

FORSCHUNGSINSTITUT FÜR WIRTSCHAFTSPOLITIK  
AN DER UNIVERSITÄT MAINZ

FRANK FICHERT

Umweltschutz im zivilen Luftverkehr  
Ökonomische Analyse von Zielen  
und Instrumenten



DUNCKER & HUMBLOT / BERLIN

VERÖFFENTLICHUNGEN  
DES FORSCHUNGSINSTITUTS FÜR WIRTSCHAFTSPOLITIK  
AN DER UNIVERSITÄT MAINZ

Herausgegeben von

HARTWIG BARTLING    WERNER ZOHLNHÖFER  
WALTER HAMM        HELMUT DIEDERICH

Schriftleiter

PETER VEST

Band 56

Das Forschungsinstitut für Wirtschaftspolitik an der Universität Mainz hat ein doppeltes Ziel: Es möchte die Grundlagen der Ordnung der Wirtschaft Geld, Eigentum und Wettbewerb untersuchen und hofft, Verbesserungen der geltenden Ordnung vorschlagen zu können. Daneben will das Institut von dem gewonnenen Standpunkt aus zu aktuellen Spezialfragen der Wirtschaftspolitik Stellung nehmen. Es dient weder Interessenten noch Interessentenorganisationen. Die Ergebnisse der wissenschaftlichen Arbeit des Instituts einem breiteren Kreis zugänglich zu machen, ist der Sinn dieser Schriftenreihe.

# Umweltschutz im zivilen Luftverkehr

## Ökonomische Analyse von Zielen und Instrumenten

Von

Dr. Frank Fichert



DUNCKER & HUMBLOT / BERLIN

CIP-Titelaufnahme der Deutschen Bibliothek

**Fichert, Frank:**

Umweltschutz im zivilen Luftverkehr : ökonomische Analyse von Zielen und Instrumenten / von Frank Fichert. – Berlin : Duncker und Humblot, 1999

(Veröffentlichungen des Forschungsinstituts für Wirtschaftspolitik an der Universität Mainz ; Bd. 56)

Zugl.: Mainz, Univ., Diss., 1997/98

ISBN 3-428-09596-0

Alle Rechte vorbehalten

©1999 Duncker & Humblot GmbH, Berlin

Satz: FfW Mainz

Druck: Werner Hildebrand, Berlin

Printed in Germany

ISSN 0542-1497

ISBN 3-428-09596-0

Gedruckt auf alterungsbeständigem (säurefreiem) Papier  
entsprechend ISO 9706

## Vorwort

Die vorliegende Studie entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz und wurde im Wintersemester 1997/98 vom Fachbereich Rechts- und Wirtschaftswissenschaften als Dissertation angenommen. Für die Veröffentlichung sind einige aktuelle Entwicklungen ergänzt.

Danken möchte ich an erster Stelle meinem akademischen Lehrer, Herrn Universitätsprofessor Dr. Hartwig Bartling, für seine Betreuung und Unterstützung sowie die wertvollen und anregenden Diskussionen, die die Entstehung dieser Arbeit wesentlich gefördert haben. Darüber hinaus gilt mein Dank Herrn Universitätsprofessor Dr. Werner Zohlhöfer für seine fruchtbaren Hinweise und die Mitwirkung am Promotionsverfahren als Zweitgutachter. Besonders herzlich bedanke ich mich bei meinen Kolleginnen und Kollegen, Frau Diplom-Volkswirtin Petra Carl, Herrn Dr. Jürgen Hippchen, Frau Diplom-Handelslehrerin Katja Mohr und Herrn Dr. Hans Peter Seitel, sowohl für kritisch-konstruktive Anmerkungen zur vorliegenden Arbeit als auch für die gute und freundschaftliche Zusammenarbeit am Lehrstuhl. Weiterhin haben mir Frau Diplom-Kauffrau Andrea Paukert, Herr Diplom-Volkswirt Jörg Röhrich und Frau cand. rer. pol. Stephanie Schüller hilfreiche Dienste geleistet. Frau Jutta Sack übernahm mit großer Sorgfalt die mühevollen Satzarbeit, wofür ihr mein ganz spezieller Dank gilt.

Für die finanzielle Förderung der Studie möchte ich an dieser Stelle dem Zentrum für Umweltforschung an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz und der Landeszentralbank in Rheinland-Pfalz und im Saarland meinen Dank aussprechen. Weiterhin gilt mein Dank allen, die mir durch Gespräche und/oder die Zusendung von Informationsmaterial behilflich waren.

Last, but not least, danke ich Ariane, Alexandra und Daniel für so manche Aufmunterung und Ablenkung während der Zeit, in der ich diese Studie verfaßt habe, sowie meinen Eltern, Christa und Horst Fichert, für ihre Hilfe und Unterstützung auf meinem bisherigen Lebensweg. Ihnen ist diese Arbeit gewidmet.

