

**Ermittlung
externer Kosten
des Flugverkehrs am
Flughafen Frankfurt/Main**

**Endbericht
07.11.2003**

**Stephan A. Schmid
Philipp Preiss
Alexander Gressmann
Rainer Friedrich**

Gutachten zur Ermittlung der externen Kosten des Flugverkehrs am Flughafen Frankfurt/Main

Dokument:	Rdffin vom 07.11.2003
-----------	-----------------------

Universität Stuttgart
Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung
Abteilung Technikfolgenabschätzung und Umwelt (TFU)
Prof. Dr. Rainer Friedrich

Heßbrühlstraße 49a
D – 70565 Stuttgart
Tel.: +49 (0) 711 780610 Fax: +49 (0) 711 3953

INHALTSVERZEICHNIS

VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN	1
VERZEICHNIS DER TABELLEN	3
VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN.....	9
1 EINLEITUNG.....	11
2 ZIELSETZUNG UND SYSTEMGRENZEN	12
2.1 Was sind externe Effekte und was sind externe Kosten?.....	12
2.2 Quantifizierung der externen Gesamtkosten	13
2.3 Quantifizierung von marginalen externen Kosten	14
2.4 Systemgrenzen	15
2.5 Die Behandlung des flughafeninduzierten Verkehrs	15
2.6 Methodische Grundlagen der Berechnung von externen Umwelt- und Gesundheitskosten.....	16
2.7 Berechnung von externen Umweltkosten	17
2.7.1 Einführung.....	17
2.7.2 Kostenkategorien und potentielle Schadensgüter	18
2.7.3 Die monetäre Bewertung von Schäden	19
2.7.4 Die Bewertung des Risikos des Verlustes menschlicher Lebenszeit	20
2.7.4.1 Der Wert eines statistischen verhinderten Todesfalles	20
2.7.4.2 Der Wert eines verlorenen Lebensjahres	21
2.8 Klassifizierung von Flugzeugen.....	22
3 LUFTSCHADSTOFFE.....	24
3.1 Grundlagen.....	24
3.1.1 Ausbreitung und chemische Umwandlung	25
3.1.2 Exposition.....	25
3.1.3 Ermittlung physischer Schäden	26
3.1.3.1 Gesundheitsrisiken	26
3.1.3.2 Auswirkungen auf Feldpflanzen	30
3.1.3.3 Auswirkungen auf Materialien.....	31
3.1.4 Monetarisierung der physischen Schäden	32
3.2 Ermittlung der externen Kosten durch Luftschadstoffe	35
3.2.1 Marginale Kosten für einen LTO-Zyklus differenziert nach den AzB-Klassen ..	35
3.2.2 Ermittlung der gesamten externen Kosten für die Szenarien.....	43
3.2.3 Ermittlung der externen Kosten vor- und nachgelagerte Prozesse	47
3.2.3.1 Stromverbrauch	47
3.2.3.2 Treibstoffbereitstellung	49
3.2.3.3 Externe Kosten durch Wärme- und Kälteversorgung	50
3.2.3.3.1 Externe Kosten der Wärmeversorgung	50
3.2.3.3.2 Externe Kosten der Kälteversorgung	51
3.2.4 Externe Kosten durch induzierten Verkehr	53
3.2.4.1 Privater Kfz-Straßenverkehr	53
3.2.4.2 Öffentlicher Verkehr	57
4 LÄRM	59
4.1 Methode.....	59
4.1.1 Lärmpegel durch den Flugverkehr	59
4.1.2 Straßenlärm	60
4.1.3 Exposition der Bevölkerung.....	61
4.1.4 Wirkungsabschätzung	61
4.1.4.1 Gesundheitseffekte	61
4.1.4.1.1 Ischämische Herzkrankheit	61

4.1.4.1.2	Hypertonie.....	63
4.1.4.2	Störung des Nachtschlafes	63
4.1.4.3	Belästigung.....	66
4.1.4.4	Gesprächsstörung	67
4.1.4.5	Siedlungsbeschränkungsgebiete.....	68
4.1.4.6	Niedrige Überflughöhen.....	69
4.1.5	Monetäre Bewertung von Lärm	70
4.1.5.1	Bewertung von Gesundheitseffekten	71
4.1.5.2	Bewertung von Gesprächsstörungen.....	72
4.1.5.3	Bewertung der Belästigungswirkung von Lärm.....	73
4.1.5.3.1	Bewertung von Lärm durch direkte Befragung.....	73
4.1.5.3.2	Wertverlust von Immobilien und Mietpreisminderung.....	73
4.1.5.3.3	Bewertung entsprechend Expertenempfehlung.....	75
4.1.5.3.4	Zusammenfassung des Bewertungsansatzes für die Belästigung durch Lärm.....	76
4.1.5.4	Bewertung von Siedlungsbeschränkungsgebieten	77
4.2	Ergebnisse	78
4.2.1	Gesamte Lärmkosten des Flugbetriebs	78
4.2.2	Marginale Lärmkosten	83
4.2.2.1	Flugzeugtypen und Flugzeug-Triebwerkskonfigurationen	84
4.2.2.2	Einfluss des Startgewichts bei schweren Flugzeugen	87
4.2.2.3	Marginale Kosten der Ist-Situation	88
4.2.2.4	Marginale Kosten der zukünftige Szenarien 2015	92
4.2.2.5	Marginale Kosten einer Flugbewegung bei geringerem Hintergrundlärm	95
4.2.3	Siedlungsbeschränkungsgebiete.....	96
5	UNFÄLLE.....	98
5.1	Methode.....	98
5.1.1	Der Erwartungswert des Unfallrisikos	98
5.1.2	Monetäre Bewertung von Unfallfolgen.....	99
5.2	Ergebnisse	101
6	NATUR UND LANDSCHAFT.....	106
6.1	Grundlagen.....	106
6.1.1	Betrachtung der Flächenversiegelung	107
6.1.2	Die Ermittlung des Erholungswertes der Wälder in Deutschland durch Elsasser	108
6.1.3	Kosten und Nutzen im Natur- und Landschaftsschutz.....	108
6.1.4	Bewertung von Habitat und Biodiversität mit Hilfe von Kompensationskosten.....	111
6.1.5	Grundwasser.....	111
6.1.5.1	Rollbahn- und Flugzeugenteisung.....	111
6.1.5.2	Grundwasserbildung.....	112
6.2	Ergebnisse	113
6.2.1	Rückführung der Versiegelung von Flächen.....	113
6.2.2	Verluste von Biotop- und Waldflächen.....	115
6.2.2.1	Externe Kosten des Verlustes von Waldflächen – Ansatz nach Elsasser	115
6.2.2.2	Externe Kosten des Verlustes der Waldflächen – Ansatz nach Infraconsult	117
6.2.2.3	Externe Kosten des Verlustes von Biotopflächen	120
7	KLIMA.....	123
7.1	Methode.....	123
7.1.1	Auswirkungen auf das lokale Klima	123
7.1.2	Auswirkungen auf das globale Klima	125
7.1.2.1	Schadenskosten	125
7.1.2.2	Vermeidungskosten.....	126

7.2	Ergebnisse	128
7.2.1	Marginale Kosten durch Treibhausgasemission im LTO-Zyklus	128
7.2.2	Externe Gesamtkosten der Treibhausgasemissionen	129
7.2.2.1	Emissionen der Flugzeuge während der LTO-Zyklen	129
7.2.2.2	Emissionen des Kfz-Verkehrs und stationäre Quellen auf dem Flughafen	130
7.2.2.3	Treibhausgasemissionen vor- und nachgelagerter Prozesse	130
8	INFRASTRUKTUR- UND BETRIEBSKOSTEN	134
8.1	Zielsetzung und Abgrenzung	134
8.2	Betrachtungen zu möglichen externen Komponenten	135
8.2.1	Institutionelle Infrastrukturkosten	135
8.2.2	Steuerbefreiungen.....	135
8.2.3	Sicherheitsdienstleistungen	139
8.2.4	Sonstige öffentliche Zuschüsse	142
9	SENSITIVITÄTSBETRACHTUNGEN	145
9.1	Sensitivitätsbetrachtung der Bewertung der Emissionen von Luftschadstoffen des LTO-Zyklus.....	145
9.1.1	Sensitivitätsbetrachtung der marginalen Kosten der AzB-Klassen (Luftschadstoffe - bezogen auf LTO-Zyklus)	145
9.1.1.1	Variation des VPF	145
9.1.1.2	Variation des Anteils von PM _{2,5} an PM ₁₀	148
9.1.2	Sensitivitätsbetrachtung der externen Gesamtkosten durch Luftschadstoffe.....	150
9.1.3	Darstellung der externen Kosten durch Ammoniumnitrat bezüglich Gesundheitseffekte	151
9.2	Sensitivitätsbetrachtung der externen Kosten durch Lärm	153
9.2.1	Sensitivitätsbetrachtung für Gesamtlärmkosten.....	153
9.2.2	Sensitivitätsbetrachtung der Siedlungsbeschränkungsbereiche	157
9.3	Sensitivitätsbetrachtung der externen Kosten durch Unfälle	159
9.4	Sensitivitätsbetrachtung der externen Kosten durch Verluste von Biotop- und Waldflächen	162
9.5	Sensitivitätsbetrachtungen der Auswirkungen auf das globale Klima.....	164
9.5.1	Sensitivitätsbetrachtung der marginale Kosten der AzB-Klassen (bezogen auf LTO-Zyklus) bezüglich der Treibhausgase.....	164
9.5.2	Sensitivitätsbetrachtung der externen Gesamtkosten bezüglich Treibhausgase	166
9.5.2.1	Sensitivitätsbetrachtung der Emissionen der Flugzeuge bezüglich Treibhausgase .	166
9.5.2.2	Sensitivitätsbetrachtung der Emissionen des Kfz-Verkehrs und stationäre Quellen auf dem Flughafen bezüglich Treibhausgase	167
10	ZUSAMMENSTELLUNG DER ERMITTELTEN EXTERNEN KOSTEN	168
10.1	Externe Gesamtkosten.....	168
10.2	Marginale Kosten	175
10.2.1	Luftschadstoffe und Treibhausgase.....	175
10.2.2	Marginale externe Kosten durch Lärm.....	178
10.3	Durchschnittliche externe Kosten, die nicht flugzeugspezifisch ermittelt wurden ..	179
10.4	Gesamte marginale externe Kosten.....	181
11	INTERNALISIERUNG	184
11.1	Bestehende Strukturen der Preisbildung auf Flughäfen.....	184
11.1.1	Allgemeine Aussagen.....	184
11.1.2	Die aktuelle Entgeltordnung des Flughafens Frankfurt	185

11.2	Möglichkeiten von Internalisierungs- und Preisgestaltungskonzepten.....	188
11.3	Eigenschaften und Anforderungen an optimale Internalisierungskonzepte auf Flughäfen.....	188
11.4	Vorschlag für die Ausgestaltung eines an den marginalen externen Kosten orientierten Entgeltsystems am Flughafen Frankfurt/Main	190
12	ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	198
13	LITERATURVERZEICHNIS	206
14	ANHANG	213
14.1	Kombination Fluggerät / Triebwerk für marginale Lärmkostenberechnungen..	213
14.2	Marginale externe Kosten verschiedener Fluggerät / Triebwerk Kombinationen	223
14.3	Engpässe bei der Nutzung des Flughafens: <i>Staukosten</i>	228
14.3.1	Definition des Begriffs der <i>Staukosten</i>	228
14.3.2	Identifizierung von Opportunitätskosten.....	229
14.3.2.1	Die Vergabe von Start- und Landerechten	229
14.3.2.2	Nicht prognostizierbare Überlast	229
14.3.2.3	Vermiedene Überlast.....	230
14.3.3	Ansatz zur praktischen Quantifizierung von Staukosten	231
14.3.4	Durchschnittliche Staukosten	232
14.3.5	Marginale Staukosten.....	232
14.3.6	Bewertung von Zeitverlusten	232
14.4	Das Prinzip des Ramsey-Pricing	233

Verzeichnis der Abkürzungen

AOT40	Accumulated Ozone concentration above Threshold 40 ppb
ATFM	Air Traffic Flow Management
AzB	Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen an zivilen und militärischen Flugplätzen nach dem Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm
BaP	Benzo(a)Pyren
BOD	Biological oxygen demand
CH ₄	Methan
CO ₂ Aquiv.	CO ₂ - Äquivalente
CV	Contingent Valuation
DALY	Disability Adjusted Life Years
DFS	Deutsche Flugsicherung GmbH
DWD	Deutscher Wetterdienst
FAA	Federal Aviation Administration
FLG	Fluglärmgesetz
GIS	Geographisches Informationssystem
HC	Hydrocarbons (Kohlenwasserstoffe)
HLUG	Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie
ICAO	International Civil Aviation Organization (Weltverband der zivilen Luftfahrt)
INM	Integrated noise model
LAZ	Lärberechnung in dB(A) nach DIN 45643 zur Einteilung von Flugzeugtypen
LCA	Life cycle analysis (Ökobilanzierung)
L _{Aeq(3)}	Energieäquivalenter Dauerschallpegel mit dem Halbierungsparameter q=3
L _{den}	Energieäquivalenter Dauerschallpegel- gewichtet bezüglich Tag, Abend und Nacht
LTO	Landing / take-off cycle
MTOM	Maximum Take-off-Mass
N ₂ O	Lachgas
NH ₃	Ammoniak

NLS	Natur- und Landschaftsschutzmassnahmen
NMVOC	Non-volatile organic compounds (dt. OGD)
NO ₂	Stickstoffdioxid
NO _x	Stickoxide
NSDI	Noise Sensitivity Depreciation Index
ÖV	Öffentliche Verkehrsmittel, d.h. Schiengebundener- und Busverkehr
OGD	Organische Gase und Dämpfe
Pkm	Personenkilometer
PM2.5	Particulate Matter 2,5 µm (VDI 2310)
PM10	Particulate Matter 10 µm (VDI 2310)
Regional _{kor}	Regionale Schäden, korrigiert um den Anteil des lokalen Gebietes
SEL	Sound exposure level
SO ₂	Schwefeldioxid
ROV	Raumordnungsverfahren
SROM	Source-receptor-ozone-matrices
VLYL	Value of a life year lost
VPF	Value of Statistical Prevented Fatality
VSL	Value of statistical life
ZB	Zahlungsbereitschaft

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Kostenkategorien und betrachtete Schadensgüter.....	18
Tabelle 2: Bewertung von Mortalitätsrisiken.....	22
Tabelle 3: Einteilung in AzB-Klassen (MTOM=maximales Startgewicht).....	23
Tabelle 4: Expositions-Wirkungsbeziehungen für Mortalität.....	27
Tabelle 5: Expositions-Wirkungsbeziehungen zur Quantifizierung des Risikos erhöhter Morbidität in der Bevölkerung.....	28
Tabelle 6: Sensitivitäts-Parameter für verschiedene Pflanzenarten.....	30
Tabelle 7: Monetäre Werte für Gesundheitseffekte.....	33
Tabelle 8: Monetäre Werte für Auswirkungen auf landwirtschaftliche Erträge.....	34
Tabelle 9: Instandsetzungskosten je m ² Materialoberfläche.....	34
Tabelle 10: Verwendete Zeiten für LTO-Segmente.....	36
Tabelle 11: Flugzeugtypen und Turbinen zur Berechnung der Emissionen der AzB-Klassen 2000, wie sie in (ROV G7.3 2001) verwendet wurden.....	37
Tabelle 12: Emissionen des gesamten LTO-Zyklus der verschiedenen AzB-Klassen für das Jahr 2000.....	38
Tabelle 13: Schadenskostenfaktoren für das Jahr 2000.....	38
Tabelle 14: Regionale externe Kosten der AzB-Klassen durch Luftschadstoffe.....	39
Tabelle 15: Anteile der einzelnen LTO-Segmente am LTO-Zyklus bei den untersuchten Flugzeugen.....	40
Tabelle 16: Lokaler Schaden der AzB-Klassen bezüglich PM10 und B(a)P.....	40
Tabelle 17: Totale marginale externe Kosten durch Luftschadstoffe.....	41
Tabelle 18: Flugverkehr bis 600 m über Grund [in t/a, BaP in g/a].....	44
Tabelle 19: Externe Kosten der Luftschadstoffemissionen (regionale externe Gesamtkosten).....	45
Tabelle 20: Externe Kosten der Luftschadstoffemissionen (Jahreswerte der lokalen Schäden durch B(a)P, Benzol und PM10); Werte sind teils in Mio.€ ₂₀₀₀ /a, teils in € ₂₀₀₀ /a angegeben.....	45
Tabelle 21: Gesamte externe Kosten der Luftschadstoffemissionen ohne Flugzeuge.....	46
Tabelle 22: Totale externe Kosten der Luftschadstoffemissionen während eines Jahres.....	46
Tabelle 23: Prozentualer Anteil der regionalen und der lokalen externen Gesamtkosten durch Luftschadstoffe.....	46
Tabelle 24: Stromverbrauch der Szenarien in GWh/a.....	48
Tabelle 25: Zusammensetzung des Kraftwerksmix Deutschland.....	48
Tabelle 26: Externe Kosten der Strombereitstellung.....	49
Tabelle 27: Emissionsfaktoren für die Bereitstellung von Kerosin.....	49
Tabelle 28: Treibstoffbereitstellung, Menge abgeleitet aus SO ₂ Emissionen.....	50
Tabelle 29: Externe Kosten der Treibstoffbereitstellung.....	50
Tabelle 30: Wärme- und Kälteversorgung für die Szenarien.....	50
Tabelle 31: Spezifische Emissionswerte für Fernwärme aus dem Heizkraftwerk Niederrad (persönliche Auskunft von Mainova AG).....	51
Tabelle 32: Emissionen des Heizkraftwerkes Niederrad bezüglich der Fernwärme.....	51
Tabelle 33: Externe Kosten der Wärmeversorgung.....	51
Tabelle 34: Externe Kosten der Kälteversorgung – Faktor Ansatz.....	52
Tabelle 35: Stromverbrauch durch Kälteerzeugung und die daraus resultierenden externen Kosten.....	52
Tabelle 36: Anzahl der durch den Flughafen mit induzierten Fahrten 1998 und Zunahme bis 2015.....	53
Tabelle 37: Emissionen des Kfz-Straßenverkehrs im Untersuchungsgebiet.....	54

Tabelle 38: Emissionen des flughafeninduzierten Kfz-Straßenverkehrs	55
Tabelle 39: Externe Kosten des flughafeninduzierten Kfz-Verkehrs durch Methan und CO ₂ -Emissionen	55
Tabelle 40: Externe Kosten des flughafeninduzierten Kfz-Verkehrs durch NO _x , PM10, SO ₂ , HC (NMVOC), CO, Benzol und B(a)P-Emissionen.....	56
Tabelle 41: Abschätzung der externen Kosten des induzierten Kfz-Straßenverkehrs bezüglich der Nullvariante.....	56
Tabelle 42: Marginale externe Kosten der Luftschadstoffe pro 100 Personenkilometer (pkm) von unterschiedlichen Kfz und öffentlichen Verkehrsmitteln	58
Tabelle 43: Mittlere Lärmpegel für Straßenverkehrslärm.....	61
Tabelle 44: Expositions-Wirkungsbeziehungen für Lärm und ischaemische Herzkrankheit (Schwellwert 70 dB(A) L _{DEN} , die Lärmart wird nicht unterschieden).....	62
Tabelle 45: Langfristige Auswirkungen, die mit der Lärmbelastung in Verbindung gebracht wurden, und Beobachtungsschwellen	65
Tabelle 46: Expositions-Wirkungsbeziehungen zur Quantifizierung von Wirkungen von Lärm auf den Nachtschlaf.....	65
Tabelle 47: Expositions-Wirkungsbeziehungen zur Quantifizierung des durch Lärm belästigten Anteils der erwachsenen Bevölkerung.....	67
Tabelle 48: Wahrscheinlichkeit einer Redeunterbrechung während eines Gesprächs als Funktion des Lärmpegels (SEL)	68
Tabelle 49: Monetäre Werte für Gesundheitseffekte und Schlafqualität.....	72
Tabelle 50: Zusammenfassung von Studien zur Zahlungsbereitschaft zur Vermeidung von Fluglärm	73
Tabelle 51: Hedonische Preisstudien für Fluglärm	74
Tabelle 52: Zusammenfassung der Wertansätze für die Bewertung von Lärm	76
Tabelle 53: Anzahl Betroffener verschiedener Szenarien mit Außenpegeln (Gesamtlärm) größer oder gleich 70 dB _{Lden} und der Maximalpegel	79
Tabelle 54: Externe Kosten des Lärms durch den Flughafenbetrieb durch Gesundheitseffekte und Schlafstörungen in Mio.€ ₂₀₀₀ pro Jahr, berechnet mit dem Wirkungspfadansatz	80
Tabelle 55: Externe Kosten der Belästigung durch Lärm durch den Flughafenbetrieb in Mio.€ ₂₀₀₀ pro Jahr, bewertet mit dem hedonischen Preisansatz mit 27 € ₂₀₀₀ /dB _{Laeq} 6-22h/Pers. und mit dem vorläufig offiziellen Wertansatz der Europäischen Kommission mit 18 € ₂₀₀₀ /dB _{Lden} /Pers. und für jeweils die Schwellwerte 50 und 55 dB.....	81
Tabelle 56: Marginale externe Kosten für den Start am Tag auf verschiedenen Abflugrouten für die Ist-Situation (Bewertung mit 18 € ₂₀₀₀ /dB _{Lden} pro Pers; Schwellwert 50dB _{Lden}) [€ ₂₀₀₀ /Start].....	89
Tabelle 57: Mittlere Faktoren zur Bewertung der externen Kosten der verschiedenen Abflugrouten bezogen auf 25TAU-K	89
Tabelle 58: Marginale externe Kosten für den Start in der Nacht auf verschiedenen Abflugrouten für die Ist-Situation (Bewertung mit 590 € ₂₀₀₀ pro Person pro Jahr für Beeinträchtigung der subjektiven Schlafqualität) [€ ₂₀₀₀ /Start].....	90
Tabelle 59: Marginale externe Kosten für den Anflug am Tag, Abend und in der Nacht in Richtung 07 und 25 für die Ist-Situation (Bewertung mit 18 € ₂₀₀₀ /dB _{Lden} pro Person; Schwellwert 50dB _{Lden}). [€ ₂₀₀₀ /Landung]	91
Tabelle 60: Marginale externe Kosten für den Start eines Airbus A340 bei verschiedenen Szenarien im Jahr 2015 (Null und Ausbauvarianten) und Betriebsrichtungen (Bewertung mit 18 € ₂₀₀₀ /dB _{Lden} pro Person, Schwellwert 50dB _{Lden}) [€ ₂₀₀₀ /Start].....	93
Tabelle 61: Marginale externe Lärmkosten für den Anflug am Tag auf verschiedenen Landebahnen für die Szenarien 2015 (Variante Nordwest, Nordost, Süd und Nullfall) (Bewertung mit 18 € ₂₀₀₀ /dB _{Lden} pro Person, Schwellwert 50 dB _{Lden}) [€ ₂₀₀₀ /Landung]. ...	94

Tabelle 62: Marginale externe Kosten einer Landung zwischen 22 und 6 Uhr auf verschiedenen Landebahnen für die Szenarien 2015, Variante Nordwest und Nordost. (Bewertung: 590 € je gestörter Person pro Jahr) [€ ₂₀₀₀ /Landung]	95
Tabelle 63: Auszug aus (Mediation Frankfurt G-Ö16/17 2000) (Tabelle 17) Siedlungseinschränkung bei 60dB(A) Isophonen	97
Tabelle 64: Externe Kosten durch Siedlungsbeschränkungsgebiete	97
Tabelle 65: Externe Kosten durch Siedlungsbeschränkungsgebiete – Annuität	97
Tabelle 66: Externe Unfallkosten für die Bevölkerung in der Nähe des Flughafens	103
Tabelle 67: Kategorisierung möglicher Auswirkungen anhand von Umweltökonomischen Gesichtspunkten	107
Tabelle 68: Zusätzliche versiegelte Flächen durch die Ausbauvarianten	113
Tabelle 69: Kosten der Flächenrückführung	114
Tabelle 70: Kosten der Flächenrückführung (Annuitäten)	114
Tabelle 71: Ersatzaufforstungsbedarf verursacht durch die Ausbauvarianten	116
Tabelle 72: Altersverteilung der Bäume im Untersuchungsgebiet	116
Tabelle 73: Gegenwartswert der verlorenen Erholungsfunktion der Waldflächen (nach Elsasser)	117
Tabelle 74: Jährliche externe Kosten durch den Verlust der Erholungsfunktion der Waldflächen (nach Elsasser)	117
Tabelle 75: Anteil der versiegelten und unversiegelten Fläche am Kompensationsbedarf für verlorene Waldflächen	118
Tabelle 76: Gegenwartswert der verlorenen Waldflächen nach (Infraconsult AG 1999); ...	118
Tabelle 77: Jährliche externe Kosten durch den Verlust der Waldflächen nach (Infraconsult AG 1999)	119
Tabelle 78: Differenz der externen Kosten durch Wiederaufforstung von Land, welches bereits einen Wert bezüglich Natur und Landschaft hat	120
Tabelle 79: Verlust von Biotopflächen und Teillebensräumen sowie Beeinträchtigungen von Biotopstrukturen [in ha] infolge der Erweiterung des Flughafens	121
Tabelle 80: Zusätzlich zu den Waldflächen betroffene Biotopflächen	121
Tabelle 81: Gegenwartswert der externen Kosten des Verlustes von Biotopflächen (ohne Wald) durch den Flughafenausbau	122
Tabelle 82: Jährliche externe Kosten (Annuitäten) des Verlustes von Biotopflächen (ohne Wald) durch den Flughafenausbau	122
Tabelle 83: Äquivalenzfaktoren nach (IPCC 2001)	125
Tabelle 84: Marginale externe Schadenskosten von Treibhausgasen (Preisstand € ₂₀₀₀) (Friedrich und Bickel 2001)	126
Tabelle 85: Marginale Kosten der AzB-Klassen bezüglich der Treibhausgase je LTO-Zyklus	129
Tabelle 86: Externe Kosten der Treibhausgasemissionen der Flugzeuge (externe Gesamtkosten)	129
Tabelle 87: Externe Kosten der Treibhausgasemissionen des Kfz-Verkehrs und stationäre Quellen	130
Tabelle 88: Externe Kosten der Treibhausgasemissionen, verursacht durch die Strombereitstellung	130
Tabelle 89: Externe Kosten der Treibhausgasemissionen, verursacht durch die Treibstoffbereitstellung (Kerosin für LTO-Zyklus)	131
Tabelle 90: Wärme- und Kälteversorgung für die Szenarien	131
Tabelle 91: Spezifische Emissionswerte für Fernwärme aus dem Heizkraftwerk Niederrad (persönliche Auskunft von Mainova AG)	131
Tabelle 92: Emissionen des Heizkraftwerkes Niederrad bezüglich der Fernwärme	132
Tabelle 93: Externe Kosten der Wärmeversorgung	132

Tabelle 94: Externe Kosten der Kälteversorgung durch Treibhausgase	132
Tabelle 95: Stromverbrauch durch Kälteerzeugung und die daraus resultierenden externen Kosten der Treibhausgase	133
Tabelle 96: Marginale regionale externe Kosten bei VPF von 1,4 Mio.€ ₂₀₀₀ bzw. 4,4 Mio.€ ₂₀₀₀	146
Tabelle 97: Gesamte (Regional _{korrt.} plus Lokal) externe Kosten der AzB-Klassen durch Luftschadstoffe bei VPF von 1,4 Mio.€ ₂₀₀₀ bzw. 4,4 Mio.€ ₂₀₀₀	147
Tabelle 98: Totale marginale externe Kosten durch Luftschadstoffe unter der Annahme, dass PM10 zu 80 % aus PM2,5 besteht.....	149
Tabelle 99: Regionale externe Kosten bei einem Wert für VPF von 1,4 Mio.€ ₂₀₀₀ bzw. 4,4 Mio.€ ₂₀₀₀	150
Tabelle 100: Totale (regionale plus lokale) externe Kosten der Luftschadstoffe für VPF von 1,4 Mio.€ ₂₀₀₀ und 4,4 Mio.€ ₂₀₀₀	150
Tabelle 101: Marginale externe Kosten durch Ammoniumnitrat bezüglich Gesundheitseffekte (bei VPF von 3,4 Mio.€ ₂₀₀₀).....	152
Tabelle 102: Prozentualer Anteil von Ammoniumnitrat (bezüglich Gesundheitseffekte) an den marginale externen Kosten (bei VPF von 3,4 Mio.€ ₂₀₀₀).....	152
Tabelle 103: Externe Gesamtkosten durch Ammoniumnitrat bezüglich Gesundheitseffekte (bei VPF von 3,4 Mio.€ ₂₀₀₀).....	153
Tabelle 104: Prozentualer Anteil von Ammoniumnitrat (bezüglich Gesundheitseffekte) an den externen Gesamtkosten (bei VPF von 3,4 Mio.€ ₂₀₀₀).....	153
Tabelle 105: Externe Kosten des Lärms durch den Flughafenbetrieb in Mio.€ ₂₀₀₀ pro Jahr, basierend auf modifizierten Lärmszenarien und bewertet mit dem hedonischen Preisansatz mit 27 € ₂₀₀₀ /dB _L aeq 6-22h/Pers.	154
Tabelle 106: Jährliche externe Kosten des Lärms durch den Flughafenbetrieb in Mio.€ ₂₀₀₀ /a (Bewertungsansatz 18,5 bzw. 56,5 € ₂₀₀₀ /(dB*Person*a) ab 55 dB.....	155
Tabelle 107: Jährliche externe Kosten des Lärms durch den Flughafenbetrieb in Mio.€ ₂₀₀₀ /a (Bewertungsansatz 18€ ₂₀₀₀ x 1,5 = 27€ ₂₀₀₀ /(dB*Person*a) ab 50 dB _{Lden}	155
Tabelle 108: Externe Kosten durch von Lärm verursachte Gesundheitsschäden bei einem VPF von 1,4 bzw. 4,4 Mio.€ ₂₀₀₀	156
Tabelle 109: Externe Kosten durch Schlafstörungen bei einem Wert von 220 – 880 € ₂₀₀₀ /a je schlafgestörte Person.....	157
Tabelle 110: Externe Kosten durch Siedlungsbeschränkungsgebiete – Annuität.....	157
Tabelle 111: Externe Unfallkosten für die Bevölkerung in der Nähe des Flughafens bei Verwendung eines VPF von 1,4 Mio.€ ₂₀₀₀	159
Tabelle 112: Externe Unfallkosten für die Bevölkerung in der Nähe des Flughafens bei Verwendung eines VPF von 4,4 Mio.€.....	160
Tabelle 113: Jährliche externe Kosten (Annuitäten) durch den Verlust der Waldflächen nach (Infraconsult AG 1999) – Zahlungsbereitschaft entspricht Fr. 10.-- bzw. Fr. 50.--.....	162
Tabelle 114: Jährliche externe Kosten (Annuitäten) des Verlustes von Biotopflächen (ohne Wald) durch den Flughafenbau – Zahlungsbereitschaft entspricht Fr. 10.--bzw. Fr. 50.--	163
Tabelle 115: Sensitivitätsbetrachtung der marginale Kosten der AzB-Klassen (bezogen auf LTO-Zyklus) bezüglich der Treibhausgase.....	164
Tabelle 116: Sensitivitätsbetrachtung der externen Kosten der Treibhausgasemissionen der Flugzeuge (Jahresbetrachtung).....	166
Tabelle 117: Sensitivitätsbetrachtung der externen Kosten der Treibhausgasemissionen des Kfz-Verkehrs und stationäre Quellen.....	167
Tabelle 118: Zusammenfassung der externen Gesamtkosten	168
Tabelle 119: Zusammenfassung der marginalen Kosten durch Luftschadstoffe der AzB- Klassen in der Ist-Situation [€ ₂₀₀₀ /LTO]	176

Tabelle 120: Zusammenfassung der marginalen Kosten durch Luftschadstoffe der AzB-Klassen im Nullfall und den Planungsfällen-[€ ₂₀₀₀ /LTO].....	177
Tabelle 121: Durchschnittliche externe Kosten pro Flugbewegung, die nicht nach Flugzeugtyp differenziert ermittelt wurden [€ ₂₀₀₀ /Flugbewegung].....	180
Tabelle 122: Durchschnittliche externe Kosten pro Passagier, die nicht nach Flugzeugtyp differenziert ermittelt wurden (ohne Unfallrisiko) [€ ₂₀₀₀ /Passagier].....	180
Tabelle 123: Ausgewählte Flugzeuge für die Darstellung der gesamten marginalen externen Kosten pro LTO-Zyklus	181
Tabelle 124: Lärmbezogene Komponente der Lande- und Startentgelte nach der Entgeltordnung der Fraport AG (aktueller Stand gültig seit dem 1. Januar 2003)	185
Tabelle 125: Lärmzuschläge zur Finanzierung von Schallschutzmaßnahmen; fixer Bestandteil nach der Zuordnung des Flugzeugs zu Lärmkategorien (ab dem 1. November 2002, konstant bis zum Ende der Laufzeit des Programms)	186
Tabelle 126: Relative Häufigkeitsverteilung der Startrouten für jede Kombination AzB-Klasse und Tageszeit (Tag+Abend / Nacht) in Prozent (Zeilensummen ergeben jeweils 100 %)	194
Tabelle 127: Relative Häufigkeitsverteilung der Landerouten für Tages- (einschließlich Abend-) und Nachtlandungen in Prozent	195
Tabelle 128: Komponenten einer Entgeltordnung je LTO-Zyklus mit Tages-, Abend- und Nachtarif, die auf marginalen externen Kosten beruht, auf Grundlage des Ist-2000-Falles in [€ ₂₀₀₀ je LTO-Zyklus].....	196
Tabelle 129: Kostenkategorien und betrachtete Schadensgüter.....	199
Tabelle 130: Anzahl der Flugbewegungen im Jahre 2000 bzw. 2015	201
Tabelle 131: Kategorie 1 nach Einteilung Flughafenentgelte: Zertifizierte Fluggeräte, INM-Kurzbezeichnung und Beschreibung des INM-Modellflugzeugs mit Typ und Triebwerk	213
Tabelle 132: Marginale externe Lärmkosten verschiedener Flugzeugtypen / Triebwerkskonfigurationen für den Anflug am Tag, Abend und in der Nacht auf Landebahn 07R (Bewertung mit 18 € ₂₀₀₀ /dB _{Lden} /Person; Schwellwert 50 und 55 dB _{Lden})[€ ₂₀₀₀ /Anflug]	215
Tabelle 133: Marginale externe Lärmkosten verschiedener Flugzeugtypen / Triebwerkskonfigurationen für den Abflug in Richtung TAU am Tag, Abend und in der Nacht (Bewertung mit 18 € ₂₀₀₀ /dB _{Lden} pro Person; Schwellwert 50 und 55 dB _{Lden})[€ ₂₀₀₀ /Abflug]	216
Tabelle 134: Zuordnung der verwendeten Kurzbezeichner für Abflugrouten zu den Flugstreckenbezeichnern	217
Tabelle 135: Marginale externe Lärmkosten für den Start am Abend und in der Nacht auf verschiedenen Abflugrouten für die Ist-Situation (Bewertung mit 18 € ₂₀₀₀ /dB _{Lden} pro Person; Schwellwert 50dB _{Lden})[€ ₂₀₀₀ /Abflug]	217
Tabelle 136: Marginale externe Kosten für den Start am Tag, Abend und in der Nacht auf verschiedenen Abflugrouten für die Ist-Situation (Bewertung mit 18 € ₂₀₀₀ /dB _{Lden} pro Person; Schwellwert 55dB _{Lden}) [€ ₂₀₀₀ /Abflug]	218
Tabelle 137: Marginale externe Lärmkosten für den Anflug am Tag, Abend und in der Nacht in Richtung 07 und 25 für die Ist-Situation (Bewertung mit 18 € ₂₀₀₀ /dB _{Lden} pro Person; Schwellwert 55dB _{Lden}) [€ ₂₀₀₀ /Anflug]	219
Tabelle 138: Marginale externe Kosten für den Start eines Airbus A340 bei verschiedenen Szenarien (Ist und Varianten) und Betriebsrichtungen. Bewertung: hedonischer Preisansatz 27 € ₂₀₀₀ /dB _{Laeq} 6-22h pro Person bei Schwellwert 50dB [€ ₂₀₀₀ /Abflug]	219
Tabelle 139: Marginale externe Kosten einer Landung am Abend und in der Nacht auf verschiedenen Landebahnen für die Varianten 2015 (Nordwest, Nordost, Süd und	

Prognosenullfall). (Bewertung mit 18 € ₂₀₀₀ /dB _{Lden} pro Person, Schwellwert 50 dB _{Lden}) [€ ₂₀₀₀ /Anflug]	220
Tabelle 140: Marginale externe Kosten einer Landung am Tag, Abend und in der Nacht für die Varianten 2015 auf verschiedenen Landebahnen (Nordwest, Nordost, Süd und Prognosenullfall). Bewertung: 18 € ₂₀₀₀ /dB _{Lden} pro Pers.; Schwellwert 55 dB _{Lden} [€ ₂₀₀₀ /Anflug]	221
Tabelle 141: Marginale externe Kosten einer Landung auf verschiedenen Landebahnen für die Varianten 2015 (Nordwest, Nordost, Süd und Prognosenullfall). Bewertung nach hedonischen Preisansatz mit 27 € ₂₀₀₀ /dB _{6-22h} pro Person, Schwellwert 55 dB [€ ₂₀₀₀ /Anflug]	221
Tabelle 142: Marginale externe Gesundheitskosten einer Landung am Tag auf verschiedenen Landebahnen für die Varianten 2015 [€ ₂₀₀₀ /Anflug].....	222
Tabelle 143: Marginale externe Kosten verschiedener Flugzeugtypen und Turbinentypen bezüglich Luftschadstoffe und Treibhausgase in 2000 [€ ₂₀₀₀ /LTO]	223
Tabelle 144: Marginale externe Kosten verschiedener Flugzeugtypen und Turbinentypen bezüglich Luftschadstoffe und Treibhausgase in 2015 [€ ₂₀₀₀ /LTO]	225
Tabelle 145: Monetäre Bewertung von Zeit (€ ₁₉₉₈ pro Person und Stunde, vorläufig)	232

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Darstellung des Wirkungspfadansatzes zur Berechnung von externen Umweltkosten.....	17
Abbildung 2: Marginale externe Kosten in € ₂₀₀₀ /LTO Luftschadstoffe und CO ₂ (2000) bezüglich der LAZ-Klassen, jeder Punkt bezeichnet einen bestimmten Flugzeugtyp innerhalb der Klasse	42
Abbildung 3: Marginale externe Kosten in € ₂₀₀₀ /LTO Luftschadstoffe und CO ₂ (2000) bezüglich AzB-Klassen	42
Abbildung 4: Gegenüberstellung der Bandbreiten externer Kosten durch Luftschadstoffe/Treibhausgase, Lärm und Unfälle verschiedener Verkehrsmittel [€ ₂₀₀₀ /pkm(Personenkilometer)]	57
Abbildung 5: Marginale externe Lärmkosten [€ ₂₀₀₀ /Abflug] verschiedener Flugzeugtypen / Triebwerkskonfigurationen für den Abflug am Tag in Flugrichtung Taunus in Abhängigkeit vom Abfluggewichts und dargestellt in Kategorien der Flughafenentgeltordnung 2003 = LAZ-Kategorien (Bewertung mit 18 € ₂₀₀₀ /dB _{Lden} /Pers; Schwellwert 55dB _{Lden}).	85
Abbildung 6: Marginale externe Lärmkosten [€ ₂₀₀₀ /Anflug] verschiedener Flugzeugtypen / Triebwerkskonfigurationen für den Anflug am Tag auf Landebahn 07R in Abhängigkeit des maximalen Abfluggewichts und dargestellt in Kategorien der Flughafenentgeltordnung 2003 = LAZ-Kategorien (Bewertung mit 18 € ₂₀₀₀ /dB _{Lden} /Pers; Schwellwert 50dB _{Lden}).	86
Abbildung 7: Einfluss des Startgewichts verschiedener, großer Flugzeuge auf die externen Kosten beim Start	87
Abbildung 8: Bandbreite der marginalen externen Kosten durch Luftschadstoffe pro LTO [€ ₂₀₀₀ /LTO] Ist-Zustand.....	147
Abbildung 9: Bandbreite der marginalen externen Kosten durch Luftschadstoffe pro LTO [€ ₂₀₀₀ /LTO] 2015	148
Abbildung 10: Bandbreite der externe Kosten durch Luftschadstoffe bei 100% PM ₁₀ (0% PM _{2,5}) bis 20 % PM ₁₀ (80% PM _{2,5}).....	149
Abbildung 11: Totale (regionale plus lokale) externe Kosten der Luftschadstoffe bei Variation des VPF von 1,4 Mio.€ ₂₀₀₀ bis 4,4 Mio.€ ₂₀₀₀	151
Abbildung 12: Bandbreite der externe Kosten durch Siedlungsbeschränkungsbereiche – Annuität.....	158
Abbildung 13: Bandbreite der externe Kosten durch potentielle Unfälle hochgerechnet auf das ganze Jahr bei einem VPF von 1,4 bis 4,4 Mio.€ ₂₀₀₀	161
Abbildung 14: Externe Kosten der AzB-Klassen 2000 bezüglich Treibhausgase bei 2,4 bis 37 € ₂₀₀₀ /t CO ₂	165
Abbildung 15: Externe Kosten der AzB-Klassen 2015 bezüglich Treibhausgase bei 2,4 bis 37 € ₂₀₀₀ /t CO ₂	165
Abbildung 16: Bandbreite der externen Kosten der Treibhausgase durch Flugzeuge (Jahresbetrachtung) bei 2,4 bis 37 € ₂₀₀₀ /t CO ₂	166
Abbildung 17: Bandbreite der externen Kosten der Treibhausgase durch Kfz-Verkehr und stationären Quellen auf dem Flughafen (Jahresbetrachtung) bei 2,4 bis 37 € ₂₀₀₀ /t CO ₂	167
Abbildung 18: Zusammenfassung der wichtigsten Beiträge zu den Gesamtkosten – „beste Schätzung“	171
Abbildung 19: Zusammenfassung der wichtigsten Beiträge zu den Gesamtkosten – „untere Schätzung“	173
Abbildung 20: Zusammenfassung der wichtigsten Beiträge zu den Gesamtkosten – „obere Schätzung“	174

Abbildung 21: Bandbreite und Mittelwert der externen Kosten der Luftschadstoffe und Treibhausgase bezüglich der Flugzeuge mit LAZ-Klassen - 2000	178
Abbildung 22: Bandbreite und Mittelwert der externen Kosten der Luftschadstoffe und Treibhausgase bezüglich der Flugzeuge mit LAZ-Klassen – 2015	178
Abbildung 23: Externe Kosten, die nicht nach Flugzeugtyp differenziert ermittelt wurden (FZ=Flugzeug)	179
Abbildung 24: Gesamte marginale Kosten für Start und Landung am Tag, Flugrouten mit niedrigen externen Kosten bezüglich Lärm, (18KIR-L bezeichnet die Abflugroute)....	182
Abbildung 25: Gesamte marginale Kosten für Start und Landung in der Nacht, Flugrouten mit hohen externen Kosten bezüglich Lärm, (07N-L bezeichnet die Abflugroute).....	182
Abbildung 26: Zusammenfassung der wichtigsten Beiträge zu den Gesamtkosten – „beste Schätzung“	200
Abbildung 27: Durchschnittliche externe Kosten pro Flugbewegung	202
Abbildung 28: Gesamte marginale Kosten für Start und Landung am Tag, Flugrouten mit niedrigen externen Kosten bezüglich Lärm, (18KIR-L bezeichnet die Abflugroute)....	204
Abbildung 29: Gesamte marginale Kosten für Start und Landung in der Nacht, Flugrouten mit hohen externen Kosten bezüglich Lärm (07N-L bezeichnet die Abflugroute).....	205

1 Einleitung

Während früher der Verkehr und die Mobilität als durchweg positiv empfunden wurden, rücken heute mehr und mehr Betrachtungen über die Gefahren und Risiken in den Vordergrund. Dementsprechend besteht heutzutage Konsens darüber, dass bei Entscheidungen nicht die betriebswirtschaftlichen Kosten und der Nutzen für die Mobilität allein ausschlaggebend sein sollten. Vielmehr sind Umweltschäden und Gesundheitsrisiken mit zu berücksichtigen; in der Sprache der Ökonomie ausgedrückt geht es darum, dass solche *externen*, weil nicht im Preis bzw. der Kostenrechnung enthaltenen Effekte *internalisiert*, d. h. von den Verkehrsmittelnutzern bei ihrer Entscheidung berücksichtigt werden.

Bei Umwelt- und Gesundheitswirkungen handelt es sich um sehr unterschiedliche Effekte, die zunächst weder untereinander vergleichbar noch hinsichtlich ihrer Relevanz für das Entscheidungsproblem einzuordnen sind. Die bloße Ermittlung etwa eines Lärmpegels lässt noch nicht erkennen, wie problematisch dieser Lärm im Vergleich zu anderen Problemen oder auch Vorteilen von Entscheidungsalternativen ist. Solche Vergleiche sind aber erforderlich, um Kosten und Nutzen von Alternativen auf konsistente und transparente Weise ermitteln zu können. Eine mögliche Lösung wird von der Umweltökonomie durch die Monetarisierung angeboten. Im Prinzip geht es darum, die Zahlungsbereitschaft für die Verminderung der verschiedenen Umwelt- und Gesundheitsschäden zu ermitteln. Sind alle einzelnen Wirkungen in Geldeinheiten ausgedrückt, d. h. in einen einheitlichen Maßstab umgerechnet, können diese verglichen und konstruktiv diskutiert werden.

Die Quantifizierung von externen Kosten kann daher einen Beitrag zur Diskussion und Entscheidungsfindung in der Verkehrspolitik leisten. Deshalb müssen diese nach dem derzeitigen Stand des Wissens ermittelt werden. Im Folgenden werden zunächst die Zielsetzung und die Systemgrenzen der Untersuchung dargestellt. In den darauffolgenden Kapiteln werden die relevanten Schadenskategorien behandelt, also die angewandten Methoden beschrieben und die Ergebnisse vorgestellt. Auf Grundlage einer Zusammenstellung der ermittelten externen Kosten werden dann Möglichkeiten zur Internalisierung der externen Kosten aufgezeigt.

2 Zielsetzung und Systemgrenzen

2.1 Was sind externe Effekte und was sind externe Kosten?

Aus externen Effekten können externe Kosten resultieren. Externe Effekte liegen vor, wenn von Aktivitäten eines Wirtschaftssubjektes (das kann Produktion, Faktoreinsatz oder Konsum sein) positive oder negative Einflüsse auf andere Wirtschaftssubjekte ausgehen, ohne dass diese über Preise adäquat abgegolten werden bzw. ohne dass Gegenleistungen oder Kompensationszahlungen erfolgen.

Im einzelnen unterscheidet man dabei zwischen technologischen und pekuniären externen Effekten. Technologische externe Effekte liegen vor, wenn sich die Aktionen eines Wirtschaftssubjektes auf die Produktions- oder Nutzenfunktion eines oder mehrerer anderer Wirtschaftssubjekte auswirken, ohne dass sich dies in Änderungen der Faktor- oder Produktpreise niederschlägt. Es besteht demnach hier eine Differenz zwischen privaten und sozialen Kosten der Produktion bzw. Nutzen des Konsums (Beispiel Luftverschmutzung).

Von pekuniären externen Effekten spricht man, wenn –vor allem über Preisbewegungen – pekuniäre Vor- und Nachteile für Wirtschaftssubjekte durch Aktionen eines anderen verursacht werden. Ein Beispiel eines negativen externen Effektes dieser Art liegt vor, wenn die Erhöhung der Produktion in einem Wirtschaftszweig zu Preiserhöhungen bei Vorleistungen (z. B. Rohstoffen) führt, die auch von anderen Wirtschaftszweigen in Anspruch genommen werden (Nowotny 1996). Durch die Ansiedlung oder Erweiterung eines Flughafens kann es zu positiven Effekten bei Betrieben in der Nähe kommen, weil deren Erreichbarkeit und Transportkosten geringer werden. Auch der Nutzen von Privatpersonen, die in der Nähe des Flughafens wohnen, kann sich entsprechend erhöhen. Pekuniäre externe Effekte entstehen ständig im Rahmen eines interdependenten Wirtschafts- und Preissystems. Sie berühren daher die Pareto-Optimalität des Konkurrenzgleichgewichts nicht.

Daraus folgt, dass nur technologische externe Effekte ermittelt und bei Entscheidungen zusätzlich mit betrachtet werden müssen.

Durch eine Monetarisierung von externen Effekten, d.h. durch eine Bewertung in Geldeinheiten können die externen Effekte in externe Kosten umgerechnet werden. Dies hat den Vorteil, dass unterschiedliche Effekte (z. B. Gesundheitsschäden und Materialschäden) miteinander verglichen werden können.

Technologische externe Kosten sollten den direkten Verursachern zugeordnet werden. Werden durch das Angebot von Flügen zusätzliche Fluggäste gewonnen, so reisen diese mit Auto und Bahn an, was zusätzliche externe Kosten verursachen kann. Diese externen Kosten sollten aber der Auto- oder Bahnfahrt direkt angelastet werden, was dann zur Einbeziehung dieser Nachteile bei den Entscheidungen der Fluggäste führt. Die Entscheidung für Flug und Art der Anreise hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab (Wohnort, Angebot an

Nahverkehrsmitteln, Beratung des Reisebüros), so dass eine Zuordnung solcher externer Kosten auf vorgelagerte Akteure weder sinnvoll noch eindeutig möglich ist.

Die Bedeutung der Ermittlung und Internalisierung externer Kosten gerade im Verkehrsbereich wird auch von der Europäischen Kommission (European Commission 1995) mehr und mehr erkannt und problematisiert: den wichtigsten Verkehrsproblemen – Überlastung, Unfälle, Luftverschmutzung, Lärm – ist gemeinsam, dass deutliche Unterschiede zwischen den vom Einzelnen bezahlten Gebühren und den auf andere Verkehrsnutzer und die Gesellschaft abgewälzten Kosten bestehen. Der Ausgleich dieses Unterschieds wird als „Internalisierung der externen Kosten“ bezeichnet.

Ziel des Gutachtens ist es, die externen Kosten (also die monetarisierten negativen externen Effekte) des Flugverkehrs am Flughafen Frankfurt/Main zu quantifizieren. Im Sinne des Verursacherprinzips werden darunter die (technologischen) externen Effekte verstanden, die dem Nutzer oder Betreiber des Flughafens direkt anzulasten sind. Die externen Kosten werden für zwei Kategorien berechnet:

1. Es werden die externen Kosten ermittelt, die in der Ist-Situation 2000 entstanden sind sowie bei einem Nichtausbau des Flughafens 2015 (Null) und bei verschiedenen Ausbauvarianten 2015 durch den gesamten Flugbetrieb während eines Jahres entstehen (externe Gesamtkosten)
2. Es werden marginale externe Kosten quantifiziert, also die externen Kosten, die durch Start und Landung eines zusätzlichen Flugzeugs entstehen.

Die Berechnung von marginalen externen Kosten ist erforderlich, um Strategien zur Internalisierung von externen Kosten diskutieren zu können, weil die Internalisierung mit marginalen und nicht etwa mit Durchschnittskosten erfolgen muss. Die Begründung hierfür entstammt den Optimalitätsbedingungen des totalen Konkurrenzgleichgewichts aus der mikroökonomischen Theorie. Eine der Optimalitätsbedingungen besagt, dass die (pareto)-optimale Produktionsmenge dadurch gekennzeichnet ist, dass die (volkswirtschaftlichen, d.h. Summe aus internen und externen) Grenzkosten gleich dem Grenzerlös sind; der Grenzerlös entspricht aber dem Marktpreis und somit der marginalen Zahlungsbereitschaft des „letzten“ Nachfragers. Somit ist die Höhe der externen Grenzkosten die relevante Größe, die sich durch die Internalisierung im Preis widerspiegeln muss.

Die beiden Zielsetzungen, also die Bestimmung der marginalen und der Gesamtkosten, werden im Folgenden näher erläutert.

2.2 Quantifizierung der externen Gesamtkosten

Die Quantifizierung externer Kosten, die durch den Flugverkehr am Flughafen Frankfurt/Main im Laufe eines Jahres verursacht werden, wird für fünf Referenzfälle vorgenommen. Der erste Referenzfall beschreibt die *Ist-Situation 2000*. Die Datengrundlage

bezieht sich so weit möglich auf das Jahr 2000 (Teilweise sind Daten nur für die Jahre 1997, 1998 oder 2001 vorhanden, diese werden dann näherungsweise als auch für 2000 repräsentativ angenommen). Diese Daten werden im Folgenden verwendet, um die Ist-Situation im Jahr 2000 zu beschreiben. Des Weiteren wird der *Referenzfall Null* betrachtet. Dieser stellt die voraussichtliche Situation im Jahr 2015 ohne Flughafenausbau dar. Für den Fall des Ausbaus des Frankfurter Flughafens werden drei Referenzfälle betrachtet, die die Situation im Jahr 2015 beschreiben. Der hier gewählte Prognosehorizont 2015 entspricht dem des Raumordnungsverfahrens (ROV) zum Ausbau des Flughafens Frankfurt. Die Berechnung umfasst beim Ausbaufall alle drei Varianten (*Nordwest-, Nordost- und Südvariante*). Für alle Fälle werden in der Vergangenheit angefallene externe Kosten (sunk costs, z. B. die Erstellung der bereits vorhandenen Startbahnen) nicht ermittelt, da sie für heutige und zukünftige Entscheidungen nicht mehr relevant sind.

Die externen Gesamtkosten können zur Bewertung von Entscheidungsalternativen herangezogen werden, soweit gleiche Randbedingungen (Fluggastzahlen) vorliegen. Will man externe Kosten von Varianten mit unterschiedlichen Fluggastzahlen vergleichen, so müsste man mit bilanzieren, was die Fluggäste, die im Referenzfall nicht ab Frankfurt fliegen, stattdessen tun (z. B. von einem anderen Flughafen aus fliegen oder mit dem Auto fahren). Da dies jedoch im Rahmen dieses Gutachtens zu aufwändig ist, wird dies nicht mit betrachtet. Die ermittelten Zahlen sind daher vor allem zur Betrachtung und zum Vergleich lokaler und regionaler externer Kosten geeignet, wobei zu berücksichtigen ist, dass geringere externe Kosten um den Flughafen Frankfurt unter Umständen höhere externe Kosten anderswo bedingen.

2.3 Quantifizierung von marginalen externen Kosten

Als weiterer Teil des Gutachtens werden die marginalen Kosten des Flugverkehrs am Flughafen Frankfurt/Main quantifiziert. Eine solche Betrachtung liefert die Voraussetzung für eine differenzierte Internalisierung der externen Kosten. Marginale Kosten werden hier interpretiert als die Kosten, die durch eine bestimmte zusätzlichen Flugbewegung (Start oder Landung) innerhalb der betrachteten Bilanzgrenzen (LTO-Zyklus, d.h. landing/take-off cycle) anfallen.

Eine weitere, theoretisch mögliche Definition für marginale externe Kosten ist die Verursachung marginaler externer Kosten durch einen zusätzlichen Fluggast. Solange noch Platz in dem betrachteten Flugzeug wäre, würde dieser zusätzliche Fluggast vernachlässigbar kleine marginale Kosten verursachen. Jedoch hätte im Prinzip derjenige Fluggast, dessen Nachfrage zum Einsatz eines zusätzlichen Flugzeugs führt, dessen gesamte externen Kosten zu tragen. Dieser Fluggast ist jedoch nicht eindeutig identifizierbar; es handelt sich bei der Entscheidung über den Einsatz weiterer Flugzeuge vielmehr um Wahrscheinlichkeits- und Risikoüberlegungen. Da somit jeder Fluggast zur Entscheidung über zusätzliche Flugzeuge gleichberechtigt beiträgt, werden marginale Kosten in diesem Gutachten als Kosten des

nächsten, zusätzlich fliegenden Flugzeuges verstanden, die unter Berücksichtigung einer durchschnittlichen Auslastung dann auf Werte pro Fluggast umgerechnet werden können.

Marginale Kosten sind technologiespezifisch und unterscheiden sich insbesondere bei Lärm von den Durchschnittskosten. Neben der Technologie des Flugzeugs ist auch die Flugroute entscheidend.

2.4 Systemgrenzen

Die räumlichen Systemgrenzen der Umweltkosten bestimmen sich aus physikalischen Parametern und der Vorgabe, dass ausschließlich Effekte, die sich aus Aktivitäten auf oder in der Nähe des Flughafens Frankfurt/Main ergeben, betrachtet werden sollen. Daher werden bei den Luftschadstoffen des Luftverkehrs nur die Emissionen des LTO-Zyklus sowie Emissionen beim Betanken, Enteisen und anderen Aktivitäten am Boden bewertet. Dies sind die Emissionen, die bis zu einer Flughöhe von ca. 600m über Grund emittiert werden. Diese Höhe entspricht in etwa der mittleren Mischungsschichthöhe, einer natürlichen Grenze in der Atmosphäre, die angibt, bis zu welcher Höhe sich Luft und Schadstoffe gut durchmischen. Darüber hinaus werden die sonstigen Emissionen des Flughafenbetriebs betrachtet (Verkehr auf dem Flughafengelände, Heizung etc.). Da sich Luftschadstoffe weiträumig ausbreiten können und somit auch Schäden in großer Entfernung verursachen, werden die Wirkungen der Emissionen europaweit bzw. im Fall der Klimaeffekte global betrachtet. Bei Lärm werden unter anderem modellierte Lärmdaten des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (HLUG) zugrundegelegt. Diese Daten beziehen sich auf ein Modellgebiet (Quadrat) mit 70 km Kantenlänge.

Natürlich verursachen Flugzeuge auch externe Kosten während des Fluges außerhalb des LTO-Zyklus, diese werden hier jedoch nicht mit berücksichtigt.

Neben den externen Umweltkosten wird auch untersucht, inwieweit Infrastruktur- und Betriebskosten des Flugverkehrs, die nicht von diesem gedeckt werden, zu bewerten sind. Auf Staukosten des Flugverkehrs wird nur im Anhang eingegangen. Da Staus nur Auswirkungen auf andere Flüge bzw. Fluggäste, nicht aber auf die in der Umgebung wohnende Bevölkerung haben, werden Staukosten im Rahmen dieses Gutachtens nicht ermittelt.

2.5 Die Behandlung des flughafeninduzierten Verkehrs

Oft wird unter den negativen Effekten des Flughafens auch das steigende Verkehrsvolumen auf den umliegenden Autobahnen genannt. Die Induzierung von Verkehr an sich ist aber zunächst ein pekuniärer Effekt, dadurch entstehen zwar zusätzliche externe Kosten, diese sind aber der verursachenden Technologie, also dem Straßen- bzw. Schienenverkehr anzulasten. Dennoch trägt natürlich flughafeninduzierter Verkehr ggf. zu einer Erhöhung der Belastung der Bevölkerung in der Umgebung bei, und es ist durchaus wichtig, die Größenordnung dieser Belastung zu kennen. Soweit es die Daten bestehender Gutachten zu den Luftschadstoff- und Lärmimmissionen erlauben, werden auch Betrachtungen zum flughafeninduzierten,

bodengebundenen Verkehr angestellt. Es wird auf den flughafeninduzierten privaten Kfz-Verkehr und den öffentlichen Verkehr durch Busse und Schienenfahrzeuge eingegangen. Für den Schienenverkehr liegen keine Daten oder Gutachten zu diesem Thema vor. Daher werden zum Schienenverkehr nur allgemeine Betrachtungen angestellt, die die Größenordnung der durch Schienenverkehr verursachten externen Kosten darstellen.

Wie bereits ausgeführt, sind die anfallenden externen Kosten durch Nutzer anderer Verkehrssysteme (Straße u. Schiene) generell nicht bei den Institutionen des Flugverkehrs (Fluggesellschaften, Flughafen) zu internalisieren, sondern direkt bei den entsprechenden Verkehrsmitteln. Da es in diesem Gutachten um die Internalisierung beim Flughafen und Flugverkehr geht, werden keine marginalen externen Kosten der Verkehrsträger Strasse und Schiene berechnet.

2.6 Methodische Grundlagen der Berechnung von externen Umwelt- und Gesundheitskosten

Während die theoretischen Grundlagen und erste Abhandlungen der externen Kosten in der Ökonomie auf Arbeiten am Anfang des 20. Jahrhunderts zurückgehen, wurde die quantitative Erfassung erst am Ende des letzten Jahrhunderts wissenschaftlich bearbeitet. Ein Impuls ging von dem ersten Bericht des Club of Rome aus, dem eine verstärkte Berechnung von physischen Indizes zur Beurteilung der Umwelt folgten, wie z. B. die Darstellung von Emissionen und Schadstoff-Konzentrationen in der Umwelt. Die nächste Frage, die sich konsequenterweise stellt, ist die Frage nach den Folgen dieser physischen Belastung. Hier sind die Expertisen der verschiedensten wissenschaftlichen Gebiete gefordert, und durch die Komplexität unserer Umwelt sind diese Themen heute keinesfalls abschließend behandelt. Im letzten Schritt ist schließlich die Gesellschaft selbst gefordert, ihre Werteskala gegenüber der Vielzahl von Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen zu prägen. Sind diese Präferenzen schließlich ermittelt, in Geldwerte umgerechnet und mit physischen Auswirkungen verknüpft, so ergeben sich die Kosten dieser Umweltauswirkungen. Als „extern“ werden diese Kosten dann bezeichnet, wenn sie nicht in den Preisen enthalten sind, die der ökonomisch handelnde Mensch (in der Theorie) seinen Entscheidungen zugrunde legt.

Im folgenden werden einige prinzipielle methodische Aspekte bei der Ermittlung externer Kosten beleuchtet. In den nachfolgenden Kapiteln werden dann die Kostenkategorien Luftschadstoffe, Lärm, Unfälle und Klima sowie Natur und Landschaft im einzelnen behandelt.

2.7 Berechnung von externen Umweltkosten

2.7.1 Einführung

Bei der Berechnung von externen Umweltkosten sind sogenannte „von-unten-nach-oben“ Methoden (engl. bottom-up) Stand der Wissenschaft. Diese folgen bei der Berechnung der realen Wirkungskette der Schadensentstehung und stehen im Gegensatz zu früher verwendeten „von-oben-nach-unten“ Methoden (engl. top-down). Bottom-up Ansätze haben den Vorteil, dass die Zuordnung von Ursache und Schaden eindeutig ist. Weiterhin ist es von Vorteil, wenn der Ansatz erlaubt, die physischen Schäden, die durch Emissionen in die Umwelt entstehen, explizit auszudrücken (z. B. als Fälle von chronischer Bronchitis) und eine monetäre Bewertung getrennt vorzunehmen. Dies trägt wesentlich zur Transparenz der ermittelten externen Kosten bei.

Für das Gutachten wird soweit möglich und sinnvoll der sogenannte Wirkungspfadansatz zur Berechnung von externen Umweltkosten angewandt. Der Wirkungspfadansatz ist ein bottom-up Ansatz und bildet die Kette von kausalen Ereignissen ab, beginnend mit der Emission, der nachfolgenden Ausbreitung in der Atmosphäre, der Schädwirkung auf Rezeptoren und endet mit einer monetären Bewertung der physischen Schäden. In Abbildung 1 ist der Wirkungspfadansatz graphisch dargestellt.

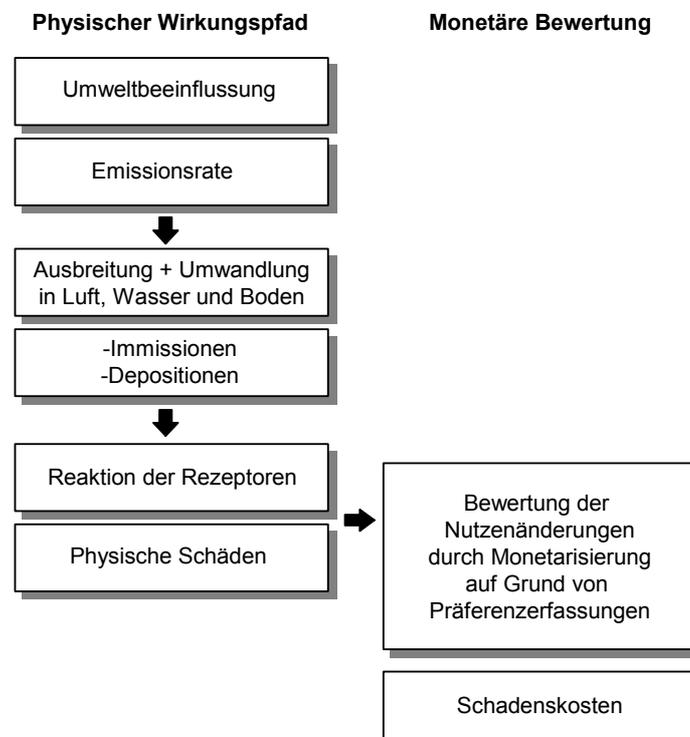


Abbildung 1: Darstellung des Wirkungspfadansatzes zur Berechnung von externen Umweltkosten

Die innerhalb des Wirkungspfadansatzes realisierten Methoden erlauben eine räumlich aufgelöste und eine zeitlich zugeordnete Berechnung von externen Kosten, insbesondere durch Luftschadstoffe und Lärm. Der räumliche Aspekt erlaubt die Berücksichtigung lokaler Gegebenheiten, wie Meteorologie und Bevölkerungsverteilung. In zeitlicher Hinsicht werden Aspekte wie Einwirkungsdauer, Latenzzeiten und Schadenseintritt in der Zukunft beachtet.

