAL orientiert sich an den ACARE-Zielen 2020. An VITAL arbeiten alle Europäischen Triebwerkshersteller, der Flugzeughersteller Airbus und weitere R&D-Partner mit.

VITAL definiert drei Antriebskonzepte, an denen die VITAL-Ziele zu messen sind:

- direkt angetriebener Fan, Weiterführung des “ANTLE“-Konzepts von RR,
- Getriebefan, Weiterführung des “CLEAN“-GTF-Konzepts von MTU,
- gegenläufiger Fan, Konzept vorgeschlagen von Snecma (favorisiertes GE-Konzept).

Ein VITAL-Schwerpunktthema wird die jeweiligen technologischen Risiken und Defizite behandeln und Wege aufzeigen, wie die verbleibende Lärm-Ziellücke im nachfolgenden 7. EU-Rahmenprogramm geschlossen werden kann.

4.7.4 Studien zu Lärmtechnologien an Triebwerk und Gondel

A. RESOUND

In dem von 1998 bis 2001 durchgeführten EU-Projekt RESOUND wurden Gestaltungsmaßnahmen und neuartige Technologien zur Verringerung der dominierenden Triebwerksschallquellen untersucht. Dabei wurden u. a. zwei Fan-Modelle und ein

Turbinen-Austrittsleitrad mit CFD (*Computer Fluid Dynamics*) -Methoden lärmarm ausgelegt und anschließend getestet. Weiterhin wurden neuartige passive und aktive Lärmminderungskonzepte direkt an der Schallquelle untersucht.

B. RANNTAC

Das ebenfalls bereits abgeschlossene EU-Projekt RANNTAC befasste sich mit aktiver und passiver Lärmminderung in der Triebwerksgondel. Dabei wurden neue Konzepte für Schallabsorber entwickelt und im Labor und am realen Triebwerk vermessen. Außerdem wurde die aktive Schallminderung mit wandbündigen Lautsprechern in der Gondel rechnerisch modelliert und an einem Fan-Modell experimentell untersucht. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Entwicklung geeigneter Lautsprecher.

C. RAIN

Parallel zu den unter A und B beschriebenen Projekten, die die Schallerzeugung im Triebwerk und deren Minderung in der Gondel zum Thema hatten, wurde im EU-Forschungsprogramm RAIN der Lärm der Flugzeugzelle untersucht. Die beiden wesentlichen Lärmquellen sind dabei die Hochauftriebshilfen an den Flügeln, dass heißt Klappen und Vorflügel, sowie die Fahrwerke.

Am Beispiel eines Langstreckenflugzeugs mit 4 Triebwerken mit einem Nebenstromverhältnis von 8 wurde ermittelt, dass der Flugzeuglärm durch den Einsatz der erfolgreichsten der in den 3 Projekten RESOUND, RANNTAC und RAIN entwickelten Technologien zusammen um 4,4 dB, summiert über die 3 Zertifikationsbedingungen, reduziert werden kann.

D. TurboNoiseCFD

Ziel dieses Projekts war es, vorhandene CFD-Rechenverfahren zur Berechnung der Schallerzeugung von Turbomaschinen anwendbar zu machen. Hierzu wurden die mit verschiedenen Verfahren erzeugten Rechenergebnisse im Sinne eines Benchmarkings mit analytisch erzeugten und experimentellen Ergebnissen verglichen. Weiterhin wurden Methoden zur Kopplung der Ergebnisse von CFD-Rechnungen mit analytischen Schallausbreitungsrechenverfahren entwickelt. Mit den neuen Methoden wurden anschließend Studien zur Verringerung des Turbomaschinenlärms durch Gestaltungsmaßnahmen durchgeführt.

E. NASGeT

Das Projekt NASGeT „Neuartige aktive/passive Systeme zur Geräuschminderung an Triebwerken“ ist Teil des vom DLR initiierten Forschungsverbunds „Leiser Verkehr“. Beteiligt sind Dornier, DLR, EADS F&T und MTU. Ziel ist es, die technische Anwendung aktiver/passiver Maßnahmen zur Schallbekämpfung an Triebwerken näher an die praktische Anwendung heranzuführen.

Hierzu werden Tests zur aktiven Lärmminderung mit neuartigen Aktuatoren an einem Fanmodell durchgeführt. Weiterhin werden aktive/passive Systeme (aktives Absorber-array) entwickelt und getestet sowie numerische Studien zu verschiedenen aktiven Lärmminderungskonzepten an Verdichtern durchgeführt.

Eine weitere Untersuchung im Rahmen von NASGeT zielt auf die aktive Kontrolle des Strahllärms ab. Hierzu sollen Tests mit Aktuatoren an der Düse durchgeführt werden.

Die in NASGeT behandelten passiven Maßnahmen lassen sich im Allgemeinen als "*mid-term*"-geeignet bewerten, während die technische Machbarkeit der Mehrzahl der aktiven Maßnahmen noch nachzuweisen ist. Damit handelt es sich dabei eher um "*long-term*"-Optionen.

F. LEXMOS

Im Vorhaben LEXMOS werden unter der Federführung von Rolls-Royce D mit Beteiligung von Dornier und DLR die Wirkungsmechanismen des Strahllärms untersucht. Dabei werden die Schallquellen experimentell lokalisiert. Anschließend sollen verschiedene Maßnahmen zur Strahllärmminderung durch Gestaltung und lärmmindernde Auskleidung der Düsenhinterkante getestet werden.

F. ALIDE

In diesem EU-Projekt, das von AerMacchi geleitet wird, werden Schallabsorber für kalte und heiße Strömungskanäle rechnerisch modelliert.

G. Brennstoffzellen-Studie

Unter dem Namen APAWAGS (*Advanced Power and Water Generation System*) wird die Möglichkeit eines Kerosin-betriebenen Brennstoffzellen-Systems zur Wasser- und Stromerzeugung an Bord eines Flugzeugs untersucht. Die Studie findet unter Leitung von Airbus-D unter Mitarbeit der MTU statt und wird vom BMWA gefördert. In Vorstudien konnte gezeigt werden, dass Brennstoffzellen alleine als Ersatz für den Hilfsantrieb APU aus Gewichtsgründen im Flugzeug nicht in Frage kommen. In der Form eines Hybrid-Antriebs mit einer Gasturbine zur Aufladung sowie unter Verwendung eines Kerosin-Reformers lässt sich jedoch ein möglicherweise sinnvolles Hilfsenergiesystem konfigurieren, wenn zusätzlich die Aufgabe der Wasserversorgung an Bord mit übernommen wird. Die APAWAGS-Studie behandelt primär keine Lärmthemen, jedoch kann eine Brennstoffzellen-Hybrid Energieversorgung deutlich effizienter und lärmarmer arbeiten als eine konventionelle Hilfsgasturbine APU.

4.7.5 Themenübergreifende Studien

A. SILENCE(R)

An der Technologieplattform SILENCE(R) (Gesamtumfang 110 Mio. Euro, davon etwa 50 % von der EU, Laufzeit 01. April 2001 bis 30. Juni 2006) sind fast alle europäischen Flugzeug- und Triebwerkshersteller und Luftfahrtforschungseinrichtungen sowie eine Reihe von Universitäten beteiligt (insgesamt 51 Partner aus 14 Ländern, Abbildung 23).

Ziel ist die Entwicklung von Lärmminderungseinrichtungen und deren Validierung mit Hilfe von Versuchen an Modellen, Flugzeug- und Triebwerkskomponenten und kompletten Triebwerken auf Prüfständen und in Windkanälen bis hin zu Flugversuchen an Airbus A320 und A340-Flugzeugen. Dabei werden die untersuchten Technologien nicht nur hinsichtlich ihres jeweiligen Beitrags zur Flughafenlärmreduktion bewertet, sondern auch hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Flugleistungen, Kosten, Gewicht etc. (Abbildung 24). Als Lärmziel für das Flugzeug-Gesamtsystem wurde eine Verminderung um 3 dB bis 2006 und 6 dB bis 2008 gegenüber dem Status-quo 2001 festgelegt.

Es wird ein großes Spektrum von Lärmtechnologien für Triebwerke, Triebwerksgondeln und Flugzeugkomponenten untersucht, siehe auch Abbildung 25:

- lärmarme Schaufelgestaltung von Fans, Turbinen und Verdichtern (CFD-Design, gepfeilte Schaufeln etc.),
- Triebwerke mit hohem Nebenstromverhältnis (UHBR Triebwerke),
- schräg nach oben gerichteter Einlauf (*negative scarfed inlet*) zur Umlenkung der Abstrahlrichtung nach oben,
- neuartige Materialien für Schallabsorber für Fan und Turbine (Hohlkugeln, Titan-Aluminid-Werkstoffe für heiße Umgebung etc.),
- nahtlose Schallabsorber (*zero splice liner*),
- zusätzliche Schallabsorber an der Einlauflippe (im Zusammenwirken mit Enteisungseinrichtungen),
- Kulissenschalldämpfer im Nebenstromkanal (*splitter*),
- schallabsorbierende Düsen-Zentralkörper (*plugs*),
- aktive / passive und adaptive Schallabsorber,
- gezackte oder gewellte Düsen (*Chevron nozzles*),
- aerodynamisch günstig gestaltete Fahrwerke (nachrüstbar und neues Design),
- lärmarm gestaltete Hochauftriebshilfen (Flügelklappen und Vorflügel) mit Bürsten zur Abdichtung von Spalten und mit porösen Materialien ausgekleideten Hohlräumen,
- aktive Schallminderung mit Aktuatoren in der Gondel,
- aktive Schallminderung mit Piezo-Aktuatoren auf den Schaufeln.

Die einzelnen Technologien durchlaufen im Verlauf des Projekts einen einheitlichen Bewertungs- und Auswahlprozess, der einen sinnvollen Einsatz der zur Verfügung stehenden Mittel sicherstellt. Die Bewertung der Technologien erfolgt dabei anhand einer Reihe von generischen Flugzeug- und Triebwerkskonfigurationen: Kurzstrecken- und Langstreckenflugzeuge, Triebwerke mit verschiedenen Nebenstromverhältnissen.

Das IP (integrierte Programm) SILENCE(R) verfolgt die Intention, den weiter oben beim Programm NACRE bereits beschriebenen zeitlichen Vorsprung von US-Programmen wie *Quiet Green Transport* einzuholen.

B. SEFA

Das EU-Projekt SEFA (Sound Engineering For Aircraft, Koordinator ist Dornier) befasst sich mit der vom Betroffenen wahrgenommenen Qualität des Lärms beim Flugzeugüberflug und versucht Kriterien für die Erzeugung eines „angenehmen“ Geräusches zu ermitteln, analog zum bereits üblichen “Sound Design“ im Innenraum von Pkws. Beteiligt sind 20 Partner aus unterschiedlichen Branchen.

Abbildung 23 EU-Plattform SILENCE(R)

European Commission

SIGNIFICANTLY LOWER COMMUNITY EXPOSURE TO AIRCRAFT NOISE SILENCE (R)

SNECMA MOTEURS(F)(Co-ordinator), INSA-Lyon(F), LMA(F), INASCO(EL), VIBRATEC(F), Messier-Dowty(F), LAUM-CNRS(F), Trinity College Dublin(IRL), IST(P), ATECA(F), A4 Ingenieros Consultores(E), COMOTI(RO), VTT(FIN), EADS GmbH(D), Fokker Aerostructures(NL), SONACA(B), EADS SA(F), AIRCELLE(F), Alenia(I), DASSAULT AVIATION(F), Ecole Centrale de Lyon(F), METRAVIB(F), DORNIER(D), EPFL-LEMA(CH), EPFL-LC(CH), CTTM(F), WALCHER(D), ROLLS ROYCE(UK), Bruel & Kjaer(DK), SHORT BROTHERS(UK), NLR(NL), ISVR(UK), INBIS(UK), DERA(UK), Plansee(A), SENER(E), SIEGEL(E), SPASA(E), CTA(E), INASMET(E), BAE SYSTEMS(UK), SAAB(S), Turbomeca(F), AerMacchi(I), DLR(D), Hispano-Suiza(F), MTU(D), Rolls Royce Deutschland(D), DaimlerChrysler Research and Technology(D), ITP(E), ONERA(F)

April 2001 - April 2005 GRD1-2000-25297

New technologies to reduce noise at the source will allow 6dB quieter aircraft by 2008:

SILENCE(R) addresses the issue of aircraft noise, a major cause of concern around European airports, through three major objectives:

- Large scale validation of noise reduction technologies whose development was initiated by EU and National projects in '98.
- Assessment of the applicability of these technologies to current and future European products with minimum cost, weight or performance penalty.
- Determination of the associated achievable noise reduction.
- Novel concepts to be validated include low-noise fans, LP turbines, scarfed intakes, novel intake, bypass and hot-stream liners, nozzle jet noise suppressors, active control techniques and airframe noise reduction technologies

Abbildung 24 SILENCE(R)-Bewertung der Lärmminderungstechnologien

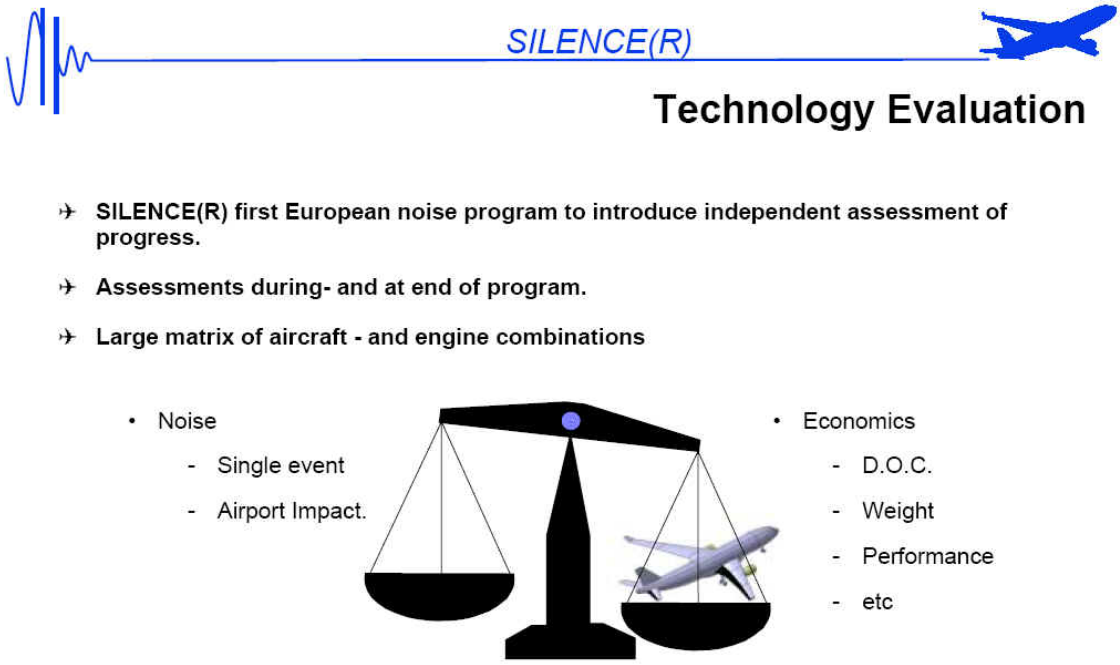
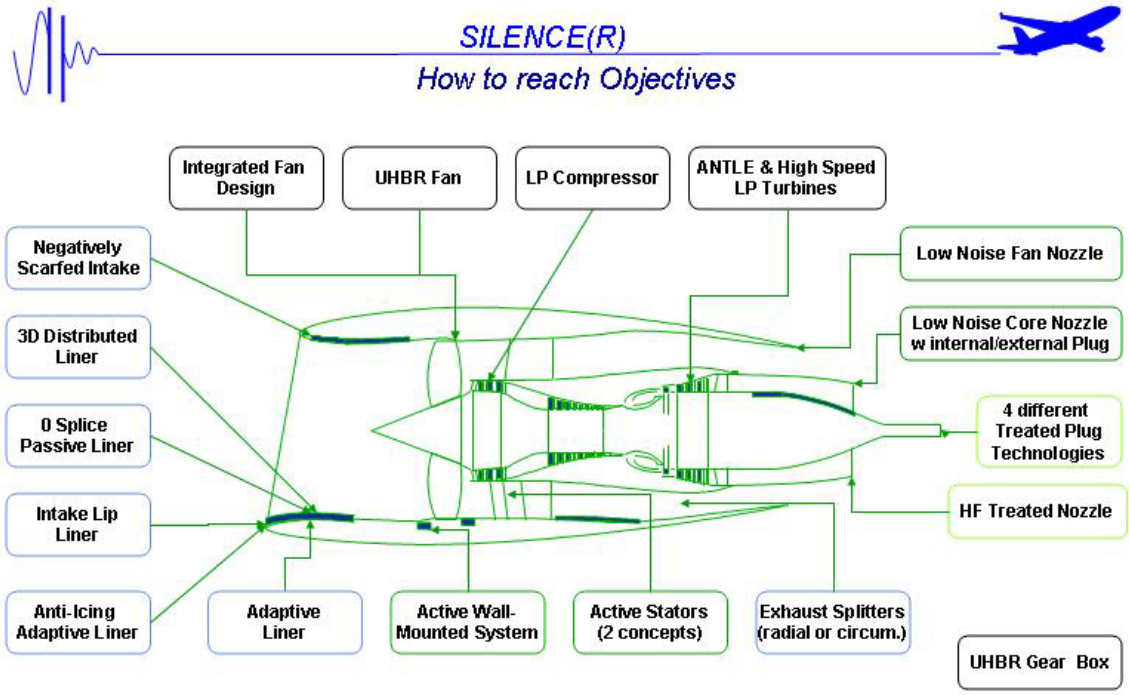


Abbildung 25 SILENCE(R)-Lärmminderungstechnologien für Triebwerk und Gondel



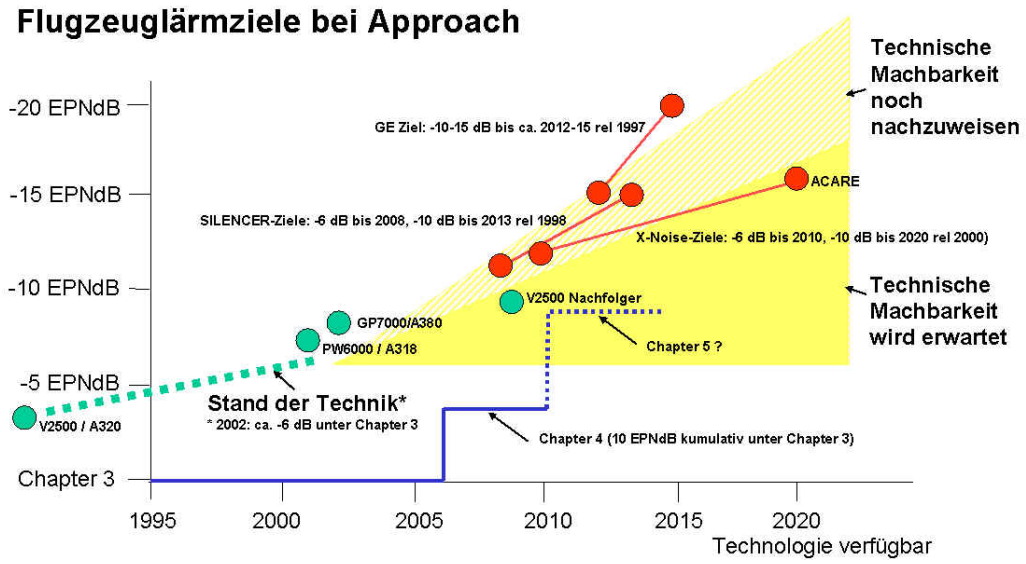
4.7.6 Roadmap zu Fluglärmzielen

Waren frühere Aktivitäten zu Lärmreduktionsmaßnahmen häufig singulär begründet und ausgerichtet, verfolgt die Luftfahrtbranche insbesondere in Europa seit dem 5. EU-Rahmenprogramm mit SILENCER und CLEAN sowie der Selbstverpflichtung von *ACARE Vision 2020* eine sehr zielgerichtete Vorgehensweise. Alle größeren Programme auf nationaler und europäischer Ebene müssen nun ihre Bedeutung und ihre Beiträge zu der Erreichung der ACARE-Ziele nachweisen. Jedes Thema muss dabei

- eine angestrebte Verbesserung relativ zu Status und Ausgangssituation,
- einen angestrebten Technologiereifegrad (mit einer “Roadmap“ zur Produktreife),
- mögliche Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen darlegen.

Die Darstellung der Zielsetzungen zur Fluglärmreduktion wurde in einer “Roadmap“ (oder auch Zielwertdiagramm) bis 2020 zusammengefasst. Abbildung 26 zeigt diese Roadmap, die beispielhaft für den Messpunkt “Approach“ erarbeitet wurde. Dieser Messpunkt ist besonders aussagekräftig, weil hier stärker als bei den beiden anderen Lärmmesspunkten auch der Flugzeugzellenlärm einen maßgeblichen Beitrag zum Gesamtlärm leistet (siehe Abbildung 17). Die eingetragenen Punkte gelten für den Flugzeug-Gesamtlärm und repräsentieren somit Zielwerte bzw. das technologische Potenzial für Triebwerk und Flugzeugzelle (z. B. SILENCER). In der Roadmap sind neben der Status-Festlegung wichtige Meilensteine aus unterschiedlichen Programmen festgehalten. Aus heutiger Sicht können demnach bis 2020 unter Vermeidung von Lösungen zu Lasten der weiteren ACARE-Ziele die triebwerks- und zellenbezogenen Lärmreduktionsziele mit Produktreifegrad erreicht werden. In der Roadmap sind zusätzliche Potenzialbereiche enthalten, deren technische Realisierbarkeit heute jedoch noch nicht nachgewiesen ist.

Abbildung 26 Roadmap der Triebwerks- und Zellenbeiträge zur Fluglärmreduktion bis 2020



4.8 Trade-off Effekte zwischen Lärm- und Schadstoff-emissionen

Die Beschreibung von Austauschfaktoren ("Trades") zwischen unterschiedlichen und insbesondere auch gegenseitig konkurrierenden Designzielen eines Flugtriebwerks ist im Allgemeinen nicht trivial. Bei der Definition neuer Produkte hat sich die Verwendung von Trades auf der Basis einer Betrachtung von wirtschaftlichen Auswirkungen am Gesamtsystem Flugzeug in einer definierten Mission als Bewertungsmaß etabliert.

Die Übertragung dieser Methodik auf die hier geforderte Bewertung von Technologiemaßnahmen ist aus folgenden Gründen kritisch zu bewerten:

- kein einheitliches Triebwerksprodukt definierbar für die Fülle der in Kapitel 4.7 behandelten Technologiemaßnahmen,
- kein einheitliches Flugzeugprodukt definierbar,
- keine einheitliche Mission definierbar,
- häufig keine einheitliche Technologie-Referenz definierbar.

Auch fehlen derzeit allgemein etablierte Ansätze zur quantitativen Bewertung der wirtschaftlichen Auswirkungen von Umweltbeeinträchtigungen durch den Flugverkehr. Zusätzlich erschwerend kommt hinzu, dass wegen der herausfordernden ACARE-Zielsetzungen zunehmend eine Kombination aus evolutionären und revolutionären Maßnahmen

- Lärmminderungstechnologien,
- Emissionsminderungstechnologien,
- Modultechnologien,
- Triebwerkskonzepten und
- Flugzeugkonzepten zur Bewertung ansteht.

Für diese neuartigen Kombinationen existieren häufig keine einheitlichen analytischen oder empirischen Zusammenhänge, von denen Trades abgeleitet werden können. Dies gilt insbesondere auch für die Behandlung der Wechselwirkungen von Lärm- und Abgas-Emissionen. Anhand zweier ausgewählter Beispiele für zukünftige Triebwerks-konfigurationen (Getriebefan GTF und rekuperatives Triebwerk mit Zwischenkühlung IRA) wird hier gezeigt, wie durch vorteilhafte Kreisprozessgestaltung in Verbindung mit geeigneter Triebwerksarchitektur und fortschrittlichen Triebwerksmodulen die beiden scheinbar konkurrierenden Designziele Lärm- und Abgasemissionen im Rahmen gewisser Designgrenzen gemeinsam erreicht werden können. Aus den oben genannten Gründen wird daher im Rahmen dieser Ausarbeitung vorgeschlagen, die Behandlung von Trade-Effekten zwischen Lärm- und Schadstoffemissionen anhand der jeweiligen Gewichtsauswirkungen zu diskutieren, da ein sehr großer Anteil aller Maßnahmen zur Verbesserung spezifischer Leistungsmerkmale in Hinsicht auf die drei Umweltziele:

- CO_2-Reduktion,

- NOx-Reduktion und
- Lärmreduktion

deutliche und in der Regel auch nachteilige Gewichtsauswirkungen hat. Diese Gewichtsauswirkungen können recht konsistent auf alle Systemebenen (Mission, Flugzeug, Triebwerk, Integration, Triebwerksmodule, Lärm-Einzeltechnologien, Low-Emission-Technologien) angewendet werden. Der Vorteil der hier vorgeschlagenen Darstellung liegt in folgenden Punkten:

- Eine Übertragung auf eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Gesamtsystems Flugzeug gemäß der ursprünglichen Anwendung von Trades ist grundsätzlich möglich.
- Die Messgröße “Gewicht“ adressiert direkt den zugehörigen Technologieanspruch und den dazu erforderlichen Technologie-Bedarf (“Stoßrichtung“).
- Die Messgröße “Gewicht“ erlaubt auch eine Indikation auf Kosten.

4.8.1 Übersicht zu Stoßrichtungen bei Schadstoff- und Lärmemissionen

In der folgenden Übersicht werden für die oben identifizierten drei Umweltziele die technologischen “Stoßrichtungen“ für Verbesserungen auf die unterschiedlichen Systemniveaus (Transportaufgabe ~ Passagierkilometer, Flugzeug, Triebwerk, Triebwerksmodule) herunter gebrochen. Aus dieser Zusammenstellung können schließlich gemeinsame und sich ergänzende oder auch gegensätzliche und sich ausschließende Zielsetzungen abgeleitet werden. In der Spalte “*Stoßrichtung*“ wird der kurze Begriff “Gewicht“ anstelle von “*Bauweise und Design-Lösung für niedriges Gewicht*“ verwendet.

A. CO2-Ziel

System	Ziel	Stoßrichtung
Transportaufgabe:	Gesamt-Brennstoffverbrauch	Flugmission
Flugzeug:	Schubbedarf (pro Sitzmeile)	Aero-Qualität, Gewicht***
Triebwerk:	niedriger spez.Schub, kleines V_{jet}	hohes BPR, Gewicht***
	niedriger spez. Brennstoffverbrauch	konventionelle hocheffiziente Kreisprozesse mit hohen P3 und T3, T4
Trwk-Module:	hohe Wirkungsgrade	Aero-Qualität, Gewicht***
	niedrige Verluste	

B. NOx-Ziel (LTO & cruise NOx)

System	Ziel	Stoßrichtung
Transportaufgabe:	Gesamt-Brennstoffverbrauch	Flugmission
Flugzeug:	Schubbedarf (pro Sitzmeile)	Aero-Qualität, Gewicht***
Triebwerk:	niedriger spez. Brennstoffverbrauch	neue hocheffiziente Kreisprozesse mit niedrigem P3, z. B. IRA*
Trwk-Module:	hohe Wirkungsgrade	Aero-Qualität, Gewicht***
	niedrige Verluste	
	low-NOx-Brennkammer	Gewicht***

C. Lärm-Ziel

System	Ziel	Stoßrichtung
Transportaufgabe:	Start- und Landeprozeduren	Anpassung Regelwerk
Flugzeug:	Start-/Lande-Schubbedarf	Aero-Qualität&Gewicht***
	lärmarmes Flugzeugdesign	Aero-Qualität
	Trwk.-Installation & Abschirmung	Gewicht***
Triebwerk:	niedriger spez. Schub, kleines V_{jet}	hohes BPR, Gewicht***
	lärmarme Konfiguration, z. B. GTF**	Gewicht***
	Nacelle- & Düsen-Konfigurationen	Gewicht***
Trwk-Module:	lärmarmes Design	Aero-Qualität
	Dämpfungsmaßnahmen	Gewicht***
	passive & aktive Maßnahmen	Gewicht***

* IRA: Intercooled Recuperative Aeroengine mit Wärmetauscher und Zwischenkühler

** GTF: Getriebefan Triebwerk

*** Gewicht: verkürzt für “Bauweise und Design-Lösung für niedriges Gewicht“

Der Hauptkompromiss zwischen den verschiedenen Umweltzielen ergibt sich nach dieser Zusammenstellung im Wesentlichen aus der Verwendung eines konventionellen Triebwerkdesigns mit der Zielsetzung möglichst hoher T3- und P3-Kreisprozesswerte (Druck und Temperatur am Verdichteraustritt bzw. Brennkammereintritt). Dies ist zur Optimierung des Brennstoffverbrauchs und zur Ermöglichung hoher Nebenstrom-verhältnisse, allerdings zum Nachteil weiter zunehmender NOx-Emissionen bei der Verbrennung unter Verwendung vergleichbarer Brennkammertechnologien, erforderlich. Dieser wohlbekannte Zusammenhang der thermischen NOx-Bildung ("Temperaturerhöhung bei bereits hohem Temperatur- und Druckniveau bei ausreichender Verweilzeit in der Reaktionszone führt zu exponentiellem Anstieg der NO_x-Bildung") kann durch verschiedene Maßnahmen teilweise oder recht deutlich gemildert werden.

Durch Verwendung neuartiger Brennkammertechnologien, wie z. B.

- Doppelringbrennkammer mit Brennstoffstufung, wie bei GE-DAC (in Service),
- luftgestufte Brennkammer nach fett-mager-Prinzip, wie bei PW-TALON (2006 in Service mit PW6000) und
- magere Direkteinspritzung (nach RR-Konzept)

kann das NOx-Niveau des jeweils verwendeten Kreisprozesses signifikant reduziert werden. Die oben angesprochenen Brennkammertechnologien können im Prinzip in konventionelle Triebwerksbauformen integriert werden. Sie zeichnen sich in der Regel durch ein höheres Gewicht (doppelte Anzahl an Einspritzdüsen, aufwendigere Einspritzmodule etc.) aus. Weitere Details zu den Funktionsprinzipien und den Potenzialen von Low-NO_x-Brennkammertechnologien können der Präsentation der MTU "Beiträge der Flugtriebwerke zur Schadstoffreduktion im Luftverkehr" des UBA-Workshops *Flugverkehr und Luftqualität* (Berlin, 06.2005) sowie der Studie von RAND Europe "Entwicklung eines Vorschlages für eine Absenkung des derzeit gültigen internationalen Grenzwertes für Stickoxidemissionen […]"(Berlin, 11.2002) mit zusätzlichen Hinweisen zu den Grundlagen und Design-Regeln der Triebwerkkreisprozesse und zu den Wechselwirkungen mit Abgas-Emissionen.