Frank Fichert



## Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis .....	XVI
Abbildungsverzeichnis.....	XX
Verzeichnis der Abkürzungen, Maßeinheiten und chemischen Symbole.....	XXIV
<b>Teil A: Luftverkehrsbedingte Umweltbelastungen .....</b>	<b>1</b>
1. Einleitende Bemerkungen .....	1
1.1 Problemstellung .....	1
1.2 Untersuchungsziel und Vorgehensweise.....	14
2. Determinanten für Umweltbelastungen angesichts bisheriger und zukünftiger Entwicklungen im Luftverkehr .....	16
2.1 Luftverkehrsbedingte Umweltbelastungen im Überblick .....	16
2.1.1 Auswirkungen des Luftverkehrs auf die einzelnen Umweltmedien.....	16
2.1.2 Die relative Bedeutung der einzelnen Luftverkehrsarten für die Belastung der Umwelt ..	26
2.2 Anbieter- und Nachfragerverhalten im zivilen Luftverkehr als wesentliche Bestimmungsgründe luftverkehrsbedingter Umweltbelastungen.....	28
2.2.1 Theoretische Grundlagen .....	28
2.2.2 Die Nachfrage nach Luftverkehrsleistungen ..	31
2.2.3 Das Angebot an Luftverkehrsleistungen .....	42
2.2.4 Zum Einfluß der Investitionsentscheidungen der Luftverkehrsanbieter auf das Ausmaß der Umweltbelastungen durch den zivilen Luftverkehr.....	49
2.3 Zur gegenwärtigen und zukünftigen Bedeutung des zivilen Luftverkehrs im Verkehrssystem .....	54

2.3.1	Statistische Grundlagen und bisherige Entwicklung des Luftverkehrs.....	54
2.3.1.1	Überblick über die weltweite Entwicklung des Luftverkehrs.....	54
2.3.1.2	Verkehrsleistung des Luftverkehrs in Deutschland .....	56
2.3.1.3	Verkehrsaufkommen des Luftverkehrs in Deutschland und Europa.....	67
2.3.2	Zur zukünftigen Entwicklung des Luftverkehrs (Luftverkehrsprognosen und -szenarien).....	74
2.3.2.1	Grundlagen .....	74
2.3.2.2	Ausgewählte Prognosen und Szenarien für die Entwicklung des Luftverkehrs .....	77
2.3.2.3	Der Einfluß der Deregulierung auf die zukünftige Entwicklung.....	91
3.	Luftverkehrsbedingte Umweltbelastungen in der ökonomischen Theorie.....	96
3.1	Verursachung externer Effekte durch den zivilen Luftverkehr.....	96
3.2	Ableitung ökologischer Ziele in der ökonomischen Theorie .....	102
3.3	Zuweisung direkter Eigentumsrechte an Umweltgütern .....	108
3.4	Kriterienkatalog zur Beurteilung umweltpolitischer Instrumente für den Bereich des zivilen Luftverkehrs .....	113
4.	Zwischenfazit .....	125

<b>Teil B: Fluglärm</b> .....	129
1. Darstellung gegenwärtiger und zukünftiger Lärmbelastungen.....	129
1.1 Vorbemerkungen .....	129
1.2 Belastung von Menschen durch Fluglärm .....	131
1.2.1 Erfassung und Aggregation von Lärmmissionen .....	131
1.2.2 Wirkungen des Lärms auf Menschen.....	135
1.2.3 Ausmaß der Lärmbelastungen im Umfeld von Verkehrsflughäfen.....	138
1.3 Lärmmissionen ziviler Verkehrsflugzeuge.....	144
1.4 Auswirkungen der zukünftigen Entwicklung des Luftverkehrs auf die Lärmbelastung.....	148
1.4.1 Bewegungszahl und Flottenstruktur als wesentliche Bestimmungsfaktoren der zukünftigen Lärmbelastung.....	148
1.4.2 Einfluß der Deregulierung auf die Lärmbelastung .....	155
1.4.3 Tendenzen in der Triebwerksentwicklung ... ..	159
1.5 Zwischenfazit .....	162
2. Ziele der Fluglärmbekämpfung.....	164
2.1 Staatliche Zielvorgaben in der Bundesrepublik Deutschland.....	164
2.2 Lärmoptimum als Zielgröße.....	170
2.2.1 (Grenz-)Schadenskosten des Fluglärms .....	170
2.2.2 Kosten der Fluglärmbekämpfung.....	173
2.2.3 Dynamische Aspekte und Schlußfolgerungen für eine geeignete Zielfestlegung .....	180

3. Umweltpolitische Instrumente zur Reduktion der Fluglärmbelastung.....	182
3.1 Überblick.....	182
3.1.1 Generelle Ansatzpunkte zur Reduktion von Lärmbelastungen.....	182
3.1.2 Aktive und passive Lärmschutzpolitik im Vergleich .....	187
3.2 Fluglärmbekämpfung durch Bewegungszahlbegrenzungen.....	192
3.3 Ordnungsrechtliche Instrumente zur Emissionsminderung einzelner Flugbewegungen.....	197
3.3.1 Vorbemerkungen.....	197
3.3.2 Derzeitige Ausgestaltung ordnungsrechtlicher Maßnahmen .....	198
3.3.2.1 Zulassungsnormen für neue Flugzeugmuster.....	198
3.3.2.2 Staatliche Vorgaben für die Flottenpolitik von Luftverkehrsgesellschaften.....	202
3.3.2.3 Betriebsverbote auf Flughäfen .....	204
3.3.3 Beurteilung ordnungsrechtlicher Maßnahmen zur Lärmbegrenzung .....	206
3.3.3.1 Möglichkeiten und Grenzen von Emissionsvorgaben für einzelne Flugzeuge.....	206
3.3.3.2 Kritische Würdigung der Grenzwertbestimmung gemäß ICAO Annex 16 .....	206
3.3.3.3 Eignung von Zulassungsnormen für neue Flugzeugmuster.....	209