2.7.2 Kostenkategorien und potentielle Schadensgüter

Die Schadensgüter werden aufgrund der Wirkungspfade in unterschiedlichen Kompartimenten, ihrer modell-technischen Erfassung oder einfach ihrer Wirkungsweise wegen in Kostenkategorien eingeteilt. Kostenkategorien können ein oder mehrere Schadensgüter umfassen. Die als relevant eingestuften Kostenkategorien sind mit den betrachteten Schadensgütern in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Kostenkategorien und betrachtete Schadensgüter

Kostenkategorie	Schadensgüter
Luftschadstoffe	Menschliche Gesundheit, Material, Feldpflanzen
Lärm	Menschliche Gesundheit, Belästigung
Unfälle	Menschliche Gesundheit ¹
Natur und Landschaft	Flächennutzung und resultierende Auswirkungen
Klimaänderung	- ²

¹ Kosten der Behandlung einer Krankheit werden als von Versicherungen gedeckt angenommen und sind somit internalisiert.

² Schadensgüter durch Klimaänderung sind vielfältig, und die Schadensberechnung unterliegt großen Unsicherheiten. Im Gutachten wird daher die Verwendung von Vermeidungskosten empfohlen (siehe unten).

Beim Betrieb von Verbrennungskraftmaschinen müssen zunächst die Emissionen und Auswirkungen der Luftschadstoffe untersucht werden. Weiterhin ist als wesentliches Problem, das aus dem täglichen Flugverkehr erwächst und die Bevölkerung der Gemeinden in der Umgebung des Flughafens betrifft, der Fluglärm zu betrachten. Des Weiteren müssen Unfälle betrachtet werden, wobei hier neben dem Schadensausmaß die Häufigkeit von Unfällen in das Berechnungskalkül eingeht. Die Klimaänderung, verursacht durch Emissionen von Treibhausgasen und von Vorläufersubstanzen von sekundären Treibhausgasen muss vor dem Hintergrund, dass der Flugverkehr ein energieintensiver Verkehrsträger ist, betrachtet werden. Als wichtiger, aber schwierig zu quantifizierender Aspekt müssen schließlich die Auswirkungen auf Natur und Landschaft bewertet werden.

2.7.3 Die monetäre Bewertung von Schäden

Ein wesentliches Problem bei der Bewertung von Umwelt- und Gesundheitsschäden ist, dass es für diese Schäden keine Marktpreise gibt. Diese werden als sogenannte *intangible* Güter bezeichnet, im Gegensatz zu *tangiblen* Gütern, deren Preis beim Kauf klar bestimmt ist (z. B. landwirtschaftliche Produkte). Im allgemeinen zählen öffentliche Güter, wie z. B. Luft oder Ruhe, zu den intangiblen Gütern, aber auch der Wert der Beeinträchtigung des physischen und psychischen Wohlbefindens und der Verlust an Lebenszeit sind immaterieller Natur, abgesehen von Krankenhaus-, Arznei- und Erwerbsausfallkosten.

Zahlungsbereitschaftserfassung bei Gütern ohne Marktpreise

Um den Nutzen von Umweltgütern, für die keine Marktpreise vorhanden sind, zu messen, benötigt man die Kenntnis der Wertschätzung dieser Güter durch die betroffenen Menschen. Die Verfahren, die zur Erfassung der Präferenzen geeignet sind, können in *indirekte* und *direkte* Verfahren eingeteilt werden. Indirekte Verfahren ermitteln den Wert eines öffentlichen Gutes aus dem (vergangenen) Marktverhalten der Konsumenten. Hier ist insbesondere die Marktpreismethode (engl. hedonic price approach) von Bedeutung, die z. B. die Situation nutzt, dass regional unterschiedliche Umweltqualität durch die Wahl des Wohnortes gewählt werden kann (Details hierzu siehe im Kapitel Lärm).

Direkte Bewertungsmethoden ermitteln die Wertschätzung aus der Befragung der Individuen selbst. Diese werden unter dem Namen ‚Contingent Valuation‘ (CV) zusammengefasst. Sie besitzen wesentliche Vorteile gegenüber den indirekten Verfahren, z. B. ist eine Reihe intangibler Nutzenkomponenten, wie Options-, Existenz- und Vermächtniswert mit erfassbar. Auch sind solche direkten Bewertungsmethoden in der Lage, die Abhängigkeit von potentiellen Einflussgrößen wie Alter, Einkommen oder Informationsstand zu ermitteln. Weiterhin können neue, von tatsächlichen Märkten unabhängige Situationen bearbeitet werden. Nachteile gegenüber der indirekten Verfahren bestehen allerdings z. B. darin, dass die dargestellte Situation hypothetisch ist und die Antworten durch verschiedene Effekte verzerrt sein können (z. B. strategisches Verhalten), sodass beim Befragungsdesign große Sorgfalt bezüglich der Qualitätskriterien angewandt werden muss.

Erwähnt werden soll, dass alle Kosten in diesem Gutachten im Geldwert des Jahres 2000, also inflationsbereinigt als €2000 angegeben sind.

Schadenskosten versus Vermeidungskosten

Bisher wurde auf die Bewertung von Schäden vom Standpunkt des Geschädigten eingegangen. Dies ist als bevorzugter Ansatz zu betrachten. In bestimmten Fällen, nämlich wenn keine Grundlagen zur Ermittlung der Schadenskosten vorhanden sind oder diese Grundlagen mit hohen Unsicherheiten behaftet sind, kann jedoch auf Vermeidungskosten zurückgegriffen werden. Die Verwendung von Schadenskosten und Vermeidungskosten ist nicht gleichwertig. Zunächst ist zu unterscheiden zwischen Schadensvermeidungskosten

beim Träger des Schadens (z. B. Bau von Lärmschutzvorrichtungen bei privaten Haushalten) und Vermeidungskosten, die der Verursacher aufwenden müsste, um eine schädliche Emission ganz oder teilweise zu vermeiden. Während ersteres Bestandteile der Schadenskosten sind, ist letzteres zunächst kein geeignetes Maß für die externen Kosten, weil die Vermeidungskosten höher oder tiefer als die zu bestimmenden Schadenskosten sein können. Erst wenn ein gesellschaftlich akzeptiertes Umweltschutzziel vorliegt und die Annahme getroffen wird, dass dieses Ziel rational in dem Sinne gewählt wurde, dass die marginalen Vermeidungskosten den marginalen Schadenskosten entsprechen, können die marginalen Vermeidungskosten als Ersatz für Schadenskosten herangezogen werden. Auch dann herrscht jedoch in der Fachwelt Einigkeit, dass die Verwendung von Vermeidungskosten nur die zweitbeste Lösung ist und nur dann eingesetzt werden sollte, wenn Schadenskosten nicht oder nicht mit ausreichender Genauigkeit ermittelt werden können.

2.7.4 Die Bewertung des Risikos des Verlustes menschlicher Lebenszeit

Aufgrund der überragenden Bedeutung für verschiedene Schadenskategorien (Luftschadstoffe, Lärm, potenzielle Unfälle) und der komplexen Fragestellung wegen wird der monetären Bewertung des Risikos des Verlustes an Lebenszeit ein besonderer Stellenwert beigemessen, diese wird daher in diesem Kapitel diskutiert.

Das Leben bzw. der Wert eines Menschen kann nicht originär in Geldwerten ausgedrückt werden. Jedoch kann beobachtet werden, dass die Bevölkerung im allgemeinen bereit ist, Geld für die Verringerung eines kleinen Risikos, einen tödlichen Unfall oder eine Krankheit, die zu vorzeitigem Tod führt, auszugeben. Es kann ebenfalls beobachtet werden, dass bei Entscheidungen, z. B. über die Ausstattung von Krankenhäusern, Rettungsdiensten oder auch die Ausgestaltung von Kreuzungen, durchaus Kosten und Risiken abgewogen werden. Dies äussert sich zum Beispiel in der Abwägung von Kosten und Nutzen von Investitionen in Sicherheitsgurte, Airbags oder Antiblockiersystemen. Die Abwägung von kleinen Risiken und Kosten findet daher, wenn auch meist nicht explizit, in unserer Gesellschaft ständig statt.

2.7.4.1 Der Wert eines statistischen verhinderten Todesfalles

Der Wert eines statistischen verhinderten Todesfalles (VPF – Value of Statistical Prevented Fatality, auch als VSL – Value of a Statistical Life bezeichnet) ist ein Maß für die Wohlfahrtsverluste, die durch (kleine) Risiken für Leib und Leben entstehen. Mathematisch ausgedrückt beinhaltet dieser Wert die Zahlungsbereitschaft für verringerte Mortalitätsrisiken, die durch die erreichte Reduktion des Risikos dividiert werden muss. Ein Beispiel: Der VPF ist eine Million Euro, wenn die durchschnittliche Zahlungsbereitschaft für eine Risikoreduktion von 1:10.000 pro Jahr hundert Euro beträgt.

In älteren Studien werden Gesundheitsrisiken häufig über den sogenannten Humankapital-Ansatz bewertet, der die durch Todesfälle entstandenen Produktionsausfälle misst. Dieser

Ansatz wird in der neueren wissenschaftlichen Literatur jedoch meist abgelehnt, da die gemessenen Produktionsverluste in keinem theoretischen oder empirischen Zusammenhang mit den individuellen Zahlungsbereitschaften steht.

Die Ermittlung des VPF war das Ziel zahlreicher Studien. Aus einer Analyse von Studien die die Contingent Valuation Methode (CV) angewendet haben, durchgeführt in den ExterneE Projekten, ergab sich eine Bandbreite von 2,9-4,4 Mio.€ mit einem Mittelwert von 3,4 Mio.€ (Friedrich und Bickel 2001). Dieser Wert wird bei der Bewertung von Mortalitätsrisiken in diesem Gutachten zugrunde gelegt. Es sei darauf hingewiesen, dass in anderen Quellen insbesondere für Todesfälle durch Unfälle auch deutlich niedrigere Werte angegeben werden (z. B. empfiehlt die Generaldirektion Umwelt der Europäischen Kommission (DG Environment) für solche Fälle ca. 1,4 Mio.€). Daher werden in Kap. 9 auch Sensitivitätsbetrachtungen mit einer Bandbreite von VPF-Werten (von 1,4 bis 4,4 Mio.€₂₀₀₀) durchgeführt.

2.7.4.2 Der Wert eines verlorenen Lebensjahres

Eine Variante der Bewertung von Mortalitätsrisiken stellt der Ansatz des „Wert eines verlorenen Lebensjahres“ (engl. Value of a Life Year Lost, VLYL) dar. Zwei Gründe werden in der Diskussion für diesen Ansatz angeführt:

1. Der tatsächliche Verlust an Lebenszeit hängt sehr stark von dem betrachteten Ereignis oder Endpunkt ab, so dass dies in der Bewertung berücksichtigt werden sollte. Zum Beispiel sind akute Todesfälle durch Luftschadstoffe nur bei älteren Personen mit erheblicher Vorerkrankung und geringer noch verbliebener Lebenszeit zu erwarten, während ein Unfalltod im Mittel zu einem beträchtlichen Verlust an Lebenszeit führt.
2. Bei der Bewertung der Langzeitexposition durch Schwebstaub, einer der wichtigsten Effekte, kann nur die Zahl der verlorenen Lebensjahre geschätzt werden und nicht die Zahl der zusätzlichen Todesfälle.

Da keine empirischen Werte für ein verlorenes Lebensjahr vorliegen, behilft man sich damit, den Durchschnittswert eines VPF auf ein Lebensjahr umzulegen. Gerade bei der Betrachtung der Folgen einer Langzeitexposition ist der Wert des Lebensjahres nicht unabhängig von der physischen Einwirkung, da die Latenzzeit und damit auch die Zeitpräferenzrate berücksichtigt werden muss. Ausgehend von der Bevölkerungsverteilung und der alterspezifischen Überlebenswahrscheinlichkeiten einer Kohorte (in diesem Fall der Gesamtbevölkerung) lässt sich die Zahl der verlorenen Lebensjahre während eines Jahres berechnen. In einer zweiten Rechnung berücksichtigt man nun die geänderten Überlebenswahrscheinlichkeiten aufgrund der Exposition zu Luftschadstoffen. Berücksichtigt man weiterhin eine Latenzzeit und die Zeitpräferenzrate, so kann man den Gegenwartswert eines verlorenen Lebensjahres berechnen.

Der tatsächliche Lebenszeitverlust zwischen akuten Effekten und chronischen Effekten unterscheidet sich deutlich. Nach der Einschätzung von Experten werden 0,75 Jahre bei akuten Effekten und 5 Jahre bei chronischen Effekten angenommen (European Commission 1999). Die zugehörigen Werte eines verlorenen Lebensjahres für die Bewertung tödlicher Gesundheitsrisiken werden in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Bewertung von Mortalitätsrisiken

Risikogröße	Wert	Einheit
Wert eines statistischen verhinderten Todesfalles (Bezugswert für Umrechnung auf verlorene Lebensjahre)	3.400.000	€ ₂₀₀₀ / Fall
Wert eines verlorenen Lebensjahres bei Langzeitexposition durch Feinstaub	96.500	€ ₂₀₀₀ / Jahr
Wert eines verlorenen Lebensjahres bei akuten Effekten	166.000	€ ₂₀₀₀ / Jahr
Diskontrate 3%/a Quelle: (Friedrich und Bickel 2001)		

2.8 Klassifizierung von Flugzeugen

Da es sehr aufwändig und vor allem unübersichtlich ist, bei der marginalen Betrachtung Ergebnisse für die vielen einzelnen Flugzeug/Triebwerkskombinationen anzugeben, ist es sinnvoll, Flugzeuge zu klassifizieren und Ergebnisse dann vor allem für diese Klassen anzugeben. Dabei bietet sich an, bereits verfügbare Einteilungen zu verwenden, dies sind insbesondere die AzB-Klassen und den LAZ-Kategorien (lärmabhängige Klassifizierung durch Frankfurter Flughafen (Fraport 2003a)) zusammengefasst.

Erläuterungen zu den AzB-Klassen

Die Abkürzung AzB leitet sich ab von „Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen an zivilen und militärischen Flugplätzen nach dem Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm“. Im Gutachten wird die aktualisierte (AzB/99) Flugzeuggruppeneinteilung verwendet. In den AzB-Klassen sind verschiedene Flugzeuge zusammengefasst. Welche Flugzeuge für die einzelnen AzB-Klassen typisch sind und welche Charakteristiken diese Flugzeuge aufweisen, ist in Tabelle 3 dargestellt. Die Anzahl der Sitzplätze ist eine Abschätzung aus verschiedenen Quellen. Tatsächlich kann die Anzahl der Sitzplätze des selben Flugzeuges unterschiedlich sein, da z. B. die Fluggesellschaften die Anordnung der Sitze verändern.

Tabelle 3: Einteilung in AzB-Klassen (MTOM=maximales Startgewicht)

AzB-Klasse	Kategorie (ROV G6.1 2001)	Typenbeispiel	Sitzplätze
P2.1	Propellerflugzeuge mit MTOM über 5,7 t	DHC-7/-8, F-50	40
S5.1	Strahlflugzeuge mit MTOM bis 50 t	ARJ, CRJ	112
S5.2	Strahlflugzeuge mit MTOM bis 120 t und Nebenstromverhältnis über 3	A319, A320, A321, B575, B737-300...-500	150
S5.3	Strahlflugzeuge mit MTOM bis 120 t und Nebenstromverhältnis bis 3	MD-8x, B737/B727 mit Hush-Kit	115
S6.1	2-motorige Strahlflugzeuge mit MTOM über 120 t	A300, A310, A330, B767 B777	266
S6.2	3/4-motorige Strahlflugzeug mit MTOM von 120 bis 300 t	DC-10, MD-11, DC-8-70	304
S6.3	A 340	A340	303
S7	3/4-motorige Strahlflugzeuge mit MTOM über 300 t	B747	469

In Tabelle 3 sind die Kategorien der AzB-Klassen beschrieben und jeweilige Typenbeispiele gegeben. Zur Berechnung der marginalen Kosten wurden allerdings die Flugzeugtypen und Turbinen verwendet, wie sie auch in (ROV G7.3 2001) Tabelle A-1 und Tabelle A-2 und im Anhang in Tabelle 143 und Tabelle 144 aufgeführt sind.

Erläuterungen zu den LAZ-Klassen

Die LAZ-Klassen (die für die in Kapitel 11.1.2 beschriebene aktuelle Entgeltordnung der Fraport die Grundlage bildet) beruht auf einem Lärmmessverfahren auf einer dB(A)-Skala nach DIN 45643, das zur Messung der Lärmbelastung einzelner Flugzeugtypen dient. Das Lärmmessverfahren zur Einteilung in LAZ-Klassen berücksichtigt drei Punkte:

1. den am Boden gemessenen Schalldruck
2. einen Annäherungswert der Reaktion des menschlichen Ohres an diesen Schalldruck
3. die Dauer des maximalen Schalldrucks in voller Bewegung des Flugzeuges in der Luft.

3 Luftschadstoffe

3.1 Grundlagen

Die Ermittlung der externen Kosten durch Luftschadstoffe erfolgt prinzipiell gemäß dem Wirkungspfadansatz. Der Wirkungspfadansatz für Luftschadstoffe besteht aus folgenden Schritten:

- Emissionsberechnung
- Ausbreitung und chemische Umwandlung
- Exposition von Schadgütern
- Physische Schäden, berechnet mit Hilfe von Expositions-Wirkungsbeziehungen
- Monetarisierung der physischen Schäden.

Der Wirkungspfadansatz für Luftschadstoffe baut auf den Emissionen der Flugaktivität auf, umfasst die Ausbreitung und chemische Umwandlung in der Atmosphäre und berechnet resultierende Konzentrationen und Depositionen von Schadstoffen, denen Rezeptoren ausgesetzt sind. Es werden jeweils zwei Szenarien berechnet: ein HintergrundszENARIO und ein zweites Szenario, z. B. mit einer Betriebsvariante des Flughafens. Anschließend werden mit sogenannten Dosis-Wirkungs-Beziehungen die physischen Auswirkungen der unterschiedlichen Konzentrationen beider Szenarien berechnet. Hierbei können Gesundheitsschäden, Material, Nutzpflanzen und Ökosysteme (Critical loads/levels) berücksichtigt werden, sowie jeweils einer oder mehrere der primären und sekundären Schadstoffe CO, SO₂, NO_x, Benzol, Feinstaub (Nitrate, Sulfate, PM10, PM2.5) und Ozon. Die entstehenden Auswirkungen werden dann monetarisiert, also in Geldwerte umgerechnet. Die Differenz der ermittelten externen Kosten der beiden Szenarien wird dann der zu untersuchenden Aktivität, z. B. dem Ausbau des Flughafens zugeordnet. Detaillierte Beschreibungen hierzu finden sich z. B. in (Friedrich und Bickel 2001) und (European Commission 1999).

Im folgenden ermittelt werden marginale externe Kosten von Flugbewegungen, gesamte externe Kosten der verschiedenen Varianten und externe Kosten von vor- und nachgelagerten Prozessen. In den folgenden Kapiteln werden zunächst die Elemente des Wirkungspfadansatzes beschrieben, die für alle diese Berechnungen in gleicher Weise eingesetzt und verwendet werden.

3.1.1 Ausbreitung und chemische Umwandlung

Emissionen von Luftschadstoffen werden durch Konvektion und Advektion, die meteorologischen Einflüssen unterliegen, in der Atmosphäre verbreitet. Die sich ergebenden Konzentrationen aller möglichen Quellgruppen (z. B. Straßenverkehr, Flugverkehr, Kleinf Feuerungen, Kraftwerke, Industrie) können zwar gemessen werden, es kann jedoch der Beitrag einzelner Quellgruppen an der Gesamtkonzentration nicht mehr einfach dargestellt werden. Daher muss die Ausbreitung und chemische Umwandlung modelliert werden, um den Beitrag der interessierenden Quellgruppe im Vergleich zu allen anderen Quellgruppen zu berechnen.

Bei der Modellierung der Konzentrationen werden 2 Modellgebiete unterschieden:

- 1.) das lokale Gebiet, ca. 40 x 40 km um den Flughafen
- 2.) das überregionale Modellgebiet (europaweit).

Für das lokale Gebiet wurden Ausbreitungsrechnungen im Rahmen des ROV durchgeführt. Diese Ergebnisse werden verwendet. Abgesehen von der Umwandlung von NO in NO₂ wurden in den Gutachten jedoch keine chemischen Reaktionen berücksichtigt. Zudem ist der Ferntransport verschiedener Schadstoffe wichtig, z. B. für Schwebstaub (PM10, PM2.5). Daher werden zusätzlich Ausbreitungsrechnungen mit dem europaweiten Trajektorienmodell ECOSENSE/WTM durchgeführt, um den Ferntransport und die Bildung von sekundären Aerosolen sowie saure Depositionen zu modellieren. Für die Modellierung der Auswirkungen der Emissionen auf die Ozonbildung wird das SROM-Modell (*source-receptor-ozone-matrices*) angewendet.

3.1.2 Exposition

Für die Wirkungsabschätzung muss ermittelt werden, wie die Rezeptoren (Menschen, Material, Nutzpflanzen, etc.) den bodennahen Schadstoffkonzentrationen ausgesetzt sind. Hier wird wiederum zwischen dem lokalen und dem überregionalen Modellgebiet unterschieden.

Lokales Modellgebiet

Die Karten der Schadstoffkonzentrationen (Gitter) werden mit Hilfe eines geographischen Informationssystems (GIS) mit einer Karte der Bevölkerung in dem Modellgebiet verschnitten. Detaillierte Bevölkerungsdaten für die verschiedenen Prognosehorizonte aus dem Raumordnungsverfahren werden verwendet.

Überregionales Modellgebiet

Europaweite Kataster für Bevölkerung, Material, Nutzpflanzen und Ökosysteme sind vorhanden und werden mit den Konzentrationen der überregionalen Ausbreitungsrechnung verschnitten.

3.1.3 Ermittlung physischer Schäden

Die Berechnung der physischen Schäden, z. B. ein Erwartungswert für die Zunahme von Fällen chronischer Bronchitis durch die Emissionen am Flughafen Frankfurt, wird mit Hilfe von Expositions-Wirkungsbeziehungen berechnet. Die verwendeten Expositions-Wirkungsbeziehungen werden im Folgenden dargestellt.

3.1.3.1 Gesundheitsrisiken

Eine Vielzahl von epidemiologischen Studien liegt vor, die sich mit den Auswirkungen von Luftschadstoffen auf die Gesundheit beschäftigen. Diese Studien wurden vorwiegend in Nordamerika und Europa durchgeführt. Sie untersuchen einzelne oder Gruppen von Schadstoffen und unterscheiden sich vom Studiendesign (Langzeit, Kurzzeit, Kohorten, etc.).

Von den Gesundheitsexperten der ExternE-Projekt Serie wurden diese Studien untersucht und daraus ein Satz von Expositions-Wirkungsbeziehungen abgeleitet, der für die Analyse von Verkehrs- und Kraftwerksemissionen geeignet ist. Dabei wurde insbesondere auch auf eine mögliche monetäre Bewertung der gefundenen Endpunkte geachtet.

In Tabelle 4 werden die Expositions-Wirkungsbeziehungen für Mortalität dargestellt. Tabelle 5 enthält die Funktionen für Morbidität.

Der Faktor f_{er} in der rechten Spalte steht für „exposure-response slope“. Dieser Faktor hat die Einheit [Fälle pro Jahr pro $\mu\text{g}/\text{m}^3$] bzw. bei Mortalität [prozentuale Zunahme pro $\mu\text{g}/\text{m}^3$]. Er gibt also die Relation zwischen der Wirkung und der Schadstoffkonzentration an.

Tabelle 4: Expositions-Wirkungsbeziehungen für Mortalität

Wirkung	Quelle	Schadstoff	f _{er}
Verlust an Lebenserwartung durch Langzeitexposition	(Pope et al. 1995) (angepasst auf Europa)	PM ₁₀	0.13%
		Nitrate	0.13%
		PM _{2.5}	0.21%
		Sulfate	0.21%
Verlust an Lebenserwartung, akuter Effekt	(Spix und Wichmann 1996) (Verhoeff et al. 1996)	PM ₁₀	0.04%
		Nitrate	0.04%
		PM _{2.5}	0.07%
		Sulfate	0.07%
	(Anderson et al. 1996) / (Touloumi et al. 1994)	SO ₂	0.07%
(Sunyer et al. 1996)	O ₃	0.059%	
Verlust an Lebenserwartung durch Krebserkrankungen mit tödlichem Ausgang			
Leukämie	(Pilkington et al. 1997)	Benzol	1.14E-07
Leukämie	basierend auf US EPA	1,3 Butadiene	4.29E-06
Lungenkrebs		Benzo-[a]-Pyrene	1.43E-03
Lungenkrebs		Diesel Partikel	4.86E-07
Quelle: (Friedrich und Bickel 2001)			

Tabelle 5: Expositions-Wirkungsbeziehungen zur Quantifizierung des Risikos erhöhter Morbidität in der Bevölkerung

Risiko- gruppe	Wirkung	Referenz	Schadstoff	f _{er}
Gesamt	Erkrankung der Atemwege (Krankenhausaufnahme)	(Dab et al. 1996)	PM ₁₀	2.07E-06
		(Ponce de Leon et al. 1996)	Nitrate	2.07E-06
	PM _{2.5}		3.46E-06	
			Sulfate	3.46E-06
			SO ₂	2.04E-06
			O ₃	3.54E-06
	Zerebrovaskuläre Krankheit (Krankenhausaufnahme)	(Wordley et al. 1997)	PM ₁₀	5.04E-06
			Nitrate	5.04E-06
			PM _{2.5}	8.42E-06
			Sulfate	8.42E-06
	Atemwegssymptome (Tage)	(Krupnick et al. 1990)	O ₃	0.033
	Krebserkrankungen	(Pilkington et al. 1997) basierend auf US EPA	Benzol	1.14E-07
			Benzo-[a]- Pyrene	1.43E-03
			1,3 Butadiene	4.29E-06
			Diesel Partikel	4.86E-07
Erwachsene	Unwohlsein (Tage)	(Ostro 1987)	PM ₁₀	0.025
			Nitrate	0.025
				PM _{2.5}
			Sulfate	0.042
	Leichtes Unwohlsein (Tage)	(Ostro und Rothschild 1989)	O ₃	9.76E-03
	Chronische Bronchitis	(Abbey et al. 1995)	PM ₁₀	2.45E-05
			Nitrate	2.45E-05
			PM _{2.5}	3.90E-05
			Sulphate	3.90E-05
Senioren (> 65 Jahre)	Kongestive Herzinsuffizienz (Krankenhausaufnahme)	(Schwartz und Morris 1995)	PM ₁₀	1.85E-05
			Nitrate	1.85E-05
			PM _{2.5}	3.09E-05
			Sulphate	3.09E-05
			CO	5.55E-07
Kinder	Chronischer Husten	(Dockery et al. 1989)	PM ₁₀	2.07E-03
			Nitrate	2.07E-03
			PM _{2.5}	3.46E-03
			Sulphate	3.46E-03

Risiko- gruppe	Wirkung	Referenz	Schadstoff	f_{er}
Asthmatiker Erwachsene	Gebrauch von Bronchodilatoren	(Dusseldorp et al. 1995)	PM ₁₀	0.163
			Nitrate	0.163
			PM _{2.5}	0.272
			Sulfate	0.272
	Husten (Tage)	(Dusseldorp et al. 1995)	PM ₁₀	0.168
			Nitrate	0.168
			PM _{2.5}	0.28
			Sulfate	0.28
	Leichte Atemwegs- symptome (pfeifendes Atmen)(Tage)	(Dusseldorp et al. 1995)	PM ₁₀	0.061
			Nitrate	0.061
			PM _{2.5}	0.101
			Sulfate	0.101
Asthmatiker Kinder	Gebrauch von Bronchodilatoren	(Roemer et al. 1993)	PM ₁₀	0.078
			Nitrate	0.078
			PM _{2.5}	0.129
			Sulfate	0.129
	Husten (Tage)	(Pope und Dockery 1992)	PM ₁₀	0.133
			Nitrate	0.133
			PM _{2.5}	0.223
			Sulfate	0.223
	Leichte Atemwegssymptome (pfeifendes Atmen)	(Roemer et al. 1993)	PM ₁₀	0.103
			Nitrate	0.103
			PM _{2.5}	0.172
			Sulfate	0.172
Asthmatiker gesamt	Asthma Anfall	(Whittemore und Korn 1980)	O ₃	4.29E-03
Quelle: (Friedrich und Bickel 2001)				

3.1.3.2 Auswirkungen auf Feldpflanzen

Wirkungen durch SO₂

Für die Berechnung der Auswirkungen von SO₂ auf Feldpflanzen wird eine Funktion basierend auf (Baker et al. 1986), angepasst wie vorgeschlagen in (European Commission 1999), verwendet. Diese Funktion gibt eine Ertragszunahme mit der Exposition zu SO₂ zwischen 0 und 6,8 ppb, sowie einen Ertragsrückgang für höhere Konzentrationen an. Diese Funktion wird auf Weizen, Gerste, Kartoffeln, Zuckerrüben und Hafer angewendet. Die Funktion ist folgendermaßen definiert:

$$y = 0.74 \cdot C_{SO_2} - 0.055 \cdot (C_{SO_2})^2 \quad \text{für } 0 < C_{SO_2} < 13.6 \text{ ppb}$$

$$y = -0.69 \cdot C_{SO_2} + 9.35 \quad \text{für } C_{SO_2} > 13.6 \text{ ppb}$$

mit y = relative Ertragsänderung
 C_{SO_2} = SO₂-Konzentration in ppb

Wirkungen durch Ozon

Für die Berechnung von Schäden durch Ozon wird eine lineare Beziehung zwischen AOT40 (Accumulated Ozone concentration above Threshold 40 ppb) angenommen. Der relative Ertragsrückgang wird mit der folgenden Funktion und den Parametern in Tabelle 6 berechnet.

$$y = 99.7 - \alpha \cdot C_{O_3}$$

mit y = relative Ertragsänderung
 α = Parameter
 C_{O_3} = AOT 40 in ppmh

Tabelle 6: Sensitivitäts-Parameter für verschiedene Pflanzenarten

Sensitivität	α	Crop species
gering	0.85	Roggen, Hafer, Reis
empfindlich	1.7	Weizen, Gerste, Kartoffeln, Sonnenblumen
Sehr empfindlich	3.4	Tabak

Versauerung von landwirtschaftlich genutzten Böden

Die zum Ausgleich von Versauerung benötigte Menge an Kalk wird berechnet, wobei nur nicht-kalkhaltige Böden berücksichtigt werden. Die Menge an Kalk wird wie folgt berechnet:

$$\Delta L = 50 \cdot A \cdot \Delta D_A$$

mit ΔL = zusätzlich nötige Menge an Kalk in kg/Jahr
 A = landwirtschaftliche Fläche in ha
 ΔD_A = jährliche saure Deposition in meq/m²/Jahr (meq bedeutet Milliäquivalente und bezieht sich auf die Protonenäquivalente durch den Kalk neutralisiert werden sollen)

Düngeeffekt durch Stickstoffdeposition

Stickstoff ist ein wesentlicher Nährstoff für Pflanzen und wird von Landwirten in großen Mengen ausgebracht. Daher ist die Deposition von oxidiertem Stickstoff auf landwirtschaftlich genutzten Böden nützlich. Der Rückgang an benötigtem Dünger wird berechnet wie folgt:

$$\Delta F = 14.0067 \cdot A \cdot \Delta D_N$$

mit ΔF = Abnahme der Dünger Menge kg/Jahr

A = landwirtschaftliche Fläche in ha

ΔD_N = jährliche Stickstoff Deposition in meq/m²/Jahr

3.1.3.3 Auswirkungen auf Materialien

Auswirkungen auf Materialien, die in Kunstbauten verwendet werden, werden mit den neuesten verfügbaren Expositions-Wirkungsbeziehungen berechnet. Diese wurden in der letzten Phase des ExternE Core/Transport Projektes entwickelt und basieren auf den Ergebnissen des „UN ECE International Co-operative Programme on Effects on Materials (ICP Materials)“, das sich mit der Zerstörung von Materialien durch Luftschadstoffe beschäftigte und ein umfassendes, 8 Jahre dauerndes Messprogramm durchführte, das 39 Versuchsstationen in 12 europäischen Ländern, den Vereinigten Staaten und Kanada umfasste (Tidblad et al. 1998). Als Zielgröße wurde das Instandsetzungsintervall berechnet, wobei die Verkürzung der Zeit zu einer Renovierung durch die Einwirkung von Luftschadstoffen und die Renovierungskosten zu den externen Kosten führt.

Kalkstein:

Instandsetzungsintervall:

$$1/t = [(2.7[\text{SO}_2]^{0.48} e^{-0.018T} + 0.019\text{Rain}[\text{H}^+])/R]^{1/0.96}$$

Sandstein, Naturstein, Mörtel, Verputz:

Instandsetzungsintervall:

$$1/t = [(2.0[\text{SO}_2]^{0.52} e^{f(T)} + 0.028\text{Rain}[\text{H}^+])/R]^{1/0.91}$$

$$f(T) = 0 \text{ für } T < 10 \text{ °C}; f(T) = -0.013(T-10) \text{ für } T \geq 10 \text{ °C}$$

Zink und galvanisierter Stahl:

Instandsetzungsintervall:

$$1/t = 0.14[\text{SO}_2]^{0.26} e^{0.021\text{Rh}} e^{f(T)}/R^{1.18} + 0.0041\text{Rain}[\text{H}^+]/R$$

$$f(T) = 0.073(T-10) \text{ für } T < 10 \text{ °C}; f(T) = -0.025(T-10) \text{ für } T \geq 10 \text{ °C}$$

Farbe auf Stahl:

Instandsetzungsintervall:

$$1/t = [(0.033[\text{SO}_2] + 0.013\text{Rh} + f(T) + 0.0013\text{Rain}[\text{H}^+])/5]^{1/0.41}$$

$$f(T) = 0.015(T-10) \text{ für } T < 10 \text{ °C}; f(T) = -0.15(T-10) \text{ für } T > 10 \text{ °C}$$

Farbe auf galvanisiertem Stahl:

Instandsetzungsintervall:

$$1/t = [(0.0084[SO_2] + 0.015Rh + f(T) + 0.00082Rain[H^+])/5]^{1/0.43}$$

$$f(T) = 0.04(T-10) \text{ für } T < 10 \text{ }^\circ\text{C}; f(T) = -0.064(T-10) \text{ für } T \geq 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

Karbonat Farbe:

Instandsetzungsintervall:

$$1/t = 0.12 \cdot \left(1 - e^{\frac{-0.121 \cdot Rh}{100 - Rh}} \right) \cdot [SO_2] + 0.0174 \cdot [H^+] / R$$

mit	1/t	maintenance frequency in 1/a
	[SO ₂]	SO ₂ Konzentration in µg/m ³
	T	Temperatur in °C
	Rain	Niederschlag in mm/a
	[H ⁺]	H ⁺ Ionen Konzentration im Niederschlag in mg/l
	R	Oberflächenabtrag in µm
	Rh	relative Luftfeuchte in %

3.1.4 Monetarisierung der physischen Schäden

Für die Bewertung der physischen Schäden werden monetäre Werte benötigt. Sofern Marktpreise vorhanden sind, z. B. für Ertragseinbußen von Nutzpflanzen, werden diese genutzt. Für Endpunkte, für die keine Marktpreise existieren, werden Werte aus Zahlungsbereitschaftsstudien verwendet.

Die Bewertung von Mortalitätsrisiken wurde bereits in Kapitel 2.7.4 dargestellt und erläutert, die konkreten Werte sind in Tabelle 2 präsentiert.

Monetäre Werte für Krankheiten sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7: Monetäre Werte für Gesundheitseffekte

Endpunkt	Wert	€₂₀₀₀
Verlust an Lebenserwartung durch Langzeitexposition	96.500	€ pro verlorenes Lebensjahr
Verlust an Lebenserwartung, akuter Effekt	165.700	€ pro verlorenes Lebensjahr
Leukämie mit tödlichem Ausgang	2.416.000	€ pro Fall
Lungenkrebs mit tödlichem Ausgang	1.636.000	€ pro Fall
Erkrankung der Atemwege	4.320	€ pro Krankenhausaufnahme
Zerebrovaskuläre Krankheit	16.730	€ pro Krankenhausaufnahme
Atemwegssymptome	45	€ pro Tag
Krebserkrankung mit nicht-tödlichem Ausgang	481.000	€ pro Fall
Unwohlsein	110	€ pro Tag
Leichtes Unwohlsein	45	€ pro Tag
Chronische Bronchitis	169.000	€ pro Fall
Kongestive Herzinsuffizienz	3.260	€ pro Krankenhausaufnahme
Chronischer Husten	240	€ pro Fall
Gebrauch von Bronchodilatoren	40	€ pro Tag
Husten	45	€ pro Tag
Leichte Atemwegssymptome	8	€ pro Tag
Asthmaanfall	75	€ pro Tag
Quelle: (Friedrich und Bickel 2001)		

Tabelle 8: Monetäre Werte für Auswirkungen auf landwirtschaftliche Erträge

Endpunkt	Wert	€ ₂₀₀₀
Weizen	113	€ pro t Ertragsänderung
Gerste	63	€ pro t Ertragsänderung
Roggen	183	€ pro t Ertragsänderung
Hafer	66	€ pro t Ertragsänderung
Reis	2.549	€ pro t Ertragsänderung
Kartoffeln	96	€ pro t Ertragsänderung
Zuckerrüben	66	€ pro t Ertragsänderung
Sonnenblumenkerne	258	€ pro t Ertragsänderung
Tabak	34.140	€ pro t Ertragsänderung
Stickstoffdünger	530	€ pro t Düngereinsatz
Kalk	18	€ pro t Kalkeinsatz
Quelle: (Friedrich und Bickel 2001)		

Tabelle 9: Instandsetzungskosten je m² Materialoberfläche

Endpunkt	Wert	€ ₂₀₀₀
Galvanisierter Stahl	17 bis 55	€ (länderspezifisch)
Kalkstein	299	€ pro m ² Materialoberfläche
Karbonhaltiger Farbanstrich	13	€ pro m ² Materialoberfläche
Mörtel	33	€ pro m ² Materialoberfläche
Naturstein	299	€ pro m ² Materialoberfläche
Putz	33	€ pro m ² Materialoberfläche
Sandstein	299	€ pro m ² Materialoberfläche
Zink	27	€ pro m ² Materialoberfläche
Quelle:(Friedrich und Bickel 2001)		

3.2 Ermittlung der externen Kosten durch Luftschadstoffe

3.2.1 Marginale Kosten für einen LTO-Zyklus differenziert nach den AzB-Klassen

Es werden die marginalen externen Kosten der Flugbewegungen ermittelt. Im folgenden Ablaufschema ist die Berechnung der marginalen externen Kosten durch Luftschadstoffe vereinfacht und übersichtlich dargestellt. Im nachfolgenden Text wird die Berechnung dann genauer beschrieben.

<u>Marginale externe Kosten durch Luftschadstoffemissionen beim LTO-Zyklus</u>	
Emissionen eines bestimmten Flugzeugs pro Sekunde, differenziert nach LTO-Segment aus (ICAO 1998) [g / s (LTO-Segment)]	
↓	Multiplikation mit Zeiten (s) für LTO-Segmente
Emissionen des Flugzeugs pro LTO oder pro Start bzw. Landung [g / LTO bzw. Start bzw. Landung]	
↓	Multiplikation mit Schadenskostenfaktoren für lokale und regionale Schäden [€ / g]
<u>Marginale externe Kosten der einzelnen Flugzeuge [€/ LTO], Zusammenfassung der Ergebnisse zu AzB-Klassen</u>	

Um die Emissionen zu ermitteln, werden folgende Datenquellen genutzt:

In Gutachten G7.3 sind in Tabelle A-1 (Ist-Situation) und Tabelle A-2 (Prognosenullfall bzw. Planungsfall) die AzB-Klassen und die dazugehörigen Anteile der Flugzeugtypen sowie Typ und Anzahl der jeweiligen Turbinen dargestellt. Aus einer ICAO-Datenbank (ICAO 1998) werden die Emissionsfaktoren der LTO-Segmente *TakeOff*, *ClimbOut*, *Approach* und *Idle* bezüglich NO_x, HC, CO, Smoke Number und der Treibstoffverbrauch entnommen. Für die AzB-Klasse P2.1 werden die Werte der Klasse TURBO aus G7.3 übernommen. Für SO₂ und BAP werden Werte aus Tabelle A-3 bzw. A-4 des Gutachtens G7.3 verwendet. PM10 wird, wie im Gutachten G7.3 beschrieben, aus der Rauchzahl (Smoke Number) berechnet. CO₂ wird aus den SO₂ Emissionen abgeleitet. Die Emissionen pro LTO Zyklus ergeben sich aus den Emissionsfaktoren und den Zeiten für die LTO-Segmente. Die tatsächlichen Zeiten der LTO-Segmente jedes einzelnen Flugzeuges werden u.a. beeinflusst durch den Flugzeugtyp bzw. durch dessen Steigprofil, aber auch z. B. durch die Wetterlage und dem Gewicht (Anzahl der Passagiere und Tankfüllung). Die Durchschnittszeiten für Idle sind hingegen abhängig von den Gegebenheiten des Flughafens. Zur Berechnung der Emissionen für die Segmente TakeOff, ClimbOut und Approach werden die ICAO Standardzeiten verwendet. Diese Zeiten wurden ermittelt für eine sogenannte „high bypass GE (CF6-80) turbofan

engine“, welche der AzB-Klasse S6.1 zugeordnet werden kann. Für das Segment Idle wird eine Zeit von 900 Sekunden verwendet, die von der Fraport AG als Durchschnittswert für den Flughafen Frankfurt angegeben wurde.

Tabelle 10: Verwendete Zeiten für LTO-Segmente

LTO-Segment	Zeit [Sekunden]
TakeOff	42
ClimbOut	132
Approach	240
Idle	900

Luftschadstoffe haben abhängig von ihrer Ausbreitung, ihrem Wirkmechanismus und ihrer Verweilzeit unterschiedliche Wirkungsbereiche. Treibhausgase verbreiten sich wegen ihrer langen Verweilzeit gleichmäßig in der gesamten Erdatmosphäre. Ihre Wirkung wird deshalb global betrachtet und im Kapitel 7 dargestellt. Andere Schadstoffe, insbesondere Staubpartikel (PM10) erzeugen die größten Schäden innerhalb eines lokalen Gebietes. Sekundäre Partikel, die aus chemischen Reaktionen gasförmiger Stoffe (z. B. Nitrate aus NO_x und Ammoniak) entstehen, machen eine regionale Betrachtung notwendig.

Zur Berechnung der regionalen marginalen externen Kosten wurden folgende Luftschadstoffe betrachtet: PM10, NO_x , NMVOC, SO_2 , CO und Benzo(a)Pyren (BaP). Die Emissionen des gesamten LTO-Zyklus der verschiedenen AzB-Klassen für das Jahr 2000 in Tabelle 12 aufgeführt. Die Flugzeugtypen und die Turbinen sind in Tabelle 11 nochmals dargestellt. Wie bereits erwähnt, werden zwecks Übersichtlichkeit die externen Kosten hier nach AzB-Klassen differenziert dargestellt. Zu Grunde liegt aber eine Einzelberechnung für über 90 Flugzeug/Triebwerkkombinationen, deren Emissionen und Ergebnisse sind im Anhang in Tabelle 143 und Tabelle 144 aufgeführt.

Tabelle 11: Flugzeugtypen und Turbinen zur Berechnung der Emissionen der AzB-Klassen 2000, wie sie in (ROV G7.3 2001) verwendet wurden

AzB-Klasse	Flugzeug-typ	Turbine	UID Nummer	Anzahl der Turbinen	Anteil
S5.1	Ba46	LF507-1F	1TL004	4	0,96
	C560	JT15D-5C	1PW038	2	0,04
S5.2	A320	CFM56-5-A1	1CM008	2	0,49
	A3221	V2530-A5	1IA005	2	0,29
	A319	CFM56-5A5	4CM036	2	0,16
	B737	JT8D-15A	1PW011	2	0,06
S5.3	MD80	JT8D-217C	4PW070	2	0,71
	DC9	JT8D-11	1PW008	2	0,15
	MD87	JT8D-217C	4PW070	2	0,14
S6.1	A300	cf6-80c2a3	1GE017	2	0,39
	A310	cf6-80c2a2	1GE015	2	0,32
	B763	pw4060	1PW043	2	0,27
	A330	pw4168	1PW050	2	0,02
S6.2	MD11	pw4460	1PW052	3	0,45
	DC10	cf6-50c2	3GE074	3	0,45
	L101	rb211-524c2	1RR006	3	0,1
S6.3	A340	cfm56-5c2	1CM010	1	1
S7.1	B74f	cf6-80c2b1f	1GE023	4	0,54
	B747	cf6-50e2	1GE009	4	0,42
	B74s	jt9d-7f	1PW022	4	0,04
P2.1	AT72	pw124b		2	0,73
	D328	pw119b		2	0,27

Tabelle 12: Emissionen des gesamten LTO-Zyklus der verschiedenen AzB-Klassen für das Jahr 2000

AzB-Klassen	PM10 [g]	NO _x [g]	NMVOC [g]	SO ₂ , [g]	CO [g]	BaP [µg]	CO ₂ [t]
S5.1	29	3.828	967	564	6.743	1.739	1,5
S5.2	63	10.087	306	830	3.695	2.559	2,2
S5.3	58	7.587	448	957	6.151	2.950	2,5
S6.1	102	23.717	2797	1.666	14.449	5.136	4,3
S6.2	155	38.371	5.800	2.575	19.402	7.941	6,7
S6.3	91	27.009	2.437	1.863	15.639	5.744	4,8
S7.1	178	47.371	12.602	3.356	41.866	10.349	8,7
P2.1	12	1.597	139	192	1.503	592	0,5

Die Emissionen wurden mit Schadenskostenfaktoren multipliziert, die für den Standort Flughafen Frankfurt mit Hilfe des Software Tools EcoSense und durch die Verschneidung von Luftschadstoffkonzentrationskarten aus (ROV G7.4 2001) mit Bevölkerungskarten ermittelt wurden. Die Schadenskostenfaktoren für das Jahr 2000 sind in Tabelle 13 dargestellt.

Tabelle 13: Schadenskostenfaktoren für das Jahr 2000

AzB-Klassen	PM10 [€/t]	NO _x [€/t]	NMVOC [€/t]	SO ₂ , [€/t]	CO [€/t]	BaP [€/t]	CO ₂ [€/t]
Lokal	20.699	---	---	---	---	2.694.261	---
Regional	10.490 ^{a)}	2.630	1.867	6.490	0,32	1.547.980 ^{a)}	---
Total	31.199	2.630	1.867	6.490	0,32	4.242.241	19 ^{b)}

^{a)} korrigiert um die Schäden, die das lokale Gebiet betreffen

^{b)} Vermeidungskosten

Im Gegensatz zu den externen Kosten, die durch Lärm verursacht werden, ist es nicht notwendig, die verschiedenen Lande- bzw. Start- und Landebahnen, und die jeweiligen Flugbahnen bezüglich der Emissionen zu unterscheiden. Da die Auswirkungen der Emissionen, anders als bei Lärm, weiträumiger entstehen, sind die Unterschiede in den Schadenskostenfaktoren nur sehr gering (1-2% bezüglich der lokalen Schäden und kein Unterschied berechnet bezüglich der regionalen Schäden).

Die Ergebnisse aus der Multiplikation der Emissionen mit den jeweiligen Schadenskostenfaktoren sind dargestellt in Tabelle 14, Tabelle 16 und Tabelle 17. Bei den Ergebnissen in Tabelle 14 handelt sich um „regionale externe Kosten“, also die Kosten, die außerhalb des lokalen Bereiches in ganz Europa entstehen. In Tabelle 16 handelt es sich um „lokale externe Kosten“, also die Kosten, die innerhalb des lokalen Bereiches entstehen. In Tabelle 17 ist die Summe aus den lokalen und regionalen Kosten dargestellt.

Tabelle 14: Regionale externe Kosten der AzB-Klassen durch Luftschadstoffe

AzB-Klassen	Externe Kosten 2000 (Ist) [€₂₀₀₀/LTO] Regional	Externe Kosten 2015 [€₂₀₀₀/LTO] Regional
S5.1	15,9	8,3
S5.2	33,1	33,3
S5.3	27,6	---
S6.1	79,5	95,7
S6.2	130,1	127,0
S6.3	88,7	110,5
S7.1	171,8	153,1
P2.1	5,9	6,0

Die marginalen Kosten der AzB-Klassen werden zum Großteil durch die Emission von NO_x verursacht. Wie in Tabelle 15 dargestellt ist, wird wiederum der Großteil der NO_x Emissionen während des ClimbOut emittiert. Die AzB-Klassen weisen zum Teil erhebliche Abweichungen auf. Die Änderungen von 2000 zu 2015 entstehen vor allem durch eine veränderte Zusammensetzung der AzB-Klassen bezüglich der relevanten Flugzeuge.

Tabelle 15: Anteile der einzelnen LTO-Segmente am LTO-Zyklus bei den untersuchten Flugzeugen

	[% bezogen auf gesamten LTO-Zyklus]			
	TakeOff	ClimbOut	Approach	Idle
Zeit	3	10	18	69
Treibstoff (Mittelwert)	14	35	22	30
Treibstoff Min / Max	8/16	22/39	21/24	22/47
NO _x (Mittelwert)	25	51	16	10
NO _x Min / Max	14/32	36/57	8/23	3/28

Lokale externe Kosten wurden für PM10 und B(a)P berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 16: Lokaler Schaden der AzB-Klassen bezüglich PM10 und B(a)P

AzB-Klassen	Externe Kosten 2000 (Ist) [€ ₂₀₀₀ /LTO] Lokal PM10	Externe Kosten 2000 (Ist) [€ ₂₀₀₀ /LTO] Lokal B(a)P	Externe Kosten 2015 [€ ₂₀₀₀ /LTO] Lokal PM10	Externe Kosten 2015 [€ ₂₀₀₀ /LTO] Lokal B(a)P
	S5.1	0,60	0,005	0,49
S5.2	1,30	0,007	1,42	0,008
S5.3	1,19	0,008	---	---
S6.1	2,10	0,014	3,25	0,019
S6.2	3,20	0,021	4,04	0,025
S6.3	1,89	0,015	2,84	0,023
S7.1	3,69	0,028	5,32	0,033
P2.1	0,23	0,002	0,29	0,002

Tabelle 17 zeigt die Summe aus lokalen und regionalen Schäden.

Tabelle 17: Totale marginale externe Kosten durch Luftschadstoffe

AzB-Klassen	Externe Kosten 2000 (Ist) [€₂₀₀₀/LTO] Regional plus Lokal	Externe Kosten 2015 [€₂₀₀₀/LTO] Regional plus Lokal
S5.1	16,5	8,8
S5.2	34,5	34,8
S5.3	28,8	---
S6.1	81,6	99,3
S6.2	133,3	131,5
S6.3	90,5	113,5
S7.1	175,5	159,3
P2.1	6,1	6,3

Die hier gezeigten Ergebnisse beziehen sich auf die AzB-Klassen, die Aufteilung und Wichtung der Flugzeugtypen / Triebwerkskonfigurationen erfolgte unter Verwendung der Angaben in (ROV G7.3 2001) (Tabellen A-1 und A2). Dabei ist zu beachten, dass sich die Klassenzusammensetzung in der Ist-Situation (2000) und dem Prognosenullfall bzw. den Planungsfälle (2015) unterscheidet.

Im Folgenden werden nun die Ergebnisse für einzelne Flugzeugtypen / Triebwerkskonfigurationen dargestellt. Diese Ergebnisse sind detaillierter im Anhang in Tabelle 143 und Tabelle 144 dargestellt.

Die Bandbreite der Ergebnisse bezüglich der AzB-Klassen bzw. der LAZ-Klassen (Fraport 2003a) kann anschaulich dargestellt werden, indem die Summen der externen Kosten durch Luftschadstoffe und Treibhausgase jedes Flugzeuges als Punkt in einem Diagramm (Abbildung 2 und Abbildung 3) eingetragen werden.

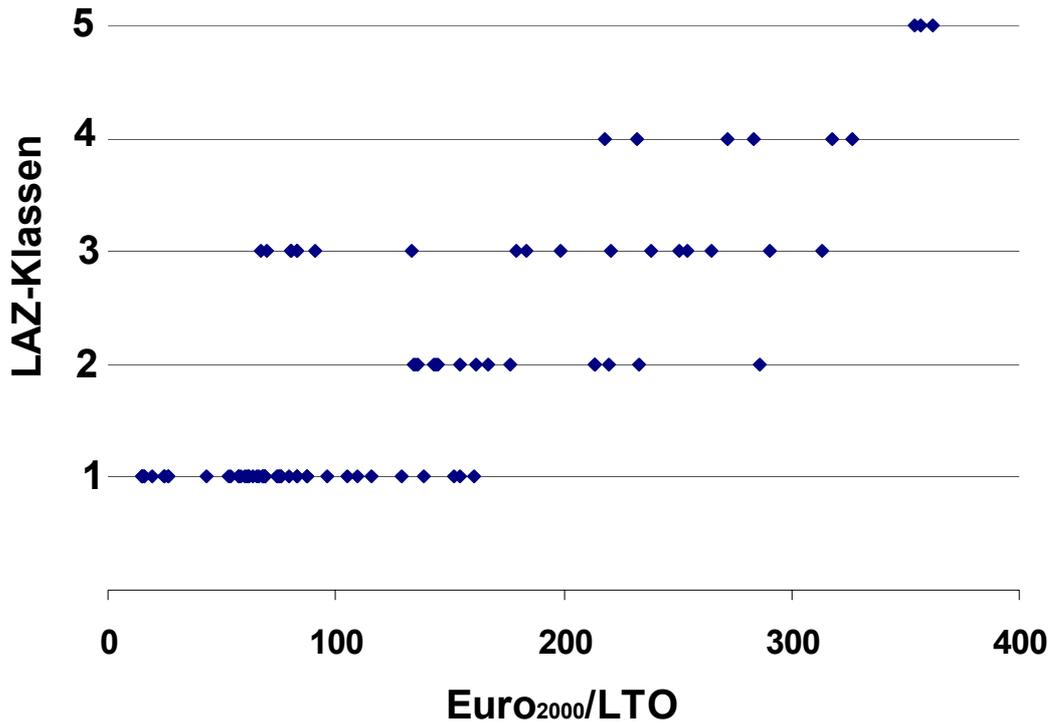


Abbildung 2: Marginale externe Kosten in €₂₀₀₀ /LTO Luftschadstoffe und CO₂ (2000) bezüglich der LAZ-Klassen, jeder Punkt bezeichnet einen bestimmten Flugzeugtyp innerhalb der Klasse

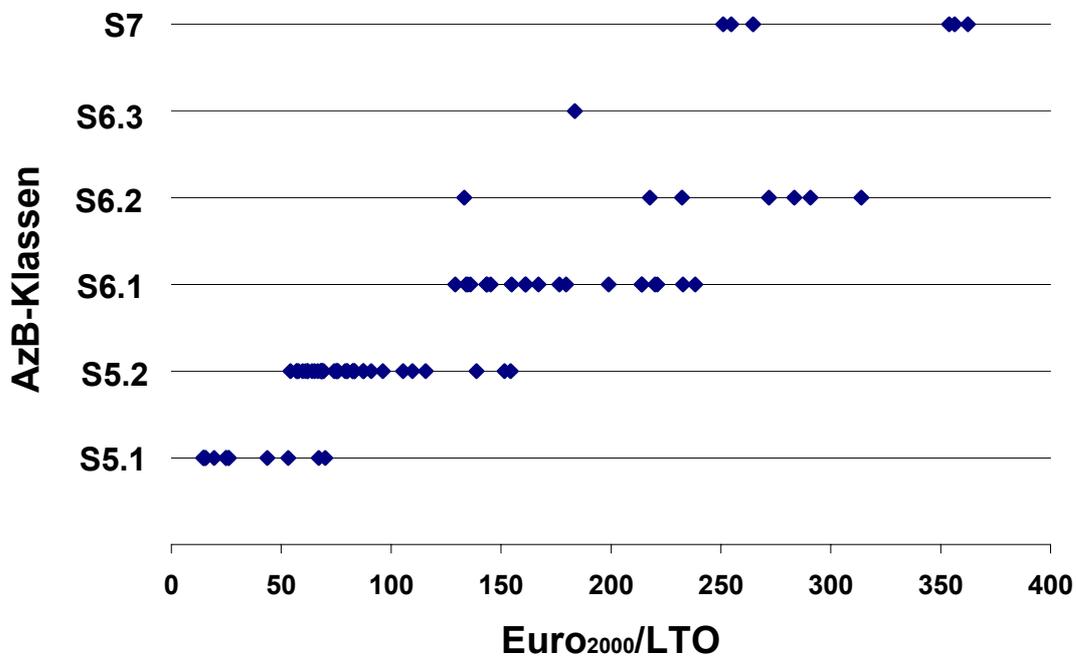
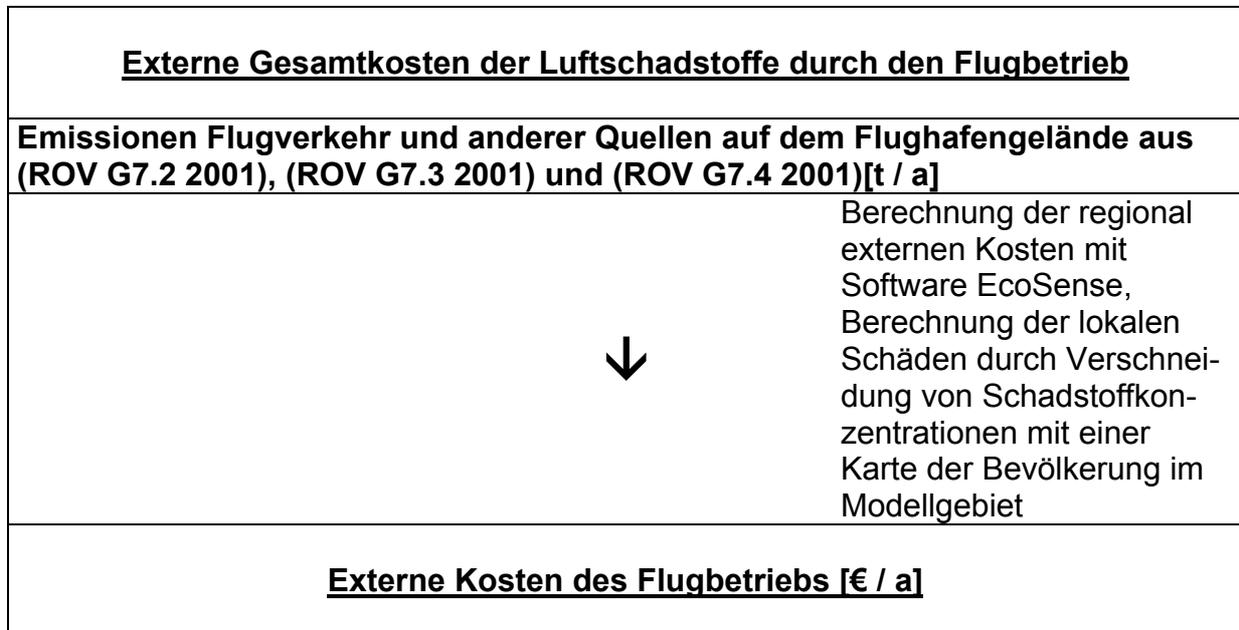


Abbildung 3: Marginale externe Kosten in €₂₀₀₀ /LTO Luftschadstoffe und CO₂ (2000) bezüglich AzB-Klassen

Die Schadenskostenfaktoren unterscheiden sich nur sehr geringfügig zwischen 2000 und 2015, sodass auf eine Darstellung der Abbildungen für 2015 verzichtet werden kann. Der Unterschied kommt durch eine Zunahme der Siedlungsdichte in der Umgebung des Flughafens zustande. Dies führt dazu, dass der selben Schadstoffkonzentration mehr Personen ausgesetzt sind. Anhand der Abbildung 2 und Abbildung 3 ist zu erkennen, dass sowohl bezüglich der AzB-Klassen als auch der LAZ-Klassen die Bandbreite innerhalb der Klassen relativ groß, jedoch eine Tendenz zu erkennen ist.

3.2.2 Ermittlung der gesamten externen Kosten für die Szenarien

Im folgenden Ablaufschema ist die Berechnung der externen Gesamtkosten durch Luftschadstoffe vereinfacht und übersichtlich dargestellt. Im nachfolgenden Text wird die Berechnung dann genauer beschrieben.



Für die Berechnung der externen Gesamtkosten des Flugverkehrs werden die Emissionen des Flughafens zugrunde gelegt, die sich aus folgenden Quellgruppen zusammensetzen:

1. Emissionen der Flugzeuge
2. Emissionen des Kfz-Verkehrs und stationärer Quellen auf dem Flughafen
3. Emissionen vor- und nachgelagerter Prozesse.

Die unter Punkt 1 und 2 aufgezählten Emissionen können für die benötigten Referenzfälle und Varianten den folgenden ROV-Gutachten entnommen werden:

1. Flugzeugemissionen: (ROV G7.3 2001), Seite 12

2. Emissionen des Kfz-Verkehrs und stationärer Quellen auf dem Flughafen: (ROV G7.2 2001)
 - a. Tabelle 4.1: Abgasemissionen des Kfz-Verkehrs
 - b. Tabelle 4.2: Verdunstungsemissionen
 - c. Tabelle 4.3: Emissionen auf dem Vorfeld
 - d. Tabelle 4.4: Abgasemissionen aus den stationären Quellen
 - e. Tabelle 4.5: OGD-Verdunstungsemissionen der stationäre Quellen und Flugzeugbetankung (OGD=organische Gase und Dämpfe).

Berücksichtigt werden die Schadstoffe

PM10, NO_x, NMVOC, SO₂, CO und Benzo(a)Pyren (BaP).

Des Weiteren sind dem Gutachten (ROV G7.2 2001) auch noch Daten bezüglich NH₃ und Benzol zu entnehmen. Deren Beitrag zu den regionalen Schäden ist aber vergleichsweise gering, so dass diese Beiträge vernachlässigbar sind.

In Tabelle 18 sind beispielhaft die vorhandenen Emissionsdaten des Flugverkehrs bis 600 m über Grund aus (ROV G7.3 2001) dargestellt. Wie in diesem ROV Gutachten empfohlen wird die CO₂-Emission als das 2600-fache der SO₂-Emission angenommen. Die PM10-Emission wird als das Doppelte der Ruß-Emission angenommen. Die Werte für HC (Summe der Kohlenwasserstoffe) werden als NMVOC angenommen. Unter „andere Quellen“ sind alle Emissionen zusammengefasst, die in (ROV G7.2 2001) als Emissionen des Kfz-Verkehrs und stationärer Quellen auf dem Flughafen beschrieben sind.

Tabelle 18: Flugverkehr bis 600 m über Grund [in t/a, BaP in g/a]

	Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
NO _x	2.750	3.942	4.794	4.797	4.865
HC	138	51	57	58	66
CO	769	675	765	777	901
Ruß	5	6	7	7	7
SO ₂	194	262	315	316	328
BaP	597	807	972	975	1.011

Die Daten für den Flugverkehr und die anderen Quellen wurden in Modellläufen mit dem Software Tool EcoSense verwendet, um externe Kosten zu berechnen. Die externen Kosten sind unterteilt bezüglich den Emissionen der Flugzeuge und den Emissionen anderer Quellen in Tabelle 19 dargestellt.