Durch Verwendung neuartiger unkonventioneller Triebwerkskonfigurationen wie z. B. IRA (Wärmetauschertriebwerk mit Zwischenkühlung) kann nun der oben diskutierte Design-Kompromiss sogar deutlich gemildert werden: Ein IRA-Triebwerk kann durch die Verwendung von Zwischenkühlern hohe thermodynamische Wirkungsgrade bei sehr niedrigen Gesamtdruckverhältnissen erreichen (siehe dazu nächstes Kapitel mit Zahlenbeispiel). Damit kann diese Triebwerksbauform maßgeblich auch zu niedrigen absoluten NOx-Emissionen beitragen. Hauptnachteil von IRA ist das nennenswerte Mehrgewicht durch die Verwendung von Zwischenkühlern und Abgaswärmetauschern.

4.8.2 Trade-Bewertungen an den Beispielen GTF und IRA

Für zwei Beispiel-Triebwerkskonfigurationen werden zum Abschluss der Beschreibungen Zielwerte für Brennstoffverbrauch, Lärm- und NOx-Emissionen sowie Gewichte diskutiert. Diese beiden Beispiele stellen eine Synthese aus den Kapiteln

- Darstellung wichtiger Lärm-Technologieprogramme und Konfigurationsstudien (Kapitel 4.7),
- Roadmap zu Fluglärmzielen (Kapitel 4.7.6) sowie
- Übersicht zu Stoßrichtungen bei Schadstoff- und Lärmemissionen (Kapitel 4.8.1)

anhand realer Triebwerkskonfigurationen dar und beziehen sich auf je eine Design-Lösung für die mittlere Zukunft (GTF) und für die fernere Zukunft (IRA für 2020+).

Im Rahmen dieser Synthese soll erneut daran erinnert werden, dass die Ausschöpfung dieser hohen Verbesserungspotenziale bei den Triebwerken nur im Gleichschritt mit ergänzenden Verbesserungen an der Flugzeugzelle (Schubbedarf, Gewicht und Aerodynamik) Sinn machen. Erinnert sei hier an die Aussage von Abbildung 22 wonach bei BPR > 12 die (konventionelle) Zelle bei einzelnen Messpunkten bereits zu den größten Verursachern von Einzellärm gehört.

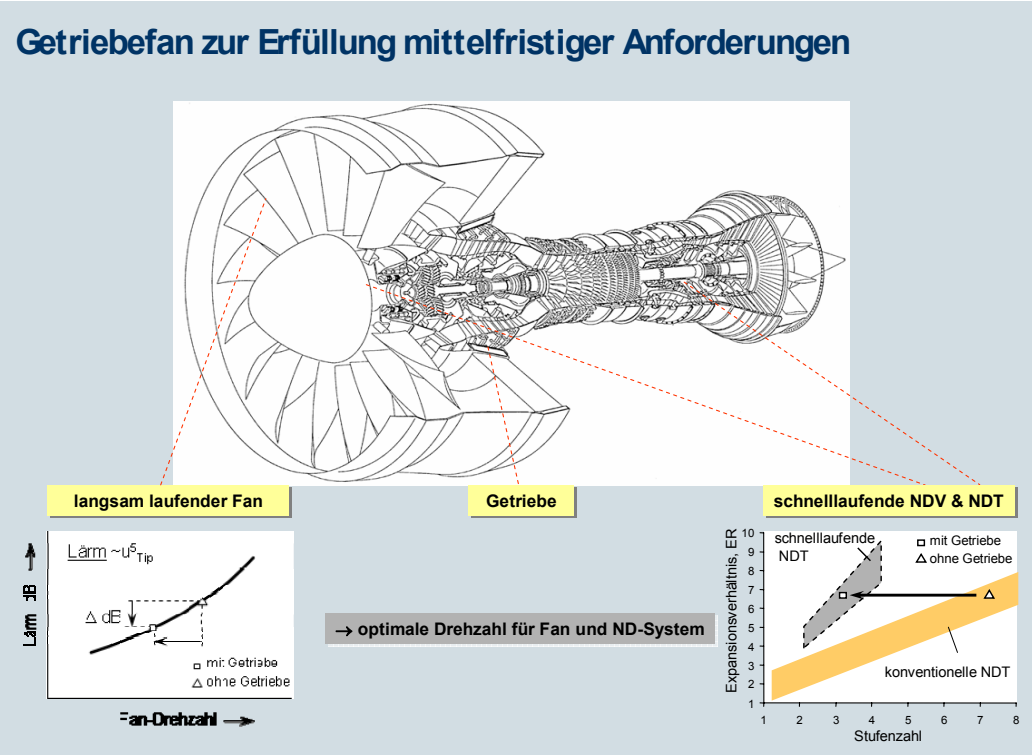
A. GTF

Getriebefan-Konfiguration, siehe dazu auch:

Kapitel 4.7.3	CLEAN,
	US-Studien,
	VITAL,
Kapitel 4.7.5	SILENCE(R),
Kapitel 4.8.1,	
Abbildung 22, Abbildung 25 und Abbildung 27.	

GTF ist eine Bauform für den Antrieb des Fans zur Ermöglichung hoher BPR und hoher Vortriebswirkungsgrade mit der Möglichkeit, über das Getriebe-Übersetzungsverhältnis die Fan-Drehzahl für eine lärmarme Fanbetriebsweise anpassen zu können (Abbildung 27). Die Niederdruckturbine eines GTF ist “schnelllaufend“ und kann daher neben einer deutlichen Wirkungsgradsteigerung auch zusätzlich zur Lärmreduktion bei *Approach*-Bedingungen beitragen. Der GTF wurde von P&W bereits in Verkaufskampagnen einbezogen. Im Rahmen dieser Studie wird GTF als “*mid-term*“, also geeignet für die nächste Triebwerksgeneration, charakterisiert.

Abbildung 27 Übersicht Getriebefan-Konfiguration (GTF)



GTF-Eigenschaften:

- SFC: -6 - 10 % (spezifischer Brennstoffverbrauch)
- Lärm: -15 - 20 EPNdB (kumulativ), in Verbindung mit "*mid-term*"-SILENCER-Technologie
- NO_x: geeignet für DAC, TALON, mager-direkt
- Gewicht: +8 … +10 %
  "neutral" mit VITAL-Technologie

B. IRA

Intercooled recuperative Aeroengine, siehe dazu auch:

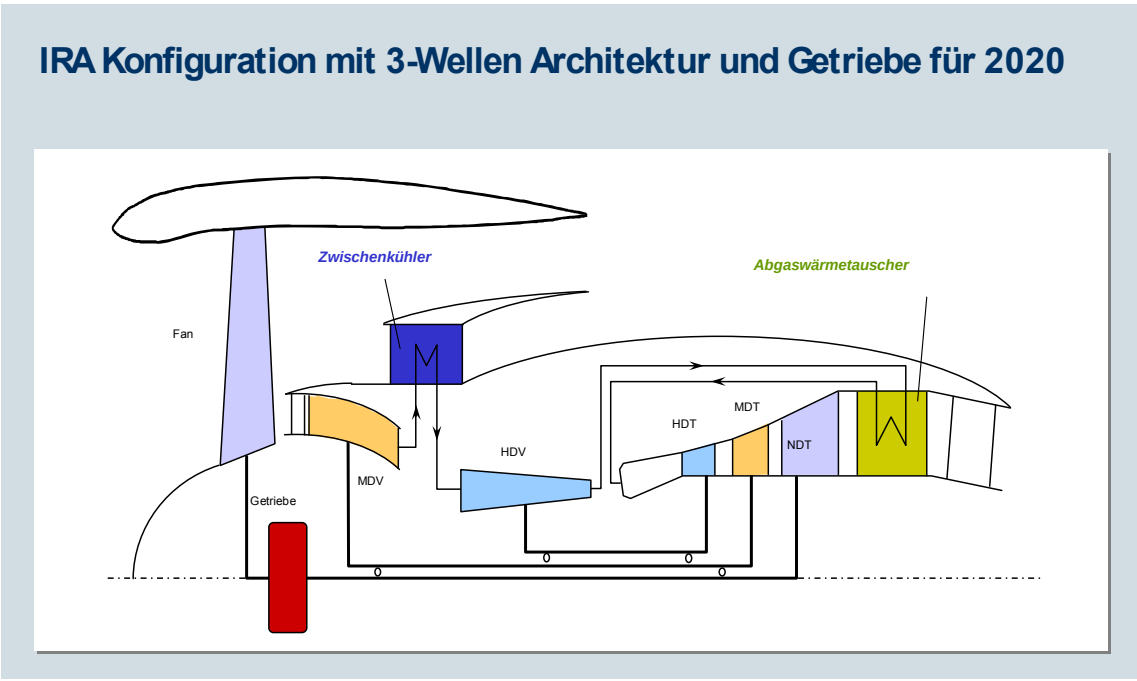
Kapitel 4.7.3 CLEAN,

Kapitel 4.8.1,

Abbildung 18 und Abbildung 28,

Präsentation der MTU "Beiträge der Flugtriebwerke zur Schadstoffreduktion im Luftverkehr" des UBA-Workshops *Flugverkehr und Luftqualität* am 14.Juni 2005.

Abbildung 28 Übersicht *Intercooled Recuperative Aero-Engine* (IRA)



IRA (Abbildung 28) ist das von MTU favorisierte Triebwerkskonzept zur Erreichung der Ziele von *ACARE Vision 2020* für typische Langstreckenanwendungen. IRA kombiniert die Eigenschaften des GTF zur Erhöhung des Vortriebswirkungsgrades mit den Vorteilen von Zwischenkühlung und Abgaswärmetauschung. Mit IRA können bei hohen Nebenstromverhältnissen BPR > 20 sehr hohe Vortriebswirkungsgrade und bei niedrigen Gesamtdruckverhältnissen OPR < 30 sehr hohe thermodynamische Wirkungsgrade erreicht werden. Damit ist IRA sowohl für niedrige Lärm- als auch für niedrige Abgasemissionen geeignet. IRA wird als "*long-term 2020*" charakterisiert, erste IRA-Module wurden bereits in CLEAN getestet (schnelllaufende NDT & Abgaswärmetauscher); weitere IRA-Aktivitäten sind im IP-NEWAC (NEW Aero-engine Core configuration) im Zeitraum 2006 - 2010 geplant.

IRA-Eigenschaften:

- SFC: -16 - 20 % (spezifischer Brennstoffverbrauch)
- Lärm: -18 - 22 EPNdB (kumulativ), in Verbindung mit SILENCER-Technologie
- NOx: -80 % (anwendungsbezogen und absolut: besser -80 %)
- Gewicht: +18 bis + 24 %
  +5 bis +10 % mit VITAL-Technologie

4.9 Fazit und Schlussfolgerungen

Das Thema Lärmemissionen besitzt im Bereich der zivilen Luftfahrt eine ständig wachsende Bedeutung und berührt inzwischen alle Aspekte von der Technologieentwicklung und -bereitstellung über das Produkt-Design bis hin zu den Kaufentscheidungen der Fluggesellschaften. Die bereits heute gegenüber früheren Flugzeuggenerationen erreichten merklichen Lärmreduktionen werden als nicht ausreichend bewertet. Über die anspruchsvolle Selbstverpflichtung der europäischen Flugindustrie “ACARE Vision 2020“ soll der Fluglärm von 2000 bis 2020 noch einmal halbiert werden. Diese Zielsetzung spiegelt sich in einer Fülle der dargestellten Einzel- und Verbundvorhaben zum Thema Lärmreduktion wider, die einerseits alle Bereiche des Gesamtsystems Flugzeug, also von den lärmarmen Lande- und Startprozeduren über lärmarme Flugzeug- und Triebwerkskonfigurationen bis zu zahlreichen Einzeltechnologiethemen, umfassen und andererseits das gesamte Spektrum von Idee und Prinzip bis hin zur nahen Produktreife haben.

Mit der in Kapitel 4.7.6 erläuterten Roadmap wird versucht, aus den wichtigsten nationalen, europäischen und US-Programmen eine Lärmzielfunktion abzuleiten. Diese Lärmzielfunktion unterliegt der notwendigen Randbedingung, nicht auf Lösungen zu Lasten der übrigen *ACARE-Ziele* zurückgreifen zu müssen. Danach erscheint das *ACARE-Ziel* für 2020 technologisch realistisch erreichbar. Diese Roadmap macht auch deutlich, dass jenseits der *ACARE-Ziele* noch weitere Lärmreduktionstechnologien in Entwicklung sind und weitere Potenziale, insbesondere beim Triebwerk, erschließbar scheinen. Deren technische Machbarkeit lässt sich allerdings momentan noch nicht abschließend bewerten, und deren Einsatz könnte vermutlich zu Lasten weiterer Flugzeug- oder Triebwerks-Designziele gehen.

Die Herleitung und Verwendung von allgemeingültigen Austauschfaktoren (“*Trade-Effekten*“) zwischen Lärm- und Abgasemissionen ist nicht ohne weiteres widerspruchsfrei durchführbar und daher auch nicht empfehlenswert. Anhand der beiden Triebwerksbeispiele GTF und IRA wird erläutert, dass durch eine vorteilhafte Kreisprozessgestaltung in Verbindung mit geeigneter Triebwerksarchitektur und fortschrittlichen Triebwerksmodulen die beiden Designziele zur Minimierung der Lärm- und Abgasemissionen im Rahmen gewisser Designgrenzen gemeinsam erreicht werden können. Das Thema Gewicht ist zahlreichen Maßnahmen gemein, es adressiert auch die wichtigste Stoßrichtung für Technologieentwicklung.

5 Ausgestaltung der Szenarien

Für die Ausgestaltung sind im Weiteren, soweit möglich, Anhaltspunkte berücksichtigt worden, die sich durch die vorausgehende Status-quo Analyse in den Kapiteln 2 bis 4 ergeben. Hierzu zählen u. a. die in technologischer Hinsicht zu erwartenden Lärmminderungserfolge am Flugzeug oder die Kenntnisse über bestehende Lärmschutzregelungen an internationalen Flughäfen. Weiterhin wird versucht, auf die unterschiedlichen Interessen der betroffenen Akteure einzugehen, indem u. a. eine ausreichende Planungssicherheit für Luftfahrzeughersteller und Airlines aufgrund der langen und aufwendigen Entwicklungszeiten sowie Lebenszyklen der Flugzeuge die berücksichtigt wird, um die Akzeptanz der Annahmen weitestgehend zu erreichen. Dabei soll eine maximale Lärmentlastung innerhalb eines möglichst kurzen Zeitraums realisiert werden. Die Fluglärmbelastung im Umfeld der Flughäfen ist bereits heute häufig sehr hoch und bedarf v. a. an diesen Stellen dringender Verbesserungen.

Die konkrete Ausgestaltung der Szenarien orientiert sich an den allgemeinen Vorgaben aus der Leistungsbeschreibung sowie dem Angebot des Anbieterkonsortiums. In erster Annäherung wurden dort als geeignete Zeithorizonte zum einen kurzfristige Maßnahmen, die parallel zum aktuell geltenden Regelwerk für Strahlflugzeuge eingeführt werden, und zum anderen mittel- bis langfristige Maßnahmen, die eine Novellierung von *Annex 16* im Jahr 2015 berücksichtigen, definiert. Es sollten jeweils drei bis vier idealisierte Flughäfen betrachtet werden, die die verschiedenen Kategorien der wichtigen und „lärmkritischen“ Situationen repräsentieren und entsprechenden Kategorien zuzuordnen sind (z. B. internationaler Hubflughafen). Es sollte weiterhin eine Differenzierung innerhalb einer Bandbreite für potenzielle Lärmentlastungen erfolgen. Hierzu wurde angedacht, dass ein optimistisches Szenario gewählt wird, das die Maßnahmenvorschläge nahezu vollständig übernimmt, so dass sich maximale Lärmreduktionspotenziale ergeben. Weiterhin sollte ein konservatives Szenario Berücksichtigung finden, das Maßnahmen mit geringen Lärmminderungseffekten als Referenzfall erfasst. Aufgrund dieser Vorgehensweise sollte gewährleistet sein, dass die potenzielle Spanne bei der Entwicklung der Emissionssituation abgebildet wird.

5.1 Vorgehensweise

Zur Ausgestaltung der Szenarien wurde folgende Vorgehensweise in vier Arbeitsschritten gewählt:

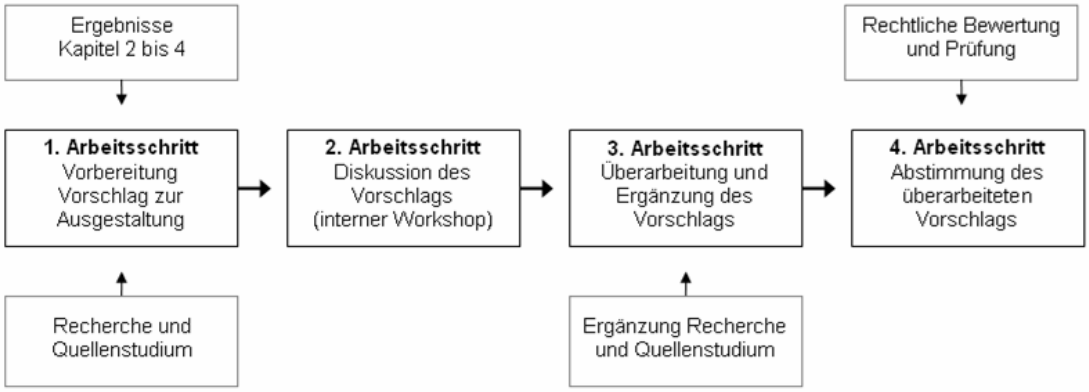
1. Als Diskussionsgrundlage wurde auf Basis des Angebots, der Ergebnisse in den Kapiteln 2 bis 4 sowie weiterer zur Verfügung stehender Quellen ein erster Grobentwurf entwickelt. Dieser interne Entwurf diente mit Vorschlägen zu den Eckpunkten der Maßnahmenpakete der Vorbereitung der nachfolgenden Diskussion im Projektteam.
2. Die Diskussion zum Entwurf der Ausgestaltung der Szenarien erfolgte im Rahmen eines internen Projekt-Workshops. Dabei wurde das vorgelegte

Konzept intensiv diskutiert, ergänzt und z. T. geändert. Über die grundlegende Heran- und Vorgehensweise konnte Einigkeit erzielt werden. Zahlreiche offene, zu prüfende und zu vervollständigende Punkte wurden identifiziert.

3. Nach Überarbeitung und Ergänzung des Entwurfs entsprechend den vorherigen Vereinbarungen wurde ein vollständiger Vorschlag zur Ausgestaltung der Szenarien erarbeitet. Hierzu zählten die Definition der einzelnen Szenarien sowie die konkrete Umsetzung der Annahmen an den einzelnen Flughafentypen A bis C in Form von Routenbelegungen, die als Eingangsdaten für die anschließenden Lärmberechnungen dienten.

4. Der vorgelegt komplette Entwurf zur Ausgestaltung wurde abschließend intern abgestimmt, um ggf. letzte Änderungen und Ergänzungen vorzunehmen. Weiterhin erfolgt eine rechtliche Bewertung der Maßnahmen (-pakete), um die Rechtskonformität mit den geltenden Normen zu prüfen.

Abbildung 29 Vorgehensweise Ausgestaltung Szenarien



5.2 Grundannahmen zu den idealisierten Flughäfen

Unter den Grundannahmen werden im Folgenden die Eckdaten zu den Flughafentypen (z. B. Anzahl der Pisten), die zugrunde gelegten Verkehrsprognosen (Anzahl der Flugbewegungen), der zukünftige Flottenmix[130] sowie die An- und Abflugrouten an den idealisierten Flughäfen verstanden. Diese Grundannahmen sind möglichst einfach gestaltet worden, damit die Ergebnisse dieser Arbeitsschritte schnell nachvollzogen werden können. Andererseits wird aber auch Wert darauf gelegt, dass möglichst

[130] Unter dem Flottenmix (bzw. Flugzeugmix) wird die Unterteilung der an einem Flugplatz verkehrenden Flugzeugtypen verstanden.

realitätsnahe Bedingungen berücksichtigt werden, so dass sich die Annahmen an bestehenden internationalen Verkehrsflughäfen in Deutschland orientieren.

5.2.1 Eckdaten

Zu den Eckdaten der Flughafentypen zählen grundlegende Definitionen, die sich an den bereits betrachteten Flughäfen orientieren sowie an der bisherigen Diskussion im Projektteam. Der Schwerpunkt der Untersuchung liegt auf großen Verkehrsflughäfen, in deren Umfeld besondere Lärmbetroffenheiten bestehen. Es werden drei idealisierte Vertreter unterschiedlicher Flughafenkategorien betrachtet. Neben einem großen Interkontinentalflughafen werden zwei mittelgroße Flughäfen mit unterschiedlichen Betriebsarten berücksichtigt. Hierzu werden einerseits ein Flughafen mit einem großen Anteil an Frachtflugzeugen sowie einem hohen Nachtfluganteil und andererseits ein Flughafen mit dem Schwerpunkt im Passagierverkehr sowie geringerem Nachtflugaufkommen herangezogen. Die Verkehrszahlen umfassen den Gesamtverkehr, also auch den nicht gewerblichen Luftverkehr. Veränderungen des Start- und Landebahnsystems werden im Rahmen der Szenarien nicht angenommen.[131]

Tabelle 10 Eckdaten idealisierte Flughäfen Typ A, B und C

Flughafen	**Typ A**	**Typ B**	**Typ C**
Art	Internationaler Hubflughafen	mittelgroßer Flughafen mit hohen PAX-Anteil	mittelgroßer Flughafen mit hohem Cargo-Anteil
Anzahl S-/L-Pisten	4	2	2
Status-quo Flug-bewegungen p.a.	500.000	150.000	150.000
Status-quo Passagiere p.a.	50.000.000	10.000.000	8.500.000
Nachtflugbewegungen (22-6) p.a.	50.000 (ca. 10%)	6.000 (ca. 4%)	35.000 (ca. 23 %)

5.2.2 Verkehrsprognose

Die Annahmen zur zukünftigen Entwicklung der Flugbewegungszahlen, die unverzichtbarer Bestandteil für die Ausgestaltung der Szenarien sind, stammen aus [ANOTEC 2003] und lokalen Verkehrsprognosen. Für die im Auftrag der EU (DG-TREN[132]) erstellte Studie [ANOTEC 2003] sind die prognostizierten Flugbewegungen

[131] Erweiterungen der luftverkehrsseitigen Kapazitäten z. B. über Vorfeldflächen oder zusätzliche Rollwege finden hier keine Berücksichtigung, weil solche Anpassungen für die Lärmberechnungen keine unmittelbare Rolle spielen.

[132] DG-TREN: Directorate-General for Energy and Transport.

für den europäischen Raum diversen Veröffentlichungen entnommen bzw. daraus abgeleitet worden. Neben Prognosen der Luftfahrzeughersteller (Boeing und Airbus) wurden u. a. Prognosen von Eurocontrol verwendet. Daneben sind hier weitere Quellen herangezogen worden, um die zukünftigen Bewegungszahlen zu prüfen bzw. zu vervollständigen. Diese Quellen beziehen sich z. B. auf die lokale Situation an einzelnen Flughäfen (z. B. Intraplan 2004), auf den gesamten bundesdeutschen Verkehrssektor (z. B. Bundesverkehrswegeplanung, Intraplan 2001) oder stammen von einem Triebwerkshersteller (Rolls-Royce 2005).

Eine Schwierigkeit bei der Berücksichtigung der vorliegenden Prognosen liegt in den Ergebnisdarstellungen, die in der Regel die zukünftige Entwicklung der Verkehrs- bzw. Transportleistungen (z. B. als Passagierkilometer) beinhalten. Diese Referenzgrößen sind nicht auf die hier zugrunde liegende Fragestellung nach Flugbewegungszahlen für einzelne Flughäfen bzw. die Entwicklungen des Flottenmixes übertragbar. Wiederum andere Untersuchungen beziehen sich z. B. auf den zukünftigen Absatz von Flugkraftstoffen, so dass diese Prognosen ebenfalls nicht direkt verwendbar sind. Es gilt aber einheitlich für alle betrachteten Prognosen, dass man von einem Wachstum im Luftverkehrsmarkt ausgeht. Ebenso bestätigen alle Ergebnisse, dass sich die Prognosezahlen in einer ähnlichen Größenordnung bewegen, so dass umfassende Argumente als Bestätigung für die Prognosezahlen vorliegen. Dabei sind allerdings lokale, inhaltliche und zeitliche Differenzierungen zu berücksichtigen (z. B. Differenzierung zwischen Passagier- und Luftfrachtverkehr, nach regionalen Gesichtspunkten oder der Verkehrsentwicklung zwischen Hub- und *Point-to-Point-Verkehren*).

Die Prognosen weisen derzeit Verkehrszahlen bis maximal in das Jahr 2025 aus. Vereinbarungsgemäß sollen in den Szenarien dieses Projekts zwei unterschiedliche Zeithorizonte betrachtet werden (kurzfristig und mittel- bis langfristig). Im Projektkonsortium hat man sich auf die beiden Prognosejahre 2012 und 2020 geeinigt. Das Jahr 2012 wurde gewählt, weil ab der vorgesehenen Veröffentlichung des Gutachtens noch Zeit verbleibt, um die Umsetzung der Empfehlungen zu initiieren. Andererseits sind ca. 6 Jahre, die zwischen Gutachtenfertigstellung und Prognosehorizont liegen, unter Berücksichtigung der Lebenszyklen moderner Flugzeuge kurzfristig und bedürfen entsprechender Anstrengungen zur erfolgreichen Umsetzung. Weiterhin ist zu beachten, dass der Flottenmix bis 2012 ausschließlich aus heute bereits existierenden Flugzeugtypen sowie zu kleineren Anteilen auch aus neuen, allerdings heute überwiegend bereits bestellten Flugzeugtypen bestehen wird. Damit sind die Prognosen für den Flottenmix bis 2012 als verhältnismäßig zuverlässig anzunehmen.

Die Wahl des mittel- bis langfristigen Prognosejahres 2020 ist insbesondere damit begründet, dass die Verkehrsprognosen für diesen Horizont als relativ stabil zu betrachten sind. Prognosen über das Jahr 2020 hinaus liegen zwar vor, aber deren Unsicherheiten steigen mit wachsendem Prognosehorizont. Unter Berücksichtigung der notwendigen technischen Entwicklungszyklen im Flugzeug- und Triebwerksbau, ist es weiterhin notwendig, einen entsprechenden zeitlichen Vorlauf zu gewähren, um den

Einsatz neuer Techniken seitens der Luftverkehrsunternehmen zu ermöglichen. Die Wahl des Jahres 2020 für den mittel- bis langfristigen Zeithorizont wird daher als ein sinnvoller Kompromiss angesehen.

Mit dem hier gewählten konservativen Ansatz zur Entwicklung der Bewegungszahlen wird versucht, Annahmen zu verfolgen, die die Unsicherheiten mittel- bis langfristiger Prognosen berücksichtigen. Aktuelle Entwicklungen der vergangenen Jahre haben gezeigt, dass unvorhersehbare Ereignisse wiederholt wesentlichen Einfluss auf die Entwicklung der Luftverkehrsbranche genommen haben. Deswegen erscheint die Wahl eines eher als konservativ zu bezeichnenden Ansatzes angemessen.[133] Weiterhin ist hinsichtlich der Zielsetzung dieses Gutachtens von besonderer Bedeutung, dass die Differenz zwischen den Szenarien aufgrund unterschiedlicher Entwicklungen zur Lärmminderung betrachtet werden soll. Diese „Delta-Betrachtung“ zeigt auf, welche Lärmminderungspotenziale bei einer Fortschreibung von *Annex 16* möglich sein können. Damit wird deutlich, dass die Berücksichtigung der Entwicklung aufgrund unterschiedlicher Annahmen zu den Flugbewegungszahlen im Rahmen dieses Gutachtens nicht von primärer Bedeutung ist. Außerdem ist für diese Studie, im Gegensatz zu [ANOTEC 2003], nicht ein EU-weit harmonisierter Ansatz notwendig, der für möglichst viele Flughäfen gilt, sondern lediglich für die drei ausgewählten Idealtypen. Für die Verwendung der konservativen Prognosezahlen spricht auch, dass die in [ANOTEC 2003] nach Ländern differenzierten Wachstumsangaben, die auf einer Veröffentlichung von Eurocontrol basieren, bis zum Jahr 2010 und nicht darüber hinaus gelten. Ebenso zeigen aber auch neuere Untersuchungen der Eurocontrol (siehe Eurocontrol 2004), dass im Vergleich zum Basisjahr 2003 für die Anzahl der IFR-Flüge in Deutschland bis zum Jahr 2025 von Steigerungen zwischen 2,1 und 3,1 % pro Jahr (je nach Szenario) auszugehen ist[134]. Unter diesen Randbedingungen erscheint die getroffene Wahl für die Zuwachsraten plausibel. Daraus abgeleitet sind folgende Annahmen zu den Flugbewegungszahlen für die drei ausgewählten Flughafentypen getroffen worden:

[133] Neben dem konservativen Szenario werden in [ANOTEC 2003] weitere Annahmen zur Differenzierung der Szenarien hinsichtlich des anzunehmenden Verkehrswachstums unterstellt. Hierzu zählen das so genannte „probable“ Szenario (3,6 % Verkehrswachstum) und das „differentiated“ Szenario (z. B Deutschland 2,44 bis 3,86 % Verkehrswachstum) (siehe Annahme 11 *Forecast for growth in number of movements until 2015*).

[134] Als durchschnittliches Wachstum für 2004 bis 2025 werden für den gesamten betrachteten Bereich der ESRA zwischen 2,3 und 3,3 % Wachstum für die Anzahl der IFR-Flüge pro Jahr angenommen.

Tabelle 11 Anzahl der Flugbewegungen für die drei Flughäfen Typ A bis C

Zeithorizont		Typ A	Typ B	Typ C
Status-quo	2005	500.000	150.000	150.000
Kurzfristig	2010	600.000	170.000	197.000
	2012	**625.000**	**176.000**	**207.000**
mittel- bis langfristig	2015	660.000	187.000	222.000
	2020	**726.000**	**205.000**	**247.000**
Quellen		Intraplan 2004, ANOTEC 2003	ANOTEC 2003	MWMEV 2000, ANOTEC 2003
Anmerkungen		2010-2015: + 2,1 % p. a. ab 2015: + 2,0 % p. a.	ab 2005: + 2,5 % p. a.	ab 2010: + 2,5 % p. a.
Hinweis. Annahmen aus [ANOTEC 2003] entsprechen dem dortigen konservativen Szenario und sind für 2015+ linear fortgeschrieben; es wird ein konstantes Wachstum pro Jahr angenommen.				