3.3.3.4	Eignung staatlicher Vorgaben für die Flottenpolitik von Luftverkehrsgesellschaften .....	219
3.3.3.5	Eignung von Betriebsverboten auf Flughäfen .....	231
3.3.4	Vergleichende Gesamtwürdigung des ordnungsrechtlichen Instrumentariums .....	238
3.4	Mengenvorgaben zur Verringerung der Gesamtlärmbelastung .....	242
3.4.1	Vorbemerkungen .....	242
3.4.2	Kompensationslösungen als flexibilisiertes Bewegungskontingent .....	244
3.4.3	Umweltlizenzen auf der Basis eines Referenzwertes .....	246
3.4.4	Umweltlizenzen zur Erreichung lokaler Umweltqualitätsziele .....	247
3.5	Ökonomische Anreize zur Fluglärminderung .....	260
3.5.1	Vorbemerkungen .....	260
3.5.2	Derzeitige Ausgestaltung des Anreizinstrumentariums .....	263
3.5.2.1	Gebührenstaffelung in der Bundesrepublik Deutschland .....	263
3.5.2.2	Lärmabgaben in der Schweiz und den Niederlanden .....	267
3.5.3	Beurteilung praktizierter ökonomischer Anreizinstrumente .....	271
3.5.3.1	Möglichkeiten und Grenzen des Anreizinstrumentariums .....	271
3.5.3.2	Eignung der Landegebührenstaffelung in Deutschland .....	277

3.5.3.3	Eignung der Schweizer und der niederländischen Lärmabgabe .....	285
3.5.4	Schlußfolgerungen für einen geeigneten Instrumenteneinsatz .....	288
3.6	Internalisierung externer Effekte über eine Lärmabgabe .....	290
4.	Fazit .....	302
<b>Teil C: Schadstoffemissionen mit regionaler Wirkung...</b>		<b>307</b>
1.	Darstellung gegenwärtiger und zukünftiger Schadstoffbelastungen .....	307
1.1	Überblick über Schadstoffemissionen ziviler Verkehrsflugzeuge.....	307
1.2	Schadstoffbelastung in Flughafennähe .....	309
1.2.1	Ausmaß der lokal wirksamen Schadstoffemissionen des zivilen Luftverkehrs .....	309
1.2.2	Umweltwirkungen der luftverkehrsbedingten Schadstoffemissionen .....	317
1.2.3	Auswirkungen der zukünftigen Entwicklung des Luftverkehrs auf die lokale Schadstoffbelastung.....	320
1.3	Schadstoffbelastung in an Flughäfen angrenzenden Regionen .....	323
2.	Ziele der Luftreinhaltepolitik.....	326
3.	Umweltpolitische Instrumente zur Reduktion der Schadstoffbelastung im Umfeld von Flughäfen .....	328
3.1	Vorbemerkungen .....	328
3.1.1	Generelle Ansatzpunkte zur Reduktion lokal wirksamer Schadstoffemissionen.....	328

3.1.2	Zum Verhältnis luftverkehrsspezifischer und sektorübergreifender Instrumente .....	330
3.1.3	Auswirkungen der Lärmschutzpolitik auf das Ausmaß lokal wirksamer Schadstoffemissionen .....	331
3.2	Ordnungsrechtliche Instrumente zur Verringerung der durchschnittlichen Schadstoffemissionen je LTO-Zyklus .....	333
3.2.1	Mögliche Ausgestaltungen .....	333
3.2.2	Beurteilung .....	335
3.3	Mengenvorgaben zur Verringerung der Gesamtschadstoffbelastung .....	337
3.3.1	Mögliche Ausgestaltungen .....	337
3.3.2	Beurteilung .....	338
3.4	Ökonomische Anreize zur Verringerung der durchschnittlichen Schadstoffemissionen je LTO-Zyklus .	339
3.4.1	Mögliche Ausgestaltungen .....	339
3.4.2	Beurteilung .....	342
4.	Fazit .....	347
<b>Teil D: Schadstoffemissionen mit globalen Wirkungen...</b>		<b>350</b>
1.	Darstellung gegenwärtiger und zukünftiger Auswirkungen der Luftverkehrsemissionen auf die globale Umweltsituation.....	350
1.1	Naturwissenschaftliche Grundlagen .....	350
1.2	Gegenwärtige klimatische Auswirkungen der Luftverkehrsemissionen.....	354
1.2.1	Aufteilung der Luftverkehrsemissionen auf Regionen und Atmosphärenschichten.....	354

1.2.2	Wirkungen der Luftverkehrsemissionen im einzelnen.....	363
1.2.2.1	Stickoxide .....	363
1.2.2.2	Wasserdampf.....	370
1.2.2.3	Kohlendioxid .....	373
1.2.2.4	Sonstige Schadstoffe.....	374
1.2.3	Anteil des Luftverkehrs an den globalen Klimaproblemen .....	375
1.3	Auswirkungen der zukünftigen Entwicklung des Luftverkehrs auf die globale Klimaproblematik.....	377
2.	Ziele der Klimaschutzpolitik.....	386
2.1	Grundlegendes.....	386
2.2	Anhaltspunkte für die Begrenzung der klimawirksamen Emissionen des Luftverkehrs.....	391
3.	Umweltpolitische Instrumente zur Reduktion der klimatischen Auswirkungen des zivilen Luftverkehrs .....	395
3.1	Vorbemerkungen .....	395
3.1.1	Generelle Ansatzpunkte zur Reduktion der klimatischen Auswirkungen des zivilen Luftverkehrs .....	395
3.1.2	Zum Verhältnis luftverkehrsspezifischer und sektorübergreifender Instrumente .....	399
3.1.3	Auswirkungen der lokal orientierten Umweltschutzpolitik auf das Ausmaß der globalen Umweltbelastung.....	401
3.2	Ordnungsrechtliche Instrumente .....	402
3.2.1	Ordnungsrechtliche Angebotseinschränkungen.....	402
3.2.2	Flugbetriebliche Vorgaben .....	406
3.2.3	Emissionsgrenzwerte für einzelne Flugzeuge.	410