Tabelle 19: Externe Kosten der Luftschadstoffemissionen (regionale externe Gesamtkosten)

[Mio.€ _{2000/a}]	Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
Flugzeuge	8,9	12,3	14,9	15,0	15,2
Andere Quellen	2,9	2,0	2,5	2,5	2,5
Summe	11,9	14,4	17,5	17,5	17,8

Der größte Teil der externen Kosten durch Luftschadstoffe (regional betrachtet) wird durch NO_x verursacht (ca. 80%), und davon ca. 85% bezüglich Schäden an der menschlichen Gesundheit. Die Unterschiede zwischen den Planungsfällen werden durch die Emissionen der Flugzeuge verursacht und sind vergleichsweise gering.

Lokale Schäden werden berechnet anhand der Konzentrationen an B(a)P, Benzol und PM10 im Untersuchungsgebiet. Diese Konzentrationen wurden durch Ausbreitungsrechnungen im Rahmen des ROV ermittelt (G7.4). Sie sind unterteilt nach Schäden Flugverkehr (ROV G7.3 2001) und Schäden durch den Kfz-Verkehr und stationären Quellen auf dem Flughafen (ROV G7.2 2001).

Tabelle 20: Externe Kosten der Luftschadstoffemissionen (Jahreswerte der lokalen Schäden durch B(a)P, Benzol und PM10); Werte sind teils in Mio.€_{2000/a}, teils in €_{2000/a} angegeben

[Mio.€ _{2000/a}] oder [€ _{2000/a}]	Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
Flugverkehr B(a)P [€ _{2000/a}]	1.943	2.788	3.416	3.496	3.599
Flugverkehr Benzol [€ _{2000/a}]	3.584	1.861	2.154	2.211	2.420
Flugverkehr PM10 [€ _{2000/a}]	373.084	513.790	635.309	638.507	644.903
Kfz-Verkehr und stationären Quellen auf dem Flughafen B(a)P [€ _{2000/a}]	25.275	14.805	18.563	18.563	18.563
Kfz-Verkehr und stationären Quellen auf dem Flughafen Benzol [€ _{2000/a}]	3.578	1.839	2.309	2.309	2.309
Kfz-Verkehr und stationären Quellen auf dem Flughafen PM10 [€ _{2000/a}]	1.418.786	250.499	309.127	309.127	309.127
Summe [Mio.€ _{2000/a}]	1,8	0,8	1,0	1,0	1,0

In Tabelle 22 ist die Summe der lokalen Schäden des Flugverkehrs und des Kfz-Verkehr und stationären Quellen auf dem Flughafen aus Tabelle 20 und der regionalen Schäden aus Tabelle 19 dargestellt.

Tabelle 21: Gesamte externe Kosten der Luftschadstoffemissionen ohne Flugzeuge

[Mio.€ ₂₀₀₀ /a]	Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
Andere Quellen (regional)	2,9	2,0	2,5	2,5	2,5
Summe aus Tabelle 20: Kfz-Verkehr und stationären Quellen auf dem Flughafen (lokal)	1,8	0,8	1,0	1,0	1,0
Summe Total	4,7	2,8	3,5	3,5	3,5

Tabelle 22: Totale externe Kosten der Luftschadstoffemissionen während eines Jahres

[Mio.€ ₂₀₀₀ /a]	Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
Flugzeuge (regional)	8,9	12,3	14,9	14,9	15,2
Andere Quellen (regional)	2,9	2	2,5	2,5	2,5
Summe aus Tabelle 20 (lokal)	1,8	0,8	1,0	1,0	1,0
Summe Total	13,6	15,1	18,4	18,4	18,7

In Tabelle 23 ist die Verteilung der externen Kosten durch Luftschadstoffe auf den lokalen und den regionalen Bereich dargestellt. Da in Zukunft die externen Kosten durch NO_x gegenüber denen durch Partikel-Emissionen in den Vordergrund treten werden, kommt es zu einer Veränderung der Verteilung der externen Kosten zwischen regionalen und lokalen Schäden.

Tabelle 23: Prozentualer Anteil der regionalen und der lokalen externen Gesamtkosten durch Luftschadstoffe

Prozentualer Anteil [%]	Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
Externe Kosten regional	87	95	95	95	95
Externe Kosten lokal	13	5	5	5	5

Die PM10-Emissionen des Kfz-Verkehr und stationären Quellen auf dem Flughafen verursachen im Ist-Zustand alleine im lokalen Bereich 1,4 Mio.€₂₀₀₀ externe Kosten. In (ROV

G7.3 2001), Seite 29 (Tabelle 4.3: Gegenüberstellung der Vorfeldemissionen im Prognosenullfall 2015 und im Planungsfall 2015 mit der Ist-Situation) ist dargestellt, dass die Emissionen von 18,1 t/a im Ist-Zustand auf 2,7 t/a im Prognosenullfall, und 3,6 t/a im Planungsfall gesenkt werden. Ebenso werden PM10-Emissionen des Straßenverkehrs auf dem Flughafengelände ((ROV G7.3 2001), Seite 26, von 5,26 t/a im Ist-Zustand auf 1,1 t/a im Prognosenullfall und 1,32 t/a im Planungsfall gesenkt. Dadurch kommt es für den Kfz-Verkehr zu einem Absinken der externen Kosten im Jahre 2015.

3.2.3 Ermittlung der externen Kosten vor- und nachgelagerte Prozesse

Bei vor- und nachgelagerten Prozessen, also z. B. der Herstellung und dem Transport von Gütern, die zum Flughafenbetrieb benötigt werden, entstehen ebenfalls externe Kosten. Diese sollten, wie bereits am Beispiel des induzierten Strassenverkehrs erläutert, möglichst direkt beim Verursacher der Emissionen, also z. B. bei den Kraftwerksbetreibern, Raffinerien usw. angelastet werden. Im Unterschied zum induzierten Verkehr werden diese externen Kosten aber letztlich vom Flughafenbetreiber bzw. den Fluggesellschaften bezahlt, weil sie von den Verursachern über die Preise an die Endverbraucher weitergegeben werden. Die ermittelten Kosten werden daher letztendlich doch dem Flughafenbetrieb angelastet und werden daher hier mit ermittelt. In Übereinstimmung mit den Ausführungen zu den Systemgrenzen (Kapitel 2.4) beschränken sich betrachteten vor- und nachgelagerter Prozesse auf

1. die Strombereitstellung
2. die Kraftstoffbereitstellung
3. die Fernwärme- und Fernkältebereitstellung.

Die Bewertung der Emissionen durch fossile Kraftwerke werden konsistent zu dem Ansatz der anderen Emissionen durchgeführt. Externe Kosten durch Kernenergie und regenerative Energie werden aktuellen Studien entnommen.

3.2.3.1 Stromverbrauch

Die Daten aus der (ROV Raumverträglichkeitsstudie (RVS) Band C 2001) (Band C, Kapitel Cc 7) werden verwendet. Hier sind Angaben zur Energieversorgung (Strom, Gas/Wärme und Kälte) bezüglich der Ist-Situation, des Prognosenullfalls und des Planungsfall es zu entnehmen.

Tabelle 24: Stromverbrauch der Szenarien in GWh/a

Stromverbrauch [GWh/a]	
Ist	568
Prognosenullfall	700
Planungsfall	710

Für die Berechnung der externen Kosten der Strombereitstellung wird – begründet mit der Liberalisierung auf dem Strommarkt verbunden mit Stromhandel - der deutsche Strommix (und nicht etwa ein regionaler Mix) zugrunde gelegt. Sowohl die Veränderung der Zusammensetzung des Kraftwerksmixes, als auch eine Verbesserung der Kraftwerkstechnik wurden berücksichtigt. Die Anteile verschiedener Stromerzeugungstechnologien wurde aus (Enquete-Kommission 2002) für das Jahr 2000, 2010 und 2020 entnommen, und für das Jahr 2015 wurde ein Mittelwert aus den Jahren 2010 und 2020 berechnet. In Tabelle 25 ist die Zusammensetzung des Kraftwerksmix Deutschland dargestellt.

Tabelle 25: Zusammensetzung des Kraftwerksmix Deutschland

	2000		2010		2015		2020	
	TWh	[%]	TWh	[%]	TWh	[%]	TWh	[%]
Netto-Stromerzeugung								
Steinkohle	131,5	24,7	131,6	23,6	157,4	27,9	183,1	32,2
Braunkohle	135	25,4	146,3	26,3	160,3	28,4	174,3	30,6
Heizöl	2,9	0,5	3,8	0,7	2,5	0,4	1,1	0,2
Erdgas	46,8	8,8	69,2	12,4	64,4	11,4	59,6	10,5
Kernenergie	160,6	30,2	146,5	26,3	112,8	20,1	79	13,9
Wasserkraft	25,5	4,8	23,4	4,2	24,1	4,3	24,8	4,4
Wind	9,2	1,7	20,7	3,7	23,8	4,2	26,8	4,7
Photovoltaik	0	0	0,2	0	0,5	0,1	0,7	0,1
Andere Brennst.	20,8	3,9	15,3	2,7	17,5	3,1	19,7	3,5
Summe	532,3	100	557	100	563,1	100	569,1	100

Emissionen wurden anhand von Emissionsfaktoren der jeweiligen Kraftwerkstechnik berechnet. Diese Emissionen wurden mit Hilfe des Software Tools EcoSense in externe Kosten umgerechnet. Die Werte für die spezifischen externen Kosten der Stromerzeugung des Kraftwerksmix Deutschland belaufen sich auf:

1,02 €-Cent₂₀₀₀/kWh durch Luftschadstoffe und 1,10 €-Cent₂₀₀₀/kWh durch Treibhausgase im Jahre 2000. Im Jahre 2015 sind es 0,94 €-Cent₂₀₀₀/kWh durch Luftschadstoffe und ca. 0,99 €-Cent₂₀₀₀/kWh durch Treibhausgase.

Die externen Kosten des Stromverbrauches, die aus den spezifischen externen Kosten resultieren sind in Tabelle 26 dargestellt.

Tabelle 26: Externe Kosten der Strombereitstellung

	Luftschadstoffe [Mio.€₂₀₀₀/a]
Ist	5,8
Null	6,6
Planungsfälle	6,7

3.2.3.2 Treibstoffbereitstellung

Für die Berechnung der externen Kosten der Treibstoffbereitstellung wurden Emissionsfaktoren für Deutschland (TRL et al. 1999) angewendet. In diesen Faktoren sind folgende Produktionsschritte berücksichtigt:

Extraktion und Transport von Erdöl, Raffinierung und Verteilung des Kerosins. Die Emissionsfaktoren sind dargestellt in Tabelle 27.

Tabelle 27: Emissionsfaktoren für die Bereitstellung von Kerosin

	SO₂	NO_x	CO	Partikel	NM VOC	CO₂	CH₄	CO₂Äquiv
g/GJ Kerosin	50,9	36,3	4,5	1,1	80	6.300	16	6.668

Über den Treibstoffbedarf aller Flugbewegungen pro Jahr innerhalb der Bilanzgrenze des LTO-Zyklus sind keine Daten vorhanden. Deshalb musste aus den SO₂-Jahresemissionen (ROV G7.3 2001) des Flugverkehrs bis 600 m und den Emissionsfaktoren für CO₂

3,154 kg CO₂/ kg Kerosin,

2600 kg CO₂/ kg SO₂ (ROV G7.3 2001)

der Treibstoffbedarf für die Flugbewegungen innerhalb eines Jahres (bezüglich der LTO-Zyklen) abgeleitet werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 28 dargestellt. Anschließend wurden die externen Kosten, die aus den Emissionen der Kraftstoffbereitstellung resultieren, berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 29 dargestellt.

Tabelle 28: Treibstoffbereitstellung, Menge abgeleitet aus SO₂ Emissionen

	Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
SO ₂ -Emissionen [t/a] (ROV G7.3 2001)	194	262	315	316	328
Kerosin [TJ/a LTO]	6.900	9.300	11.200	11.300	11.700

Tabelle 29: Externe Kosten der Treibstoffbereitstellung

	Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
Externe Kosten – Schadstoffe [Mio.€ ₂₀₀₀ /a]	3,7	5,0	6,0	6,0	6,3

3.2.3.3 Externe Kosten durch Wärme- und Kälteversorgung

Für die Berechnung der externen Kosten der Wärme- und Kälteversorgung wurden ebenfalls die Daten aus (ROV Raumverträglichkeitsstudie (RVS) Band C 2001) verwendet.

Tabelle 30: Wärme- und Kälteversorgung für die Szenarien

[Mio. kWh/a]	Gas / Wärme	Kälte
Ist	340,2	100,0
Null	475,0	180,0
Planungsfälle	475,0	180,0

3.2.3.3.1 Externe Kosten der Wärmeversorgung

Der Flughafen Frankfurt wird über eine 8,5 km lange Fernwärmeanbindung vom Heizkraftwerk der Mainova AG, Frankfurt am Main in Niederrad mit Fernwärme versorgt. Dieses Kraftwerk wurde mit Erd- und Deponiegas betrieben. Der Einsatz von Deponiegas wurde zum 30.06.02 eingestellt. Der Anteil an Deponiegas am Gesamtbrennstoffeinsatz für das Jahr 2002 betrug ca. 1 %.

Zur Berechnung der externen Kosten der Wärmeversorgung werden Emissionen pro kWh Fernwärme verwendet. Aus dem Brennstoffeinsatz im Kraftwerk (Erdgas) sowie den Ergebnissen aus kontinuierlichen Emissionsmessungen und den daraus ermittelten Gesamtfrachten ergeben sich für das Heizkraftwerk Niederrad aus der erzeugten Nutzenergie (Strom und Fernwärme) folgende spezifischen Emissionswerte für die Fernwärme:

Tabelle 31: Spezifische Emissionswerte für Fernwärme aus dem Heizkraftwerk Niederrad (persönliche Auskunft von Mainova AG)

Schadstoff	[g/MWh]
SO ₂	2
NO ₂	26
Staub	0,2
CO ₂	58000

Die Emissionen, die durch die Wärmeversorgung anfallen, sind in Tabelle 32 dargestellt

Tabelle 32: Emissionen des Heizkraftwerkes Niederrad bezüglich der Fernwärme

	SO ₂	NO ₂	Staub	CO ₂
	Tonnen pro Jahr			
Ist	0,68	8,85	0,068	19731
Null	0,95	12,35	0,095	27550
Planungsfälle	0,95	12,35	0,095	27550

Die in Tabelle 33 dargestellten externen Kosten der Wärmeversorgung sind externe Kosten der Luftschadstoffe (Summe der regionalen Schäden von SO₂, NO₂ und den totalen Schäden (Regional_{korrr} plus Lokal) von Staub).

Tabelle 33: Externe Kosten der Wärmeversorgung

[€ _{2000/a}]	Ist	Null	Planungsfälle
Externe Kosten Luftschadstoffe	29.800	45.300	45.300

3.2.3.3.2 Externe Kosten der Kälteversorgung

Zur Berechnung der externen Kosten der Kälteversorgung sind keine Emissionsdaten vorhanden. Daher wird eine Abschätzung bezüglich der externen Kosten der Kälteversorgung gemacht, indem die externen Kosten der Wärmeversorgung pro MWh mit einem Faktor 1,8 multipliziert werden, da der Primärenergieverbrauch pro MWh ebenfalls um diesen Faktor größer ist (persönliche Auskunft Mainova AG). Die Ergebnisse dieser Rechnung sind in Tabelle 34 dargestellt.

Tabelle 34: Externe Kosten der Kälteversorgung – Faktor Ansatz

[€ ₂₀₀₀ /a]	Ist	Null	Planungsfälle
Externe Kosten Luftschadstoffe	15.800	30.900	30.900

Ein Teil der Kälte wird durch Kompressionskältemaschinen erzeugt. Eine genaue Angabe wie groß dieser Teil ist, ist nicht vorhanden. Alternativ zu der Abschätzung über das Verhältnis der externen Kosten der Wärmeversorgung zu den externen Kosten der Kälteversorgungen werden die externen Kosten der Kälteversorgung unter der Annahme berechnet, dass der gesamte Kältebedarf anhand elektrisch betriebener Kompressionskältemaschinen erzeugt wird.

Die durchschnittliche spezifische CO₂-Emission pro erzeugter kWh Kälte beträgt ca. 140 g. Dabei wurde für die elektrisch betriebenen Kompressionskältemaschinen der durchschnittliche spezifische Emissionswert für die Bundesrepublik von 580 g CO₂/kWh_{Strom} zu Grunde gelegt (persönliche Auskunft von Mainova AG). Hieraus wird die Annahme getroffen, dass pro kWh_{Kälte} 0,24 kWh_{Strom} aufgewendet werden müssen, und ein Strombedarf für die Bereitstellung der Kälte kann abgeleitet werden. Dieser wird mit den ermittelten externen Kosten des Stromverbrauchs multipliziert. Die Werte für die spezifischen externen Kosten der Stromerzeugung belaufen sich auf:

2,12 €-Cent₂₀₀₀/kWh im Jahre 2000 (davon ca. 1,10 €-Cent₂₀₀₀/kWh durch Treibhausgase) und 1,93 €-Cent₂₀₀₀/kWh im Jahre 2015 (davon ca. 0,99 €-Cent₂₀₀₀/kWh durch Treibhausgase).

Die Ergebnisse der Rechnungen sind dargestellt in Tabelle 35.

Tabelle 35: Stromverbrauch durch Kälteerzeugung und die daraus resultierenden externen Kosten

	Stromverbrauch	Externe Kosten des Strombedarfs bezüglich Luftschadstoffe
	[Mio. kWh/a]	[Mio.€ ₂₀₀₀ /a]
Ist	24,1	0,24
Null	43,4	0,41
Planungsfälle	43,4	0,41

Die Ergebnisse in Tabelle 34 und Tabelle 35 sind zwei alternative Abschätzungen und können nicht addiert werden.

3.2.4 Externe Kosten durch induzierten Verkehr

3.2.4.1 Privater Kfz-Straßenverkehr

Der Betrieb des Flughafens verursacht Emissionen von Luftschadstoffen durch verschiedene Emittentengruppen. Ein wesentlicher Beitrag stammt vom landseitigen Verkehr, induziert unter anderem durch den Flughafen. Aufgrund der Datenlage in Bezug auf den induzierten Kfz-Straßenverkehr soll in diesem Kapitel die Größenordnung der externen Kosten des Kfz-Verkehrs (zwischen Flughafen und Wohn- bzw. Geschäftsort durch Beschäftigte, Fluggäste, Besucher und Lieferanten) dargestellt werden. In (Mediation Frankfurt Flughafen Ö13 2000) wird darauf hingewiesen, dass wegen der Anbindung an die Bundesbahn sowie wegen der beschränkten Zahl von Parkplätzen und der Parkgebühren im Flughafenbereich der landseitige, durch den Flughafen induzierte Kfz-Verkehr langsamer als die Passagierzahl steigen wird. Weiter wird erwähnt, dass durch Verschärfungen der Emissionsgrenzwerte für PKWs und LKWs die Emissionen des Kfz-Verkehrs auch bei Zunahme des durch den Flughafen induzierten Verkehrs bis zum Jahre 2015, bezogen auf den Stand 1998, nicht ansteigen, sondern zurückgehen werden.

Im Ergebnispapier zu (Mediation Frankfurt Flughafen V14 1999) werden die flughafeninduzierten Fahrten mit dem Kfz und dem öffentlicher Verkehr (ÖV, d.h. Schiengedundener- und Busverkehr) sowie der Bedarf von Stellplätzen auf dem Flughafengelände für 1998 und für verschiedenen Szenarien aufgelistet. In der folgenden Tabelle sind die Werte für 1998 und ein mittlerer Wert bezüglich der Zunahme der Fahrten abgebildet, um die Größenordnung darzustellen.

Tabelle 36: Anzahl der durch den Flughafen mit induzierten Fahrten 1998 und Zunahme bis 2015

	Fahrten mit dem Kfz	Fahrten mit dem ÖV	Stellplätze Flughafengelände
	Anzahl pro Tag	Anzahl pro Tag	Anzahl
1998	120 400	39 500	36 600
Zunahme (Mittelwert)	50%	150%	30%

Im Ergebnispapier zu (Mediation Frankfurt Flughafen Ö13 2000) wird berichtet, dass der Anteil des flughafenbezogenen Autoverkehrs aus methodischen Gründen für den Ist-Zustand nur sehr grob geschätzt werden kann, da Annahmen über die gefahrenen Strecken und über den LKW-Anteil getroffen werden mussten. Die Schätzungen zeigen aber, dass der flughafeninduzierte Straßenverkehr derzeit (Stand 1998) höhere Emissionen verursacht als der Flugverkehr, nämlich um ca. 10 % bei CO₂, um 60 % bei NO_x (Emissionen des Flugverkehr beziehen sich auf den LTO-Zyklus, Emissionen des Kfz-Verkehr beziehen sich auf die

gesamte gefahrene Strecke). 1998 betragen die CO₂-Emissionen des flughafeninduzierten Kfz-Verkehrs ca. 540.000 t, die NO_x-Emissionen rund 3.000 t. In (ROV G7.1 2001) (Seite 28) wurde für das Untersuchungsgebiet Emissionen den Kfz-Verkehrs berechnet. Als Untersuchungsgebiet ergibt sich ein Rechteck um den Flughafenbezugspunkt mit einer Ausdehnung von jeweils 34 km nach Westen und Süden, 40 km nach Osten und 36 km nach Norden. In Tabelle 37 sind die Emissionen des Kfz-Straßenverkehrs für die Ist-Situation und für den Planungsfall 2015 dargestellt. Diese Angaben stammen aus (ROV G7.1 2001), Seite 28.

Tabelle 37: Emissionen des Kfz-Straßenverkehrs im Untersuchungsgebiet

	Ist- Situation 2000 [t/a]	Planungsfall 2015 [t/a]
NO _x	33.198	10.904
PM10	1.276	260
SO ₂	970	203
HC	10.654	4.076
CO	124.807	70.424
Benzol (Kfz-Straßenverkehr und Verdunstung-Kfz)	652	294
B(a)P	0,115	0,053
Methan	972	477

Anhand der NO_x-Emissionen von rund 3.000 t durch den flughafeninduzierten Kfz-Verkehr, (Mediation Frankfurt Flughafen Ö13 2000, Seite 3), und der Zusammensetzung der Emissionen des Kfz-Verkehrs werden Emissionen des flughafeninduzierten Kfz-Verkehrs für die anderen Luftschadstoffe und Methan abgeleitet, da keine spezifischen Gutachten vorhanden sind. Es sei darauf hingewiesen, dass implizit die Annahme getroffen wird, dass der Flottenmix und andere, die Emissionen beeinflussende Faktoren im Untersuchungsraum des Gutachtens G7.1 mit dem Flottenmix des flughafeninduzierten Kfz-Verkehrs vergleichbar sind. Des Weiteren wird zur Berechnung der regionalen externen Kosten davon ausgegangen, dass die Emissionen des induzierten Kfz-Verkehrs im Umkreis des Flughafen Frankfurt entstehen. Die Prognose für das Jahr 2015 geht davon aus, dass beim Kfz-Verkehr die Schadstoffemissionen trotz einer Zunahme der gefahrenen Kilometer im Vergleich zu 1998 bezüglich NO_x zwischen 50 bis 75 % abnehmen werden, die CO₂-Emissionen hingegen gleich bleiben, bzw. um 60 % zunehmen werden. Daher betragen 2015 die CO₂-Emissionen des flughafeninduzierten Verkehrs – je nach Szenario bzw. Variante – zwischen 430.000 und 870.000 t, die NO_x-Emissionen zwischen 690 und 1.470 t.

Tabelle 38: Emissionen des flughafeninduzierten Kfz-Straßenverkehrs

[t/a]	Ist- Situation 1998 bzw. 2000	2015 untere Schätzung	2015 obere Schätzung
NO _x	3.000	690	1.470
CO ₂	540.000	430.000	870.000
Abgeleitet aus NO _x und Emissionen des Straßenverkehrs in G7.1			
PM10	115	17	35
SO ₂	88	13	27
HC	964	258	550
CO	11.300	4.460	9.500
Benzol (Kfz-Straßenverkehr und Verdunstung-Kfz)	59	19	40
B(a)P	0,010	0,003	0,007
Methan	88	30	64

Aufgrund dieser Daten werden nun Abschätzungen der externen Kosten vorgenommen. Die CO₂Äquiv-Emissionen wurden berechnet mit den Äquivalenzfaktoren in Tabelle 83, und anschließend mit dem Wert von 19€₂₀₀₀/t CO₂Äquiv multipliziert. Die Emissionen an Luftschadstoffen wurden mit den jeweiligen Schadenskostenfaktoren multipliziert. Die errechneten externen Kosten sind dargestellt in Tabelle 39 und Tabelle 40.

Tabelle 39: Externe Kosten des flughafeninduzierten Kfz-Verkehrs durch Methan und CO₂-Emissionen

	1998	2015
CO ₂ -Emissionen [t/a]	540.000	430.000 – 870.000
Methan-Emissionen [t/a]	87,9	30,2 – 64,3
Externe Kosten (19€ ₂₀₀₀ /t CO ₂ Äquiv) [Mio.€ ₂₀₀₀ /a]	10,3	8,2 – 16,6

Tabelle 40: Externe Kosten des flughafeninduzierten Kfz-Verkehrs durch NO_x, PM10, SO₂, HC (NMVOC), CO, Benzol und B(a)P-Emissionen

Jahr	1998	2015
Externe Kosten [Mio.€ ₂₀₀₀ /a]	13,7	2,9 – 6,1
Anteil NO _x , PM10, SO ₂ und HC [%]	99,4	99,1

Die Ergebnisse in Tabelle 39 und Tabelle 40 für 2015 beziehen sich auf die verschiedenen Ausbauvarianten im Jahre 2015. Um eine Abschätzung bezüglich des Nichtausbaus, d.h. der Null-Variante zu machen, werden die Ergebnisse im Verhältnis zu den prognostizierten Flugbewegungen von 656.000 pro Jahr beim Ausbau und 500.000 bei der Null-Variante umgerechnet. Die Ergebnisse sind dargestellt in Tabelle 41.

Tabelle 41: Abschätzung der externen Kosten des induzierten Kfz-Straßenverkehrs bezüglich der Nullvariante

	2015-Ausbauvarianten	2015-Null-Variante
Flugbewegungen pro Jahr	656.000	500.000
Externe Kosten Luftschadstoffe [Mio.€ ₂₀₀₀ /a]	2,9 – 6,1	2,2 – 4,6
Externe Kosten Klimagase (19€ ₂₀₀₀ /t CO ₂ Äquiv) [Mio.€ ₂₀₀₀ /a]	8,2 – 16,6	6,3 – 12,7

Die externen Kosten, die durch Lärm und Unfälle verursacht werden, können hier nicht quantifiziert werden, weil keine entsprechenden Grundlagendaten zur Verfügung standen. Einen Hinweis auf die relative Bedeutung dieser Kostenkategorien im Vergleich mit den Kosten der Luftschadstoffe gibt Abbildung 4.

In Abbildung 4 sind die externen Kosten der Luftschadstoffe und Treibhausgase (Luft) den externen Kosten durch Lärm und Unfälle gegenübergestellt. Die Bandbreite der Werte ergibt sich unter anderem durch die Betrachtung von unterschiedlichen Strecken, oder beim Lärm, unterschiedliche Tageszeiten. Die Daten stammen aus (Bickel 2003), (Bickel und Schmid 2002a), (Bickel und Schmid 2002b) und (Friedrich und Bickel 2001). Es zeigt sich, dass durch Lärm und Unfälle externe Kosten in gleicher Größenordnung wie bei Luftschadstoffen entstehen können. Für die Bevölkerung in der Umgebung des Flughafen ist allerdings der Lärm des induzierten Verkehrs weniger bedeutend, weil die Anfahrt zum Flughafen überwiegend auf Autobahnen und Fernstraßen erfolgt. Autobahnen und Fernstraßen liegen aber von den Wohngebieten oft weit genug entfernt.

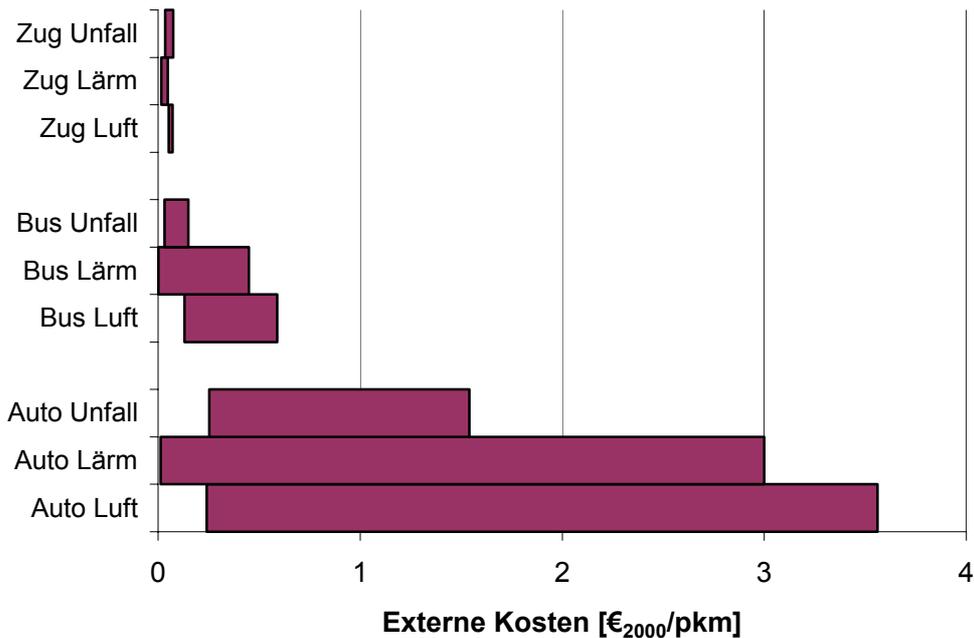


Abbildung 4: Gegenüberstellung der Bandbreiten externer Kosten durch Luftschadstoffe/Treibhausgase, Lärm und Unfälle verschiedener Verkehrsmittel [€₂₀₀₀/pkm(Personenkilometer)]

3.2.4.2 Öffentlicher Verkehr

Für den öffentlichen Verkehr (ÖV, d.h., Schienengebundener- und Busverkehr) liegen keine Gutachten bezüglich flughafeninduzierter Emissionen vor. Daher werden im Folgenden marginale externe Kosten pro 100 Personenkilometer (pkm) von unterschiedlichen Kfz und öffentlichen Verkehrsmitteln gegenübergestellt, um einen Größenordnungsunterschied aufzuzeigen. Diese Werte sind (Friedrich und Bickel 2001) (Seite 218) entnommen und unterteilt in externe Kosten der Fahrt und der Kraftstoffbereitstellung. Diese Unterscheidung ist notwendig, da z. B. ein elektrisch angetriebenen Zug Emissionen durch die Strombereitstellung verursacht, umgekehrt Emissionen eines Kfz hauptsächlich während der Fahrt anfallen.

Tabelle 42: Marginale externe Kosten der Luftschadstoffe pro 100 Personenkilometer (pkm) von unterschiedlichen Kfz und öffentlichen Verkehrsmitteln

[€₂₀₀₀/100pkm]	Während der Fahrt	Kraftstoffbereitstellung	Summe
Auto (Benzin)	0,09 – 1,65	0,16	0,25 – 1,81
Auto (Diesel)	0,17 – 3,49	0,07	0,24 – 3,56
Bus (Diesel)	0,05 – 0,51	0,08	0,13 – 0,59
ICE (elektrisch)	---	0,054	0,054
Intercity (elektrisch)	---	0,052	0,052
Nahverkehr (elektrisch)	---	0,072	0,072
S-Bahn	---	0,055	0,055

4 Lärm

4.1 Methode

Der Wirkungspfadansatz angewendet auf Fluglärm umfasst aus der Modellierungsperspektive folgende Schritte:

- Lärmemission – Ausbreitung – Lärmpegel in der Umwelt
- Exposition der Bevölkerung
- Physische Schäden mit Hilfe von Dosis-Wirkungsbeziehungen (Gesundheitseffekte)
- Monetarisierung, sowohl der Lärmpegel (direkt, d.h. oberhalb bestimmter Schwellenwerte wird pro dB mit einem festgelegten Faktor multipliziert), als auch der physischen Schäden

4.1.1 Lärmpegel durch den Flugverkehr

Den Berechnungen der externen Kosten durch Fluglärm liegen modellierte Lärmdaten des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (HLUG) zugrunde. Diese wurden für die Zeitscheiben Tag (6 bis 22h) und Nacht (22 bis 6h) (ausgedrückt als $L_{Aeq(3)}$) für die fünf Szenarien (Ist-Situation, Prognosenullfall und die Varianten Nordwest, Nordost und Süd) und für jeweils beide Betriebsrichtungen zur Verfügung gestellt. Das Modellgebiet der HLUG Daten entspricht einem Quadrat mit 70 km Kantenlänge und einer Auflösung von 100m, so dass je Fall 490 000 Datensätze, und insgesamt 4,9 Mio. Datensätze zu verarbeiten waren.

Da als wesentliche Größe die Lärmpegel ausgedrückt als L_{den} benötigt werden, wurden diese unter der vereinfachenden Annahme der Gleichverteilung zwischen Tag und Abend aus den gegebenen zwei Lärmindizes mit einem Malus von 5 dB am Abend und 10 dB in der Nacht berechnet. Weitere Lärmwerte, wie z. B. SEL standen nicht zur Verfügung.

Für die Berechnung von marginalen Kosten werden zusätzliche Fluglärmszenarien benötigt, die aus den Gesamtszenarien der HLUG und eigenen Fluglärmmodellierungen berechnet wurden. Für diese Modellierung eines bestimmten Flugzeugs wurde das „Integrated Noise Model“ (INM) der Federal Aviation Administration, U.S. Department of Transportation (FAA 2001) in der Version 6.0c verwendet, das die neuesten Daten zur Lärmemission heutiger Flugzeuge enthält. Das INM ist eine Standardsoftware, die weltweit von über 500 Nutzern in 50 Ländern zur Berechnung von Fluglärmkonturen eingesetzt wird. Aus den HLUG-Szenarien und jeweils einem INM-Modellauf wurden mit Hilfe der energetischen Addition der Pegel für jede modellierte Flugzeugkonfiguration neue, sog. marginale Szenarien berechnet.

Berücksichtigung der Gesamtlärmbelastung

Die Hintergrundbelastung durch Lärm muss beachtet werden, um die Schwellwerte bei der Wirkungsberechnung berücksichtigen zu können. Dies betrifft nicht nur den Fluglärm, sondern auch andere Geräuschquellen, denen die Bevölkerung in der Summe ausgesetzt ist. Daher wurde, analog zu dem technischen Lärmgutachten G6.5 (ROV G6.5 2001), jeweils die Gesamtlärmbelastung berechnet, in dem weitere Lärmquellen zu den Gesamtlärmszenarien energetisch addiert wurden. Dies sind im einzelnen Straßenlärm, Rolllärm und Bodenlärm.

Bei der Gesamtlärmbelastung der Bevölkerung spielt der Bodenlärm auf dem Flughafengelände nur an den unmittelbar angrenzenden Gemeinden eine Rolle. In G6.5 wurde insbesondere festgestellt, dass der Roll- und Bodenlärm lediglich in Kelsterbach und Walldorf zu einer Pegelerhöhung größer/gleich 1 dB führt. Die 22 Nachweispunkte, die in den technischen Lärmgutachten G6.3 (ROV G6.3 2001) und G6.4 (ROV G6.4 2001) dargestellt sind, wurden in die Gesamtlärmszenarien eingearbeitet.

4.1.2 Straßenlärm

Die Pegelwerte aus dem maßgeblichen Straßen- und Schienennetz, wie sie im technischen Lärmgutachten G6.2 – Landseitiger Straßen- und Schienenverkehrslärm (ROV G6.2 2001) berechnet sind, konnten nicht verwendet werden, da sie für eine Expositionsabschätzung aufgrund der äquidistanten Isolinien ungeeignet sind. Der im Gutachten für Gesamtlärm (ROV G6.5 2001) ausgewiesene Flächenmittelwert auf einem 500 x 500 m Gitter ist für Expositionsabschätzungen noch weniger geeignet, da Straßen- und Schienenlärm nur kleinräumig in signifikanten Pegeln ökonomische Schäden verursacht. Als Alternative wurde ein Ausschnitt eines Straßennetzes verwendet, das mit Stadtmodellbausteinen attribuiert ist (Mahmoudi et al. 2001). Dieses wurde mit den Bevölkerungsdaten (I&U 2003) verschnitten. Entlang dieser Innerorts-Straßenabschnitte wurde an den nächstgelegenen Gitterpunkt die Betroffenenmenge entsprechend der Bevölkerungsdichte des Polygons abgeleitet. Da detaillierte Straßenlärmrechnungen über den Rahmen dieses Gutachtens gegangen wären, wurden mittlere Werte aus aktuellen Fallstudien für deutsche Städte übertragen (Schmid 2003). Die verwendeten Werte sind in Tabelle 43 dargestellt. In der Praxis treten örtlich höhere Werte entlang der ersten Bebauungslinie auf, was jedoch aufgrund des Aufwandes und der Anwendung einer mittleren Situation nicht berücksichtigt werden konnte. Da jedoch die Berechnung der externen Kosten des Fluglärms das Ziel dieser Studie war, der Beitrag des Straßenverkehrslärms für die Schwellwerte (insbes. 50 u. 55 dB_{Lden}) von Bedeutung ist und die externen Kosten des Straßenverkehrslärms nicht dem Flugverkehr zuzuordnen ist, wird dieser Ansatz als akzeptabel eingestuft.

Tabelle 43: Mittlere Lärmpegel für Straßenverkehrslärm

Zeitscheibe	Lärmpegel (L_{aeq})
6-22h	59,5 dB
6-18h	60 dB
18-22h	58 dB
22-6h	52 dB

4.1.3 Exposition der Bevölkerung

Die Schallpegel der Lärmszenarien wurden entsprechend der Daten der HLUG auf einem 100 x 100 m Gitter berechnet. Dieses wurde mit einem geographischen Informationssystem mit den Bevölkerungskarten aus dem Gutachten Ö16/Ö17 des Mediationsverfahrens (I&U 2003) verschnitten, so dass für jeden Gitterpunkt eine mittlere Anzahl Betroffener berechnet wird.

4.1.4 Wirkungsabschätzung

4.1.4.1 Gesundheitseffekte

Die Welt-Gesundheits-Organisation (World Health Organisation, WHO) definiert den Begriff Gesundheitseffekt ('health effect') in den 'Guidelines for community noise' wie folgt: 'an adverse effect of noise is defined as a change in the morphology and physiology of an organism that results in impairment of functional capacity, or an impairment of capacity to compensate for additional stress, or increases the susceptibility of an organism to the harmful effects of other environmental influences'. Entsprechend dieser Definition und den heute quantitativ relativ sicher erfassbaren Wirkungen, werden folgende Effekte berücksichtigt:

4.1.4.1.1 Ischämische Herzkrankheit

Ischämie (engl. ischaemia) ist die Verminderung oder Unterbrechung der Durchblutung eines Organs, Organteils oder Gewebes infolge mangelnder arterieller Blutzufuhr (Pschyrembel 1994). Im Herzen ist dies normalerweise die Folge einer allmählichen Verengung der koronaren Arterien die den Herzmuskel mit Blut und Sauerstoff versorgen. Wenn diese Verengung über längere Zeit stattfindet, kann dies zu Beschwerden führen, die als Angina Pectoris bezeichnet werden. Diese machen sich durch Beschwerden im Brustkorb bemerkbar die davon herrühren, dass das Herz stärker und schneller schlägt, wie es unter großen körperlichen Anstrengungen der Fall wäre (British Heart Foundation 2001).

De Kluizenaar und Passchier-Vermeer (Kluizenaar et al. 2001) geben das durchschnittliche relative Risiko (RR) für ischämische Herzkrankheit für Straßen- und Fluglärm an mit:

$$RR = 0,5 + 0,008 \cdot L_{DEN} \text{ für } L_{DEN} > 70dB(A)$$

Das relative Risiko beschreibt also die Wahrscheinlichkeit eine bestimmte Krankheit (Grundrisiko) durch eine bestimmte Ursache hervorzurufen. Das relative Risiko ist dementsprechend dimensionslos.

Entsprechend diesem relativen Risiko wurden Expositions-Wirkungsbeziehungen für Endpunkte berechnet, die eine monetäre Bewertung erlauben, siehe Tabelle 44.

Tabelle 44: Expositions-Wirkungsbeziehungen für Lärm und ischaemische Herzkrankheit (Schwellwert 70 dB(A) L_{DEN} , die Lärmart wird nicht unterschieden)

Endpunkt	Erwartungswert pro 1000 Erwachsene	Einheit
Herzinfarkt, tödlich, verlorene Lebenszeit	0.084 $L_{DEN} - 5.25$	Jahre
Herzinfarkt (nicht-tödlich), Krankenhaustage	0.504 $L_{DEN} - 31.5$	Tage
Herzinfarkt (nicht-tödlich), Abwesenheitstage Beruf	0.896 $L_{DEN} - 56$	Tage
Herzinfarkt	0.028 $L_{DEN} - 1.75$	Fälle
Angina pectoris, Krankenhaustage	0.168 $L_{DEN} - 10.5$	Tage
Angina pectoris, Abwesenheitstage Beruf	0.684 $L_{DEN} - 42.75$	Tage
Angina pectoris, Krankheitstage	0.240 $L_{DEN} - 15$	Tage

Für die Berechnung der Expositions-Wirkungsbeziehungen wurden folgende Daten verwendet:

Herzinfarkt:

- Inzidenz für Herzinfarkt: 5 von 1000 Erwachsenen (ab 18 Jahren)
- Mittlerer Lebenszeitverlust je tödlichem Herzinfarkt: 7 Jahre
- Überlebenswahrscheinlichkeit eines Herzinfarkts: 70%
- Krankenhausaufenthalt je nicht-tödlichem Herzinfarkt: 18 Tage
- Abwesenheit von Berufstätigkeit: 32 Tage

Angina Pectoris:

- Inzidenz für Angina Pectoris: 15 von 10000 Erwachsenen
- Krankenhausaufenthalt: 14 Tage (schwere Erkrankung)
- Krankheitstage je Fall: 20 Tage.

4.1.4.1.2 Hypertonie

Bluthochdruck ist ein Volksleiden, von dem etwa 15-20 Millionen Deutsche betroffen sind. Bluthochdruck muss medizinisch behandelt werden, sonst verläuft die Krankheit tödlich. Rund 5 Milliarden Tagesdosen werden jährlich verordnet (Deutsche Liga zur Bekämpfung des hohen Blutdruckes 2001). Durch den Bluthochdruck wird das Herzinfarkttrisiko ebenso wie die Gefahr eines Schlaganfallerleidens erhöht. Um Doppelzählungen mit ischaemischer Herzkrankheit zu vermeiden, wird als Endpunkt nur Krankenhauseinlieferung betrachtet.

De Kluizenaar und Passchier-Vermeer geben das durchschnittliche relative Risiko (RR) für Hypertonie in Bezug auf Straßen- und Fluglärm an mit (Kluizenaar et al. 2001):

$$RR = 0,5 + 0,007 \cdot L_{DEN} \quad \text{für } L_{DEN} > 70dB(A)$$

Entsprechend diesem relativen Risiko wurde eine Expositions-Wirkungsbeziehung für Krankenhausaufenthalte berechnet, die eine monetäre Bewertung erlaubt:

$$0,063 \cdot L_{DEN} - 4,5 \quad \text{für } L_{DEN} > 70dB(A)$$

Dabei wurden folgende Daten zugrundegelegt:

- Basis Risiko Krankenhauseinlieferung: 15 von 10000 Einwohner. (Bundesminister für Gesundheit 1995)
- Krankenhausaufenthalt: 6 Tage

4.1.4.2 Störung des Nachtschlafes

Der Schlaf ist für die Erholung des Menschen unabdingbar und stellt einen wesentlichen Aspekt der Lebensqualität dar. Lärm beeinflusst sowohl die Qualität als auch die Länge des Nachtschlafes. Folgende Einflussfaktoren auf die Schlafqualität können genannt werden (Passchier-Vermeer et al. 2001):

- Veränderungen im Herz-Kreislaufsystem
- Veränderungen im Schlafmuster, z. B. Verlängerung der Schlaflatenzzeit und Verkürzung des Schlafzeitraumes
- Vorzeitiges Erwachen
- Verschiebung von Schlafphasen, vom Tiefschlaf hin zu weniger tiefem Schlaf
- Erhöhung der Mortalität während des Schlafes
- Eintreten von zusätzlichen Aufwachreaktionen während des Schlafzeitraumes
- Veränderung an der subjektiv erlebten Schlafqualität
- Veränderungen am Hormon- und Immunsystem.

Die quantitative Messung von Schlafstörungen

Eine Vielzahl von Studien hat den Einfluss von Lärm auf die oben genannten Aspekte hin untersucht. Dabei kann grundsätzlich zwischen subjektiven und objektiven Methoden unterschieden werden. Zu den subjektiven Methoden gehören Eigenberichterstattung (mit Hilfe von Schlafaufzeichnungen oder Tagebüchern) oder Verhaltensbeobachtungen. Zu den objektiven Methoden gehören EEG-Aufzeichnungen und die Aktimetrie. Bei der Aktimetrie wird das Bewegungsmuster eines Probanden während der Nacht aufgezeichnet. Ebenso zu den objektiven Methoden sind die Arbeiten zu den Auswirkungen von nächtlichem Fluglärm auf den Hormonspiegel zu zählen (z. B.: (Maschke et al. 1995), (Maschke et al. 1996), (Maschke et al. 1997)).

Zum einen können daraus qualitative Empfehlungen abgeleitet werden, wie zum Beispiel von (Maschke 1999). Maschke empfiehlt als medizinischen Vorsorgewert für die Langzeitexposition durch Verkehrslärm einen mittleren Pegel von 35 dB(A), im besonderen für Fluglärm einen Pegel von 32 dB(A). Dieser sollte, gemessen am Ohr, während der Nacht nicht überschritten werden. Zum anderen sind quantitative Aussagen zu den Zusammenhängen von Lärmpegeln und Wirkungen möglich, z. B. Veränderungen des Cortisolspiegels (Hamburger Nachtflugstudie), Feststellung des Adrenalinpiegels im Morgenurin usw.. Diese Studien tragen wesentlich zum Verstehen von Lärmwirkungen bei, die Möglichkeiten zur ökonomischen Bewertung sind jedoch beschränkt.

Eine Bewertung des Nachweises eines Zusammenhangs von Lärm und Auswirkungen auf den Schlaf wird in Tabelle 45 dargestellt.

Tabelle 45: Langfristige Auswirkungen, die mit der Lärmbelastung in Verbindung gebracht wurden, und Beobachtungsschwellen

Auswirkung	Klassifizierung ^{a)}	Beobachtungsschwelle		
		Messgrösse	Wert in dB(A)	Bezugsort
Schlafmuster	+	$L_{aeq,Nacht}$	<60	Aussen
Aufwachen	+	SEL	55	Innen
Schlafphasen	+	SEL	35	Innen
Subjektive Schlafqualität	+	$L_{aeq,Nacht}$	40	Aussen
Herzfrequenz	+	SEL	40	Innen
Hormonspiegel	o			
Immunsystem	-			
Laune am nächsten Tag	+	$L_{aeq,Nacht}$	<60	Aussen
Leistung am nächsten Tag	o			

Quelle: (Passchier-Vermeer et al. 2001)

a) Klassifizierung der Nachweise für einen kausalen Zusammenhang zwischen Lärm und Schlaf: „+“-hinreichend erwiesen, „o“- begrenzt erwiesen, „-“ unangemessen.

Expositions-Wirkungsbeziehungen

Basierend auf der Einschätzung der langfristigen Auswirkungen in Tabelle 45 und mit Rücksicht auf eine ökonomische Bewertung werden die in Tabelle 46 gegebenen Expositions-Wirkungsbeziehungen vorgeschlagen.

Tabelle 46: Expositions-Wirkungsbeziehungen zur Quantifizierung von Wirkungen von Lärm auf den Nachtschlaf

Effekt	Lärmart	Funktionaler Zusammenhang	Schwellwert
Subjektive Schlafqualität	Strassenlärm	$\%B = 0,62 \cdot (L_{aeq,22-06h} - 43,2)$	43,2 dB(A)
	Schienenlärm	$\%B = 0,32 \cdot (L_{aeq,22-06h} - 40,0)$	40,0 dB(A)
	Fluglärm	$\%B = 0,48 \cdot (L_{aeq,22-06h} - 32,6)$	32,6 dB(A)

%B = Prozentsatz Betroffener bezogen auf die erwachsene Bevölkerung.
 Quelle: (Kluizenaar et al. 2001) mit Bezug auf (Health Council of the Netherlands (HCN) 1997).

Das Maß der „subjektiven Schlafqualität“ wird im Moment als das umfassendste und repräsentativste angesehen, um die verschiedensten Effekte durch Lärm auf den Menschen zu erfassen. Die quantitativen Funktionen basieren auf der zur Zeit größten Datenbasis von Umfragen zur Lärmwirkungserfassung zur Ermittlung von Belästigungsreaktionen (Miedema und Vos 1998). Daraus wurde durch Regressionsanalyse der bestmögliche Zusammenhang

zwischen dem Lärmpegel an der am höchsten belasteten Fassade des Hauses (Außen) und dem Prozentsatz der sich durch Lärm sehr im Schlaf gestört fühlenden Teile der Bevölkerung ermittelt. Die gesamte Datenbasis beruht auf 45 Umfragen, die insgesamt 58.065 Personen in den Vereinigten Staaten, Kanada, Australien und Europa befragten. In Bezug auf Fluglärm wurden 9 von 20 Umfragen in Europa durchgeführt. Eine mögliche Doppelzählung zwischen allgemeiner Belästigung und den Funktionen für Schlafqualität kann herausgerechnet werden (Passchier-Vermeer, Personal communication).

In anderen Studien zu den Auswirkungen von Fluglärm werden z.T. Aufwachreaktionen quantifiziert (z. B. für die Londoner Flughäfen (DETR 1999b) oder (DETR 1999a)). Da dies in der subjektiven Schlafqualität jedoch berücksichtigt ist, würde eine Berechnung zu einer Doppelzählung führen.

4.1.4.3 Belästigung

Nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz zählen zu den schädlichen Umwelteinwirkungen neben „Gefahren“ auch „erhebliche Belästigung“. Der Begriff „Belästigung“ nimmt eine zentrale Bedeutung bei den Lärmwirkungen ein, er ist jedoch nicht einfach zu interpretieren. Der äquivalente Begriff im englischen ist ‘Annoyance’. An verschiedenen Stellen wird darauf eingegangen, wie diese Begriffe unterschiedlich interpretiert werden können (z. B. (Schick 1997), (Guski 1997), (Guski et al. 1998)). Eine umfassende Erläuterung des Konzepts, das hinter dem Begriff „Belästigung“ in der Lärmforschung steht, kann beispielsweise bei Schick gefunden werden (Schick 1997). Trotz teilweiser Interpretierungsprobleme des Begriffs stellt die Lärmbelästigung einen verlässlichen Indikator für die Betroffenheit einer Bevölkerungsgruppe durch Lärmquellen dar (Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen 1999).

Die Belästigung in der Bevölkerung durch Lärm wird über Fragebögen ermittelt. Die in diesem Gutachten vorgeschlagenen Expositions-Wirkungsbeziehungen wurden aufgrund einer Meta-Analyse einer internationalen Datenbank für Lärmbelästigungsstudien berechnet (Miedema und Vos 1998), (Miedema und Oudshoorn 2001). Diese Funktionen wurden auch der Europäischen Kommission, Generaldirektion Umwelt für die EU Direktive über Umweltlärm von der Arbeitsgruppe -Lärm/Dosis/Wirkung- vorgeschlagen.

Die 45 herangezogenen Studien enthielten 55 Datensätze zu verschiedenen Lärmquellen, d. h. in einigen Studien wurde gleichzeitig Befragungen zu Strassen-, Schienen-, und Fluglärm durchgeführt. Da die Befragungen unterschiedlich strukturiert waren, d. h. z. B. unterschiedliche Antwortmöglichkeiten enthalten waren, wurden sie auf eine einheitliche Skala normiert, die den Grad der Belästigung in einem Bereich von 0 bis 100 abbildet. Dabei wurden drei Kategorien der Belästigung unterschieden, die folgendermaßen definiert wurden:

- Sehr belästigt ('highly annoyed' - %HA): mit einer Bewertung > 72
- Belästigt ('annoyed' - %A): > 50
- Leicht belästigt ('little annoyed' - %LA): > 28.

Die zur Anwendung vorgesehenen Expositions-Wirkungsbeziehungen sind in Tabelle 47 dargestellt.

Tabelle 47: Expositions-Wirkungsbeziehungen zur Quantifizierung des durch Lärm belästigten Anteils der erwachsenen Bevölkerung

Anteil der erwachsenen Bevölkerung (%)	Schwellwert dB(A)
Strassenlärm	
$\%LA = -6,235 \cdot 10^{-4} (L_{DEN} - 32)^3 + 5,509 \cdot 10^{-2} (L_{DEN} - 32)^2 + 0,6693(L_{DEN} - 32)$	32,0
$\%A = 1,795 \cdot 10^{-4} (L_{DEN} - 37)^3 + 2,110 \cdot 10^{-2} (L_{DEN} - 37)^2 + 0,5353(L_{DEN} - 37)$	37,0
$\%HA = 9,868 \cdot 10^{-4} (L_{DEN} - 42)^3 - 1,436 \cdot 10^{-2} (L_{DEN} - 42)^2 + 0,5118(L_{DEN} - 42)$	42,0
Schiene nlärm	
$\%LA = -3,229 \cdot 10^{-4} (L_{DEN} - 32)^3 + 4,871 \cdot 10^{-2} (L_{DEN} - 32)^2 + 0,1673(L_{DEN} - 32)$	32,0
$\%A = 4,538 \cdot 10^{-4} (L_{DEN} - 37)^3 + 9,482 \cdot 10^{-2} (L_{DEN} - 37)^2 + 0,2129(L_{DEN} - 37)$	37,0
$\%HA = 7,239 \cdot 10^{-4} (L_{DEN} - 42)^3 - 7,851 \cdot 10^{-3} (L_{DEN} - 42)^2 + 0,5118(L_{DEN} - 42)$	42,0
Fluglärm	
$\%LA = -6,158 \cdot 10^{-4} (L_{DEN} - 32)^3 + 3,410 \cdot 10^{-2} (L_{DEN} - 32)^2 + 1,738(L_{DEN} - 32)$	32,0
$\%A = 8,588 \cdot 10^{-6} (L_{DEN} - 37)^3 + 1,777 \cdot 10^{-2} (L_{DEN} - 37)^2 + 1,221(L_{DEN} - 37)$	37,0
$\%HA = -9,199 \cdot 10^{-5} (L_{DEN} - 42)^3 + 3,932 \cdot 10^{-2} (L_{DEN} - 42)^2 + 0,2939(L_{DEN} - 42)$	42,0
Angegeben ist der Prozentsatz Betroffener bezogen auf die erwachsene Bevölkerung. LA='little annoed', A='annoyed', HA='highly annoyed' Quelle: (Miedema und Oudshoorn 2001)	

4.1.4.4 Gesprächsstörung

Eine empirisch ermittelte Beziehung zwischen der Redeunterbrechung aufgrund von Lärmereignissen aus der Umwelt ist nicht bekannt. Jedoch wurde von Passchier-Vermeer (Passchier-Vermeer et al. 2001) ein vorläufiger funktionaler Zusammenhang zwischen Gesprächsstörung und Lärmpegel für isolierte Lärmereignisse (ausgedrückt in SEL) hergeleitet, unter der Annahme, dass die durchschnittliche Dauer eines solchen Ereignisses 10 Sekunden ist. Der Ansatz beruht auf Daten über die Sprechlautstärke im Abstand von einem

Meter als Funktion der Hintergrundlautstärke, damit ein Satz verständlich ist. Der Ansatz ist in Tabelle 48 dargestellt.

Tabelle 48: Wahrscheinlichkeit einer Redeunterbrechung während eines Gesprächs als Funktion des Lärmpegels (SEL)

$f(\text{SEL})$	Gültigkeitsbereich
0	$\text{SEL} < 65$
$0,05(\text{SEL} - 65)$	$65 \leq \text{SEL} \leq 85$
1	$\text{SEL} > 85$

Um die absolute Wahrscheinlichkeit zu berechnen, in der ein Gespräch durch ein Lärmereignis unterbrochen wird, muss berücksichtigt werden, dass ein Bürger nur während eines Teils des Tages Gespräche führt und der Ort auch noch verschieden sein kann. Folgende Größen werden daher eingeführt:

- Gesprächswahrscheinlichkeit z
- Wahrscheinlichkeit des Gesprächs in Innenräumen mit geschlossenem Fenster: p_g
- Wahrscheinlichkeit des Gesprächs in Innenräumen mit teilweise geöffneten Fenstern: p_o .

Daraus folgt die Wahrscheinlichkeit des Aufenthaltes im Freien zu $1-(p_g+p_o)$. Mit weiteren Annahmen, wie z. B. der Schalldämmung eines Hauses bei geöffnetem und geschlossenem Fenster und der Vereinfachung, dass Gespräche unabhängig vom Standort stattfinden, kann dann ein mittlerer Wert für die Anzahl der durch ein Schallereignis eines bestimmten Schallpegels (SEL) zu erwartenden Gesprächsstörungen ermittelt werden.

4.1.4.5 Siedlungsbeschränkungsbereiche

Gemäß Beschluss der Regionalversammlung Südhessen vom 10.12.1999 legt der Regionalplan Südhessen 2000 (RPS 2000) aus Gründen der langfristigen raumordnerischen Lärmvorsorge einen Siedlungsbeschränkungsbereich für den Flughafen Frankfurt Main fest, in dem die Ausweisung neuer Wohnbaugebiete nicht zulässig ist. Flächen innerhalb des Siedlungsbestandes für städtebauliche Umstrukturierungsmaßnahmen bleiben von dieser Regelung unberührt.

Der derzeitige Siedlungsbeschränkungsbereich wurde anhand einer 60 dB(A) Isolinie mit 430.000 Flugbewegungen, $q=3$, AzB 1984 nach LAI ermittelt. Die Vorhabensträgerin hat die Auswirkungen der drei Varianten auf die Siedlungsflächenpotentiale der Gemeinden unter der

Annahme ermittelt, dass ein neuer Siedlungsbeschränkungsbereich nach der gleichen Methode für angenommene 660.000 Flugbewegungen pro Jahr festgelegt wird.

Die Festlegung von Siedlungsbeschränkungsbereichen stellt für Gemeinden einen Nutzenverlust dar, da sie ihre Entwicklungsmöglichkeit einschränkt und den Wert des beschränkten Gebiets reduziert.

4.1.4.6 Niedrige Überflughöhen

Niedrige Überflughöhen äußern sich in höheren Lärmpegeln und höherer Luftschadstoffkonzentrationen am Boden. Diese sind in den zugrunde gelegten Gutachten berücksichtigt und werden daher in die Berechnung der externen Kosten einfließen. Jedoch könnte es bei Überflügen in geringer Höhe auch zu psychischen Belastungen kommen, die bei den Gesundheitswirkungen nicht berücksichtigt werden. Als Beispiel kann hier die Angst vor eventuellen Abstürzen (Unfällen) genannt werden. Allerdings ist nur eine Studie bekannt (Vallet M. und Cohen J.M. 2000), die sich mit Angst-Depressionen in der Umgebung eines Flughafens beschäftigt.

Der Informationsgehalt dieser Studie ist sehr beschränkt, da es sich um eine sogenannte 'feasibility study' handelt, die die Notwendigkeit von weiterem Forschungsbedarf identifizieren soll. Die Ergebnisse der Studie lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Die Effekte von Lärm, die vom Flughafen Paris-Roissy ausgehen, sind offensichtlich bezüglich Belästigung und „Angst vor der Zukunft“. Die Verschreibung von Medikamenten für neuro-psychische Störungen oder Schlafmittel sind häufiger in stärker verlärmten Gegenden. Schlafstörungen werden allerdings (eventuell auch aufgrund der verschriebenen Medikamente) häufiger in der weniger verlärmten Gegenden beklagt. Es konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen Bluthochdruck und Fluglärm festgestellt werden (es wird aber darauf aufmerksam gemacht, dass ein erhöhter Blutdruck durch viele Faktoren hervorgerufen sein kann, und die Anzahl der untersuchten Personen (628) eine kleine Untersuchungsgruppe darstellt). Empfohlen wird eine großangelegte europäische Studie bezüglich der Beziehung von Fluglärm und der Gesundheit der Anwohner durchzuführen.

In (ROV G2_TeilA+B) werden auch noch andere potentielle Störwirkungen niedriger Überflughöhen aufgezählt. Diese sind visuelle Wirkungen und Wirbelschleppen.

Visuelle Wirkungen

Nach (ROV G2_TeilA+B) liegen die niedrigsten Überflughöhen, welche im Landeanflug auftreten, über Wohnsiedlungsbereich oberhalb 200 Meter. Über Gewerbegebiet kommt es zu minimalen Überflughöhen von 58 Meter im Falle der Nordwestvariante. Jedoch werden die visuellen Wirkungen durch niedrige Überflughöhen in der Regel durch die Lärmwirkungen

dominiert. Eine monetäre Bewertung der visuellen Wirkung wird in diesem Gutachten nicht durchgeführt.

Wirbelschleppen

Wirbelschleppen sind Luftwirbel, die durch die Flugzeuge entstehen. Im Normalfall lösen sich diese rasch auf. Bei Windstille und hohen Temperaturen können diese Luftwirbel auch außerhalb des Flughafengeländes den Boden erreichen. Hierbei kann es bei Gebäuden, die höher als 30 Meter sind, zum Loslösen von Dachziegeln kommen. In (ROV G2_TeilA+B) wird allerdings betont, dass die geplanten minimalen Überflughöhen in der Größenordnung sind, die auch beim bestehenden Flugbetrieb auf dem Flughafen Frankfurt auftreten. Die Wahrscheinlichkeit und das Schadensausmaß solcher Ereignisse ist aber nicht weiter quantifiziert, sodass eine monetäre Bewertung nicht möglich ist.

4.1.5 Monetäre Bewertung von Lärm

Für die im vorigen Kapitel für eine quantitative Berechnung von Lärmwirkungen diskutierten Gesundheitseffekte (sog. Endpunkte), die Schlafqualität, die verschiedenen Kategorien der Belästigung und die Gesprächsstörungen müssen monetäre Werte identifiziert werden, um sie in externe Kosten überzuführen. Dies ist zum Teil mit Unsicherheiten verknüpft, so dass das Gutachten vor allem die Kosten mit einem eher traditionellen Ansatz basierend auf der indirekten Methode, der „hedonischen Studien“ ermittelt. Diese bestimmen aufgrund von Marktbeobachtungen den Wertverlust von Immobilien und Mietpreiseinbussen in Abhängigkeit des Außenlärmpegels.

4.1.5.1 Bewertung von Gesundheitseffekten

Hunt (Metroeconomica 2001) entwickelte eine Methode zur Bewertung individueller Gesundheitswerte und gibt die zu berücksichtigenden Komponenten wie folgt an:

- (i) **Ressourcen-Kosten:** Medizinische Kosten, die durch das Gesundheitswesen oder Versicherungen gedeckt werden, und weitere persönliche Ausgaben des Individuums oder der Familie
- (ii) **Opportunitätskosten:** Kosten durch Produktivitätsausfall (Arbeitszeitausfall oder reduzierte Leistung) und Opportunitätskosten durch Freizeitverlust, inkl. ehrenamtlicher Tätigkeit
- (iii) **Nutzenverlust:** Weitere soziale und ökonomische Kosten, einschließlich Beschränkungen oder verminderter Genuss von Freizeitaktivitäten, Unbehagen und Umstände (Schmerz und Leiden), Angst vor der Zukunft, und Besorgnis und Umstände von Familienmitglieder und anderen.

Die Komponenten (i) und (ii) ergeben sich aus Marktpreisen. In der Literatur werden diese Komponenten als Krankheitskosten (Cost-of-Illness, COI) bezeichnet. Zu diesem Teil muss ein Maß für den Verlust des individuellen Nutzens addiert werden, das sich z. B. in einer Zahlungsbereitschaft widerspiegelt, diesen Nutzenverlust, der mit der Krankheit verbunden ist, zu vermeiden. Die Werte sind in Tabelle 49 dargestellt.