5.2.3 Zukünftiger Flottenmix

Zur Berücksichtigung der Entwicklungen im Flottenmix wird die Vorgehensweise aus dem Gutachten [ANOTEC 2003] übernommen bzw. an die geänderten Anforderungen für dieses Gutachten angepasst.[135] Im Rahmen des im Auftrag der DG-TREN erstellten Gutachtens ist der zukünftige Flottenmix für Fluglärm- und Betroffenenprognosen für die Jahre 2007 und 2015 empirisch ermittelt worden. Die dortigen Annahmen stützen sich auf die Analyse der vorliegenden Verkehrsprognosen sowie die prognostizierten Entwicklungen der europäischen Flugzeugflotte. In [ANOTEC 2003] wird eine Einstufung nach *Generic Class* (GC) vorgenommen, die sieben Klassen mit unterschiedlicher Anzahl an Sitzplätzen unterscheidet und Annahmen zur zukünftigen Entwicklung der Anzahl der Flugzeugtypen beinhaltet. Für diese GC-Klassen ist eine *Aircraft Evolution Matrix* aufgestellt worden, die die Entwicklung für 73 Flugzeugtypen, die den GC-Klassen zugeordnet sind, für die Jahre 2007 und 2015 abbildet. Eine alternative Methode zur Ermittlung des zukünftigen Flottenmixes konnte trotz umfangreicher Recherchen nicht gefunden werden.

5.2.3.1 Methode nach [ANOTEC 2003]

Die wichtigsten Arbeitsschritte werden im Folgenden erläutert sowie die dazugehörigen Annahmen für die Ermittlung des Flottenmixes auf Basis der prognostizierten Flugbewegungszahlen und des Status-quo (Verkehrszahlen und Flottenmix) beschrieben. Dabei werden allgemeine Trends (z. B. Dominanz von Flugzeugen mit

[135] Für weitere Informationen zur Vorgehensweise sowie Methodik siehe Kapitel 4.*3 Current and future fleet composition* in [ANOTEC 2003].

zwei Strahltriebwerken, Dominanz eines einzelnen Flugzeugtyps je Größenklasse sowie Konzentration auf die beiden großen Flugzeughersteller Airbus und Boeing) identifiziert und berücksichtigt. Ebenso wird beispielsweise berücksichtigt, dass Flugzeuge, die nicht mehr produziert werden (z. B. MD-80, MD-11), zügiger ausgemustert werden als weiterhin hergestellte Typen.

- Bezugspunkt (repräsentativer Tag)

Als Basis für die Prognosen bzw. die Ermittlung des zukünftigen Flottenmixes wird ein repräsentativer Tag ausgewählt. Die zugehörige Anzahl der relevanten Flugbewegungen wird dabei durch Division der Jahresflugbewegungen (An- oder Abflug) mit der Anzahl der Kalendertage im Jahr (365) ermittelt. Man unterscheidet zwischen dem Wert je GC (entspricht Anzahl der Bewegungen pro GC) sowie dem Wert je GC und Flugzeugtyp (entspricht Flottenmix pro GC) (siehe Annahme 15 *Definition of representative day* in [ANOTEC 2003]).

- Anpassung der Flughafeninfrastruktur

In [ANOTEC 2003] wird angenommen, dass keine Änderungen oder Anpassungen der Flughafeninfrastruktur berücksichtigt werden (siehe Annahme 3 *Future changes in the airport configuration*). Diese Annahme wird für diese Untersuchung übernommen, wobei für keinen der betrachteten idealisierten Flughäfen - entsprechend deren Definition in Kap. 5.2.1 *Eckdaten* - Kapazitätsengpässe zu erwarten sind.[136] Weitere Anpassungen der luft- und landseitigen Flughafeninfrastruktur (z. B. Flugbetriebsanlagen bzw. Terminalkapazitäten) oder Optimierungen des S-/L-Bahnsystems sowie der Vorfelder sind möglich, werden hier aber nicht berücksichtigt (siehe auch Fußnote 131).

[136] Flughäfen mit Kapazitätsengpässen bzw. -limits werden nach [ANOTEC 2003] im Vergleich zu den keinen Beschränkungen unterliegenden Flugplätzen differenziert betrachtet. Falls ein Flughafen seine Kapazitätsgrenze erreicht, werden die Bewegungszahlen konstant gehalten und Verschiebungen zugunsten der nächst größeren GC Stufe vorgenommen (siehe Annahme 12 *Increase in aircraft size due to airport capacity constraints*). Beispielhaft für interkontinentale Hub-Flughäfen wird angenommen, dass pro Jahr 1 % der Flugbewegungen von GC 4 nach GC 5 und GC 5 nach GC 6 verschoben wird. Für die drei Flughäfen werden 120 (Typ A), 48 (Typ B) bzw. 52 (Typ C) koordinierbare Flugbewegungen pro Stunde angenommen, so dass die Annahmen zu den prognostizierten Flugbewegungen theoretisch abwickelbar sind (siehe Angaben bei *Initiative Luftverkehr 2004*).

- Strukturelle Anpassungen im Streckennetz

Veränderungen der zukünftigen Verbindungsstrukturen an einzelnen Flughäfen werden nur über die Anzahl der Flugbewegungen berücksichtigt, aber nicht qualitativ erfasst (siehe Annahme 5 *Changes in routes served by the airport* in [ANOTEC 2003]).[137]

- Berücksichtigung der Luftfahrzeuge aus Entwicklungsländern und Effekte aufgrund von Rezertifizierungen

Weil potenzielle Effekte aufgrund einer Rezertifizierung schwierig zu erfassen sind, wird auf deren Berücksichtigung verzichtet (siehe Annahme 21 *Marginally compliant aircraft and re-certification* in [ANOTEC 2003]). Ebenso können die möglichen Effekte durch Luftfahrzeuge aus Entwicklungsländern, die erfahrungsgemäß relativ laut sein können, vernachlässigt werden, weil aufgrund der sehr geringen Anzahl keine nennenswerten Effekte erwartet werden (siehe Annahme 20 *Effect of noisy airplanes from developing countries* in [ANOTEC 2003]). Diese Annahme wird übernommen, obwohl bekannt ist, dass aktuelle Entwicklungen dafür sprechen, dass aufgrund der beginnenden Deregulierung des Luftverkehrs in den Entwicklungsländern ein Boom an Neugründungen von Low-Cost-Carriern stattfindet, die überwiegend moderne lärmarme Flugzeuge nutzen und zu einer Umverteilung der Passagieranteile führen können (z. B. Indien und China).

- Zeitliche Verlagerung von Flugbewegungen

Eine Verlagerung von Flugbewegungen (z. B. aufgrund ordnungsrechtlicher Maßnahmen) aus bzw. in bestimmte Betriebsstunden wird nicht unterstellt, weil kein allgemein gültiger harmonischer Ansatz möglich erscheint bzw. in Aussicht steht (siehe Annahme 13 *Shift in operating hours* in [ANOTEC 2003]).[138]

- Berücksichtigung der Veränderungen durch Sekundär-Flughäfen

Verschiebungen bzw. Veränderungen innerhalb der Anzahl der Flugbewegungen zugunsten von Sekundärflughäfen oder zugunsten sonstiger benachbarter Flughäfen (z. B. im Rahmen eines Flughafensystems nach Verordnung (EWG) Nr. 2408/92) werden nicht berücksichtigt, weil die Anzahl der relevanten Flugbewegungen als relativ gering eingeschätzt wird und die Auswirkungen auf die Geräuschemissionen damit als

[137] Qualitative Veränderungen sind z. B. in Form eines erhöhten Verkehrsaufkommens von und nach Osteuropa und damit verbundenen Veränderungen im Flottenmix sowie durch die Liberalisierung im transatlantischen Luftverkehrsmarkt denkbar.

[138] Im Kontext zum Verzicht auf die Berücksichtigung der zeitlichen Verlagerung von Flugbewegungen aus sensiblen Tageszeiten im Rahmen der Ermittlung des zukünftigen Flottenmixes ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass dies aus lärmmedizinischer Sicht sinnvoll sein kann (siehe Kap. 2.7 *Exkurs Lärmwirkungsforschung* im 1. Zwischenbericht).

nicht ausschlaggebend eingestuft werden (siehe Annahme 14 *Shift of operations towards secondary airports* in [ANOTEC 2003]).

- Berücksichtigung der Entwicklung von Strahl- und Propellerflugzeugen ≤ 80 PAX (GC 1)

Die Evolutionsmatrix nach [ANOTEC 2003] berücksichtigt Flugzeuge, die weniger als 80-Sitzplätze (entsprechend der Einstufung in die GC 1) besitzen, über konstante Faktoren für alle betroffenen Flugzeugtypen. Diese Faktoren sind anhand der Entwicklung für die beiden Flugzeugtypen *Embraer 135/145* und *Canadair Regional Jet* abgeleitet worden. Folgende Faktoren werden in der Evolutionsmatrix berücksichtigt:[139]

Strahlflugzeuge (GC 1): 2007 **2,00** und 2015 **3,00**

Propellerflugzeuge (GC 1): 2007 **0,85** und 2015 **0,95**

5.2.3.2 Weiterentwicklung der Methode zur Ermittlung des zukünftigen Flottenmixes

Die Methode zur Ermittlung des zukünftigen Flottenmixes nach [ANOTEC 2003] beinhaltet verschiedene Aspekte, die an die Aufgabenstellung dieses Gutachtens angepasst werden müssen. Die Anpassung erfolgt im Einzelnen wie folgt:

- Auswahl der Flugplätze

Entgegen der Annahme in [ANOTEC 2003] wird im Rahmen dieser Studie kein harmonischer EU-weit geltender Ansatz für alle großen Verkehrsflughäfen verfolgt, sondern entsprechend der erfolgten Auswahl (siehe Kapitel 5.2.1) für drei definierte idealisierte Flughäfen der zukünftige Flottenmix ermittelt (siehe Annahme 1 *Airports selected for Phase 2* in [ANOTEC 2003]).

- Bezugszeitpunkt

Die Basis bzw. der Ausgangspunkt für das Verfahren nach [ANOTEC 2003] sind aktuelle Bewegungszahlen sowie die Anzahl der in Betrieb befindlichen Luftfahrzeuge als Status-quo der vorangegangenen zwölf Monaten (09-2002 bis 08-2003) bzw. des Kalenderjahres 2002. Hiervon wird entsprechend den obigen Ausführungen (siehe Kapitel 5.2.2 *Verkehrsprognose)* abgewichen, um möglichst aktuelle flughafen-spezifische Verhältnisse abzubilden.

- Anpassung der Prognosejahre für die Entwicklung der Szenarien

[139] Diese Faktoren für die Evolutionsmatrix sind in der Veröffentlichung [ANOTEC 2003] nicht enthalten, sondern wurden auf Nachfrage von den Gutachtern zur Verfügung gestellt.

In [ANOTEC 2003] werden die Jahre 2007 und 2015 als Prognosehorizonte betrachtet. Für die Fragestellung in diesem Gutachten hat man sich darauf geeinigt, dass ebenfalls zwei Zeithorizonte berücksichtigt werden. Hierzu wurden aber die Prognosejahre 2012 und 2020 ausgewählt. Von den Annahmen in [Anotec 2003] wird abgewichen, um der fortgeschrittenen Zeit Rechnung zu tragen, nachdem der Abschluss für die Erstellung dieses Gutachtens im Jahr 2006 vorgesehen ist. Die beiden Prognosejahre 2012 und 2020 werden anhand der linear weiter entwickelten Evolutionsmatrix abgebildet. Im Szenario 1 und 4 gelten die getroffenen Annahmen ab 2007, so dass für die Jahre 2005 bis 2007 die Evolutionsmatrix angewandt wird, um Spielraum für die Umsetzung der vorgesehenen Maßnahmen zu schaffen.

- Technische Entwicklung der Geräuschemissionen

In [ANOTEC 2003] wird unmittelbar keine technische Weiterentwicklung der Geräuschemissionen der berücksichtigten Flugzeugtypen bzw. -triebwerke unterstellt, so dass für die Prognosen konstante spezifische Emissionsdaten angenommen werden. Die technische Entwicklung spiegelt sich allein in Form der Flottenerneuerung wider (siehe Annahme 9 *Evolution of noise and performance of existing aircraft* in [ANOTEC 2003]). Von dieser Annahme wird in dieser Studie bezüglich der mittel- bis langfristigen Szenarien abgewichen. In diesen Szenarien wird unterstellt, dass sich der technische Fortschritt durch den Einsatz lärmärmerer neuer Flugzeuge im Flugbetrieb widerspiegelt. Hierzu werden differenzierte Annahmen für die unterschiedlich ausgestalteten Fälle unterstellt (s. Kapitel 5.3.2 *Mittel- bis langfristiger Zeithorizont*).

- Einführung und Inbetriebnahme neuer Flugzeugtypen

Nach [ANOTEC 2003] werden neue (absehbare) Flugzeugtypen (z. B. A 380, B 787) nicht separat berücksichtigt, sondern in der Evolutionsmatrix über die Anzahl der bisherigen Flugzeugtypen je *Generic Class* (GC) erfasst (siehe Annahme 10 *Introduction of new aircraft*). Zur Begründung wird insbesondere auf die bislang nicht bekannten Emissionsdaten verwiesen, die für eine Berücksichtigung notwendig wären, so dass ein konservativer Ansatz verfolgt wird.[140]

Der Airbus A 380 wird als *Ultra High Capacity Aircraft* (UHCA) in [ANOTEC 2003] gesondert betrachtet, weil dessen Einführung unmittelbar bevorsteht und das Zulassungsverfahren derzeit bereits stattfindet. Zum Airbus A 380 sind aber auch bislang keine spezifischen Emissionsangaben bekannt (siehe Annahme 19 *Effect of the introduction of Ultra High Capacity Aircraft*). Aufgrund vorliegender Erkenntnisse über *Lärm-Zielwerte* für die beiden neuen Flugzeugtypen A 380 und B 787 werden diese beiden Typen für diese Arbeit als zusätzliche neue Flugzeugtypen definiert und

[140] Sobald entsprechende Emissionsdaten vorliegen, sollen nach [ANOTEC 2003] im Rahmen der Lärmberechnungen ggf. Umrechnungsfaktoren verwendet werden, die auch die Verbesserung der Performance berücksichtigen.

in die Lärmberechnungen einfließen. Damit werden zwei besonders wichtige Flugzeugtypen im Rahmen der Prognosen erfasst, wobei die Indienststellung des A 380 für 2007 und der B 787 für 2010 unterstellt werden. Weitere neue Flugzeugtypen, die erwartungsgemäß innerhalb des betrachteten Zeitraums in Dienst gestellt werden, werden allerdings nicht erfasst, weil hierzu bislang keine hinreichend konkreten Angaben vorliegen.

Die Berücksichtigung der prognostizierten Flugbewegungen mit dem Airbus A 380 wird ähnlich wie in [ANOTEC 2003] übernommen. Hierzu wird die Annahme getroffen, dass der A 380 an großen Hubflughäfen (hier: Typ A) verkehrt und 5 % der Flugbewegungen aus der GC 6 nach GC 7 verschoben werden. Bei der Boeing B 787 wird angenommen, dass dieser Typ der GC 4 zuzuordnen ist und ca. 2,5 % (2012) bzw. ca. 7,5 % (2020) der Bewegungen innerhalb dieser Klasse zuzordnen sind. Für beide neuen Flugzeugtypen sind entsprechende Faktoren in der Evolutionsmatrix ergänzt worden (siehe Anlage M). Diese Annahmen zur B 787 wurden aus prognostizierten Verkaufszahlen bzw. Vorbestellungen abgeleitet.

Weitere neue Flugzeugtypen werden für die mittel- bis langfristigen Szenarien berücksichtigt, indem entsprechend der Ausgestaltung dieser Szenarien je definierter Zweckklasse ein neuer Flugzeugtyp generiert wird, der den neuen verschärften Lärmgrenzwerten entspricht (siehe Kapitel 5.3.2). Mit diesen zukünftigen Typen kann noch kein konkret geplanter Flugzeugtyp verbunden werden, sondern sie stellen lediglich einen Idealtyp dar, der den prognostizierten Lärmemissionen entspricht.

- Einstufung in *Generic Class* (GC)

Für die Einstufung in GC wird zur Vereinfachung im Unterschied zu [ANOTEC 2003] *eine* Standardkonfiguration der Luftfahrzeughersteller verwendet, während in [ANOTEC 2003] einzelne Flugzeugtypen z. T. mehreren GC zugeteilt sind.[141] Hierzu wurde in dieser Studie für Kurz- und Mittelstreckenflugzeuge *eine* typische 2-Klassen-Bestuhlung und für Langstreckenflugzeuge eine 3-Klassen-Bestuhlung unterstellt. Die eindeutige Zuordnung ist bereits in Kapitel 3 anhand einer Internetdatenbank erfolgt. Diese Vereinfachung wird als zweckmäßig erachtet, weil die Erfahrung zeigt, dass die Berücksichtigung einer typischen Bestuhlung ausreichend ist (siehe z. B. Öko-Institut 2004). Dies betrifft auch Flugzeuge, die sowohl als Passagier- als auch als Frachtmaschinen eingesetzt werden. Die Einstufung als Passagierflugzeug hat Vorrang. Soweit ein Flugzeugtyp ausschließlich als Frachtflugzeug eingesetzt wird (z. B. RC2-Typen B 7272 oder DC 870), werden zur Ermittlung der zukünftigen

[141] In [ANOTEC 2003] wird z. T. ein Flugzeugtyp mehreren GC zugeordnet, weil die Bestuhlung je nach Luftverkehrsgesellschaft und Service unterschiedlich gewählt wird. Um diesen Sachverhalt zu berücksichtigen, ist in [ANOTEC 2003] für die betroffenen Flugzeugtypen eine prozentuale Verteilung auf die relevanten GC vorgenommen worden (Bsp. „735“ in GC 2 und GC 3 oder „744“ in GC 5 und GC 6).

Flugbewegungszahlen aus der Matrix die entsprechenden Faktoren für Cargo-Flugzeuge verwendet.

- Separate Berücksichtigung von Frachtflugzeugen (Cargo)

Weil in den für dieses Gutachten vorliegenden Bewegungslisten keine explizite Differenzierung zwischen Passagier- und Frachtflugzeugen erfolgt, wird auf eine separate Berücksichtigung verzichtet. In den vorliegenden Typenlisten sind allerdings typische Cargo-Flugzeuge (z. B. RC 2-Typen B 7473 und MD 11) vertreten, die bei der Ermittlung des zukünftigen Flottenmixes über die *Aircraft Evolution Matrix* berücksichtigt werden. Damit ist gewährleistet, dass u. a. auch für den gewählten Flughafen Typ C (mit einem hohen Cargo-Anteil) aussagekräftige Ergebnisse zustande kommen. In [ANOTEC 2003] wird auf Basis der detaillierten Bewegungslisten eine Unterscheidung getroffen, so dass die Entwicklung der Frachtflugzeuge separat abgebildet wird. Dafür wird u. a. angenommen, dass diese Flugzeuge eine längere Lebenszeit haben (35 Jahre statt 25 Jahre für Passagierflugzeuge). Die durchschnittlich höheren jährlichen Zuwachsraten im Frachtverkehr, die sich in den aktuellen Verkehrsprognosen wieder finden, werden in den verwendeten Ansätzen in Form durchschnittlicher Wachstumsraten berücksichtigt.

- Anpassung der erfassten Flugzeugtypen

Im Rahmen dieses Gutachtens werden nicht die Flugzeugtypen entsprechend der *Aircraft Evolution Matrix* übernommen, sondern in einer modifizierten Form, die sich an die Ergebnisse des 3. Kapitels anlehnt. Berücksichtigt werden die RC2-Typen, die im Rahmen von Kapitel 3.2 als vereinheitlichte Typenbezeichnungen von der Empa bereits eingeführt worden sind und für die Lärmsimulationen in Form der jeweiligen Richtcharakteristiken verwendet werden. Diese Emissionsdaten der Empa-Lärmdatenbank werden statt der INM-Daten verwendet (Unterschied zu Annahme *8 Use of noise and performance data of existing aircraft* in [ANOTEC 2003]). Die Gegenüberstellung der beiden Typenlisten zeigt, dass in wesentlichen Zügen eine Übereinstimmung vorhanden ist (siehe Anlage K).[142]

- Berücksichtigung sonstiger Flugbewegungen bzw. Flugzeugmuster

Die Darstellung und Analyse im Rahmen dieser Studie berücksichtigt die zur Verfügung stehenden Bewegungslisten, die zugänglich waren bzw. zur Verfügung gestellt wurden. Soweit einzelne Flugzeugtypen nicht separat aufgeführt werden, können sie nicht erfasst werden. Dies kann unter Umständen Flugbewegungen mit Fluggerät betreffen, die aus Sicht des Lärmschutzes von besonderer Relevanz sind.

[142] Für die Definition der beiden Flugzeugtypenlisten (RC2 Typen nach Empa und *Aircraft Evolution Matrix* nach [Anotec 2003]) wurden jeweils typische Flugzeugmuster aus detaillierten Bewegungslisten zusammengefasst, die den lokalen Flottenmix repräsentieren.

Dieser Teil („Diverse“) umfasst aber maximal 1,9 % der Flugbewegungen und kann demzufolge vernachlässigt werden.

5.2.4 Vorgehensweise zur Ermittlung der zukünftigen Flottenmixe

Unter Berücksichtigung der obigen Annahmen sowie der in [ANOTEC 2003] geschilderten Methode wurde der Flottenmix für die drei Flughäfen Typ A, B Und C ermittelt. Die wesentlichen Arbeitsschritte hierzu sahen folgendermaßen aus:

- Modifizierte **Evolutionsmatrix für 2012 und 2020**

Die Überarbeitung der aus [ANOTEC 2003] vorliegenden Matrix beinhaltete insbesondere die Anpassung an die hier verwendeten Flugzeugtypen (RC 2-Typen) sowie die Erweiterung um die beiden Prognosejahre 2012 und 2020 (siehe Anlage M). Alle hierzu notwendigen Annahmen werden in Kapitel 5.2.3.1 und 5.2.3.2 vorgestellt. Die modifizierte Evolutionsmatrix beinhaltet für alle im Rahmen dieser Studie erfassten Flugzeugtypen (RC2-Typen) Multiplikationsfaktoren, die schließlich zur Berechnung der prognostizierten Flugbewegungszahlen führen. (siehe Anhang N).

- Ermittlung der prognostizierten **Bewegungen je Flughafentyp**

Aus Basis der modifizierten Matrix sowie der vorliegenden Flugbewegungslisten der ausgewählten Flughafentypen wurden zunächst die Anteile sowie die Anzahl der Bewegungen innerhalb der einzelnen GC-Stufen an den gesamten jährlichen Flugbewegungen für 2012 und 2020 ermittelt (siehe Tabelle 12 bis Tabelle 14).

Tabelle 12 Verteilung der Flugbewegungen (nur Landungen) je GC-Stufe am Flughafen *Typ A*

Typ A	**2005**		**2012**	**2020**
	Anzahl	%-Anteil	Anzahl	Anzahl
GC 1	34.513	13,8	43.142	50.113
GC 2	119.470	47,8	149.337	173.470
GC 3	30.806	12,3	38.508	44.730
GC 4	32.030	12,8	40.038	46.508
GC 5	13.350	5,3	16.687	19.384
GC 6	19.818	7,9	23.557	27.364
GC 7	0	0,0	1.215	1.411
Cargo	5	0,0	6	7
Summe	**249.992**	**100**	**312.490**	**362.989**

Tabelle 13 Verteilung der Flugbewegungen (nur Landungen) je GC-Stufe am Flughafen Typ B

Typ B	**2005**		**2012**	**2020**
	Anzahl	%-Anteil	Anzahl	Anzahl
GC 1	31.700	42,3	37.195	43.323
GC 2	34.300	45,7	40.245	46.877
GC 3	4.480	6,0	5.257	6.123
GC 4	2.440	3,3	2.863	3.335
GC 5	50	0,1	59	68
GC 6	70	0,1	82	96
GC 7	0	0,0	0	0
Cargo	5	0,0	6	7
div.	1.955	2,6	2.294	2.672
Summe	**75.000**	**100,0**	**88.000**	**102.500**

Tabelle 14 Verteilung der Flugbewegungen (nur Landungen) je GC-Stufe am Flughafen *Typ C*

Typ C	**2005**		**2012**	**2020**
	Anzahl	%-Anteil	Anzahl	Anzahl
GC 1	21.299	28,4	29.392	35.072
GC 2	39.651	52,9	54.719	65.293
GC 3	5.581	7,4	7.702	9.190
GC 4	6.304	8,4	8.700	10.381
GC 5	0	0,0	0	0
GC 6	206	0,3	284	339
GC 7	0	0,0	0	0
Cargo	365	0,5	504	601
div.	1.594	2,1	2.199	2.624
Summe	**75.000**	**100,0**	**103.500**	**123.500**

Im nächsten Arbeitsschritt wurden anhand der Evolutionsmatrix sowie der Anzahl der Flugbewegungen je GC-Stufe der Anteil und die Anzahl der Bewegungen je Flugzeugtyp ermittelt. Dieser Rechenschritt wurde sowohl für das Jahr 2012 als auch 2020 für die drei Flughafentypen durchgeführt (siehe Beispiel *Typ A* Tabelle 15, für *Typ B* und *Typ C* siehe Anhang N). Weiterhin wurden hierbei die Sonderfälle (siehe z. B. Annahmen zum Airbus A 380 und zur Boeing B 787) berücksichtigt.

Tabelle 15 Verteilung der Flugbewegungen (nur Landungen) je RC 2-Typ am Flughafen *Typ A*

No.	RC 2	Anzahl		
		2005	2012	2020
1	A300	11.026	7.083	0
2	A3103	2.138	2.970	3.786
3	A319	15.588	39.407	62.900
4	A320	30.318	47.956	58.305
5	A321	24.791	35.286	42.531
6	A3302	5.543	13.666	23.313
7	A3403	9.926	12.192	13.912
8	AT42	7.775	4.326	4.160
9	B737A	7	0	0
10	B73X	50.845	50.265	47.144
11	B7474	19.818	23.557	27.364
12	B7572	5.004	2.807	2.026
13	B7673	7.426	9.025	8.876
14	B7772	3.423	4.495	5.472
15	C550	895	1.432	1.714
16	CL65	11.327	18.130	21.698
17	DC10	1.499	468	0
18	DC930	5	6	7
19	DH8	3.391	1.887	1.815
20	E145	5.745	9.196	11.005
21	FK10	900	953	1.035
22	FK50	423	235	226
23	FK70	3.832	6.134	7.341
24	LR35	1.125	1.801	2.155
25	MD11	4.398	5.917	7.155
26	MD80	5.206	3.014	1.520
27	RJ100	16.613	7.743	2.567
28	TU54M	1.011	415	173
29	A380	0	1.215	1.411
30	B787	0	921	3.395
Summe		**250.000**	**312.502**	**363.005**

Anmerkung: Darstellung berücksichtigt nicht die Annahmen der Szenarien, die zum Teil zu Verschiebungen innerhalb der Flugbewegungen führen (siehe Kapitel 5.3).

5.2.5 Flugspuren (An- und Abflugrouten)

Die Auswahl der Flugspuren für die idealisierten Flughäfen, die für die Lärmberechnung verwendet werden, orientiert sich an möglichst realitätsnahen Flugrouten. Dazu wurde das Flugregime an realen Verkehrsflughäfen analysiert und an die Fragestellung für dieses Gutachten angepasst. Während für die Abflugrouten jeweils mehrere Streckenalternativen bzw. Hauptabflugrichtungen unterstellt werden, wurden je Landebahn zwei Landerichtungen berücksichtigt. Es wurde jeweils eine Anzahl an idealen Flugstrecken konstruiert, die eine schnelle Übersicht gewährleisten, den notwendigen Aufwand für die Aufbereitung der Lärmberechnung gering halten, aber trotzdem realitätsnahe Bedingungen darstellen (siehe Abbildung 30 und Tabelle 16 bis Tabelle 19). Die grafische und tabellarische Darstellung der Flugspuren für den Flughafen Typ B und C findet sich in Anhang U. Die Verteilung auf die definierten An- und Abflugrouten (Routenbelegung) erfolgt ebenso nach möglichst realistischen sowie einfach darstellbaren Annahmen (siehe Kapitel 5.3.3 *Flugbewegungen für idealisierte Flughäfen*).