3.2.4 Gesamtbeurteilung des ordnungsrechtlichen Instrumentariums .....	415
3.3 Umweltökonomische Mengenlösungen .....	418
3.4 Finanzielle Anreizinstrumente .....	420
3.4.1 Überblick .....	420
3.4.2 Produktabgaben (incl. Mehrwertsteuer) .....	421
3.4.3 Kerosinsteuer als Inputabgabe .....	428
3.4.3.1 Derzeitige rechtliche Regelungen .....	428
3.4.3.2 Allokationswirkungen einer Kerosinbesteuerung .....	430
3.4.3.3 Eignung möglicher Ausgestaltungen .....	435
3.4.4 Emissionsabgaben .....	441
3.4.5 Vergleichende Gesamtbeurteilung des finanziellen Anreizinstrumentariums .....	445
4. Fazit .....	448
<b>Teil E: Schlußfolgerungen für ein Gesamtkonzept .....</b>	<b>453</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>463</b>

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle	1:	Anteile von Betriebsstoffen und Gebühren an den Gesamtbetriebskosten der Luftverkehrsgesellschaften (weltweit) .....	46
Tabelle	2:	Verkehrsleistung und -aufkommen im Luftverkehr weltweit 1970-1996 .....	55
Tabelle	3:	Zurechnung der Verkehrsleistung im Personenverkehr nach Inlands- und Inländerprinzip für die Bundesrepublik Deutschland (Angaben ohne Klammern: In Mrd. Personenkilometern; Angaben in Klammern: Deren Anteil an der Gesamtverkehrsleistung von Personen in der Bundesrepublik Deutschland)...	59
Tabelle	4:	Zurechnung der Verkehrsleistung (Frachtverkehr) nach Inlands- und Inländerprinzip für die Bundesrepublik Deutschland (Angaben in Mio. Tonnenkilometer) .....	66
Tabelle	5:	Verkehrsaufkommen in Deutschland bei internationalen Verkehrsflughäfen (in Mio.) ...	70
Tabelle	6:	Fracht- und Postaufkommen auf den deutschen Verkehrsflughäfen (in 1.000 t) .....	71
Tabelle	7:	Flugbewegungen auf den deutschen Verkehrsflughäfen (in 1.000) .....	71
Tabelle	8:	Wachstum des zivilen Luftverkehrs vom Jahr 1995 bis zum Jahr 2015, differenziert nach Regionen .....	82
Tabelle	9:	Luftverkehrsprognosen im Überblick .....	90

Tabelle 10:	Vergleich unterschiedlicher Startlärmpegel bei Kapitel-3-Flugzeugen.....	147
Tabelle 11:	Anteil der Kapitel-3-Flugzeuge an den Flugbewegungen mit Strahlflugzeugen auf ausgewählten deutschen und europäischen Flughäfen in den Jahren 1992 und 1994.....	152
Tabelle 12:	„Flugzeugtypabhängiger Multiplikator“ bei der niederländischen Lärmabgabe.....	271
Tabelle 13:	Zahlenbeispiel Kompensation von Fluglärmgeschädigten.....	298
Tabelle 14:	Schadstoffemissionen und Treibstoffverbrauch ausgewählter Flugzeugtypen während eines LTO-Zyklus auf dem Flughafen Wien - <b>Teil 1</b> .....	311
Tabelle 14:	Schadstoffemissionen und Treibstoffverbrauch ausgewählter Flugzeugtypen während eines LTO-Zyklus auf dem Flughafen Wien - <b>Teil 2</b> .....	312
Tabelle 15:	Jährliche Gesamtemissionen des Flugverkehrs auf ausgewählten Flughäfen .....	313
Tabelle 16:	Emissionen im Nahbereich der deutschen Verkehrsflughäfen im Jahr 1984.....	315
Tabelle 17:	Prognostizierte zukünftige Entwicklung des Ausstoßes lokal wirksamer Schadstoffe auf den Flughäfen Düsseldorf und Stuttgart .....	322
Tabelle 18:	Luftverschmutzung durch den zivilen und militärischen Flugverkehr in der Bundesrepublik Deutschland 1984 .....	324

Tabelle 19:	Die Schweizer Emissionsabgabe .....	340
Tabelle 20:	Anteile der aufkommenstärksten Streckengebiete am internationalen Linienverkehr im Jahr 1986 auf der Basis von Pkm .....	355
Tabelle 21:	Zahl der im Jahr 1992 auf ausgewählten internationalen Streckengebieten beförderten Passagiere im Linienverkehr .....	356
Tabelle 22:	Anteile der nationalen Luftverkehrsgesellschaften an der weltweit erbrachten Verkehrsleistung in Pkm bzw. Tkm, zusammengefaßt nach Regionen für das Jahr 1990 (in Klammern Prognosewerte für das Jahr 2001) .....	357
Tabelle 23:	Passagiere und Flugbewegungen auf europäischen Flughäfen nach Zielregionen (Ist-Werte für das Jahr 1990 und Prognose-Werte für das Jahr 2010) .....	358
Tabelle 24:	Luftverkehrsemissionen in und oberhalb der Tropopause am Beispiel der Deutschen Lufthansa (1989) .....	361
Tabelle 25:	Emissionsfaktoren unterschiedlicher Flugzeugtypen im Reiseflug .....	364
Tabelle 26:	Stickoxidausstoß bei unterschiedlichen Flugzeugtypen (Gesamtemissionen während eines 1.000-km-Fluges) .....	364
Tabelle 27:	Stickoxidemissionen einer B747-400 mit unterschiedlichen Triebwerken auf einer Flugdistanz von 8.000 km .....	365
Tabelle 28:	Treibstoffverbrauch und NO <sub>x</sub> -Emissionen in Abhängigkeit der Flughöhe .....	366