Tabelle 49: Monetäre Werte für Gesundheitseffekte und Schlafqualität

Endpunkt	Wert	€ ₂₀₀₀
Herzinfarkt (MI), tödlich, 7 Jahre Lebenszeitverlust	96.500	€ pro verlorenes Lebensjahr
Herzinfarkt (nicht tödlich), Krankenhauskosten	680	€ pro Krankenhaustag
Herzinfarkt (nicht tödlich), Arbeitsausfall	100	€ pro Krankentag
Herzinfarkt, Zahlungsbereitschaft zur Vermeidung der Krankheit	14.360	€ pro Fall
Angina pectoris, Krankenhauskosten	680	€ pro Krankenhaustag
Angina pectoris, Arbeitsausfall	100	€ pro Krankentag
Angina pectoris, Zahlungsbereitschaft zur Vermeidung der Krankheit	230	€ pro Tag
Bluthochdruck, Krankenhauskosten	350	€ pro Tag
Störung des Nachtschlafes, cost-of-illness	220	€ pro Jahr
Zahlungsbereitschaft zur Vermeidung von Störungen des Schlafes	370	€ pro Jahr
Schlafstörungen: Summe aus cost-of-illness und Zahlungsbereitschaft	590	€ pro Jahr
Quelle: (Metroeconomica 2001) und eigene Berechnungen		

Die Werte in dieser Tabelle werden zur Bewertung der lärmbedingten Gesundheitsschäden in diesem Gutachten herangezogen.

4.1.5.2 Bewertung von Gesprächsstörungen

Studien zur direkten Bewertung von Gesprächsstörungen sind nicht bekannt. Hunt (Metroeconomica 2001) verwendet in seinem Ansatz zur monetären Bewertung von Gesprächsstörung das DALY-Konzept. DALY bedeutet 'Disability Adjusted Life Years' und bezeichnet ein System der relativen Bewertung verschiedenster Gesundheitszustände relativ zu dem Verlust eines Lebensjahres, das von der Weltgesundheitsorganisation entwickelt wurde (Murray 1996). Er bezieht sich dabei auf eine Arbeit von (Müller-Wenk 1999), der ebenfalls im Kontext der Bewertung von Gesprächsstörungen eine Befragung bei 6 deutschen Ärzten durchführte, um das 'disability weight' (DW) zu ermitteln. Dabei wurde DW = 0.048 ermittelt. Hunt gibt den nächstgelegenen, bekannten DW mit DW = 0.066 an. Dieser wurde zur Klassifizierung eines „Tages mit wässrigem Durchfall“ ermittelt. Für ein ähnliches Krankheitsbild wurde an anderer Stelle durch eine 'Contingent valuation' Studie in Portugal und Großbritannien eine WTP von 55 €₂₀₀₀ ermittelt. Hunt schließt daraus auf einen Wert von 41 €/Tag Gesprächsstörung einer Person.

In einer neueren Arbeit von Müller-Wenk wurde die Befragung mit einer größeren Stichprobe wiederholt (Müller-Wenk 2002). Jetzt wurde ein $DW = 0.033$ für Gesprächsstörung ermittelt. Daraus ergibt sich mit der Methode von Hunt ein Wert von 27.5 €₂₀₀₀/Tag Gesprächsstörung einer Person. Dieser Wert wird im folgenden verwendet.

4.1.5.3 Bewertung der Belästigungswirkung von Lärm

4.1.5.3.1 Bewertung von Lärm durch direkte Befragung

Die Befragung von Bürgern zu ihrer Zahlungsbereitschaft wurde in den letzten Jahren durch ausgefeilte Fragetechniken wesentlich verbessert und stellt im Augenblick die wichtigste Methode dar, um die Präferenzen der Gesellschaft in Hinsicht auf monetäre Bewertung zu ermitteln. Allerdings gibt es vor allem zur Bewertung des Fluglärms noch kaum zuverlässige Studien.

Tabelle 50 listet drei europäische Studien zur Zahlungsbereitschaft zur Vermeidung von Fluglärm auf und gibt die Ergebnisse als die Zahlungsbereitschaft je dB je Haushalt und Jahr über einem Schwellwert von 55 dB(A) an.

Es zeigt sich eine erhebliche Bandbreite der Ergebnisse – außerdem ist die Qualität der Umfragen durchaus unterschiedlich. Wegen dieser großen Unsicherheiten werden die direkten Befragungsergebnisse für diese Studie nicht verwendet.

Tabelle 50: Zusammenfassung von Studien zur Zahlungsbereitschaft zur Vermeidung von Fluglärm

Studie	Ort und Jahr	Zahlungsbereitschaft [€ ₂₀₀₀ /dB/Hh/Jahr]
(Pommerehne W.W. 1988)(CV)	Basel, Schweiz	43
(Thune-Larsen H. 1995) (CV und CA)	Oslo Airport Fornebu, Norway	190-959
(Faburel G. 2001) (CV)	Paris Flughafen Orly	8

CV=Contingent valuation; CA=Conjoint Analysis; Hh=Haushalt; Schwellwert ist 55 dB(A). Quelle: (Navrud 2002)

4.1.5.3.2 Wertverlust von Immobilien und Mietpreisminderung

Der Grossteil der Studien, die sich in der Vergangenheit mit der Bewertung von Lärm beschäftigt hat, waren hedonische Preisstudien. Hierbei wird unterstellt, dass die Marktpreise von Gütern auch vom Niveau der Umweltqualität abhängen. Es wurde daher mit statistischen Methoden versucht, die Marktpreise, z. B. einer Immobilie, in verschiedene Preisdeterminanten zu zerlegen, und dabei als einen Teil das Niveau des Umgebungslärms zu

isolieren. Vergleicht man die Marktpreise für ruhig und weniger ruhig gelegene, aber ansonsten gleichwertige Häuser, so kann man daraus die Zahlungsbereitschaft für die „Ruhe“ ableiten. Ebenso wurden Mietpreisunterschiede in Abhängigkeit von Verkehrslärm untersucht. Ausgedrückt wird das Ergebnis einer hedonischen Preisstudie im allgemeinen als sog. ‘Noise Sensitivity Depreciation Index’ (NSDI). Dieser gibt den prozentualen Wertverlust pro dB an.

Mehrere Auflistungen hedonischer Studien, die sich mit Strassen-, Schienen- und Fluglärm beschäftigen, sind bekannt. Bateman (Bateman et al. 2000) listet 30 Studien über Fluglärm auf, die zwischen 1960 und 1996, hauptsächlich in den Vereinigten Staaten, wenige in Europa, durchgeführt wurden. Ebenso werden 28 Studien für Straßenverkehrslärm aufgelistet. Eine weitere Prüfung von Studien wurde von Hawkins (Hawkins 1999) durchgeführt, die sich nur auf europäische Studien beschränkt.

Tabelle 51 stellt eine Zusammenfassung von neueren europäischen hedonischen Studien dar, die sich mit Fluglärm beschäftigen.

Tabelle 51: Hedonische Preisstudien für Fluglärm

Studie	Ort	Gegenstand der Bewertung	NSDI [% Wertverlust pro dB]
(Gautrin J.-F. 1975)	London Heathrow	Hauspreis	0,42-0,62
(Pennington G. et al. 1990)	Manchester	Hauspreis	0,47
(Collins A. und Evans A. 1994)	Manchester	Hauspreis	0,65 – 1,28
(Yamaguchi Y. 1996)	Flughäfen London	Hauspreis	0,64

Die Übertragung von Studien von dem Ort der Durchführung zu einem anderen Ort erfordert die Beachtung der Eigenschaften der jeweiligen Immobilien- oder Wohnungsmärkte. Dies ist z. T. problematisch und wird beispielsweise von Day (Day 2001) diskutiert.

Als Medianwert aus verschiedenen Studien, der für die Bewertung des Lärms herangezogen wird, ergibt sich ein NSDI von 0,61. Dieser Wert ergibt sich aus einer Meta-Analyse von (Schipper et al. 1998). Da die Gesamtverteilung der dreißig Studien, die Schipper et al. untersuchte, sehr asymmetrisch ist (mit einigen „Ausreißerwerten“, das Maximum beträgt 3,57) und die individuellen Studien sich jeweils auf die spezifische Situation des untersuchten Flughafenstandorts beziehen und nicht ohne weiteres auf andere Standorte übertragbar sind, erscheint der Median als Maß der zentralen Tendenz robuster als das arithmetische Mittel; dieses liegt für den NSDI bei 0.83 und ist im Gegensatz zum Median stark von diesen Ausreißerwerten beeinflusst. Legt man einen durchschnittlichen Wert pro Haus/Wohnung

von 250.000 €₂₀₀₀ zu Grunde (dieser ergibt sich aus dem Mittelwert aus den Gemeinden Mörfelden, Walldorf, Raunheim, Kelsterbach und Groß-Gerau, persönliche Auskunft durch den Gutachterausschuss für Grundstückswerte und sonstige Wertermittlungen), ergibt sich eine einmalige Wertminderung pro dB über 55dB und Haushalt um 1 525 €₂₀₀₀. Legt man dies auf eine Abschreibungszeit des Hauses von 50 Jahren um, ergibt sich bei 3% realem Zinssatz eine Annuität von 59,27 €₂₀₀₀ pro Haushalt und dB oder, unter der Annahme von 2,2 Personen pro Haushalt (Planungsverband Ballungsraum Frankfurt / Rhein-Main - Tabelle 6 2001), ca. 27€₂₀₀₀ pro Person, Jahr und dB.

Es sei angemerkt, dass diese lärmbedingte Preisminderung auf dem Hausmarkt nicht unbedingt beobachtet wird, weil der Preis auch von anderen Determinanten, z. B. einem Standortvorteil durch die Nähe zum Flughafen, überlagert werden könnte. Es ist strittig ob solche Standortvorteile für bestimmte Wirtschaftssubjekte einen externen Nutzen darstellen. Deren externen Nutzen zu quantifizieren ist aber nicht Gegenstand dieses Gutachtens.

Des Weiteren enthält dieser Ansatz keine Bewertung von Lärm, der zu Lärmpegeln unter 55dB führt, obwohl auch bei geringeren Lärmpegeln eine Lärmbelästigung vorliegt. Zudem ist die Bewertung proportional zum Lärmpegel, was ebenfalls eine zu diskutierende Annahme ist.

4.1.5.3.3 Bewertung entsprechend Expertenempfehlung

Als Ergänzung zur Richtlinie 2002/49/EC über Lärm in der Umwelt gehen von der Generaldirektion Umwelt der Europäischen Kommission (DG Environment) Bestrebungen aus, Lärm monetär zu bewerten. Dies soll das Konzept der Kosten-Nutzen-Analyse unterstützen, die für Maßnahmen der Lärmbekämpfung durchgeführt werden. Ein Expertengremium, das sich mit Gesundheit und sozio-ökonomischen Aspekten von Lärm beschäftigt, legte am 21. März 2003 den Entwurf einer entsprechenden Empfehlung vor (WG HSEA 2003).

Basierend auf der Zusammenfassung von Navrud (2002) und unter Berücksichtigung bestehender Unsicherheiten wird ein Wert von 25 €₂₀₀₀ pro dB (L_{den}) pro Haushalt und Jahr für die Bewertung von Straßenlärm empfohlen. Dieser Wert ist anwendbar für einen Schwellwert von 50/55 dB_{L_{den}}.

Für die Anpassung dieses Wertes an Fluglärm wird die Anwendung von Anpassungsfaktoren empfohlen, jedoch keine konkreten Werte genannt. Es liegt jedoch nahe, diese Anpassung anhand der Unterschiede in den Belästigungskurven von Miedema (Miedema und Oudshoorn 2001) vorzunehmen. Fluglärm wird schon bei niedrigeren Lärmpegeln als genauso störend empfunden wie Kfz-Straßenlärm. Der Faktor, der sich aus den Belästigungskurven ergibt, beträgt 1,55 zwischen Straßen- und Fluglärm.

Aufgrund dieser Information, und mit einer mittleren Haushaltsgröße von 2,2 Einwohner/Haushalt (Planungsverband Ballungsraum Frankfurt / Rhein-Main - Tabelle 6 2001), wird ein Wert von 18 €₂₀₀₀/dB_{Lden} pro Person für Fluglärm und 11 €₂₀₀₀/dB_{Lden} pro Person für Straßenlärm abgeleitet. Diese Werte werden hier zur Monetarisierung der Belästigungswirkung des Fluglärms als Standardwert eingesetzt.

Als Schwellenwert wird in der überwiegenden Zahl der Studien 55 dB_{Lden} angesetzt. Nachdem aber auch unterhalb dieser Schwelle zweifellos Belästigungswirkungen auftreten und die o.g. Empfehlung eine Bandbreite von 50 – 55 dB nennt, wird alternativ auch mit einem Schwellenwert von 50 dB gerechnet. Da der Schwellenwert aber eigentlich auch den monetären Wert pro dB beeinflussen sollte, - hierzu liegen keine Erkenntnisse vor - , werden die Ergebnisse mit diesem Schwellenwert die externen Kosten eher etwas überschätzen.

4.1.5.3.4 Zusammenfassung des Bewertungsansatzes für die Belästigung durch Lärm

Die in dieser Studie verwendeten Wertansätze für die Belästigungswirkung von Fluglärm sind in Tabelle 52 zusammengefasst. Die Schwellenwerte 50 und 55 bei der Bewertung nach WG HSEA werden alternativ angewendet, und sind als untere und obere Abschätzung interpretierbar. Bei der Bewertung nach dem hedonischen Preisansatz ist eine Anwendung für den Schwellenwert 50 dB nicht ohne Anpassung des NSDI der zugrundeliegenden Studien möglich.

Tabelle 52: Zusammenfassung der Wertansätze für die Bewertung von Lärm

€ ₂₀₀₀ /dB pro Person und Jahr	Lärmmaß	Schwellenwerte	Ableitung nach
18	L _{den}	50 und 55	WG HSEA (Working Group on Health and Socio-Economic Aspects)
27	L _{Aeq} 6-22h	55	HP (Hedonischer Preisansatz)

Eine Bewertung über die Ermittlung der belästigten Personen und die Bewertung entsprechend den drei Kategorien stark belästigt, belästigt, gering belästigt kann in dieser Studie nicht erfolgen, da hierzu ein belastbarer monetärer Wertansatz fehlt.

4.1.5.4 Bewertung von Siedlungsbeschränkungsbereichen

Um die Kosten dieser Einschränkung zu ermitteln, wird für die Teilbereiche, die als Siedlungsgebiete ausgewiesen oder geplant waren, die Differenz zwischen dem flächenbezogenen Wert von Bauerwartungsland und landwirtschaftlicher Fläche herangezogen. Zur Abschätzung dieser Kosten werden Daten aus (Regierungspräsidium Darmstadt 2002) und (Der Kreisausschuss des Kreises Groß-Gerau 2001) verwendet. In (Regierungspräsidium Darmstadt 2002) sind die Flächen, die durch die Siedlungsbeschränkung betroffen sind aufgeführt. Unter (Der Kreisausschuss des Kreises Groß-Gerau 2001) sind Werte für Bauerwartungsland und landwirtschaftlicher Fläche der betroffenen Gemeinden aufgeführt, die zur Abschätzung der externen Kosten genutzt werden können.

Es sei darauf hingewiesen, dass Steuern allgemein für staatliche Aufgaben erhoben werden, wobei die Erhebung nach Prinzipien erfolgt, die als gerecht empfunden werden sollten. Durch Wegfall eines Bebauungsgebiets entstehen unter Umständen zwar Steuerausfälle, denen jedoch ggf. auch geringere Aufwendungen gegenüberstehen. Diese Auswirkungen werden daher nicht berücksichtigt.

4.2 Ergebnisse

4.2.1 Gesamte Lärmkosten des Flugbetriebs

In folgendem Ablaufschema ist die Berechnung der externen Gesamtkosten durch Lärm vereinfacht und übersichtlich dargestellt. Die Berechnungen werden im folgenden dann genauer erläutert.

<u>Externe Gesamtkosten durch Lärm</u>	
Modellierte Fluglärmkarten der Hessischen Landesanstalt für Umwelt und Geologie (HLUG 2002), + Rolllärm aus Gutachten G6.3 (ROV G6.3 2001), + Bodenlärm aus Gutachten G6.4 (ROV G6.4 2001), + Straßenverkehrslärm (Schmid 2003)	
↓	energetisch addieren
Gesamtlärmpegel	
↓	Verschneidung mit Bevölkerungsdaten und Anwendung der Dosis-Wirkungsbeziehungen, bzw. indirekte Bewertung über Hedonic Pricing
Externe Kosten Fluglärm = Externe Kosten Gesamtlärm – Externe Kosten Straßenlärm	
<u>Externe Gesamtkosten des Fluglärms [€ / a]</u>	

Dieses Kapitel präsentiert die Summe der pro Jahr entstehenden externen Lärmkosten durch den Flugbetrieb am Flughafen Frankfurt/Main, sowohl für das Ist-Szenario, als auch für die zukünftigen Szenarien im Jahr 2015 (Prognosenußfall, Variante Nordost, Variante Nordwest, Variante Süd).

Für die Berechnungen wurden modellierte Fluglärmkarten der Hessischen Landesanstalt für Umwelt und Geologie (HLUG) verwendet (HLUG 2002). Zu diesen wurde in den entsprechenden Rasterelementen Rolllärm aus Gutachten G6.3 (ROV G6.3 2001) und Bodenlärm aus Gutachten G6.4 (ROV G6.4 2001) energetisch addiert. Der Gesamtlärmpegel in der Umwelt wird zusätzlich zum Fluglärm stark von anderen Lärmquellen beeinflusst. Hauptquelle ist der Straßenverkehrslärm. Dieser wurden für die Hauptverkehrsstraßen des Modellgebiets ebenfalls berücksichtigt und zu dem jeweiligen Flug-, Roll- und Bodenlärm-Szenario energetisch addiert, so dass ein Gesamtlärmszenario entstand. Die Vorgehensweise ist im Methodenkapitel näher beschrieben. Die externen Kosten des Fluglärms (einschließlich

Roll- und Bodenlärm) berechnen sich als Differenz zwischen Gesamtlärm- und Straßenlärmszenario:

$$\text{Externe Kosten Fluglärm} = \text{Externe Kosten Gesamtlärm} - \text{Externe Kosten Straßenlärm.}$$

Direkte Bewertung: Gesundheitseffekte und Schlafstörung

Die berechneten Gesundheitseffekte stellen sich mit den in Kapitel 4.1.4.1 dargestellten Expositions-Wirkungsbeziehungen als gering dar. Dies lässt sich auf den Schwellwert von 70 dB_{Lden} zurückführen, der bei den zugrundeliegenden Daten wenn, dann nur knapp überschritten wird. Tabelle 53 stellt die Anzahl Betroffener mit Außen-schallpegeln (Gesamtlärm) über 70 dB_{Lden} und dem Maximalpegel im Modellgebiet dar.

Tabelle 53: Anzahl Betroffener verschiedener Szenarien mit Außenpegeln (Gesamtlärm) größer oder gleich 70 dB_{Lden} und der Maximalpegel

Szenario	Betroffene mit Gesamtschallpegel über 70 dB _{Lden}	Maximalpegel (dB _{Lden})
Ist-Situation, Ostbetrieb	378	72.8
Prognosenullfall, Ostbetrieb	1,220	72.5
Variante Süd, Ostbetrieb	2,714	71.8
Variante Nordost, Ostbetrieb	2,161	71.6
Variante Nordost, Westbetrieb	1,194	71.7
Variante Nordwest, Ostbetrieb	2,155	71.6
Variante Nordwest, Westbetrieb	139	83.1

Die Ergebnisse für die Gesundheitseffekte sind in Tabelle 54 enthalten. Die externen Kosten durch den Flugbetrieb während der Nacht sind ebenfalls in Tabelle 54 dargestellt. Diese Kosten beruhen auf den Expositions-Wirkungsbeziehungen für „subjektive Schlafqualität“ mit einer Bewertung von 590 €₂₀₀₀/a je betroffener Person. Der Bewertung mit 590 €₂₀₀₀/a ergibt sich aus den Werten in Tabelle 49 als die Summe von „Störung des Nachtschlafes, cost-of-illness“ (220 €₂₀₀₀ pro Jahr) und der „Zahlungsbereitschaft zur Vermeidung von Störungen des Schlafes“ (370 €₂₀₀₀ pro Jahr). Das Maximum beim Szenario Prognose-Nullfall ist darauf zurückzuführen, dass hier bei Nacht und Westbetrieb die Flugrouten Richtung Taunus stärker beflogen werden als bei den anderen Varianten.

Tabelle 54: Externe Kosten des Lärms durch den Flughafenbetrieb durch Gesundheitseffekte und Schlafstörungen in Mio.€₂₀₀₀ pro Jahr, berechnet mit dem Wirkungspfadansatz

	Gesundheitseffekte	Schlafstörung	Summe
Ist-Situation	0.01	27	27.0
Prognose-Nullfall	0.02	35	35.0
Variante Nordwest	0.06	33	33.1
Variante Nordost	0.13	34	34.1
Variante Süd	0.05	32	32.1

Die Kosten aus Gesundheitseffekten und Schlafstörung können summiert werden, jedoch stellt sie Summe nicht die Gesamtkosten dar, kann aber als Vergleichswert zu den weiteren Ansätzen verwendet werden. Der Anteil aus Tag und Abendstunden über die Bewertung von Belästigung kann nicht vervollständigt werden, da gesicherte monetäre Werte je belästigter Person im Augenblick noch fehlen.

Indirekte Bewertung der Belästigung über den hedonischen Preisansatz

Die Wertansätze hierfür sind in Kapitel 4.1.5.3.4 dargestellt.

Die daraus resultierenden externen Kosten des Lärms durch den Flughafenbetrieb sind in Tabelle 55 dargestellt. Sie bewegen sich in einem Bereich zwischen 26 und 62 Mio.€₂₀₀₀ pro Jahr für das Ist-Szenario und zwischen 29 und 86 Mio.€₂₀₀₀ pro Jahr für die zukünftigen Szenarien im Jahr 2015. Unabhängig von dem gewählten Bewertungsansatz und dem Schwellwert hat das Ist-Szenario die geringsten, und die Variante Nordost im Jahr 2015 die höchsten externen Kosten. Der Prognose-Nullfall liegt bei den zukünftigen Szenarien knapp unter oder gleichwertig zu anderen Varianten.

Tabelle 55: Externe Kosten der Belästigung durch Lärm durch den Flughafenbetrieb in Mio.€₂₀₀₀ pro Jahr, bewertet mit dem hedonischen Preisansatz mit 27 €₂₀₀₀/dB_{L_{aeq} 6-22h}/Pers. und mit dem vorläufig offiziellen Wertansatz der Europäischen Kommission mit 18 €₂₀₀₀/dB_{L_{den}}/Pers. und für jeweils die Schwellwerte 50 und 55 dB

Bewertung mit 27 €₂₀₀₀/dB_{L_{aeq} 6-22h}/Pers.		
Mio.€₂₀₀₀ / a	Schwellwert 55 dB_{L_{aeq} 6-22h}	
Ist	28	
Prognose-Nullfall	29	
Variante Nordwest	35	
Variante Nordost	42	
Variante Süd	32	
Bewertung mit 18 €₂₀₀₀/dB_{L_{den}}/Pers.		
Mio.€₂₀₀₀ / a	Schwellwert 55 dB_{L_{den}}	Schwellwert 50 dB_{L_{den}}
Ist	26	62
Prognose-Nullfall	32	75
Variante Nordwest	34	78
Variante Nordost	40	86
Variante Süd	33	75

Bei einem Vergleich beider Bewertungsansätze ist zu beachten, dass beim hedonischen Preisansatz (a.) nur der Lärm während des Tags und der Abendstunden betrachtet wird (L_{aeq} 6-22h), wobei Tag und Abend gleich gewichtet sind. Bei der Bewertung mit Ansatz (b.) wird der Tag, Abend und Nachtlärm betrachtet, wobei die Abendstunden von 18 bis 22 Uhr mit einem Malus von 5 dB und die Nachtstunden mit einem Malus von 10 dB beaufschlagt werden, da in der Erholungszeit am Abend und während der Nacht Lärm als störender empfunden wird (siehe z. B. (Europäische Kommission 2000)). Die verschiedenen Szenarien unterscheiden sich nicht nur in der Anzahl der Flugbewegungen, sondern auch in der Belegung der Flugrouten. So kann z. B. den HLUG-Daten entnommen werden, dass sich Nullfall und Variante Nordwest nicht nur in der Belegung der Anflugrouten, sondern auch bei den Abflugrouten unterscheiden, wobei im Nullfall die verhältnismäßig günstigen Südrouten weniger stark beflogen werden. Ändert sich jedoch die Fläche des Lärmteppichs durch die Flugführung, und bezieht dies zudem bewohnte Gebiete mit ein, so hat dies insbesondere bei dem niedrigeren Schwellwert einen großen Einfluss auf die externen Kosten.

Prinzipiell müssen zu den Bewertungsansätzen (a.) und (b.) die Gesundheitskosten addiert werden, wovon jedoch angesichts der geringen Bedeutung der Gesundheitskosten abgesehen werden kann. Die Addition der externen Kosten durch Schlafstörung zu (a.) oder (b.) ist wegen einer Doppelzählung nicht zulässig.

4.2.2 Marginale Lärmkosten

In folgendem Ablaufschema ist die Berechnung der marginalen externen Kosten durch Lärm vereinfacht dargestellt..

<u>Marginale externe Kosten der Flugzeuge durch Lärm</u>	
Modellierte Fluglärmkarten der Hessischen Landesanstalt für Umwelt und Geologie (HLUG 2002), + Rolllärm aus Gutachten G6.3 (ROV G6.3 2001), + Bodenlärm aus Gutachten G6.4 (ROV G6.4 2001), + Straßenverkehrslärm (Schmid 2003) + modellierter Lärm (Start/Landung) eines Flugzeuges mit INM-Lärmmodell	
↓	energetisch addieren
Gesamtlärmpegel plus ein zusätzliches Flugzeug	
↓	Verschneidung mit Bevölkerungsdaten und Anwendung der Dosis-Wirkungsbeziehungen, bzw. indirekte Bewertung über Hedonic Pricing
Externe Kosten zusätzliches Flugzeug = Externe Kosten Gesamtlärmpegel plus ein zusätzliches Flugzeug – Externe Kosten Gesamtlärmpegel	
<u>Externe Kosten eines Starts bzw. einer Landung [€ / Flugbewegung]</u>	

Marginale externe Lärmkosten sind die Kosten, die durch den Start oder die Landung eines zusätzlich zum bestehenden Flugbetrieb fliegenden Flugzeugs entstehen. Während externe Gesamtkosten die Relevanz des Problems aufzeigen, sind marginale externe Kosten nach der ökonomischen Theorie die maßgebende Größe für die Internalisierung. Zudem geben sie Aufschluss über Ursachen und Wirkungsweisen verschiedener Effekte und Hinweise zu deren Bekämpfung.

Die Einflussfaktoren, die bei der Analyse der marginalen Kosten berücksichtigt wurden, sind:

- Zeitperiode der Flugbewegung: Tag, Abend und Nacht
- Start oder Landung
- Fluggerät mit der Kombination von Triebwerken
- Abfluggewicht von schweren Flugzeugen
- Flugroute.

Diese Einflussfaktoren, im Zusammenhang mit den 5 Lärmszenarien (Ist, Nullfall, Variante Nordwest, Variante Nordost, Variante Süd, den jeweils zwei Betriebsrichtungen (Ost- und Westbetrieb)), den zwei Bevölkerungsszenarien, und den Möglichkeiten bei der Bewertung, ergeben eine Vielzahl von zu untersuchenden Kombinationen. Durch den enormen Zeitaufwand für die Modellierung der marginalen externen Kosten ist die Berechnung jedes einzelnen Flugzeugs in jeder möglichen Kombination im Rahmen dieses Projektes nicht möglich. Daher wird versucht, die wesentlichen Einflussfaktoren anhand von Beispielrechnungen herauszuarbeiten, um sie anschließend in einen Gesamtrahmen zu stellen.

4.2.2.1 Flugzeugtypen und Flugzeug-Triebwerkskonfigurationen

Auf verschiedenen europäischen Flughäfen sind Teile von Lande- und Startentgelten von einer Lärmklassifizierung der Flugzeuge abhängig (z. B. Flughäfen in der Schweiz). Auch am Flughafen Frankfurt/Main werden Lande- und Startentgelte anhand einer lärmabhängigen Klassifizierung (siehe Kap. 2.8) erhoben. Diese Klassifizierung wurde anhand von Messungen des Startlärmpegels ermittelt, siehe (Fraport 2003a). Anhand der Berechnung der marginalen externen Kosten für die Flugzeuge der LAZ-Klassen wurde untersucht, ob diese für die Internalisierung marginaler externer Kosten anwendbar ist.

Die Untersuchung beschränkt sich auf die in ICAO Annex 16/3 klassifizierten Flugzeuge, da inzwischen Flugzeuge aus 16/2 europaweit gebannt sind. Die LAZ-Zuordnung besteht für ICAO 16/3 Fluggeräten aus 5 besetzten Kategorien mit insgesamt 45 Fluggerättypen oder Gruppen von Fluggeräten. Diesen konnten 67 Flugzeugtypen bzw. Kombinationen aus Flugzeugen und Flugturbinen zugeordnet werden. 10 Fluggeräte der LAZ-Einteilung konnten nicht berechnet werden, da die notwendigen Grundlagendaten zur Lärmmodellierung nicht verfügbar sind. Die genaue Bezeichnung der verwendeten Referenzflugzeuge ist im Anhang aufgeführt.

Diese Untersuchung wurde auf der Flugroute TAU 1F und N Tau 1G N durchgeführt, wobei das Abfluggewicht mit 80% des maximal zulässigen Abfluggewichts angenommen wurde. Die Ergebnisse sind mit der Bewertung von 18 €₂₀₀₀ je dB_{Lden} pro Person über einem Schwellwert von 50dB_{Lden} bzw. 55dB_{Lden} in Abbildung 5 und Abbildung 6 dargestellt.

Interessanterweise findet sich keine Abhängigkeit der externen Kosten durch Lärm vom Abfluggewicht, und auch eine Zuordnung zu den LAZ-Kategorien lässt sich nur in der Tendenz feststellen. Zur Begründung können die unterschiedlichen Steigprofile der Flugzeuge herangezogen werden, die das INM-Lärmmodell für jedes Flugzeug nach Angabe der operationalen Bedingungen (hier die Vorgaben des Luftfahrthandbuchs für Frankfurt/Main Flughafen) berechnet. Daher kann es möglich sein, dass ein Flugzeug an einem bestimmten Messpunkt zwar lauter ist, aber durch eine höhere Steigfähigkeit der von ihm ausgehende Lärmteppich einen geringeren Teil der Bevölkerung betrifft als leisere, aber flacher steigende Flugzeuge.

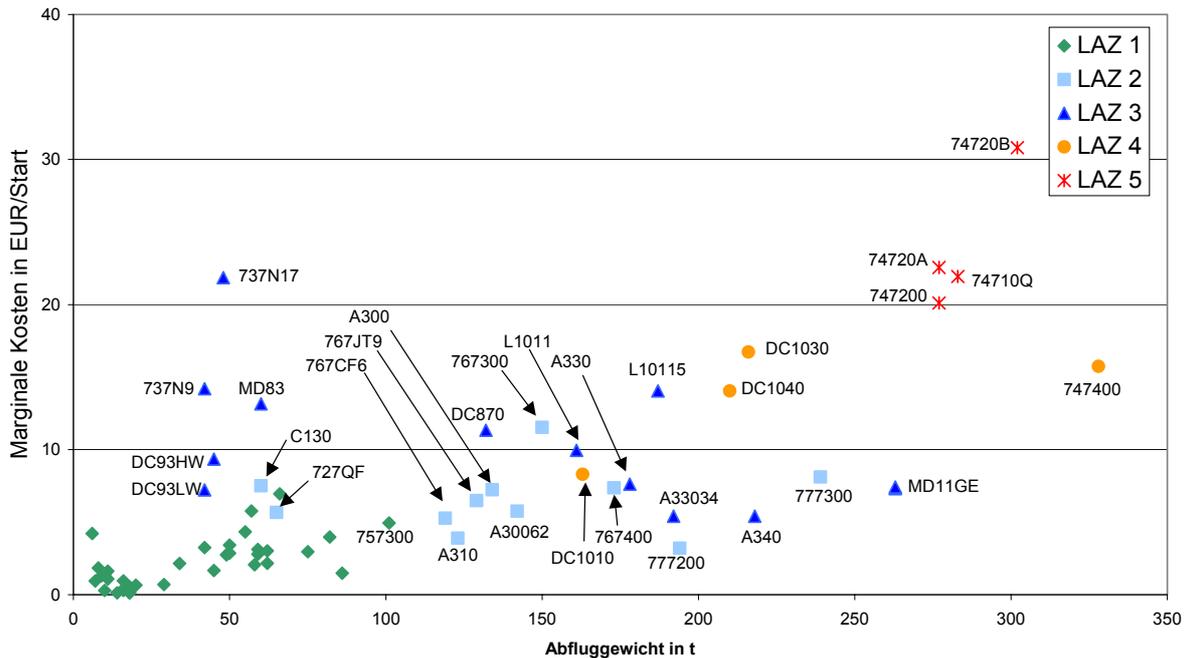


Abbildung 5: Marginale externe Lärmkosten [$\text{€}_{2000}/\text{Abflug}$] verschiedener Flugzeugtypen / Triebwerkskonfigurationen für den Abflug am Tag in Flugrichtung Taunus in Abhängigkeit vom Abfluggewichts und dargestellt in Kategorien der Flughafenentgeltordnung 2003 = LAZ-Kategorien (Bewertung mit $18 \text{ €}_{2000}/\text{dB}_{\text{Lden}}/\text{Pers}$; Schwellwert $55\text{dB}_{\text{Lden}}$).

Die marginalen Kosten der Landung auf der Rollbahn 07R für diese Flugzeugtypen sind in Abbildung 6 dargestellt. Die Berechnungen wurden für einen Standard-Gleitwinkel von 3° bei Ostbetrieb im Ist-Szenario durchgeführt und sind in Abhängigkeit der Flugzeuggröße (maximal zulässiges Abfluggewicht) dargestellt. In der Tendenz zeigt sich eine Abhängigkeit der externen Kosten von der Flugzeuggröße, Flugzeuge der gleichen LAZ-Klasse weisen eine große Streuung der externen Kosten auf.

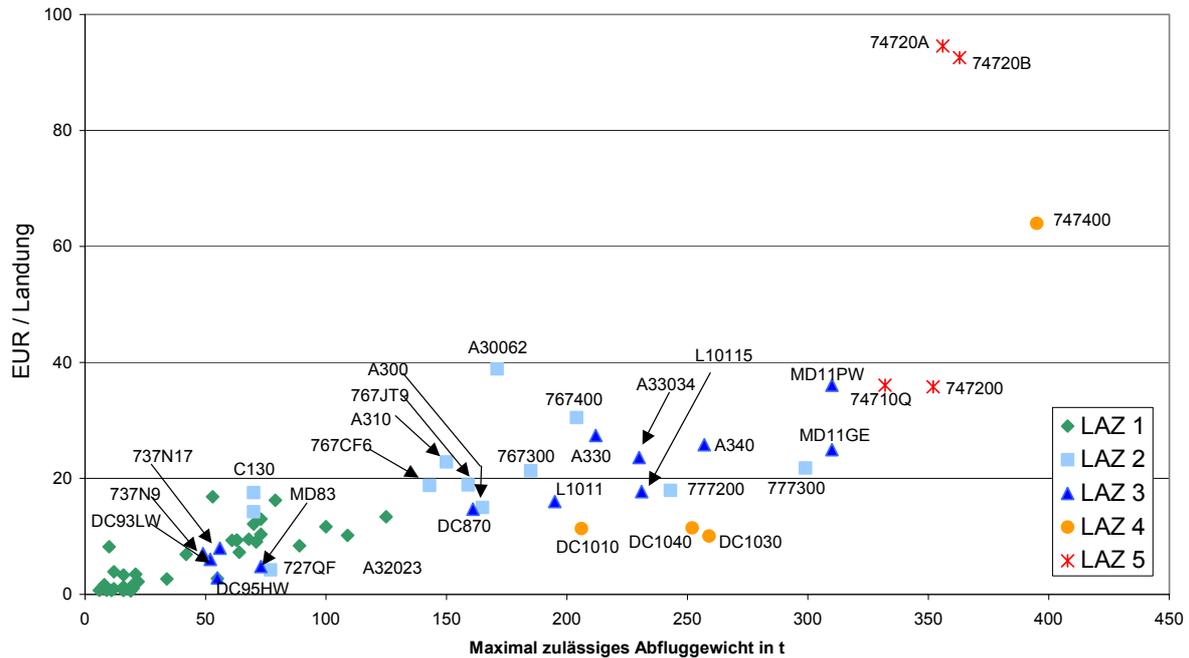


Abbildung 6: Marginale externe Lärmkosten [$\text{€}_{2000}/\text{Anflug}$] verschiedener Flugzeugtypen / Triebwerkskonfigurationen für den Anflug am Tag auf Landebahn 07R in Abhängigkeit des maximalen Abfluggewichts und dargestellt in Kategorien der Flughafenentgeltordnung 2003 = LAZ-Kategorien (Bewertung mit $18 \text{ €}_{2000}/\text{dB}_{\text{Lden}}/\text{Pers}$; Schwellwert $50\text{dB}_{\text{Lden}}$).

4.2.2.2 Einfluss des Startgewichts bei schweren Flugzeugen

Für verschiedene schwere Flugzeuge mit einem maximal zulässigen Startgewicht über 230 t wurde der Einfluss des tatsächlichen Startgewichts auf die marginalen externen Kosten untersucht. Im Mittel ergab sich ab einem Startgewicht von 70% des maximalen Startgewichts (MTOW) ein Anwachsen der marginalen externen Kosten um ca. 14% je 10%-igen Anstiegs des Abfluggewichts. Bei kleineren Flugzeugen ist dieser Einfluss vernachlässigbar. In Abbildung 7 ist der Einfluss des Startgewichts verschiedener, großer Flugzeuge auf die externen Kosten beim Start dargestellt. Auf der x-Achse ist das tatsächliche Startgewicht in Relation zum maximal zulässigen Startgewicht aufgetragen [%], auf der y-Achse ist die Relation zwischen den externen Kosten bei einem bestimmten Anteil des maximal zulässigen Abfluggewichtes und den externen Kosten bei zulässigem Gesamtgewicht aufgetragen [%].

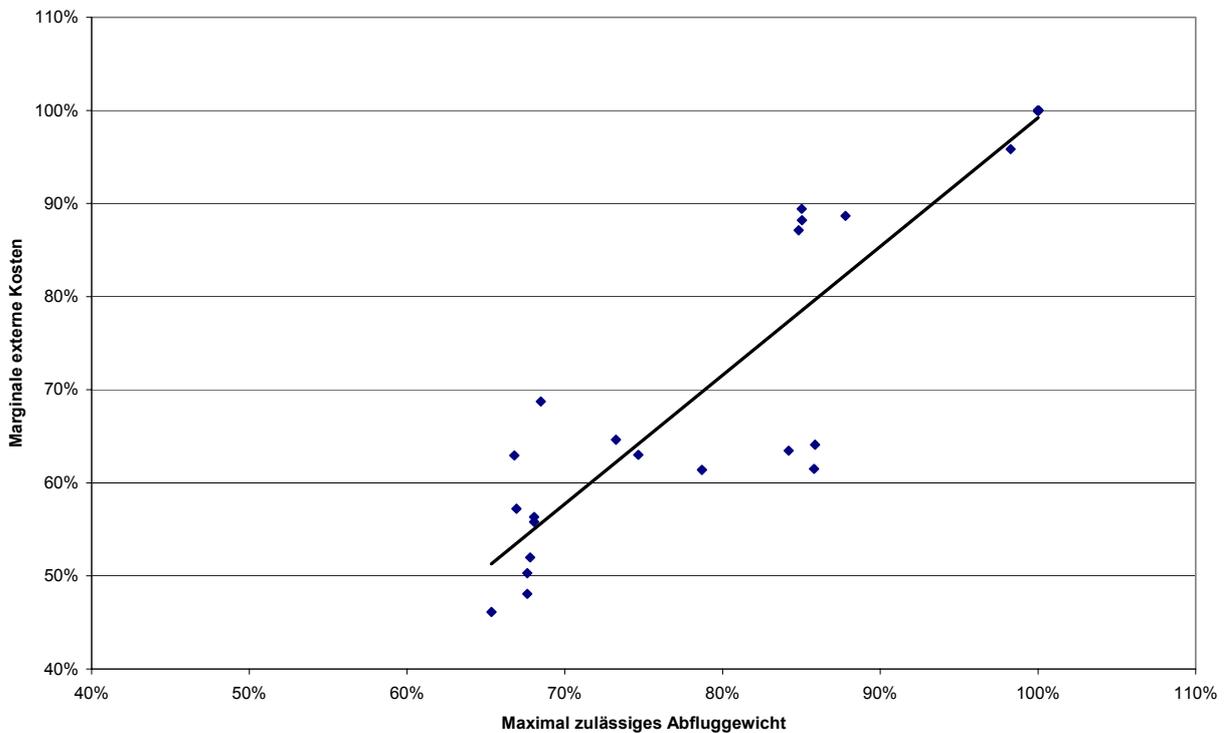


Abbildung 7: Einfluss des Startgewichts verschiedener, großer Flugzeuge auf die externen Kosten beim Start

4.2.2.3 Marginale Kosten der Ist-Situation

Marginale externe Lärmkosten bestimmen sich aus der Exposition der Bevölkerung durch den Lärm des letzten zusätzlichen Flugzeugs. Wo, und in welcher Höhe ein startendes Flugzeug seinen charakteristischen Lärmteppich hinterlässt ist nicht nur abhängig von dem Flugzeug selbst (wie in Kapitel 4.2.2.1 untersucht), sondern auch von der Flugführung im Raum, insbesondere von den Abflug- und Anflugrouten.

Durch die Größe und das hohe Flugaufkommen ist am Flughafen Frankfurt/Main ein komplexes Netz an Flugrouten entstanden. Für die Bezeichnung der Flugrouten werden hier vereinfachende Abkürzungen verwendet, die in

Tabelle 134 genauer definiert sind.

Aufgrund der Komplexität und des Rechenaufwandes wurden aus den Ergebnissen 12 Referenzflugzeuge ausgewählt, die das gesamte Spektrum möglicher Flugzeuge am Flughafen Frankfurt abdecken. Hierbei wurde auch die Häufigkeitsstatistik der Flugbewegungen 2001 in Betracht gezogen (Excel Tabelle, 28.05.03 durch Fraport / Herrn Fassel). Mit diesen wurde dann jeweils für Abflüge und Landungen die verschiedenen Flugrouten untersucht.

Abflüge

Generell zeigt sich, dass die Routen Richtung Süden geringere marginale Kosten aufweisen. Die Routen Richtung Osten weisen die höchsten Werte auf. Dies erklärt sich aus dem Überflug von dicht besiedelten Teilen Frankfurts. Die Ergebnisse für einen Start während der Tagesstunden zwischen 6 Uhr und 18 Uhr sind für verschiedene Abflugrouten der Ist-Situation (Gesamtflugverkehrs) und einer Bewertung von $18 \text{ €}_{2000}/\text{dB}_{\text{Lden}}$ pro betroffener Person mit einem Schwellwert von $50 \text{ dB}_{\text{Lden}}$ in Tabelle 56 dargestellt. Die zugehörigen Ergebnisse für die Abendstunden (18 bis 22 Uhr) und für die Nachtstunden (22 bis 6 Uhr) sind im Anhang in Tabelle 135 dargestellt. Die entsprechenden Ergebnisse bei Verwendung des Schwellwerte $55 \text{ dB}_{\text{Lden}}$ sind im Anhang in Tabelle 136 enthalten.

Alternativ zur Bewertung von Nachtflügen über den L_{den} kann auch die Bewertung über die Expositions-Wirkungsbeziehung der „subjektivem Schlafqualität“ erfolgen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 58 dargestellt.

Tabelle 56: Marginale externe Kosten für den Start am Tag auf verschiedenen Abflugrouten für die Ist-Situation (Bewertung mit 18 €₂₀₀₀/dB_{Lden} pro Pers; Schwellwert 50dB_{Lden}) [€₂₀₀₀/Start]

ID	07N-L	07R-O	18KIR-K	18KIR-L	18KNG-K	18KNG-L	25TAU-L	25TAU-K
737800	53,2	30	17,5	13,2	15,5	16,9	35,8	22,7
747200	158,7	100,5	52,7	36,4	56,1	49	150,9	69,6
747400	129,4	82,3	45,4	32,9	50,1	45	108,9	55,3
767300	94	54	30,7	21,5	25,1	29,1	63,7	38,3
A30062	41,3	23,8	13,8	10,5	12,1	13,2	27,7	18,1
A319	13,7	7,3	4,3	3,3	3,7	3,9	8,9	5,9
A320	21,6	12	6,9	5,3	5,9	6,5	14,4	9,4
A340	45,4	28,2	15,5	9,7	14,8	13,8	42,1	19,1
ATR72	44,8	27,2	13,9	8,5	14,4	13	35,7	16,7
DHC8	1,2	0,5	0,3	0,2	0,3	0,4	0,8	0,5
EMB145	2,9	1,6	0,9	0,7	0,8	0,9	2,4	1,3
MD82	78,5	46,8	25,2	18,4	21,7	24,3	60,6	42,6

Anmerkung: In der Praxis können einige Flugzeuge aus technischen Gründen nicht auf allen Abflugrouten fliegen. Diese Zahlenangaben sind daher hypothetisch, wurden jedoch aus Gründen der Vollständigkeit trotzdem aufgeführt.

Bezieht man jeweils die Werte der Flugrouten auf die Flugroute RTAU-K, die bei der Untersuchung der 68 Flugzeugtypen verwendet wurde, so ergeben sich charakteristische Unterschiede zwischen den Flugrouten, die innerhalb gewisser Grenzen für alle Flugzeuge anwendbar sind (siehe Tabelle 57). Diese Faktoren sind in Zusammenhang mit Tabelle 133 anwendbar.

Tabelle 57: Mittlere Faktoren zur Bewertung der externen Kosten der verschiedenen Abflugrouten bezogen auf 25TAU-K

07N-L	07R-O	18KIR-K	18KIR-L	18KNG-K	18KNG-L	25TAU-L	25TAU-K
2,09	1,20	0,68	0,49	0,63	0,65	1,58	1,00

Tabelle 58: Marginale externe Kosten für den Start in der Nacht auf verschiedenen Abflugrouten für die Ist-Situation (Bewertung mit 590 €₂₀₀₀ pro Person pro Jahr für Beeinträchtigung der subjektiven Schlafqualität) [€₂₀₀₀/Start]

ACFT_ID	07N-L	07R-O	18KIR-K	18KIR-L	18KNG-K	18KNG-L	25TAU-L	25TAU-K
737800	330	160,9	60,4	101,1	72,5	85,9	423,6	159,4
747200	791,7	435,6	148,2	232,9	246,4	210,5	968,3	380,4
747400	783,1	486,9	160,1	273,2	265,2	252,6	881,7	378,7
767300	548,3	278,8	101,5	164,3	124,2	154	649,7	259
A30062	259	127,6	48,1	80,4	56,2	65,8	346,3	130,5
A319	77,6	29,6	13,1	20,8	15,5	17,1	120,9	38,1
A320	135	59,5	22,2	37,5	26,8	31,6	201,6	66,8
A340	289,6	136,1	43,7	75,4	69,1	64	487,2	145,9
ATR72	316,5	158,1	51,4	87,5	97,6	78,6	462,4	152,4
DHC8	7,2	2,2	0,9	1,2	0,7	0,8	15,3	3,1
EMB145	18,2	5,6	2,3	3,1	1,9	2,5	46,5	8,8
MD82	449,1	216,7	76	125,1	88,9	107,2	615,1	254,3

Landungen

In der Ist-Situation gibt es 4 Möglichkeiten zur Landung, je Betriebsrichtung auf den bestehenden Rollbahnen. Marginale externe Kosten durch Landungen auf den Rollbahnen 07L/07R für Ostbetrieb und 25L/25R für Westbetrieb für die Ist-Situation sind in Tabelle 59 für 12 Flugzeuge zusammengefasst. Diese decken den gesamten Bereich von Flugzeugtypen ab. Detaillierte Berechnungen für über 60 Flugzeugtypen sind für die Anflugrichtung 07 in Tabelle 132 im Anhang dargestellt.

Tabelle 59: Marginale externe Kosten für den Anflug am Tag, Abend und in der Nacht in Richtung 07 und 25 für die Ist-Situation (Bewertung mit 18 €₂₀₀₀/dB_{Lden} pro Person; Schwellwert 50dB_{Lden}). [€₂₀₀₀/Landung]

ID	07L (Ostbetrieb)			25R (Westbetrieb)		
	Tag	Abend	Nacht	Tag	Abend	Nacht
737800	16,2	38,5	120,4	14,5	34,5	108,2
747200	35,8	85,0	262,0	27,9	66,2	206,3
747400	64	152,0	467,0	56,8	134,7	418,3
767300	21,3	50,6	158,0	17,3	41,0	128,6
A30062	38,9	92,3	286,0	38,3	90,8	283,9
A319	7,3	17,2	54,4	6,4	15,3	48,3
A320	13	30,9	97,2	11,6	27,4	86,5
A340	25,8	61,2	192,9	27	63,9	201,7
ATR72	3,6	8,6	26,9	0,8	1,9	5,9
DHC8	1,3	3,1	9,8	0,1	0,2	0,7
EMB145	3,5	8,3	26,0	1,1	2,6	8,1
MD82	4,6	10,9	34,3	1,7	4,1	13,1

Die Kosten eines Anfluges aus Westen (Richtung 07) sind für schwere Flugzeuge etwas höher gegenüber dem Anflug aus Richtung Osten. Ab einem maximalen Abfluggewicht unter 70 t lässt sich jedoch ein erheblicher Unterschied feststellen. Für diese Flugzeuge (z. B. MD82, EMB145, ATR72, DHC8) fallen für den Anflug aus Westen auf ca. ein Drittel reduzierte Kosten an.

Die marginalen Kosten für Landungen am Abend und in der Nacht sind ebenfalls in Tabelle 59 aufgelistet. Für das Verhältnis von Abend zu Tag bzw. Nacht zu Tag kann in guter Näherung ein Faktor von 2,35 bzw. 7,38 berechnet werden (resultiert aus dem Malus für Abend und Nacht von 5 dB bzw. 10 dB). Die alternative Bewertung mit dem Schwellwert 55 dB_{Lden} ist in Tabelle 137 im Anhang dargestellt.

4.2.2.4 Marginale Kosten der zukünftige Szenarien 2015

Die Berechnung marginaler Kosten für zukünftige Szenarien im Jahr 2015 (Prognose-Nullfall, Variante Nordost, Variante Nordwest und Variante Süd) unterscheiden sich von dem Ist-Szenario sowohl durch die zugrundegelegten Fluglärmszenarien, als auch durch ein fortgeschriebenes Bevölkerungsszenario (Mediation Frankfurt G-Ö16/17 2000).

Abflüge

Die Abflugrouten der zukünftigen Szenarien orientieren sich an den Vorgaben der Fluglärmszenarien der HLUG. Unterschiede, die sich in den marginalen Kosten gegenüber dem Ist-Szenario bemerkbar machen, sind weitgehend durch unterschiedliche Verteilung der Flugbewegungen auf den Routen verursacht. Ein weiterer Einflussfaktor ist die fortgeschriebene Bevölkerung, die einen leichten Bevölkerungszuwachs vorgibt. Durch die Anzahl der zu berücksichtigenden Fluglärm-Hintergrundszenarien und Abflugrouten steigt der Rechenaufwand bei dieser Analyse nochmals an, so dass sich die Berechnung auf den Abflug eines Flugzeugtyps beschränken mussten.

Tabelle 60 enthält die marginalen Kosten eines Starts einer A340 auf verschiedenen Abflugrouten für die verschiedenen Szenarien im Referenzjahr 2015 mit einer Bewertung von 18 €₂₀₀₀/dB_{L,den} pro Person und Jahr. Eine alternative Bewertung nach dem hedonischen Preisansatz ist in Tabelle 141 im Anhang dargestellt.

Tabelle 60: Marginale externe Kosten für den Start eines Airbus A340 bei verschiedenen Szenarien im Jahr 2015 (Null und Ausbauvarianten) und Betriebsrichtungen (Bewertung mit 18 €₂₀₀₀/dB_{Lden} pro Person, Schwellwert 50dB_{Lden}) [€₂₀₀₀/Start]

Flugroute	Betriebsrichtung	Null	Nordwest	Nordost	Süd
07N-L	Ost	46,1	51,0	35,4	46,4
07R-O	Ost	20,7	25,3	27,8	35,2
18KIR-L	Ost	11,3	9,8	9,8	11,0
25TAU-K	West	20,3	20,5	20,6	21,1
25TAU-L	West	45,2	34,4	34,4	25,2
18KIR-K	West	11,4	14,4	14,4	11,6
18KNG-K	Ost	16,7	14,2	14,2	16,8
18KNG-K	West	16,2	13,5	13,5	15,7
18KNG-L	Ost	13,8	11,6	11,5	13,3
18KNG-L	West	16,5	12,3	12,3	14,1

Anmerkungen: *geänderte Abflugroute gegenüber anderen Varianten und Prognose-Nullfall

Zwei der Abflugrouten in Richtung Süden (18-KNG-K und 18-KNG-L) werden bei den Betriebsrichtungen Ost und West befliegen.

Landungen

Marginale externe Kosten der Landungen sind im besonderen für die zukünftigen Szenarien und Varianten interessant, da der Bau einer zusätzlichen Landebahn diskutiert wird. Während im Nullfall unverändert auf den bestehenden Landebahnen (Anflugrouten je nach Betriebsrichtung ILS 25L, 25R, 07L, 07R) gelandet wird, werden für die Varianten geänderte Anflugrouten berücksichtigt.

Die Ergebnisse für Landungen am Tag mit einer Bewertung von 18 €₂₀₀₀/dB_{Lden} pro Person und Jahr sind in Tabelle 61 dargestellt. Die entsprechenden Ergebnisse für Abend und Nachtflüge, sowie für den Schwellwert 55 dB_{Lden} sind im Anhang in Tabelle 139 und Tabelle 140 dargestellt. Ergebnisse mit der Bewertung nach dem hedonischen Preisansatz sind im Anhang in Tabelle 141 enthalten.

Tabelle 61: Marginale externe Lärmkosten für den Anflug am Tag auf verschiedenen Landebahnen für die Szenarien 2015 (Variante Nordwest, Nordost, Süd und Nullfall) (Bewertung mit 18 €₂₀₀₀/dB_{Lden} pro Person, Schwellwert 50 dB_{Lden}) [€₂₀₀₀/Landung].

ID	Null		Nordwest		Nordost		Süd	
	07L	25R	07N9b	25N9b	07N9a	25N9a	07S	25S
DHC8	0,1	1,1	1,9	2,2	1,8	2,9	1,0	0,8
EMB145	1,4	2,6	5,2	5,1	4,3	8,4	2,8	2,2
A319	6,1	7,4	11,1	13,0	12,5	17,8	5,5	5,5
A320	11,8	12,4	18,9	22,5	20,7	31,0	10,2	9,7
737800	15,2	14,7	23,2	26,0	21,3	43,0	14,1	12,5
767300	19,9	17,2	31,7	33,5	28,2	50,6	17,7	14,8
A340	27,2	26,8	38,9	48,0	43,2	61,8	20,1	20,5
747200	33,5	27,6	55,1	54,2	46,5	85,2	28,6	23,8
A30062	36,4	37,8	57,4	67,8	58,0	96,3	32,5	30,5
747400	69,3	55,9	98,7	108,0	92,8	148,9	53,1	47,5

Alternativ zur Bewertung von Nachtflügen mit L_{den} werden Nachtflüge für die Varianten Nordost und Nordwest direkt über die subjektive Schlafqualität bewertet (Tabelle 62). Mit wenigen Ausnahmen gibt die Bewertung mit L_{den} mit Schwellwert $50dB_{Lden}$ die obere Grenze vor. Der Unterschied zwischen „subjektiver Schlafqualität“ und L_{den} Bewertung bewegt sich zwischen einem Faktor 1,07 (07N9a) und 1,62 (25N9a), und 1,3 im Mittel für (07N9b und 25N9b).

Tabelle 62: Marginale externe Kosten einer Landung zwischen 22 und 6 Uhr auf verschiedenen Landebahnen für die Szenarien 2015, Variante Nordwest und Nordost. (Bewertung: 590 € je gestörter Person pro Jahr) [€₂₀₀₀/Landung]

ID	Variante Nordwest		Variante Nordost	
	07N9b	25N9b	07N9a	25N9a
DHC8	15	14	18	14
ATR72	31	22	29	39
EMB145	34	30	33	42
A319	72	88	107	90
A320	118	143	162	150
737800	133	155	150	196
767300	181	196	196	233
A340	217	282	289	280
747200	278	288	286	363
A30062	285	367	345	399
747400	423	523	477	577

Gesundheitseffekte

Wie schon bei den Gesamtkosten dargestellt, fallen die externen Gesundheitskosten auch bei den marginalen Kosten bei den zugrundegelegten Methoden und Lärmszenarien gering aus. Die Ergebnisse belaufen sich im allgemeinen weit unter einem Cent pro Landung, jedoch gibt es Ausnahmen. Für die Flugzeugtypen 747200 und 747400 wurden Kosten zwischen 3 € (Tag) und 11 € (Nacht) für den Anflug auf 25N9a berechnet. Ebenso werden für die Nacht Werte um ca. 4 € für den Anflug auf 07N9a berechnet. Insgesamt sind die externen Kosten im Vergleich zur Schlafstörung jedoch gering.

4.2.2.5 Marginale Kosten einer Flugbewegung bei geringerem Hintergrundlärm

Die marginalen Kosten des Lärms beschreiben die externen Kosten einer zusätzlichen Flugbewegung (Start oder Landung) bei bestehendem Hintergrundlärm. Während man in der ökonomischen Theorie i.a. davon ausgeht, dass die marginalen Kosten bei Erhöhung der Umweltbelastung ansteigen, ist dies bei Lärm nicht unbedingt der Fall, weil bei hohem Lärmpegel eine zusätzliche Lärmquelle den Lärmpegel weniger stark erhöht wie bei

niedrigem Pegel. Anschaulich bedeutet dies, dass die zusätzliche Belästigung durch ein zusätzliches Flugzeug bei sowieso hohem Flugaufkommen geringer sein kann wie bei niedrigem Flugaufkommen. Mehr Flugbewegungen würden daher zu geringeren marginalen externen Kosten (bei steigenden Gesamtkosten) führen.

Um diesen Effekt zu überprüfen, wurde für einen bestimmten Fall eine Rechnung der marginalen externen Kosten bei einem modifizierten Gesamtlärm-Hintergrundscenario durchgeführt. Hierzu wurde der Hintergrundlärm um 2 dB reduziert.

Es wurde ein Rechnung für einen Abflug einer A340 auf der Route 25-TAU-L am Tag durchgeführt. Für die Bewertung mit $18 \text{ €}_{2000}/(\text{Person und dB})$ bei einem Schwellwert von $50 \text{ dB}_{\text{Lden}}$ ergab sich ein nur um 4% höherer Wert der marginalen externen Kosten durch Lärm gegenüber dem Referenzfall.

Diese relativ geringe Zunahme der marginalen Kosten kann folgendermaßen erklärt werden:

Durch die Absenkung des Hintergrundlärms um 2 dB ist die Differenz zum Hintergrundlärm, die durch das zusätzliche Flugzeug entsteht, höher geworden. Dieser Effekt wird jedoch zum Teil dadurch kompensiert, dass die Anzahl der Personen die über dem Schwellwert von 50 dB liegen, um ca. 30.000 Betroffene kleiner als im Referenzfall. Durch die Absenkung der Hintergrundbelastung ist ein Teil der Betroffenen soweit unter die Schwelle von 55 dB gerutscht, dass der zusätzliche Lärmpegel nicht mehr in die Bewertung einfließt.

Dies wirft natürlich die Frage auf, ob der gewählte Ansatz eines Schwellwerts und einer linearen Bewertung proportional zum Lärmpegel oberhalb des Schwellwerts die Belästigungswirkung des Fluglärms adäquat widerspiegelt. Andere Ansätze sind denkbar, z. B. die direkte Monetarisierung der Anzahl der Personen, die in verschiedenen Kategorien belästigt sind (z. B. stark belästigt, usw.). Da derzeit hierfür jedoch keine Studien vorliegen, die monetäre Werte für diese Belästigungskategorienermittelt haben, muss der derzeitige Standardansatz noch weiter verwendet werden.

4.2.3 Siedlungsbeschränkungsgebiete

Wie in Kapitel 4.1.5.4 erläutert, stellt die Ausweisung von Siedlungsbeschränkungsgebieten einen Nutzenverlust für die Gemeinden dar. Um diesen Nutzenverlust dieser Einschränkung (ausgedrückt in externen Kosten) zu ermitteln, wird für die Teilbereiche, die als Siedlungsgebiete ausgewiesen oder geplant waren, die Differenz zwischen dem flächenbezogenen Wert von Bauerwartungsland und landwirtschaftlicher Fläche herangezogen. Dazu wurde aus den in (Der Kreisausschuss des Kreises Groß-Gerau 2001) vorhandenen Werten ein Mittelwert von $54,3 \text{ €}_{2000} / \text{m}^2$ für Bauerwartungsland (für Wohnbau) und von $2,6 \text{ €}_{2000} / \text{m}^2$ für Ackerland angenommen. Es ist zu beachten, dass keine genaueren Daten vorhanden sind und diese Werte die Größenordnung der Kosten darstellen sollen. In der Sensitivitätsbetrachtung werden daher auch die minimalen und maximalen Differenzen

zwischen dem flächenbezogenen Wert von Bauerwartungsland und landwirtschaftlicher Fläche angewendet, um die mögliche Bandbreite des Nutzenverlustes darzustellen.

Die von Siedlungsbeschränkung betroffenen Flächen wurden den Daten aus (Regierungspräsidium Darmstadt 2002) Seite 43 entnommen und sind in Tabelle 63 dargestellt.

Tabelle 63: Auszug aus (Mediation Frankfurt G-Ö16/17 2000) (Tabelle 17) Siedlungseinschränkung bei 60dB(A) Isophonen

Fläche in ha	Ist-Zustand	Null	Nordwest	Nordost	Süd
Summe	233	285	318	342	334

In Tabelle 64 ist das Produkt aus der Differenz des Werte für Bauerwartungsland und Ackerland und den von Siedlungsbeschränkung betroffenen Flächen dargestellt.

Tabelle 64: Externe Kosten durch Siedlungsbeschränkungsgebiete

[Mio.€ ₂₀₀₀]	Ist-Zustand	Null	Nordwest	Nordost	Süd
Flächen mal Differenz Bauerwartungsland und Ackerland	120,6	147,6	164,7	177,1	172,9

Diese Kosten fallen allerdings nur einmal an und werden daher in eine Annuität umgerechnet. Der Wert der Annuität bezieht sich auf eine Laufzeit von 100 Jahren.

Das Ergebnis der Berechnung der jährlichen externen Kosten durch Ausweisung neuer Siedlungsbeschränkungsgebiete ist dargestellt in Tabelle 65.

Tabelle 65: Externe Kosten durch Siedlungsbeschränkungsgebiete – Annuität

	Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
Jährliche externe Kosten durch die Verursachung von Siedlungsbeschränkungsgebieten [Mio.€ ₂₀₀₀ /a]	3,8	4,7	5,6	5,2	5,5

5 Unfälle

5.1 Methode

Der Luftverkehr ist ebenso wie z. B. der Straßenverkehr verantwortlich für eine mögliche Gefährdung von Menschen oder der Umwelt durch Unfälle. Um zu beurteilen, wie hoch diese Gefährdung ist, muss der erwartete Schaden hinsichtlich der Möglichkeit des Eintreffens und der Tragweite der Schadenswirkung quantitativ beschrieben werden.

5.1.1 Der Erwartungswert des Unfallrisikos

Als Maß für die Größe einer Gefahr wird üblicherweise der Begriff des Risikos verwendet. Das Risiko wird durch die Höhe des Schadens und durch die Wahrscheinlichkeit, mit der ein solcher Schaden eintritt, charakterisiert.

Im technischen Bereich wird im allgemeinen die klassische Produktformel aus dem Bereich der Versicherungswirtschaft angewendet, in der das Risiko als Produkt aus Wahrscheinlichkeit und Schadensausmaß definiert wird.

Das Unfallgeschehen im Luftverkehr ist dadurch charakterisiert, dass die Schadenseintrittswahrscheinlichkeit gering ist, jedoch der Schadensumfang erheblich sein kann. Insbesondere kann es dazu kommen, dass unbeteiligte Dritte zu Schaden kommen. Unfallrisiken, die außerhalb des betrachteten Flugzeugs durch den Betrieb dieser Maschine entstehen, sind extern, soweit die entstehenden Kosten nicht durch Versicherungen der Fluggesellschaften kompensiert werden. Die Risiken der Passagiere und der Besatzung jedoch sind als internalisiert zu betrachten, da man annimmt, dass sie sich der Risiken bewusst sind und diese bei ihrer Entscheidung zu fliegen berücksichtigt haben.