Abbildung 30 Idealisierte An- und Abflugspuren Flughafen *Typ A* mit Hauptabflugrichtungen

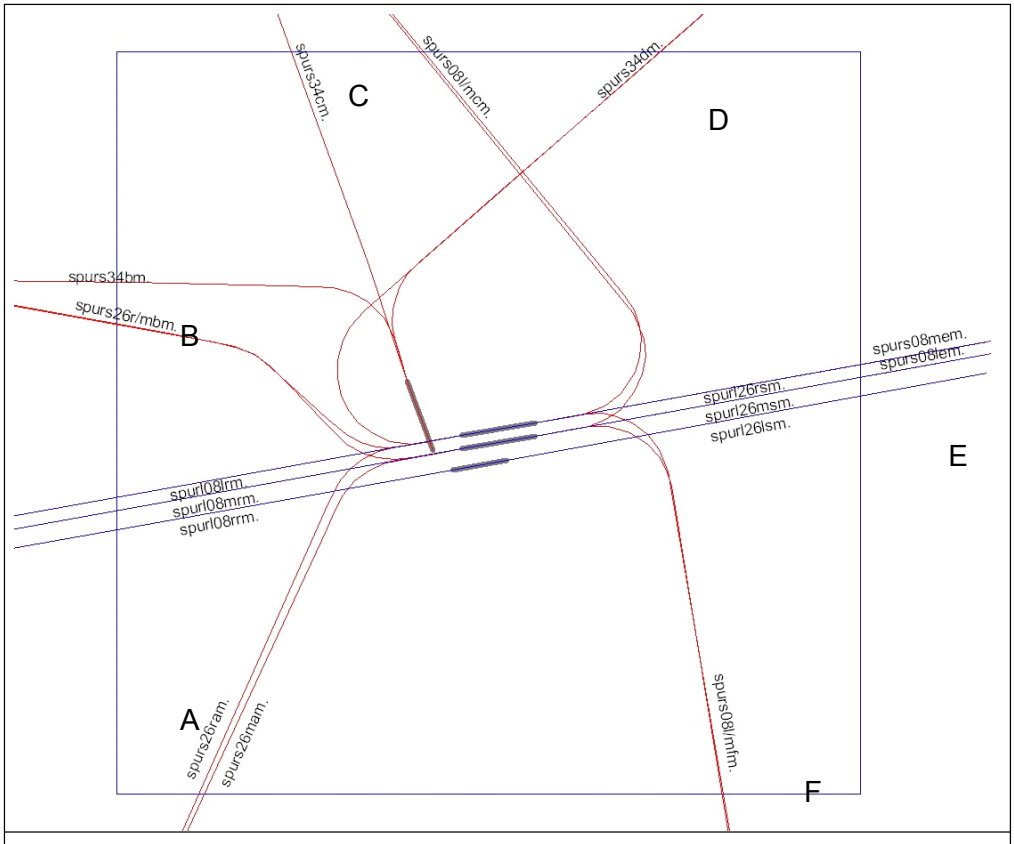


Abbildung erstellt von Empa

Tabelle 16 Bahnbelegung Flughafen *Typ A* (Szenarien)

Zeitpunkt	Pisten	Betriebsrichtungs-verteilung West : Ost	Pistennutzung					
			BR 08			BR 26		
			08 L/C S/L	08 R S/L	34 S/L	26 R/C S/L	26 L S/L	34 S/L
Szenarien	4	75 : 25	49 % / 49 %	- / 51 %	51 % / -	51 % / 48 %	- / 52 %	49 % / -
Anmerkungen: Betriebsrichtungsverteilung entspricht langjährigen Mittel am Flughafen FRA; Annahmen für Pistennutzung entsprechen Angaben in Gutachten Flugbetriebliche Gesamt-funktionalität *Prognosenullfall* und *Planungsfall 2015* in ATSC 2004; Betriebsrichtung 08 bzw. 26 umfasst ein abhängiges Parallelbahnsystem; Annahme zur Nutzung der Pisten 08L/C bzw. 26R/C entspricht 50:50 Verteilung. Abkürzungen: S/L = Start/Landung, BR = Betriebsrichtung, L = Left, R = Right, C = Centre;								

Tabelle 17 Übersicht Flugspuren Flughafen *Typ A*

Piste	Abflugrichtungen						Anflugrichtungen	
	A	B	C	D	E	F	R	S
08 L	-	-	**08LC**	-	**08LE**	**08LF**	**08LR**	-
08 C	-	-	**08CC**	-	**08CE**	**08CF**	**08CR**	-
08 R	-	-	-	-	-	-	**08RR**	-
26 L	-	-	-	-	-	-	-	**26LS**
26 C	**26CA**	**26CB**	-	-	-	-	-	**26CS**
26 R	**26RA**	**26RB**	-	**26RD**	-	-	-	**26RS**
34	-	**34B**	**34C**	**34D**	-	-	-	-
Summe	2	3	3	2	2	2	3	3

Tabelle 18 Bahnbelegung Flughafen *Typ B* (Szenarien)

Zeitpunkt	Pisten	Pistennutzung			
		24 S/L	06 S/L	14 S/L	32 S/L
Status-quo und Szenarien	2	6 % / 53 %	29 % / 17 %	64 % / 28 %	1 % / 2 %
Anmerkung: Annahmen entsprechen Flughafen HAM, Stand 2004; Abkürzungen: S/L = Start/Landung;					
Quelle: www.fluglaerm-hh.de (Zugriff 11. Okt. 2005)					

Tabelle 19 Bahnbelegung Flughafen *Typ C* (Szenarien)

Zeitpunkt	Pisten	Pistennutzung			
		21 S/L	03 S/L	28 S/L	10 S/L
Status-quo und Szenarien	2	4 % / 1 %	4 % / 21 %	59 % / 45 %	33 % / 33 %
Anmerkungen: Annahmen entsprechen Flughafen CGN, Stand 2004; Abkürzungen: S/L = Start/Landung.					
Quelle: www.koeln-bonn-airport.de (Zugriff 11. Okt. 2005)					

5.3 Konkrete Ausgestaltung der Szenarien

Im Weiteren wird zwischen kurzfristigen Maßnahmen, die bereits parallel zu den ab Januar 2006 geltenden Regelungen für *Chapter 4* Luftfahrzeuge nach *Annex 16* umgesetzt werden können und mittel- bis langfristigen Maßnahmen unterschieden.

Tabelle 20 Übersicht Ausgestaltung der Szenarien

Zeithorizont	Lärmminderungspotenzial		
	Referenz	Minimum	Maximum
kurzfristig (2012)	*Referenzszenario 1*	*Szenario 1*	*Grenzwert-Szenario 2*
mittel- bis langfristig (2020)	*Referenzszenario 2*	*Szenario 3*	*Szenario 4*

Für die beiden Zeithorizonte werden jeweils drei Situationen mit unterschiedlichen Lärmminderungspotenzialen betrachtet. Die anschließende Bewertung der Szenarien erfolgt jeweils getrennt für den kurzfristigen sowie mittel- bis langfristigen Zeithorizont innerhalb der drei ausgewählten Fälle mit den unterschiedlich starken Lärmminderungspotenzialen in Bezug auf den Referenzfall. Die beiden Szenarien 2 und 4 sowie die beiden Referenzszenarien zeigen dabei die Spannweite der möglichen Entwicklungen und Veränderungen auf. Dabei orientiert sich der theoretische Grenzfall in Szenario 2 (*Grenzwert-Szenario*) an einer Zielsetzung, die bereits nicht zu erwartende Veränderungen berücksichtigt. Diese aus Sicht der Umsetzungschance als eher unrealistisch einzustufende Wahl wurde aber bewusst getroffen, um die theoretischen Chancen zur maximalen Lärmminderung unter Berücksichtigung der aktuell zur Verfügung stehenden Flugzeugtypen aufzuzeigen. Die Annahmen zu Szenario 4 orientieren sich aus technischer Sicht an realistischen Zielen. Weiterhin

wird im Rahmen der Referenzszenarien der bereits vorherrschende Status-quo nachvollzogen bzw. fortgesetzt. Dazu wird eine allmähliche Umflottung zu lärmärmeren Flugzeugen unterstellt. Als dritte Situation werden im *Szenario 1* und *3* Annahmen betrachtet, die hinsichtlich des Lärmminderungspotenzials nach aktueller Einschätzung am ehesten als umsetzbar einzustufen sind (siehe Tabelle 20).

Nicht berücksichtigt werden im Folgenden, entsprechend der Absprache im Projektkonsortium sowie mit dem Auftraggeber, weitere lärmmindernde Maßnahmen[143], die nicht unmittelbar aus einer Grenzwertverschärfung ableitbar sind. Deren Berücksichtigung erscheint im Rahmen der vorgesehenen Bewertung nicht möglich (z. B. lärmarme Flugverfahren, weitergehende ordnungsrechtliche Maßnahmen). Methodische Veränderungen von *Annex 16* finden ggf. als Empfehlung im weiteren Verlauf des Gutachtens Berücksichtigung.

Die Ermittlung der zukünftigen Flottenmixe nach der modifizierten Methode von [ANOTEC 2003] (s. o.) erfährt eine weitere Änderung über die Berücksichtigung der so genannten Zweck-Klassen. Diese Klasseneinteilung für die innerhalb der Empa-Lärmdatenbank enthaltenen RC 2-Typen dient der Ausgestaltung der Szenarien mit unterschiedlichen Lärmminderungspotenzialen (siehe Tabelle 21), während die Referenzszenarien allein auf der Evolutionsmatrix beruhen. Für die Einteilung der Zweck-Klassen wird nach der durchschnittlichen Reichweite eines Flugzeugs (Kurz-, Mittel- und Langstrecke) und der Flugzeuggröße (Anzahl der Passagiere) differenziert. Für jede Zweck-Klasse wird der lärmärmste sowie der durchschnittlich laute Flugzeugtyp identifiziert und für die Betrachtung der *Szenarien 1* bis *4* herangezogen.[144]

Die sechs betrachteten Fälle unterscheiden sich bezüglich der Erneuerung der Flugzeuge folgendermaßen voneinander:

- Referenzszenario 1, 2 und *Szenario 3*: Berücksichtigung der modifizierten Evolutionsmatrix. Ab 2015 wird in *Szenario 3* eine Grenzwertverschärfung für alle neuen Typen berücksichtigt.
- *Szenario 1* und *4*: Die erneuerten Flugzeuge im Flottenmix entsprechen dem klassenbesten, also lärmärmsten Flugzeugtyp je Zweck-Klasse. Ab 2015 erfolgt in *Szenario 4* eine Grenzwertverschärfung für alle neuen Typen.
- *Grenzwert-Szenario 2*: Alle Flugzeuge des Flottenmixes entsprechen dem lärmärmsten Typ je Zweck-Klasse.

[143] Hierzu siehe weitergehende Erläuterungen im Anhang AB.

[144] Der lärmärmste und der durchschnittliche Flugzeugtyp werden über den kumulativen Ereignispegel L_{AE} der Empa-Lärmdatenbank aus Start und Landung identifiziert bzw. für die mittel- bis langfristigen Szenarien über neu definierte Richtcharakteristiken typischer Vertreter der Zweck-Klassen anhand der neuen Grenzwertfestlegungen im „Chapter 5“ definiert.

5.3.1 Kurzfristiger Zeithorizont

Die Szenarien für den kurzfristigen Zeithorizont umfassen folgende Annahmen und Maßnahmen:

- Darstellung der Perspektive im Jahr 2012; hierzu wird die angepasste Evolutionsmatrix für das Jahr 2012 verwendet (Anlage M). Damit wird der Austausch innerhalb der bestehenden Flugzeugflotten (Stand 2003 bzw. 2004) auf Basis der existierenden Technologie angenommen.
- *Referenzszenario 1*: Fortschreibung des Status-quo, indem die Umflottung bzw. Austauschrate allein entsprechend der Evolutionsmatrix angesetzt wird.
- *Szenario 1*: Die erneuerten Flugzeuge entsprechen ab 2007 den klassenbesten, also lärmärmsten Flugzeugen je Zweck-Klasse (siehe Tabelle 21).
- *Grenzwert-Szenario 2*: Alle Flugzeuge entsprechen dem lärmärmsten Typ je Zweck-Klasse (siehe Tabelle 21).

Tabelle 21 Einordnung der RC 2-Typen (Strahlflugzeuge) nach Zweck-Klassen 1 bis 6

Distanz	Flugzeuggröße klein PAX < 50	klein PAX 50 bis < 150	mittel PAX 150 bis < 300	groß PAX > 300
Kurzstrecke	**C 550**, **C 650**, DA 20, DA 90, G 4 — **1** — G 2, HS 257, LR 25, LR 35	**CL 65**, E 145, **FK 10** — **2** — FK 70, RJ 100, TU 34A	-	-
Mittelstrecke	-	**A 319**, B 7272 [C], **B 727H** [C], B 737A, B 73X — **3** — BA 11, DC 930, MD 80, YK 42	A 300 [C], **A 3103**, **A 320**, A 321 — **4** — B 707F [C], B 7572, TU 54B, TU 54M	-
Langstrecke	-	-	A 3302, **B 7673**, DC 10 [C] — **5** — **DC 870** [C], MD 11 [C]	**A 3403**, B 7473 [C], **B 7474** [C], B 7772 — **6**

Erläuterung: rot markierter Flugzeugtyp stellt lärmärmstes Flugzeug je Zweck-Klasse dar; blau markierter Flugzeugtyp stellt durchschnittlich lautes Flugzeug je Zweck-Klasse dar (jeweils kumulativer Ereignispegel L_{AE} der Empa-Lärmdatenbank aus Start und Landung; Stand April 2005); Kürzel [C] kennzeichnet Flugzeugtyp mit Cargo-Variante;

5.3.2 Mittel- bis langfristiger Zeithorizont

Diese Szenarien umfassen Annahmen für den mittel- bis langfristigen Prognosehorizont im Jahr 2020. Das langfristige Lärmminderungspotenzial wird anhand der vorliegenden Erkenntnisse kumulativ auf ca. 28 bis 32 EPNdB für das gesamte

Flugzeug geschätzt.[145] Dieses Lärmminderungspotenzial wird im Rahmen der nachfolgenden Betrachtung für die unterschiedlich ausgestalteten Fälle differenziert berücksichtigt und anschließend in Form von Lärmberechnungen (siehe Kapitel 6) abgebildet. Hierzu wird eine Grenzwertverschärfung bzw. eine entsprechende Geräuschminderung unterstellt. Der Unterschied zur Betrachtung des kurzfristigen Zeithorizonts besteht demzufolge darin, dass das Minderungspotenzial ab 2015 unmittelbar über veränderte Quelldaten berücksichtigt wird. Dazu werden die Quelldaten der RC 2-Typen für einen durchschnittlich lauten Vertreter der definierten Zweck-Klassen gesenkt (blau markierte Typen in Tabelle 21). Die Lärmberechnungen des mittel- bis langfristigen Zeithorizonts simulieren damit potenzielle zukünftige Geräuschsituationen, die eine bestimmte Anzahl neuer Flugzeuge, die die neuen Grenzwertdefinitionen (Verschärfung um 32 EPNdB) erfüllen, berücksichtigen.

Die Ausgestaltung ist im Einzelnen folgendermaßen definiert worden:

- Darstellung der Perspektive im Jahr 2020 unter Verwendung der Evolutionsmatrix für das Jahr 2020 (siehe Anlage M); bis zum Jahr 2015 wird eine reguläre Umflottung entsprechend der Matrix unterstellt, ab 2015 werden z. T. weitergehende spezifische Annahmen getroffen (s. u.). Das Jahr 2015 wurde zur Definition neuer Lärmgrenzwerte gewählt, weil man davon ausgehen kann, dass durch den gewählten zeitlichen Vorlauf die Produktzyklen der Luftfahrzeughersteller ausreichend berücksichtigt werden.
- *Referenzszenario 2*: Fortschreibung des Status-quo, indem die Umflottung bzw. Austauschrate entsprechend der Evolutionsmatrix bis 2020 berücksichtigt wird.
- *Szenario 3*: Umflottung bzw. Austauschrate entsprechend Evolutionsmatrix bis 2015.
- *Szenario 4*: Alle neuen Flugzeuge (2007 bis 2015) entsprechen dem lärmärmsten Typ je definierter Zweck-Klasse.
- Szenarien 3 und 4 ab 2015: Als Annahme wird eine Grenzwertverschärfung bzw. Lärmminderung der neuen Flugzeugzeugtypen angenommen, das heißt es verkehren bzw. stehen Flugzeuge zur Verfügung, die diesen neuen Standard erfüllen. Der neue „*Chapter 5*"-Standard ist kumulativ um 32 EPNdB (gegenüber *Chapter 3* bzw. 22 EPNdB gegenüber *Chapter 4*) strenger. Hierfür wird je Zweck-Klasse ein neuer Flugzeugtyp definiert, der als repräsentativer Vertreter in der Evolutionsmatrix dient und in den Fluglärmberechnungen berücksichtigt wird. Basis hiefür ist ein durchschnittlich lauter Flugzeugtyp je Zweck-Klasse. Diese Grenzwertverschärfung wird in die Emissionsdaten der Lärmberechnung übernommen, indem die Quelldaten angepasst werden. Die Umrechnung der kumulativen Angaben zum Lärmminderungspotenzial erfolgt als Annahme mit dem Wert 11 dB auf dem Ereignispegel L_{AE}.

[145] Dieses Lärmminderungspotenzial bezieht sich auf den Vergleich eines typischen Kurz- und Mittelstreckenflugzeug gegenüber den Grenzwerten des *Chapter 3.*

Tabelle 22 Ausgestaltung der Szenarien für 2012 und 2020 im Überblick

Prognosehorizont *2012*	*2015*	Prognosehorizont *2020*
-	-	**Referenzszenario 2:** Entwicklung entsprechend der Evolutionsmatrix wird bis 2020 **ohne Änderung** abgebildet
Referenzszenario 1: Entwicklung entsprechend der Evolutionsmatrix wird **ohne Änderung** abgebildet	Grenzwertverschärfung („*Chapter 5*")	**Szenario 3:** Entwicklung entsprechend der Evolutionsmatrix wird bis 2015 **ohne Änderung** abgebildet plus **Grenzwertverschärfung** bzw. Lärmminderung um **32 EPNdB** für alle neuen Typen 2015 - 2020
Szenario 1: **alle neuen** Flugzeuge (2007 - 2012) entsprechen dem lärmärmsten Typ je Zweck-Klasse (2005 - 2007 nach Evolutionsmatrix)		**Szenario 4:** **alle neuen** Flugzeuge (2007 - 2015) entsprechen dem lärmärmsten Typ je Zweck-Klasse plus **Grenzwertverschärfung** bzw. Lärmminderung um **32 EPNdB** für alle neuen Typen 2015 - 2020 (2005 - 2007 nach Evolutionsmatrix)
***Grenzwert*-Szenario 2:** **alle** Flugzeuge entsprechen dem lärmärmsten Typ je Zweck-Klasse	-	-
Anmerkungen: Den Bezugspunkt der Grenzwertverschärfung stellt *Chapter 3* dar; die Angabe der Emissionsminderung als kumulativer Wert der drei Zertifizierungsmessstellen wird in der Empa-Lärmdatenbak als Ereignispegels L_{AE} berücksichtigt; hierfür wird je Zweck-Klasse ein durchschnittlich lauter Flugzeugtyp neu definiert (32 EPNdB entspricht 11 dB Minderung des Ereignispegels L_{AE}).		

Im Rahmen der Szenarien für den mittel- bis langfristigen Zeithorizont wurden Annahmen für eine neue Grenzwertfestlegung der Lärmzertifizierung nach *Annex 16* getroffen, die sich an der *Roadmap zur Lärmminderung* von *ACARE 2020* orientieren. Sie wurde von der europäischen Luftfahrtbranche als Selbstverpflichtung formuliert und wird gemeinsam getragen (siehe detaillierte Ausführungen in Kapitel 4.7.6). Mit *ACARE Vision 2020* wurde damit erstmalig eine angestrebte Verbesserung gegenüber dem Status-quo in Form einer Zieldefinition bzw. Zielformulierung festgelegt. Sie bezieht sich auf die Bereitstellung geeigneter Technologien und würde eine Halbierung des Lärmempfindens bzw. die Reduktion des Lärms um die Hälfte innerhalb des betrachteten Zeitintervalls bis 2020 bedeuten[146]. Der Hintergrund für die getroffene Zieldefinition ergibt sich aus den aktuellen Lärm-Technologieprogrammen und Konfigurationsstudien (Kapitel 4.7).

[146] Eine Halbierung des Lärmempfindens bzw. die Halbierung der Lautstärke entspricht i. d. R. einer Reduktion um 10 dB. Die Verdopplung der Schallenergie eines Geräuschs bzw. die Addition zweier gleich lauter Schallquellen entspricht einer Pegelerhöhung um 3 dB.

5.3.3 Flugbewegungen für idealisierte Flughäfen

Die Darstellung der Eingangsdaten für die Fluglärmsimulation ist in Form einer Kreuztabelle notwendig, die getrennt für An- und Abflug die Anzahl der Flugzeugtypen je An- oder Abflugroute enthält. Hierfür werden die Annahmen zu den Eckdaten sowie den Szenarien der zu betrachtenden Flughafentypen herangezogen und die zukünftige Verteilung auf die definierten Flugzeugtypen entsprechend der Methode nach [ANOTEC 2003] (unter Berücksichtigung der dargestellten Modifikationen) vorgenommen. Die Verteilung der Flugzeugtypen auf die einzelnen Flugrouten erfolgt zur Vereinfachung der Datenaufbereitung gleichmäßig und konstant für die unterstellten Zeithorizonte. Die Verteilung der Flugbewegungen auf die einzelnen Flugzeugtypen (Typenverteilung ohne Berücksichtigung der Annahmen aus den Szenarien) ist in Anhang N bzw. Tabelle 15 für die drei Flughafentypen aufgeführt.

Für die Flugbetriebsszenarien werden weiterhin die Wechsel der Betriebsrichtung entsprechend der Darstellung in Kapitel 5.2.5 übernommen. Als Annahme zur Bewegungsverteilung über den Tagesverlauf (0:00 bis 24:00) wird eine zwischen Tag und Nacht konstante Verteilung verwendet, entsprechend der Annahme nach [ANOTEC 2003] (siehe auch Annahme 13 *Shift in operating hours* in [ANOTEC 2003]) und weil keine entsprechend differenzierten Daten zur Verfügung stehen. Die Bewertung erfolgt über den energieäquivalenten Dauerschallpegel $L_{eq(3)}$ für 24 Stunden. Weitere Bewertungen (z. B. Topografie) werden für die Fluglärm-berechnungen nicht berücksichtigt. Diese Vereinfachungen bzw. der Verzicht auf weitere Spezifizierungen werden als sinnvoll angesehen, weil für die Ergebnis-darstellung die Ermittlung der Differenz zwischen den unterschiedlich ausgestalteten Szenarien für die Bewertung entscheidend ist. Folgende tabellarische Aufstellung zeigt, welche Routenbelegungen im Einzelnen für die drei Flughäfen Typ A, B und C zur Berücksichtigung der definierten Szenarien ermittelt wurden. Die zugehörigen Tabellen befinden sich im Anhang dieses Berichts (siehe Anhang O bis T).

Die Verteilung der einzelnen Flugbewegungen auf die unterschiedlichen An- und Abflugrouten erfolgt konstant über alle betrachteten Szenarien. Als Anhaltspunkte zur Routenbelegung dienten Erfahrungswerte aus dem realen Fluggeschehen an ausgewählten Flughäfen, die auf die hier verwendeten idealisierten Flughäfen übertragen wurden. Weil Informationen über die flugzeugtypenspezifische Verteilung auf die An- und Abflugrouten nicht vorliegen, musste auf eine entsprechende Differenzierung innerhalb der Szenarien verzichtet werden. Im realen Fluggeschehen ergeben sich aufgrund der Vorgaben zu den Standardabflugrouten des Luftfahrthandbuchs (DFS 2006 a) z. T. unterschiedliche typenspezifische Belegungen der Abflugrouten.

Tabelle 23 Übersicht der Anlagen zur Routenbelegung an den drei Flughafentypen A bis C

Differenzierung Szenarien				Flughafen				Anlage
Nr.	Zeit	Szenario	An-/Abflug	Typ A 08	Typ A 26	Typ B	Typ C	
1	2012	Referenz 1	A	A R1 A 08	A R1 A 26	B R1 A	C R1 A	O.1-8
2	2012	Referenz 1	D	A R1 D 08	A R1 D 26	B R1 D	C R1 D	
3	2012	1	A	A S1 A 08	A S1 A 26	B S1 A	C S1 A	P.1-8
4	2012	1	D	A S1 D 08	A S1 D 26	B S1 D	C S1 D	
5	2012	2	A	A S2 A 08	A S2 A 26	B S2 A	C S2 A	Q.1-8
6	2012	2	D	A S2 D 08	A S2 D 26	B S2 D	C S2 D	
7	2020	Referenz 2	A	A R2 A 08	A R2 A 26	B R2 A	C R2 A	R.1-8
8	2020	Referenz 2	D	A R2 D 08	A R2 D 26	B R2 D	C R2 D	
9	2020	3	A	A S3 A 08	A S3 A 26	B S3 A	C S3 A	S.1-8
10	2020	3	D	A S3 D 08	A S3 D 26	B S3 D	C S3 D	
11	2020	4	A	A S4 A 08	A S4 A 26	B S4 A	C S4 A	T.1-8
12	2020	4	D	A S4 D 08	A S4 D 26	B S4 D	C S4 D	
Hinweis: Darstellung Typ A berücksichtigt die Betriebsrichtungen 08 und 26 getrennt voneinander; Abkürzungen: A = Arrival, D = Departure								

Die Fluggeometrie der in den Berechnungen verwendeten An- und Abflugverfahren ergibt sich aus dem Verlauf der idealisierten Flugspuren und den bei der Empa für die einzelnen Flugzeugtypen verfügbaren Höhen- und Geschwindigkeitsprofilen. Diese Flugprofile wurden durch Auswertungen von Radaraufzeichnungen von Flugbewegungen am Flughafen Zürich ermittelt. Der Anflugwinkel beträgt in Zürich 3°. Als Startverfahren wird das ICAO-A Verfahren empfohlen.

5.4 Rechtliche Prüfung und Bewertung

Die Umsetzbarkeit der vorstehenden Szenarien wird im Folgenden einer rechtlichen Prüfung auf der Basis der Erläuterungen in Kapitel 2.3 unterzogen. Dabei ist als entscheidende Maßnahmen in den Szenarien 3 und 4 die Verschärfung der Lärmgrenzwerte für die Zulassung von Flugzeugen zu prüfen.

5.4.1 Verschärfung der Lärmgrenzwerte zur Zulassung von Flugzeugen auf der ICAO-Ebene

Die Einführung eines neuen „*Chapter 5*“ ist nach der weitgehenden Ermächtigung der ICAO in Art. 37 S. 2 Chicagoer Abkommen zur Schaffung luftfahrtrechtlicher

Vorschriften möglich.[147] Danach hat die ICAO die Kompetenz, Lärmgrenzwerte für Luftverkehrsflugzeuge zu verschärfen - wie in den vergangenen Jahrzehnten geschehen.

Bei einer solchen Verschärfung sind die folgenden Vorgaben einzuhalten: Die Verschärfung der Lärmgrenzwerte müsste mit den grundsätzlichen Zielen der ICAO vereinbar sein, nämlich die Grundsätze und Technik der internationalen Luftfahrt zu entwickeln sowie Planung und Entwicklung des internationalen Luftverkehrs zu fördern. Nach Art. 44 ICAO sind darüber hinaus damit weitere Ziele verbunden, wie ein sicheres und geordnetes Wachstum der internationalen Zivilluftfahrt in der ganzen Welt zu gewährleisten, den sicheren, regelmäßigen, leistungsfähigen und wirtschaftlichen Luftverkehr zu sichern und die Flugsicherheit zu fördern.

Ferner müssen die Empfehlungen der CAEP technisch umsetzbar (*feasible*), ökonomisch vernünftig (*reasonable*) und für die Umwelt vorteilhaft (*beneficial*) sein.[148] Es bestehen also keine zeitlichen Vorgaben für die Verabschiedung von neuen SARPs, außer in Abhängigkeit von der technischen Umsetzbarkeit. Die technische Umsetzbarkeit der in den Szenarien dargestellten Entwicklungen ist nachgewiesen, die ökonomische Vernünftigkeit und die Vorteilhaftigkeit für die Umwelt lassen sich begründen (vgl. z. B. die Ausführungen in Kapitel 6).

Die letzte Verschärfung der Lärmgrenzwerte fand mit der Einführung der *Chapter 4* Flugzeuge statt. Diese hatte die CAEP auf ihrer 5. Plenartagung im Frühjahr 2001 in Montreal entschieden. Der Rat der ICAO hat dem im Juni 2001 zugestimmt und die Versammlung der ICAO hat den Ratsbeschluss auf ihrer 33. Vollversammlung im Oktober 2001 angenommen, so dass schließlich diese neuen Grenzwerte zum 1. Januar 2006 in Kraft getreten sind.

5.4.2 Verschärfung der Lärmgrenzwerte zur Zulassung von Flugzeugen in der EU oder nur in Deutschland

Die Einführung von schärferen Lärmgrenzwerten für die Zulassung von Flugzeugen ist prinzipiell auch in der **EU** möglich. Die Normsetzungs-Kompetenz für die Verkehrs- und Musterzulassungen von Strahlflugzeugen ist durch die Verordnung (EG) Nr. 1592/2002 von den Mitgliedstaaten auf die EU-Ebene übergegangen. Es ist rechtlich allerdings umstritten, inwieweit aus den Internationalen Richtlinien (*International Standards*) und Empfehlungen (*Recommended Practices*) der ICAO, zu denen auch die Lärmzertifizierung nach *Annex 16* zählt, eine Pflicht zur Übernahme der Regelungsinhalte für die Vertragsstaaten folgt. Die EU könnte danach im Rahmen der Musterzulassung auch von den Vorgaben der ICAO in *Annex 16* abweichen und strengere Lärmgrenzwerte für in der EU zugelassene Luftfahrzeuge erlassen. Diese müssten der ICAO bekannt gemacht werden.

147 Vgl. zur Rechtssetzungskompetenz der ICAO: Rosenthal, S. 150.

148 Vgl. die Ausführungen im Clean Air Report, June 2003.

Neben der Einführung eines *Chapter 5* durch die EU wäre das Phasing-out von *Chapter 3* Flugzeugen denkbar. Dies würde aber sehr wahrscheinlich zu politischen Schwierigkeiten führen, wie das *Phasing-Out* von *Chapter 2* Flugzeugen in der Vergangenheit gezeigt hat. Problematisch wäre dabei insbesondere, dass ein *Phasing-Out* von *Chapter 3* Flugzeugen durch die EU der erst beschlossenen Regelung des *Balanced Approach* widerspräche, wonach Lärmprobleme an Flughäfen der Vertragsstaaten durch eine individuelle Lösung für jeden einzelnen Flughafen gelöst werden sollen.

Unklar ist, ob Deutschland auch in einem nationalen Alleingang die Zulassungsgrenzwerte verschärfen könnte. Bis zum In-Kraft-Treten der Verordnung (EG) Nr. 1592/2002 war die Einführung von schärferen Lärmgrenzwerten in **Deutschland** möglich. Allerdings konnte dies nur für Luftfahrzeuge gelten, die in Deutschland zugelassen sind. Flugzeuge, die in anderen Ländern zugelassen sind und den Lärmzertifizierungsvorgaben der ICAO entsprechen, durften prinzipiell Starts- und Landungen an deutschen Flughäfen aufgrund von Art. 33 ICAO nicht versagt werden. Nicht geklärt ist, ob nach der Verlagerung der Zulassungskompetenz für Großraumflugzeuge die aufgrund der (EG) Nr. 1702/2003 erlassene Zulassungsspezifikation CS-36 (Aircraft Noise) auch für Deutschland Verbindlichkeit hat.

Sowohl der Verschärfung der Zulassungswerte auf EU-Ebene und noch mehr auf der nationalen Ebene stehen allerdings Bedenken entgegen. So haben die ICAO-Empfehlungen eine so weite Verbreitung, dass sie faktisch eine weltweit gültige Zulassungsnorm für neu entwickelte Flugzeuge darstellen.[149] Eine Verschärfung der Lärmgrenzwerte für in Deutschland zugelassene Luftfahrzeuge würde wegen der internationalen Verflechtung zu einer Benachteiligung der deutschen Halter führen. Denn aufgrund von Art. 33 Chicagoer Abkommen und zwei- und mehrseitiger Luftverkehrsabkommen ist Deutschland verpflichtet, den Verkehr im Ausland zugelassener Luftfahrzeuge in Deutschland zu dulden, insbesondere wenn diese Luftfahrzeuge den ICAO-Standards entsprechen.[150] Eine einseitige Verschärfung für deutsche Halter würde zu dem widersprüchlichen Ergebnis führen, dass ausländische Halter mit lärmstärkeren Luftfahrzeugen des gleichen Musters in Deutschland verkehren dürften. Entsprechende Überlegungen können für verschärfte Zulassungswerte auf der EU-Ebene angestellt werden. Im Gegensatz zu einem nationalen Alleingang wäre aber der Lärmminderungseffekt stärker, da neu in der EU zugelassene Flugzeuge auch an allen europäischen Fughäfen verkehren und somit zu einer Verbesserung der Lärmsituation beitragen könnten.