Tabelle 29:	Treibstoffverbrauch und Stickoxidemissionen des weltweiten Luftverkehrs gemäß verschiedener Studien.....	367
Tabelle 30:	Regionale Aufteilung des Treibstoffverbrauchs im zivilen Luftverkehr: Istwerte für das Jahr 1991 und Prognosewerte für das Jahr 2011 (nur Passagierverkehr).....	379
Tabelle 31:	Prognostizierte zukünftige Entwicklung des Treibstoffverbrauchs und der NO <sub>x</sub> -Emissionen im zivilen Luftverkehr.....	381
Tabelle 32:	Bedeutung der Luftverkehrsemissionen im Überblick und resultierender Handlungsbedarf .....	456

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung	1	Übersicht über wesentliche luftverkehrsbedingte Umweltbelastungen .....	20
Abbildung	2	Die Höhe des Umweltschadens als Resultat von Anbieter- und Nachfragerverhalten.....	29
Abbildung	3	Luftverkehrsanteil in Abhängigkeit vom Verhältnis aus Reisezeitnutzen und Nutzerkosten (Prinzipiskizze) .....	36
Abbildung	4	Grenz- und Durchschnittskosten im Luftverkehr.....	44
Abbildung	5	Grenzschadenskosten und Grenzvermeidungskosten in Abhängigkeit von der Emissionsmenge .....	103
Abbildung	6	Beurteilungskriterien für umweltpolitische Instrumente im Bereich des zivilen Luftverkehrs .....	114
Abbildung	7	Wirkungen kostenerhöhender umweltpolitischer Eingriffe .....	119
Abbildung	8	Entwicklung der Jahresdauerlärmmwerte in den Jahren 1986 bis 1994 an fünf ausgewählten Meßstellen in der Umgebung des Flughafens Hamburg .....	141
Abbildung	9	Veränderung der Fluglärmbelastung im Jahresablauf, dargestellt am Beispiel des im Jahr 1994 für eine Meßstelle am Flughafen Hamburg ermittelten äquivalenten Dauerschallpegels .....	141
Abbildung	10	Technischer Fortschritt bei der Fluglärm-minderung.....	151

Abbildung 11	Mögliche zukünftige Entwicklung der Fluglärmbelastung.....	154
Abbildung 12	Potentielle und realisierte Zielgrößen der Fluglärmbekämpfung.....	168
Abbildung 13	Veränderung des ökologischen Zielwertes im Zeitablauf durch eine Verschiebung der Grenzschadenskostenkurve.....	181
Abbildung 14	Bestimmungsfaktoren des durch Fluglärm verursachten Umweltschadens und Ansatzpunkte zur Schadensreduktion.....	183
Abbildung 15	Lärmgrenzwerte für den Landeanflug gemäß ICAO Annex 16 Kapitel 3 .....	200
Abbildung 16	Lärmgrenzwerte für den seitlichen Meßpunkt gemäß ICAO Annex 16 Kapitel 3 ....	200
Abbildung 17	Lärmgrenzwerte für den Startüberflug-Meßpunkt gemäß ICAO Annex 16 Kapitel 3 (Flugzeuge mit zwei Triebwerken).....	201
Abbildung 18	Lärmgrenzwerte für den Startüberflug-Meßpunkt gemäß ICAO Annex 16 Kapitel 3 (Flugzeuge mit drei Triebwerken).....	201
Abbildung 19	Lärmgrenzwerte für den Startüberflug-Meßpunkt gemäß ICAO Annex 16 Kapitel 3 (Flugzeuge mit vier Triebwerken).....	202
Abbildung 20	Gegenüberstellung des prognostizierten Anteils der in Europa betriebenen Kapitel-2-Flugzeuge und der Phase-out-Empfehlung durch die ICAO.....	222

Abbildung 21	Gegenüberstellung des prognostizierten Anteils der in den USA betriebenen Kapitel-2-Flugzeuge und der Phase-out-Vorgabe durch die FAA .....	223
Abbildung 22	Fluggesellschaftsspezifische Kosten und Nutzen unterschiedlicher Maßnahmen zur Verringerung der Lärmemissionen von Kapitel-2-Flugzeugen.....	230
Abbildung 23	Landegebühren auf dem Flughafen Frankfurt/Main (Stand 01.07.1993) in DM je angefangene 1 000 kg des Höchstabfluggewichts.....	264
Abbildung 24	Landegebühren auf dem Flughafen Frankfurt/Main (Stand 01.04.1998) in DM je angefangene 1 000 kg des Höchstabfluggewichts.....	264
Abbildung 25	Das Züricher Lärmgebührenmodell in seiner ursprünglichen Form.....	268
Abbildung 26	Das modifizierte Züricher Lärmgebührenmodell.....	269
Abbildung 27	Zusammenhang zwischen den Lärmemissionen je Flugbewegung und dem lärmabhängigen Faktor der niederländischen Fluglärmabgabe (logarithmische Skala).....	287
Abbildung 28	Wirkungsweise einer Pigou-Steuer .....	291
Abbildung 29	Wohnungsmarkt in der Flughafenumgebung (kurzfristige Betrachtung).....	294
Abbildung 30	Wohnungsmarkt in der Flughafenumgebung (langfristige Betrachtung).....	299