Unter der Annahme, dass eine bestimmte Anzahl potentiell betroffener Personen während eines Zeitraumes T einem Unfallrisiko (Wahrscheinlichkeit von r_T) ausgesetzt sind, berechnen sich die gesamten externen Unfallkosten in diesem Zeitraum T zu:

$$K_{G,T} = r_T \cdot B \cdot W$$

mit:

r_T = Einzelrisiko bezogen auf Zeitraum T

B = Anzahl Betroffener Dritter

W = Wertansatz

Da im Gutachten (ROV G13 2001) Risikoklassen unterschiedlicher Höhe verwendet wurden, berechnen sich die gesamten externen Kosten potenzieller Unfälle im Zeitraum T folgendermaßen:

$$K_{G,T} = \left(\sum_i r_{i,T} \cdot B_i \right) \cdot W$$

mit:

$r_{i,T}$ = Mittleres Einzelrisiko der i-ten Risikoklasse bezogen auf Zeitraum T

B_i = Anzahl Betroffener Dritter in der Risikoklasse i

W = Wertansatz

Die Größen für das Einzelrisiko, die zugrunde gelegten Flugbewegungen und die Anzahl Betroffener, die diesem Risiko unterliegen, können für einen Bezugszeitraum von $T = 6$ Monate für die einzelnen Varianten dem Gutachten zur Flugsicherheit des ROV G13 (GFL 2001) entnommen werden. In dem Unfallmodell in G13 werden auch die Auswirkungen eines Absturzes über sicherheitskritischen Anlagen berücksichtigt. Ein Absturz über einer solchen Anlage führt zu einer Vergrößerung des Unfallfolgegebietes. Insofern werden diese Gebiete mit einem von der Art der Anlage abhängigem höheren Index beaufschlagt.

Zur Berechnung von marginalen Kosten potenzieller Unfälle spielt die Elastizität des Unfallrisikos eine wesentliche Rolle, d. h. wie sich dieses Risiko mit Änderung der Anzahl der Operationen ändert. Im Gutachten zur Flugsicherheit (ROV G13 2001) wurde das Unfallrisiko (AR – accident ratio) als konstant angesetzt. Demzufolge werden die marginalen Unfallkosten den Durchschnittskosten gleichgesetzt.

Die von der Fraport AG für das Planfeststellungsverfahren neu zu erhebenden Daten bezüglich der Risikoabschätzung zum Caltexgelände können im Folgenden nach Absprache mit dem Auftraggeber noch nicht in die Berechnungen einbezogen werden. Ein neues Gutachten, das eine überarbeitete Version von G13 mit neuen Berechnungen zum Einzelrisiko darstellt, ist in Bearbeitung, liegt jedoch zum Zeitpunkt der Bearbeitung dieses Berichts noch nicht vor.

5.1.2 Monetäre Bewertung von Unfallfolgen

An dieser Stelle soll nochmals auf die vorzunehmende Bewertung eines potenziellen Todesfalles sowie die Unterschiede zur Bewertung von Risiken des Straßenverkehrs hingewiesen werden (siehe Kapitel 2.7.4.1 und Kapitel 2.7.4.2).

Im Gegensatz zur üblichen Bewertung der Opfer im Straßenverkehr ist auf folgenden grundlegenden Unterschied in der Situation hinzuweisen:

Jedes Individuum, das am Straßenverkehr teilnimmt, ist sich des Unfallrisikos bewusst, das es selbst damit eingeht. Man weiß also, auf was man sich einlässt. Dies gilt im Grundsatz auch für die Passagiere eines Flugzeugs. Überdies sind auch alle Personen, die in Ausübung ihrer Berufstätigkeit im Zusammenhang mit dem Flugbetrieb ein erhöhtes Risiko eingehen, im Folgenden nicht betrachtet; es ist anzunehmen, dass diese Risiken, sofern sie über dem Durchschnitt der Gesamtbeschäftigten liegen, im Lohn- und Gehaltsgefüge berücksichtigt sind und somit in der Entlohnung abgegolten bzw. internalisiert sind.

Im Folgenden werden nur (gemäß dem Vorgehen im zu Grunde liegenden Gutachten G13) die potenziellen Opfer erfasst, die sich am Boden in der Nähe des Flugplatzes aufhalten und während dieses Aufenthalts nicht am Flugverkehr beteiligt sind. Für diese Situation ist anzunehmen, dass die betroffene Bevölkerung nicht für ihr Risiko kompensiert wird. Auch können sie nicht einfach ihren Wohnsitz wechseln, da sie ja in der Regel durch Arbeitsplatz oder andere persönliche Umstände an Wohnort und Umfeld gebunden sind und selbst ein möglicher Umzug mit erheblichen individuellen Transaktionskosten verbunden wäre. Die hier erfassten Risiken sind also als hochgradig unfreiwillig zu betrachten und daher mit anderen im Alltagsleben weitgehend freiwillig eingegangenen Risiken schwer zu vergleichen. Die Interpretation dieser Risiken als unfreiwillig ist auch eine wesentliche Begründung für den im Folgenden verwendeten Wertansatz für einen (im statistischen Sinne) verhinderten Todesfall.

Es erscheint nicht als ein Widerspruch zu dieser Annahme, dass von der erfassten Wohnbevölkerung in der Nähe des Flugplatzes sicherlich ein Teil auch am Flughafen als Boden- oder Flugpersonal beschäftigt ist oder deren Arbeitsplatz in anderer Weise direkt oder indirekt vom Flughafenbetrieb abhängig ist. Das erfasste Risiko bezieht sich ja hier auf den Bereich außerhalb des Flughafengeländes und somit außerhalb der Verrichtung der Arbeit.

Die hier erfassten tödlichen Unfallrisiken betreffen die gesamte Bevölkerung innerhalb der betrachteten Gebiete um den Flughafen in gleicher Weise. Daher ist (zumindest näherungsweise) davon auszugehen, dass – anders als etwa für bestimmte Sterberisiken durch Luftschadstoffe, die bevorzugt Personen in höherem Alter und mit ohnehin verringerter weiterer Lebenserwartung betrifft - diese Bevölkerung in ihrer demographischen Verteilung auch nicht von der Durchschnittsbevölkerung abweicht. Somit wird für die Bewertung dieser Risiken des potenziellen Todesfalls der (in Kapitel 2.7.4.1 erläuterte) Wert eines statistischen verhinderten Todesfalls von 3,4 Mio.€₂₀₀₀ herangezogen; eine differenziertere Bewertung einzelner verlorener Lebensjahre ist an dieser Stelle nicht erforderlich.

5.2 Ergebnisse

Wie bereits in Kapitel 5.1 erläutert, basieren die folgenden Berechnungen auf den Abschätzungen des Gutachtens G 13 (GFL 2001), das die Fraport AG an die Gesellschaft für Luftverkehrsforschung in Auftrag gegeben hat.

In dieser Studie werden die Risikowerte pro quadratischer Zelle mit einer Kantenlänge von 200 m ausgewiesen. Da für die Risiken innerhalb jeder Zelle keine exakten Werte angegeben sind, sondern die Risikowertbereiche in vier Kategorien unterteilt sind, ist die folgende Berechnung auf Grund der vorliegenden Daten als approximativ zu beurteilen. Des Weiteren bezieht sich diese Studie auftragsgemäß auf die sechs verkehrsreichsten Monate des Jahres. Unter den Annahmen, dass die Risikowahrscheinlichkeiten (näherungsweise) proportional zur Anzahl der Flugbewegungen sind und auch der jahreszeitliche Einfluss auf die Risikowahrscheinlichkeiten zu vernachlässigen ist, werden die Risiken, die für die betrachteten sechs Monate errechnet wurden, gemäß dem Anteil der Flugbewegungen innerhalb dieser sechs Monate an denen des gesamten Jahres (die entsprechenden Zahlen sind ebenfalls aus (GFL 2001) zu entnehmen) hochgerechnet. Eine detaillierte Aufspaltung des Unfallrisikos, etwa nach AzB-Klassen, wurde in dieser Studie nicht vorgenommen.

Diejenigen Gebiete des Untersuchungsraums, innerhalb derer das individuelle zusätzliche Todesfallrisiko Werte kleiner als 10^{-5} , bezogen auf die sechs verkehrsreichsten Monate, annimmt, werden in der Gesamtberechnung nicht berücksichtigt, da im Gutachten G 13 die hiervon betroffene Bevölkerung nicht gesondert ausgewiesen ist. Für die übrigen drei unterschiedenen Risikozonen, bei denen das individuelle Risiko für eine Person, die sich dort aufhält, höher als 10^{-5} liegt, sind jeweils getrennt nach den betrachteten Varianten die jeweils betroffenen Personen erfasst und ausgewiesen (siehe Tabelle 66). Als durchschnittliche Wahrscheinlichkeit wurde jeweils die Hälfte der nächst höheren Zehnerpotenz veranschlagt, bzw. für die höchste Risikoklasse $r_i > 10^{-3}$ der Wert von $5 * 10^{-3}$. Hierbei ist zu beachten, dass der Risiko-Schwellenwert von 10^{-3} nur in der Variante Nordost (dies betrifft südliche Bereiche von Frankfurt-Niederrad) sowie – allerdings in erheblich geringerem Umfang – in der Variante Nordwest (hier in einem Teil des Gewerbegebiets Kelsterbach-Süd) überschritten wird.

In der nachfolgenden Tabelle 66 zu den externen Unfallkosten für die Bevölkerung in der Nähe des Flughafens wurde somit das Risiko im Falle des Flughafenbetriebs aus Gutachten G13 (2001) „Externes Risiko für den Flughafen Frankfurt/Main“ übernommen. Dabei wurde das Individualrisiko ermittelt, indem die Wahrscheinlichkeit, dass ein Flugzeug so abstürzt, dass eine sich an einem festgelegten Ort befindende Person zu Tode kommt, für alle Orte ermittelt wurde. Dies bedeutet, dass nicht nur der Fall, dass das Flugzeug punktgenau auf diese Person abstürzt, berücksichtigt ist, sondern auch Abstürze in einem bestimmten Abstand um diese Person. Die Summe der Risiken wurde dann ermittelt, indem für jede Person dieses Individualrisiko (in Abhängigkeit vom Aufenthaltsort) bestimmt wurde, dann die

Individualrisiken aller Personen addiert und mit dem o.g. Wert eines statistischen verhinderten Todesfalles monetär bewertet wurden.

Dieser Bewertungsprozess lässt sich auch von einzelnen potenziellen Flugzeugabstürzen (anstatt von Individuen) ausgehend betrachten: Hat man die Wahrscheinlichkeit, dass ein Flugzeug an einem Ort abstürzt, und die dabei entstehenden Todesfälle, so ergibt das Produkt von Wahrscheinlichkeit und Todesfällen das Risiko für einen Absturz an diesem Ort. Weil Flugzeuge aber natürlich auch an allen anderen Orten des betrachteten Gebiets potenziell abstürzen können, muss das ortsabhängige Risiko dann für alle Orte ermittelt und anschließend aufsummiert werden. Das Gesamtrisiko würde dann wieder mit dem VPF bewertet werden.

Dieses Vorgehen zur Bewertung kommt aber offensichtlich zum gleichen Ergebnis wie das vorher beschriebene und hier angewandte Vorgehen. Bewertet wird in beiden Fällen das zusätzliche Risiko der potenziell betroffenen Personen; die potenziellen Schäden werden dabei multipliziert mit der Häufigkeit des Eintretens dieser Schäden. Es sei darauf hingewiesen, dass die errechneten externen Unfallkosten demnach nicht als Bewertung der bei einem bestimmten Unfall eingetretenen Todesfälle interpretiert werden können, erst die Multiplikation mit der Wahrscheinlichkeit des Eintritts dieses Unfalls ergibt Risiken. Diese Risiken werden für alle möglichen Unfälle addiert und dann mit dem Wert eines statistischen verhinderten Todesfalles bewertet.

Tabelle 66: Externe Kosten potenzieller Unfälle für die Bevölkerung in der Nähe des Flughafens

		Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
Risikozonen	Angenommene durchschnittliche Wahrscheinlichkeit	Betroffene	Betroffene	Betroffene	Betroffene	Betroffene
$10^{-5} < r_i < 10^{-4}$	0,00005	12.780	13.160	25.041	41.928	11.885
$10^{-4} < r_i < 10^{-3}$	0,0005	1.679	1.699	3.269	3.320	206
$10^{-3} < r_i$	0,005	0	0	41	556	0
Erwartungswert für tödlichen Unfall, bezogen auf 6 Monate						
		0,64	0,66	1,25	2,10	0,59
		0,84	0,85	1,63	1,66	0,10
		0,00	0,00	0,21	2,78	0,00
WTP für statistisch verhinderten Todesfall: 3,4 Mio. € ₂₀₀₀ ¹						
Kosten, bezogen auf 6 Monate [Mio.€ ₂₀₀₀]						
		5,0	5,1	10,5	22,2	2,4
Kosten, hochgerechnet auf das ganze Jahr [Mio.€ ₂₀₀₀ /a]						
		9,6	9,9	19,9	42,1	4,5
Durchschnittskosten pro Start oder Landung [€ ₂₀₀₀]						
		20,93	19,90	30,32	64,11	6,84
Auslastung Passagiere pro Flug						
		108,7	116,8	124,2	124,2	124,2
Durchschnittskosten pro Passagier [€-Cent ₂₀₀₀]						
		19,3	17,0	24,4	51,6	5,5

Es zeigt sich, dass alle drei erfassten Risikozonen, soweit sie in den Varianten überhaupt belegt sind, einen in der Größenordnung ähnlichen Beitrag zu dem Erwartungswert leisten.

Setzt man nun einen statistischen Todesfall mit der (in Kapitel 2.7.4.1 erläuterten) durchschnittlichen Zahlungsbereitschaft von 3,4 Mio.€₂₀₀₀ an, einen solchen möglichen Fall zu verhindern (dies ist immer zu interpretieren als die individuelle Zahlungsbereitschaft dafür, ein vergleichbares kleines Risiko im voraus zu reduzieren, hochgerechnet auf einen statistisch als Mittelwert auftretenden und damit potenziellen Todesfall), dann erhält man zunächst die erwarteten Gesamtkosten durch potenzielle tödliche Unfälle, bezogen auf den Flugbetrieb der betrachteten sechs Monate.

Diese Zahlen werden nun zum einen in Bezug gesetzt zu den Flugbewegungen, so dass die durchschnittlichen externen Kosten je Start oder Landung erfasst werden können. Unter

¹ Aus einer Analyse von Studien die die Contingent Valuation Methode (CV) angewendet haben, durchgeführt in den Externe Projekten, ergab sich eine Bandbreite von 2,9-4,4 Mio.€ mit einem Mittelwert von 3,4 Mio.€ (Friedrich und Bickel 2001). In anderen Quellen werden insbesondere für Todesfälle durch Unfälle auch deutlich niedrigere Werte angegeben (z. B. empfiehlt die Generaldirektion Umwelt der Europäischen Kommission (DG Environment) für solche Fälle ca. 1,4 Mio.€). Daher werden in Kapitel 9 auch Sensitivitätsbetrachtungen mit einer Bandbreite von VPF-Werten (von 1,4 bis 4,4 Mio.€₂₀₀₀) durchgeführt.

Berücksichtigung der heutigen und der für 2015 prognostizierten Werte für Passagiere je Flugbewegung lassen sich die externen Kosten auch auf den beförderten Passagier beziehen.

Hier zeigt sich, dass im Prognosenullfall gegenüber der Situation im Jahr 2000 die externen Kosten in absoluter Höhe leicht zunehmen, allerdings zeigt sich (infolge der ebenfalls steigenden Flugbewegungen sowie Passagiere je Flugbewegung) in Relation zu den Start- oder Landevorgängen sowie zu den Passagieren ein leichter Rückgang. Gestützt auf die ermittelten Zahlen in (GFL 2001), S. 37, ergibt sich für die beiden Varianten Nordost und Nordwest eine erhebliche Zunahme der Risiken potenzieller Unfälle in absoluter Höhe auf mehr als den vierfachen Betrag (NO) bzw. mehr als das Doppelte (NW). Auch auf die gegenüber 2000 wie auch im Vergleich zum Prognosenullfall 2015 erhöhten Passagierzahlen bezogen nehmen die Durchschnittskosten immer noch für beide Ausbauvarianten zu – in der Variante Nordost auf das Dreifache gegenüber dem Prognosenullfall. Lediglich bei der Vorzugsvariante Süd ergibt sich – sowohl in absoluten Zahlen als auch in noch größerem Ausmaß bezogen auf Flugbewegungen bzw. Passagiere – eine deutliche Verringerung des Risikos gegenüber dem Ist-Zustand wie auch gegenüber dem Prognosenullfall. Dies resultiert hauptsächlich darauf, dass ein erheblich geringerer Umfang der Bevölkerung mit einem Risiko über 10^{-4} belastet ist. Aus der Beschreibung in (GFL 2001) für die einzelnen Varianten ist zu schließen, dass diese Risikoreduktion zum Teil die östlichen Bereiche von Raunheim betreffen kann, zum anderen - und vermutlich überwiegenden - Teil die südlichen Bereiche von Gateway-Gardens.

Das Gebiet der Gateway-Gardens stellt eine Besonderheit dar, die einen Einfluss auf die Änderung der Risiken zwischen 2000 und allen Varianten des Jahres 2015 besitzt: Im Jahr 2000 befindet sich hier noch eine Wohnsiedlung für US-amerikanische Soldaten und deren Familien, deren Risiken im Ist-Zustand erfasst sind. Da die US-Streitkräfte jedoch von diesem Standort abziehen werden, ist geplant, die gesamte Wohnsiedlung abzureißen und dort ein Gewerbegebiet ohne Wohnungen entstehen zu lassen. Die Gateway-Gardens sind daher ab 2005 nicht mehr als Wohnbauland ausgewiesen und (hierauf wird in (GFL 2001) hingewiesen) in allen Prognoseszenarien einschließlich des Prognosenullfalls insofern nicht mehr berücksichtigt. Zu beachten ist hierbei, dass ein Teil der Veränderung von Risiken zwischen dem Ist-Zustand und den Ausbaufällen wie auch dem Prognosenullfall – und zwar eine Reduktion - durch eine exogene „Entvölkerung“ einer Fläche verursacht sind und nicht durch eine Veränderung der Flugbewegungsstruktur auf dem Flughafen, so dass die durch den Flughafenausbau induzierte Risikoerhöhung tatsächlich höher ist, als es der Differenz zum Ist-Zustand von 2000 entspricht.

Das Ergebnis, dass die Ausbau-Südvariante hinsichtlich der potenziellen tödlichen Unfallrisiken für die sich in der Umgebung aufhaltende Bevölkerung die weitaus schonendste Variante darstellt, wird allerdings dadurch relativiert, dass in dieser Südvariante als Sonderfall ein zusätzlicher Kreuzungspunkt der neuen Start- und Landebahn 07S/25S mit der bestehenden Startbahn 18 West auftritt. Es ist nach internationalen Studien unstrittig, dass

solch kreuzende Bahnen beim Start- und Landebetrieb einen erhöhten Koordinationsaufwand erfordern und – insbesondere durch menschliches Versagen bei der Kommunikation – mit einem erhöhten Kollisionsrisiko auf dem Flughafengelände gerechnet werden muss. Allerdings ist nicht nachzuweisen, dass hierdurch auch eine Erhöhung des externen Risikos für Personen außerhalb des Flughafengeländes entstehen könnte, so dass dieser Umstand in die Ergebnisse der Tabelle 66 nicht einwirkt.

6 Natur und Landschaft

6.1 Grundlagen

Der „Verbrauch“ von Natur und Landschaft stellt im Grunde eine Flächenumnutzung dar. Um die Möglichkeiten einer Bewertung zu erfassen, werden die Folgen der Flächenumnutzung zunächst wie folgt charakterisiert:

- Die Fläche steht für andere Nutzungen, die u.U. als freie Güter im Marktpreis der Fläche nicht enthalten ist, z. B. die Nutzung zur Naherholung, nicht mehr zur Verfügung²
- Durch das Abholzen des Waldes kommt es zu einem Verlust von Lebensräumen für bestimmte Tiere. Die lokale Artenvielfalt und Artenzusammensetzung werden verändert
- Ein Teil der Fläche wird durch die Rollwege versiegelt. Diese Versiegelung kann Auswirkungen auf das lokale Klima und den Boden- und Grundwasserhaushalt haben
- Die Abholzung des Waldes hat Auswirkungen auf den Grundwasserhaushalt
- Durch den Betrieb der Fläche in der neuen Nutzung kann es möglicherweise zu Auswirkungen auf das Boden- und Grundwasser kommen.

Zieht man die Theorie der Bewertung eines „gesamten ökonomischen Wertes“ von Natur und Landschaft (Pearce 1994) hinzu, so muss zusätzlich zu den nutzungsabhängigen Werten auch der nicht-nutzungsabhängige Wert betrachtet werden. Hierbei wird der Optionswert, der Existenzwert und der Vermächtniswert einer Ressource unterschieden. Der Optionswert gibt den Wert an für die Wahlmöglichkeit, die man sich heute offen hält, ein Gut auch zu einem späteren Zeitpunkt noch nutzen zu können. Der Existenzwert entsteht allein um das Wissen um die Existenz eines Gutes, etwa einer seltenen Tierart, ohne Bezug zu einer tatsächlichen Nutzung. Dies kann z. B. darin begründet sein, dass Menschen dem Umwelt- und dem Artenschutz eine biozentrische (Lebens- und Existenzrecht der Natur an sich) oder theologische Bedeutung zuerkennen. Der Vermächtniswert gibt schließlich die Wertschätzung eines Gutes an, damit es kommenden Generationen erhalten bleibt. In der Praxis kommt die Wertschätzung einer bestimmten Ressource aus einem Mix verschiedener Werte zustande. Die Auswirkungen, die durch den Verbrauch an Natur und Landschaft durch den Flughafenausbau entstehen, die somit einer Bewertung unterzogen werden müssen, werden in Tabelle 67 zusammengefasst.

² Ein möglicher Nutzenverlust durch die Forstwirtschaft ist durch den Verkauf des Geländes an die Flughafenbetreiber internalisiert und muss daher nicht betrachtet werden.

Tabelle 67: Kategorisierung möglicher Auswirkungen anhand von Umweltökonomischen Gesichtspunkten

Bewertungskategorien		Themengebiet für Bewertung
Nutzungsabhängig	Direkt	Naherholung
	Indirekt	Lokales Klima Boden- und Grundwasserhaushalt
Nicht nutzungsabhängig	Options-, Existenz-, Vermächtniswert	Zusätzlich: Lebensräume von Tieren und Pflanzen, Biodiversität

Eine mögliche Veränderung des lokalen Klimas für den Flughafenausbau wurde im ROV Gutachten G10 bearbeitet und wird in Bezug auf die externen Kosten im Kapitel Klima diskutiert. Die Auswirkungen des Ausbaus auf Boden- und Grundwasser wurde ebenfalls im ROV bearbeitet, und das entsprechende Gutachten wird herangezogen (siehe unten).

Die Bewertung von Änderungen im Bereich Natur und Landschaft ist weit weniger entwickelt als die Bewertung in den anderen angesprochenen Bereichen Luftschadstoffe und Lärm. Die vorliegenden Ansätze haben alle noch gravierende Nachteile, insbesondere werden im allgemeinen nur Teilaspekte bewertet, die Bewertung ist zudem mit hohen Unsicherheiten verbunden. Im Folgenden werden zwei neuere Bewertungsansätze für Natur und Landschaft, dargestellt, die zu einer Grobabschätzung der Bewertung von Landnutzungsänderungen noch am ehesten herangezogen werden können. Dies sind eine Studie von (Elsasser 2001) zur Bewertung des Erholungsnutzens von Wald und eine Schweizer Meta-Analyse von Infraconsult (Infraconsult AG 1999). Lücken bleiben dabei insbesondere bei der Bewertung der Änderung der Artenvielfalt (siehe z. B. (Hanley et al. 1995), (Kosz 1997)).

6.1.1 Betrachtung der Flächenversiegelung

Beim Bau von Straßen, geteerten Wegen, Plätzen, Anlagen, usw. werden freie Flächen versiegelt, sodass Regen und Oberflächenwasser nicht mehr versickern können. Dies kann negative Auswirkungen auf die Grundwasserneubildung haben. Da der entstehende Schaden sehr schwer zu quantifizieren ist, werden in einigen Studien statt Schadenskosten Vermeidungskosten für die Bewertung der externen Kosten der Flächenversiegelung angewendet. Hierzu werden in einigen Studien die Kosten der Flächenrückführung zu unversiegelter Fläche verwendet. Allerdings setzt dies, wie in Kapitel 2.7.3 erläutert, voraus, dass es ein anerkanntes gesellschaftlich akzeptiertes Ziel ist, die Flächenversiegelung nicht weiter zu erhöhen. In der Tat wird dies von einigen Gruppen unter Hinweis auf die Forderung nach Nachhaltigkeit gefordert. Jedoch kann es als gesellschaftlich akzeptiert nicht gelten (sonst würde die Flächenversiegelung in Deutschland nicht weiter zunehmen).

Daher wird dieser Ansatz zur Berechnung der externen Kosten nicht verwendet. Jedoch werden die Kosten dennoch als Zusatzinformation berechnet und ausgewiesen. Dazu wird ein Wert aus (Link et al. 2002) von 25,6 €/m² für die Kosten einer Flächenrückführung angesetzt. Dieser Wert beinhaltet den Transport und die Deponierung des Materials. Kostenschätzungen in (INFRAS/IWW 2000) haben eine Bandbreite von 13 bis 42 €/m².

6.1.2 Die Ermittlung des Erholungswertes der Wälder in Deutschland durch Elsasser

Elsasser untersucht den Wert der Erholungsleistung der Wälder für Tagesbesucher in Deutschland. Dafür werden mehrere vorliegende Studien, die diesen Wert ermitteln, verwendet und einer Meta-Analyse unterzogen, um eine sogenannte Benefit Function Transfer, d. h. Einflussvariablen zu ermitteln, mit denen eine Übertragung auf Orte, an denen keine Befragung durchgeführt wurde, zu ermitteln. Aus den Rohdaten von 2.225 befragten Waldbesuchern an 12 verschiedenen Standorten wurde eine Zahlungsbereitschaft von 128,28 DM pro Person pro Jahr für die Möglichkeit, den bestehenden Wald in der jeweiligen Region zur Nutzung seines Erholungsangebotes zu betreten, ermittelt. Um die Hochrechnung auf das gesamte Bundesgebiet zu ermöglichen, wurde eine zusätzliche Bevölkerungsbefragung durchgeführt, mit dem Ziel, den Anteil der Waldbesucher, deren Besuchshäufigkeit sowie weitere bewertungsrelevante Eigenschaften zu ermitteln. Da ein Wald je nach Entfernung zum Wohnort oft, weniger oft oder gar nicht besucht wird, ist die geographische Lage des Waldes in Bezug auf die Nachfrage nach Waldbesuchen sehr bedeutend. Ausgehend davon unternimmt Elsasser den Versuch, den Erholungswert pro Hektar Wald je nach Kreis in Deutschland auszudrücken. Dabei gehen als wesentliche Kriterien die Bevölkerungsdichte, die verfügbare Waldfläche und die erhöhte Nachfrage bei Großstadtbewohnern ein. Die damit ermittelte Bandbreite reicht von ca. 25 €/ha/a bis weit über 25.000 €/ha/a, wobei die Mehrheit der Kreise Durchschnittswerte unter 250 €/ha/a aufweisen. Elsasser folgert aus einer Reihe von Analysen, dass die ermittelte Zahlungsbereitschaft in nicht geringem Maße durch den Optionswert mitgeprägt wird. Daraus kann geschlossen werden, dass mit der ermittelten Zahlungsbereitschaft sowohl der direkte, nutzungsabhängige Teil des Gesamtwertes als auch die nicht-nutzungsabhängige Komponente abgedeckt ist. Allerdings weist Elsasser darauf hin, dass es sich um durchschnittliche Erholungswerte handelt. Um jedoch die Zerstörung eines bestimmten einzelnen Waldes zu bewerten, müssten marginale Werte erfasst werden, so dass die dargestellten Werte nur als erste Annäherung betrachtet werden.

6.1.3 Kosten und Nutzen im Natur- und Landschaftsschutz

Eine neue übergreifende Studie ist von (Infraconsult AG 1999) mit dem Titel „Kosten und Nutzen im Natur- und Landschaftsschutz“ vorgelegt worden. Diese Studie beschäftigt sich unter anderem mit der Bewertung und Monetarisierung des Nutzens von Natur- und Landschaftsschutzmassnahmen (NLS).

Der Nutzen einer Natur- und Landschaftsschutzmassnahme (NLS) wird ermittelt, indem man die Differenz zwischen dem Zustand mit und ohne die NLS ermittelt. Vergeben werden Punkte von 0 bis 10, wobei 10 sich am Potential des Raumes orientiert. Dieses Potential entspricht nicht einer vom Menschen unberührten Urnatur (naturräumliches Potential), sondern bezieht eine natur- und landschaftsschonende menschliche Nutzung ein. In der Studie wird davon ausgegangen, dass solch ein Zustand dem Umweltzustand vor oder um 1950 entspricht. Ist nichts mehr von diesem Zustand erhalten, erhält der Raum den Wert 0 (Beispiel: Betonwüste). Der Gesamtnutzen einer Massnahme setzt sich aus verschiedenen Teilnutzen zusammen. Diese können bezüglich der definierten Oberziele (Pflanzenwelt und ihre Lebensräume schützen, Tierwelt und ihre Lebensräume schützen und heimatliches Landschafts- und Ortsbild schonen) und weiterer Unterziele bewertet werden. Die Teilnutzen können dann nach ihrem Flächenanteil gewichtet werden, sodass man zu einem Gesamtwert für den gesamten Untersuchungsraum gelangt, der wieder zwischen 0 und 10 Nutzenpunkten liegt.

Aus bestehenden empirischen Studien zur Zahlungsbereitschaft für den Bereich Natur und Landschaft wird nun ein konkreter Betrag für die Schweiz abgeleitet: Fr. 30,-- pro Person und Monat. Um einen Bezug zu einer Fläche herzustellen, werden die Flächen mit einem wesentlichen ökologischen Aufwertungspotential hergenommen, die mit ca. 80% der Gesamtfläche der Schweiz (32.500 km²) abgeschätzt wird. Hochgerechnet auf die Schweizer Bevölkerung (ca. 7 Mio. Bürger) und der Annahme, dass sich diese Zahlungsbereitschaft auf eine durchschnittliche Änderung der Flächen von drei sogenannten Nutzenpunkten bezieht, ergibt sich eine Zahlungsbereitschaft von 2,5 Rappen pro m² pro Nutzenpunkt und Jahr:

$$\frac{Fr_{1997} \cdot 30,- \times 12 \frac{\text{Monate}}{\text{Jahr}} \times 7 \text{Mio. Bürger}}{3 \text{Nutzenpunkte} \times 32.500 \text{km}^2} = 2,5 \frac{\text{Rappen}_{1997}}{\text{Jahr} \times \text{Nutzenpunkt} \times \text{m}^2}$$

Im vorliegenden Gutachten wird nicht das eigentliche Modell angewendet, da dieses konzipiert ist, um Nutzen-Kosten-Vergleiche einer NLS anzustellen. Stattdessen wird vereinfachend davon ausgegangen, dass die durch den Flughafenausbau beanspruchten Flächen vor dem Ausbau einen Zustand haben, der 10 Punkten entspricht. Für eine versiegelte Fläche wird ein Wert von 0 Punkten angenommen. Die nicht versiegelte Fläche hat durchaus noch einen gewissen Wert sowohl als Lebensraum für bestimmte Arten als auch für den Grundwasserhaushalt; für diese Flächen wird konservativ ein Wert von 2 Nutzenpunkten eingesetzt. Durch Multiplikation der ermittelten Zahlungsbereitschaft von 2,5 Rappen pro m² pro Nutzenpunkt und Jahr mit den im Gutachten G2 Teil C dargestellten Wald- und Biotopflächenverlusten können Werte für diese unterschiedlichen Lebensräume ermittelt werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Werte sowohl konsumtive als auch nichtkonsumtive Werte von Natur und Landschaft abdecken; da in (Infraconsult AG 1999) folgende Gründe für die Zahlungsbereitschaft angegeben werden:

Bewahrung der Natur / Artenvielfalt/ Umwelt (31%);

Erholung / Freude an der Natur (21%);

Bewahrung der Lebensgrundlage (12%);

Bewahrung der Artenvielfalt für künftige Generationen (11%).

Auf Grund der vorgesehenen Ausgleichsmassnahmen wird der Nutzen anderer Flächen hinsichtlich Artenvielfalt und Umwelt jedoch erhöht. Ohne eine genaue Prüfung vornehmen zu können, wird bei der Bewertung angenommen, dass die vorgesehenen Ausgleichsmaßnahmen zu einem zukünftigen Zeitpunkt Flächen entstehen lassen, die denselben Umwelt- und Erholungsnutzen aufweisen wie ursprünglich die für den Flughafenausbau genutzten Flächen. Da auch die Kosten der Nutzungsänderung am Flughafen ohne Ausgleich angegeben werden, lassen sich jedoch auch die Auswirkungen anderer Annahmen auf das Ergebnis ablesen.

6.1.4 Bewertung von Habitat und Biodiversität mit Hilfe von Kompensationskosten

In der Literatur werden z.T. für die Bewertung der Zerstörung natürlicher Lebensräume Kompensationskosten angesetzt, die den Kosten entsprechen, die für die Errichtung eines neuen, natur-ähnlichen Gebiets der selben Art auf einer anderen Fläche, die dem Zerstörten entspricht, ausgegeben werden müssen. Durch die Vorgaben der UVP ist jedoch zu erwarten, dass diese Kosten durch die Umsetzung der vorgeschriebenen Kompensationsmaßnahmen internalisiert sind. Die Kompensationskosten stellen nur eine Hilfsgröße für den tatsächlichen Wert dar, und da sie internalisiert sind, ist ihre weitere Berechnung nicht erforderlich.

6.1.5 Grundwasser

6.1.5.1 Rollbahn- und Flugzeugenteisung

Rollbahnenteisung

Seit 1990 wird am Flughafen Frankfurt/Main ausschließlich Kaliumacetat als Flächenenteisungsmittel für Start- und Landebahnen eingesetzt (Umwelt-Zwischenbilanz 1998), Seite 48. Dies verhindert eine Belastung des Grundwassers mit Nitraten, welche früher durch den Gebrauch von stickstoffhaltigen Auftaumitteln verursacht wurden.

Kaliumacetat (CH_3COOK) wird in flüssiger Form als 50%ige Lösung wirksam bis -7°C eingesetzt. Hinsichtlich seiner Umweltverträglichkeit hat Kaliumacetat einen geringeren BOD als Harnstoff oder Propylenglykol und wird auch bei niedrigen Temperaturen zu Wasser und Kohlendioxid abgebaut. Da Kaliumacetat korrosiv wirkt, werden Antikorrosiva zugesetzt, deren Auswirkungen auf die Umwelt noch nicht genau bekannt sind (Wresowar 2000), Seite 26.

Der Umgang mit Wasser auf dem derzeitigen Flughafen-Gelände wird in (Mediationsverfahren Gutachten Ö12 1999) beschrieben. Demnach wird das Enteisungsmittel von den Herstellern in die Wassergefährdungsklasse 1 eingestuft. Es wird nur verwendet, wenn die mechanische Schneeräumung nicht ausreicht. Das Niederschlagswasser, das von den Start-, Lande- und Rollbahnen anfällt, wird parallel versickert. Grundlage für diese Vorgehensweise ist eine wasserrechtliche Erlaubnis (Untere Wasserbehörde Frankfurt), im Rahmen des Winterdienstes die stickstofffreien Enteisungsmittel auf dem Gelände des Flughafens in den Untergrund einzubringen. Den Auflagen entsprechend wird die Ausbringung der Enteisungsmittel durch Sicker- und Grundwasseruntersuchungen durch die FAG begleitet. Die bisherigen Untersuchungen haben gezeigt, dass sowohl mit der Tiefe als auch mit der Zeit eine starke Konzentrationsabnahme von Kalium und Acetat im Boden erfolgt. Selbst nach strengen Wintern sind in Tiefen von mehr als 3,30 m keine Einflüsse

mehr feststellbar. Die Grundwasseranalysen ergaben keine nachhaltige Beeinflussung der Grundwasserqualität durch Kalium und Acetat.

In (ROV G2_TeilA+B) Seite B-39ff werden die Entwässerungskonzepte für die betrachteten Planungsfälle beschrieben. Da die Varianten zum Teil in Trinkwasserschutzgebieten liegen und im Falle der Variante Süd die Bahn auch als Startbahn dient (entsprechend höheres Verschmutzungspotential), sind verschiedene technische Maßnahmen vorgesehen. Die Gutachter gehen davon aus, dass diese Maßnahmen so ausgelegt werden, dass keine quantifizierbaren Schäden am Grundwasser durch den Normalbetrieb entstehen können.

Flugzeugenteisung

Die Flugzeugenteisung wird mit einem Gemisch aus Glykolen und 80 °C heißem Wasser durchgeführt. Diese Mischung wird nur auf befestigten Flächen verwendet, dort gesammelt, und gelangt nicht ins Grundwasser.

6.1.5.2 Grundwasserbildung

In (ROV G2_TeilA+B) Seite C-318. wird erklärt, dass die Grundwasserneubildung u.a. stark abhängig von der Niederschlagsmenge, den Verdunstungen und der Nutzungsart ist. Die Grundwasserneubildung wird um den Versickerungsteil der abgeleiteten Niederschlagsmenge verringert. Die Beeinträchtigung der aufnehmenden Fließgewässern wird aber als gering eingestuft. Durch den Verlust von Waldflächen, und damit den Verlust von Verdunstung der Bäume, erhöht sich die Grundwasserneubildung. Eine Veränderung der Grundwasserneubildung ist laut (ROV G2_TeilC5-8) nur schwer zu prognostizieren: „...Generell wird bei keiner der Varianten die Grundwasserneubildung so stark beeinflusst bzw. verändert, dass mit erheblichen Auswirkungen auf ökologische oder wirtschaftliche Funktionen zu rechnen ist“. Bezüglich der Beanspruchung von Trinkwasserschutzgebieten sowie der Beeinträchtigungen von Grundwassernutzung wird deutlich, dass alle Varianten Flächen von Trinkwasserschutzgebieten beanspruchen, wobei sowohl die Art der Beanspruchung als auch die Größenordnung variiert. Bei der Grundwassernutzung können grundsätzliche potentielle Gefährdungen nicht vollständig ausgeschlossen werden. Diese Gefährdungen ließen sich aber nicht quantifizieren.

Externe Kosten, die durch eine Beeinflussung des Grundwassers entstehen können

Es ist nicht zu erwarten, dass ein Schadstoff aus dem Grundwasser in Trinkwasser gelangen kann, da das Trinkwasser strengen Kontrollen unterliegt. Somit können auch keine Schäden an der menschlichen Gesundheit abgeschätzt werden. Allerdings kann es sein, dass eine Verunreinigung des Grundwassers zu zusätzlichen Kosten führt, weil z. B. Trinkwasser aus

einem anderen Gebiet bezogen werden muss oder eine aufwendige Reinigung notwendig wird. Diese Kosten müssten dann dem Verursacher angelastet werden.

Veränderungen des Grundwasserspiegels könnten dazu führen, dass sich die mit dem Grundwasser in Verbindung stehenden Vegetationsbestände verändern. Dies kann durch eine Erhöhung aber auch durch eine Senkung des Grundwasserspiegels hervorgerufen werden. Die daraus resultierenden Schäden könnten anhand der betroffenen Flächen und bezüglich der zu quantifizierenden externen Kosten erfasst werden. Es liegen zwar keine quantitativen Daten vor, es ist aber zu erwarten, dass diese externen Kosten vergleichsweise gering wären.

Im Zusammenhang mit dem Grundwasser kann auch ein Bezug zu den externen Kosten der Waldrodung hergestellt werden. Der Verlust an Waldflächen führt auch zu einem Verlust der Filterfunktion der Waldflächen. Wenn dies zu einer Erhöhung der Konzentration von bestimmten Stoffen im Grundwasser führt, die technische Maßnahmen zum Ersatz dieser Filterfunktion notwendig machen, dann könnten die Kosten dieser Maßnahmen als externe Kosten der Waldrodung aufgefasst werden.

6.2 Ergebnisse

6.2.1 Rückführung der Versiegelung von Flächen

Durch den Flughafenausbau kommt es zur Versiegelung von Flächen. Genaue Zahlen stehen bezüglich der Landebahnen und der Zusammenhangmaßnahmen zur Verfügung. Diese sind dem (ROV G2_TeilA+B 2001) entnommen und in Tabelle 68 dargestellt.

Tabelle 68: Zusätzliche versiegelte Flächen durch die Ausbauvarianten

[ha]	Nordwest	Nordost	Süd
Variantenunabhängiger Erweiterungsbereich Süd	115	115	115
Zusammenhangmaßnahmen	13	26	8
davon versiegelte Fläche	6	10	3
davon Böschung u. a.	7	16	5
Start- und Landebahnbereich: (innerhalb vsl. Einfriedung und inkl. Rollwegbrücken)	244	271	289
davon versiegelte Flächen	53	49	101
davon Freiflächen	191	22	188
Summe	372	412	412

In (Link et al. 2002) ist ein Wert von 25,6 €/m² für die Kosten einer Flächenrückführung angesetzt. Die Anwendung dieses Wertes führt zu den Ergebnissen in Tabelle 69

Tabelle 69: Kosten der Flächenrückführung

	Nordwest	Nordost	Süd
Versiegelte Fläche [ha] (Start-/Landebahn, Rollweg und Zusammenhangmaßnahmen)	59	59	104
Kosten der Rückführung [€ ₂₀₀₀]	15.104.000	15.104.000	26.624.000

Da diese Kosten nur einmalig anfallen, werden sie in eine Annuität umgerechnet. Es wird angenommen, dass ein Flughafen nach 100 Jahren total erneuert werden muss (Maibach et al. 1995). Daher wird zur Berechnung der Annuitäten eine Laufzeit von 100 Jahren angenommen. Der verwendete Kalkulationszinssatz beträgt $i = 3,0\%/a$

Der Rentenbarwertfaktor wird wie folgt berechnet:

$$b_n = \frac{q^n - 1}{q - 1} \times \frac{1}{q^n}$$

mit b_n = Rentenbarwertfaktor, q = Diskontierungsfaktor = $(1+i)$ und n = Laufzeit in Jahren.

Der Rentenbarwertfaktor beträgt also ca. 31,6. Die berechneten Kosten der Rückführung werden durch diesen Faktor geteilt, um die Kosten pro Jahr zu erhalten. Diese sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 70: Kosten der Flächenrückführung (Annuitäten)

Variante	Nordwest	Nordost	Süd
Kosten pro Jahr (Annuität) € ₂₀₀₀ /a	477.991	477.991	842.561

Es zeigt sich hier, dass die Kosten einer entsprechenden Flächenrückführung relativ gering sind. Es handelt sich jedoch nicht um Vermeidungskosten, die an Stelle externer Kosten eingesetzt werden könnten (siehe Kap. 6.2.1), somit werden diese Kosten in der Zusammenstellung der externen Gesamtkosten in Kapitel 10.1 nicht berücksichtigt.

6.2.2 Verluste von Biotop- und Waldflächen

6.2.2.1 Externe Kosten des Verlustes von Waldflächen – Ansatz nach Elsasser

Der Verlust von Waldflächen verursacht Schäden bezüglich unterschiedlicher Schutzgüter. Schutzgüter sind zum Beispiel:

Tiere und Pflanzen,

Landschaft,

Klima und Luft,

Mensch (Wohn- und Wohnumfeldfunktion sowie Freizeit- und Erholungsfunktion).

Im Rahmen dieses Gutachtens wird die Erholungsfunktion auf Basis einer Studie von Elsasser berechnet (siehe Kap. 6.1.1). Auch andere Flächen und Räume haben eine bestimmte Erholungsfunktion für den Menschen und dementsprechend einen monetären Wert. Wenn die entsprechenden Waldflächen nicht mehr zur Verfügung stehen, werden andere Erholungsräume angesteuert oder auch der Flughafen selbst wird zum Ausflugsziel. Daher müsste eigentlich die Differenz zwischen den externen Kosten des momentanen und des zukünftigen Zustands betrachtet werden. Für eine Abschätzung der Größenordnung der entstehenden externen Kosten wird im Folgenden ein plausibler monetärer Wert der Erholungsfunktion der verlorenen Waldflächen um den Flughafen Frankfurt gewählt.

Die Umgebung um den Flughafen Frankfurt zeichnet sich durch eine hohe Bevölkerungsdichte und eine unterdurchschnittlicher Bewaldung aus. Dementsprechend ist diese Umgebung in einer Karte in (Elsasser 2001) sehr hoch eingestuft. Für die Abschätzung der externen Kosten der Waldrodung in der Umgebung des Flughafen Frankfurt wird ein Wert von 25.000 €₂₀₀₀/ha/a angewendet.

Bei Waldinanspruchnahme muss nach dem hessischen Forstgesetz eine gleiche Ersatzaufforstung, d. h. mindestens im Verhältnis 1:1 erfolgen. Die Aufforstungen sind in großen Komplexen oder im Anschluss an vorhandenen Wald vorzusehen, damit ein Waldcharakter entstehen kann.

Ausgehend von der Annahme, dass durch die Ersatzaufforstung eine vergleichbare Erholungsfunktion der vom Ausbau betroffenen Waldflächen wieder hergestellt wird, werden im Folgenden externe Kosten für den vorübergehenden Verlust an Erholungsfunktion berechnet.

Die variantenabhängigen Waldflächenverluste, bzw. der Ersatzaufforstungsbedarf [in ha] sind dargestellt in G2 Teil C Seite C-501 und hier nochmals zusammengefasst in Tabelle 71.

Tabelle 71: Ersatzaufforstungsbedarf verursacht durch die Ausbauvarianten

Variante	Nordwest	Nordost	Süd
	Waldverlust [ha]		
a) Variantenunabhängiger Erweiterungsbereich	104	104	104
b) Zusammenhangmaßnahmen	8	15	5
c) Start- u. Landebahnbereich	216	264	298
Summe Totalverlust = Ersatzaufforstungsbedarf	328	383	407

Je nach der gewählten Ausbauvariante werden unterschiedliche Flächen beansprucht. Auf diesen befinden sich größtenteils Eichen, Buchen, Fichten, Douglasien und Kiefern und auch azonale Bäumen (siehe G2, Anhang 3, Seite 29, Tabelle 4). Die Bäume sind in drei Altersstufen eingeteilt und der Flächenanteil jeder Altersstufe und jeder Baumart ist angegeben.

In Tabelle 72 ist der durchschnittliche Anteil der aufgelisteten Baumarten bezüglich der Alterstufen dargestellt.

Tabelle 72: Altersverteilung der Bäume im Untersuchungsgebiet

Alterstufe	Bezeichnung	Durchschnittlicher Anteil an der Fläche
1	Jungbestände bis 14 cm BHD	7,5%
2	mittlere Bestände ab 14 cm bis 120 Jahre	80,4%
3	alte Bestände über 120 Jahre	12,1%

Es ist nicht eindeutig geklärt, inwiefern eine Ersatzaufforstung den entstandenen Schaden ausgleicht. Dies bezieht sich auf die Tatsache, dass die Ersatzaufforstung nicht am selben Ort stattfinden kann und dementsprechend die Erholungsfunktion eine andere ist. Es ist auch nicht eindeutig, nach welchem Zeitraum eine Ersatzaufforstung einen gleichwertigen Ersatz darstellt. Dies wird auch im Rahmen dieses Gutachtens nicht zu klären sein. Daher wird im Folgenden eine Bandbreite von externen Kosten in Abhängigkeit vom gewählten Zeitraum aufgezeigt. In Abhängigkeit vom Zeitraum, nach dem man von einer gleichwertigen Wiederherstellung der Erholungsfunktion ausgehen kann, ergeben sich bei einer Abzinsung des zukünftigen Erholungsfunktionsverlustes mit 3,0%/a die folgenden Gegenwartswerte der entstehenden externen Kosten.

Tabelle 73: Gegenwartswert der verlorenen Erholungsfunktion der Waldflächen (nach Elsasser)

Dauer bis gleichwertige Erholungsfunktion wieder hergestellt ist [a]	20	50	100	150
Variante	Gegenwartswert der verlorenen Erholungsfunktion [Mio.€ ₂₀₀₀]			
Nordwest	130,2	219,2	267,3	278,3
Nordost	152,0	255,9	312,1	325,0
Süd	161,6	272,0	331,7	345,3

Da diese Kosten nach einer gewissen Zeit nicht mehr jedes Jahr anfallen, wird der Gegenwartswert in eine Annuität umgerechnet (vergleiche Vorgehensweise bei der Berechnung der jährlichen externen Kosten der Flächenversiegelung).

Hierdurch ergeben sich jährliche externe Kosten des vorübergehenden Verlustes der Erholungsfunktion wie sie in Tabelle 74 dargestellt sind.

Tabelle 74: Jährliche externe Kosten durch den Verlust der Erholungsfunktion der Waldflächen (nach Elsasser)

Dauer bis gleichwertige Erholungsfunktion wieder hergestellt ist [a]	20	50	100	150
Variante	Externe Kosten [Mio.€ ₂₀₀₀ /a]			
Nordwest	4,1	6,9	8,5	8,8
Nordost	4,8	8,1	9,9	10,3
Süd	5,1	8,6	10,5	10,9

Die besondere Schutzfunktion des Bannwaldes kann durch eine Ersatzaufforstung an einem anderen Ort möglicherweise nicht vollständig ersetzt werden. Auch ein ggf. vorhandener besonderer ökologische Wert des Bannwaldes kann nicht bewertet werden, weil keine Studien dazu vorliegen.

6.2.2.2 Externe Kosten des Verlustes der Waldflächen – Ansatz nach Infraconsult

Durch die Anwendung des Ansatzes von Elsasser wird der Verlust der Erholungsfunktion des Waldes bewertet. Zum Vergleich wird die Rechnung bezüglich der externen Kosten des Verlustes von Waldflächen mit dem in der Studie von (Infraconsult AG 1999) in der Schweiz

ermittelten Wert der Zahlungsbereitschaft für Natur- und Landschaftsschutz von Fr. 30,- pro Person und Monat wiederholt. Ausgehend von diesem Wert wird eine Zahlungsbereitschaft pro m², Nutzenpunkt und Jahr von 2,5 Rp. abgeleitet.

Bezüglich des Waldflächenverlustes wird von einem Verlust von 8-10 Nutzenpunkten ausgegangen. Die Flächen, die nach dem Ausbau versiegelt sind, werden mit einem Verlust von 10 Nutzenpunkten, die unversiegelten mit einem Verlust von nur 8 Nutzenpunkten beaufschlagt. Hierdurch wird der Tatsache Rechnung getragen, dass die unversiegelten Flächen auch nach dem Ausbau einen gewissen Wert, z. B. als Lebensraum für bestimmte Arten besitzen. Die Größe der versiegelten und unversiegelten Flächen ist in Tabelle 75 dargestellt.

Tabelle 75: Anteil der versiegelten und unversiegelten Fläche am Kompensationsbedarf für verlorene Waldflächen

	Nordwest	Nordost	Süd	Punkte
	Kompensationsbedarf in ha			
Summe forstrechtlicher Kompensationsbedarf unversiegelt	269	324	303	8
Summe forstrechtlicher Kompensationsbedarf versiegelt	59	59	104	10

Tabelle 76: Gegenwartswert der verlorenen Waldflächen nach (Infraconsult AG 1999);

Dauer bis gleichwertige Erholungsfunktion wieder hergestellt ist [a]	20	50	100	150
	Gegenwartswert der verlorenen Erholungsfunktion [Mio.€ ₂₀₀₀]			
Variante				
Nordwest	7,4	12,5	15,3	15,9
Nordost	8,6	14,5	17,7	18,4
Süd	9,4	15,8	19,3	20,1

Durch die Ersatzaufforstung fallen diese Kosten nach einer gewissen Zeit nicht mehr an. Der Gegenwartswert wird deshalb wieder in eine Annuität umgerechnet.

Tabelle 77: Jährliche externe Kosten durch den Verlust der Waldflächen nach (Infraconsult AG 1999)

Dauer bis gleichwertige Erholungsfunktion wieder hergestellt ist [a]	20	50	100	150
Variante	Externe Kosten [€ ₂₀₀₀ /a]			
Nordwest	235.200	395.900	482.800	502.600
Nordost	273.000	459.400	560.300	583.300
Süd	297.100	500.100	610.000	635.000

Auch durch die Ersatzaufforstung kann es zu ungewünschten Umweltauswirkungen kommen. In (ROV G2 Teil C9-13+D+E 2001) werden folgende Punkte aufgeführt.

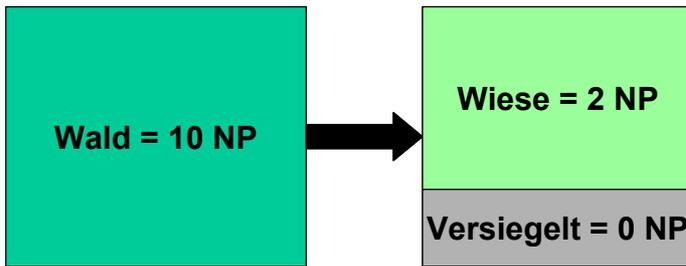
- Veränderung der Eigenart und der Schönheit des Landschaftsbildes sowie des Landschaftserlebens
- Änderung von Sichtbeziehungen
- Beanspruchung beliebter Erholungsbereiche
- Unterbrechung bzw. Behinderung von Kalt- und Frischluftabflussbahnen
- Verlust und Veränderung von Offenlandslebensraum für Pflanzen und Tiere und
- Veränderung des Landschaftswasserhaushaltes.

Als positive Umweltauswirkungen sind erwähnt:

- Schaffung von Waldlebensräumen für Tier und Pflanzen
- Aufwertung der Strukturvielfalt in ausgeräumten Landschaftsräumen und Erholungsgebieten
- Verbesserung des Boden- und Wasserhaushaltes und
- Immissionsschutz.

Zu den externen Kosten, die durch die Ersatzaufforstung entstehen, kann im Rahmen dieses Gutachtens keine Aussage gemacht werden. Den externen Kosten der Ersatzaufforstung steht der externe Nutzen der geschaffenen Erholungsfunktion gegenüber. Allerdings muss davon ausgegangen werden, dass die für die Ersatzaufforstung vorgesehene Fläche vor der Ersatzaufforstung nicht mit 0 Nutzenpunkten bewertet werden kann. Es ergibt sich also ein permanenter Verlust aus dem Produkt der nach dem Ausbau versiegelten Fläche am Flughafen und den Nutzenpunkten der Fläche, die zur Ersatzaufforstung genutzt wird.

Waldrodung für Flughafenbau



Ersatzaufforstung – Land wird aufgewertet

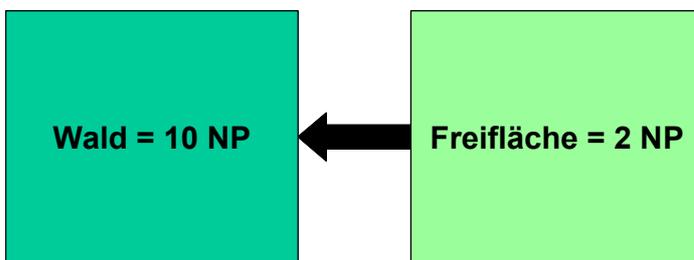


Tabelle 78: Differenz der externen Kosten durch Wiederaufforstung von Land, welches bereits einen Wert bezüglich Natur und Landschaft hat

	Nordwest	Nordost	Süd
Versiegelte Fläche [ha] (Start-/Landebahn, Rollweg und Zusammenhangmaßnahmen)	59	59	104
Externe Kosten des permanenten Verlustes von 2 Nutzenpunkten durch versiegelte Flächen [€ ₂₀₀₀ /a]	20.140	20.140	35.500

6.2.2.3 Externe Kosten des Verlustes von Biotopflächen

Die variantenabhängigen Biotopflächenverluste sind dargestellt in (ROV G2 Teil C9-13+D+E 2001) Seite C-502. Die Waldflächen werden in dieser Darstellung ebenfalls als Biotopflächen bezeichnet und sind in diesen enthalten. Die Waldflächen, die ja schon in den vorhergehenden Abschnitten bewertet wurden, müssen also von den ausgewiesenen Biotopflächen abgezogen werden, nur der Rest wird hier bewertet. Die gesamten Biotopflächenverluste einschließlich der Waldflächen sind in Tabelle 79 aufgeführt.

Tabelle 79: Verlust von Biotopflächen und Teilebensräumen sowie Beeinträchtigungen von Biotopstrukturen [in ha] infolge der Erweiterung des Flughafens

	Nordwest	Nordost	Süd
	Biotopverlust [ha]		
a) Totalverlust	366	401	417
b) sonstige Beeinträchtigung	71	115	122
Summe	437	516	539

Der Wert der Zahlungsbereitschaft für Natur und Landschaft, welcher in der Infraconsult Studie verwendet wurde, kann auch auf Biotopflächen angewendet werden. Im Gegensatz zum Wald wird hier allerdings von einer kürzeren Zeitspanne bis zur gleichwertigen Wiederherstellung der Biotopflächen ausgegangen. Deshalb werden die Werte für die Zeiten 20 und 50 Jahre dargestellt.

Zusätzlich zu den Waldflächen betroffene Biotopflächen

Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass die zusätzlich zu den Waldflächen betroffenen Biotopflächen folgende Eigenschaften haben:

- Die Flächen haben eine niedrige ökologische Wertigkeit, d. h. werden 1:1 kompensiert
- Die Flächen werden nicht versiegelt, d. h. sie werden mit einem Verlust von 8 Nutzenpunkten bewertet.

Tabelle 80: Zusätzlich zu den Waldflächen betroffene Biotopflächen

	Nordwest	Nordost	Süd
Summe Biotopflächen (Totalverlust und sonstige Beeinträchtigung, siehe Tabelle 79)	437	516	539
Summe Ersatzaufforstungsbedarf (siehe Tabelle 71)	328	383	407
Differenz = zusätzliche Biotopflächen	109	133	132

Tabelle 81: Gegenwartswert der externen Kosten des Verlustes von Biotopflächen (ohne Wald) durch den Flughafenausbau

Dauer bis gleichwertige Biotopflächen wieder hergestellt sind [a]	20	50
Variante	Gegenwartswert der externen Kosten [Mio.€2000]	
Nordwest	2,4	4,0
Nordost	2,9	4,9
Süd	2,9	4,8

Durch die Kompensationsmaßnahmen fallen diese Kosten nach einer gewissen Zeit nicht mehr an. Der Gegenwartswert wird deshalb in eine Annuität umgerechnet.

Tabelle 82: Jährliche externe Kosten (Annuitäten) des Verlustes von Biotopflächen (ohne Wald) durch den Flughafenausbau

Dauer bis gleichwertige Biotopflächen wieder hergestellt sind [a]	20	50
Variante	Externe Kosten [€ ₂₀₀₀ /a]	
Nordwest	75.800	125.900
Nordost	91.300	153.600
Süd	90.600	152.500

Die externen Kosten des Verlustes von Biotopflächen, die zusätzlich zu den Waldflächen beansprucht werden und durch den Ansatz von (Infraconsult AG 1999) ermittelt wurden, können zu den externen Kosten des Verlustes der Erholungsfunktion des Walde, ermittelt durch den Ansatz von (Elsasser 2001), addiert werden.

7 Klima

7.1 Methode

7.1.1 Auswirkungen auf das lokale Klima

Die lokal-klimatologischen Auswirkungen des Flughafenausbaus und dessen verschiedenen Varianten werden im ROV Gutachten (ROV G10 2001) untersucht. Es werden drei als wichtig erachtete Phänomene untersucht: Kaltluftabfluss (als Ursache für besondere Auswirkungen auf das Lokalklima), Änderung der Wind- und Temperaturverhältnisse (Stadtklimamodell) und wärmebelastende Situationen („Bioklima“). Die Ergebnisse können in Kürze wie folgt zusammengefasst werden:

Kaltluftabflüsse

Die zeitliche Entwicklung von Kaltluftflüssen (Geschwindigkeit und Richtung) und die Ansammlung von Kaltluft (Kaltluflhöhe) bei windschwachen Strahlungsnächten wurde untersucht. Während dieser wirkt sich eine unterschiedliche Flächennutzung in besonderem Maße auf das Lokalklima aus. Die Ergebnisse werden im ROV-Gutachten folgendermaßen dargestellt:

„Merkliche Änderungen im Kaltluftwindfeld gegenüber der Ist-Situation (2000) aufgrund der geplanten Flächennutzungen findet man nur

- im Bereich der geplanten Flughafenzusatzbebauung
- in den jeweils geplanten Waldrodungsflächen sowie in deren westlichen, nordwestlichen bzw. nördlichen Anschlussgebieten in Bereichen von etwa 0,3 bis zu maximal 1,5 km² Größe und in bis zu 1,5 km Entfernung.“

„...[Kaltluftabsenkungsgebiete] gehen jedoch i.A. nicht über das bestehende und geplante Flughafengelände und Teile angrenzender Waldgebiete hinaus.“ (Seite 94).

Stadtklimamodell

„Die Resultate ... zeigen, dass markante Änderungen der Wind- und Temperaturverhältnisse über den von der jeweiligen Planungsvariante direkt betroffenen Flächen zu erwarten sind.“

Die Auswirkung auf die nähere Umgebung wird mit 100 bis 200 m angegeben und als sehr gering eingestuft. „In den Abend und Nachtstunden können im südlichen Bereich von Kelsterbach (bei den Nord-Varianten) Temperaturerhöhungen in der Größenordnung von 0,5 K eintreten.“

Bioklima

Wärmebelastende Situationen ... sind im Rhein-Main-Gebiet in den Sommermonaten als problematisch zu betrachten.. „Nach der Umnutzung bleiben bei allen drei Planungsvarianten die thermischen Bedingungen dem Prinzip nach erhalten. Große Änderungen ergeben sich auf den umgenutzten Flächen selbst und auf den unmittelbar angrenzenden Flächen. Auswirkungen im weiteren Umfeld sind vernachlässigbar.“ (Seite 98).

Die große Variabilität der thermischen Bedingungen aufgrund der unterschiedlichen Landnutzung wird bei der Ist-Situation als positiv erwähnt, wobei hervorgehoben wird, dass dies auch durch die Umnutzung noch gegeben ist (Seite 99).

Die Südvariante wird als am ungünstigsten eingestuft, mit möglichen Auswirkungen auf den Schlaf. Dies ist jedoch nicht näher quantitativ beschrieben.

Methoden zur Monetarisierung der beschriebenen Auswirkungen existieren nicht; aus den Beschreibungen geht jedoch hervor, dass die Auswirkungen vergleichsweise gering sind, so dass sie hier vernachlässigt werden.

7.1.2 Auswirkungen auf das globale Klima

Emissionen bestimmter Luftschadstoffe, als die wichtigsten gelten CO₂, CH₄ (Methan) und N₂O (Lachgas), sind klimawirksam und tragen zu einer möglichen Erwärmung der Erdatmosphäre bei. Um die Emissionen der Treibhausgase hinsichtlich ihrer Klimawirksamkeit vergleichbar zu machen und in sogenannte CO₂-Äquivalentemissionen umzurechnen, werden im allgemeinen Äquivalenzfaktoren verwendet (siehe Tab. 85).

Tabelle 83: Äquivalenzfaktoren nach (IPCC 2001)

Äquivalenzfaktoren (IPCC 2001)	
kg CO ₂ Ä _{qui.} / kg	
CO ₂	1
CH ₄	23
N ₂ O	296

Andere Effekte durch den Luftverkehr, durch Emissionen in großen Höhen oder durch die Bildung von Kondensstreifen hervorgerufen, werden ebenfalls als u.U. klimawirksam erachtet, sind aber aufgrund der Systemgrenzen dieses Gutachtens nicht zu behandeln.

Grundsätzlich können zwei Ansätze zur Bestimmung von externen Kosten des Treibhauseffektes genannt werden: (1) Schadenskosten und (2) Vermeidungskosten. Theoretisch ist der Schadenskostenansatz dem Vermeidungskostenansatz vorzuziehen. Jedoch sind die Unsicherheiten und die Bandbreiten heutiger Schadenskostenabschätzungen so hoch, dass in Fachkreisen Vermeidungskosten für politische Entscheidungen bevorzugt werden. Dies ist insbesondere möglich, da die Voraussetzungen hierfür gegeben sind (siehe auch Diskussion in Kapitel 2.7.3). Hervorzuheben ist, dass es sich bei den Unsicherheiten keineswegs nur um das Verständnis der Klimamechanismen der Erde handelt, sondern größtenteils um sozioökonomische Bewertungen von Veränderungen, die sich aus dem Klimawandel ergeben.