[149] Die einheitliche Anwendung der SARPs wird im internationalen Interesse als notwendig erachtet, vgl. Mengel, Constanze/Siebel, Heiko, Ziviler Luftverkehr und Klimaschutz, in: Koch, H.-J., Carpar, J., Klimaschutz im Recht, S. 284.

[150] Schwenk / Giemulla 2005, S. 296.

6 Darstellung und Bewertung der Ergebnisse für die Szenariountersuchungen

6.1 Berechnungsmethode

6.1.1 Allgemeines

Für die Quantifizierung und den Vergleich der für die verschiedenen Szenarien resultierenden Immissionen werden Fluglärmsimulationen mit dem Simulationsprogramm Flula2[151] durchgeführt. Dazu wird für die drei definierten Flughäfen je ein Pistensystem mit zwei bis vier Pisten und den dazugehörenden An- und Abflugspuren erstellt. Für diese Fluggeometrien und die für die einzelnen Szenarien ermittelten Bewegungszahlen werden Fluglärmberechnungen auf der Basis der akustischen Quellendaten von Flula2 ausgeführt. Für neue, heute noch nicht in Verkehr stehende Flugzeuge werden neue Quellendaten von bestehenden Flugzeugtypen abgeleitet.

6.1.2 Definition der Flugbahnen

Für jeden der ausgewählten Modellflughäfen wird ein Pistensystem in Anlehnung an real existierende Flughäfen definiert. Für die Erstellung eines realitätsnahen Flugbahnsystems werden für jeden dieser Flughäfen je 5 bis 6 Abflugrichtungen festgelegt, welche sich in alle Himmelsrichtungen verteilen. Für jede Startpiste werden anschließend 2 bis 3 Flugspuren in Richtung der vorgegebenen Abflugrichtungen definiert. Für Landungen wird nur der für die Lärmimmission relevante Endanflugteil in Richtung der jeweiligen Pistenachse berücksichtigt. Gegenanflüge oder eventuelle Warteräume werden nicht simuliert. Wo vorhanden, werden die Landeanflüge auf mehrere Parallelpisten aufgeteilt. Dies ergibt insgesamt für jeden Flughafen 9 bis 14 individuelle Flugspuren für startende und 4 bis 6 Flugspuren für landende Flugzeuge. Eine Übersicht über die definierten Pisten und Flugspuren ist im Anhang U gegeben.

Für die Bildung der dreidimensionalen Flugbahnen im Raum werden die Flugspuren mit den typenspezifischen Höhen- und Geschwindigkeitsprofilen kombiniert. Hierzu werden die an der Empa vorliegenden Profile verwendet, welche auf Radardaten des Flughafens Zürich basieren. Mit diesen Profilen werden die typenspezifischen Geschwindigkeiten und Steigleistungen der einzelnen Flugzeugtypen berücksichtigt. Für Starts werden dabei die Profile der Abflugrouten F16 und I28, für Landungen die ILS-Anflüge der Route S14 verwendet. Der Gleitwinkel für diese Anflüge beträgt 3 Grad.

[151] Flula2 ist das von der Empa entwickelte Fluglärmsimulationsprogramm. Flula2 wird in der Schweiz als Standardprogramm zur Ermittlung der Fluglärmbelastung in der Umgebung von großen Verkehrsflughäfen eingesetzt.

Für einzelne, in Zürich selten verkehrende Flugzeugtypen sowie für die heute noch nicht in Betrieb stehenden zukünftigen Flugzeuge wurden Ersatzzuordnungen zu ähnlichen Flugzeugtypen vorgenommen (vgl. Anhang V). Eine Übersicht über alle verwendeten Profildaten kann im Anhang W nachgeschlagen werden.

6.1.3 Akustische Quellendaten

Für die Immissionsrechnungen werden die akustischen Quellendaten aus der Lärmdatenbank der Empa verwendet. Um die bei Starts mit reduziertem Abfluggewicht verminderte Triebwerksleistung zu berücksichtigen, existieren in dieser Datenbank für größere Flugzeuge je zwei verschiedene Datensätze für Starts mit hohem (ATOM > 85 % MTOM) und niedrigem Abfluggewicht (ATOM ≤ 85 % MTOM). Da bei den untersuchten Szenarien keine verlässlichen Informationen über die effektiven Abflugmassen der einzelnen Flugzeugtypen gemacht werden können, wird auf eine Differenzierung der Abflugmassen verzichtet und alle Berechungen werden für hohes Abfluggewicht ausgeführt. Die Pegelreduktion als Folge der Leistungsreduktion nach dem Start von Start- zu Steigleistung wird durch einen typenspezifischen Zusatzpegel berücksichtigt.

Für die neuen, heute noch nicht in Betrieb stehende Flugzeugtypen wurden neue Quellendaten erstellt, welche auf den Emissionsdaten ähnlicher Flugzeugtypen basieren und mit einer pauschalen Pegelkorrektur dL für Starts und für Landungen skaliert werden.[152]

Eine Übersicht mit verschiedenen Kennzahlen zu den akustischen Quellendaten ist im Anhang X zu finden.

[152] Für die in absehbarer Zeit in Betrieb zu nehmenden Typen A380 und B787 wurden von den Herstellern akustische Zielwerte definiert, so dass diese die *Chapter 3* Grenzwerte um (kumulativ) rund 25 EPNdB unterschreiten sollen. Da diese Zielwerte sehr ambitioniert sind und weil noch keine gesicherten Informationen über die effektiven Emissionswerte vorliegen, wurden in der vorliegenden Berechung die akustischen Emissionen dieser neuen Typen den vergleichbaren Typen B747-400 und A330-200 gleichgesetzt, welche ihrerseits die Grenzwerte um rund 15 EPNdB unterschreiten. Mit diesem konservativen Ansatz werden die neuen Typen A380 und B787 rund 3 dB lauter simuliert als aufgrund der akustischen Zielwerte zu erwarten ist.

Tabelle 24 Abgeleitete Quellendaten für neue Flugzeugtypen

Typ	Referenztyp	dL	
	Typ	Start	Landung
A380	B7474	0 dB	0 dB
B787	A3302	0 dB	0 dB
NT1	C650	-11 dB	-11 dB
NT2	FK10	-11 dB	-11 dB
NT3	MD83	-11 dB	-11 dB
NT4	A3103	-11 dB	-11 dB
NT5	B7673	-11 dB	-11 dB
NT6	B7474	-11 dB	-11 dB

6.1.4 Berechnungen mit Flula2

Für die Immissionsrechnungen mit Flula2 wird für jeden Referenzflughafen ein rechteckiger Berechnungsausschnitt definiert, dessen Ausdehnung so festgelegt wurde, dass die zu erwartenden Konturlinien der 55 dB Belastung innerhalb dieser Fläche liegen. Aufgrund der deutlich höheren Bewegungszahlen beim Flughafen Typ A wurde hier auch eine entsprechend größere Fläche definiert. Innerhalb dieses Berechnungsausschnitts wird der für jede einzelne Flugbewegung resultierende Ereignispegel LAE auf einem regelmäßigen Gitter im Abstand von 250 m berechnet. Die zu den einzelnen Szenarien gehörenden Gesamtbelastungen werden durch die mit den betreffenden Bewegungszahlen gewichtete energetische Addition dieser Gitterdaten berechnet. Für jeden Flughafen werden somit 6 verschiedene Gesamtbelastungen ermittelt. Diese Belastungen werden als Mittelungspegel Leq über die gesamte Tageszeit (24 Stunden) ausgewiesen.

Tabelle 25 Übersicht Berechnungen mit Flula2

	Pisten	Anz. Flugspuren		Berechnungsgitter			berechnete Szenarien
Typ	Anz.	Start	Landung	Ausdehnung	Gitter-abstand	Anz. Gitterpunkte	
A	4	14	6	54 x 40 km^2	250 m	34937	6
B	2	9	4	40 x 40 km^2	250 m	25921	6
C	2	9	4	40 x 40 km^2	250 m	25921	6

6.2 Auswertung

6.2.1 Methode

Mit dem Simulationsprogramm Flula2 werden für jeden der drei definierten Flughafentypen A, B und C die für die verschiedenen Szenarien resultierenden Belastungen ermittelt. Für die Beurteilung und für den Vergleich der verschiedenen Belastungsrechnungen werden folgende Methoden angewandt:

- Grafische Darstellung der zu verschiedenen Belastungsniveaus gehörenden Lärmkonturen,
- Ermittlung und Darstellung der Pegeldifferenzen zwischen den einzelnen Szenarien und den dazugehörenden Referenzszenarien,
- Ermittlung der von einzelnen Konturlinien umschlossenen Flächen,
- Ermittlung statistischer Kennzahlen zu den Pegeldifferenzen zwischen den einzelnen Szenarien und den dazugehörenden Referenzszenarien.

Die grafische Darstellung der Lärmkonturen sowie der Pegeldifferenzen erfolgt mit den Grafiktools von NMPlot[153]. Ebenfalls mit NMPlot werden die von einzelnen Lärmkonturen umschlossenen Flächen quantifiziert. Die statistischen Kennzahlen aus den für einzelne Szenarien an den einzelnen Gitterpunkten ermittelten Pegeldifferenzen werden mit Hilfe der in Excel integrierten Statistikfunktionen berechnet.

Nachfolgend werden die verschiedenen Auswertungsschritte erläutert. Die wichtigsten Ergebnisse dieser Auswertungen sind in Kapitel 6.2.2 dargestellt. Eine umfassendere Darstellung aller Ergebnisse kann in Anhang Y, Z und AA nachgeschlagen werden.

6.2.1.1 Lärmkonturen für verschiedene Belastungsniveaus

Für alle berechneten Szenarien werden die resultierenden Lärmkonturen für drei unterschiedliche Belastungsniveaus ausgewiesen:

- Leq (24h) = 55 dB,
- Leq (24h) = 60 dB,
- Leq (24h) = 65 dB.

Die zu den drei Belastungsniveaus gehörenden Belastungskurven werden für jedes Szenario auf einer Belastungskarte dargestellt. Die 55 dB-Kurven für die Szenarien

- Referenz 1, Szenario 1, Szenario 2,

[153] NMPlot ist ein von Wasmer Consulting entwickeltes, frei zugängliches Grafik- und Auswerteprogramm zur Darstellung von raumbezogenen Daten (http://wasmerconsulting.com).

- Referenz 2, Szenario 3, Szenario 4

werden für jeden Flughafen auf zwei zusätzlichen Karten einander gegenübergestellt.

6.2.1.2 Pegeldifferenzen zwischen verschiedenen Szenarien

Für jeden Flughafen werden die für vergleichbare Szenarien an den einzelnen Gitterpunkten resultierenden Pegeldifferenzen in einem zusätzlichen Gitterfile dargestellt und mittels einer farblichen Abstufung zusammen mit der 55 dB-Kurve des betreffenden Referenz-Szenarios dargestellt. Für jeden der drei untersuchten Flughäfen werden folgende Pegeldifferenzen gebildet und in separaten Karten abgebildet:

- Differenz Szenario 1 minus Referenz 1,
- Differenz Szenario 2 minus Referenz 1,
- Differenz Szenario 3 minus Referenz 2,
- Differenz Szenario 4 minus Referenz 2.

6.2.1.3 Ermittlung der von einzelnen Lärmkonturen umschlossenen Flächen

Für jede der insgesamt 18 untersuchten Gesamtbelastungen werden die von einzelnen Lärmkonturen umschlossenen Flächen ermittelt und miteinander verglichen. Für jede Gesamtbelastung werden mit NMPlot die Flächen der zu den Belastungsniveaus 55 dB, 60 dB und 65 dB gehörenden Lärmkonturen berechnet.

6.2.1.4 Statistische Kennzahlen zu den Pegeldifferenzen

Aus den an den einzelnen Gitterpunkten berechneten Pegeldifferenzen für die verschiedenen Szenarien werden die nachfolgenden statistischen Kennzahlen berechnet:

Mittelwert:	Arithmetischer Mittelwert der Pegeldifferenzen an allen Gitterpunkten,
Standardabweichung:	Standardabweichung der Pegeldifferenzen an allen Gitterpunkten,
Maximum:	Maximum der Pegeldifferenzen an allen Gitterpunkten,
Minimum:	Minimum der Pegeldifferenzen an allen Gitterpunkten.

6.2.2 Ergebnisse

6.2.2.1 Lärmkonturen für verschiedene Szenarien

Exemplarisch für den Flughafen Typ A werden die für die einzelnen Szenarien ermittelten Konturlinien des auf den ganzen Tag bezogenen äquivalenten Dauerschallpegels Leq(24h) dargestellt. Eine umfassende Darstellung aller Belastungskarten und Pegeldifferenzen für alle untersuchten Flughäfen ist in den Anhängen Y, Z und AA dargestellt.

Abbildung 31 55 dB-Konturlinie Leq(24h), Flughafen Typ A, Szenarien: Referenz 1 (schwarz), Szenario 1 (blau) und Szenario 2 (rot)

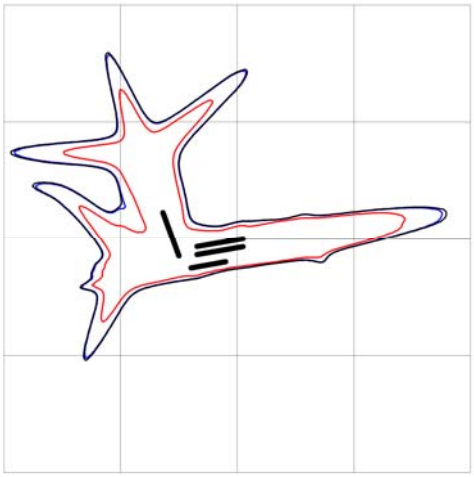
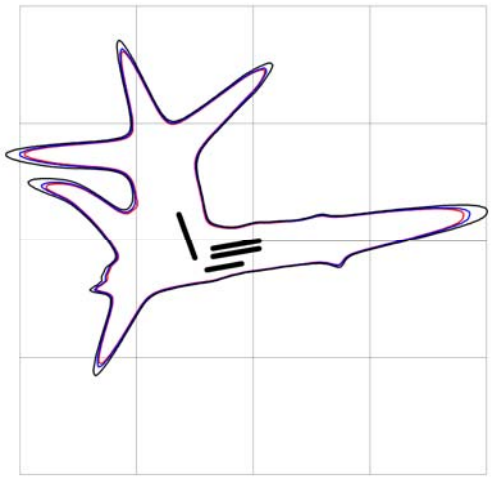


Abbildung 32 55 dB-Konturlinie Leq(24h), Flughafen Typ A, Szenarien: Referenz 2 (schwarz), Szenario 3 (blau) und Szenario 4 (rot)



6.2.2.2 Pegeldifferenzen verschiedener Szenarien

Abbildung 33 Flughafen Typ A, Pegeldifferenz dLeq(24) Szenario 1 minus Referenz 1

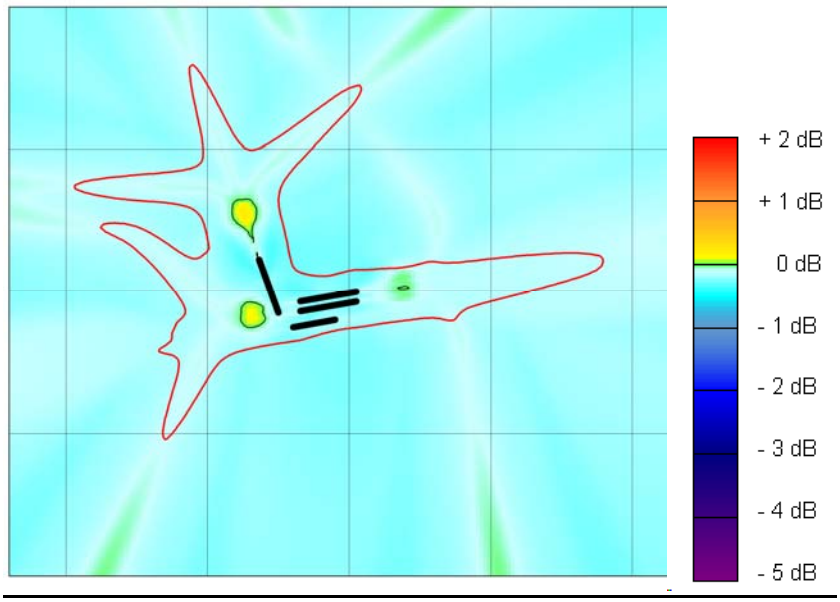
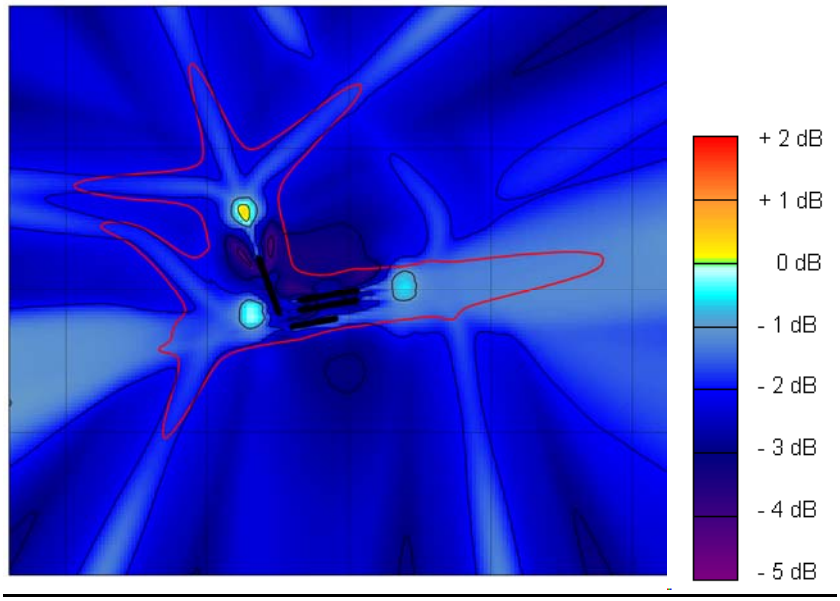


Abbildung 34 Flughafen Typ A, Pegeldifferenz dLeq(24) Szenario 2 minus Referenz 1



6.2.2.3 Umschlossene Flächen

Für jedes Szenario werden die innerhalb einzelner Konturlinien liegenden Flächen ermittelt und miteinander verglichen.

Tabelle 26 Durch Lärmkonturen der Belastungsniveaus 55 dB, 60 dB und 65 dB umschlossene Flächen für verschiedene Szenarien (Angaben in Quadratkilometer)

Flughafen Typ A						
Szenario	AR1	AS1	AS2	AR2	AS3	AS4
>55 dB	229,3	222,0	149,3	263,5	240,5	230,5
>60 dB	82,0	80,1	61,1	90,8	84,9	82,1
>65 dB	34,9	34,3	25,0	38,7	36,2	35,3

Flughafen Typ B						
Szenario	BR1	BS1	BS2	BR2	BS3	BS4
>55 dB	32,9	32,2	26,4	37,4	33,7	32,5
>60 dB	11,3	11,0	8,7	12,8	11,4	10,8
>65 dB	4,2	4,1	3,4	4,7	4,3	4,0

Flughafen Typ C						
Szenario	CR1	CS1	CS2	CR2	CS3	CS4
>55 dB	53,7	50,7	39,3	64,4	56,1	51,2
>60 dB	18,9	17,7	13,5	23,3	19,8	18,0
>65 dB	6,8	6,3	4,6	8,2	7,1	6,3

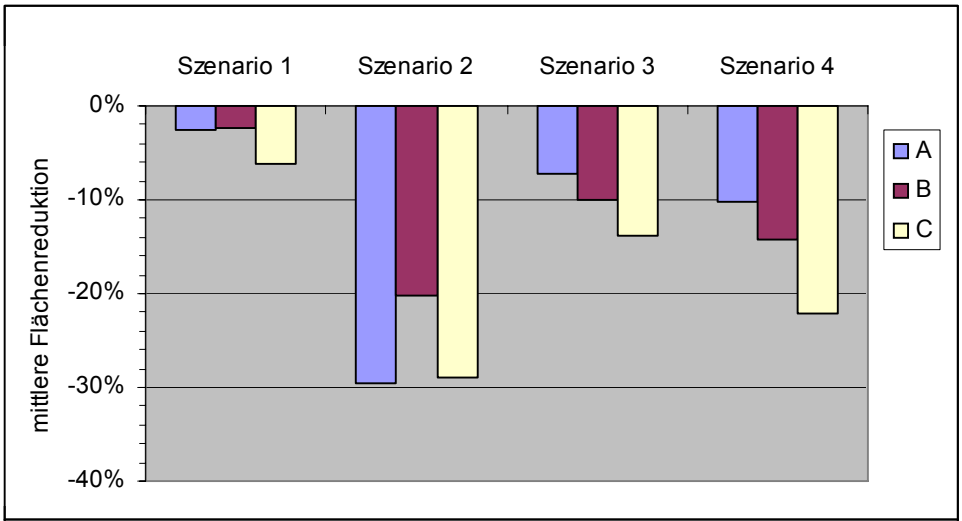
Tabelle 27 Differenz zwischen den zu einzelnen Szenarien gehörenden Flächen für verschiedene Belastungsniveaus

Flughafen Typ A				
Szenario	AS1-AR1	AS2-AR1	AS3-AR2	AS4-AR2
>55 dB	-3 %	-35 %	-9 %	-13 %
>60 dB	-2 %	-25 %	-6 %	-10 %
>65 dB	-2 %	-28 %	-6 %	-9 %
Mittel	-2 %	-30 %	-7 %	-10 %

Flughafen Typ B				
Szenario	BS1-BR1	BS2-BR1	BS3-BR2	BS4-BR2
>55 dB	-2 %	-20 %	-10 %	-13 %
>60 dB	-3 %	-23 %	-11 %	-15 %
>65 dB	-2 %	-18 %	-10 %	-14 %
Mittel	-2 %	-20 %	-10 %	-14 %

Flughafen Typ C				
Szenario	CS1-CR1	CS2-CR1	CS3-CR2	CS4-CR2
>55 dB	-6 %	-27 %	-13 %	-20 %
>60 dB	-6 %	-29 %	-15 %	-23 %
>65 dB	-7 %	-32 %	-13 %	-23 %
Mittel	-6 %	-29 %	-14 %	-22 %

Abbildung 35 Mittlere Reduktion der von der Fluglärmimmission betroffenen Flächen der Flughäfen Typ A, B und C bezüglich der betreffenden Referenzszenarien



Hinweis: Dargestellt wird der Mittelwert der für die Belastungsniveaus 55, 60 und 65 dB resultierenden Differenzen für die Szenarien 1 bis 4

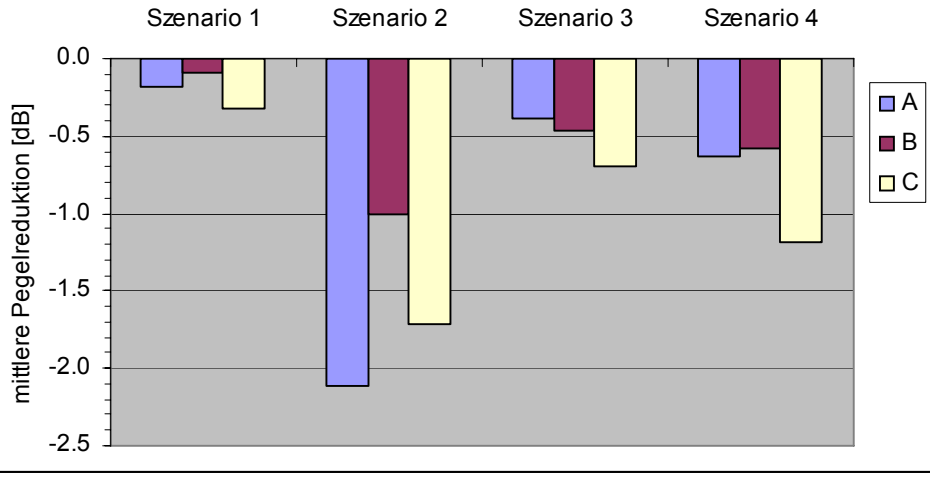
6.2.2.4 Statistische Kennzahlen

Aus den an den einzelnen Gitterpunkten zu den für verschiedene Szenarien berechneten Pegeldifferenzen werden statistische Kennzahlen berechnet.

Tabelle 28 Statistische Kennzahlen der an den einzelnen Gitterpunkten ermittelten Pegeldifferenzen verschiedener Szenarien

Referenzszenario	Referenz 1		Referenz 2	
Bezugsszenario	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Flughafen Typ A				
Mittelwert	-0,18	-2,12	-0,39	-0,63
Standardabweichung	0,05	0,53	0,03	0,07
Minimum	-0,49	-6,99	-0,47	-1,21
Maximum	0,23	0,75	-0,29	0,02
Flughafen Typ B				
Mittelwert	-0,09	-1,01	-0,46	-0,58
Standardabweichung	0,03	0,46	0,04	0,06
Minimum	-0,24	-2,17	-0,74	-1,26
Maximum	-0,02	0,80	-0,24	-0,45
Flughafen Typ C				
Mittelwert	-0,32	-1,71	-0,69	-1,19
Standardabweichung	0,06	0,36	0,08	0,13
Minimum	-0,55	-2,91	-0,97	-1,73
Maximum	0,07	0,04	-0,49	-0,60

Abbildung 36 Mittlere Pegelreduktion auf den untersuchten Flughäfen A, B und C



Hinweis: Dargestellt wird der Mittelwert der an den einzelnen Gitterpunkten resultierenden Pegeldifferenzen der untersuchten Szenarien 1 bis 4 bezüglich dem betreffenden Referenzszenario

6.2.3 Beurteilung

6.2.3.1 Allgemeines

In den untersuchten Szenarien werden die Auswirkungen auf die resultierende Lärmbelastung analysiert, wenn bei der Flottenerneuerung lärmärmeres Fluggerät in unterschiedlichem Ausmaß eingesetzt wird. Gemäß der gewählten Vorgehensweise werden dabei die Auswirkungen für unterschiedliche Zeithorizonte untersucht. Für einen kurzen Zeithorizont von rund fünf Jahren wird das Lärmminderungspotenzial untersucht, wenn im Rahmen der laufend stattfindenden Flottenerneuerung konsequent lärmärmeres Fluggerät eingesetzt wird, welches nach dem heutigen Regelwerk und mit bestehenden Technologien bereits zur Verfügung steht. Die längerfristigen Auswirkungen einer Novellierung von *Annex 16* mit weiter verschärften Grenzwerten werden für einen Zeithorizont von rund 15 Jahren beurteilt, indem bei der Flottenerneuerung neue, bezüglich der heutigen klassenbesten Flugzeugtypen zusätzlich lärmreduzierte Flugzeugtypen berücksichtigt werden. Für beide Zeithorizonte werden die Auswirkungen durch die Annahme unterschiedlich ausgeprägter Umsetzungen der Lärmminderungsmaßnahmen bei unveränderter Gesamtbewegungszahl ausgewiesen und mit dem jeweiligen Referenzszenario verglichen.

Die nachfolgende Beurteilung basiert einerseits auf der Quantifizierung der von den Konturlinien umschlossenen Flächen, andererseits auf den mittleren Pegeldifferenzen zwischen den einzelnen Szenarien.

6.2.3.2 Räumliche Auswirkung

Die Untersuchung der flächenhaften Ausdehnung der Pegeldifferenzen zeigt, dass die Lärmminderung homogen über den ganzen Berechnungsausschnitt verteilt ist (vgl. Abbildung 34 und Anhang Y bis AA). Dabei profitieren die primär von startenden oder von landenden Flugzeugen beschallten Gebiete ungefähr in gleichem Maß von der Lärmreduktion. Einzig in Flughafennähe treten in einigen Fällen lokal eng begrenzte Gebiete auf, in denen sich die Pegeldifferenzen teilweise erheblich von den in den übrigen Regionen ermittelten Differenzen unterscheiden. Diese Gebiete befinden sich etwa 3 bis 4 km hinter dem Pistenende unmittelbar unter den Abflugspuren. Die Ursache für diesen Effekt liegt darin, dass in dieser Region die Schubreduktion von Start- zu Steigflugleistung stattfindet. Je nach Steigvermögen der betreffenden Flugzeugtypen wird die hierzu erforderliche Flughöhe von 450 m etwas früher oder später erreicht. Da in der Simulation die durch die Schubreduktion bewirkte Pegelreduktion für jeden Flugzeugtyp stets auf der vorgegebenen Höhe und somit an derselben Stelle vorgenommen wird, kann sich dieser Ort bei der Substitution einzelner Flugzeugtypen durch andere Flugzeuge mit unterschiedlicher Steigleistung verschieben. Da die Steigleistung im realen Flugbetrieb aber stark variiert, wird dieser Effekt ausgemittelt. Die in den Differenzplots ausgewiesenen lokalen Pegelabweichungen sind daher als Artefakt der hier vorgenommenen Auswertung anzusehen.

Große Unterschiede zwischen den Szenarien werden für den kurzfristigen Zeithorizont beobachtet. So hat die Flottenerneuerung in Szenario 1, bei welchem nur die erneuerten Flugzeuge jeweils dem klassenbesten Flugzeug der jeweiligen Zweck-Klasse entsprechen, lediglich eine Reduktion der von der Lärmimmission betroffenen Fläche von 2 bis 6 % zur Folge. Deutlich größer fällt die Reduktion der betroffenen Fläche aus, wenn in Szenario 2 alle Flugzeugtypen durch den klassenbesten Typ pro Zweck-Klasse ersetzt werden. Dadurch vermindert sich die Ausdehnung der von den Lärmkonturen umschlossenen Flächen gegenüber dem Referenzszenario um 20 % bis 30 %, wobei die größte Reduktion beim Interkontinentalflughafen Typ A beobachtet wird (vgl. Tabelle 27 und Abbildung 35).

Bei den Untersuchungen in den Szenarien 3 und 4 zum langfristigen Zeithorizont sinkt die vom Fluglärm betroffene Fläche je nach Belastungsniveau und Flughafen um 6 % bis 23 %. Dabei unterscheiden sich die für die Szenarien 3 und 4 an den einzelnen Flughäfen ermittelten Lärmreduktionen nur geringfügig. Die markanteste Verringerung der von der Lärmimmission betroffenen Fläche wird dabei stets für den Flughafen Typ C beobachtet (-14 % bei Szenario 3, -22 % bei Szenario 4), während für den Flughafen Typ A lediglich Flächenreduktionen von -7 % (Szenario 3) bzw. -10 % (Szenario 4) resultieren.