Abbildung 31	Schadstoffausstoß von Flugzeugtriebwerken (in kg/h) in Abhängigkeit vom Belastungszustand sowie Zuordnung der einzelnen Flugzustände.....	309
Abbildung 32	Bestimmungsfaktoren für durch Emissionen im Flughafennahbereich verursachte Umweltschäden und Ansatzpunkte zur Schadensreduktion .....	329
Abbildung 33	Entwicklung der Lärm- und Schadstoffemissionen je Flugbewegung im Zeitablauf (Schematisierte Darstellung) .....	332
Abbildung 34	Bestimmungsfaktoren des vom zivilen Luftverkehr verursachten globalen Umweltschadens und Ansatzpunkte zur Schadensreduktion.....	396

## **Verzeichnis der Abkürzungen, Maßeinheiten und chemischen Symbole**

a.a.O.	am angegebenen Ort
Abb.	Abbildung
ACI	Airports Council International
ADV	Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen
AEA	Association of European Airlines
AECMA	Association Europeenne Des Constructeurs De Materiel Aerospatial
AERONOX	The Impact of NO <sub>x</sub> Emissions from Aircraft upon the Atmosphere at Flight Altitude 8 - 15 km (Forschungsprojekt)
ANCA	Airport Noise and Capacity Act
ANCAT	Group of Experts on Abatement of Nuisances Caused by Air Transport
ATAG	Air Transport Action Group
BAMF	Bundesamt für Militärflugplätze (Schweiz)
BAZL	Bundesamt für Zivilluftfahrt (Schweiz)
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BGH	Bundesgerichtshof
BMV	Bundesministerium für Verkehr
BUND	Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland
bzw.	beziehungsweise
C	Celsius
ca.	zirka
CH <sub>4</sub>	Methan
CO	Kohlenmonoxid

CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
c. p.	ceteris paribus
db	Dezibel
db(A)	Dezibel (A-Filter)
DDR	Deutsche Demokratische Republik
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DGLR	Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt
d. h.	das heißt
DIN	Deutsche Industrie-Norm
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
DLR	Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt
DM	Deutsche Mark
DTI	Department of Trade and Industry (United Kingdom)
DVBl.	Deutsches Verwaltungsblatt
d. Verf.	der Verfasser
DVWG	Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft
ECAC	European Civil Aviation Conference
ECMT	European Conference Of Ministers Of Transport
EEF	Engine emissions factor
EG	Europäische Gemeinschaft
EPNdb	Effective Perceived Noise Decibel
EU	Europäische Union
e.V.	eingetragener Verein
f.	folgende

FAA	Federal Aviation Administration
FAR	Federal Aviation Regulations
FAZ	Frankfurter Allgemeine Zeitung
FCKW	Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe
ff.	fortfolgende
FR	Frankfurter Rundschau
ft.	feet (Fuß)
g	Gramm
GAO	United States General Accounting Office
GE	General Electric Company
GUS	Gemeinschaft Unabhängiger Staaten
H.	Heft
HC	Kohlenwasserstoff
H <sub>2</sub> O	Wasser
Hrsg.	Herausgeber
IATA	International Air Transport Association
ICAO	International Civil Aviation Organisation
i. d. R.	in der Regel
incl.	inklusive
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ITP	Intraplan Consult GmbH
IVP	Institut für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung e.V.
Jg.	Jahrgang
K	Kelvin
Kfz	Kraftfahrzeug

kg	Kilogramm
km	Kilometer
km <sup>2</sup>	Quadratkilometer
kN	Kilo Newton
kt	Kilotonne
LSL	Lärmschutzforderungen für Luftfahrzeuge
LTO	Landing-Take-Off
LuftkostO	Kostenordnung der Luftfahrtverwaltung
LuftVG	Luftverkehrsgesetz
LuftVZO	Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung
m	Meter
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
Mass.	Massachusetts
Mill.	Millionen
Mio.	Millionen
MOZAIC	Measurement of Ozone on Airbus In-service Aircraft (Forschungsprojekt)
Mrd.	Milliarden
MTOW	Maximum-Take-Off-Weight
MTU	Motoren- und Turbinen-Union GmbH
NASA	National Aeronautics and Space Administration
Nfz	Nutzfahrzeug
NO	Stickstoffmonoxid
NO <sub>2</sub>	Stickstoffdioxid
NO <sub>x</sub>	Stickstoffoxid
N <sub>2</sub> O	Distickstoffoxid

XXVIII *Verzeichnis der Abkürzungen, Maßeinheiten und chemischen Symbole*

NRW	Nordrhein-Westfalen
O <sub>3</sub>	Ozon
o.E.	ohne Erscheinungsort
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
o.J.	ohne Jahresangabe
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
o.S.	ohne Seitenangabe
o.V.	ohne Verfasserangabe
p. a.	per annum
PKM	Personenkilometer
POLINAT	Pollution from aircraft emissions in the North Atlantic flight corridor (Forschungsprogramm)
pptv	part per trillion volume (ein Teil auf eine Billion)
P & W	Pratt & Whitney
RWI	Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung
S.	Seite
SAS	Scandinavian Airline System
SEK	Schwedische Kronen
SFr	Schweizer Franken
SO <sub>2</sub>	Schwefeldioxid
SPD	Sozialdemokratische Partei Deutschlands
SRI	Stanford Research Institut
t	Tonne
TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
TKM	Tonnenkilometer