7.1.2.1 Schadenskosten

Beim Schadenskostenansatz wird analog zum Wirkungspfadansatz versucht, die physikalischen Auswirkungen einer Klimaveränderung zu bestimmen. Als Hauptauswirkungen werden genannt: Erhöhung des Meeresspiegels und extreme Wetterereignisse, Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, Landwirtschaft, Wasserressourcen und Ökosysteme, sowie daraus entstehende Migrationsprozesse. Gesundheitseffekte betreffen insbesondere Krankheiten wie Malaria oder andere Parasiten, Kälte- und Hitzestress. Die Effekte sind überwiegend miteinander gekoppelt.

Neben einer quantitativen Bestimmung der physikalischen Wirkungen sind folgende Themen für die Ableitung externer Kosten wesentlich:

- Die soziale Diskontrate: Die Bewertung von Schäden, die weit in der Zukunft auftreten
- Die Gleichbehandlung der Bevölkerung in verschiedenen Ökonomien der Erde: Anpassungen des Prinzips der Zahlungsbereitschaft an das Einkommen
- Sozio-ökonomische Bedingungen: Möglichkeiten der Anpassung oder Nicht-Anpassung von Gesellschaften an Klimaveränderungen.

Ergebnisse einer neueren Untersuchung aus dem Jahr 2000 werden in Tabelle 84 dargestellt.

Tabelle 84: Marginale externe Schadenskosten von Treibhausgasen (Preisstand €₂₀₀₀) (Friedrich und Bickel 2001)

	Minimum	Low	Central estimate	High	Maximum
CO ₂ (€/tCO ₂)	0,1	1,4	2,4	4,1	16,4
N ₂ O (€/tN ₂ O)	24,3	440,2	748,3	1.272,1	5.242,1
CH ₄ (€/tCH ₄)	1,9	28,2	44,9	71,5	257,0

Aus verschiedenen anderen Studien resultieren zum Teil auch höhere Werte bis 165 € pro t CO₂. Tol, Downing und Fankhauser, die führend auf dem Gebiet der Abschätzung der Kosten des Treibhauseffekts sind, kommen allerdings zu folgendem Schluss: ‘...the marginal costs of carbon dioxide emissions are uncertain and sensitive to assumptions that partially reflect ethical and methodological positions, but are unlikely to exceed 50\$ per tonne of carbon.’. 50\$ pro Tonne Kohlenstoff entsprechen ca. 13,6 \$ pro Tonne CO₂.

7.1.2.2 Vermeidungskosten

Vermeidungskosten sind die Kosten, die aufzuwenden sind, um schädliche Emissionen ganz oder teilweise zu vermeiden. Grenzkosten oder marginale Vermeidungskosten bezeichnen die Kosten, die zur Vermeidung der letzten (teuersten) Einheit zur Erreichung des Zielwertes erforderlich sind.

Die Verwendung von Vermeidungskosten ist nur dann möglich, wenn ein gesellschaftlich akzeptiertes Umweltschutzziel vorliegt und die Annahme getroffen wird, dass dieses Ziel rational in dem Sinne gewählt wurde, dass die marginalen Vermeidungskosten den marginalen Schadenskosten entsprechen.

Ein solches, gesellschaftlich akzeptiertes Ziel ist im Fall der globalen Klimaproblematik vorhanden. Das Kyoto Protokoll der ‘United Nations Framework Convention on Climate Change’ schreibt legal bindende Ziele für die Treibhausgasemissionen vor. Die EU hat die

Verpflichtung ihre Gesamtemissionen von 1990 um 8% bis zu dem Zeitraum 2008 bis 2012 zu senken. Jedoch kann das Ziel von allen EU-Ländern gemeinsam erreicht werden, und daher wurde eine gewisse Verteilung der nationalen Pflichten am 17. Juni 1998 in Luxemburg vereinbart (sog. EU-Bubble). Ein weiteres Umweltschutzziel wäre die 1995 auf dem Klimagipfel in Berlin eingegangene Selbstverpflichtung Deutschlands, seinen Kohlendioxid-Ausstoß bis zum Jahr 2005 um 25 Prozent im Vergleich zu 1990 zu senken. Zum Vergleich: Deutschland ist gegenüber der EU verpflichtet seine CO₂ Emissionen bis 2012 im Vergleich zu 1990 um 21% zu senken. Da bei den meisten Studien die EU-weite Minderung untersucht wurde, wird diese hier zugrundegelegt.

Folgende Studien werden als wesentlich angesehen:

(Fahl et al. 1999) berechnet die marginalen Vermeidungskosten für Deutschland zur Erreichung des Kyoto-Ziels zu 19 € pro Tonne CO₂Äquiv. (Criqui und Viguié 2000) veröffentlichten marginale Vermeidungskosten, um das Kyoto-Ziel für die Europäische Union zu erreichen, zu 37 US\$ pro Tonne vermiedenes CO₂. (Capros und Mantzos 2000) geben u.a. marginale Kosten für ein Szenario an, bei dem der freie Handel mit Emissionszertifikaten weltweit gestattet ist. Dabei steigen die CO₂ Emissionen in der EU um 4% bis 2010. Ein Preis von 19 €₁₉₉₀ wird für die Tonne gehandelten CO₂ angegeben. Eine der neuesten Studien (Economic Evaluation of Sectoral Emission Reduction Objectives for Climate Change, (Blok et al. 2001)), die für die EU durchgeführt wurde, legte ihre Ergebnisse 2001 vor. Für die kostengünstigste Erreichung des EU-Kyotoziels einer 8-prozentigen Reduktion, die alle Treibhausgase mit einschloss, werden 20 €₁₉₉₉ pro t CO₂Äquiv angegeben. Interessanterweise wird das Ziel auch ohne weltweiten Handel, jedoch mit voller Flexibilität bei der Umsetzung zu diesem günstigen Preis erreicht. Volle Flexibilität meint hier europaweite Umsetzung von least-cost Maßnahmen in den einzelnen Sektoren, unabhängig vom EU-Bubble.

Insgesamt liegt die Bandbreite ermittelter Vermeidungskosten zur Erreichung des Kyoto-Ziels für Europa bei 5 bis 42 € pro t CO₂, wobei die hohen Werte ohne Verwendung flexibler Mechanismen entstehen.

Einige weitere Studien verwenden andere Ziele als das Kyoto-Ziel, z. B. berechnet (Maibach et al. 2000) marginale Vermeidungskosten für eine 50% Reduktion für 2030 gegenüber 1990 zu 135 €₂₀₀₀ pro t CO₂.

Empfehlung

Aufgrund der Unsicherheiten in den Berechnungen von Schadenskosten wird für die Bewertung von Treibhausgasemissionen die Verwendung von Vermeidungskosten empfohlen. Als Mittelwert der genannten Studien wird ein Wert von ca. 19 €₂₀₀₀ pro t CO₂Äquiv. verwendet. Für die Sensitivitätsrechnungen wird als unterer Wert 2,4€/t CO₂ (Mittelwert der ermittelten Schadenskosten) und als oberer 37€/t CO₂ (oberer Wert der marginalen Kosten zur Erreichung des Kyoto- Ziels mit flexiblen Mechanismen).

7.2 Ergebnisse

Aufgrund der Unsicherheiten in den Berechnungen von Schadenskosten werden für die Bewertung von Treibhausgasemissionen die Vermeidungskosten angewendet. Der Mittelwert der in Kapitel 7.1 genannten Studien beträgt ca. $19\text{€}_{2000}/\text{t CO}_2\text{Äquiv}$.

Die betrachteten Quellen von Treibhausgasen sind identisch mit den Quellen von Luftschadstoffen, d. h.

- Emissionen der Flugzeuge
- Emissionen des Kfz-Verkehrs und stationäre Quellen auf dem Flughafen
- Emissionen vor- und nachgelagerter Prozesse.

Außerdem konnten auch marginale Auswirkungen der einzelnen AZB-Klassen bezüglich des LTO-Zyklus berechnet werden.

Die Ergebnisse sind im Folgenden zusammengefasst dargestellt.

7.2.1 Marginale Kosten durch Treibhausgasemission im LTO-Zyklus

In Tabelle 85 sind die CO_2 Emissionen der AzB-Klassen dargestellt (abgeleitet aus (ROV G7.3 2001)). Die externen Kosten ergeben sich durch Multiplikation mit dem Wert von $19\text{€}_{2000}/\text{Tonne CO}_2\text{Äquiv}$. Die Zusammensetzung der AzB-Klassen aus unterschiedlichen Flugzeugtypen / Triebwerkskonfigurationen ändert sich zwischen den Szenarien 2000 und 2015. Dadurch kommt es auch zu Veränderungen der CO_2 -Emissionen. Die AzB-Klasse S5.3 ist in G7.3 im Jahr 2015 nicht vorhanden.

Tabelle 85: Marginale Kosten der AzB-Klassen bezüglich der Treibhausgase je LTO-Zyklus

AzB-Klassen	CO ₂ Emission Ist [t]	CO ₂ Emission 2015 [t]	Externe Kosten Ist [€ ₂₀₀₀ /LTO]	Externe Kosten 2015 [€ ₂₀₀₀ /LTO]
S5.1	1,5	0,8	27,9	15,9
S5.2	2,2	2,2	41,0	41,1
S5.3	2,5	---	47,3	---
S6.1	4,3	5,3	82,3	101,4
S6.2	6,7	7,0	127,2	132,8
S6.3	4,8	6,4	92,0	122,0
S7.1	8,7	9,5	165,8	179,9
P2.1	0,5	0,5	9,5	9,7

7.2.2 Externe Gesamtkosten der Treibhausgasemissionen

7.2.2.1 Emissionen der Flugzeuge während der LTO-Zyklen

Die CO₂-Emissionen der Flugzeuge werden durch Multiplikation der SO₂-Emissionen mit dem Wert 2600 näherungsweise abgeschätzt, da keine genaueren Angaben vorhanden sind. Die SO₂-Emissionen sind dem Gutachten G7.3 (Seite 12) der Tabelle: „Flugverkehr bis 600 m über Grund“ entnommen. Diese entsprechen näherungsweise den Emissionen während des LTO-Zyklus. Die externen Kosten der einzelnen Varianten ergeben sich durch Multiplikation mit dem Wert 19 €₂₀₀₀ / t CO₂. Die Ergebnisse sind in Tabelle 86 dargestellt.

Tabelle 86: Externe Kosten der Treibhausgasemissionen der Flugzeuge (externe Gesamtkosten)

	Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
CO ₂ [t/a]	504.400	681.200	819.000	821.600	852.800
Externe Kosten [Mio.€ ₂₀₀₀ /a]	9,6	12,9	15,6	15,6	16,2

7.2.2.2 Emissionen des Kfz-Verkehrs und stationäre Quellen auf dem Flughafen

Die CO₂ Emissionen des Kfz-Verkehrs und der stationären Quellen beziehen sich auf die in G7.3 (Seite 12) in den Tabellen Hilfsaggregate und Probeläufe, sowie die in G7.2 in den Tabellen 4.1, 4.3 und 4.4 dargestellten Werte.

Tabelle 87: Externe Kosten der Treibhausgasemissionen des Kfz-Verkehrs und stationäre Quellen

	Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
CO ₂ [t/a]	175.000	206.000	256.800	256.800	256.800
Externe Kosten [Mio.€ ₂₀₀₀ /a]	3,3	3,9	4,9	4,9	4,9

7.2.2.3 Treibhausgasemissionen vor- und nachgelagerter Prozesse

Das Wertegerüst und die Vorgehensweise zur Berechnung der externen Kosten bezüglich der Treibhausgasemissionen ist beschrieben im Kapitel 3.2.3. Die Emissionen vor- und nachgelagerter Prozesse teilen sich auf in

- Strombereitstellung
- Kraftstoffbereitstellung
- Fernwärme/Fernkälte.

Strombereitstellung

Die aus der Treibhausgasemission resultierenden externen Kosten sind in Tabelle 88 dargestellt. Sie ergeben sich aus dem Stromverbrauch und den spezifischen externen Kosten durch Treibhausgase im Jahre 2000 von 1,10 €-Cent₂₀₀₀/kWh und im Jahre 2015 von 0,99 €-Cent₂₀₀₀/kWh. Die Ermittlung der spezifischen externen Kosten durch Treibhausgase des deutschen Strommix ist in Kapitel 3.2.3.1 beschrieben.

Tabelle 88: Externe Kosten der Treibhausgasemissionen, verursacht durch die Strombereitstellung

	Externe Kosten der Strombereitstellung (Treibhauseffekt) [Mio.€ ₂₀₀₀ /a]		
	Ist	Null	Planungsfälle
Stromverbrauch [GWh/a]	568	700	710
Externe Kosten [LTO, Mio.€ ₂₀₀₀ /a]	6,3	6,9	7,0

Kraftstoffbereitstellung

Zur Berechnung der externen Kosten der Treibhausgasemissionen durch die Kraftstoffbereitstellung (Kerosin für den LTO-Zyklus) wurden Emissionsfaktoren aus (TRL et al. 1999) verwendet (vergl. Tabelle 27), welche mit der benötigten Menge an Treibstoff (vergl. Tabelle 28) multipliziert wurden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 89 dargestellt.

Tabelle 89: Externe Kosten der Treibhausgasemissionen, verursacht durch die Treibstoffbereitstellung (Kerosin für LTO-Zyklus)

Externe Kosten der Treibstoffbereitstellung (Treibhauseffekt) [Mio.€₂₀₀₀/a]					
	Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
CO ₂ Äquiv [LTO, t/a]	46.100	62.300	74.900	75.100	78.000
Externe Kosten [LTO, Mio.€ ₂₀₀₀ /a]	0,9	1,2	1,4	1,4	1,5

Externe Kosten des Treibhauseffekts durch Wärme- und Kälteversorgung

Für die Berechnung der externen Kosten der Wärme- und Kälteversorgung wurden die Daten aus (ROV Raumverträglichkeitsstudie (RVS) Band C 2001) verwendet.

Tabelle 90: Wärme- und Kälteversorgung für die Szenarien

[Mio. kWh/a]	Gas / Wärme	Kälte
Ist	340	100
Null	475	180
Planungsfälle	475	180

Externe Kosten der Wärmeversorgung

Tabelle 91: Spezifische Emissionswerte für Fernwärme aus dem Heizkraftwerk Niederrad (persönliche Auskunft von Mainova AG)

Treibhausgas	[g/MWh]
CO ₂	58.000

Die Emissionen, die durch die Wärmeversorgung anfallen sind in Tabelle 92 dargestellt

Tabelle 92: Emissionen des Heizkraftwerkes Niederrad bezüglich der Fernwärme

	CO₂-Emissionen
	Tonnen pro Jahr
Ist	19.732
Null	27.550
Planungsfälle	27.550

Die aus den Emissionen resultierenden externen Kosten durch CO₂ sind in Tabelle 93 dargestellt.

Tabelle 93: Externe Kosten der Wärmeversorgung

[€ ₂₀₀₀ /a]	Ist	Null	Planungsfälle
Externe Kosten CO ₂	374.900	523.450	523.450

Externe Kosten der Kälteversorgung

Zur Berechnung der externen Kosten der Kälteversorgung sind keine Emissionsdaten vorhanden. Daher wird eine Abschätzung bezüglich der externen Kosten der Kälteversorgung gemacht, indem die externen Kosten der Wärmeversorgung pro MWh wieder mit einem Faktor 1,8 (persönliche Auskunft Mainova AG) multipliziert werden. Die Ergebnisse dieser Rechnung sind in Tabelle 94 dargestellt.

Tabelle 94: Externe Kosten der Kälteversorgung durch Treibhausgase

[€ ₂₀₀₀ /a]	Ist	Null	Planungsfälle
Externe Kosten CO ₂	198.360	357.048	357.048

Ein Teil der Kälte wird durch Kompressionskältemaschinen erzeugt. Eine genaue Angabe wie groß dieser Teil ist, ist nicht vorhanden. Unter der Annahme, dass der Kältebedarf anhand elektrisch betriebener Kompressionskältemaschinen erzeugt wird, ergeben sich folgende externe Kosten.

Die externen Kosten des Strombedarfs bezüglich CO₂ betragen im Jahre 2000 ca. 1,10 €-Cent₂₀₀₀/kWh und im Jahre 2015 ca. 0,99 €-Cent₂₀₀₀/kWh.

Tabelle 95: Stromverbrauch durch Kälteerzeugung und die daraus resultierenden externen Kosten der Treibhausgase

	Strom- verbrauch	Externe Kosten des Strombedarfs durch CO₂-Emission
	[Mio. kWh/a]	[Mio.€ ₂₀₀₀ /a]
Verbrauch 2000	24,1	0,27
Prognosenußfall	43,4	0,43
Planungsfall	43,4	0,43

Die Ergebnisse in Tabelle 94 und Tabelle 95 sind zwei alternative Abschätzungen und können nicht addiert werden.

8 Infrastruktur- und Betriebskosten

Unter Infrastrukturkosten werden hier die Kosten zur Bereitstellung der Infrastruktur verstanden, die einen Flugverkehr am Flughafen Frankfurt/Main ermöglichen.

Infrastruktur umfasst materielle, institutionelle und personelle Komponenten. Erstere umfassen die Gesamtheit aller Anlagen, Ausrüstungen und Betriebsmittel, die zur Energieversorgung, Verkehrsbedienung und Telekommunikation dienen. Unter institutioneller Infrastruktur werden Normen, Einrichtungen und Verfahrensweisen in ihrer Verfassungswirklichkeit verstanden. Hierunter fallen Institutionen, die den Luftverkehr ermöglichen. Die personelle Infrastruktur besteht aus Zahl und Eigenschaft der Menschen im Hinblick auf ihre Fähigkeiten, zum Flugverkehr.

Von Interesse im Rahmen dieses Gutachtens sind sogenannte „ungedekte“ Infrastrukturkosten. Im eigentlichen Wortsinn gibt es diese zwar nicht: die Kosten wurden von jemandem bezahlt, sind also immer gedeckt. Was mit „ungedeckt“ im Rahmen dieses Gutachtens gemeint ist, ist, dass die Kosten nicht vom Verursacher, sondern von einem Dritten unter Verletzung des Verursacherprinzips getragen werden. Allerdings gibt es ja gute Gründe, dass dieser Dritte die Kosten übernimmt (würde er es sonst tun?). Insofern ist die Frage zu diskutieren, ob es überhaupt „falsch“ zugeordnete Kosten gibt.

Im Zusammenhang mit dem Flughafen handelt es sich dann um Kosten, die nicht von den Nutzern getragen werden, sprich von den Fluggästen. Stellvertretend für die Fluggäste steht die Fraport AG, die die für sie anfallenden Kosten von den Fluggesellschaften einfordert.

Betriebskosten der Infrastruktur werden als Teil der Infrastrukturkosten angesehen und sind variable Kosten, ihre Höhe hängt also vom Flugvolumen ab.

8.1 Zielsetzung und Abgrenzung

Ziel ist es, die Infrastrukturkosten des Flugverkehrs am Flughafen Frankfurt/Main zu ermitteln, die nicht vom Verursacher bezahlt werden, bei denen man aber ggf. nach den allgemein gültigen Zuordnungsprinzipien eine Übernahme durch den Verursacher erwarten könnte.

Ziel ist es nicht, den Wert des Flughafens (Kapitalstock), der sich aus der Reihe der Investitionen seit der Gründung, abzüglich der Abschreibungen ergibt, zu ermitteln. Vielmehr sind aufgrund der generellen Zielsetzung des Gutachtens (Investitionsalternativen/Ausbau und marginale Kosten) nur die im heutigen Betrieb und in der Zukunft anfallenden Kosten und Investitionen wesentlich. Die in der Vergangenheit getätigten Investitionen sind als „verlorene Kosten“ (sunk costs) für das zukünftige Handeln unerheblich.

Daher wird im Gutachten für alle Fälle, ausgehend vom Referenzfall „heute“, diskutiert, inwieweit variable Kosten, die zur Aufrechterhaltung des Flugbetriebs entstehen, aber nicht durch die Fraport AG gedeckt werden, identifiziert werden können. Darüber hinaus wird untersucht, ob es Anzeichen für eine öffentliche Bezuschussung des geplanten Ausbaus des Flughafens gibt.

Neben direkten Zuschüssen lassen sich auch indirekte Subventionen, die die Kosten für die Infrastrukturbereitstellung des Flughafens vermindern, in diese Kategorie einordnen, hierzu zählen insbesondere Steuerbefreiungen, die daher auch untersucht werden

8.2 Betrachtungen zu möglichen externen Komponenten

8.2.1 Institutionelle Infrastrukturkosten

Zu den institutionellen Infrastrukturkosten zählen Kosten der Deutschen Flugsicherung und des Deutschen Wetterdienstes. Beide Institutionen sind privatrechtlich organisiert, befinden sich jedoch im Besitz des Bundes. Mit beiden Institutionen wurden Gespräche geführt, die zu folgenden Aussagen führten.

- *Deutsche Flugsicherung (DFS)*
Aufgrund des Systems der Gebührenerhebung ist eine Deckung aller Kosten, die für die Flugsicherung, den Betrieb, Dienstleistungen und Einrichtungen anfallen, gegeben. Es treten weder fixe noch variable Infrastrukturkosten auf, die durch Dritte oder die Gesellschaft zu decken sind (Möller 2002)
- *Deutscher Wetterdienst (DWD)*
Beim DWD werden alle anfallenden Kosten durch Gebührenerhebung an die Luftfahrtbetreibenden gedeckt (Leykauf 2002).

Da keine gegenteiligen Informationen vorliegen, ist davon auszugehen, dass diese Leistungen sämtlich von der Fraport AG – und damit letztlich vom Verursacher der Kosten getragen werden.

8.2.2 Steuerbefreiungen

Das „Nichtabschöpfen“ von Steuern kann als „indirekte Subvention“ bezeichnet werden, insbesondere dann, wenn andere Verkehrsträger eine Steuerbefreiung nicht erhalten und damit einen Wettbewerbsnachteil erleiden. Überprüft wurden folgende nicht bezahlte Steuern:

Den Flughafenbetreiber betreffend:

- Grundsteuerbefreiung von Flughäfen
- Steuerfreier Einkauf von Waren (tax-free shopping).

Die Fluggesellschaften betreffend

- Befreiung internationaler Flugtickets von der Mehrwertsteuer
- Internationale Befreiung von Kerosin von der Mehrwertsteuer
- Mineralölsteuerbefreiung für den gewerbsmäßigen Einsatz von Luftfahrtbetriebsstoffen

Bei der *Grundsteuerbefreiung* ist darauf hinzuweisen, dass auch andere Verkehrsträger von der Steuer befreit sind, der Gesetzgeber hat offenbar beim Verkehr eine Befreiung generell für angemessen gehalten. Dies kann durchaus unterschiedlich bewertet werden, allerdings würde eine generelle Grundsteuerpflicht Bahn- und Straßenverkehr wesentlich höher belasten als den Flugverkehr, da dort der Flächenverbrauch in Relation zu den Verkehrsleistungen ungleich höher ist.

In diesem Sinne ist die Steuerpolitik durchaus konsistent, wenn eine Grundsteuerbefreiung hinsichtlich des Flughafengeländes besteht, da bei Grundsteuerpflicht des Flughafenbetreibers ja eine steuerliche Benachteiligung gegenüber anderen Verkehrsmitteln stattfinden würde. Die Grundsteuerbefreiung für die Eisenbahn und anderen öffentlichen Verkehr (unabhängig von der Rechtsform oder den Eigentumsverhältnissen) ist durch § 4 Nr. 3 Punkt a) des Grundsteuergesetzes (GrStG) von 1973 festgelegt:

(Von der Grundsteuer befreit sind ...): „die dem öffentlichen Verkehr dienenden Straßen, Wege, Plätze, Wasserstraßen, Häfen und Schienenwege sowie die Grundflächen mit den diesem Verkehr unmittelbar dienenden Bauwerken und Einrichtungen, zum Beispiel Brücken, Schleuseneinrichtungen, Signalstationen, Stellwerke, Blockstellen“. Für Verkehrsflughäfen und Verkehrslandeflächen findet sich eine ähnliche Regelung im darauf folgenden Punkt b) desselben Paragraphen geregelt.

Somit stellt eine solche Steuerbefreiung übergeordnetes Bundesrecht dar. Aus der Gesetzestextformulierung „unmittelbar dienenden“ (sowohl bezüglich der Verkehrsflughäfen als auch des sonstigen öffentlichen Verkehrs) kann geschlossen werden, dass nur die Flächen für den Verkehrsbetrieb selbst steuerbefreit sind, ebenso etwa die Flächen für Bahnsteige. Dies ergibt sich auch aus den exemplarisch genannten Betriebseinrichtungen. Der vom Gesetzgeber intendierte Sinn der Grundsteuer ist ja die Abschöpfung der wirtschaftlichen Vorteile bei der Nutzung von Grundeigentum. Bei dem öffentlichen Verkehr dienenden Flächen werden diese eben nicht „eigenwirtschaftlich“ genutzt, sondern in einem höheren (öffentlichen) Interesse, deshalb sind sie steuerbefreit.

Gemischt genutzte Grundstücke (z. B. Ladenpassagen im Flughafen- und Bahnhofsbereich) können unterschiedlich beurteilt werden, siehe § 8 GrStG, wonach bei Trennbarkeit der Flächennutzung nur der für begünstigte Zwecke genutzte Teil steuerbefreit ist. Ist eine Trennbarkeit nicht möglich (z. B. ein Kiosk auf dem Bahnsteig), dann entscheidet die überwiegende Nutzung, d. h. es liegt wohl auch hier eine Steuerbefreiung vor. Diese Zuordnungsprobleme betreffen aber Flug- und Eisenbahnbetrieb in gleicher Weise. Prinzipiell könnte man jedoch vertreten, dass für die Fläche der Ladenpassagen im Flughafen die

Grundsteuerbefreiung als indirekte Subvention eingestuft werden kann – da diese Fläche im Vergleich zur Gesamtfläche des Flughafens relativ gering ist, ist der zu diskutierende Betrag jedoch relativ gering.

Oft wird nun argumentiert, dass durch die Grundsteuerbefreiung im Vergleich zu anderen Nutzungen eine Bevorzugung oder indirekte Subvention zuteil würde, deren Höhe sich bestimmen würde in Abhängigkeit davon, wie hoch die Grundsteuersätze der beteiligten Gemeinden (Frankfurt/Main, Groß-Gerau, ...) für private Grundeigentümer sind. Eine solche Größe ist prinzipiell ermittelbar, wenn man argumentieren würde, dass eine Grundsteuer für den Flughafen zu erheben wäre.

In Zusammenhang mit der oben erläuterten Intention des Gesetzgebers erscheint jedoch ein Vergleich der Gestalt, dass sich auf dem für den Ausbau des Flughafens zusätzlich benötigten Gelände alternativ etwa ein Industriebetrieb ansiedeln würde, der im Gegensatz zum Flughafen grundsteuerpflichtig wäre, aus folgendem Grund nicht relevant: Solche Industrieansiedlungen oder andere Gewerbegebiete stehen ja nicht in Konkurrenz zum Flughafenbetrieb; vielmehr ist ein leistungsfähiger Flughafen in einer Großstadt bzw. dem zugehörigen Ballungsraum und Gesamteinzugsgebiet tendenziell als ein Komplementärgut zu interpretieren, das für einen Großteil der Unternehmen einen entscheidenden qualitativen und quantitativen Standortfaktor (und damit in gewisser Weise ein öffentliches Gut) darstellt.

Der *Einkauf steuerfreier Waren* (dies betrifft nicht nur die Mehrwertsteuer, sondern zum Beispiel auch die Tabak- und Alkoholsteuer) für Passagiere, die in Länder außerhalb der EU fliegen, kann als indirekte Subvention angesehen werden (DIW et al. 2002). Die Erlaubnis, Waren steuerfrei zu verkaufen, erlaubt es dem Flughafenbetreiber, höhere Mieten von den Betreibern der Läden zu erhalten. In (DIW et al. 2002) wird dieser Vorteil für den Flughafen Schiphol auf 2,3 € pro Passagier für Passagiere, deren Flug außerhalb der EU endet, geschätzt. Für Frankfurt sind keine Zahlen bekannt, jedoch könnte sich eine ähnliche Größenordnung ergeben. Bei einem Fluggastaufkommen im Ausbaufall von 81,5 Mio., d.h. bei ca 41 Mio. abfliegenden Passagieren, und unter der Annahme, dass davon 40 % zu Zielen außerhalb der EU fliegen, ergibt sich ein Vorteil von 38 Mio. € pro Jahr. Derzeit (2000) beträgt dieser Wert 23 Mio. € pro Jahr, im ‚Nullfall‘ ohne Ausbau 2015 27 Mio. € pro Jahr.

Die nachfolgend diskutierten Steuerbefreiungen betreffen nicht den Betrieb des Flughafens, sondern den Betrieb der Flugzeuge, sie beeinflussen also nicht die Infrastrukturkosten des Flughafens. Sie sind hier nachrichtlich mit aufgeführt, weil sie die Flugticketpreise und damit die Nachfrage nach Flügen auch ab Frankfurt beeinflussen.

Die Befreiung von der *Mehrwertsteuer* (als allgemeiner Verbrauchssteuer) *bei internationalen Flugtickets* kann als Subvention betrachtet werden, soweit diese Steuern bei den anderen Verkehrsmitteln anfallen. Es kann auch argumentiert werden, dass der Allgemeinheit Mittel verloren gehen, die ihr bei Nutzung alternativer Transportmittel zugeflossen wären. Die Höhe der entgangenen Steuer kann hier, weil die entsprechenden Umsatzzahlen fehlen, nicht

beifiziert werden. Als Anhaltspunkt sei aber eine Zahl aus (DIW et al. 2002) genannt: Die Vorteile der Lufthansa insgesamt (also nicht nur am Standort Frankfurt) durch die Mehrwertsteuerbefreiung auf internationale Tickets betragen etwa 250 Mio.€ pro Jahr. Ein Vorteil wird dabei dann angerechnet, wenn die anderen Verkehrsträger Mehrwertsteuer beim internationalen Transport zahlen müssen, dies ist nach (DIW et al. 2002) insbesondere beim internationalen Freizeitverkehr der Fall.

Da die Befreiung von der Mehrwertsteuer im Wettbewerb mit anderen Verkehrsträgern wettbewerbverzerrend wirkt, erscheint es als durchaus sinnvoll, hier nach Wegen zu suchen, eine Besteuerung zu ermöglichen.

Dies ist im internationalen Kontext jedoch schwierig und würde natürlich eine internationale Einigung erfordern: Bereits innerhalb der Europäischen Union können die unterschiedlichen Mehrwertsteuersätze in Abhängigkeit von der Intensität des internationalen Wettbewerbs auf Märkten einen durchaus wesentlichen Kostenfaktor ausmachen. Dieser würde sich gerade bei internationalen Flügen extrem auf die Wettbewerbsposition der Luftverkehrsgesellschaften unterschiedlicher Länder auswirken – vermutlich besteht aus diesem Grunde eine stabile Akzeptanz der Staaten über die Mehrwertsteuerbefreiung der internationalen Flüge, um die eigenen Luftverkehrsgesellschaften nicht zu benachteiligen oder zu einer Abwanderung ins Ausland zu bewegen. Darüber hinaus erscheint eine konsistente Festlegung und Zuordnung (welche Leistungen im Zusammenhang mit dem Flug ist den Steuersystemen der beteiligten Länder zuzuordnen) schwierig.

Ähnliche Gründe haben dazu geführt, dass *Kerosin* als Flugzeugtreibstoff bisher durch internationale Abkommen von der *Mehrwertsteuer* befreit ist. In Deutschland wird über eine Einführung dieser Steuer in den letzten Jahren nachgedacht, diese Idee wird von Umweltminister Trittin öffentlich verteidigt und auch in der öffentlichen Diskussion überwiegend befürwortet (siehe etwa (Treber et al. 2003)). Auch hier wird aber die Notwendigkeit erkannt, diese Einführung aus Gründen der Wettbewerbsgleichheit auf die internationale Ebene auszudehnen. Es kann vermutet werden, dass bei einem Vorstoß Deutschlands dies zumindest innerhalb der Europäischen Union Nachahmer findet und zumindest für Binnenflüge durchsetzbar wäre. Diese Mehrwertsteuerbefreiung stellt unstrittig eine Ungleichbehandlung gegenüber dem privaten Individualverkehr sowie dem sonstigen Straßen- und Schienenverkehr dar. Betrachtet man nur die Menge an Kerosin, die während des LTO-Zyklus in Frankfurt verbraucht wird – dies sind ca. 200 000 m³ und legt einen Preis von 28 €-Cent pro Liter an, so ergibt sich ein Mehrwertsteuerausfall von 9 Mio.€ pro Jahr.

Anders stellt sich allerdings der Vergleich bei der Befreiung des Luftverkehrs von der *Mineralölsteuer* dar. Berücksichtigt man bei der Mineralölsteuer, dass dieser Steuer Aufwendungen des Staates für Infrastruktur (Straßenbau) und auch externe Kosten gegenüberstehen, die die Einsetzung einer Sondersteuer rechtfertigen könnten, so ist eine gleichartige Übernahme dieser Steuer für den Flugverkehr in gleicher Höhe nicht unbedingt

gerechtfertigt. Da insbesondere die Infrastruktur hier vom Flughafenbetreiber bezahlt wird, sind vielmehr die errechneten externen Kosten (natürlich auch die des cruise) beim Flugverkehr zu internalisieren.

In Kapitel 11.3 zu vorgeschlagenen Internalisierungsstrategien wird noch explizit darauf eingegangen, dass – soweit sie der Internalisierung global wirksamer Schäden wie z. B. dem verursachten Treibhauseffekt entspricht – eine Kerosinsteuer (und zwar möglichst weltweit in einheitlicher Höhe!) durchaus eine geeignete Maßnahme wäre. Für andere (lokal wirksame) Schäden eignen sich allerdings, wie aus diesem Kapitel hervorgeht, andere Instrumente. Daher erscheint eine pauschale Forderung, Mineralölsteuern etwa in gleicher Höhe für alle Treibstoffe zu erheben, nicht gerechtfertigt, da die Belastungen und externen Effekte beim Flugverkehr eben typischerweise andere Eigenschaften besitzen als im Straßen- oder Schienenverkehr.

8.2.3 Sicherheitsdienstleistungen

Ein großer Teil der folgenden Aussagen in diesem Teilkapitel, die die Finanzierung der Dienstleistungen des Bundesgrenzschutzes sowie der von ihm auf andere übertragenen Tätigkeiten betreffen, stützen sich auf Angaben des Bundesministeriums des Innern (Behder 2003).

Dem Bundesgrenzschutz obliegt der grenzpolizeiliche Schutz des Bundesgebietes (Grenzschutz) (§2 (1) BGS). Ihm obliegt ebenfalls, laut Bundesgrenzschutzgesetz, der Schutz vor Angriffen auf die Sicherheit des Luftverkehrs (§§ 29 c, 29 d des Luftverkehrsgesetzes), soweit diese Aufgaben nach § 31 Abs. 2 Nr. 19 des Luftverkehrsgesetzes in bundeseigener Verwaltung ausgeführt werden.

§ 29 c Luftverkehrsgesetz regelt hierbei explizit die Besonderheit, dass privatwirtschaftliche Sicherheitskräfte unter Oberaufsicht des BGS bestimmte hoheitliche Aufgaben wahrnehmen können. § 32 Luftverkehrsgesetz stellt die Rechtsgrundlage für die Kostenverordnung der Luftfahrtverwaltung (LuftKostV) dar; da dieses Gesetz Kostendeckung verlangt, muss diesem Grundsatz in dieser Kostenverordnung auch Rechnung getragen werden.

In der Praxis werden jeweils die Luftsicherheitsgebühren bis Anfang Mai jedes Jahres (auf der Grundlage prognostizierter Passagierdaten und Kostengrundlagen) bestimmt und veröffentlicht, die dann ab dem darauf folgenden 1. November, dem Beginn des Winterflugplans, für ein Jahr gelten (Prinzip der Jährlichkeit). Hierbei besteht laut Aussage von (Behder 2003) in der Tat ein Zielkonflikt zwischen der Planungssicherheit und Kalkulierbarkeit einerseits, die für die Fluglinien und Reiseveranstalter gewährleistet sein soll, und andererseits der tatsächlich zu erreichenden exakten Kostendeckung, die ja eine nachträgliche Übereinstimmung zwischen Planungs- und Istkosten voraussetzt. Diesen Konflikt zu lösen, stellt im Einzelfall ein schwieriges Problem dar; man versucht hierbei, unterjährliche Korrekturen der Gebühren möglichst zu vermeiden.

Den Bundesländern wird das Recht eingeräumt, die Luftsicherungsaufgaben auf den Bundesgrenzschutz zu übertragen. Seit 2000 ist der Bundesgrenzschutz bundeseinheitlich auf allen 15 großen deutschen Flughäfen einschließlich Frankfurt/Main für die Luftsicherungsaufgaben zuständig. Nach heutigem Stand sind dies nur noch 14 (für Kassel-Calden trifft dies nicht mehr zu). Bei den sonstigen kleineren Flughäfen verbleibt die Luftsicherung bei den Bundesländern; für München besteht eine Sonderregelung zwischen Bund und Ländern.

Der grenzpolizeiliche Schutz ist eine hoheitliche Aufgabe, deren Kosten damit auch nicht auf bestimmte Verkehrsträger abgewälzt werden können. Dies gilt im Prinzip genauso für andere polizeiliche Aufgaben wie Personen- und Grenzkontrollen, die in gleicher oder ähnlicher Weise bei allen grenzüberschreitenden Personen- und Güterbeförderungen anfallen, oder für die Tätigkeit des Zolls. Für den Zoll ist allerdings das Bundesfinanzministerium und nicht das Innenministerium zuständig, da dessen Aufgabe ja in erster Linie der Steuererhebung und weniger der Sicherheit dient.

Aufwendungen zum Schutz von Flügen und Flugzeugen vor kriminellen Aktivitäten und terroristischen Anschlägen sind dagegen spezifisch für das Verkehrsmittel Flugzeug. Hier ist (wie die Ereignisse des 11. September 2001 gezeigt haben) von spezifischen Risiken des Flugzeugverkehrs auszugehen, die nicht in gleichem Umfang bei der Wahl anderer Verkehrsmittel auftreten. Es ist daher zu überprüfen, inwieweit die erhobene Flugsicherheitsgebühr die Kosten deckt.

Nach § 29 c der Luftkostenverordnung sind die routinemäßige Kontrolle von Passagieren und Reisegepäck, der bewaffnete Schutz von Liegenschaften (d. h. der Kontrollstellen), die Bestreifung des Flughafengeländes und der bewaffnete Schutz gefährdeter Luftfahrzeuge kostenpflichtige Handlungen und es werden Luftsicherheitsgebühren getrennt für jeden Flughafen erhoben. Diese Luftsicherheitsgebühr wird von den Luftverkehrsgesellschaften in den Ticketpreisen an die Passagiere weitergegeben.

Nur diese in § 29 c LuftKostV erstgenannte Kontrolltätigkeit – die routinemäßige Kontrolle von Passagieren und Reisegepäck - kann vom BGS auf (von der Bezahlung her kostengünstigere) Mitarbeiter eines privaten Sicherheitsunternehmens unter Oberaufsicht des BGS übertragen werden, bzw. im Fall Frankfurt/Main auf BAT-Angestellte der Fraport AG selbst, wie weiter unten unter dem Stichwort „Frankfurter Modell“ noch erläutert wird. Hierbei wird jeder Mitarbeiter personenbezogen beliehen, d. h. einzeln (und nicht etwa sein Arbeitgeber) aufgrund seiner Ausbildung ermächtigt, solche hoheitlichen Funktionen wahrzunehmen – und diese personenbezogenen Ermächtigungen können auch widerrufen werden, etwa bei Fehlverhalten.

Die drei im folgenden in § 29 c LuftKostV genannten Funktionen, also der bewaffnete Schutz von Liegenschaften (d. h. der Kontrollstellen), die Bestreifung des Flughafengeländes und der

bewaffnete Schutz gefährdeter Luftfahrzeuge, werden auch weiterhin ausschließlich durch Beamte des Bundesgrenzschutzes durchgeführt.

Der Bund muss zunächst sowohl die in § 29 c genannten kostenpflichtigen Handlungen der BGS-Beamten als auch die der Mitarbeiter des privaten Sicherheitsunternehmens zahlen (die gemäß einer Pauschale in der Ausschreibung anhand der geleisteten Kontrollstunden bestimmt werden) und refinanziert dann diese Kosten in voller Höhe durch die Luftsicherheitsgebühr.

Die Besonderheit des „Frankfurter Modells“ besagt nun, dass anders als bei den anderen Großflughäfen die Durchsuchung des Passagiers einschließlich Hand- und Reisegepäck (aufgrund des Ergebnisses einer Ausschreibung) nicht auf Mitarbeiter eines externen privaten Sicherheitsunternehmens, sondern auf Mitarbeiter der Fraport AG übertragen und durch diese durchgeführt wird. Somit erhält in diesem Fall Fraport selbst anstelle des privaten Sicherheitsunternehmens für diese durchgeführten Dienstleistungen die Kosten gemäß denselben Sätzen vom Bund ersetzt. Dies ändert aber nichts an der Antwort auf die Fragestellung, ob die Flugsicherheitsgebühr tatsächlich kostendeckend ist, weil diese Kosten über die Flugsicherheitsgebühr letztlich vom Passagier bezahlt werden. Dies ist grundsätzlich aufgrund der gesetzlichen Vorgabe (von den erläuterten Anpassungsschwierigkeiten aufgrund des zeitlichen Vorlaufs der Gebührenfestsetzung abgesehen) gegeben.

Die Luftsicherheitsgebühr liegt für Frankfurt mit derzeit 6,58 € pro Fluggast einschließlich Transferpassagieren etwa im Mittel der Flughäfen Deutschlands. Es hat hierbei eine Anpassung nach oben gegeben (von 5,71 €/Fluggast vor dem 1.11.2002). Diese rührt daher, dass als Konsequenz des Anschlags vom 11.9.2001 eine hundertprozentige Reisegepäckkontrolle aller Passagiere eingeführt wurde (vorher war nur eine Stichprobenkontrolle erforderlich). Da das derzeit in Frankfurt vorhandene provisorische Kontrollsystem für diesen Zweck weniger effizient ist, ist ein neues in Planung. Somit ist (diese Aussage gilt aber allgemein für alle deutschen Flughäfen) die Kalkulation der Flugsicherheitsgebühren nach der Verschärfung der Sicherheitsmaßnahmen aufgrund des 11.9. stärker in Bewegung geraten.

Im Prinzip sind somit die Kosten durch die Flugsicherheitsgebühr gedeckt. Inwieweit es im Einzelfall zu Unterdeckungen (z. B. wegen der temporären Starrheit des fixen Preissystems) kommt, konnte nicht ermittelt werden.

8.2.4 Sonstige öffentliche Zuschüsse

Nach herrschender Diskussion werden, wie auch aus der folgenden Argumentation hervorgeht, unentgeltliche Leistungen der öffentlichen Hand - in Form von Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen, Subventionen und Steuererleichterungen bis hin zur Bereitstellung öffentlicher Güter - nicht den externen Kosten im wohlfahrtsökonomischen Sinne zugerechnet. Selbst wenn eine *grundsätzliche Einbeziehung* solcher Aufwendungen zu der Kategorie der externen Kosten noch befürwortet werden könnte, lässt sich im Einzelfall nicht eindeutig entscheiden, in welcher Weise die relevanten Posten öffentlicher Ausgaben sachlich und zeitlich einer bestimmten Leistung *zugerechnet* werden sollen, d. h. eine Zuordnung zu marginalen Kosten ist in der Regel nicht möglich.

Einerseits sind Subventionen und andere Zuwendungen des Staates in den Preisen nicht enthalten - also externe Kosten. Andererseits gilt, dass diese Zuwendungen von Seiten des Staates ja mit voller Absicht gezahlt werden - offenbar sehe der Staat daher diese Zuwendungen als Auslöser für einen *externen Nutzen*, der mindestens so hoch wie die Zuwendungen ist und diese daher kompensiert. Der Argumentation kann entgegengehalten werden, dass es sich bei den Handlungsmotiven staatlicher Entscheidungsträger für die Erteilung solcher Zuwendungen um sehr unterschiedliche politische Interessen und Ziele bzw. Zugeständnisse an Interessengruppen handeln kann. Es ist daher keineswegs zwingend anzunehmen, dass die Wirkungen dieser Maßnahmen in gleicher Höhe „externe Nutzen“ im Sinne der ökonomischen Wohlfahrtstheorie darstellen. Pointiert formuliert, hängt somit die Frage, ob öffentliche Zuwendungen externe Kosten darstellen, wiederum von der Frage ab, ob diese Zuwendungen ökonomisch gerechtfertigt sind oder nicht. Es bleibt als Schlussfolgerung zu ziehen, dass entweder die damit beabsichtigten Wirkungen eine Subventionierung rechtfertigen - dann sind die gezahlten Subventionen nicht als externe Kosten in Rechnung zu stellen - oder die Subventionierung nicht gerechtfertigt werden kann; im letzteren Fall sollten aber konsequenterweise die Subventionen abgebaut werden.

Ein Vergleich externer Kosten, der als Grundlage für *zukünftige Entscheidungen* dienen soll, soll und darf weiterhin keine Kosten enthalten, die bereits (bis zum heutigen Zeitpunkt) angefallen sind, sofern sie *sunk costs* darstellen. Mit der Frage nach der Irrelevanz vergangener Aufwendungen eng verbunden ist der *marginale* Blickwinkel der Betrachtung: Welche öffentlichen Leistungen sind unter diesem Blickwinkel relevant, d. h. stehen mit einem zusätzlichen LTO-Zyklus in Zusammenhang bzw. sind diesem zuzurechnen?

Allerdings stellen sich diese Fragen im konkreten Fall als irrelevant heraus: In den Geschäftsberichten der Fraport (Fraport 2002b) und (Fraport 2003b) sind für die Jahre 2001 und 2002 Sonderposten für Investitionszuschüsse zum Anlagevermögen in Höhe von 22,4 / 24,2 Mio.€ (2001 / 2002) ausgewiesen, die in Höhe von 16,8 / 14,5 Mio.€ von der öffentlichen Hand und zu 5,6 / 9,7 Mio.€ von anderen Zuschussgebern stammen. Laut Auskunft der Fraport AG betreffen die Zuschüsse der öffentlichen Hand Vorfeld- und Infrastrukturinvestitionen auf dem

Flughafen Frankfurt/Hahn im Hunsrück (der sich ebenfalls im Eigentum der Fraport AG befindet). Die sonstigen Baukostenzuschüsse wurden von Geschäftspartnern für gemeinsame Projekte, z. B. Sonderausstattungen im Passageterminal geleistet. Der Standort Frankfurt wird somit nicht mit öffentlichen Mitteln bezuschusst.

Hinsichtlich der Frage nach verbilligten Darlehen und Krediten können die genannten Geschäftsberichten herangezogen werden, die in der Bilanz unter dem Passivposten „Finanzschulden“ (Teil der „Verbindlichkeiten“) fest verzinsliche Kredite ab 25,0 Mio.€ zu ihren jeweiligen Konditionen aufgeführt. Die Zinssätze der ausgewiesenen in Euro gezeichneten Kredite, deren Laufzeit über den 31. Dezember 2001 hinausging, bewegen sich zwischen 4,15 % und 6,80 %. Die Unterschiede sind größtenteils aus den unterschiedlichen Abschlusszeitpunkten und Fristen der Kredite zu erklären; sie sind auf dem freien Markt zustande gekommen und entsprechen den marktüblichen Zinskonditionen für Großunternehmen vergleichbarer Bonität. Weiterhin sind die derzeit in den Jahresberichten ausgewiesenen Kredite alle in Anspruch genommen und beinhalten keine Reserven, aus denen für zukünftige Erweiterungsinvestitionen Gelder entnommen werden können (Döttger 2003). Über solche zukünftigen Kredite im Zusammenhang mit der Erweiterung müssten also neue Verhandlungen geführt werden.

In der Vergangenheit hat die Fraport AG laut eigener Aussage für bestimmte förderungswürdige Projekte („Fernbahnhof und Umweltprojekte“) zu günstigen Zinssätzen Gelder des Bundes aus öffentlichen Förderprogrammen der Kreditanstalt für Wiederaufbau erhalten, die auch derzeit noch in zweistelliger Millionenhöhe in der Bilanz der Fraport AG vorhanden sind (Döttger 2003). Somit haben diese Projekte, die der Bund für förderungswürdig gehalten hat, dem allgemeinen Kriterienkatalog der jeweiligen Förderungsprogramme entsprochen, zu denen Unternehmen unabhängig von ihrer Rechtsform und Gesellschafterstruktur Zugang haben. Somit hat die Fraport im angegebenen Umfang zinsverbilligte Kredite derzeit in Anspruch genommen, die Zinsverbilligung wird aber mit dem besonderen förderungswürdigen Zweck des Einsatzes des Kredits begründet.

Die Kreditposition mit dem niedrigsten Zinssatz von 4,15 %, bei der parallel hierzu ein weiterer Kredit mit identischer Laufzeit, aber einem Zinssatz von 5,10 % existiert (Fraport 2002b) und (Fraport 2003b) – beide stammen aus KfW-Programmen - wird damit begründet, dass Fraport beide Darlehensverträge zeitgleich vereinbart hat, aber die Mittel zu verschiedenen Zeitpunkten in Anspruch genommen und ausgezahlt wurden (Döttger 2003). Dadurch ist auch dieser Zinsunterschied, der zunächst im Geschäftsbericht erklärungsbedürftig erscheint, als marktüblich zu interpretieren.

Dagegen verfügt Fraport laut Aussage von (Döttger 2003) über keine Gelder der Europäischen Investitionsbank in Luxembourg (EIB), die auf EU-Ebene ähnliche Zielsetzungen wie die KfW verfolgt. Wie aus den unter <http://www.eib.org/> verfügbaren Jahresberichten hervorgeht, hat die EIB allerdings in den Jahren 2000 bis 2002 Erweiterungsvorhaben der Flughäfen Düsseldorf, Dresden, Leipzig/Halle, München, Köln/Bonn und Nürnberg finanziert, so dass diese

Finanzierungsoption bei der geplanten Erweiterung des Frankfurter Flughafens durchaus denkbar wäre.

Anhand der verfügbaren Informationen ist es allerdings nicht möglich, eine genaue Höhe des „Zinsunterschiedes“ zwischen den jeweiligen KfW-Konditionen und denen des „nächstbesten Kreditgebers auf dem freien Markt“ zu bestimmen. Wie aus der Finanzwirtschaft bekannt ist, ist in der Praxis auch der Kapitalmarkt keineswegs ein „idealer“ und „homogener“ Markt im Sinne der mikroökonomischen Theorie, sondern unterscheidet sich durch eine Vielzahl von Einflüssen und Kriterien wie Fristigkeit, Größendimension, Risikoeinschätzung des Kreditnehmers, Gewährung von Optionen und Sonderkonditionen etc. Hinzu kommen kurzfristige spekulative Einflüsse sowie Interdependenzen durch die weltweite Verflechtung des Kapitalmarktes, die im nachhinein für einen bestimmten Zeitpunkt kaum zu rekonstruieren sind.

Dies gilt erst recht für die zukünftige Entscheidungssituation, wenn die Fraport AG anlässlich der Investition zur Erweiterung des Flughafens in neue Kreditverhandlungen mit Kreditgebern – sowohl am freien Markt im In- und Ausland als auch im Rahmen von geförderten Programmen – treten wird.

Somit bleibt festzuhalten, dass für eine Subventionierung des Frankfurter Flughafens infolge verbilligter, nicht marktkonformer Kredite, außer der grundsätzlichen Aussage, dass in der Vergangenheit die Kreditanstalt für Wiederaufbau als Kreditgeber beteiligt war, keine konkreten Anzeichen bestehen. Fraport verfügt jedenfalls nicht über zinslose Gesellschafterdarlehen, wie dies etwa beim Flughafen München der Fall ist (Döttger 2003).

Es sei noch darauf hingewiesen, dass die Flugzeughersteller (z. B. Airbus) in der Vergangenheit öffentliche Zuschüsse erhalten haben. Nach (DIW et al. 2002) wären die Flugticketpreise ohne diese Zuschüsse um etwa 1,5% höher.

9 Sensitivitätsbetrachtungen

Die Sensitivitätsbetrachtungen sollen insbesondere die Parameter und Relationen untersuchen, die wichtig für das Ergebnis sind oder als relativ unsicher gelten. Den Ergebnissen dieses Gutachtens wurden nach Ansicht der Gutachter die „besten Schätzungen“ zugrunde gelegt. Die Sensitivitätsbetrachtungen dienen somit dem Zweck der Überprüfung, ob auch bei einer Variation einzelner Parameter und Relationen innerhalb einer bestimmten Bandbreite die selben Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen abgeleitet werden können.

In der Sensitivitätsbetrachtung werden folgende Punkte untersucht:

- Die Variation des VPF um den besten Schätzwert 3,4 Mio.€₂₀₀₀, d. h. von 1,4 Mio.€₂₀₀₀ (Vainio und White 2001) bis 4,4 Mio.€₂₀₀₀ (Friedrich und Bickel 2001)
- Die Variation des Anteils von PM_{2,5} an den Partikel-Emissionen der Triebwerke
- Die getrennte Darstellung der schädigenden Wirkung von Ammoniumnitrat auf die menschliche Gesundheit
- Die Berechnung von Lärmkosten über die Zahl der belästigten Personen (Variation der Lärmdaten um plus/minus 2 dB) und die Variation der monetären Werte pro dB
- Die Variation der Zahlungsbereitschaft für Natur- und Landschaftsschutz analog zu der Infraconsult-Studie von Fr.10,-- bis Fr.50,-- pro Person und Monat
- Die Variation der monetären Werte für den Treibhauseffekt von 2,4 € bis 37 €₂₀₀₀ pro t CO₂.

9.1 Sensitivitätsbetrachtung der Bewertung der Emissionen von Luftschadstoffen des LTO-Zyklus

9.1.1 Sensitivitätsbetrachtung der marginalen Kosten der AzB-Klassen (Luftschadstoffe - bezogen auf LTO-Zyklus)

9.1.1.1 Variation des VPF

Zur Berechnung der marginalen externen Kosten wurden folgende Luftschadstoffe betrachtet: PM₁₀, NO_x, NMVOC, SO₂, CO und Benzo(a)Pyren (vergl. Kapitel 3.2.1).

Die Emissionen wurden mit Schadenskostenfaktoren multipliziert. Diese Schadenskostenfaktoren enthalten auch Mortalitätsrisiken, welche vom Wert eines statistischen verhinderten Todesfalles (VPF – ‘Value of Statistical Prevented Fatality’, auch als VSL – ‘Value of a Statistical Life’ bezeichnet) abgeleitet wurden (siehe Tabelle 2). Die beste Schätzung für den VPF beträgt 3,4 Mio.€₂₀₀₀. Um jedoch Unsicherheiten in der Ermittlung dieses Wertes Rechnung zu tragen, werden hier nun Ergebnisse dargestellt, die sich bei einer Variation dieses VPF von 1,4 bis 4,4 Mio.€₂₀₀₀ ergeben. Die Basiswerte (unter

Verwendung eines VPF von 3,4 Mio.€₂₀₀₀) zu Tabelle 96 und Tabelle 97 finden sich in Tabelle 14 bzw. Tabelle 17.

Tabelle 96: Marginale regionale externe Kosten bei VPF von 1,4 Mio.€₂₀₀₀ bzw. 4,4 Mio.€₂₀₀₀

AzB-Klassen	Externe Kosten Ist [Euro] Regional VPF = 1,4	Externe Kosten 2015 [Euro] Regional VPF = 1,4	Externe Kosten Ist [Euro] Regional VPF = 4,4	Externe Kosten 2015 [Euro] Regional VPF = 4,4
S5.1	7,77	4,06	19,21	10,14
S5.2	15,91	15,96	40,87	41,03
S5.3	13,32	---	33,95	---
S6.1	38,44	45,70	97,17	118,03
S6.2	63,13	60,78	158,59	156,46
S6.3	42,71	53,00	108,53	135,55
S7.1	84,26	73,20	207,59	188,70
P2.1	2,82	2,86	4,70	7,29

Zu den regionalen externe Kosten müssen die lokalen dazuaddiert werden. Die daraus folgenden gesamten externen Kosten sind in Tabelle 97 dargestellt.

Tabelle 97: Gesamte (Regional_{korr.} plus Lokal) externe Kosten der AzB-Klassen durch Luftschadstoffe bei VPF von 1,4 Mio.€₂₀₀₀ bzw. 4,4 Mio.€₂₀₀₀

AzB-Klassen	Externe Kosten Ist [€ ₂₀₀₀ /LTO] Regional _{korr.} plus Lokal VPF = 1,4	Externe Kosten 2015 [€ ₂₀₀₀ /LTO] Regional _{korr.} plus Lokal VPF = 1,4	Externe Kosten Ist [€ ₂₀₀₀ /LTO] Regional _{korr.} plus Lokal VPF = 4,4	Externe Kosten 2015 [€ ₂₀₀₀ /LTO] Regional _{korr.} plus Lokal VPF = 4,4
S5.1	6,8	3,6	21,4	11,4
S5.2	14,2	14,3	44,6	45,0
S5.3	11,9	---	37,3	---
S6.1	33,6	40,9	105,6	128,5
S6.2	54,9	54,1	172,5	170,2
S6.3	37,3	46,7	117,1	146,9
S7.1	72,3	65,6	227,1	206,2
P2.1	2,5	2,6	7,9	8,2

Die in Tabelle 97 aufgelisteten Ergebnisse werden in Abbildung 8 und Abbildung 9 veranschaulicht.

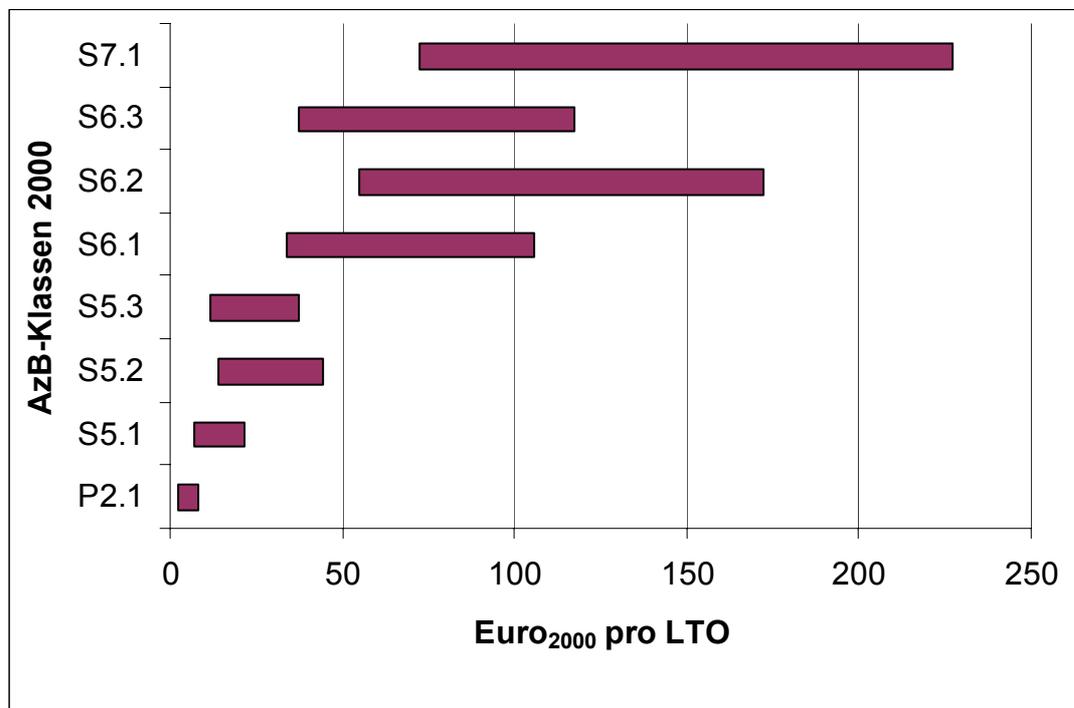


Abbildung 8: Bandbreite der marginalen externen Kosten durch Luftschadstoffe pro LTO [€₂₀₀₀/LTO] Ist-Zustand

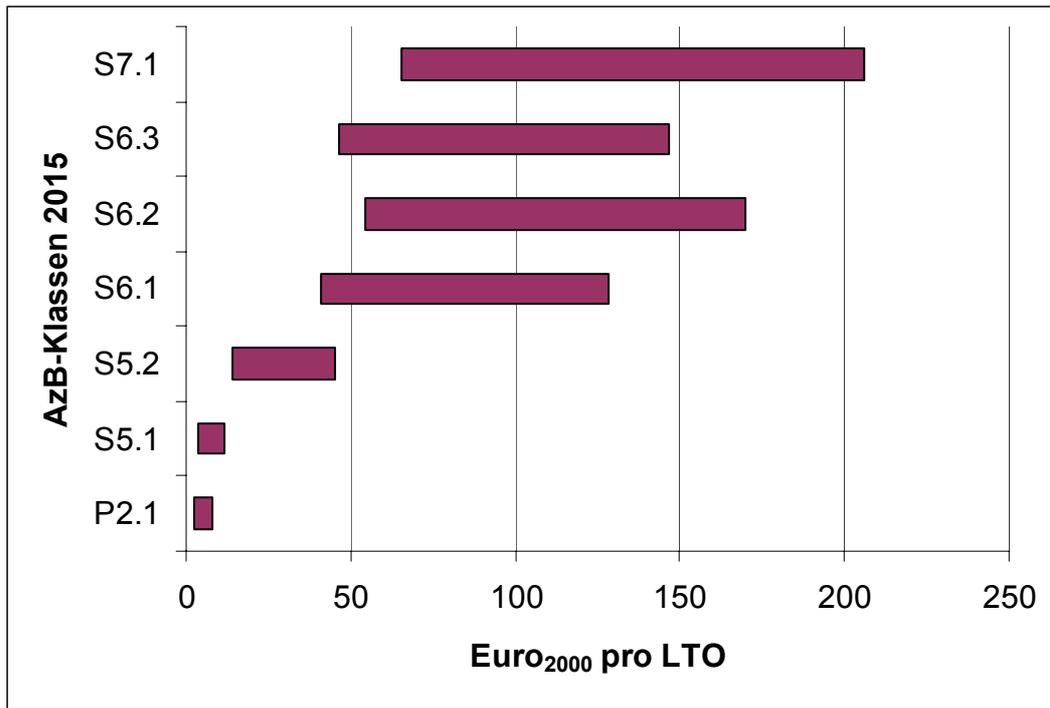


Abbildung 9: Bandbreite der marginalen externen Kosten durch Luftschadstoffe pro LTO [€₂₀₀₀/LTO] 2015

Unterschiede zwischen den AzB-Klassen 2000 und den AzB-Klassen 2015 bezüglich der externen Kosten durch Luftschadstoffe sind je nach Klasse vorhanden. Die Unterschiede kommen hauptsächlich zustande durch die unterschiedlichen Referenzflugzeuge, siehe (ROV G7.3 2001) die für die Klassen ausgewählt wurden. Des Weiteren sind die Schadenskostenfaktoren 2015 etwas höher, da die Siedlungsdichte sich erhöht hat und dadurch mehr Menschen der selben Schadstoffkonzentration ausgesetzt sind.

9.1.1.2 Variation des Anteils von PM_{2,5} an PM₁₀

Die Partikel-Emissionen der Triebwerke sind im Gutachten (ROV G7.3 2001) angegeben als PM₁₀. Ein großer Teil dieser PM₁₀ Partikel hat aber einen Durchmesser kleiner 2,5µm (PM_{2,5}). Der Anteil von PM_{2,5} an PM₁₀ ist nicht bestimmt und es ist anzunehmen, dass der Anteil je nach Flugzeug variiert. Die entsprechenden Informationsquelle berichten, dass zwischen 76% und 100% von PM₁₀ Partikel tatsächlich PM_{2,5} Partikel sind (Air Quality Archive), (CEPMEIP). Die Gesundheitseffekt von Partikeln mit einem Durchmesser von kleiner 2,5 µm sind, bezogen auf die selbe Masse, gravierender als jene von PM₁₀ Partikeln. Dies resultiert aus der höhern Anzahl von Partikeln als auch aus der unterschiedlichen Eindringtiefe in das Atmungssystem. In Tabelle 98 sind die externen Kosten dargestellt, wie sie für die AzB-Klassen entstehen, wenn man von einem Anteil von 80% PM_{2,5} an PM₁₀ ausgeht. Die Basiswerte sind dargestellt in Tabelle 17.