6.2.3.3 Pegeldifferenzen

Ein sehr ähnliches Bild ergibt auch die statistische Auswertung der Pegeldifferenzen an den einzelnen Immissionspunkten zwischen den zu vergleichenden Szenarien (vgl. Abbildung 36 und Tabelle 28). Auch hier werden die größten Differenzen von bis zu

-2 dB in Szenario 2 für den Flughafen Typ A ermittelt, während die Pegeldifferenzen bezüglich des Referenzszenarios für Szenario 1 mit -0,1 bis -0,3 dB gering ausfallen. Ähnlich wie bei der flächenhaften Ausdehnung der Lärmbelastungen unterscheiden sich auch die mittleren Pegeldifferenzen der Szenarien 3 und 4 nur geringfügig und betragen rund 0,5 dB. Wiederum ist die Lärmminderung beim Flughafen Typ C am ausgeprägtesten. Für Szenario 4 beträgt die mittlere Pegelreduktion bezüglich des Referenzszenarios -1,2 dB.

Bei den Differenzbetrachtungen über die verschiedenen Flughäfen fällt auf, dass die größten Pegelreduktionen für die Szenarien 1, 3 und 4 stets bei der Belastung durch den Flughafen Typ C resultieren. Für den Flughafen Typ C, der einem Flughafen mit hohem Cargo-Anteil entspricht, hat die vorgesehene Umflottung offenbar eine größere Reduktion der resultierenden Lärmimmission zur Folge als bei den beiden anderen untersuchten Flughäfen. Einzig beim theoretischen Grenzfall des Szenarios 2, bei dem alle Flugzeuge durch das jeweils lärmärmste Flugzeug der entsprechenden Zweckklasse ersetzt werden, resultiert beim Flughafen Typ A eine geringfügig größere Lärmreduktion als beim Flughafen Typ C (2,1 dB gegenüber 1,7 dB).

Ein Vergleich der mittleren Pegelreduktion mit den entsprechenden Reduktionen der von den Konturlinien umschlossenen Flächen bestätigt die aus verschiedenen Untersuchungen bekannte Faustformel, dass eine Pegelreduktion um 1 dB eine Verkleinerung der von den Lärmkonturen umschlossenen Fläche um rund 20 Prozent zur Folge hat.

6.2.3.4 Unsicherheit der Berechnungen

Bei der Bewertung der in dieser Studie für die einzelnen Szenarien ausgewiesenen Lärmminderungen muss auch die bei der Ermittlung der Lärmbelastungen zu veranschlagende Unsicherheit mit berücksichtigt werden. Da diese Berechnungen auf sehr vielen Annahmen und Vereinfachungen beruhen, ist es schwierig, die Berechnungsunsicherheiten zu quantifizieren. Aus Erfahrungswerten und aus verschiedenen Untersuchungen ist bekannt, dass die Unsicherheit von Berechnungen mit zunehmender Entfernung zum Flughafen und damit mit abnehmender Gesamtbelastung zunimmt. In einem für den Flughafen Frankfurt erstellten Gutachten sind die Autoren zum Schluss gekommen, dass die Berechnungsunsicherheit auf dem Niveau von 65 dB rund 1 dB beträgt. Mit abnehmendem Pegel nimmt die Unsicherheit zu und beträgt bei 55 dB rund 2 dB.

Da bei der vorliegenden Studie verschiedene Belastungen miteinander verglichen werden, die weitgehend mit denselben Methoden ermittelt wurden, ist für die Beurteilung der Ergebnisse jedoch nicht die Gesamtunsicherheit der Berechnungen maßgebend. Verschiedene Einflussfaktoren sind bei den zu vergleichenden Berechnungen identisch und heben sich daher bei einem direkten Vergleich gegenseitig auf (z. B. Unsicherheiten bei der Berechnung der Schallausbreitung in der Atmosphäre, Fluggeometrien, Leistungssetzung der einzelnen Flugzeugtypen). Dadurch reduziert sich die maßgebende Unsicherheit beträchtlich. Auf der anderen

Seite sind durch die Annahmen zu den für die einzelnen Szenarien maßgebenden Bewegungszahlen zusätzlich Unsicherheitskomponenten zu berücksichtigen, die allerdings nur schwer zu quantifizieren sind.

Aufgrund der geschilderten Einfussgrößen und Erfahrungswerten sowie als Folge der beobachteten Streuung der für die einzelnen Szenarien ermittelten Pegeldifferenzen wird die für den Vergleich der einzelnen Szenarien maßgebende Berechnungs-unsicherheit ohne mathematische Herleitung mit 0,5 dB abgeschätzt.

6.3 Fazit

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die den einzelnen Szenarien zu Grunde liegenden Maßnahmen eine leichte Verminderung der Gesamtlärmbelastung in Dezibel zur Folge haben. Die Maßnahmen in Szenario 2, bei dem nicht nur die neu in Dienst gestellten, sondern alle Flugzeuge dem jeweils lärmärmsten Typ pro Zweck-Klasse entsprechen, haben je nach Flottenmix eine Verminderung der Lärmbelastung um 1 dB bis rund 2 dB zur Folge. Bei allen anderen Szenarien beträgt die Reduktion der Lärmbelastung bezüglich der entsprechenden Referenzszenarien mit einer Ausnahme deutlich weniger als 1 dB.

Während die in Dezibel ausgedrückten Pegelreduktionen tendenziell gering ausfallen, haben diese dennoch eine nicht unbedeutende Verringerung der vom Lärm betroffenen Fläche zur Folge. Eine mittlere Pegelreduktion von 0,5 dB bewirkt bereits eine Verminderung der vom Lärm betroffenen Fläche um rund 10 Prozent, was auf dem Niveau der 55 dB-Kontur für den Interkontinentalflughafen vom Typ A einer Fläche von rund 30 Quadratkilometern entspricht.

Bei der Beurteilung der Pegeldifferenzen muss allerdings die Berechungsunsicherheit mit berücksichtigt werden, die im Vergleich mit gleichartigen Berechnungen mit rund 0,5 dB abgeschätzt wurde. Deshalb müssen die für Szenario 1 ermittelten Pegeldifferenzen als nicht signifikant und die für die Flughäfen A und B für die Szenarien 3 und 4 lediglich als knapp signifikant angesehen werden. Dennoch lassen sich mit den vorliegenden Ergebnissen die Größenordnungen der für die verschiedenen Szenarien zu erwartenden Verminderungen der Lärmbelastungen grob abschätzen.

6.4 Exkurs: Abschätzung der ökonomischen Effekte

Die in diesem Forschungsvorhaben betrachteten Maßnahmen lassen sich dahingehend zusammenfassen, dass Verschärfungen der Lärmgrenzwerte betrachtet werden, die sich am technisch Machbaren bei den Fluggeräten orientieren (Kapitel 5.3). Die Wirkung ergibt sich aus dem Einsatz lärmärmerer Flugzeuge.

Bei der Bewertung der ökonomischen Folgewirkungen der in den vier Szenarien vorgesehenen Maßnahmen ist nach den betroffenen Akteuren sowie nach den kurzfristigen und langfristigen Wirkungen und Reaktionsmöglichkeiten zu unterscheiden. Betrachtet werden die Folgen

- für die Luftverkehrsgesellschaften,
- für die Flughafenbetreiber.

Wenn die eventuell durch die Maßnahmen bedingten Mehrkosten von den Akteuren im Luftverkehr an die Nachfrager weitergegeben werden, könnten hierdurch negative Folgen auch in anderen Wirtschaftsbereichen eintreten. Im nächsten Abschnitt wird daher kurz auf die ökonomische Bedeutung des Luftverkehrs insgesamt eingegangen.

6.4.1 Ökonomische Bedeutung des Luftverkehrs

Der volkswirtschaftliche Nutzen des Luftverkehrs ist eingehend für mehrere Flughafenstandorte (z. B. Köln, Frankfurt/Main) untersucht worden.[154] Zur Quantifizierung der wirtschaftlichen Auswirkungen des Ausbaus eines Flughafens werden folgende Effekte unterschieden (diese Kategorisierung lässt sich auch auf den gesamten Sektor Luftverkehr übertragen):

- Direkte Effekte eines Flughafens. Hier werden die Produktion, Beschäftigung und Einkommen bei den Unternehmen, die auf dem Flughafen angesiedelt sind, betrachtet.
- Indirekte Effekte. Hier wird die Änderung von Produktion, Beschäftigung und Einkommen bei Vorleistern, die durch die Nachfrage nach Güter und Dienstleistungen von Unternehmen auf dem Flughafen bei den Lieferanten entstehen, mit einbezogen.
- Induzierte Effekte. Hier wird die Erhöhung der Nachfrage nach Gütern und Dienstleistungen betrachtet, die aus der Verausgabung des aus den direkten und indirekten Effekten resultierenden Einkommens entsteht.
- Standorteffekte („katalytische Effekte“). Diese ergeben sich für Wirtschaft und Bevölkerung aus einer hochwertigen Luftverkehrsanbindung. Diese schlägt sich in Produktivitätssteigerungen, Markterweiterungseffekten, Kostensenkungseffekten, Ansiedlungseffekten, einer Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit und einer Begünstigung des Strukturwandels nieder.

[154] So z. B. Baum et al. (1998).

Die ersten drei genannten Effekte dürften nur regional begrenzt von Belang sein, für Deutschland insgesamt sind die direkten und indirekten Beschäftigungseffekte der Luftverkehrsakteure im Vergleich zu anderen Wirtschaftszweigen gering. Dagegen ist die volkswirtschaftliche Gesamtbedeutung des Luftverkehrs sowohl regional als auch national als hoch einzuschätzen. Im- und Exporte sind existenziell für die Wirtschaft in Deutschland und für viele ex- und importabhängige Wirtschaftssektoren sind Flugverbindungen eine Notwendigkeit, sei es für das spezialisierte Personal (z. B. Reparaturkräfte), sei es für ihre Produktion (z. B. spezielle Ersatzteile) oder die schnelle Erreichbarkeit für Kunden aus dem Ausland. Der Luftverkehr ermöglicht weltweite, schnelle Geschäftsreiseaktivitäten und Gütertransporte und ist damit eine Voraussetzung der Globalisierung, der zunehmenden internationalen Verflechtung und Arbeitsteilung. Die unmittelbar ex- und importabhängigen Wirtschaftssektoren haben wiederum auch enge Verknüpfungen mit fast allen anderen Wirtschaftsbereichen, die strategische „Katalysatorwirkung“ des Luftverkehrs reicht damit weit über die direkt außenhandelsbezogenen und den Luftverkehr nutzenden Wirtschaftssektoren hinaus.

Im Vergleich zur strategischen Bedeutung des Luftverkehrs für den Standort Deutschland sind die direkten und indirekten sowie die induzierten Effekte aus den Aktivitäten der Akteure der Luftfahrt eher niedrig. Direkt sind nach den Angaben des Statistischen Bundesamtes 32.000 Personen bei den Verkehrsflughäfen und 56.000 bei den Fluggesellschaften erwerbstätig.[155] Diese Zahlen waren im letzten Jahrzehnt eher konstant oder sogar rückläufig. Da die Passagierzahlen und das Frachtvolumen steigen, kann dies nur auf die Verlagerung von Arbeiten in die indirekt vom Luftverkehr abhängigen Bereiche zurückgeführt werden, dort ist eine Zunahme zu unterstellen. Konkrete Zahlen hierfür gibt es aber nur regional, etwa für Frankfurt am Main. Die Quantifizierung ist schwierig, da sich das Segment der unmittelbar mit dem Flugbetrieb verknüpften Arbeiten (z. B. Be- und Entladung von Flugzeugen) von den induzierten weiteren Effekten nur schwer trennen lässt. Diese reichen bis zu den Restaurants und Geschäften im Flughafenumfeld, wo sich flughafenbezogene und „normale“ Kundschaft mischen.

Diese sekundären Beschäftigungswirkungen, die vom Luftverkehr ausgehen, sind somit nicht eindeutig abzugrenzen und zu quantifizieren. Es müsste auch weiterhin berücksichtigt werden, inwieweit wirklich zusätzliche Arbeitsplätze entstehen und inwieweit nur eine regionale Verlagerung in die Flughafenregion hinein stattfindet. Als genereller Faktor wird genannt, dass ein Arbeitsplatz in der Luftfahrt 1,8 zusätzliche Arbeitsplätze generiert. In diesem Projekt mit einer globalen Betrachtung für Deutschland insgesamt kann auf eine genauere Quantifizierung verzichtet werden, denn auch jede andere ökonomische Aktivität hat indirekte Effekte, z. T. in vergleichbarer Größenordnung. Darüber hinaus sind die induzierten Effekte nach ihrer Herkunft zu bewerten. In einer nationalen Betrachtung sind sie nur als Saldo relevant, etwa aus Käufen ausländischer Besucher in Duty-free-Shops auf deutschen Flughäfen einerseits

[155] Zum Vergleich: Die deutsche Bahn hatte im Vergleichsjahr 2003 rd. 222 000 Erwerbstätige.

und den nicht in Deutschland, sondern im Ausland getätigten Einkäufen der Wohnbevölkerung andererseits.

6.4.2 Folgen für die Luftverkehrsgesellschaften

Bei den in den Szenarien angenommenen Maßnahmen zur Reduzierung der Geräuschemissionen können sich die Kosten für die Luftverkehrsgesellschaften aus zwei Gründen erhöhen:

1. Im Grenzwert-Szenario 2 ist ggf. eine Umrüstung der Triebwerke in der vorhandenen Flugzeugflotte erforderlich, bzw. ein Wechsel auf neues Fluggerät, der betriebswirtschaftlich ohne Änderung der Lärmgrenzwerte noch nicht notwendig gewesen wäre. Es sind also zusätzliche Investitionen erforderlich.
2. Der Kraftstoffverbrauch und damit die Betriebskosten können sich durch die lärmoptimierten Triebwerke erhöhen (u. a. ist höheres Gewicht möglich, vgl. Kapitel 4.7 und 4.8).

Für beide Bereiche waren keine detaillierten Kostenschätzungen möglich; im Folgenden erfolgt eine Einschätzung der möglichen Größenordnung. Der Investitionsbedarf bzw. die möglichen Verluste der Luftverkehrsgesellschaften aus einem eventuell auftretenden Werteverfall bei den vorhandenen Flotten hängen davon ab, in welcher Geschwindigkeit die Lärmgrenzwerte abgesenkt werden und ob dies weltweit (als ICAO „*Chapter 5*“) gleichermaßen erfolgt oder als Normsetzung der EU bzw. als nationaler deutscher Alleingang.[156] Die ICAO würde sich bei einer weltweiten Einführung nach ihren Grundsätzen an einem ökonomisch vernünftigen Zeitrahmen ausrichten, so dass die ökonomische Folgen für die Fluggesellschaften zu vernachlässigen sind. Aber auch falls die verschärften Lärmgrenzwerte nicht weltweit in einem Schritt eingeführt werden, wird ein großer Wertverlust der vorhandenen Flotten selbst in Szenario 2 nicht eintreten, da das Fluggerät bei dem weiteren langfristigen Wachstum des Luftverkehrs in anderen Regionen eingesetzt werden kann. Deutsche bzw. europäische Carrier wären überproportional betroffen, aber auch für diese Luftverkehrsgesellschaften dürfte die Belastung bei einer abgestuften europäischen Einführung der niedrigeren Grenzwerte auch im Grenzwert-Szenario 2 verkraftbar sein, in den anderen Szenarien ohnehin.

Auch zu einer möglichen Erhöhung der Betriebskosten kann keine genauere Quantifizierung erfolgen. Da die Verschärfung der Lärmgrenzwerte alle Carrier betreffen würde, die die entsprechenden Flughäfen anfliegen, kann – zumindest teilweise - eine Weitergabe der höheren Kosten an die Kunden erwartet werden. Selbst die maximal anzusetzenden Ticket- bzw. Frachtpreissteigerungen dürften aber weder eine Nachfragesenkung bewirken noch negative Effekte auf die Gesamtwirtschaft

[156] Vgl. Abschnitt 5.4 zur rechtlichen Umsetzbarkeit.

haben, denn dazu ist die Höhe der Treibstoffkosten im Flugverkehr nicht hoch genug.[157]

6.4.3 Ökonomische Folgen für die Flughafenbetreiber

Änderungen der Höhe der Abgaben für Start und Landung sind in den Szenarien nicht vorgesehen, daher sind mit der Umsetzung der Szenarien keine unmittelbaren Folgen für die Kosten- und Einnahmesituation der Flughafenbetreiber verbunden. Die Einnahmen aus lärmabhängigen Entgelten der Flughäfen könnten sich verringern, andererseits dürfte für einzelne Flughäfen mit einem geringeren erforderlichen Umfang von passiven Lärmschutzmaßnahmen (z. B. Zuschüsse für Schallschutzfenster) auch eine Kostenentlastung verbunden sein.

Schwieriger ist die Veränderung der Konkurrenzsituation zwischen den Flughäfen einzuschätzen. Neben Veränderungen bei den lärmabhängigen Entgelten kann es zu Verringerungen der lärmbedingten Betriebseinschränkungen (wie Nachtflugverbot, Begrenzung der Zahl der Flugbewegungen, Ausweitung der Nutzungsmöglichkeit einzelner Start- und Landebahnen) kommen, die die Kosten- und Wettbewerbssituation einzelner Flughäfen verbessern können. Aussagen wären nur bei detaillierten Einzelanalysen der einzelnen konkreten Standorte möglich, wobei auch darauf hinzuweisen ist, dass die Rahmenbedingungen des Flughafenbetriebs nicht immer rational betriebswirtschaftlich gesetzt werden, sondern politisch auch unter dem Gesichtspunkt der regionalen Förderung. Subventionierung als Maßnahme der Regionalentwicklung ist nicht auszuschließen.

6.4.4 Gesamtwirtschaftliche Auswirkungen

Aus den Ausführungen im vorigen Abschnitt ergibt sich, dass die Nachfrager nach Luftverkehrsleistungen, ob als Passagier oder als Versender oder Empfänger von Luftfracht, nur mit geringen oder gar keinen Kostensteigerungen rechnen müssen, die sich aus den in diesem Forschungsvorhaben betrachteten Maßnahmen ergeben. Auch von den Preisen unabhängige Angebotsverschlechterungen (z. B. weniger Flexibilität, geringere Flugfrequenzen) sind nicht zu erwarten, da mit Ausnahme vom Grenzwert-Szenario 2 die Grenzwertverschärfungen der ohnehin stattfindenden Flottenerneuerung angepasst sind. Damit sind keine negativen gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen zu erwarten.

Für die Hersteller von Triebwerken und Fluggerät sind positive Effekte zu erwarten, da die lärmreduzierten neuen Triebwerke aufwendiger herzustellen sind und damit teurer sein werden. Im Verhältnis zum gesamten Turbinenpreis und erst recht zum Flugzeugpreis insgesamt ist der zusätzliche Aufwand jedoch relativ niedrig, entsprechend gering dürfte dieser positive Effekt ausfallen. Im Abschnitt 6.4.2 wurde

[157] Vgl. UBA 2001 b. Hier wurden erhebliche Preissteigerungen beim Flugkraftstoff unterstellt und bewertet.

dies für die Fluggesellschaften als Käufer bzw. Betreiber von Fluggerät entsprechend berücksichtigt.

6.4.5 Fazit

Bei den hier definierten Maßnahmen sind keine negativen Folgen für den Luftverkehr zu erwarten. Lediglich in Grenzwert-Szenario 2 könnten Kostensteigerungen auftreten, die aber, etwa in Relation zu den Kerosinpreissteigerungen in den letzten Jahren, zu vernachlässigen sind. Die lärmsenkenden Wirkungen (vgl. Kapitel 6) der Maßnahmen sind daher mit keinen oder, im Szenario 2, nur minimalen negativen ökonomischen Folgen verbunden.

Hinzuweisen ist darauf, dass in diesem Gutachten nur exemplarisch drei idealisierte Flughäfen betrachtet werden. Bei der konkreten Umsetzung der Maßnahmen sind regionale Verwerfungen nicht auszuschließen, die etwa – örtlich und regional begrenzt – durchaus Vorteile für bisher durch Fluglärm eingeschränkte Flughäfen bringen könnten und entsprechend Nachteile mit negativen ökonomischen Effekten für andere Flughäfen. Weitergehende Aussagen hierzu erfordern jedoch Einzelanalysen, die nicht Untersuchungsgegenstand dieses Forschungsvorhabens sind. Negative gesamtwirtschaftliche Folgen für Deutschland insgesamt oder den EU-Raum sind auszuschließen.

7 Zusammenfassung und Empfehlungen

Das Projekt *Verschärfung der Lärmgrenzwerte von zivilen Strahlflugzeugen* hat das Ziel, aufbauend auf den Erkenntnissen einer Status-quo Analyse, Vorschläge zur Fortschreibung von *Annex 16* auszuarbeiten sowie eine Beurteilung der Vorschläge für neue (verschärfte) Lärmgrenzwerte unter Umweltschutzaspekten sowie technischen, juristischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten vorzunehmen. Als Fortentwicklung der Lärmzertifizierung werden Empfehlungen zur Modifizierung des bisherigen Regelwerks in methodischer und technischer Art sowie zu geeigneten Größenordnungen weiterer Grenzwertverschärfungen verstanden. Die Basis stellen die Erkenntnisse aus den Kapiteln 2 bis 6 des vorliegenden Gutachtens dar.

Ergänzend wurde der Zusammenhang zwischen den Lärm- und Schadstoffemissionen von Strahltriebwerken betrachtet. Dieser so genannte Trade-off Effekt wurde im Rahmen verschiedener Untersuchungen identifiziert und z. T. auch quantifiziert. Prämisse dieser Untersuchung ist, dass die neuen Grenzwertvorschläge nach Möglichkeit nicht dazu führen sollen, dass andere nachteilige Wirkungen des Luftverkehrs (hier: Schadstoffausstoß) zunehmen.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen wird im Folgenden eine Zusammenfassung mit den daraus resultierenden Empfehlungen zur Fortschreibung von *Annex 16* gegeben. Diese beziehen sich sowohl auf kurzfristige als auch mittel- bis langfristige Maßnahmen. Das folgende Kapitel ist dreigeteilt: Der erste Abschnitt befasst sich mit den allgemeinen Schlussfolgerungen. Daran schließt sich ein Unterkapitel zum Trade-off Effekt an sowie ein Abschnitt, in dem die Konsequenzen aus der Szenariobetrachtung diskutiert werden.

7.1 Allgemeine Schlussfolgerungen

Das Zertifizierungsverfahren wird im ICAO *Annex 16* ausführlich beschrieben und stellt für die deutschen sowie die europäischen Zertifizierungsverfahren maßgebliche Vorgaben zur Verfügung, indem in der Regel ein Verweis auf das bestehende ICAO-Regelwerk zur Spezifizierung des Nachweisverfahrens erfolgt. Die Analyse hat gezeigt, dass verschiedene Aspekte im Nachweisverfahren verbesserungswürdig sind (siehe Kapitel 2.6). Darüber hinaus wurden aber auch Punkte geprüft, die in der Diskussion Dritter um das Zertifizierungsverfahren bislang wiederholt als Kritik genannt wurden, sich aber mittels selbst durchgeführter Analysen nicht bestätigt haben (Bsp. Ausnutzung des Trade-off zwischen den Messpunkten, idealisierte Messbedingungen vs. reales Fluggeschehen). Zu diesen beiden Gesichtspunkten (Eigenanalyse sowie Überprüfung Annahmen Dritter) werden im Folgenden allgemeine Schlussfolgerungen gezogen und nach Möglichkeit Vorschläge zur Berücksichtigung bzw. Anpassung unterbreitet.

Grundsätzlich erscheint es nach den Erkenntnissen aus den vorliegenden Untersuchungen sinnvoll, die **Definition zur Zielsetzung des Nachweisverfahrens** um den Aspekt Lärmschutz zu ergänzen. Dazu sollten der genannte „*Stand der Technik*" detaillierter ausgeführt und eine konkrete inhaltliche Verbindung zum Lärmschutz hergestellt werden. Bislang soll „*der Nachweis erbracht werden, dass die technische Ausrüstung des Luftfahrzeugs so gestaltet ist, dass der durch seinen Betrieb entstehende Lärm das nach dem jeweiligen Stand der Technik unvermeidbare Maß nicht übersteigt*" (LVL 2004). Eine Konkretisierung dieser Passage, indem zum Beispiel konkrete Lärmzielwerte definiert werden, könnte gleichzeitig einen Beitrag zur langfristigen Planungssicherheit für die Luftfahrtbranche leisten, aber vor allem helfen, dass dem Lärmschutz im Zertifizierungsverfahren ein höheres Gewicht beigemessen wird. Die Berücksichtigung konkreter Zielvorgaben in Form von dB-Werten sollte, unter Beachtung zu erwartender Technologiefortschritte, im Rahmen sinnvoller Aktualisierungsroutinen erfolgen in (s. u.).

In der bisherigen Systematik der Grenzwertfestlegung sind konstante Unter- und Obergrenzen in Bezug auf das maximale Abfluggewicht (MTOM) vorgesehen. Aus Umweltgesichtspunkten sind feste Ober- und Untergrenzen nicht zu begrüßen, weil damit in bestimmten Fällen keine weiteren Anreizwirkungen zur Emissionsminderung geschaffen werden. Deswegen wird eine **Anpassung der Bemessungsgrundlage** für wichtig erachtet. Mit der in Kürze zu erwartenden Inbetriebnahme des Großraumflugzeugs A 380 in den Linienbetrieb wird ein Flugzeugtyp mit ca. 560 t MTOM (bzw. 590 t MTOM bei der Cargoversion) zertifiziert, das damit über dem bisherigen Maximum eines zivilen Flugzeugtyps liegt (Airbus 2006). Die derzeitige Ausgestaltung der Grenzwerte beinhaltet durch die konstante Fortführung über einem bestimmten maximalen Abfluggewicht eine verschärfte Regelung für die betroffenen Flugzeuge, die aus Sicht des Lärmschutzes positiv zu bewerten ist. Damit werden aber Flugzeugtypen mit unterschiedlichem maximalem Abfluggewicht gleich bemessen. Die untere konstante Grenze bei der Grenzwertfestlegung wurde bereits als Schwachpunkt identifiziert, weil leichtere Strahlflugzeuge (z. B. Leerjet 55, Cessna 560) am unteren Ende der Gewichtsskala bevorzugt werden, indem unterhalb bestimmter Abfluggewichte die Grenzwerte konstant ausgestaltet sind (siehe Kapitel 2.5). Die Bevorzugung bzw. Benachteiligung der betroffenen Maschinen ist nicht nachvollziehbar, selbst wenn diese Flugzeuge selten verkehren und nur einen geringen Beitrag zu den Gesamtgeräuschemissionen leisten. Eine sinnvolle Begründung für die Verwendung konstanter Grenzwerte kann aus Sicht der Lärmbetroffenen nicht getroffen werden, weil weder eine allgemein akzeptierte Bagatellgrenze noch eine definierte Obergrenze für zumutbare Geräuschemissionen existiert. Die Bemessung über eine kontinuierliche Skala wird im Allgemeinen bevorzugt. Ein alternativer Ansatz für eine aus Sicht der Wirkungsseite geeignete Bemessungsgröße könnte die Berücksichtigung der Geräuschemission pro Sitzplatz sein. Die Auswertung in Kapitel 3.4.1 hat gezeigt, dass eine entsprechende Analyse unter Berücksichtigung einer Differenzierung auf einzelnen Flugzeugtypen möglich ist.

Für das Messverfahren erscheint eine **Überprüfung des verwendeten Lärmindex** hilfreich, weil der bislang verwendete Lärmstörpegel EPNL nicht unumstritten ist. Es handelt sich um einen langjährig bewährten Lärmindex, der unter Berücksichtigung der besonderen akustischen Eigenschaften des Fluglärms extra für die Zertifizierung entwickelt wurde. Damit werden diverse Kritikpunkte an den etablierten Lärmmassen auf dB(A) Basis erfasst, um die Situation der Lärmbetroffenen besser erfassen zu können, indem zusätzliche Bewertungsgrößen (z. B. Tonkorrektur) einfließen (siehe auch Kapitel 2.5). Allerdings hat sich der EPNL (bislang) für sonstige Anwendungen nicht durchgesetzt und ist mit anderen Lärmindizes nicht kompatibel oder vergleichbar. In allen bekannten Studien im Bereich der (Flug-) Lärmwirkungsforschung (siehe Anhang I) wird nicht der EPNL verwendet, sondern Mittelungspegel oder Einzelschallpegel auf Basis der Maßeinheit dB(A). Aufgrund dieser zu konstatierenden Vor- und Nachteile für die Verwendung des Lärmstörpegels sollte nach Möglichkeit eine kritische Abwägung stattfinden.

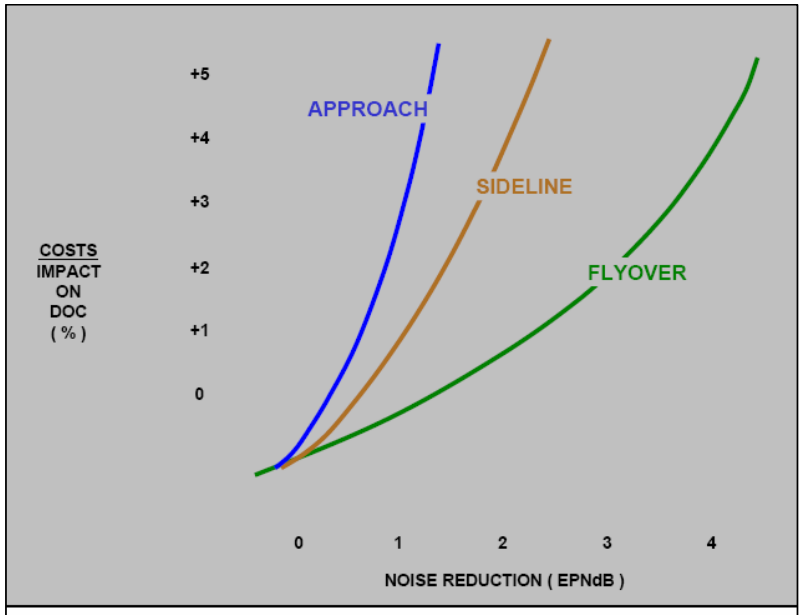
Als verbesserungsfähig wird weiterhin die **Dokumentation der Zertifizierung** in Bezug auf die Darstellung für die interessierte Öffentlichkeit angesehen, nachdem für die Fachwelt eine umfassende Dokumentation des Verfahrens sowie der Ergebnisse in Form einer Datenbank bereits gewährleistet wird. Wichtiger Bestandteil einer transparenten und nachvollziehbaren Darstellung für unterschiedliche Zielgruppen der Öffentlichkeit wäre eine sachgerechte Offenlegung des Nachweisverfahrens sowie Aufbereitung der Messergebnisse. Eine **Vereinheitlichung** sollte u. a. bei der Veröffentlichung der Lärmlisten bei den zuständigen Stellen (z. B. derzeit LBA für Deutschland) angestrebt werden, die sich an den existierenden Referenzen der ICAO orientieren sollten. Der Vergleich unterschiedlicher zugänglicher Lärmlisten zeigte, dass die Bezeichnung der zertifizierten Flugzeugtypen nicht eindeutig gewählt wurde, so dass ein Abgleich verschiedener nationaler Veröffentlichungen erschwert wurde.