TÜV	Technischer Überwachungs-Verein
u. a.	und andere; unter anderem
UHC	Unburned Hydrocarbons (Unverbrannte Kohlenwasserstoffe)
U.K.	United Kingdom
UPI	Umwelt- und Prognoseinstitut
UPR	Umwelt- und Planungsrecht
UV	Ultra-Violet
v. a.	vor allem
VCD	Verkehrsclub Deutschland
VCÖ	Verkehrsclub Österreich
VCS	Verkehrsclub Schweiz
Vgl.	Vergleiche
v.H.	von Hundert
VOC	Volatile Organic Compounds (Flüchtige Organische Verbindungen)
Vol.	Volume
VR	Volksrepublik
WiSt	Wirtschaftswissenschaftliches Studium
WWF	World Wide Fund For Nature
z. B.	zum Beispiel
ZLW	Zeitschrift für Luft- und Weltraumrecht
z. T.	zum Teil
zzgl.	zuzüglich
µg	Mikrogramm ( $10^{-6}$ g, d.h. ein Millionstel Gramm)



## **Teil A: Luftverkehrsbedingte Umweltbelastungen**

### **1. Einleitende Bemerkungen**

#### *1.1 Problemstellung*

Seit Anfang der sechziger Jahre das sogenannte „Düsenzeitalter“ begonnen hat, liegen in allen bedeutenden Industrieländern die Wachstumsraten des zivilen Luftverkehrs deutlich über denen der meisten anderen Wirtschaftsbereiche<sup>1</sup>. Sämtliche Prognosen über die zukünftige Entwicklung des Luftverkehrs sagen übereinstimmend voraus, daß sich der Anstieg von Verkehrsleistung und Verkehrsaufkommen im zivilen Flugverkehr bis weit über das Jahr 2000 hinaus fortsetzen wird. „Auch nach der Jahrhundertwende ist noch keine Sättigung der Luftverkehrsnachfrage abzusehen.“<sup>2</sup> Als ursächlich für die Zunahme des Luftverkehrs ist vor allem das allgemeine (welt-)wirtschaftliche Wachstum, der reale Rückgang der Flugpreise sowie ein Wandel im Freizeit- und Urlaubsverhalten der privaten Haushalte in Europa, Amerika und Asien identifiziert<sup>3</sup>. Eine wachstumsfördernde Rolle wird darüber hinaus der weitgehenden Liberalisierung bzw. Deregulierung<sup>4</sup> des Luftverkehrs in Europa und den USA zugeschrieben.

---

<sup>1</sup> Vgl. zum Wachstum des Luftverkehrs seit den sechziger Jahren JÜRGENSEN, H., Luftverkehr - Impulsnehmer und -geber der Weltwirtschaft, in: Deutsche Lufthansa (Hrsg.), Lufthansa Jahrbuch '85, Köln 1985, S. 21 ff.

<sup>2</sup> WILKEN, D., Luftverkehrsprognosen: Problematik, Vergleich und Ergebnisse, in: Deutsche Lufthansa (Hrsg.), Lufthansa Jahrbuch '90, Köln 1990, S. 154. Auch NÜSSER/SCHMITT kommen zu der Erkenntnis: „There is no indication of saturation in air transport demand after the year 2000“ (NÜSSER, H.-G., SCHMITT, A., The global distribution of air traffic at high altitudes, related fuel consumption and trends, in: SCHUMANN, U. (Hrsg.), Air Traffic and the Environment - Background, Tendencies and Potential Global Atmospheric Effects, Berlin u. a. 1990, S. 5).

<sup>3</sup> Vgl. POMPL, W., Luftverkehr - Eine ökonomische Einführung, 2. Auflage, Berlin u. a. 1991, S. 91 ff.

<sup>4</sup> Die Begriffe „Liberalisierung“ und „Deregulierung“ sollen im folgenden synonym verwendet werden. Diese Vorgehensweise ist in der luftverkehrspolitischen Fachliteratur häufig (vgl. z. B. BEYEN, R. K., HERBERT, J., Deregulierung des amerikanischen und EG-europäischen Luftverkehrs, Hamburg 1991, S. 4). Zwar wird mitunter die völlige Abschaffung einer Regulierung als Deregulierung bezeichnet, während unter dem Begriff Liberalisierung nur eine partielle Lockerung von regulierenden Vorschriften verstanden wird (vgl. als ein Beispiel WENGLORZ, G., Die Deregulierung des Linienluftverkehrs im Europäischen Binnenmarkt, Heidelberg 1992, S. 1 f.). Für die

Der Umweltschutz stellt bereits seit einiger Zeit ein wichtiges Ziel der deutschen<sup>5</sup>, europäischen<sup>6</sup> und internationalen<sup>7</sup> (Luft-) Verkehrspolitik dar. Umweltpolitische Ziele sind jedoch um so schwerer zu erreichen, je stärker das Verkehrsaufkommen und die Verkehrsleistung im zivilen Flugverkehr zunehmen. Das starke Wachstum des Luftverkehrs führt tendenziell zu einem Anstieg der von Flugzeugen ausgehenden Emissionen und der mit dem Flugverkehr einhergehenden Umweltauswirkungen. Die durch den technischen Fortschritt im Triebwerks- und Flugzeugbau ermöglichte Emissionsminderung pro Leistungseinheit<sup>8</sup> wird, so die Aussage der meisten Emissionsprognosen, zukünftig durch den Anstieg des Verkehrsvolumens bei weitem überkompensiert<sup>9</sup>. Da zudem in den meisten anderen Wirtschafts- und Verkehrsbereichen Maßnahmen mit dem Ziel ergriffen wurden, die jeweiligen sektoralen Umweltbelastungen zu reduzieren, ist von einem stetigen Anstieg nicht nur der absoluten Menge, sondern vor

---

in dieser Arbeit zu untersuchende Fragestellung kann jedoch ohne Erkenntnisverlust auf eine Unterscheidung zwischen Deregulierung und Liberalisierung verzichtet werden.