Tabelle 98: Totale marginale externe Kosten durch Luftschadstoffe unter der Annahme, dass PM10 zu 80 % aus PM2,5 besteht

AzB-Klassen	Externe Kosten 2000 (Ist) [€ ₂₀₀₀ /LTO] Regional plus Lokal	Externe Kosten 2015 [€ ₂₀₀₀ /LTO] Regional plus Lokal
S5.1	17,1	9,1
S5.2	35,8	36,1
S5.3	30,0	---
S6.1	83,7	101,9
S6.2	136,6	134,7
S6.3	92,4	115,9
S7.1	179,2	162,7
P2.1	6,3	6,5

In Abbildung 10 ist die Bandbreite der Ergebnisse dargestellt, die sich ergibt, wenn man die Partikel als PM10 (unterer Wert) oder 80% PM2,5 und 20%PM10 bewertet.

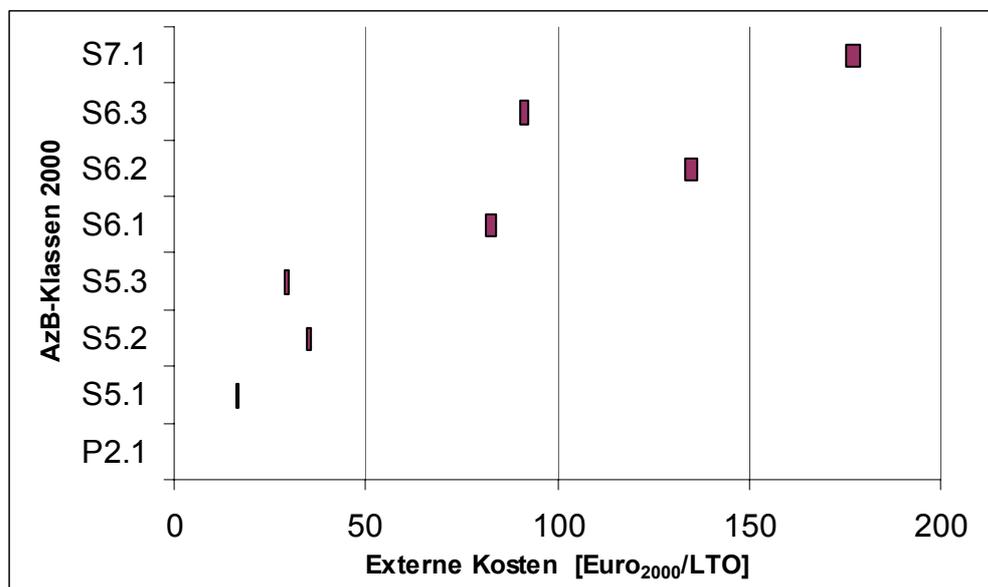


Abbildung 10: Bandbreite der externe Kosten durch Luftschadstoffe bei 100% PM10 (0% PM2,5) bis 20 % PM10 (80% PM2,5)

Aus Abbildung 10 ist zu erkennen, dass die Erhöhung des Anteils von PM2,5 an PM10 zu höheren Ergebnissen führt. Die Partikel machen aber nicht den Hauptanteil an den externen Kosten aus.

9.1.2 Sensitivitätsbetrachtung der externen Gesamtkosten durch Luftschadstoffe

Tabelle 99 zeigt die externen Kosten durch Luftschadstoffemissionen für die Flughafenausbauvarianten bei Variation des VPF. Die externen Kosten sind unterteilt bezüglich der Emissionen der Flugzeuge und der Emissionen anderer Quellen.

Tabelle 99: Regionale externe Kosten bei einem Wert für VPF von 1,4 Mio.€₂₀₀₀ bzw. 4,4 Mio.€₂₀₀₀

[Mio.€ ₂₀₀₀ /a]	Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
Flugzeuge VPF = 1,4 Mio.€ ₂₀₀₀	4,3	5,9	7,1	7,1	7,3
Flugzeuge VPF = 4,4 Mio.€ ₂₀₀₀	10,9	15,2	18,4	18,4	18,7
Andere VPF = 1,4 Mio.€ ₂₀₀₀	1,5	1,0	1,3	1,3	1,3
Andere VPF = 4,4 Mio.€ ₂₀₀₀	3,6	2,4	3,1	3,1	3,1
Summe VPF = 1,4 Mio.€ ₂₀₀₀	5,8	6,9	8,4	8,4	8,5
Summe VPF = 4,4 Mio.€ ₂₀₀₀	14,5	17,6	21,4	21,5	21,8

In Tabelle 100 ist die Summe der lokalen Schäden und die Summe der korrigierten regionalen Schäden des Flugverkehrs und des Kfz-Verkehrs und der stationären Quellen auf dem Flughafen (Tabelle 99) zu der Summe der totalen Schäden zusammengefasst. Die Basiswerte zu Tabelle 100 finden sich in Tabelle 22.

Tabelle 100: Totale (regionale plus lokale) externe Kosten der Luftschadstoffe für VPF von 1,4 Mio.€₂₀₀₀ und 4,4 Mio.€₂₀₀₀

[Mio.€ ₂₀₀₀ /a]	Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
Summe totale externe Kosten VPF = 1,4 Mio.€ ₂₀₀₀	6,2	6,7	8,2	8,2	8,3
Summe totale externe Kosten VPF = 4,4 Mio.€ ₂₀₀₀	17,8	18,6	22,6	22,6	23,0

Die Ergebnisse aus Tabelle 100 sind nochmals dargestellt in Abbildung 11.

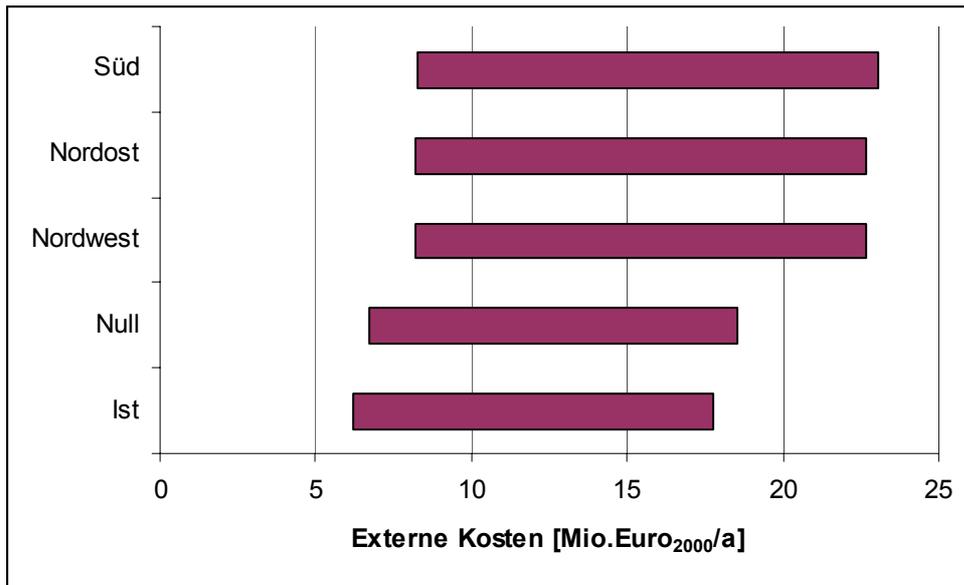


Abbildung 11: Totale (regionale plus lokale) externe Kosten der Luftschadstoffe bei Variation des VPF von 1,4 Mio.€₂₀₀₀ bis 4,4 Mio.€₂₀₀₀

9.1.3 Darstellung der externen Kosten durch Ammoniumnitrat bezüglich Gesundheitseffekte

Die Berechnung der externen Kosten mit Hilfe des Software Tools EcoSense ermöglicht es, auch Schäden durch sogenannte sekundäre Partikel zu berücksichtigen. Sekundäre Partikel sind Partikel, die durch chemische Reaktion von Luftschadstoffen, z. B. Stickoxide oder Schwefeldioxid in der Atmosphäre entstehen. Die Dosis-Wirkungsbeziehungen für Ammoniumnitrat, welches sich in der Atmosphäre aus NO_x und NH_3 bildet, wurden aufgrund von neueren Erkenntnissen (Searl 2002), (European Commission 2003) als halb so hoch angesetzt wie die für primären Feinstaub. Man geht davon aus, dass Ammoniumnitrat aufgrund seiner guten Wasserlöslichkeit nicht so tief in das Lungensystem eindringen kann, und dementsprechend die Dosis-Wirkungsbeziehung anders ist als für Staubpartikel oder Sulfate. Allerdings sind die Unsicherheiten hier besonders groß – die mögliche Bandbreite reicht von Null bis zum doppelten Wert. Dieser besonders unsichere Wert wird daher in den folgenden Tabellen separat dargestellt. Die marginalen externen Kosten durch Ammoniumnitrat sind in Tabelle 101 dargestellt.

Tabelle 101: Marginale externe Kosten durch Ammoniumnitrat bezüglich Gesundheitseffekte (bei VPF von 3,4 Mio.€₂₀₀₀)

AzB-Klassen	Externe Kosten Ist [€₂₀₀₀/LTO] durch Ammoniumnitrat bezüglich Gesundheitseffekte	Externe Kosten 2015 [€₂₀₀₀/LTO] durch Ammoniumnitrat bezüglich Gesundheitseffekte
S5.1	9,6	5,1
S5.2	25,3	25,5
S5.3	19,0	---
S6.1	59,4	76,5
S6.2	96,1	100,8
S6.3	67,7	85,2
S7.1	118,7	119,6
P2.1	4,0	4,1

Der Anteil an den externen Kosten (verursacht durch Ammoniumnitrat) wurde ermittelt durch einen Vergleich von Tabelle 101 mit Tabelle 17 und ist dargestellt in Tabelle 102

Tabelle 102: Prozentualer Anteil von Ammoniumnitrat (bezüglich Gesundheitseffekte) an den marginalen externen Kosten (bei VPF von 3,4 Mio.€₂₀₀₀)

AzB-Klassen	Anteil von Ammoniumnitrat bezüglich Gesundheitseffekte an den marginalen externen Kosten 2000 (Ist) [%]	Anteil von Ammoniumnitrat bezüglich Gesundheitseffekte an den marginalen externen Kosten 2015 [%]
S5.1	58,2%	58,0%
S5.2	73,3%	73,3%
S5.3	66,0%	---
S6.1	72,8%	77,0%
S6.2	72,1%	76,7%
S6.3	74,8%	75,1%
S7.1	67,6%	75,1%
P2.1	65,6%	65,1%

Die externen Gesamtkosten sind dargestellt in Tabelle 103.

Tabelle 103: Externe Gesamtkosten durch Ammoniumnitrat bezüglich Gesundheitseffekte (bei VPF von 3,4 Mio.€₂₀₀₀)

[Mio.€ ₂₀₀₀ /a]	Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
Flugzeuge	6,9	9,9	12,0	12,0	12,2
andere	1,6	1,0	1,3	1,3	1,3
Summe	8,5	10,9	13,3	13,3	13,5

Der Anteil von Ammoniumnitrat (bezüglich Gesundheitseffekte) an den externen Gesamtkosten wurde ermittelt durch einen Vergleich mit Tabelle 22 und ist dargestellt in Tabelle 104.

Tabelle 104: Prozentualer Anteil von Ammoniumnitrat (bezüglich Gesundheitseffekte) an den externen Gesamtkosten (bei VPF von 3,4 Mio.€₂₀₀₀)

[Mio.€ ₂₀₀₀ /a]	Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
Summe	62,5%	72,2%	72,2%	72,7%	72,2%

Es ist zu erkennen, dass der relative Anteil der Schäden durch Ammoniumnitrat in den Szenarien für 2015 zunimmt.

9.2 Sensitivitätsbetrachtung der externen Kosten durch Lärm

9.2.1 Sensitivitätsbetrachtung für Gesamtlärmkosten

Fluglärmrechnungen sind Unsicherheiten unterworfen. Um den Einfluss von möglicherweise anderen Lärmpegeln auf die externen Kosten aufzuzeigen, wurden diese jeweils einmal generell um 2 dB erhöht und um 2 dB abgesenkt. Es soll nun eine Sensitivitätsbetrachtung der externen Kosten durch Lärm durchgeführt werden, die eventuelle Unsicherheiten in den zugrundeliegenden Lärmdaten beachtet. Hierzu wurden externe Kosten unter der Annahme berechnet, dass die Lärmbelastung tatsächlich 2 dB höher (Ergebnisse sind überschrieben mit +2 dB) oder 2 dB niedriger (Ergebnisse sind überschrieben mit -2 dB) ist. Verändert wurde der Gesamtlärmpegel, wobei der Straßenlärmpegel konstant gehalten wurde. Die Ergebnisse sind in Tabelle 105 dargestellt. Die Basiswerte ohne Variation um +/- 2 dB in sind Tabelle 55 dargestellt.

Der Schwellenwert, ab wann eine zusätzliche Lärmbelastung zu einem zusätzlichen Wertverlust führt, ist umstritten. Aus diesem Grund wurde im Folgenden auch angenommen, dass es bereits ab 50 dB zu einer Wertminderung kommt.

Tabelle 105: Externe Kosten des Lärms durch den Flughafenbetrieb in Mio.€₂₀₀₀ pro Jahr, basierend auf modifizierten Lärmszenarien und bewertet mit dem hedonischen Preisansatz mit 27 €₂₀₀₀/dBL_{aeq} 6-22h/Pers.

Mio.€ ₂₀₀₀ / a	Schwellwert 55 dB		Schwellwert 50 dB	
	- 2 dB	+ 2 dB	- 2 dB	+ 2 dB
Ist	3	56	37	110
Prognose-Nullfall	4	58	40	115
Variante Nordwest	5	68	49	134
Variante Nordost	10	77	59	146
Variante Süd	7	61	46	122

Die größte Veränderung tritt bei der Verminderung um 2 dB bei dem Schwellwert 55 dB auf. Hier werden die externen Kosten auf im Mittel 15% des ursprünglichen Werts reduziert, wobei starke Schwankungen zwischen den Szenarien auftreten. Bei der Erhöhung um 2 dB (Schwellwert 55 dB) ergibt sich im Mittel eine Erhöhung bei allen den Szenarien um einen Faktor von ca. 1,9. Bei der Bewertung mit einem Schwellwert von 50 dB fällt der Einfluss geringer aus, bei einer Überschätzung der Lärmpegel um 2 dB wäre die Bewertung im Mittel auf 55% reduziert, bei einer Unterschätzung um 2 dB wären die externen Kosten um einen Faktor 1.5 unterschätzt.

Als eine weitere Sensitivitätsbetrachtung wird eine Variation des NSDI von 0,42 bis 1,28 durchgeführt. Ein NSDI von 0,61 ergab den Bewertungsansatz von 27 €₂₀₀₀/(dB*Person*a) (siehe Tabelle 55). In Tabelle 106 sind die Ergebnisse für die Bewertungsansätze 18,5 bzw. 56,5 €/(dB*Person*a) dargestellt. In Tabelle 107 wird eine Sensitivitätsrechnung ab 50 dB dargestellt. Der Ansatz zur Bewertung nach (WG HSEA 2003) veranschlagt einen monetären Wert von 18 €₂₀₀₀/(dB*Person*a). In Analogie zu dem Hedonic Pricing Ansatz erhält der monetäre Wert nochmals einen Zuschlag von 50 %, um eine maximal Wert bezüglich der externen Kosten durch Lärm zu verwenden.

Tabelle 106: Jährliche externe Kosten des Lärms durch den Flughafenbetrieb in Mio.€₂₀₀₀/a (Bewertungsansatz 18,5 bzw. 56,5 €₂₀₀₀/(dB*Person*a) ab 55 dB

	18,5 €₂₀₀₀/(dB*Person*a)	27 €₂₀₀₀/(dB*Person*a)	56,5 €₂₀₀₀/(dB*Person*a)
Variante	Mio.€₂₀₀₀/a	Mio.€₂₀₀₀/a	Mio.€₂₀₀₀/a
Ist	19,4	28	59,2
Prognose-Nullfall	20,2	29	61,7
Variante Nordwest	23,8	35	72,6
Variante Nordost	28,6	42	87,3
Variante Süd	22,2	32	67,8

Tabelle 107: Jährliche externe Kosten des Lärms durch den Flughafenbetrieb in Mio.€₂₀₀₀/a (Bewertungsansatz $18€_{2000} \times 1,5 = 27€_{2000} /(\text{dB} \cdot \text{Person} \cdot \text{a})$ ab 50 dB_{Lden}

		18 €₂₀₀₀/(dB*Person*a)	27€₂₀₀₀/(dB*Person*a)
Variante	Ansatz nach	Mio.€₂₀₀₀/a	Mio.€₂₀₀₀/a
Ist	WG HSEA	62	93
Prognose-Nullfall	WG HSEA	75	113
Variante Nordwest	WG HSEA	78	117
Variante Nordost	WG HSEA	86	129
Variante Süd	WG HSEA	75	113

Die externen Kosten der durch Lärm verursachten Gesundheitsschäden sind, verglichen mit den anderen Schadenskategorien, sehr gering. Da ein Teil der externen Kosten wiederum durch Mortalitätsrisiken verursacht wird, sind in Tabelle 108 die externen Kosten der von Lärm verursachten Gesundheitsschäden dargestellt, die sich bei einem VPF von 1,4 bzw. 4,4 Mio.€₂₀₀₀ ergeben. Die Basiswerte bei einem VPF von 3,4 Mio.€₂₀₀₀ sind dargestellt in Tabelle 54.

Tabelle 108: Externe Kosten durch von Lärm verursachte Gesundheitsschäden bei einem VPF von 1,4 bzw. 4,4 Mio.€₂₀₀₀

		VPF = 1,4 Mio.€₂₀₀₀	VPF = 4,4 Mio.€₂₀₀₀
Variante		Mio.€₂₀₀₀/a	Mio.€₂₀₀₀/a
Ist-Situation	Gesundheits- schäden	0,003	0,01
Prognose-Nullfall	Gesundheits- schäden	0,01	0,03
Variante Nordwest	Gesundheits- schäden	0,03	0,07
Variante Nordost	Gesundheits- schäden	0,06	0,16
Variante Süd	Gesundheits- schäden	0,02	0,07

Die externen Kosten durch Lärm, ermittelt durch die Bewertung von Schlafstörungen, basiert auf einem monetären Wert von 590,- €₂₀₀₀/a je schlafgestörte Person. (Ergebnisse für diesen Wert sind dargestellt in Tabelle 54). Dieser Wert wird im Folgenden von 220 – 880 €₂₀₀₀/a je schlafgestörte Person variiert. In (Metroeconomica 2001) wird beschrieben, dass die Zahlungsbereitschaft zur Vermeidung einer Krankheit etwa dem null- bis dreifachen der Behandlungskosten einer Krankheit (cost-of-illness), in diesem Fall „Störung des Nachtschlafes“ (siehe Tabelle 49), entspricht. Diese Zahlungsbereitschaft wird zu den Behandlungskosten einer Krankheit (cost-of-illness) nochmals addiert, um den monetären Wert für die Bewertung zu erhalten. Die Ergebnisse sind dargestellt in Tabelle 109.

Tabelle 109: Externe Kosten durch Schlafstörungen bei einem Wert von 220 – 880 €₂₀₀₀/a je schlafgestörte Person

		220 €₂₀₀₀/a je schlafgestörte Person	880 €₂₀₀₀/a je schlafgestörte Person
Variante		Mio.€₂₀₀₀/a	Mio.€₂₀₀₀/a
Ist-Situation	Schlafstörung	10,2	40,7
Prognose-Nullfall	Schlafstörung	12,9	51,6
Variante Nordwest	Schlafstörung	12,2	48,6
Variante Nordost	Schlafstörung	12,8	51,2
Variante Süd	Schlafstörung	11,9	47,7

9.2.2 Sensitivitätsbetrachtung der Siedlungsbeschränkungsgebiete

Die externen Kosten die durch die Ausweisung von Siedlungsbeschränkungsgebieten entstehen, wurden in Kapitel 4.2.3 dargestellt. Im Folgenden werden nun Differenzen zwischen dem Preis für Bauerwartungsland (für Wohnbau) und Ackerland von 21 bzw. 97,5 € pro m² verwendet. Diese Werte stellen die Differenzen zwischen den größten, bzw. kleinsten Preisen für Bauerwartungsland (für Wohnbau) und für Ackerland dar. Die Preise sind dabei (Der Kreisausschuss des Kreises Groß-Gerau 2001) entnommen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 110 dargestellt. Der Basiswert bei einer Differenz von 51,7 €₂₀₀₀ pro m² ist in Tabelle 65 dargestellt.

Tabelle 110: Externe Kosten durch Siedlungsbeschränkungsgebiete – Annuität

	Ist-Zustand	Prognose-nullfall	Variante Nordwest	Variante Nordost	Variante Süd
Jährliche externe Kosten, Differenz = 21€ ₂₀₀₀ [Mio.€ ₂₀₀₀]	1,5	1,9	2,1	2,3	2,2
Jährliche externe Kosten, Differenz = 97,5€ ₂₀₀₀ [Mio.2000€]	7,2	8,8	9,8	10,6	10,3

Die Ergebnisse aus Tabelle 110 sind in Abbildung 12 illustriert.

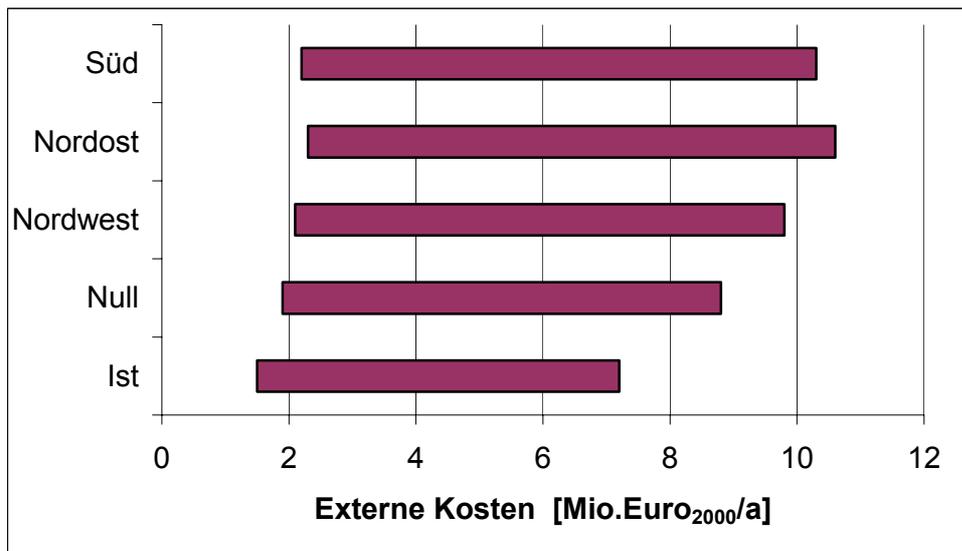


Abbildung 12: Bandbreite der externe Kosten durch Siedlungsbeschränkungsbereiche – Annuität

9.3 Sensitivitätsbetrachtung der externen Kosten durch Unfälle

Der Wert eines statistischen verhinderten Todesfalles (VPF) geht in der Berechnung der externen Kosten die durch Unfälle verursacht werden ein. Im Folgenden sind die Ergebnisse der Risikobetrachtung dargestellt. Hierzu wurde ein VPF von 1,4 Mio.€₂₀₀₀ bzw. 4,4 Mio.€₂₀₀₀. Der Basiswert zu dieser Sensitivitätsbetrachtung ist ein VPF von 3,4 Mio.€₂₀₀₀. Die Ergebnisse hierzu sind in Tabelle 66 dargestellt.

Tabelle 111: Externe Unfallkosten für die Bevölkerung in der Nähe des Flughafens bei Verwendung eines VPF von 1,4 Mio.€₂₀₀₀

		Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
Risikozonen	Angenommene durchschnittliche Wahrscheinlichkeit	Betroffene	Betroffene	Betroffene	Betroffene	Betroffene
10 -5 < ri < 10-4	0,00005	12.780	13.160	25.041	41.928	11.885
10 -4 < ri < 10-3	0,0005	1.679	1.699	3.269	3.320	206
10 -3 < ri	0,005	0	0	41	556	0
Erwartungswert für tödlichen Unfall, bezogen auf 6 Monate						
		0,64	0,66	1,25	2,10	0,59
		0,84	0,85	1,63	1,66	0,10
		0,00	0,00	0,21	2,78	0,00
WTP für verhinderten Todesfall: 1,4 Mio. € ₂₀₀₀						
Kosten, bezogen auf 6 Monate [Mio.€ ₂₀₀₀]						
		2,1	2,1	4,3	9,2	1,0
Kosten, hochgerechnet auf das ganze Jahr [Mio.€ ₂₀₀₀ /a]						
		4,0	4,1	8,2	17,3	1,8
Durchschnittskosten pro Start oder Landung [€ ₂₀₀₀]						
		15,39	14,63	22,30	47,14	5,03
Auslastung Passagiere pro Flug						
		108,7	116,8	124,2	124,2	124,2
Durchschnittskosten pro Passagier [€-Cent ₂₀₀₀]						
		14,2	12,5	17,9	37,9	4,0

Tabelle 112: Externe Unfallkosten für die Bevölkerung in der Nähe des Flughafens bei Verwendung eines VPF von 4,4 Mio.€

		Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
Risikozonen	Angenommene durchschnittliche Wahrscheinlichkeit	Betroffene	Betroffene	Betroffene	Betroffene	Betroffene
10 ⁻⁵ < ri < 10 ⁻⁴	0,00005	12.780	13.160	25.041	41.928	11.885
10 ⁻⁴ < ri < 10 ⁻³	0,0005	1.679	1.699	3.269	3.320	206
10 ⁻³ < ri	0,005	0	0	41	556	0
Erwartungswert für tödlichen Unfall, bezogen auf 6 Monate						
		0,64	0,66	1,25	2,10	0,59
		0,84	0,85	1,63	1,66	0,10
		0,00	0,00	0,21	2,78	0,00
WTP für verhinderten Todesfall: 4,4 Mio.€ ₂₀₀₀						
Kosten, bezogen auf 6 Monate [Mio.€ ₂₀₀₀]						
		6,5	6,6	13,6	28,8	3,1
Kosten, hochgerechnet auf das ganze Jahr [Mio.€ ₂₀₀₀ /a]						
		12,4	12,9	25,7	54,4	5,8
Durchschnittskosten pro Start oder Landung [€ ₂₀₀₀]						
		27,08	25,75	39,24	82,96	8,85
Auslastung Passagiere pro Flug						
		108,7	116,8	124,2	124,2	124,2
Durchschnittskosten pro Passagier [€-Cent ₂₀₀₀ /Start]						
		24,9	22,0	31,6	66,8	7,1

In Abbildung 13 sind die Ergebnisse aus Tabelle 111 und Tabelle 112 als Bandbreite der externe Kosten durch potentielle Unfälle hochgerechnet auf das ganze Jahr illustriert. Die Bandbreite ergibt sich aus einem VPF von 1,4 bis 4,4 Mio.€₂₀₀₀.

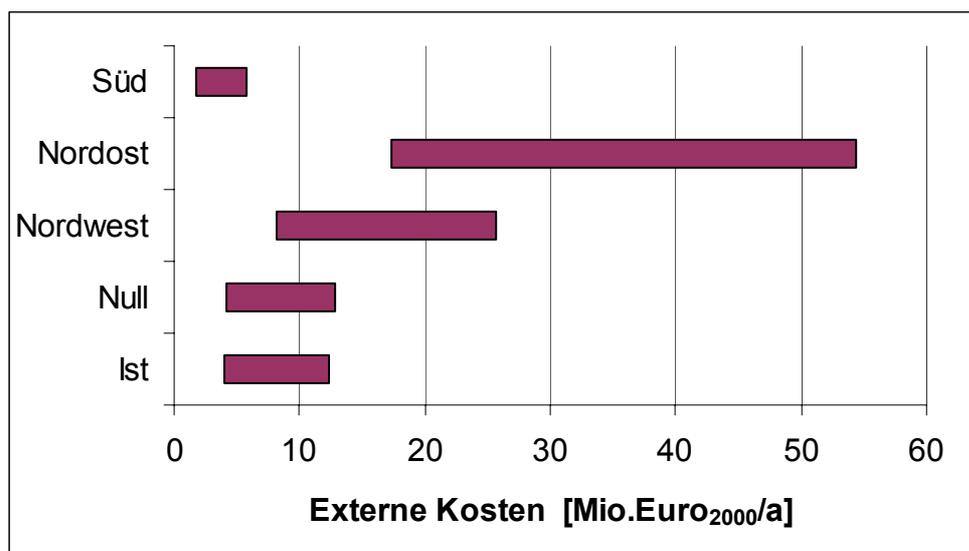


Abbildung 13: Bandbreite der externe Kosten durch potentielle Unfälle hochgerechnet auf das ganze Jahr bei einem VPF von 1,4 bis 4,4 Mio.€₂₀₀₀

9.4 Sensitivitätsbetrachtung der externen Kosten durch Verluste von Biotop- und Waldflächen

Die externen Kosten des Verlustes von Biotop- und Waldflächen wurden dargestellt in Kapitel 6.2.2. Im Folgenden wird analog zum Vorgehen in (Infraconsult AG 1999) eine Sensitivitätsbetrachtung vollzogen, indem der Wert bezüglich der Zahlungsbereitschaft der Schweizer Bevölkerung von Fr. 10.-- bis Fr. 50.-- pro Person und Monat variiert wird (Basiswert ist Fr. 10.--). Die Ergebnisse sind in €₂₀₀₀/a dargestellt.

- Externe Kosten des Verlustes von Waldflächen

Die in Tabelle 113 dargestellten Ergebnisse stellen die Sensitivitätsbetrachtung zu den Ergebnissen in Tabelle 77 dar.

Tabelle 113: Jährliche externe Kosten (Annuitäten) durch den Verlust der Waldflächen nach (Infraconsult AG 1999) – Zahlungsbereitschaft entspricht Fr. 10.-- bzw. Fr. 50.--

Dauer bis gleichwertige Erholungsfunktion wieder hergestellt ist [a]	20	50	100	150
	Externe Kosten [€ ₂₀₀₀ /a]			
Variante				
Nordwest	78.400 – 391.900	132.000 – 659.800	160.900 – 804.700	167.500 – 837.700
Nordost	91.000 – 454.800	153.100 – 765.700	186.800 – 933.800	194.400 – 972.200
Süd	99.000 – 495.100	166.700 – 833.600	203.300 – 1.016.600	211.700 – 1.058.300

- Externe Kosten des Verlustes von Biotopflächen

Die in Tabelle 114 dargestellten Ergebnisse stellen die Sensitivitätsbetrachtung zu den Ergebnissen in Tabelle 82 dar.

Tabelle 114: Jährliche externe Kosten (Annuitäten) des Verlustes von Biotopflächen (ohne Wald) durch den Flughafenausbau – Zahlungsbereitschaft entspricht Fr. 10.-- bzw. Fr. 50.--

Dauer bis gleichwertige Biotopflächen wieder hergestellt sind [a]	20	50
Variante	Externe Kosten [€ ₂₀₀₀ /a]	
Nordwest	25.300 – 126.300	42.000 – 209.800
Nordost	30.400 – 152.200	51.200 – 256.000
Süd	30.200 – 151.000	50.800 – 254.200

9.5 Sensitivitätsbetrachtungen der Auswirkungen auf das globale Klima

Die Sensitivitätsbetrachtung bezüglich der Treibhausgase beschränkt sich auf eine Variation des Wertes für die Schadenskosten pro Tonne CO₂. Wie in Kap. 7.1.2.2 erläutert, wird eine Bandbreite der Schadenskosten von 2,4 bis 37 Euro pro Tonne CO₂ verwendet. Die externen Kosten, die sich daraus errechnen lassen, sind in den folgenden Tabellen den externen Kosten, die sich aus dem Wert des Vermeidungskostenansatz (19 €₂₀₀₀ pro Tonne CO₂) ergeben, gegenübergestellt.

9.5.1 Sensitivitätsbetrachtung der marginale Kosten der AzB-Klassen (bezogen auf LTO-Zyklus) bezüglich der Treibhausgase

In Tabelle 115 sind die marginalen Kosten der Treibhausgasemissionen der AzB-Klassen dargestellt für den besten Schätzwert 19€₂₀₀₀/t CO₂ und für die Bandbreite der Schadenskosten von 2,4 – 37 €₂₀₀₀/t CO₂.

Tabelle 115: Sensitivitätsbetrachtung der marginale Kosten der AzB-Klassen (bezogen auf LTO-Zyklus) bezüglich der Treibhausgase

AzB-Klassen	Ist [€ ₂₀₀₀ /LTO] 19 €/t CO ₂	Ist [€ ₂₀₀₀ /LTO] 2,4 €/t CO ₂	Ist [€ ₂₀₀₀ /LTO] 37 €/t CO ₂	2015 [€ ₂₀₀₀ /LTO] 19 €/t CO ₂	2015 [€ ₂₀₀₀ /LTO] 2,4 €/t CO ₂	2015 [€ ₂₀₀₀ /LTO] 37 €/t CO ₂
S5.1	27,87	3,52	54,27	15,94	31,04	2,01
S5.2	41,00	5,18	79,84	41,05	79,94	5,19
S5.3	47,27	5,97	92,05	---	---	---
S6.1	82,29	10,39	160,25	101,41	197,48	12,81
S6.2	127,22	16,07	247,74	132,81	258,63	16,78
S6.3	92,03	11,62	179,22	122,02	237,62	15,41
S7.1	165,81	20,94	322,89	179,86	350,25	22,72
P2.1	9,48	1,20	18,47	9,73	18,94	1,23

Die Ergebnisse aus Tabelle 115 sind nochmals illustriert in Abbildung 14 und Abbildung 15.

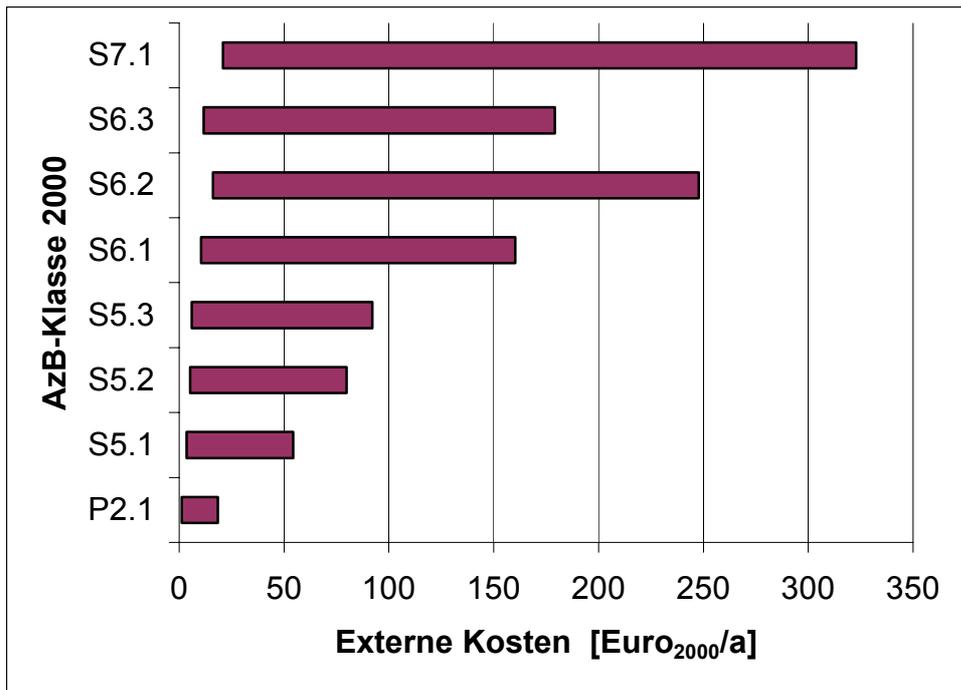


Abbildung 14: Externe Kosten der AzB-Klassen 2000 bezüglich Treibhausgase bei 2,4 bis 37 €₂₀₀₀/t CO₂

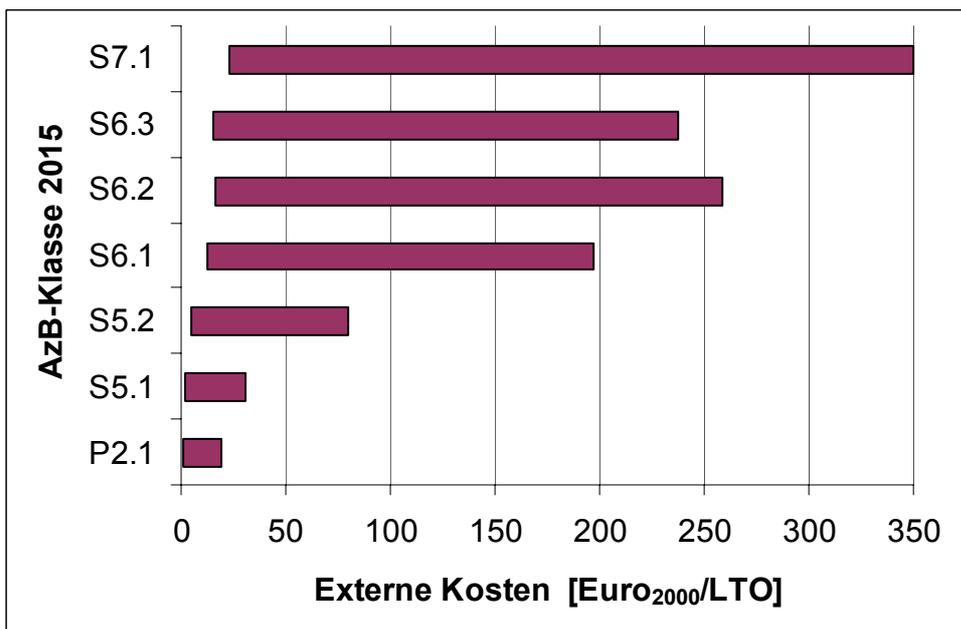


Abbildung 15: Externe Kosten der AzB-Klassen 2015 bezüglich Treibhausgase bei 2,4 bis 37 €₂₀₀₀/t CO₂

9.5.2 Sensitivitätsbetrachtung der externen Gesamtkosten bezüglich Treibhausgase

9.5.2.1 Sensitivitätsbetrachtung der Emissionen der Flugzeuge bezüglich Treibhausgase

In Tabelle 116 sind die externen Kosten der Treibhausgasemissionen der Flugzeuge dargestellt. Die Bandbreite ergibt sich durch Anwendung von spezifischen Schadenskosten pro Tonne CO₂ von 2,4 bis 37 €₂₀₀₀. Die Basiswerte hierzu sind in Tabelle 86 dargestellt.

Tabelle 116: Sensitivitätsbetrachtung der externen Kosten der Treibhausgasemissionen der Flugzeuge (Jahresbetrachtung)

	Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
CO ₂ [t/a]	504.400	681.200	819.000	821.600	852.800
Externe Kosten bei 2,4 € ₂₀₀₀ /t CO ₂ [Mio.€ ₂₀₀₀ /a]	1,2	1,6	2,0	2,0	2,0
Externe Kosten bei 37 € ₂₀₀₀ /t CO ₂ [Mio.€ ₂₀₀₀ /a]	18,7	25,2	30,3	30,4	31,6

Die Ergebnisse aus Tabelle 116 sind illustriert in Abbildung 16.

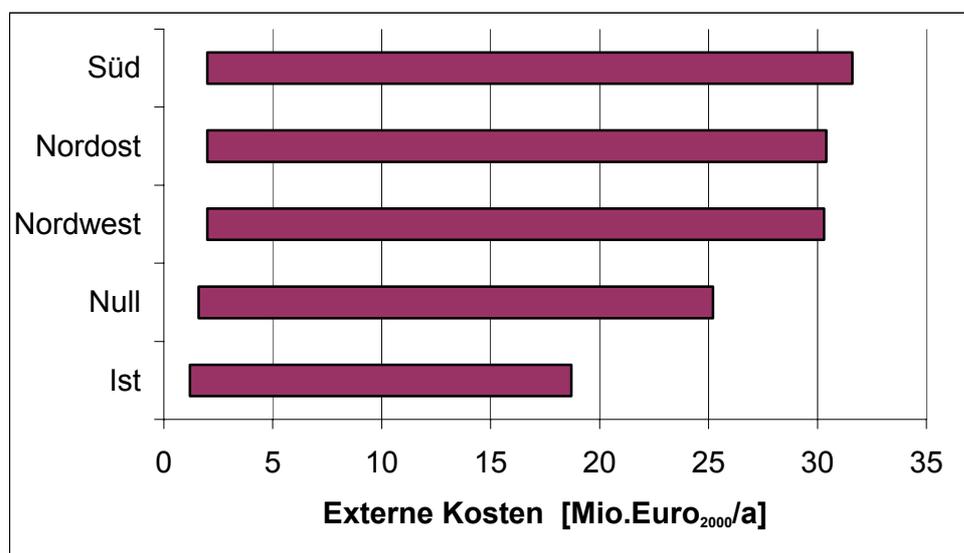


Abbildung 16: Bandbreite der externen Kosten der Treibhausgase durch Flugzeuge (Jahresbetrachtung) bei 2,4 bis 37 €₂₀₀₀/t CO₂

9.5.2.2 Sensitivitätsbetrachtung der Emissionen des Kfz-Verkehrs und stationäre Quellen auf dem Flughafen bezüglich Treibhausgase

In Tabelle 117 sind die externen Kosten der Treibhausgasemissionen des Kfz-Verkehrs und der stationären Quellen auf dem Flughafen dargestellt. Die Bandbreite ergibt sich durch Anwendung von spezifischen Schadenskosten pro Tonne CO₂ von 2,4 bis 37 €. Die Basiswerte hierzu sind in Tabelle 87 dargestellt.

Tabelle 117: Sensitivitätsbetrachtung der externen Kosten der Treibhausgasemissionen des Kfz-Verkehrs und stationäre Quellen

	Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
CO ₂ [t/a]	175.000	206.000	256.800	256.800	256.800
Externe Kosten 2,4 € ₂₀₀₀ /t CO ₂ [Mio.€ ₂₀₀₀ /a]	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6
Externe Kosten 37 € ₂₀₀₀ /t CO ₂ [Mio.€ ₂₀₀₀ /a]	6,5	7,6	9,5	9,5	9,5

Die Ergebnisse aus Tabelle 117 sind illustriert in Abbildung 17:

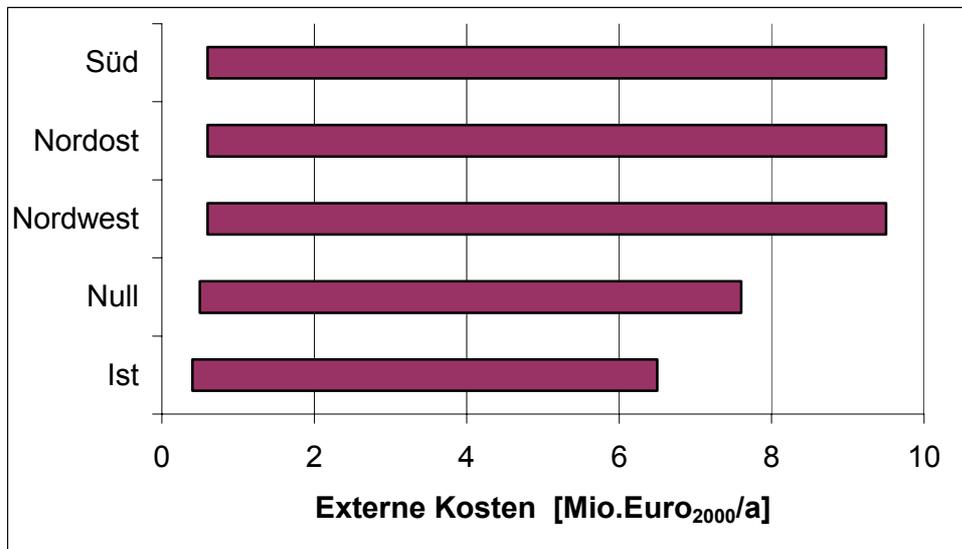


Abbildung 17: Bandbreite der externen Kosten der Treibhausgase durch Kfz-Verkehr und stationären Quellen auf dem Flughafen (Jahresbetrachtung) bei 2,4 bis 37 €₂₀₀₀/t CO₂

10 Zusammenstellung der ermittelten externen Kosten

10.1 Externe Gesamtkosten

Im Folgenden sind die ermittelten Ergebnisse der Abschätzung der externen Kosten für die Ausbauvarianten und den Ist-Fall in Tabelle 118 zusammengefasst. Die Ergebnisse wurden in den vorausgehenden Kapiteln berechnet und sind den Tabellen entnommen, auf welche in der ersten Spalte der Tabelle 118 verwiesen wird. Die zugrunde liegenden Daten und Methoden sind in den jeweiligen Kapiteln näher beschrieben. Es ist zu beachten, dass die Kosten in der folgenden Tabelle nicht immer addiert werden können, weil teilweise die gleichen Effekte mit unterschiedlichen Methoden bewertet wurden. In diesen Fällen sind die Kosten in einem gemeinsamen Kasten (ohne Quertrennungsstrich) dargestellt.

Tabelle 118: Zusammenfassung der externen Gesamtkosten

	2000	2015			
Externe Kosten [Mio.€ _{2000/a}]	Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
Luftschadstoffe					
Flugverkehr, Kfz-Verkehr und stationären Quellen auf dem Flughafengelände Tabelle 22	13,6	15,1	18,4	18,4	18,7
Vor- und nachgelagerte Prozesse					
a) Stromverbrauch, Tabelle 26	5,8	6,6	6,7	6,7	6,7
b) Treibstoffbereitstellung, Tabelle 28	3,7	5,0	6,0	6,0	6,3
c) Wärmeversorgung, Tabelle 33	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05
d1) Kälteversorgung, Ansatz mit Faktor, Tabelle 34	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03
d2) Kälteversorgung, Ansatz elektr. Strom, Tabelle 35	0,24	0,41	0,41	0,41	0,41
Flughafeninduzierter Kfz-Verkehr ^{*)} (Daten von 1998 als Abschätzung für Ist-Situation)					
a1) unterer Wert, Tabelle 40 und Tabelle 41	13,7	2,2	2,9	2,9	2,9
a2) oberer Wert, Tabelle 40 und Tabelle 41	13,7	4,6	6,1	6,1	6,1

	2000	2015			
Externe Kosten [Mio.€ ₂₀₀₀ /a]	Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
Lärm					
a) Gesundheitseffekte, Tabelle 54	0,01	0,02	0,06	0,13	0,05
b1) Schlafstörung, Tabelle 54	27	35	33	34	32
b2) Hedonic Pricing ab 55dB, Tabelle 55	28	29	35	42	32
b3) WG HSEA ab 55 dB, Tabelle 55	26	32	34	40	33
b4) WG HSEA ab 50 dB, Tabelle 55	62	75	78	86	75
c) Siedlungsbeschränkungsgebiete, Tabelle 65	3,8	4,7	5,6	5,2	5,5
Unfälle Tabelle 66	9,6	9,9	19,9	42,1	4,5
Natur und Landschaft					
a) Versiegelte Flächen, Tabelle 78			0,02	0,02	0,04
b1) Verlust der Erholungsfunktion von Wald, Wert für 20 Jahre, Tabelle 74	-	-	4,1	4,8	5,1
b2) Verlust der Erholungsfunktion von Wald, Wert für 150 Jahre, Tabelle 74	-	-	8,8	10,3	10,9
c1) Verlust von Biotopflächen (ohne Wald), Wert für 20 Jahre, Tabelle 82	-	-	0,08	0,09	0,09
c2) Verlust von Biotopflächen (ohne Wald), Wert für 50 Jahre, Tabelle 82	-	-	0,13	0,15	0,15
Globales Klima					
a) Flugverkehr, Tabelle 86	9,6	12,9	15,6	15,6	16,2
b) Kfz-Verkehr und stationären Quellen auf dem Flughafengelände, Tabelle 87	3,3	3,9	4,9	4,9	4,9
Vor- und Nachgelagerte Prozesse					
a) Stromverbrauch, Tabelle 88	6,3	6,9	7,0	7,0	7,0
b) Treibstoffbereitstellung, Tabelle 89	0,9	1,2	1,4	1,4	1,5
c) Wärmeversorgung, Tabelle 93	0,37	0,52	0,52	0,52	0,52
d1) Kälteversorgung, Ansatz mit Faktor, Tabelle 94	0,20	0,36	0,36	0,36	0,36
d2) Kälteversorgung, Ansatz Stromverbrauch, Tabelle 95	0,27	0,43	0,43	0,43	0,43

	2000	2015			
Externe Kosten [Mio.€ ₂₀₀₀ /a]	Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
Flughafeninduzierter Kfz-Verkehr, unterer Wert, Tabelle 39 und Tabelle 41 ^{*)}	10,3	6,3	8,2	8,2	8,2
Flughafeninduzierter Kfz-Verkehr, oberer Wert, Tabelle 39 und Tabelle 41 ^{*)}	10,3	12,7	16,6	16,6	16,6

^{*)} Externe Kosten des flughafeninduzierten Verkehrs – Nachrichtlich, da nicht den externen Kosten des Flughafenbetriebs zugeordnet.

Um die Ergebnisse aus Tabelle 118 zu illustrieren, werden die wichtigsten Beiträge in Abbildung 18 zusammengefasst. Hierdurch ist ein Variantenvergleich möglich, und der Einfluss der verschiedenen Kostenkategorien kann veranschaulicht werden. Welche Daten aus der obigen Tabelle in der Abbildung berücksichtigt wurden, ist in der der Abbildung nachfolgenden Tabelle aufgeführt.

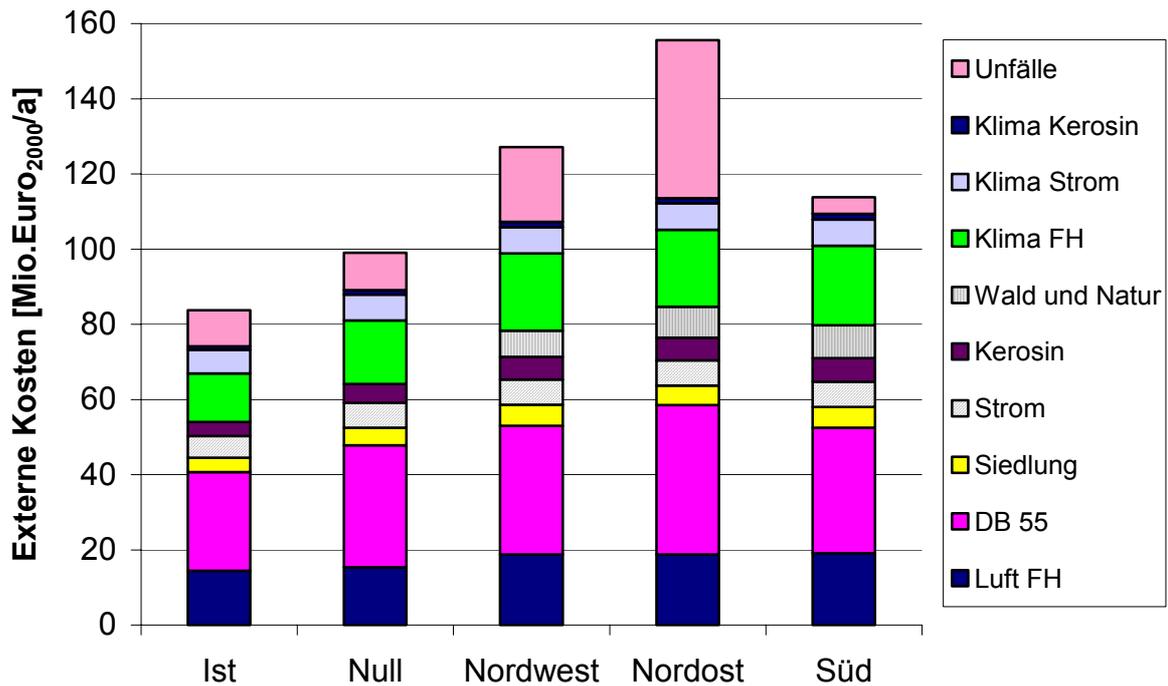


Abbildung 18: Zusammenfassung der wichtigsten Beiträge zu den Gesamtkosten – „beste Schätzung“

Legende	Erklärung
Unfälle	Unfälle, Tabelle 66
Klima Kerosin	Treibstoffbereitstellung, Tabelle 89, 19 € ₂₀₀₀ /tCO ₂
Klima Strom	Stromverbrauch, Tabelle 88, 19 € ₂₀₀₀ /tCO ₂
Klima FH	Flugverkehr, Kfz-Verkehr und stationären Quellen auf dem Flughafengelände, Tabelle 86 plus Tabelle 87, 19 € ₂₀₀₀ /tCO ₂
Wald und Natur	Verlust der Erholungsfunktion von Wald, Wert für 50 Jahre, Tabelle 74 plus Verlust von Biotopflächen (ohne Wald), Wert für 50 Jahre, Tabelle 82 plus permanenter Verlust von 2 Nutzenpunkten durch versiegelte Flächen Tabelle 78
Kerosin	Treibstoffbereitstellung, Tabelle 29
Strom	Stromverbrauch, Tabelle 26
Siedlung	Siedlungsbeschränkungsgebiete, Tabelle 65
DB 55	Bewertung WG HSEA , ab 55 dB mit 18 € ₂₀₀₀ /(dB*Person*a) Tabelle 55
Luft FH	Luftschadstoffe Regional plus Lokal: Flugverkehr, Kfz-Verkehr und stationären Quellen auf dem Flughafengelände, Tabelle 22

Ohne die Bewertung des Unfallrisikos wäre die Nordwestvariante am günstigsten, dicht gefolgt von der Südvariante. Aufgrund der niedrigen Unfallrisikos schneidet bei der Gesamtbewertung die Südvariante eindeutig am besten ab, gefolgt von der Nordwestvariante. Die Südvariante verursacht noch um ca. 14 Mio. € höhere externe Kosten als die Nullvariante

ohne Ausbau. Die größten Beiträge zu den externen Kosten liefern Lärm, Luftschadstoffe, Klimagase und Unfallrisiken. Wobei der Lärm den größten Beitrag verursacht.

Um nun die Unsicherheiten bezüglich der verschiedenen Kostenkategorien darzustellen, werden die Ergebnisse der Sensitivitätsbetrachtung in gleicher Weise gegenübergestellt. Dazu sind in Abbildung 19 die unteren Schätzungen der wichtigsten Beiträge zu den Gesamtkosten zusammengestellt. In Abbildung 20 sind die oberen Schätzungen der wichtigsten Beiträge zusammengestellt. (Hinweis: Der Wertebereich der Ordinate ist in den beiden Abbildungen unterschiedlich). Wie sich zeigt, sind die Unsicherheiten hoch – so ergibt sich für die Südvariante eine Bandbreite von ca. 36 – 240 Mio. € pro Jahr. Allerdings bleibt die Rangfolge der Varianten bei allen Rechnungen gleich.

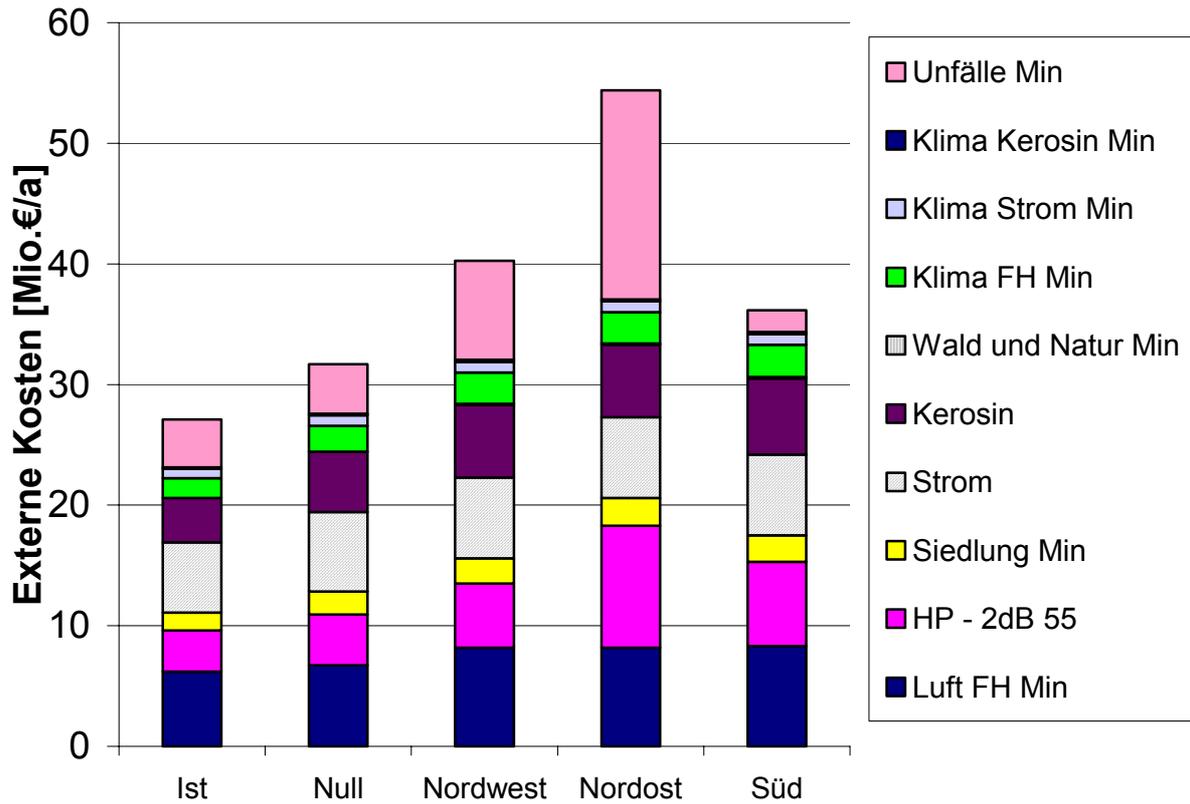


Abbildung 19: Zusammenfassung der wichtigsten Beiträge zu den Gesamtkosten – „untere Schätzung“

Legende	Erklärung
Unfälle Min	Unfälle Tabelle 111, VPF = 1,4 Mio.€ ₂₀₀₀
Klima Kerosin Min	Treibstoffbereitstellung, Tabelle 89, 2,4 € / CO ₂
Klima Strom Min	Stromverbrauch, Tabelle 88, 2,4 € / t CO ₂
Klima FH Min	Flugverkehr, Kfz-Verkehr und stationären Quellen auf dem Flughafengelände, 2,4 € / t CO ₂ Tabelle 116 plus Tabelle 117
Wald und Natur Min	Verlust von Wald bewertet nach Infraconsult (Fr. 10.--), Tabelle 113, Wert für 20 Jahre, plus Verlust von Biotopflächen (ohne Wald), Wert für 20 Jahre, Tabelle 114 plus permanenter Verlust von 2 Nutzenpunkten durch versiegelte Flächen Tabelle 78
Kerosin	Treibstoffbereitstellung, Tabelle 29
Strom	Stromverbrauch, Tabelle 26
Siedlung Min	Siedlungsbeschränkungsbereiche, Tabelle 110
HP - 2dB 55	Sensitivität, Hedonic Pricing - 2dB, ab 55 dB, mit 27 € ₂₀₀₀ /(dB*Person*a) Tabelle 105
Luft FH Min	Luftschadstoffe Regional plus Lokal: Flugverkehr, Kfz-Verkehr und stationären Quellen auf dem Flughafengelände, VPF = 1,4 Mio.€ ₂₀₀₀ , Tabelle 100

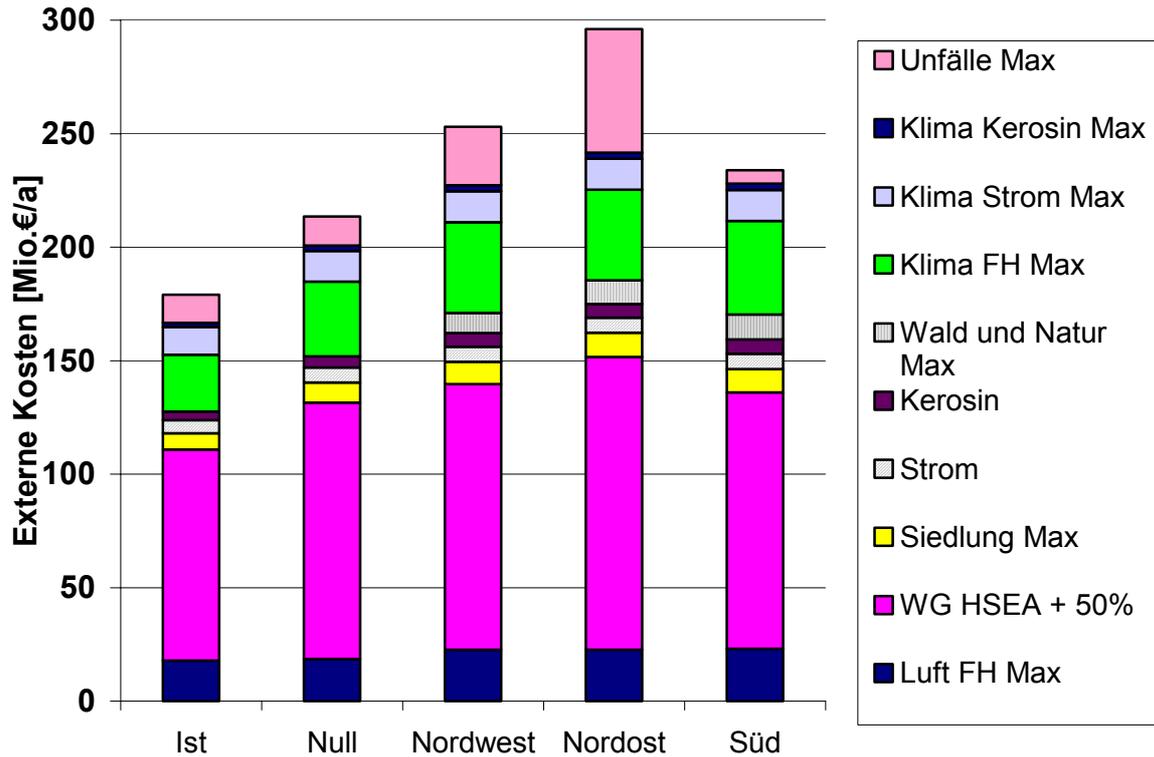


Abbildung 20: Zusammenfassung der wichtigsten Beiträge zu den Gesamtkosten – „obere Schätzung“

Legende	Erklärung
Unfälle Max	Unfälle Tabelle 112, VPF = 4,4 Mio.€ ₂₀₀₀
Klima Kerosin Max	Treibstoffbereitstellung, Tabelle 89, 37 € / CO ₂
Klima Strom Max	Stromverbrauch, Tabelle 88, 37 € / t CO ₂
Klima FH Max	Flugverkehr, Kfz-Verkehr und stationären Quellen auf dem Flughafengelände, 37 € / tCO ₂ Tabelle 116 plus Tabelle 117
Wald und Natur Max	Verlust der Erholungsfunktion von Wald, Wert für 150 Jahre, Tabelle 74 plus Verlust von Biotopflächen (ohne Wald), Wert für 50 Jahre, Tabelle 82 plus permanenter Verlust von 2 Nutzenpunkten durch versiegelte Flächen Tabelle 78
Kerosin	Treibstoffbereitstellung, Tabelle 29
Strom	Stromverbrauch, Tabelle 26
Siedlung Max	Siedlungsbeschränkungsgebiete, Tabelle 110
WG HSEA + 50%	WG HSEA ab 50dB(L)den mit 27 €/(dB*Person*a), Tabelle 107
Luft FH Max	Luftschadstoffe Regional plus Lokal: Flugverkehr, Kfz-Verkehr und stationären Quellen auf dem Flughafengelände, VPF = 4,4 Mio.€, Tabelle 100

10.2 Marginale Kosten

10.2.1 Luftschadstoffe und Treibhausgase

Die marginalen Kosten der Luftschadstoffe und Treibhausgasemissionen wurden für insgesamt 91 Flugzeugtypen / Triebwerkskonfigurationen berechnet, die Ergebnisse sind in Abbildung 2 bzw. Abbildung 3 und ausführlich im Anhang in den Tabelle 143 und Tabelle 144 angegeben. Diese 91 Flugzeugtypen / Triebwerkskonfigurationen wurden auch zur Berechnung der externen Kosten durch Lärm verwendet, denn sie decken den größten Teil der derzeit tatsächlich am Flugbetrieb beteiligten Flugzeuge ab. Für Lärm wurden die externen Kosten auch differenziert nach An- und Abflugroute ermittelt. Im Falle von Luftschadstoffen werden die Routen nicht differenziert betrachtet, weil die Unterschiede nur sehr gering sind. Üblicherweise werden die Flugzeugtypen nach AzB-Klassen sowie im Falle des Frankfurter Flughafens nach LAZ-Klassen differenziert betrachtet. Im Folgenden werden daher auch marginale Kosten für diese Klassen angegeben, um die Übersichtlichkeit zu wahren. Da die Bandbreite externer Kosten innerhalb der Klassen jedoch sehr groß ist, wurden die Ergebniswerte für jedes einzelne der betrachteten Flugzeugtypen im Anhang auch einzeln dargestellt.