Weiterhin erscheint es auch sinnvoll zu prüfen, ob zukünftig von den normierten Flugverfahren der Zertifizierungsmessung abgesehen werden kann und stattdessen An- und Abflugbedingungen gewählt werden, die dem **realen Fluggeschehen** an einem Verkehrsflughafen entsprechen. Damit könnte die Akzeptanz der Zertifizierungsmessreihen in der Öffentlichkeit deutlich erhöht werden. Alternativ sollte untersucht werden, ob die positiven Ergebnisse der Studie an den Londoner Flughäfen zur Validierung der Differenz zwischen realen Lärmmessungen und Zertifizierungswerten zu verallgemeinern sind (siehe Kapitel 2.6).

Ebenso kann eine unterschiedliche **Gewichtung der drei standardisierten Zertifizierungsmessstellen** aus Sicht der Lärmbetroffenen nicht empfohlen werden. Betroffenheiten können rund um einen Flughafen existieren und eine Präferenz zugunsten eines bestimmten Messortes kann nicht gezogen werden. Die Auswertungen in Kapitel 2.5 haben auch gezeigt, dass keine systematischen Trends zugunsten oder zulasten eines einzelnen Messortes für einzelne Flugzeugtypen, -baureihen oder Hersteller nachweisbar sind. Insofern sich zwischen den Zertifizierungsmessstellen unterschiedliche Bewertungen aufgrund von Kosten-Nutzen-

Betrachtungen ergeben (siehe Abbildung 37), können diese im Rahmen von Abwägungsentscheidungen bei der Umsetzung berücksichtigt werden. Die Berücksichtigung einer Reduzierung der Grenzwerte um eine kumulierte Marge, wie sie mit Einführung des *Chapter-4* Standards erfolgte, kann demzufolge ebenfalls als sinnvoll erachtet werden. Weiterhin kann aber die bestehende **Differenzierung nach der Anzahl der Triebwerke** beim Lärmgrenzwert für den Startüberflug nicht nachvollzogen werden. Aus Sicht des Lärmschutzes ist allein entscheidend, welche Geräuschimmissionen auftreten, unabhängig von der Anzahl der Lärmquellen. Demzufolge sollte auf diese Differenzierung zukünftig verzichtet werden, damit die Strahlflugzeuge nach den gesamten Geräuschemissionen eingestuft werden. Weitergehende Schlussfolgerungen zur Definition der einzelnen Lärmgrenzwerte bzw. der zugehörigen Kurvenverläufe sind nicht Gegenstand der Untersuchungen gewesen bzw. konnten anhand der zur Verfügung stehenden Ergebnisse nicht ermittelt werden und sollten Bestandteil weitergehender Untersuchungen darstellen.

Abbildung 37 Zusammenhang zwischen Lärmreduktion und Einfluss auf die Ausgaben



Quelle: Kors 2004

Schließlich sollte zur **regelmäßigen Aktualisierung** der Zertifizierungsgrenzwerte ein Anpassungsturnus, unter Beachtung der Produktzyklen in der Luftfahrtbranche, erfolgen, der den fortlaufenden technischen Fortschritt berücksichtigt. Der technische Fortschritt lässt derzeit für das Gesamtsystem Flugzeug bis zum Jahr 2020 eine Halbierung des Lärms erwarten (siehe ACARE Vision 2020 in Kapitel 4.9). Diese Perspektive wurde in den bisherigen Grenzwertfestlegungen zur Lärmzertifizierung aber noch gar nicht berücksichtigt, sondern diese zielen lediglich auf den bereits

vorhandenen Stand der Technik ab. Mit der Einführung des *Chapter 4* zum Januar 2006 wird der bereits bestehende Stand der Technik nachvollzogen. Ein Großteil der in Betrieb befindlichen Flugzeugtypen erfüllt diesen Standard bereits (siehe Kapitel 2.8). Ebenso ist nach den bisherigen Erfahrungen zur Überarbeitung der Zulassungsgrenzwerte nicht zu erwarten, dass die technologischen Fortschritte zeitnah in der ICAO-Norm Niederschlag finden. Damit werden über die Lärmzertifizierung unmittelbar keinerlei Anreize geschaffen, die bestehenden Emissionswerte zu optimieren. Das Instrument der Zertifizierung sollte jedoch dazu genutzt werden, die Geräuschimmissionssituation zu verbessern. Über die Ausgestaltung der Szenarien in Kapitel 5 sowie die Fluglärmberechnungen in Kapitel 6 konnte gezeigt werden, dass mittels einer Fortschreibung der geltenden Regelungen zur Lärmzertifizierung Lärmminderungseffekte bzw. eine Reduktionen der verlärmten Bereiche im Flughafenumfeld möglich sind.

7.2 Schlussfolgerungen zum Trade-off Effekt

Als Trade-off Effekt werden Austauschfaktoren zwischen unterschiedlichen und miteinander konkurrierenden bzw. gegenläufigen Designzielen am Gesamtsystem Flugzeug (inkl. Triebwerk) verstanden (Details siehe Kapitel 4.8). Auf diese Problematik wird u. a. im IPCC-Report *Aviation and the Global Atmosphere* (IPCC 2001) im Zusammenhang mit der bisherigen Flugzeug Performance Bezug genommen, indem die Berücksichtigung alternativer Designansätze angeregt wird. Die speziellen Wechselwirkungen zwischen den Lärm- und Abgasemissionen eines Triebwerks sind nur äußerst schwer zu erfassen und können deswegen ebenso schwer einer Bewertung unterzogen werden. Die Schwierigkeiten sind u. a. darin begründet, dass aufgrund der Vielzahl aktueller Technologieentwicklungen kein einheitliches Triebwerks- oder Flugzeugprodukt definierbar ist, für das eine geeignete Referenzbasis festgelegt werden könnte. Als Empfehlung für die weitere Technologieentwicklung sollte dem Designfaktor *Gewicht* eine entscheidende Rolle zukommen, weil er die wichtigste Stoßrichtung adressiert, so dass die beiden Designziele Minimierung der Lärm- und Abgas-Emissionen im Rahmen gewisser Grenzen parallel erreichbar sind. Das Designziel *Gewicht* erscheint besonders geeignet, weil sämtliche Maßnahmen zur Beeinflussung der relevanten Umweltziele (CO_2-, NO_x- und Lärmreduktion) z. T. deutliche Gewichtsauswirkungen haben und u. a. die Möglichkeit zur Übertragbarkeit auf Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen am Gesamtsystem Flugzeug besteht. Berücksichtigung findet dieser Ansatz beispielsweise beim IRA Triebwerk, das niedrige Lärm- und Abgasemissionen ermöglicht, aber ein nennenswertes Mehrgewicht besitzt.

Anhand einer Analyse der technologischen Zielrichtungen für die verschiedenen Systemelemente (Flugzeug, Triebwerk, Triebwerksmodule) kann unter Berücksichtigung der drei Umweltziele eine gemeinsame Schlussfolgerung gezogen werden: Die Verwendung eines konventionellen Triebwerksdesigns mit möglichst

hohen Druck- und Temperaturwerten am Verdichteraustritt bzw. Brennkammereintritt ist zur Optimierung des Brennstoffverbrauchs sowie für ein hohes Nebenstromverhältnis günstig. Damit verbundenen sind aber erhöhte NO_x-Emisisonen, die sich wiederum über modifizierte Triebwerksmodule (z. B. Doppelringbrennkammer, luftgestufte Brennkammer), die in konventionelle Triebwerke integrierbar sind, signifikant mindern lassen. Der Getriebefan (GTF) ist eine Bauform des Fan-Antriebs, die mittelfristig (nächste Triebwerksgeneration) realisiert werden kann. Das rekuperative[158] Triebwerk mit Zwischenkühlung (*Intercooled recuperatives Aeroengine*, IRA) stellt ein Triebwerkskonzept zur Erreichung der Zielsetzung von *ACARE Vision 2020* dar. Dieses so genannte IRA-Triebwerk ist langfristig (> 2020) realisierbar. Anhand dieser zwei ausgewählten Beispiele für zukünftige Triebwerkstechnologien kann gezeigt werden, dass die beiden Designziele Minimierung der Lärm- und Abgasemissionen bereits erfolgreich im Rahmen geplanter bzw. zum Teil bestehender Triebwerkskonfigurationen erreicht werden und deren gleichzeitige Umsetzung zukünftig möglich sein könnte.

7.3 Konsequenzen aus der Szenariountersuchung

Die **Ergebnisse der Szenariountersuchung** liegen zur Beurteilung als Fluglärmberechnungen vor (siehe Kapitel 6). Die Ergebnisse weisen geringere Lärmminderungseffekte aus, als im Voraus aufgrund der Ausgestaltung der Szenarien erwartet wurde. Es wurden Annahmen getroffen, die alle als technisch realisierbar einzustufen sind, aber z. T. auch die Umsetzung umfangreicher Aktivitäten und Anstrengungen notwendig machen. Die Annahmen zur Ausgestaltung der Szenarien berücksichtigen eine deutliche Grenzwertverschärfung. Damit werden anspruchsvolle Qualitätsstandards zu den Geräuschemissionen der modernsten Flugzeuge berücksichtigt und für diese Szenarien operationalisiert.

Es wurden zwei Szenarienpakete mit den Zeithorizonten 2012 und 2020 untersucht. Hierfür wurden jeweils Referenzszenarien fortgeschrieben und zusätzlich je zwei Szenarien entwickelt, bei denen begleitende Maßnahmen bzw. eine Grenzwertverschärfung eingeführt wurden. In den Kurzfristszenarien wurden Maßnahmen betrachtet, die sich am optimalen derzeitigen Stand der Technik hinsichtlich Lärmminimierung orientieren, wobei in einem Szenario alle ab 2007 neu zugelassenen Flugzeuge diesen Stand der Technik erfüllen und im zweiten, einem so genannten Grenzwert-Szenario, alle Flugzeugbewegungen mit dieser Technik durchgeführt werden. Für den mittel- bis langfristigen Zeithorizont wurde ein Szenario entwickelt, bei dem eine Grenzwertverschärfung im Jahr 2015 in Höhe von 32 EPNdB eingeführt wird. Das zweite Szenario für 2020 berücksichtigt zusätzlich, dass ab 2007 nur noch Fluggerät mit dem optimalen Stand der Technik aus Sicht der Geräuschemissionen zum Einsatz gelangt. Das Ergebnis der Lärmberechnungen hat ergeben, dass die

[158] Rekuperation: Erwärmung der Luft in Verbrennungsanlagen durch heiße Abgase.

mittlere Pegelabnahme im Grenzwert-Szenario 2 bis zu 2,1 dB(A) beträgt. In den übrigen Szenarien werden mittlere Pegelminderungen bis maximal 1,2 dB(A) erreicht (siehe Tabelle 32 und Details in Kapitel 6.2).

Tabelle 29 Übersicht Effekte der Szenariountersuchung für die drei Flughafentypen

Flughafentyp			Szenario 1	Grenzwert-Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
			zu Referenz 1		zu Referenz 2	
Typ A	Flächendifferenz	%-Anteil	-2 %	-25 %	-6 %	-10 %
	Pegeldifferenz	dB(A)	-0,18	-2,12	-0,39	-0,63
Typ B	Flächendifferenz	%-Anteil	-3 %	-23 %	-11 %	-15 %
	Pegeldifferenz	dB(A)	-0,09	-1,01	-0,46	-0,58
Typ C	Flächendifferenz	%-Anteil	-6 %	-29 %	-15 %	-23 %
	Pegeldifferenz	dB(A)	-0,32	-1,71	-0,69	-1,19

Anmerkung: Alle Ergebnisse beziehen sich auf die ermittelte **Differenz zum Referenzfall**; Angabe zur Flächendifferenz bezieht sich auf das Belastungsniveau > 60 dB (siehe Details Tabelle 27); Angabe zur Pegeldifferenz entspricht dem Mittelwert aus der statistischen Auswertung (siehe Details Tabelle 28).

Der Trend innerhalb der Lärmberechnungen ist für alle betrachteten idealisierten Flughäfen vergleichbar. Aufgrund dieses Ergebnisses stellt sich die Frage, warum der Minderungsbeitrag nicht größer ausgefallen ist. Dies lässt sich weitestgehend mit der Dominanz einzelner lauter Flugzeugtypen sowie mit der großen Anzahl bereits relativ lärmarmer und gleichzeitig relativ neuer Mittelstreckenflugzeuge erklären, bei denen kein kurzfristiger Austausch zu erwarten ist. Diese Schlussfolgerungen ergeben sich aufgrund der nachfolgenden Analyse des zukünftigen Flottenmixes, wie er im Rahmen der Ausgestaltung der Szenarien entwickelt wurde (siehe Kapitel 5.3).

7.3.1 Analyse des zukünftigen Flottenmixes

Als durchschnittliche **Betriebsdauer eines einzelnen Flugzeugs**, die durch die intensive und umfangreiche Wartung der Flugzeuge möglich wird, sind bis zu ca. 30 a anzusetzen. Das durchschnittliche Alter der Lufthansaflotte beträgt beispielsweise ca. 8,1 a (Stand Ende 2004 nach Lufthansa 2005 b). Ein Blick auf die weltweite Flotte zeigt, dass man von einem Durchschnittsalter von ca. 10,8 Jahren (IATA-Flotte) ausgehen kann (Stand Ende 2003, Lufthansa 2005 b). Zusätzliche Differenzierungen hinsichtlich des Alters ergeben sich beispielsweise zwischen einer Langstreckenflotte und den Luftfahrzeugen der Frachterflotte. Weiterhin kann man davon ausgehen, dass die Flottenplanung der einzelnen Airlines langjährige Vorläufe hat, so dass kurzfristige Änderungen bzw. Reaktionen auf veränderte Rahmenbedingungen in der Regel nicht realisierbar sind. Die Betriebsdauer und Vorläufe zur Beschaffung neuen Fluggerätes

sind entscheidende Gründe dafür, dass in den Szenarien bis 2020 die Minderungen der Lärmpegel durch eine Verschärfung der Lärmgrenzwerte im Jahr 2015 zunächst recht gering ausfallen, also bis zum Jahr 2020 noch nicht abgebildet werden können.

Im Rahmen der langfristigen Szenarien wurden **Annahmen zu den neu hinzukommenden Flugzeugtypen** getroffen, die sich an der Zielsetzung von *ACARE Vision 2020* orientieren. Hierzu wurde ein neuer fiktiver „*Chapter 5*“ Standard definiert, indem die Emissionskennwerte eines durchschnittlich lauten Flugzeugs entsprechend gesenkt und diese für sämtliche neuen Flugzeuge im Zeitraum von 2015 bis 2020 berücksichtigt wurden. Diese neu definierten Flugzeugtypen tragen in allen Szenarien nur unwesentlich zur Schallleistung bei, weil deren Anteil an der Gesamtenergie trotz eines Anteils an den Flugbewegung von bis zu 20 % lediglich zwischen 1 und 3 % bzw. aufsummiert über die sechs neu eingeführten Typen bis zu maximal 5 % beträgt (siehe Tabelle 30). Selbst wenn der Anteil dieser Flugzeuge deutlich verändert würde, würde die Gesamtschallleistung nicht wesentlich beeinflusst, so dass sich lediglich geringe Änderungen in den Geräuschimmissionen ergäben. Die gleiche Schlussfolgerung lässt sich auch für den Fall ziehen, falls noch weitergehende Lärmminderungspotenziale durch technische Verbesserungen am Flugzeug erschlossen werden könnten.

Tabelle 30 Übersicht Anzahl und Anteil der Flugbewegungen mit „*Chapter 5*“ Flugzeugen

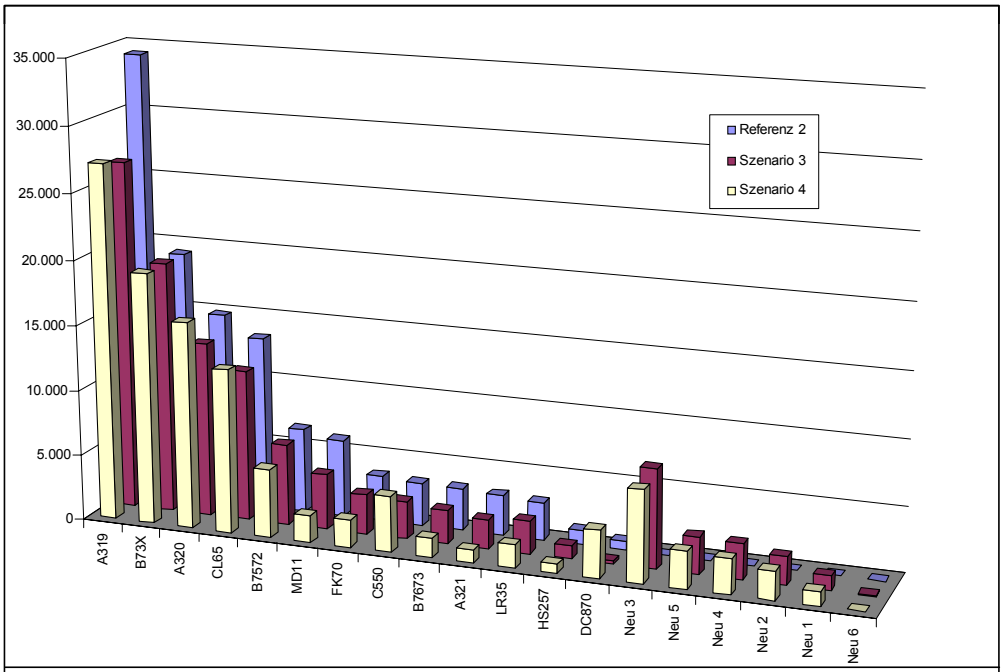
	Flughafen Typ A				
	Flugbewegungen				Geräuschanteil
	≤ *Chapter 4*		„*Chapter 5*“		„*Chapter 5*“
Referenz 2	363.005	100 %	0	0 %	0
Szenario 3	292.976	81 %	70.029	19 %	1 %
Szenario 4	292.976	81 %	70.029	19 %	1 %
	Flughafen Typ B				
Referenz 2	123.501	100 %	0	0 %	0
Szenario 3	107.064	87 %	16.437	13 %	5 %
Szenario 4	99.172	80 %	24.329	20 %	5 %
	Flughafen Typ C				
Referenz 2	102.501	100 %	0	0 %	0
Szenario 3	91.161	89 %	11.340	11 %	3 %
Szenario 4	86.257	84 %	16.243	16 %	4 %

Anmerkung: Der Geräuschanteil für „*Chapter 5*“ Flugzeugtypen gibt den Anteil an der Gesamtenergie (Intensität multipliziert mit der Anzahl der Bewegungen) wieder.

Diese Ergebnisse werden ebenso durch eine weitergehende Analyse differenziert nach einzelnen Flugzeugtypen bestätigt. Aufgrund der Annahmen zur Entwicklung des Flugzeugmixes ergeben sich im Verlauf der betrachteten 15 Jahre relativ konstante

Entwicklungen für die einzelnen Flugzeugtypen (siehe Abbildung 38, Bsp. Flughafen Typ C).

Abbildung 38 Anzahl der Flugbewegungen pro Flugzeugtyp für die langfristigen Szenarien am Flughafen Typ C



Anmerkung: Anzahl der Flugbewegungen für Strahlflugzeuge mit >1.000 Bewegungen

Eine zusätzliche **Sensitivitäts-Analyse** in Form einer Auswertung der Energieanteile[159] für die einzelnen Flugzeugtypen an der Gesamtbelastung zeigt, dass an allen drei betrachteten Flughäfen sowie über alle untersuchten Szenarien hinweg wenige Typen bestimmend sind (siehe Tabelle 31). Außerdem zeigt die Auswertung, dass sich die Energieanteile der mittel- bis langfristigen Szenarien für die **lärmintensivsten Flugzeugtypen** nur geringfügig voneinander unterscheiden und daher keine großen Unterschiede in der Lärmbelastung zu erwarten sind (siehe Tabelle 34). Bei den dominanten Flugzeugtypen handelt es sich typischerweise um Flugzeugtypen des *Chapter 3* wie die A 320, A 321, MD 11 oder B747-400[160], die für die betrachteten idealisierten Flughäfen bis zu 90 % der Gesamtschallleistung beitragen (Details siehe Anhang AC). Bei einer Betrachtung der absoluten Energienanteile der lärmintensivsten

[159] Zur Ermittlung der Energieanteile der einzelnen Flugzeugtypen wurden die spezifischen Intensitäten der Flugzeuge aus der Empa-Datenbank (resultierende Ereignispegel für einen standardisierten Überflug) mit der Anzahl der Bewegungen multipliziert.

[160] Am Flughafen Typ A entsprechen die fünf lärmintensivsten Typen (B7474, A320, A321, A3403 und MD11) zwischen 59 und 65 % der Gesamtenergie. Flughafen Typ B (B737, A320, A319, A321 und A3103) zwischen 69 und 88 %; Flughafen Typ C (MD11, A319, A320, B737, B7673) zwischen 61 und 75 %.

Flugzeugtypen ergibt sich ein vergleichbares Bild, weil der Anteil an Flugbewegungen für die einzelnen Typen innerhalb der untersuchten Szenarien nahezu konstant bleibt.

Tabelle 31 Schallenergieanteile der fünf lärmintensivsten Flugzeugtypen am Flughafen Typ A

	Referenz 1		Szenario 1		Grenzwert-Szenario 2		Referenz 2		Szenario 3		Szenario 4	
Typ	E-%	B-%	E-%	B-%	E-%	B-%	E-%	B-%	E-%	B-%	E-%	B-%
B 7474	34	8	33	7	0	0	35	8	35	7	32	6
A 320	8	15	9	18	30	31	8	16	8	14	10	17
A 321	9	11	8	9	0	0	10	12	10	10	8	8
A 3403	4	4	6	5	29	13	4	4	4	4	7	5
MD 11	8	2	6	1	0	0	8	2	8	2	6	1
∑	63	40	62	40	59	44	65	42	65	37	63	37

Anmerkung: E-% entspricht dem Anteil an der Gesamtenergie (Intensität multipliziert mit der Anzahl der Bewegungen); B-% entspricht dem Anteil an den berücksichtigten Flugbewegungen.

7.3.2 Abschließende Empfehlungen und Ausblick

Die Fortschreibung der Lärmzertifizierung allein reicht nicht aus, um die gewünschten positiven Effekte in der Geräuschimmissionssituation im Umfeld der Flughäfen zu erreichen. Für eine nennenswerte Entlastung der Lärmbetroffenen bzw. eine hörbare Lärmminderung ist demzufolge die Kombination mit weiteren Lärmschutzmaßnahmen, unter Berücksichtigung der lokalen Gegebenheiten, notwendig. Die **Fortschreibung der Lärmzertifizierung** muss dabei als ein wichtiger Baustein für ein erfolgreiches Lärmschutzkonzept berücksichtigt werden. Die Bewertung der Szenarioergebnisse zeigt, dass unter Annahme verschiedener zusätzlicher Maßnahmen (z. B. Bevorzugung lärmarmer bzw. Vergrämung lauter Flugzeugtypen) über eine Grenzwertverschärfung Lärmminderungserfolge erzielt werden können. Demzufolge kann auf keinen Fall darauf verzichtet werden, die Anstrengungen im Bereich der technologischen Verbesserungen zur Lärmminderung zu reduzieren oder gar zu unterlassen. Das *Grenzwert-Szenario 2* weist deutliche Lärmminderungseffekte auf. Das Szenario wurde in der Art gewählt, dass ein maximaler Lärmminderungseffekt auf Basis des derzeitigen Stands der Technik aufgezeigt wird. Die Ausgestaltung dieses Szenarios besitzt eher theoretischen Charakter, da der kurzfristige Wechsel innerhalb der kompletten Flugzeugflotte (entsprechend der getroffenen Annahmen) nicht zu erwarten ist. Mit den in diesem Szenario getroffenen Annahmen konnte dargestellt werden, welche Lärmminderung maximal möglich ist.

Die Annahmen zur Ausgestaltung der mittel- bis langfristigen Szenarien für dieses Gutachten berücksichtigen eine **Grenzwertverschärfung** ab 2015. Hierzu wird eine geschätzte Lärmminderung um kumulativ bis zu 32 EPNdB für das gesamte Flugzeug gegenüber *Chapter 3* (bzw. bis zu 22 EPNdB gegenüber *Chapter 4*) ab 2015 als technisch realisierbar angenommen, indem die bisherige Kenntnisse und Erfahrungen über die technischen Entwicklungspotenziale berücksichtigt werden. Kenntnisse über geeignete Technologien stehen bereit, die einen entsprechenden Produktreifegrad besitzen bzw. deren technische Machbarkeit erwartet wird (Details siehe Kapitel 5.3.2). Diese Annahme zur möglichen Verschärfung der Zertifizierungsgrenzwerte orientiert sich dabei an der Roadmap *ACARE 2020* als Selbstverpflichtung der europäischen Luftfahrtbranche gegenüber dem Status-quo. *ACARE 2020* zielt u. a. mit einer Halbierung des Lärmempfindens auf die Etablierung neuer Umweltstandards in der zivilen Luftfahrt im betrachteten Zeitraum bis 2020 (Details siehe Kapitel 4.6).

Für eine Erfolg versprechende Strategie sollte eine abgestimmte und ausgewogene Vorgehensweise, die die spezielle lokale Situation berücksichtigt, gewählt werden, wie sie mit dem von der **ICAO** entwickelten Ansatz des ***„Balanced Approach"*** bereits entwickelt wurde. Dieser Ansatz sieht als Gesamtlösung eine flughafenspezifische Prüfung und Lösung statt eines globalen Ansatzes vor. Als geeignete Bausteine werden im *Balanced Approach* neben der Lärmminderung an der Quelle ergänzend v. a. die Flächennutzungsplanung, lärmmindernde Flugverfahren und weitere Betriebsbeschränkungen genannt (siehe Kapitel 2.3.5.1). Wesentliche Merkmale bei der Umsetzung des *Balanced Approach* sind die Transparenz des Verfahrens, die Konsultation der betroffenen Akteure und die Berücksichtigung der Kosten. Die Initiative entsprechende Maßnahmen anzustoßen, muss von den zuständigen politischen Akteuren kommen bzw. vom Gesetzgeber losgetreten werden. Entscheidend ist, dass der Gesetzgeber einen klaren politischen Rahmen für Zeitrahmen und Zielsetzung, insbesondere für die zukünftigen Zertifizierungswerte, setzt und somit auch für die Luftfahrtbranche Planungssicherheit hinsichtlich der zu erfüllenden Anforderungen schafft. Zu beteiligen ist während der Umsetzung im Rahmen eines solchen Ansatzes eine Reihe von betroffenen Akteuren, die für den Betrieb eines Flughafens verantwortlich sind. Hierzu zählen v. a. der Flughafenbetreiber, die Flugsicherung (DFS), die Genehmigungsbehörde, die Luftaufsichtsbehörde und die Luftverkehrsgesellschaften. Eine weitere wichtige Rahmenbedingung für einen ausgewogenen Ansatz nach den Vorgaben der ICAO ist die Berücksichtigung der notwendigen Planungshorizonte der Luftverkehrsbranche (für die Einführung technischer Entwicklungen, für die Vorbereitung der Flughafenkoordination, die Änderung der An- und Abflugrouten etc.). Der für diese Untersuchung gewählte Zeithorizont (2020) greift in Teilen zu kurz, so dass der langwierige Prozess der Flottenerneuerung allein kaum spürbare Lärmschutzerfolge aufzeigt (s. o.). Die getroffene Wahl ist aber v. a. durch die zur Verfügung stehenden Luftverkehrsprognosen bedingt.

Seitens der zuständigen Akteure an einem Flughafen können aber durchaus **weitergehende Maßnahmen** ergriffen werden, um Lärmminderungspotenziale zu erschließen. Dazu sind im Rahmen dieser Studie wesentliche rechtliche Schritte geprüft und als möglich identifiziert worden (siehe Kapitel 5.4). Weitere Maßnahmen des aktiven Schallschutzes stehen grundsätzlich zur Verfügung und können nach eingehender Prüfung ggf. in die Praxis umgesetzt werden (siehe Anhang AB). Eine sinnvolle Unterstützung könnte darin bestehen, dass auch seitens der ICAO dem Thema Lärmschutz eine stärkere Bedeutung zukommt und z. B. als Bestandteil der allgemeinen Zieldefinitionen im *ICAO Memorandum* aufgenommen wird. Bislang wird von der ICAO dem Lärmschutz an keiner zentralen Stelle entscheidende Bedeutung beigemessen, sondern im Kontext des allgemeinen Umweltschutzes abgehandelt.

Als positive Möglichkeit für eine Aktivität der ICAO würde sich die Möglichkeit anbieten, dass der **Phase-out der *Chapter 3* Flugzeuge** möglichst frühzeitig vorbereitet wird, indem die Erfahrungen in Bezug auf die *Chapter 2* Flugzeuge aufgegriffen werden. Eine solche Regelung widerspricht den derzeitigen Vorgaben der ICAO, wie sie im *Balanced Approach* definiert wurden, aber sie erscheint sinnvoll. Eine entsprechende Regelung ist aus rechtlicher Sicht grundsätzlich möglich und ein Phase-out kann als besonders Erfolg versprechend angesehen werden. Damit können insbesondere die wenigen besonders lauten Flugzeuge, die in bestimmten Situationen die Geräuschemission dominieren, erfasst werden. Auf europäischer Ebene erscheint eine solche Lösung aus rechtlicher Sicht auch möglich, ist aber anscheinend aufgrund der internationalen Verflechtungen im Luftverkehr sowie der z. T. restriktiven Kriterien der ICAO zum *Balanced Approach* schwierig umzusetzen (siehe Kapitel 5.4.1).