<sup>5</sup> Vgl. WISSMANN, M., Sauber durch die Atmosphäre, in: Umwelt und Technik, Beilage der FAZ, 09.05.1995, S. B 2, KNITTEL, W., Die Luftverkehrspolitik in Deutschland, in: DVWG (Hrsg.), Erstes Forum Luftverkehr der DVWG - Luftverkehr im Wandel - Chancen und Risiken der Zukunft, Schriftenreihe der DVWG, Reihe B 171, Bergisch Gladbach 1994, S. 149, sowie Bundesminister für Verkehr (Hrsg.), Luftfahrtkonzept 2000, Bonn 1994, S. 6. Auch andere europäische Länder, wie Schweden oder die Niederlande, weisen dem Umweltschutzziel in ihrer Luftverkehrspolitik eine hohe Priorität zu. Vgl. BLEIJENBERG, A.N., MOOR, R., Air pollution by air traffic - Overview of problems and possible solutions, Centrum voor energiebesparing en schone technologie, T&E-report 93/14, Delft (Niederlande) 1993, S. 27.

<sup>6</sup> Vgl. Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Grünbuch zu den Auswirkungen des Verkehrs auf die Umwelt - Eine Gemeinschaftsstrategie für eine „dauerhaft umweltgerechte Mobilität“, KOM(92) 46 endg., Brüssel 1992, S. 2 ff., und Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Die künftige Entwicklung der gemeinsamen Verkehrspolitik, KOM(92) 494 endg., Brüssel 1992, S. 21 ff.

<sup>7</sup> Vgl. ROCHAT, P., Key environmental issues range from aircraft noise to the „greenhouse“ effect, in: ICAO Journal, Vol. 48 (1993), No. 6, S. 31.

<sup>8</sup> Eine Ausnahme stellen hier lediglich die Stickoxide dar. Vgl. Teil C und D dieser Arbeit.

<sup>9</sup> Eine vergleichbare Entwicklung war in Deutschland im Kfz-Verkehr Ende der achtziger Jahre zu beobachten. Vgl. KALLEICHER, D., Der Einsatz ausgewählter Instrumente zur Reduktion von Abgasemissionen bei Kraftfahrzeugen, Mainz 1991, S. 36.

allem auch der relativen Bedeutung der vom Luftverkehr stammenden Emissionen auszugehen. Vor diesem Hintergrund stellt sich immer dringlicher die Frage, ob und gegebenenfalls inwieweit staatliche Eingriffe notwendig sind, um schädliche Auswirkungen des Luftverkehrs auf Mensch und Umwelt zu verhindern bzw. zu verringern<sup>10</sup>.

In der Bundesrepublik Deutschland ist ähnlich wie für die meisten anderen Industriestaaten festzustellen, daß die von der staatlichen Umweltschutzpolitik angestrebten Ziele im Zeitablauf tendenziell nach oben, d. h. in Richtung auf eine weitere Verbesserung der Umweltsituation, angepaßt werden. Neue Erkenntnisse über die schädlichen Auswirkungen der Umweltverschmutzung, das - zum Teil aus der verbesserten Informationslage resultierende - stärkere Umweltbewußtsein der Bevölkerung und der allgemeine Wohlstandsanstieg sind ursächlich für die gestiegenen Ansprüche der Menschen an die Qualität des Gutes Umwelt. Anhand der verstärkten Nachfrage nach Umweltqualität kann beispielsweise erklärt werden, daß immer mehr Menschen in Deutschland angeben, sie fühlten sich durch Fluglärm (stark) gestört<sup>11</sup>, und demzufolge Forderungen nach einer (weiteren) Fluglärminderung artikulieren, obwohl sich die in physikalischen Einheiten gemessene Fluglärmbelastung in den vergangenen Jahren insgesamt spürbar verringert hat. Auch aus dieser Veränderung der - z. T. subjektiven - Einschätzung der momentanen im Vergleich zur gewünschten Umweltsituation ist ein steigender Handlungsbedarf für die Umweltschutzpolitik im Luftverkehrsbereich abzuleiten.

---

<sup>10</sup> Ein Indiz für die wachsende Bedeutung luftverkehrsbedingter Umweltbelastungen liefert nicht zuletzt die große Zahl der von internationalen Organisationen und Verbänden etablierten Komitees und Arbeitsgruppen, die sich ausschließlich mit dem Problembereich „Luftverkehr und Umwelt“ beschäftigen. Vgl. hierzu die Aufstellung „Air transport environment bodies“ bei PILLING, M., Airlines face heavy bill for going green, in: *Interavia*, Vol. 46 (1991), No. 5, S. 10.

<sup>11</sup> Vgl. hierzu etwa BAYR, M., Umweltpolitische Rahmenbedingungen für den Luftverkehr der Zukunft, in: DGLR (Hrsg.), *Wachstum und Ökonomie des Luftverkehrs im Spannungsfeld verkehrspolitischer Maßnahmen und infrastruktureller Rahmenbedingungen*, DGLR-Bericht 92-08, Bonn 1992, S. 76 f.