Ein weiteren wichtigen Ansatzpunkt, neben den lauten Maschinen, stellen die besonders häufig verkehrenden Flugzeugtypen dar, die für den Flughafenbetreiber von besonderer Bedeutung sind. An allen untersuchten Flughäfen dominieren moderne Mittelstreckenflugzeuge in der Anzahl der Flugbewegungen, die als Ansatzpunkt für Lärmminderungsmaßnahmen schwierig zu erfassen sind, weil sie bereits zu den lärmarmen Maschinen zählen, aber aufgrund der Vielzahl einen wesentlichen Beitrag zu den Geräuschimmissionen leisten. Eine weitergehende Differenzierung dieser Flugzeugtypen hinsichtlich der Lärmemissionen, die eine nennenswerte Spannbreite betragen, ist über eine **geeignete Bepreisung** der Mittelstreckenflugzeuge (z. B. im Rahmen von lärmabhängigen Start- und Landeentgelten) möglich. Damit kann über weitergehende Maßnahmen des aktiven Schallschutzes eine örtliche und/oder zeitliche Verlagerung der Flugbewegungen bewirkt werden, die allerdings über die im Rahmen dieser Studie untersuchte Fortentwicklung der Zertifizierung nicht in einem vergleichbaren Maß möglich erscheint.

Die abschließenden Empfehlungen verstehen die Fortschreibung zur Lärmzertifizierung als wichtigen Baustein für ein integriertes Lärmminderungskonzept, das unter Berücksichtigung der lokalen Verhältnisse an einzelnen Flughäfen entwickelt werden muss. Weitere wichtige Bausteine stellen Maßnahmen und Instrumente des passiven und aktiven Schallschutzes (z. B. lärmmindernde An- und Abflugverfahren, Betriebsbeschränkungen) dar. Diese Vorgehensweise kann mit den Anforderungen des *Balanced Approach*, der allerdings derzeit auch Grenzen aufzeigt, in Einklang gebracht werden. Eine Erfolg versprechende Lösung mit einer deutlichen Lärmminderung erscheint aber aufgrund der Ergebnisse der Szenariountersuchung zur Fortschreibung der Lärmzertifizierung mittel- bis langfristig durchaus realistisch.

8 Quellen

ACI 2005	ACI (2005): *Aircraft Noise Rating Index;* www.aci.aero
ADV 2005	Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen ADV (2005): *Jahresstatistik 2004*, ADV Berlin; www.adv-net.org/de/gfx/stats2005.php
Airbus 2004 a	Airbus (2004): *Global Market Forecast 2004-2023*; www.airbus.com
Airbus 2004 b	Airbus (2004): Airbus Environment, Health and Safety (EHS) Report: *The Airbus Way Environment*; Airbus 2004; www.airbus.com/media/environment_01.asp
Airbus 2004 c	Airbus (2004): *Aircraft Producer on their Way to the Most Ecological Transport System,* Vortrag im Rahmen der ILA 2004 von Thomas, J.; *www.dglr.de/veranstaltungen/archiv/focusing-technology*
Airbus 2006	Airbus (2006): www.airbus.com/Aircraft families/A380
AK Lärmwirkungs-fragen 2004	AK Lärmwirkungsfragen (2004): *Fluglärm 2004*, Stellungnahme des Interdisziplinären Arbeitskreises für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt, Sept. 2004; www.umweltbundesamt.de/laermprobleme/anlagen/download.html
Alber 2004	Alber, C. (2004) : *Zum Rechtsschutz gegen Fluglärm – Insbesonder gegen die Festlegung so genannter Flugrouten*, Lang Frankfurt a. M. 2004., 301 Seiten
ANOTEC 2003	ANOTEC (2003): *Study on Current and Future Aircraft Noise Exposure at and around Community Airports*; Studie im Auftrag der DG Transport; http://europa.eu.int
ATSC 2004	ATSC (2004): *Flugbetriebliche Gesamtfunktionalität Prognosenullfall 2015 und Planungsfall 2015*; Gutachten im Auftrag der Fraport AG zum Ausbau Flughafen Frankfurt Main, Unterlagen zum Planfeststellungs-verfahren
Basner et al. 2004	Basner, M.; Griefahn, B.; Guski, R. et al. (2004): *Anforderungen an ein Fluglärmgesetz aus Sicht von Lärmwirkungsforschern*; Dokumentation der Arbeitsgruppe 1, in VCD Tagungsband *Zukunftsperspektiven für den Luftverkehr und für Fluglärmbetroffene*, Fachtagung in Berlin-Köpenick, Juni 2004
Baum et al. 1998	Baum, H., Kurte, J., Schneider, A. (1998): *Der volkswirtschaftliche Nutzen des Flughafens Köln/Bonn*, Köln 1998.
BAZL 2004	Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL, Schweiz) (2004): *Lärmwerte der in der Schweiz zugelassenen Propellerflugzeuge mit mehr als 8618 kg MTOM und strahlgetriebenen Flugzeuge* (ICAO Anhang 16, Band 1; Kap. 3 od. 4), Stand Dez. 2004; www.aviation.admin.ch
BAZL 2005	Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL, Schweiz) (2005): *Bewegungen im Linien- und Charterverkehr seit 1950* aus Aviation Civile Suisse OFS 2004

Berkemann 2002	Berkemann, J. (2002): *Fluglärm – Offene aber zu lösende Rechtsfragen*, Zeitschrift für Umweltrecht 2002, S. 202 ff.
Birmanns 2000	Birmanns, S. (2000): *Internationale Verkehrsflughäfen – Völkerrechtliche Verpflichtungen und innerstaatliche Einflussmöglichkeiten des Bundes hinsichtlich kapazitätserweiternder Maßnahmen*,
Boeing 2004 a	Boeing (2004): *Current Market Outlook 2005*; www.boeing.com
Boeing 2004 b	Boeing (2004): *Boeing World Air Cargo Forecast 2004/2005*; www.boeing.com
Boeing 2006	Boeing (2006): *Airport Noise Regulation Information Web Site*; www.boeing.com/commercial/noise/flash.html
Böttcher 2004	Böttcher, J. (2004): *Re-certification Provisions (Standards and Guidelines)*; Vortrag *ICAO Noise Certification Workshop*, Montreal Okt. 2004; www.icao.int/icao/en/env/NoiseCertification_04/index.html
British Airways 2004	British Airways (2004): *Social and Environmental report 2003/2004;* www.britishairways.com
British Airways 2005	British Airways (2005): Website British Airways 2005; www.britishairways.com
Bröer & Wirth 2004	Bröer, C. & Wirth, K. (2004): *Mehr Belästigung bei gleichem Pegel*; in Zeitschrift für Lärmbekämpfung 51 (2004) Nr. 4, S. 118 ff., Springer Verlag
Bundesregierung 2000	Bundesregierung (2000): *Flughafen-Konzept* der Bundesregierung (Entwurf vom 30. August 2000)
BUWAL 2002	BUWAL (2002): *Lärmbekämpfung in der Schweiz, Stand und Perspektiven;* BUWAL Umwelt Nr. 329*;* *http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/shop/files/pdf/phpb8idkX.pdf*
CAA 2003 a	CAA (2003): CAA ERCD Newsletter Issue 4 – Aug. 2003; www.caa.co.uk
CAA 2003 b	CAA (2003): *ERCD Report 0205 Quota Count Validation Study: Noise Measurements and Analysis*; S. White, J. B. Ollerhead et al.; www.caa.co.uk
CAA 2005	CAA (2005): *Supplement to the United Kingdom AIP* S 3/2005: London Heathrow, London Gatwick and London Stansted Airports Noise Restrictions Notice 2005, 18. Jan. 2005
Caspar 2001	Caspar, J. (2001): *Zur gemeinschaftlichen Zulässigkeit unterschiedlicher Landegebühren im Luftverkehr innerhalb der EU*, ZLW 2001, S. 3 ff.
de Witt 2006	de Witt, S. (2006): *Schutzkonzepte gegen nächtlichen Fluglärm, Umwelt- und Planungsrecht*, Heft 1 2006, S. 8

Deutsch 2004	Deutsch, M. (2004): *Nachtflugverbote im Luftverkehr – Versuch einer Systematisierung*, in: Jan Ziekow (Hrsg.): Beschränkung des Flughafenbetriebs – Planfeststellungsverfahren – Raumordnungsrecht, 2004, S. 9 ff.
DFS 2006 a	DFS (2006): *Luftfahrthandbuch Bundesrepublik Deutschland*; Loseblattsammlung Stand März 2006
DFS 2006 b	DFS (2006): DFS Homepage www.dfs.de
DLR 2004	DLR (2004): *Leiser Flugverkehr, Zusammenfassender Projekt-Abschlussbericht*, Juli 2004
EMPA 1996	EMPA (1996): *Grundlagen der Lärmbekämpfung und Akustik* von Eggenschwiler, K. Dübendorf: 1996
EU-Kommission 2002	EU-Kommission (2002): *Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance*; Positionspapier der Arbeitsgruppe *WG 2 - Dose/Effect*
Eurocontrol 2004	Eurocontrol (2004): *Eurocontrol Long-Term Forecast*; www.eurocontrol.int
Eurocontrol 2005	Eurocontrol (2005): *Eurocontrol Medium-Time Forecast*; www.eurocontrol.int
FAA 2001	FAA (2001): Advisory Circular AC 36-1H *Noise Levels for US certificated and foreign Aircraft*; US Department of Transportation, Federal Aviation Administration Nov, 2001 http://www.airweb.faa.gov
FAA 2002	FAA (2002): Advisory Circular AC 36-3H *Estimated Airplane Noise Levels in A-weighted Decibels*; US Department of Transportation, Federal Aviation Administration; Nov, 2002 http://www.airweb.faa.gov
Feldhaus 2005	Feldhaus, G. (2005): *Bundesimmissionsschutzrecht – Kommentar*, 2. Auflage, C.F. Müller, Heidelberg; Stand November 2005
Fichert 1999	Fichert, F. (1999): *Umweltschutz im zivilen Luftverkehr: Ökonomische Analyse von Zielen und Instrumenten*, Berlin: Duncker und Humboldt
Fraport 2005	Fraport (2005): *Frankfurt Airport Luftverkehrsstatistik 2004*
Geisler 1997	Geisler, M. (1997): *Die „Bonusliste" des Bundesministeriums für Verkehr als Grundlage für Nachtflugbeschränkungen auf deutschen Verkehrsflughäfen?*, ZLW 1997, S. 307 ff.
Giemulla & Schmid 2005	Giemulla, E. und Schmid, R. (2005): *Luftverkehrsgesetz – Frankfurter Kommentar zum Luftverkehrsrecht*, Luchterhand Verlag, Neuwied/Kriftel, Stand Mai 2005

Giemulla 2000	Giemulla, E. (2000), *Die Grundrechtskonformität von Nachtflugbeschränkungen für den Passagierverkehr mit Bonuslistenflugzeugen und für den Frachtflugverkehr mit besonders schweren Bonuslistenflugzeugen*, ZLW 2000, S. 30 ff.
Giesbert & Geisler 1998	Giesbert, L. und Geisler, M. (1998): *„Flughafengebühren" – Neue Entwicklungen bei Entgelten für die Benutzung von Flughäfen*, ZLW 1998, S. 35 ff.
Griefahn et al. 2002	Griefahn, B.; Jansen, G.; Scheuch, K. & Spreng, M. (2002): *Fluglärm-kriterien für ein Schutzkonzept bei wesentlichen Änderungen oder Neuanlagen von Flughäfen/Flugplätzen* in Zeitschrift für Lärmbekämpfung 49(2002) Nr. 5, Seite 171 ff., Springer Verlag
Gronefeld 2004	Gronefeld, V. (2004): *Die Berücksichtigung der Lärmklassifizierung von Flugzeugen in der Flughafenplanung*, in: Ziekow, J., (Hrsg.), Speyerer Luftverkehrsrechtstag 2003, Schriftenreihe der Hochschule Speyer, Berlin 2004, S. 71
Guski 1988	Guski, R. (1988): *Können Ruhepausen im Lärm wahrgenommen werden?* in Zeitschrift für Lärmbekämpfung 35(1988) Nr. 35, S. 69 ff., Springer Verlag
Guski 2002	Guski, R. (2002): *Status, Tendenzen und Desiderate der Lärmwirkungsforschung zu Beginn des 21. Jahrhunderts* in Zeitschrift für Lärmbekämpfung 49(2002) Nr. 6, Seite 219 ff., Springer Verlag
GVA 2003	Aéroport International de Genève-Cointrin, aufbereitete und ergänzte Bewegungsliste für das Jahr 2003 mit allen Zuordnungen gem. Empa-Bericht Nr. 434'357 (GVA2003.mdb)
Ham 2003	Flughafen Hamburg GmbH, Bewegungsstatistik 2003, Mail C. Neumeier vom 11.4.2005
Hänsch et al. 2000	Hänsch, K.; Niethammer, F. und Oeser, K. (Hrsg.) (2000): *Bericht Mediation Flughafen Frankfurt/Main*
Health Council 1994	Health Council of the Netherlands (1994): Noise and Health; the Committee on Noise and Health, No. 1994/15E
HLUG 2004	HLUG (2004): *Untersuchung über den Einfluss des CDA-Verfahrens auf die Fluglärmimmissionen beim Landeanflug in der Umgebung des Flughafens Frankfurt Main*; Untersuchung im Auftrag des RDF
Hobe & Stoffel 2002	Hobe, S. und Stoffel, W. (2002) in: Hobe, Sparwasser, Stoffel, Voßkuhle, Rechtliche Fragestellungen zur Umsetzung eines Nachtflugverbots, Gutachten vorgelegt für das Regionale Dialogforum, August 2002
Hobe & Stoffel 2003	Hobe, S. und Stoffel, W. (2003): Völkerrechtliche und europarechtliche Rahmenbedingungen für die Einführung eines Nachtflugverbots am Flughafen Frankfurt /Main, ZLW 2003, S. 1 ff.

Hofmann & Grabherr 2005	Hofmann, M. und Grabherr, E. (2005): *Luftverkehrsgesetz – Kommentar*, C. H. Beck, München, Stand Februar 2005
IBERIA 2005	IBERIA (2005): *Annual Report 2004;* http://grupo.iberia.es/ingles/informeanual/ra2004uk.htm
ICAO 1993	ICAO (1993): *ICAO Annex 16: Environmental Protection Volume I – Aircraft Noise*, 3rd edition July 1993 131pp.
ICAO 1995	ICAO (1995): *Noise Trends at 4 German Airports, Effect of Aircraft Noise Certification Options*; Hintergrundinformation aus Deutschland zu CAEP/3, Treffen im Dez. 1995
ICAO 2001 a	ICAO (2001): *ICAO Forecast Economic Study Group*
ICAO 2001 b	ICAO(2001): Consolidated Statement of continuing ICAO policies and practices related to environmental protection (Assembly Resolution A33-7); www.icao.int/cgi/goto_m.pl?icao/en/trivia/ass_sess.htm
ICAO 2001 c	ICAO (2001): ICAO/CAEP Working Group 2, Airports and Operations *ICAO Balanced Approach to Noise Mitigation by* Elizabeth Andrade; www.icao.int/icao/en/env/clq01/andrade.ppt
ICAO 2004 a	ICAO (2004): *Guidance on the Balanced Approach to Aircraft Noise Management*, First Edition 2004, Doc. 9829 AN/451
ICAO 2004 b	ICAO (2004): Committee on Aviation Environmental Protection (CAEP): *Environmental Technical Manual on the Use of Procedures in the Noise Certification of Aircraft*, Third Edition 2004, Doc. 9501. www.icao.int/icao/en/download.htm
ICAO 2004 c	ICAO (2004): *Procedures for Air Navigation Services - Aircraft Operations International Civil Aviation Organization*, ICAO DOC8168 Fourth edition - 1993, Amendment 12
ICAO 2005	ICAO (2005): *ICAO Annex 16: Environmental Protection Volume I – Aircraft Noise*, 4rd edition August 2005 174pp.
Initiative Luftverkehr 2004	Initiative Luftverkehr (2004): *Masterplan zur Entwicklung der Flughafen-infrastruktur zur Stärkung des Luftverkehrsstandortes Deutschland im internationalen Wettbewerb;* www.initiative-luftverkehr.de
Interavia 2001	Interavia (2001): *ICAO moves (very carefully) on environment*, Interavia February 2001, p. 6.
Intraplan 2001	Intraplan (2001): *Verkehrsprognose 2015*; Gutachten im Rahmen des Bundesverkehrswegeplans 2003; www.bmvbw.de/artikel,-5923/Verkehrsprognose-2015.htm
Intraplan 2004	Intraplan (2004): *Luftverkehrsprognosen 2015 für den Flughafen Frankfurt Main und Prognose zum landseitigen Aufkommen am Flughafen Frankfurt Main* (Gutachten G 8 im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens Ausbau Flughafen Frankfurt Main)
IPCC 2001	IPCC (2001): Aviation and the Global Atmosphere; Special Report; www.grida.no/climate/ipcc/aviation/index.htm
Ipsen 2004	Ipsen, K. (2004): *Völkerrecht*, 5. Auflage 2004, München

ISR 2000	ISR (2000): SOURDINE, Final report (PL97-3043)
Knorr 2003/2004	Knorr, A. (2003/2004): *Die EU -„Hushkit-Verordnung" - Legitimes Umweltschutzanliegen oder Ökoprotektionismus? -*; in *Zeitschrift für angewandte Umweltforschung* (ZAU), Jg. 15/16 (2003/2004), H. 1, S. 78 ff.
Koch & Wienecke 2003	Koch, H.-J. und Wienecke, A. (2003): *Umweltprobleme des Luftverkehrs*, NVwZ 2003, S. 1153 ff.
Koch 2000	Koch, H.-J. (2000): *Aktuelle Probleme des Lärmschutzes*, NVwZ, 2000, S. 490 ff.
Koch 2003	Koch, H.-J. (Hrsg.) (2003): *Umweltprobleme des Luftverkehrs*; Nomos Verlagsgesellschaft Baden-Baden
Koch 2005	Koch, H.-J. (2005): *Das deutsche Lärmschutzrecht im Überblick* in Umweltmed Forsch Prax Heft 10 (2) Seite 112 ff. (2005), Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm GmbH, Landsberg
Köln 2004	Köln Bonn Airport, Bewegungszahlen 2004, Mail W. Vollbach vom 18.4.2005
Kommission 1999	Kommission (1999): Mitteilung der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament, den Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen Luftverkehr und Umwelt: *Wege zu einer nachhaltigen Entwicklung* vom 1. Dezember 1999, KOM(1999) 640 endgültig
Kors 2004	Kors (2004): *Significantly Lower Community Exposure To Aircraft Noise, Halfway Towards Success*; Vortrag bei der *AIAAA Aeroacoustics Conference 2004*, Manchester; www.aiaa.org/pdf/industry/presentations/aero04kors.pdf
Kryter 1959 a	Kryter, K. D. (1959): *Scaling Human reaction to the Sound from Aircraft* in Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 31, No. 11
Kryter 1959 b	Kryter, K. D. (1959): *The Meaning and Measurement of Perceived Noise Level in Noise Control*
Kupfer 2005	Kupfer, D. (2005): *Die Verpflichtung des Betreibers eines koordinierten Flughafens zur effizienten Nutzung von Start- und Landekapazitäten* Teil I, Zeitschrift für Luft- und Weltraumrecht, 54. Jahrgang, Heft 3 2005, S. 386.
Kupfer 2006	Kupfer, D. (2006): *Die Bedarfsprüfung im Fall der Lockerung eines Nachtflugverbots auf einem Flughafen*, Zeitschrift für Luft- und Weltraumrecht, 55. Jahrgang, Heft 1 2006, S. 53.
Lufthansa 2004 a	Lufthansa (2004): *Lufthansa Geschäftsbericht 2003;* www.lufthansa-financials.de

Lufthansa 2004 b	Lufthansa (2004): *Balance, Das Lufthansa Journal für Luftverkehr , Umwelt und Nachhaltigkeit 2004;* http://konzern.lufthansa.com/de/html/ueber_uns/balance/
Lufthansa 2004 c	Lufthansa (2004): Geschäftsbericht 2003 der Lufthansa Cargo AG
Lufthansa 2005 a	Lufthansa (2005): *Lufthansa Geschäftsbericht 2004;* www.lufthansa-financials.de
Lufthansa 2005 b	Lufthansa (2005): *Balance, Das Lufthansa Journal für Luftverkehr , Umwelt und Nachhaltigkeit 2005;* http://konzern.lufthansa.com/de/html/ueber_uns/balance/
MSWV 2004	Ministerium für Stadtentwicklung, Wohnen und Verkehr des Landes Brandenburg: *Planfeststellungsbeschluss Ausbau Verkehrsflughafen Berlin-Schönefeld* vom 13. August 2004
Müller & Möser 2004	Müller & Möser (Hrsg.) (2004): *Taschenbuch der Technischen Akustik*; 3. erweiterte und überarbeitete Auflage, Springer Verlag Berlin
MWMEV 2000	MWMEV Ministerium für Wirtschaft und Mittelstand, Energie und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen (2000): *NRW Luftverkehrs-konzeption 2010*; www.mwmev.nrw.de
MWMEV 2005	MWMEV Ministerium für Verkehr, Energie und Landesplanung des Landes Nordrhein-Westfalen (2005): *Zwischenbericht über die Umsetzung der NRW-Luftverkehrskonzeption 2010*; www.mwmev.nrw.de
Öko-Institut 2003	Öko-Institut (2003): *Untersuchungen an internationalen und nationalen Verkehrsflughäfen zum Mediationspaket – State-Of-Practice-Analyse –.* Untersuchung von Hochfeld, C. et al. im Auftrag des Regionalen Dialogforums Flughafen Frankfurt/M.. Darmstadt, Berlin: 2003.
Öko-Institut 2004	Öko-Institut (2004): *Ökonomische Maßnahmen zur Reduzierung der Umweltauswirkungen des Flugverkehrs: Lärmabhängige Landegebühren*; Gutachten von Hochfeld, C. et al. im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA); Darmstadt, Berlin: 2004
Öko-Institut 2005	Öko-Institut (2005): *Verschärfung der Lärmgrenzwerte von zivilen Strahlflugzeugen unter besonderer Berücksichtigung des Zusammenhangs zwischen den Lärm- und Schadstoffemissionen von Strahltriebwerken*; 1. Zwischenbericht (unveröffentlicht); UBA-Forschungsvorhaben in Bearbeitung durch das Öko-Institut in Kooperation mit Empa und MTU Aero Engines
Oliva et al. 2000	Oliva, C. et al. (2000): *Die Abhängigkeit der Schallbewertung vom Geräuschkontext - Das Beispiel der Lästigkeit von Straßenverkehrslärm im Vergleich zum Flugverkehrslärm* in Zeitschrift für Lärmbekämpfung 47 (2000) Nr. 2, S. 47 ff., Springer Verlag
Piehler 2003	Piehler (2003): *Erarbeitung eines Handlungsrahmens für die Entwicklung von Fluglärmkontingentierungen*; Dissertation vorgelegt von Christian Piehler an der Fakultät für Bauingenieurwesen der RWTH Aachen Juli 2003

Pieroth & Görisch 2000	Pieroth, B. und Görisch, C. (2000): *Die Grundrechtskonformität von Nachtflugbeschränkungen für den Passagierverkehr mit Bonuslistenflugzeugen*, ZLW 2000, S. 17 ff.
RAND 2002	RAND (2002): *Entwicklung eines Vorschlags für eine Absenkung des gültigen internationalen Grenzwerts für Stickoxidsemissionen im LTO-Zyklus und im Reiseflug unter Berücksichtigung der technischen Entwicklung*; Gutachten im Auftrag des UBA
RDF 2006	RDF (2006): *RDF Positionspapier Reduzierte Landeklappenstellung*, April 2006 (unveröffentlicht)
Rolls-Royce 2005	Rolls-Royce (2005): *the outlook 2005*; www.rolls-royce.com/civil_aerospace/overview/market/outlook/default.jsp
Rosenthal 1989	Rosenthal, G. (1989): *Umweltschutz im internationalen Luftrecht – völkerrechtliche Lösungsansätze für die umweltrelevanten Auswirkungen des zwischenstaatlichen zivilen Luftverkehrs*. Dissertation, Köln 1989
RP Leipzig 2004	Regierungspräsidium Leipzig (2004): *Planfeststellungsbeschluss für das Vorhaben Ausbau des Verkehrsflughafens Leipzig/Halle Start-/Landebahn Süd mit Vorfeld* vom 4. Nov. 2004
Schulte 2003	Schulte, M. (2003): *Rechtliche Instrumente der Lärmminderung an der Quelle*, in Koch, H.-J. (Hrsg.): Umweltprobleme des Luftverkehrs, S. 117, Nomos-Verlag, Baden-Baden
Schwenk & Giemulla 2005	Schwenk, W. und Giemulla , E. (2005): *Handbuch des Luftverkehrsrechts*, 3. Auflage 2005, Carl Heymann Verlag, Köln
Schwenk 2001	Schwenk, W. (2001): *Probleme der deutschen Luftfahrtgesetzgebung im Jahre 2000 – Rückblick und Ausblick*, in Mareitta, Benko/Kröll, Walter (Hrsg.), Festschrift für Karl-Heinz Böckstiegel, Luft- und Weltraumrecht im 21. Jahrhundert, Carl Heymann Verlag Köln, 2001, S. 201.
Singapore Airlines 2004	Singapore Airlines (2004): *Environmental Report 2003/2004*; http://www.singaporeair.com
SOURDINE II 2006	SOURDINE II (2006): www.sourdine.org, Stand März 2006
SRU 2004	SRU (2004): *Umweltpolitische Handlungsfähigkeit sichern* (Umweltgutachten 2004), Nomos Verlagsgesellschaft, Bundestags-drucksache 15/3600
Stoffel 2004	Stoffel, W. (2004): *Anforderungen der Betriebsbeschränkungsrichtlinie und ihre Umsetzung in das deutsche Recht*, in: Ziekow, J., (Hrsg.), Speyerer Luftverkehrrechtstag 2003, Schriftenreihe der Hochschule Speyer, Berlin 2004, S. 49.
Stoermer 2005	Stoermer, N. B. (2005): *Der Schutz vor Fluglärm – unter besonderer Berücksichtigung der luftverkehrsrechtlichen Zulassung von Flughäfen und der Festlegung der Flugverfahren*, Dissertation Berlin 2005, 224 Seiten.

UBA 2000	UBA (2000): *Fluglärmwirkungen* von Ortscheid, J. und Wende, H.; www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/fluglaerm.htm
UBA 2001 a	UBA (2001): *Zum gegenwärtigen Erkenntnisstand der Lärmwirkungsforschung: Notwendigkeit eines Paradigmenwechsels* von Ising, H. und Kruppa, B. in Umweltmed Forsch Prax 6 (4) Seite 181 ff.
UBA 2001 b	UBA (2001): *Maßnahmen zur verursacherbezogenen Schadstoff-reduzierung des zivilen Flugverkehrs*. UBA - FE-Vorhaben 105 06 085. Bearb. Josef Brosthaus, Forschungsbericht 295 45 085, Berlin 2001.
UBA 2003	UBA (2003): *Jahresbericht 2002 Umweltbundesamt;* http://www.umweltbundesamt.org/fpdf-l/2874.pdf
UBA 2004	UBA (Hrsg.) (2004): *Können Lärmminderungsmaßnahmen mit geringer akustischer Wirkung wahrgenommen werden?* Von Ortscheid, J.und Wende, H.; www.umweltbundesamt.de/laermprobleme/anlagen/download.html
Universität Köln 2004	Institut für Verkehrswissenschaft Universität Köln, KE-CONSULT (2004): *Standortfaktor Flughafen Frankfurt Main – Bedeutung für die Struktur, Entwicklung und Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft der Region Frankfurt/Rhein-Main*. Unterlagen zum Planfeststellungsverfahren, Ausbau Flughafen Frankfurt Main: Gutachten G19.2, Köln 2004.
UPS 2005	UPS (2005): UPS Homepage, „Environment“, Zugriff: 30.06.2005 http://www.community.ups.com/environment/fleet/air.html
Verheugt 2005	Verheugt, A. (2005): *European Air Law Association*, 16th Annual Conference, Recent Developments in European Air Transport Law & Policy, Berlin, 5. November 2004, Air & Space Law, February 2005, p. 45
von Feldmann & Groth 2004	von Feldmann, P. & Groth, K.-M. (2004): *Kompensatorische Betriebsbeschränkungen zum Fluglärmschutz bei der Kapazitätserweiterung von Verkehrsflughäfen*, NVwZ 2004, S. 1173 ff.
Wirth 2004	Wirth, K. et al. (2004): *Aircraft Noise Annoyance at Different Times of Day*; DAGA 2004; www.laerm2000.ethz.ch
Wysk 1998	Wysk, P. (1998): *Ausgewählte Probleme zum Rechtsschutz gegen Fluglärm*, Teil I, Voraussetzungen und Grenzen einer Inanspruchnahme der am Luftverkehr Beteiligten, ZLW 1998, S. 18 ff.
ZRH 2004	Flughafen Zürich, aufbereitete und ergänzte Bewegungsliste für das Jahr 2004 mit allen Zuordnungen gem. Empa-Bericht Nr. 437'700 (ZRH2004.mdb)

9 Anhang

Anhang	Darstellung	Seite
A	Verkehrszahlen der ausgewählten Verkehrsflughäfen	2
B	Zuordnung der Flugzeugtypen zum Empa Referenztyp	3
C	Statistische Kennzahlen (Bewegungsstatistiken, Schallanteile)	5
D	Schallanteil pro Flugzeug für Start und Landung (je Flughafen)	9
E	Schallanteil (kumulativ) pro Flugzeug für Start und Landung	14
F	Schallanteil 10 schallintensivste Typen für Start und Landung	19
G	Schallpegel pro Sitzplatz für Start und Landung	21
H	Zertifizierungsdaten unterschiedlicher Flugzeugkonfigurationen	25
I	Exkurs; Lärmwirkungsforschung	29
K	Gegenüberstellung RC 2-Typen und Code Evolutionsmatrix	36
L	Evolutionsmatrix 2007 und 2015 (nach ANOTEC 2003)	37
M	Modifizierte Evolutionsmatrix 2012 und 2020	38
N	Prognostizierte Verteilung der Flugbewegungen	39
O	Routenbelegung kurzfristiges Szenario (Referenz 1)	41
P	Routenbelegung kurzfristiges Szenario (Szenario 1)	49
Q	Routenbelegung kurzfristiges Szenario (Szenario 2)	57
R	Routenbelegung langfristiges Szenario (Referenz 2)	65
S	Routenbelegung langfristiges Szenario (Szenario 3)	73
T	Routenbelegung langfristiges Szenario (Szenario 4)	81
U	Pisten und Flugspuren	89
V	Zuordnung von Flugprofilen	92
W	Liste der verwendeten Flugprofile	93
X	Akustische Kennzahlen bei Simulation mit Flula2	94
Y	Fluglärmkonturen der Szenarioberechnungen, Typ A	95
Z	Fluglärmkonturen der Szenarioberechnungen, Typ B	100
AA	Fluglärmkonturen der Szenarioberechnungen, Typ C	105
AB	Exkurs: Weitere Lärmminderungspotenziale	110
AC	Energieanteile der Flugzeugtypen in den Szenarien	119