In Tabelle 119 und Tabelle 120 sind zunächst die marginalen Kosten durch Luftschadstoffe für die AzB-Klassen, dargestellt. Diese Ergebnisse beruhen auf den Daten aus (ROV G7.3 2001), wo 1 bis 4 Flugzeugtypen / Triebwerkskonfigurationen ausgewählt wurden, die charakteristisch für die jeweilige AzB-Klasse sind. Des Weiteren sind die kleinsten und größten Werte der jeweiligen AzB-Klasse aufgeführt, die sich bei der Bewertung der insgesamt 91 Flugzeuge ergaben.

Tabelle 119: Zusammenfassung der marginalen Kosten durch Luftschadstoffe der AzB-Klassen in der Ist-Situation [€₂₀₀₀/LTO]

AzB-Klasse 2000	S5.1	S5.2	S5.3	S6.1	S6.2	S6.3	S7.1	P2.1
Gewichteter Mittelwert nach AzB-G7.3 -Summe aus Tabelle 17 und Tabelle 85	44,4	75,5	76,1	163,9	260,5	182,5	341,3	15,6
Maximum aus den Flug- zeugen der Klasse, Tabelle 143	70,04	154,35	---	238,35	313,83	183,57	362,37	---
Minimum aus den Flug- zeugen der Klasse, Tabelle 143	14,66	54,12	---	129,16	133,3	183,57	250,97	---

Tabelle 120: Zusammenfassung der marginalen Kosten durch Luftschadstoffe der AzB-Klassen im Nullfall und den Planungsfällen-[€₂₀₀₀/LTO]

AzB-Klasse 2015	S5.1	S5.2	S5.3	S6.1	S6.2	S6.3	S7.1	P2.1
Gewichteter Mittelwert entspr. AzB-G7.3; Summe aus Tabelle 17 und Tabelle 85	24,7	75,9	---	200,7	264,3	235,5	339,2	16
Maximum aus den Flugzeugen der Klasse, Tabelle 144	70,24	154,7	---	238,91	314,48	183,92	363,02	---
Minimum aus den Flugzeugen der Klasse, Tabelle 144	14,7	54,23	---	129,52	133,57	183,92	251,43	---

Unter diesen 91 Flugzeuge sind keine, die den AzB-Klassen S5.5 und P2.1 untergeordnet sind, diese Klassen sind in den Tabellen daher auch nicht enthalten. Die Ergebnisse für die Auswahl von Flugzeugen in (ROV G7.3 2001) sind eine gute Annäherung an den Mittelwert der Ergebnisse aus den 91 untersuchten Flugzeugtypen / Triebwerkskonfigurationen. Die Bandbreite der Ergebnisse (siehe auch Abbildung 2 bzw. Abbildung 3) ist allerdings recht groß.

Zu Tabelle 119 und Tabelle 120 ist anzumerken, dass die selben Fluggerät / Triebwerk Kombinationen identische Emissionen in 2000 und 2015 haben. Die externen Kosten unterscheiden sich aber bezüglich der Luftschadstoffe, da durch eine erhöhte Besiedlungsdichte im Jahr 2015 mehr Menschen den selben resultierenden Schadstoffkonzentrationserhöhungen ausgesetzt sind, und somit höhere externe Kosten entstehen. Des Weiteren unterscheiden sich die AzB-2000 und AzB2015 in (ROV G7.3 2001) durch die Zusammensetzung der AzB-Klassen aus unterschiedlichen Fluggerät / Triebwerk Kombinationen In Abbildung 21 und Abbildung 22 sind die Bandbreite und der Mittelwert der externen Kosten durch Luftschadstoffe und Treibhausgase der 91 Flugzeugtypen / Triebwerkskonfigurationen dargestellt. Die Flugzeuge sind nach den LAZ-Klassen unterteilt. Auch in diesen Kategorien bestehen relativ große Bandbreiten der

Ergebnisse.

(Der arithmetische Mittelwert wird durch den schwarzen Balken angezeigt).

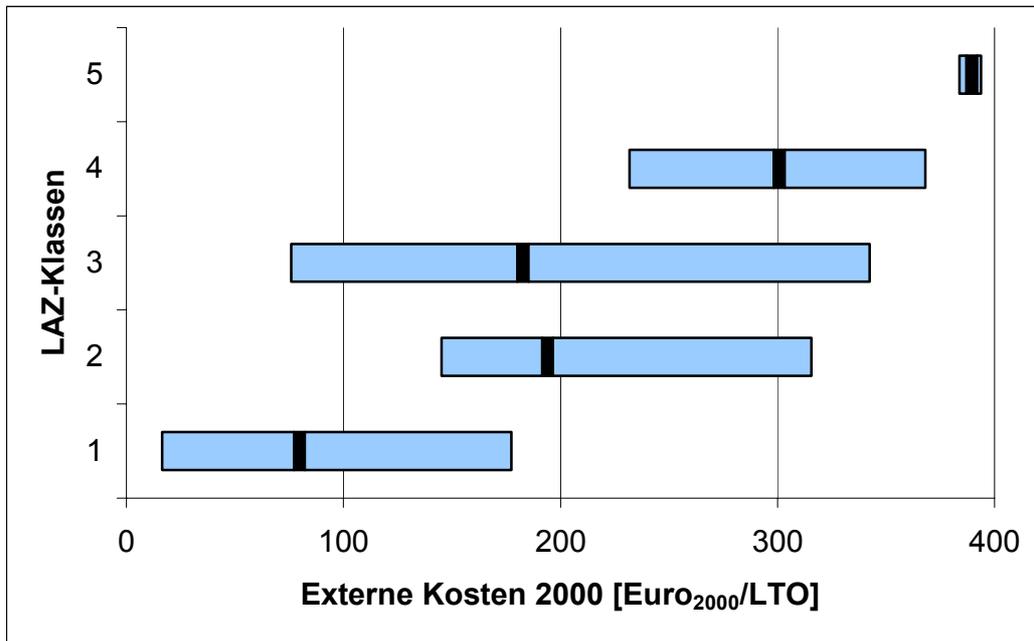


Abbildung 21: Bandbreite und Mittelwert der externen Kosten der Luftschadstoffe und Treibhausgase bezüglich der Flugzeuge mit LAZ-Klassen - 2000

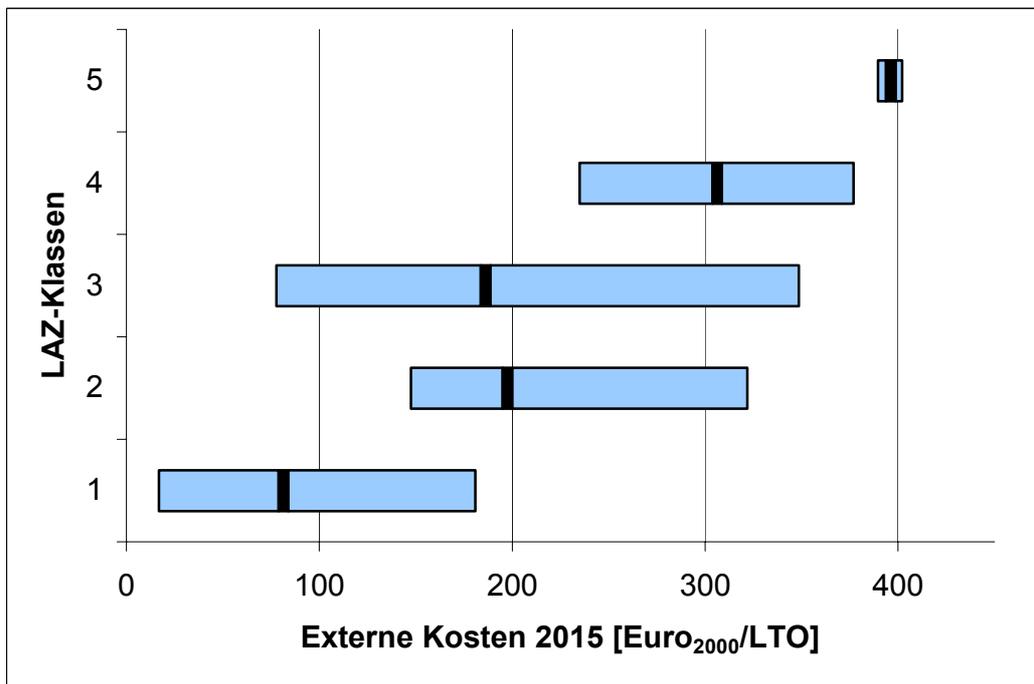


Abbildung 22: Bandbreite und Mittelwert der externen Kosten der Luftschadstoffe und Treibhausgase bezüglich der Flugzeuge mit LAZ-Klassen – 2015

10.2.2 Marginale externe Kosten durch Lärm

Die marginalen Kosten durch Lärm werden von vielen Faktoren beeinflusst. Die wichtigsten wurden in diesem Gutachten in Betracht gezogen und die Ergebnisse sind dargestellt in

Kapitel 4.2.2. Die Bandbreite der Ergebnisse ist groß, sodass davon ausgegangen werden muss, dass die einfache Einteilung nach AzB-Klassen oder nach LAZ-Klassen nur wenig zur Internalisierung der externen Kosten geeignet ist. Die Ergebnisse aus Kapitel 4.2 lassen sich nicht übersichtlicher zusammenfassen, deswegen wird in Kapitel 10.4 anhand von Beispielen demonstriert, wie die Ergebnisse für verschieden Flugzeugtypen und Start- bzw. Landebedingungen aus den entsprechenden Tabellen verwendet werden können, um gesamte marginale Kosten zu berechnen.

10.3 Durchschnittliche externe Kosten, die nicht flugzeugspezifisch ermittelt wurden

Für die anderen Kostenkategorien außer Luftschadstoffe/Treibhausgase und Lärm (z. B. Unfälle, Wald und Natur, vorgelagerte Prozesse) wurde keine marginalen Kosten in Anhängigkeit vom Flugzeugtyp berechnet. Deshalb werden stattdessen durchschnittliche Kosten verwendet. Diese sind dargestellt in Tabelle 121. Sie wurden berechnet aus den externen Kosten, die nicht nach Flugzeugtyp differenziert ermittelt wurden (siehe Abbildung 23) und der Anzahl der Flugbewegungen in Tabelle 130.

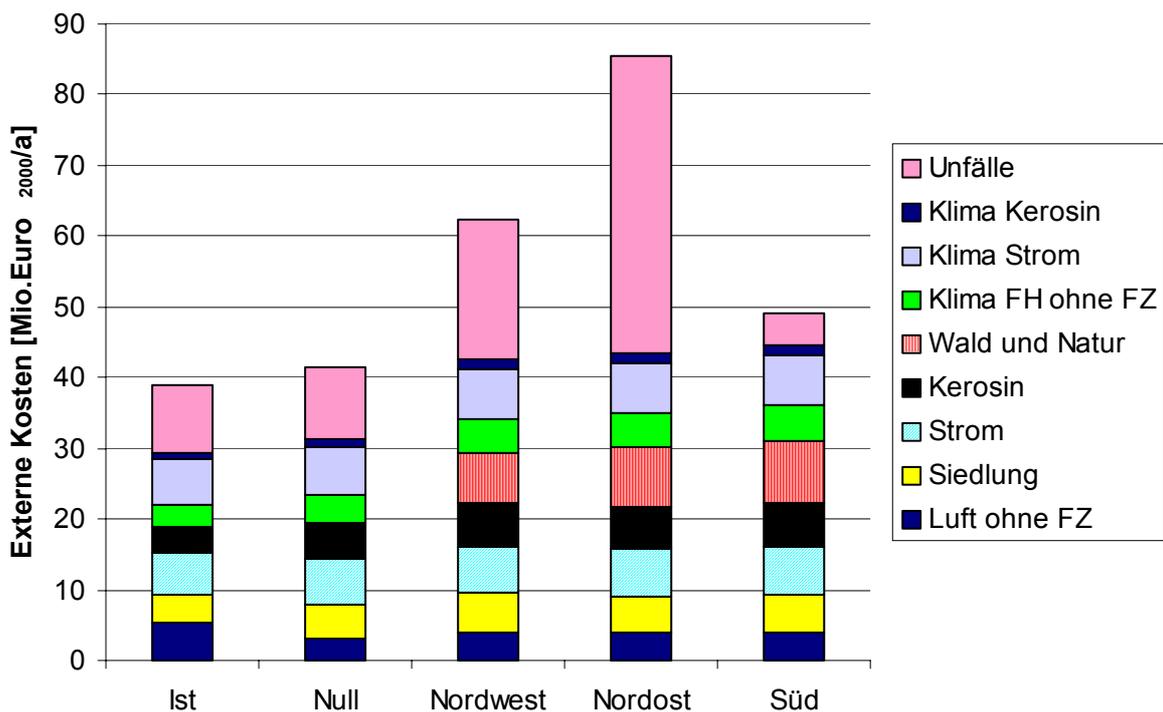


Abbildung 23: Externe Kosten, die nicht nach Flugzeugtyp differenziert ermittelt wurden (FZ=Flugzeug)

Legende	Erklärung
Unfälle	Unfälle, Tabelle 66
Klima Kerosin	Treibstoffbereitstellung, Tabelle 89 19 € ₂₀₀₀ / CO ₂
Klima Strom	Stromverbrauch, Tabelle 88, 19 € ₂₀₀₀ / CO ₂
Klima FH ohne FZ	Flugverkehr, Kfz-Verkehr und stationären Quellen auf dem Flughafengelände, Tabelle 87, 19 € ₂₀₀₀ /tCO ₂
Wald und Natur	Verlust der Erholungsfunktion von Wald, Wert für 50 Jahre, Tabelle 74 plus Verlust von Biotopflächen (ohne Wald), Wert für 50 Jahre, Tabelle 82 plus permanenter Verlust von 2 Nutzenpunkten durch versiegelte Flächen Tabelle 78
Kerosin	Treibstoffbereitstellung, Tabelle 29
Strom	Stromverbrauch, Tabelle 26
Siedlung	Siedlungsbeschränkungsgebiete, Tabelle 65
Luft FH ohne FZ	Luftschadstoffe Regional plus Lokal: Kfz-Verkehr und stationären Quellen auf dem Flughafengelände, Tabelle 21

Die Flugzeuge verursachen durch Lärm, Luftschadstoffe und Treibhausgase externe Kosten. In Tabelle 121 sind die durchschnittlichen externen Kosten pro Flugbewegung aufgeführt, die noch zusätzlich verursacht werden, aber nicht nach Flugzeugtyp differenziert ermittelt wurden. In Tabelle 122 sind die durchschnittlichen externen Kosten, ohne potentielle Unfälle, pro Passagier dargestellt.

Tabelle 121: Durchschnittliche externe Kosten pro Flugbewegung, die nicht nach Flugzeugtyp differenziert ermittelt wurden [€₂₀₀₀/Flugbewegung]

Variante	Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
Externe Kosten [€ ₂₀₀₀ /Flugbewegung]	82,83	82,10	94,54	129,58	74,14

Tabelle 122: Durchschnittliche externe Kosten pro Passagier, die nicht nach Flugzeugtyp differenziert ermittelt wurden (ohne Unfallrisiko) [€₂₀₀₀/Passagier]

Variante	Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
Externe Kosten [€ ₂₀₀₀ /Passagier], ohne Unfallrisiko	0,57	0,53	0,52	0,53	0,54

10.4 Gesamte marginale externe Kosten

Für die Berechnung der gesamten marginalen externen Kosten pro LTO müssen nun die verschiedenen Kostenkategorien (Luftschadstoffe, Lärm usw.) addiert werden. Marginale Kosten konnten berechnet werden für Lärm und Luftschadstoffe/Treibhausgase. Da die lärmbedingten externen Kosten stark abhängig sind von der jeweiligen Start-, bzw. Landebahn, der gewählten Route und von der Tageszeit, gibt es für jeden Flugzeugtyp sehr viele Varianten. Eine Ermittlung und Darstellung aller Varianten für alle Flugzeugtypen ist hier jedoch zu aufwändig. Stattdessen werden einige Flugzeugtypen ausgewählt, für die Ergebnisse für die Ist-Situation beispielhaft dargestellt werden. Dazu werden die Ergebnisse aus Kapitel 4.2.2, die Ergebnisse zu externen Kosten durch Luftschadstoffe und Treibhausgase, und die durchschnittlichen externen Kosten (siehe Abbildung 23) verwendet. Es wurden 6 Flugzeugtypen aus verschiedenen AzB-Klassen, bzw. LAZ-Klassen ausgewählt. Die Flugzeuge sind beschrieben in Tabelle 123. Die externen Kosten bezüglich potentieller Unfälle werden für alle Flugzeuge mit 42 €/LTO angesetzt. Die durchschnittlichen externen Kosten der restlichen Kategorien werden anhand der Sitzplätze und unter der Annahme einer 80 prozentigen Auslastung auf die verschiedenen Flugzeuge umgelegt. Es ergibt sich ein Wert von 57 €-Cent pro Passagier und Flugbewegung für die durchschnittlichen externen Kosten ohne Unfallrisiko (siehe Tabelle 122). Dieser Wert ergibt sich aus den externen Kosten, die nicht nach Flugzeugtyp differenziert ermittelt wurden (ohne potentielle Unfälle) (siehe Abbildung 23) und der Anzahl der Passagier in der Ist-Situation (50 Mio. Passagiere pro Jahr). Es wurden Flugrouten verwendet, die die Bandbreite der möglichen Ergebnisse darstellen sollen, also sowohl die oberen als auch die unteren Extreme vertreten. Die Abflugroute 18-KIR-L verläuft zunächst nach Süden, dann nach Südwesten über weniger dicht besiedeltem Gebiet, während 07-N-L eine Route bezeichnet, die nach dem Start nach NNO dreht und dicht besiedeltes Gebiet zwischen Frankfurt und Offenbach überfliegt.

Die Ergebnisse sind dargestellt in Abbildung 24 und Abbildung 25.

Tabelle 123: Ausgewählte Flugzeuge für die Darstellung der gesamten marginalen externen Kosten pro LTO-Zyklus

Beispielflugzeug	UID	LAZ-Klasse	AzB-Klasse	Sitzplätze (Mittelwert)
Embraer 145 ER/Allison AE3007	4AL003	1	S5.1	112
Airbus A320-211 CFM56-5A1	1CM008	1	S5.2	150
Airbus A300-622R / PW4158	1PW048	2	S6.1	266
Airbus A340-211/CFM 56-5C2	1CM010	3	S6.3	303
B747-400/PW4056	1PW041	4	S7	420
B747-200/JT9D-7	1PW020	5	S7	469

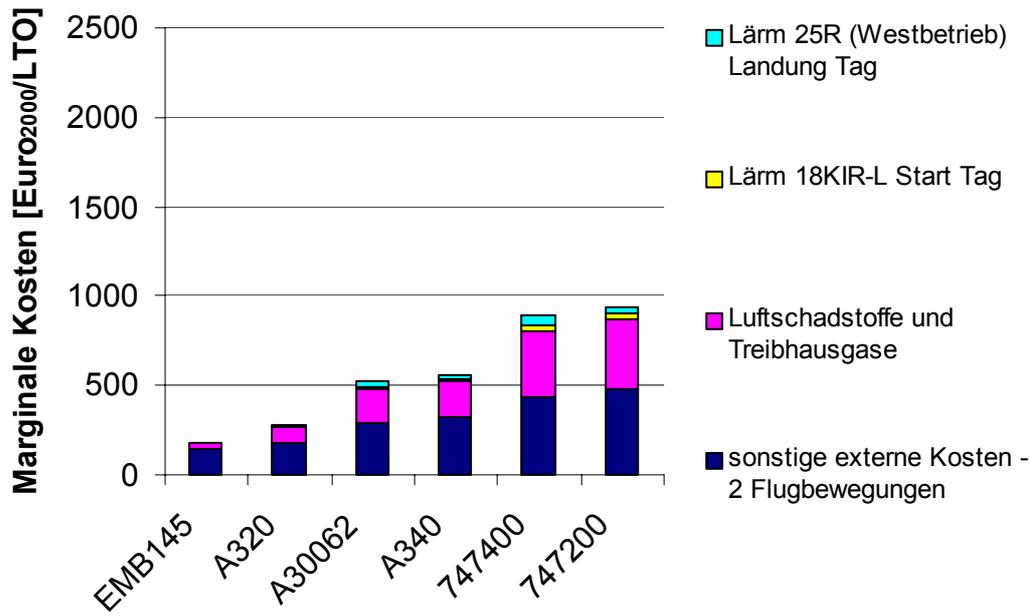


Abbildung 24: Gesamte marginale Kosten für Start und Landung am Tag, Flugrouten mit niedrigen externen Kosten bezüglich Lärm, (18KIR-L bezeichnet die Abflugroute)

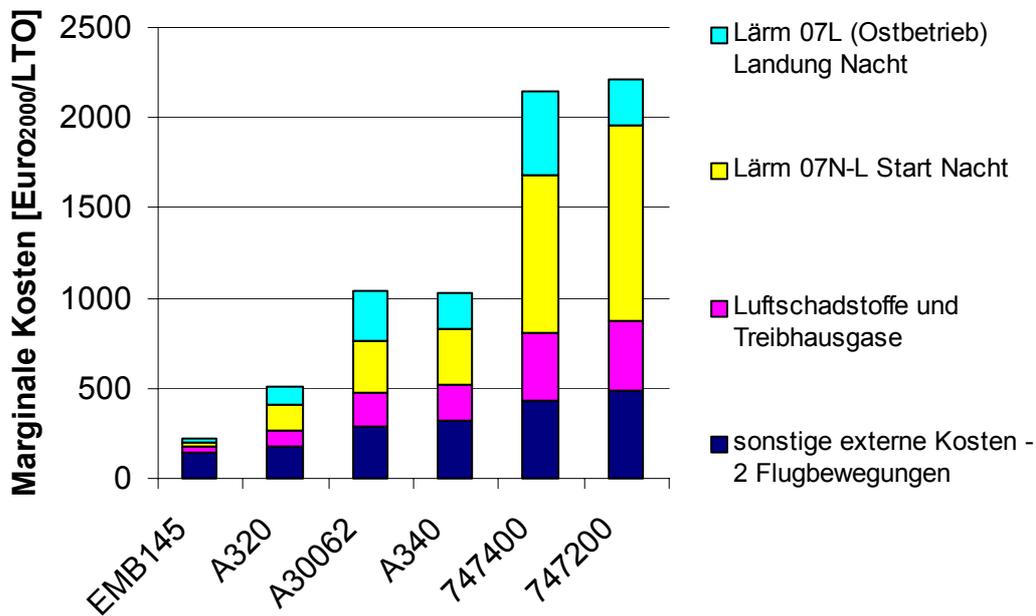


Abbildung 25: Gesamte marginale Kosten für Start und Landung in der Nacht, Flugrouten mit hohen externen Kosten bezüglich Lärm, (07N-L bezeichnet die Abflugroute)

Die verwendeten Ergebnisse stammen aus:

- Tabelle 56: Marginale externe Kosten für den Start am Tag auf verschiedenen Abflugrouten für die Ist-Situation (Bewertung mit 18 €2000/dBLden pro Pers; Schwellwert 50dBLden)
- Tabelle 59: Marginale externe Kosten für den Anflug am Tag, Abend und in der Nacht in Richtung 07 und 25 für die Ist-Situation (Bewertung mit 18 €2000/dBLden pro Person; Schwellwert 50dBLden).
- Tabelle 122: Durchschnittliche externe Kosten pro Passagier, die nicht nach Flugzeugtyp differenziert ermittelt wurden (ohne Unfallrisiko) [€₂₀₀₀/Passagier]
- Tabelle 135: Marginale externe Lärmkosten für den Start am Abend und in der Nacht auf verschiedenen Abflugrouten für die Ist-Situation (Bewertung mit 18 €2000/dBLden pro Person; Schwellwert 50dBLden) und
- Tabelle 143: Marginale externe Kosten verschiedener Flugzeugtypen und Turbinentypen bezüglich Luftschadstoffe und Treibhausgase in 2000.

Es zeigt sich, dass die gesamten externen Kosten sowohl von der gewählten Flugroute als auch vom Flugzeugtyp stark abhängen.

11 Internalisierung

Sind die marginalen externen Kosten einer Aktivität ihrer Höhe nach bekannt, so stellt sich die Frage nach dem geeigneten Instrument ihrer Internalisierung. Hierzu existiert im Rahmen der wohlfahrtsökonomischen Theorie eine Reihe von Instrumenten, die diese Kosten dem Verursacher anlasten bzw. dafür sorgen, dass alle Entscheidungsträger diese durch sie verursachten Kosten auch in ihre Entscheidung einbeziehen. Die bedeutendsten dieser Instrumente sind Auflagen, Steuern und Zertifikate. Deren Einsatz kann durch weitere flankierende Maßnahmen (z. B. Information, Aufklärung und Appelle) unterstützt werden, welche erst Verständnis und Akzeptanz schaffen und somit letztlich die Wirksamkeit erhöhen oder die Einführung der zentralen Instrumente erst in der Praxis ermöglichen.

11.1 Bestehende Strukturen der Preisbildung auf Flughäfen

11.1.1 Allgemeine Aussagen

Wie etwa bei (ESCAP/AITD 2001) im Überblick festgestellt wird, sind die Entgeltsysteme bei Flughafenanlagen und sonstigen Diensten an Flughäfen sehr vielfältig ausgestaltet und haben sich über die Jahre oft unsystematisch weiter entwickelt. Die wichtigsten Entgelte basieren in der Regel auf dem zulässigen Gesamtgewicht des Flugzeuges; hinzu kommt häufig ein Entgelt je Passagier.

Solche und weitere Entgelte stehen häufig entweder gar nicht oder nur sehr indirekt bzw. in grober Tendenz in Zusammenhang mit eventuellen externen Kosten, die konkret durch die Beförderungsfälle verursacht werden. Es existiert zwar eine Empfehlung der ICAO (International Civil Aviation Organization, der Weltverband der zivilen Luftfahrt), nach der Flughafenentgeltsysteme so ausgestaltet sein sollen, dass jeder Verkehrstyp seinen gerechten Anteil an den Flughafenkosten tragen sollte – eine Spezifikation, wie Flughafenkosten definiert oder gemessen werden, oder wie ein „gerechter Anteil“ an diesen Kosten abgeschätzt werden sollte, existiert jedoch bisher nicht (ESCAP/AITD 2001).

Der einzige Fall, bei dem für ein Flughafenentgelt in wesentlichem Umfang eine solche Bemessungsgrundlage angewandt wird, bei der ein unmittelbarer Bezug zu den verursachten externen Kosten erkennbar ist, ist die einer Differenzierung nach der Lärmkategorie der Flugzeuge. Alternativ zu direkten Lärmgebühren findet sich auch die Lösung, dass etwa das Landeentgelt an die Lärmemissionen des Flugzeugs angepasst sind. So wurde auch auf allen deutschen Flughäfen (in Frankfurt allerdings nur bis zum Jahre 2000) bereits seit längerer Zeit die Lärmklasseneinteilung der ICAO herangezogen, um Lande- und Startentgelte zu differenzieren.

11.1.2 Die aktuelle Entgeltordnung des Flughafens Frankfurt

Für den Flughafen Frankfurt hat sich die Fraport AG dazu entschlossen, die Lärmdifferenzierung nicht mehr länger (wie allgemein in Deutschland üblich) auf dem Regelwerk der ICAO aufzubauen, da dieses nach Einschätzung von Fraport nicht mehr in angemessener Weise die heutige Flugzeugentwicklung in Bezug auf Lärm wiedergibt (Fraport 2002a). In Konsequenz dieser Erkenntnis hat Fraport seit dem 1.1.2001 eine neue Entgeltordnung eingeführt; diese beruht auf Lärmdaten, die mit der eigenen Fluglärmmessanlage erhoben wurden.

Nach Aussage der Fraport AG hat das System gegenüber der alten Kategorisierung eine höhere Anreizwirkung, auf moderne und lärmärmere Flugzeuge umzusteigen; die Lärmklasse 1 stellt die lärmärmsten Flugzeuge dar, für die auch die geringsten Zuschläge zu zahlen sind. Darüber hinaus wird zusätzlich innerhalb jeder der sieben Klassen zwischen Flugbewegungen bei Tag und bei Nacht unterschieden, siehe (Fraport 2002a) und ausführlicher (Fraport 2003a).

Der Zuschlag zwischen Tag und Nacht nimmt, wie aus der folgenden Tabelle 124 hervorgeht, mit steigender Lärmklasse überproportional zu, um insbesondere in der Nacht Starts und Landungen besonders lauter Flugzeuge unattraktiv zu machen; Flugzeuge der Klassen 6 und 7 haben sogar ein generelles Start- und Landeverbot werktags zwischen 20 und 8 Uhr sowie am Wochenende, mit gewissen Ausnahmen für den Einsatz von Militärflugzeugen.

Tabelle 124: Lärmbezogene Komponente der Lande- und Startentgelte nach der Entgeltordnung der Fraport AG (aktueller Stand gültig seit dem 1. Januar 2003)

Lärmkategorie	LAZ in dB(A)	Lärmkomponente ganztägig in € je Bewegung	Lärmkomponente Nachtzeit (22.00 – 05.59) in € je Bewegung
1	bis 69,9 dB(A)	0,--	32,--
2	70,0 – 73,9 dB(A)	20,--	78,50
3	74,0 – 76,9 dB(A)	44,--	137,--
4	77,0 – 79,9 dB(A)	137,--	255,--
5	80,0 – 82,9 dB(A)	292,50	820,--
6	83,0 – 85,9 dB(A)	3.000,--	Start- und Landeverbot / 8.000,-- ¹⁾
7	86,0 dB(A) und mehr	6.000,--	Start- und Landeverbot / 16.000,-- ¹⁾

Quelle: (Fraport 2003a). Zur LAZ-Messung siehe Kapitel 2.8

1) Ausnahmen vom generellen Start- und Landeverbot, für die die genannten hohen Lärmkomponenten erhoben werden, kommen de facto nur bei militärischer Nutzung vor.

Über die lärmabhängige Komponente der allgemeinen Flughafenentgelte hinaus werden seit dem 1.11.2002 weitere Lärmzuschläge erhoben. Diese fließen getrennt von den

Flughafenentgelten in einen gesonderten Lärmschutzfonds, aus dem die Durchführung von Schallschutzmaßnahmen finanziert werden soll (Fraport 2003a).

In dem für die Schallschutzmaßnahmen festgelegten Gebiet erhalten alle Hauseigentümer - auf Antragstellung hin und nach individueller Begutachtung des Objekts - in voller Höhe die als wirksam und erforderlich begutachteten Maßnahmen finanziert, die die Erreichung des Schutzziels gewährleisten. Dieses Schutzziel ist so definiert, dass der Maximalpegel von 52 dB(A) in der Nachtzeit höchstens sechsmal auftreten darf. Die Finanzierung dieser Maßnahmen erfolgt dann zu 100 % aus diesem Fond.

Die Lärmzuschläge bestehen aus einer Komponente pro Flugbewegung, die wiederum nach den sieben Lärmkategorien gestaffelt ist (siehe Tabelle 125); hinzu kommt noch eine variable Komponente (0,50 € je Passagier, der sich beim Start an Bord befindet, sowie 0,25 € je angefangene 100 kg Fracht und Post an Bord bei Abflug) (Fraport 2003a). Die lärmkategorienbezogenen Zuschläge sind ebenfalls nach Lärmhöhe überproportional ansteigend gestaffelt, wenn auch etwas gemäßiger. Die separate Behandlung dieser Zuschläge ist dadurch angezeigt, dass diese im Gegensatz zu den normalen Entgelten zweckgebunden an das Schallschutzprogramm sind und in voller Höhe hierfür verwendet werden. Da die davon betroffenen Immobilien noch nicht abschließend begutachtet sind, ist das Ende der Maßnahmen wie auch die Geltungsdauer der Zuschläge zu deren Finanzierung noch nicht bestimmt; Fraport geht von einem Zeithorizont bis zum Jahr 2006 aus.

Tabelle 125: Lärmzuschläge zur Finanzierung von Schallschutzmaßnahmen; fixer Bestandteil nach der Zuordnung des Flugzeugs zu Lärmkategorien (ab dem 1. November 2002, konstant bis zum Ende der Laufzeit des Programms)

Lärmkategorie	LAZ in dB(A)	Lärmkomponente ganztägig in € je Bewegung	Lärmkomponente Nachtzeit (22.00 – 05.59) in € je Bewegung
1	bis 69,9 dB(A)	5,--	12,50
2	70,0 – 73,9 dB(A)	10,--	20,--
3	74,0 – 76,9 dB(A)	15,--	27,50
4	77,0 – 79,9 dB(A)	20,--	35,--
5	80,0 – 82,9 dB(A)	25,--	42,50
6	83,0 – 85,9 dB(A)	250,--	500,--
7	86,0 dB(A) und mehr	500,--	1.000,--
Quelle: (Fraport 2003a)			

Hinzu kommen als weitere Komponenten im Bereich der allgemeinen Flughafenentgelte:

- gewichtsbezogene Entgelte je Bewegung, die sich (soweit die Mindestentgelte überschritten werden) am Höchstabfluggewicht orientieren, sowie
- passagierbezogene Entgelte, die je nach den betroffenen Ländern des Fluges zwischen € 9,55 (Transfer- und Transitfluggäste, die den Flug lediglich in Frankfurt unterbrechen und am gleichen Tag bzw. mit demselben Flugzeug weiterfliegen) und € 15,91 (Zusteiger im interkontinentalen Verkehr) betragen
- flugzeuggrößenbezogene Basisentgelte sowie Zeitzuschläge für Abstellvorgänge je angefangene Stunde, Zuschläge für Abstellvorgänge an der Gebäudeposition
- flugzeuggrößenbezogene Entgelte für zentrale Bodenverkehrsdienst-Infrastruktureinrichtungen (insbes. Gepäckeinrichtungen und -förderanlagen sowie Enteisungseinrichtungen für Flugzeuge).

Die letztgenannten Komponenten wurden von der Fraport AG unter betriebswirtschaftlichen Kostendeckungsaspekten gewählt. Allerdings sind die gewichts- und passagierbezogenen Entgelte durchaus auch im Zusammenhang mit externen Kosten relevant: Wie die Ergebnisse aus Kapitel 4.2 zeigen, beeinflusst die Auslastung eines Flugzeugs (über den sich verändernden Steigungswinkel beim Start mit zunehmender Gewichtsauslastung und damit das Ausmaß der durch Lärm betroffenen Bevölkerung) die Höhe der externen Kosten zu einem erheblichen Anteil.

Hinsichtlich der Komponenten, die der Internalisierung von externen Kosten durch Lärm dienen (einschließlich des Lärmzuschlags zur Finanzierung von Schallschutzmaßnahmen) ist der von Fraport gewählte Ansatz, die Entgelte von Lärmkategorien abhängig zu machen, tendenziell als ein Schritt in die richtige Richtung zu bezeichnen. Aufgrund der Ergebnisse der vorliegenden Studie kann nun beurteilt werden, ob diese differenzierte Entgelterhebung in der gewählten Einteilung nach LAZ-Klassen prinzipiell geeignet ist, um die tatsächliche Höhe der externen Kosten hinreichend genau wiederzugeben. Weiterhin sind die anderen Kategorien externer Kosten adäquat zu berücksichtigen.

11.2 Möglichkeiten von Internalisierungs- und Preisgestaltungskonzepten

Prinzipiell ist darauf zu achten, dass sich die Entgelterhebung an den marginalen sozialen Kosten orientieren sollen, um ein gesamtwirtschaftlich optimales Ergebnis zu erzielen.

Weiterhin findet sich in der theoretischen, aber auch angewandten Literatur als so genannte „second-best“-Besteuerung das Konzept des Ramsey-Pricing (eine auf den englischen Mathematiker Frank Ramsey zurückgehende Regel der optimalen Preissetzung). Hierfür besteht in der Situation eines natürlichen Monopols ein Bedarf, und zwar dann, wenn die Grenzkosten geringer als die Durchschnittskosten sind (beispielsweise durch hohe Fixkosten, die ebenfalls über Entgelte weiter verteilt werden müssen). Dies ist in Anhang 3 näher erläutert. Prinzipiell kann dieses Preissetzungsprinzip auch dafür geeignet sein, um eine optimale betriebswirtschaftliche Kostendeckung zu finden.

11.3 Eigenschaften und Anforderungen an optimale Internalisierungskonzepte auf Flughäfen

Die Internalisierung externer Kosten sollte, damit sie nicht an der praktischen Umsetzbarkeit scheitert, darüber hinaus prinzipiell auf eine Weise geschehen, die ohne zu hohe Transaktionskosten einführbar, aber vor allem auch überprüfbar ist.

Angesichts der Tatsache, dass einige Länder in unterschiedlicher Weise Umweltsteuern auch für den Luftverkehr eingeführt haben oder dies noch beabsichtigen, zeigt sich, dass das Grundprinzip einer solchen Besteuerung auf umweltökonomischen Erkenntnissen basieren sollte. Dies ist auch eine der Schlussfolgerungen aus der Studie von (Pearce und Pearce 2000), der eine Fallstudie zur Besteuerung für den Flughafen London-Heathrow durchgeführt hat.

Darüber hinaus lässt sich feststellen, dass hinsichtlich einer internationalen Koordination von Steuern und Gebühren zur Internalisierung externer Kosten folgende Differenzierung erkennbar ist und bei der politischen Umsetzung beachtet werden sollte:

- Alle externen Effekte, die global auftreten, erfordern auch eine europaweite oder besser sogar weltweite Harmonisierung der Besteuerung. So sind für den Treibhauseffekt die externen Kosten des Ausstoßes einer Tonne CO₂ überall gleich hoch, egal in welcher Stadt oder welchem Land sich der Flughafen befindet bzw. völlig unabhängig davon, von welchem Land die Fluglinie betrieben wird. In diesem Bereich würden national unterschiedliche Steuern zu einer nicht gerechtfertigten Marktverzerrung führen – und diese könnte im Extremfall eine Verlagerung von Flugbewegungen zu benachbarten Flughäfen jenseits der Grenze zur Folge haben oder – mit noch erheblicheren Auswirkungen – langfristig die Wahl und somit die Bedeutung strategischer Standorte als

Drehkreuze beeinflussen. Außerdem würde dies solche Fluggesellschaften ungerechtfertigt benachteiligen und andere bevorzugen, die ihren zentralen Zwischenlandungs- bzw. Umschlagstandort in einem höher bzw. weniger hoch besteuerten Land haben, obwohl diese bei vielen internationalen Start-Ziel-Beziehungen, etwa in andere Erdteile, durchaus in unmittelbarer Konkurrenz stehen. Für die Internalisierung des Treibhauseffekts wäre also eine weltweite (oder zumindest innerhalb der EU einheitliche) Kerosinsteuer die optimale Lösung.

- Anders stellt es sich allerdings dar, wenn die externen Kosten des Start- und Landebetriebs tatsächlich einen lokalen oder regional begrenzten Charakter besitzen. Dies ist bei den Kategorien der lokal und regional wirksamen Luftschadstoffe, des Lärms und auch den Unfallrisiken der Fall. Deren Höhe der möglichen externen Kosten hängt entscheidend von den lokalen Bedingungen des Standorts ab: vor allem von der Bevölkerungsdichte in der Umgebung, aber auch von sonstigen Rezeptoren, dem Wert der Gebäude im Umfeld des Flughafens, dem Vorhandensein sonstiger sicherheitsrelevanter Anlagen in der Nähe des Flughafens, etc.
- Zur Internalisierung dieser Risiken wäre eine Harmonisierung von Steuern oder Gebühren über alle Standorte – sowohl innerhalb eines Landes als auch darüber hinaus – gerade nicht geeignet. Die unterschiedliche Höhe der externen Kosten stellt hier gerade eine Komponente (neben anderen) des Standortwettbewerbs zwischen Flughäfen dar, die volkswirtschaftlich erwünscht ist. Es ist wohlfahrtserhöhend, wenn etwa ein Flughafen, dessen städtisches Umfeld besonders dichtbevölkert ist und daher extrem belastet wird, auch entsprechend stärker besteuert wird als ein anderer in der Nähe, der hinsichtlich seiner Auswirkungen auf die Umgebung weniger kritisch ist. Natürlich kann ein solcher durch niedrigere externe Kosten gewonnene Standortvorteil nicht immer andere Standortnachteile oder Restriktionen aufheben. So dürfte der LTO-Zyklus des gleichen Flugzeugs auf dem neuen Flughafen „Frankfurt-Hahn“ sicherlich geringere externe Kosten verursachen als auf dem bestehenden Frankfurter Flughafen. Für die Fraport AG, die ja laut Aussagen in ihrem Jahresbericht (Fraport 2003b) eine Erweiterung des Standorts Hahn plant, dürfte es daher durchaus interessant sein, festzustellen, auf welchen Bereichen und Nachfragesegmenten es sich lohnen könnte, diesen zusätzlichen Standortvorteil, wenn er sich denn auch durch unterschiedliche Besteuerung auswirken würde, für eine Umlenkung bestimmter Verkehrsleistungen nach Hahn zu nutzen.
- Wenn eine solche Besteuerung für die ökonomischen Entscheidungsträger, insbesondere die Fluggesellschaften, stetig und transparent und auch längerfristig berechenbar ist, wirkt sie sehr wohl auf die mittel- bis langfristige strategische Planung der Standorte, Liniennetze, Investitionen in den Flugpark bis hin zum Marketing (etwa in Form einer flankierenden Imagepflege) und zur Fortbildung ihrer Mitarbeiter ein. Dies ist im Einklang mit den Erkenntnissen der in den letzten zehn Jahren zu einer selbstständigen

wissenschaftlichen Disziplin avancierten betrieblichen Umweltökonomie: dass umweltbezogene Entscheidungsprozesse heute alle klassischen betrieblichen Teilbereiche betreffen und dort Einzug gefunden haben.

- Soweit – wie in der vorliegenden Studie unternommen – marginale Kosten je Landing and Take-off Cycle differenziert nach Flugzeugtypen bestimmbar sind, sollte auch die Besteuerung an diesen LTO-Zyklen als Bemessungsgrundlage ansetzen. Diese kann (und sollte, wenn die unterschiedliche Höhe der externen Kosten dies indiziert) durchaus von Flughafenstandort zu Flughafenstandort unterschiedlich sein. Sie sollte auch soweit dynamisch anpassungsfähig sein, dass sie z. B. auf veränderte technische Entwicklungen wie noch lärm- oder emissionsärmere Motoren schnell reagieren bzw. diese begünstigen kann. Dies war offenbar laut (Fraport 2002a) auf der Grundlage des bestehenden ICAO-Regelwerks nicht gegeben.
- Die externen Lärmkosten werden hier auch nach der Anflug- bzw. Abflugroute getrennt ermittelt. Der Spielraum der Flugsicherung, jeweils die lärmgünstigste Route bestimmen zu können, ist jedoch begrenzt. Zudem ist der Erhebungsaufwand groß, etwa um jeweils festzustellen und zu dokumentieren, auf welcher Route das Flugzeug den Flughafen verlassen hat. Daher wird vorgeschlagen, Abgaben nach Flugzeugtypen / Triebwerkskonfiguration und Gewicht, jedoch nicht differenziert nach Abflugroute zu erheben.
- Für solche Kategorien, für die zwar ein Gesamtbestand externer Kosten vorhanden ist, jedoch keine marginalen externen Kosten je Flugbewegung oder Passagier sinnvoll zu bestimmen sind, kommt schließlich eine Gestaltung gemäß einer geeigneten Lump-sum Tax oder dem Ramsey-Pricing in Frage.
- Daneben bleibt die Frage offen, wie eine Mehrwertsteuer auf Flugtickets eingeführt werden könnte, ohne dass bestimmte nationale Standorte im internationalen Wettbewerb benachteiligt würden, bzw. welche zwischenstaatlichen Vereinbarungen bzw. Ausgleichsmaßnahmen zusätzlich zu treffen wären, um dies zu verhindern.

11.4 Vorschlag für die Ausgestaltung eines an den marginalen externen Kosten orientierten Entgeltsystems am Flughafen Frankfurt/Main

Ausgehend von den Ergebnissen der Studie könnte somit eine Internalisierung folgende Elemente aufweisen:

- eine möglichst europa- oder weltweit erhobene Steuer auf Kerosin, die an den externen Kosten des Treibhauseffekts orientiert ist
- ein nach Flugzeugtypen / Triebwerkskonfiguration und Tages-/Abend-/Nachtzeit differenziertes Entgelt pro Lande- und Startvorgang.

Im folgenden werden konkrete Beispielwerte (Zahlenwerte) für die Ausgestaltung des Entgeltsystems gegeben, die sich an einem Mittelwert der Abschätzung externer Kosten nach derzeitigem Stand des Wissens orientiert. Da jedoch diese Abschätzungen mit Unsicherheiten behaftet sind, kann aus wissenschaftlicher Sicht nur die richtige Größenordnung (Bandbreite) der Entgelte angegeben werden, die genaue Festlegung bleibt Aufgabe des dafür zuständigen Entscheidungsträgers.

Die Kerosinsteuer soll sich, wie bereits einleitend im vorangegangenen Kapitel 11.3 erläutert, an den global auftretenden Auswirkungen des Treibhauseffekts orientieren. Aufgrund der Unsicherheiten bei der Abschätzung der Schadenskosten erscheint es hier angezeigt, auf Vermeidungskosten zurückzugreifen, z. B. in Höhe von 19 €₂₀₀₀ pro Tonne CO₂-Äquiv.

Für die Verfeuerung von Kerosin geht man von CO₂-Emissionen in Höhe von 3,154 kg CO₂ pro verbrauchtem kg Kerosin aus (ROV G7.3 2001). Multipliziert mit dem Wert von 19 €₂₀₀₀ pro Tonne CO₂-Äquiv. erhält man somit eine Steuer von 6,0 €-Cent₂₀₀₀ je kg Kerosin, die weltweit (oder zumindest innerhalb der Europäischen Union) in einheitlicher Höhe beim Endverbraucher oder Lieferanten zu erheben wäre. Dieser Wert kann und sollte im Zeitablauf angepasst werden, wenn etwa durch strengere CO₂-Reduktionsziele diese Vermeidungskosten ansteigen.

In diesem Wert von 6,0 €-Cent₂₀₀₀ ist allerdings noch nicht eine zusätzlich zu erhebende Mehrwertsteuer enthalten, die ja aus Gründen der Gleichbehandlung mit anderen Verkehrsmitteln – falls politisch durchsetzbar – ebenfalls einzuführen wäre. Auch ist der CO₂-Ausstoß, der bei den vorgelagerten Prozessen der Bereitstellung des Kerosins (Raffinerie und Transport) auftritt, in dem Steuerbetrag nicht berücksichtigt; dieser sollte vielmehr direkt beim Verursacher internalisiert werden.

Eine flughafenspezifische Steuer je Start- und Landevorgang, die sich an denjenigen externen Kosten orientiert, die standortspezifisch sind, und die damit als ein Kernergebnis aus der vorliegenden Studie abgeleitet werden kann, könnte die folgende Gestalt annehmen:

Wie anhand der Ergebnisse von Kapitel 4.2.2 festgestellt wurde, sind die von Fraport gewählten LAZ-Klassen, die eine in spezifischer Weise bestimmte Lärmbelastung in dB(A) je Flugzeug zugrunde legen, nicht ausreichend, um die tatsächlichen externen Kosten je Start- und Landevorgang hinreichend genau und trennscharf abzubilden. Die Klassierung nach LAZ lässt zwar eine Korrelation mit der Lärmbelastung erkennen. Allerdings überlappen sich die Bandbreiten externer Kosten der verschiedenen Klassen, so dass hier eher statt einer klassenbezogenen Einteilung eine Einteilung nach Flugzeugtypen / Triebwerkskonfiguration vorgeschlagen wird.

Es wurde erläutert, dass mehr noch als die Zuordnung des Flugzeugtyps zu einer bestimmten Klasse technische spezifische Parameter des Flugzeugtyps in Kombination mit dem Triebwerk die Höhe der externen Kosten bestimmen. Die jeweils gewählte bzw. zugewiesene Ab- oder Anflugroute beeinflusst ebenfalls entscheidend die Höhe der externen Kosten. Hinzu

kommt als weitere Einflussgröße der Abflugwinkel, der insbesondere bei schwereren Flugzeugen von der Gewichtsauslastung abhängt und den Umfang der vom Lärm betroffenen Bevölkerung festlegt. Die relative Gewichtsauslastung, d. h. das Verhältnis von tatsächlichem zum maximal zulässigen Startgewicht, hängt von der Anzahl der Passagiere und dem Frachtgewicht ab, aber darüber hinaus von der Treibstofffüllung, die wiederum abhängig von der Entfernung zwischen Start- und Zielort ist.

Bei einer geeigneten Ausgestaltung der Entgeltordnung ist nun zu fragen, welche dieser Parameter auch in die Entgelthöhe einfließen sollen und welche nicht.

Dies kann im Einzelfall durchaus diskutiert werden. Den Gutachtern erscheint hier jedoch der Grundsatz sinnvoll, dass für den Kunden (d. h. die Fluggesellschaften) die Transparenz und Berechenbarkeit der zu zahlenden Entgelte gewahrt bleiben soll und daher nur solche Parameter und Einflussgrößen für die Entgelthöhe relevant sein sollten, die auch im Einfluss- und Gestaltungsbereich der Fluggesellschaften liegen. Dies sind:

- die Kombination Flugzeugtyp/Triebwerk
- das Startgewicht (bei Flugzeugen, deren maximal zulässiges Startgewicht über 230 t beträgt) sowie
- die Einteilung in Tages- (6 – 18 Uhr), Abend- (18 – 22 Uhr) bzw. Nachttarif (22 – 6 Uhr).

Dagegen sollte die jeweils im Einzelfall benutzte Abflug- bzw. Anflugroute (wenngleich sie einen wesentlichen Einfluss auf die Höhe der externen Kosten hat) sich nicht in der Entgelthöhe unterschiedlich auswirken. Grund ist, dass dies aus Sicht der Fluggesellschaft von zufälligen Einflüssen abhängt, die nicht vorhersehbar sind, und sich andernfalls die tatsächlich zu zahlenden Entgelte erst im nachhinein errechnen lassen würden, was sicherlich aus Sicht der Nachfrager unbefriedigend erscheint. Es ist anzunehmen, dass die Fluglotsen die jeweilige Startroute häufig in kurzfristiger und flexibler Reaktion auf Windrichtung, Wetterverhältnisse, Reaktion auf Verspätungen oder höhere Gewalt zuteilen. Anders wäre es zu beurteilen, wenn die „gewünschte Startbahn“ vorbestellt werden könnte. Auch sollte geregelt werden, dass es beispielsweise nicht der Fluggesellschaft anzulasten ist, wenn die tatsächliche Start- oder Landezeit ungeplant durch höhere Gewalt in die Nachtzeit verschoben werden musste - eine solche Regelung befindet sich ja auch in der aktuellen Entgeltordnung der Fraport. Allerdings sollten sich die durchschnittlichen Entgelte dann verringern, wenn die Verteilung der gewählten Routen sich hin zu Routen, die weniger externe Kosten aufweisen, verlagert.

Somit soll sich für jede Flugzeugtypen / Triebwerkskonfiguration die Höhe des Entgeltes an der typischen (etwa auf das vergangene Jahr bezogenen) durchschnittlichen Verteilung orientieren, in der im Mittel die möglichen Ab- und Anflugrouten genutzt wurden. Hierbei könnte prinzipiell noch berücksichtigt werden, dass die Häufigkeitsverteilung der Abflugrouten im Einzelfall auch von der Himmelsrichtung abhängt, in der der Zielflughafen liegt.

Beispielsweise werden Flüge von Frankfurt in Richtung Skandinavien tendenziell häufiger auf „ungünstigen“ Routen starten, die die Stadtgebiete Frankfurt und Offenbach überfliegen, als Flüge in Richtung Italien. Allerdings erscheint es angezeigt, diese Abhängigkeit hier außer Acht zu lassen – einerseits aus Praktikabilitäts- und Aufwandsgründen, andererseits weil die einzelnen Fluggesellschaften an diesen spezifischen geographischen Gegebenheiten der Lage des Flughafens nichts ändern können. Als flankierende Maßnahme können die Fluglotsen dahin gehend geschult werden, bei der Zuteilung und Kapazitätsauslastung der Startbahnen stärker den Aspekt der minimalen Lärmbelastung als Optimierungskriterium zu berücksichtigen. Sollten sich dadurch im Zeitablauf Verbesserungen der logistischen Zuteilung ergeben, kann dies ja zu einer jährlichen Anpassung der Entgelte führen.

Hinzu kommen zwei weitere Komponenten, die sich an

- den marginalen externen Kosten durch Luftschadstoffe orientieren (ebenfalls flugzeugtyp- und triebwerksspezifisch, jedoch weniger sensitiv hinsichtlich der Start- und Landeroute und nicht abhängig von der Tageszeit) sowie
- den sonstigen externen Kosten orientieren, für die auf die Höhe der durchschnittlichen externen Kosten je LTO-Zyklus zurückgegriffen werden muss. Dies betrifft hier die Unfallrisiken für die umliegende Bevölkerung, für die eine flugzeugtypspezifische Berechnung prinzipiell möglich wäre, im Rahmen des ausgewerteten Gutachtens (GFL 2001) waren aber keine spezifischen Daten vorhanden.

Aus der durchgeführten Berechnung für sechs ausgewählte Flugzeugtypen / Triebwerkskonfigurationen, die in Tabelle 123 näher beschrieben sind, wurde eine Preisgestaltung für die Start- und Landeentgelte ermittelt, die an den marginalen externen Kosten orientiert ist. Diese sechs Typen wurden für die Berechnung ausgewählt, weil sie einerseits einen wesentlichen Anteil an den Flugbewegungen des Frankfurter Flughafens ausmachen und andererseits jede der fünf unteren LAZ-Klassen (und auch fünf unterschiedliche AzB-Klassen) repräsentiert ist. Es wird hierbei die (konservative) Variante der Lärmschädenabschätzung mit einem Schwellenwert von 55 dB zugrunde gelegt und angenommen, dass die durchschnittliche (heutige) Häufigkeitsverteilung der Flugzeugtypen auf die Start- und Landebahnen, differenziert nach Tages- und Abendphase einerseits und Nachtphase (22 – 6 Uhr) andererseits, dieselbe ist wie die der gesamten AzB-Klasse, der das jeweilige Flugzeug/Triebwerk angehört.

Diese Häufigkeitsverteilungen der untersuchten Startrouten, für die in Tabelle 56 und Tabelle 58 die spezifischen marginalen externen Kosten bei den ausgewählten Flugzeug- und Triebwerksvarianten berechnet und ausgewiesen sind, sind in der folgenden Tabelle 126 dargestellt.

Tabelle 126: Relative Häufigkeitsverteilung der Startrouten für jede Kombination AzB-Klasse und Tageszeit (Tag+Abend / Nacht) in Prozent (Zeilensummen ergeben jeweils 100 %)

AzB-Klasse/ Tageszeit	Repräsen- tant (ID)	07N-L	07R-O	18KIR-K	18KIR-L	18KNG-K	18KNG-L	25TAU-L	25TAU-K
S5.1 Tag ¹⁾	EMB145	2,8	1,4	12,2	1,4	21,4	39,0	0,1	21,8
S5.1 Nacht	EMB145	5,7	1,5	7,5	1,9	25,3	38,5	-	19,6
S5.2 Tag ¹⁾	A320	1,9	2,8	13,6	1,2	30,2	27,9	0,0	22,5
S5.2 Nacht	A320	7,9	1,8	7,2	1,4	32,6	21,5	-	27,7
S6.1 Tag ¹⁾	A30062	11,7	1,5	14,2	0,8	24,4	14,3	0,0	33,2
S6.1 Nacht	A30062	10,8	0,1	6,1	0,8	23,6	12,1	-	46,5
S6.3 Tag ¹⁾	A340	14,9	0,5	8,1	0,5	20,6	11,1	44,2	-
S6.3 Nacht	A340	0,8	1,3	27,0	3,1	3,1	55,9	8,9	-
S7 Tag ¹⁾	747400 / 747200	17,3	2,5	4,7	0,4	11,4	13,3	50,4	-
S7 Nacht	747400 / 747200	4,5	5,5	5,8	1,7	25,4	44,7	12,4	-

1) einschließlich des Abendzeitraums von 18 – 22 Uhr, der in der Datengrundlage nicht gesondert zum Rest des Tages (6 – 18 Uhr) erfasst wurde

Ein „-“ in einem Feld der Tabelle bedeutet, dass diese Kombination aus Startroute, AzB-Klasse und Tageszeit im betrachteten Halbjahreszeitraum nicht aufgetreten ist, während die Wahrscheinlichkeit von 0,0 % anzeigt, dass mindestens eine solche Flugbewegung stattgefunden hat.

Dieser Häufigkeitsverteilung liegt eine Datentabelle zu Grunde, in der alle 240.217 Flugbewegungen (120.105 Starts und 120.112 Landungen), die sich in den sechs verkehrsreichsten Monaten des Jahres 2000 auf dem Flughafen Frankfurt/Main ereigneten, nach den zugewiesenen Start- und Landerouten, den AzB-Klassen sowie dem Merkmal Tag (6 – 22 Uhr) bzw. Nacht (22 – 6 Uhr) einzeln erfasst sind. Eine Reihe von weiteren Startrouten, die nicht (näherungsweise) den acht Abflugrouten von Tabelle 56 bzw. Tabelle 58 zuzuordnen sind, wurde hierbei außer Acht gelassen; diese Routen besitzen hinsichtlich der Häufigkeit der Flugbewegungen nur eine untergeordnete Bedeutung und machen in dem betrachteten halben Jahr insgesamt nur 8,4 % der gesamten Starts aller in Tabelle 126 betrachteten AzB-Klassen aus. Somit beziehen sich die Prozentzahlen in Tabelle 126 jeweils auf die Gesamtheit derjenigen Starts, die den acht bedeutsamsten Startrouten zuzuordnen sind.

Aus dieser Tabelle 126 geht hervor, dass sich bei den Startvorgängen die Häufigkeiten, dass bestimmte Abflugrouten gewählt werden, in Abhängigkeit von den AzB-Klassen der Flugzeuge erheblich unterscheiden sowie auch davon abhängen, ob es sich um Tages- oder Nachtflüge handelt. So ist die Taunus-Kurzroute (25TAU-K) wegen des engeren Kurvenradius den kleineren AzB-Klassen bis einschließlich S6.1 vorbehalten, die dafür nur in wenigen Einzelfällen auf der Startroute 25TAU-L mit dem größeren Radius starten. So erscheint es angemessen, für die Lärmkomponente beim Start jeweils die in Tabelle 126 ausgewiesenen AzB-klassenspezifischen Häufigkeitsverteilungen als Gewichtungsfaktoren zu verwenden. Diese können natürlich, wenn eine derartige Entgeltordnung tatsächlich Einsatz findet, jährlich durch die jeweils aktuellsten Werte, etwa die des Vorjahres, ersetzt werden.

Weniger komplex erfolgt die Berechnung bei den Landevorgängen. Hier ergibt sich aus der Datenquelle des Jahres 2000, dass nur zwischen der Landung von West nach Ost („Ostbetrieb“ 07 L) und der von Ost nach West („Westbetrieb“ 25 R) zu unterscheiden ist. Die Entscheidung, in welcher Variante gelandet wird, hängt im wesentlichen von den Windverhältnissen ab, nicht jedoch von den AzB-Klassen. Somit wird, um die marginalen externen Kosten für den Anflug aus Tabelle 59 als Grundlage für eine Entgeltordnung heranzuziehen, bei den Landevorgängen für alle AzB-Klassen mit den folgenden relativen Häufigkeiten gerechnet.

Tabelle 127: Relative Häufigkeitsverteilung der Landerouten für Tages- (einschließlich Abend-) und Nachtlandungen in Prozent

Tageszeit	07L (Ostbetrieb)	25R (Westbetrieb)
Tag / Abend (6 – 22 Uhr)	27,2	72,8
Nacht (22 – 6 Uhr)	18,7	81,3

Für die Entgeltkomponente, die sich an den Luftschadstoffen orientiert, können dagegen die flugzeug- und triebwerksspezifischen externe Kosten aus Tabelle 143 (und nicht die durchschnittlichen der AzB-Klassen, wie sie in Tabelle 17 ausgewiesen sind) herangezogen werden.

Bei den Komponenten des externen Unfallrisikos ergibt sich für das Jahr 2000 aus Tabelle 66 ein durchschnittlicher Betrag von 2 x 20,93 €, da ein LTO-Zyklus ja aus einem Start und einer Landung besteht. Es ist zu vermuten, dass größere Flugzeuge tendenziell auch im Fall eines Absturzes einen größeren Schaden an der umliegenden Fläche und somit auch an der Wohnbevölkerung verursachen, d. h. mehr Todesopfer fordern als kleinere. Da als Datengrundlage für die Berechnung aber nur das Gutachten (GFL 2001) herangezogen werden konnte, in dem eine solche Abhängigkeit der Risiken von Flugzeugtyp und –größe bzw. von der AzB-Klasse nicht berücksichtigt wurde, kann hier nur dieser Durchschnittswert von 42 €₂₀₀₀/LTO-Zyklus auf alle AzB-Klassen in gleicher Höhe angewendet werden.

Aus all diesen Einzelkomponenten ergeben sich in der Summe die folgenden Entgeltkomponenten je LTO-Zyklus:

Tabelle 128: Komponenten einer Entgeltordnung je LTO-Zyklus mit Tages-, Abend- und Nachttarif, die auf marginalen externen Kosten beruht, auf Grundlage des Ist-2000-Falles in [€₂₀₀₀ je LTO-Zyklus]

ID	Lärmkomponente Start ¹⁾			Lärmkomponente Landung		
	Tag	Abend	Nacht	Tag	Abend	Nacht
EMB145	0	1	3	1	3	8
A320	3	7	24	6	14	43
A30062	7	17	48	20	48	147
A340 ¹⁾	12	28	41	12	28	88
747400 ¹⁾	35	82	157	32	76	231
747200 ¹⁾	47	112	200	18	42	127
ID	Komponente Luftschadstoffe	Komponente Unfallrisiko ²⁾	Summe des Entgeltes je LTO-Zyklus			
			Tag	Abend	Nacht	
EMB145	11	42	54	57	64	
A320	33	42	84	96	142	
A30062	81	42	150	188	318	
A340	91	42	157	189	262	
747400	161	42	270	361	591	
747200	199	42	306	395	568	

1) Bei Flugzeugen über 230 Tonnen maximal zulässiges Startgewicht (im vorliegenden Beispiel A 340, 747400 und 747200) kann die Lärmkomponente Start noch um einen gewichtsabhängigen Faktor korrigiert werden, der im folgenden durch die erläuterte Formel beschrieben wird.

2) Unfallrisiken sind aufgrund der zugrunde gelegten Datenlage (GFL 2001) nur als Durchschnitt über alle Klassen und Routen angegeben.

Für den Fall des Fluges am Tag oder Abend leisten die Luftschadstoffe (die ja als von der Tageszeit unabhängig zu bewerten sind) einen größeren Beitrag zu den externen Kosten und somit zu den Entgelten als die Lärmkomponente. Lediglich bei den Nachtflugtarifen übersteigt die Belastung durch Lärm mengenmäßig die durch die Luftschadstoffe.

Generell zeigt der Vergleich mit der bestehenden Entgeltordnung, dass die Lärmkomponente der in Tabelle 128 vorgeschlagenen, auf den externen Kosten beruhenden Entgelte in den betrachteten Fällen generell im gleichen Größenbereich liegt wie das heute erhobene, auf den LAZ-Klassen basierende Entgelt und je nach Einzelfall darüber oder darunter liegen kann. Diese Streuung ist nicht erstaunlich, da ja eine Erkenntnis der vorliegenden Studie war, dass die Einteilung in LAZ-Klassen die tatsächlich auftretende Lärmbelastung nur grob klassiert und innerhalb dieser Klassen noch eine starke Streuung festzustellen ist.

Bedingt durch die zusätzliche Komponente der Luftschadstoffbelastung erhöht sich (mit Ausnahme des Falles B747-200/JT9D-7, welcher der LAZ-Klasse 5 zugeordnet ist, im Nachttarif) die auf externen Kosten beruhende Entgeltkomponente gegenüber der bestehenden Lärmkomponente.

Wenn nun auch der (in Kapitel 4.2.2.2 beschriebene) Einfluss des Startgewichts für die schwereren Flugzeuge mit über 230 Tonnen maximalem Startgewicht (dies betrifft drei der dargestellten sechs Fälle, den Airbus A 340 und die beiden Boeing 747) adäquat berücksichtigt werden soll, ist folgendermaßen vorzugehen: Wenn für eine bestimmte Kombination von Flugzeug, Triebwerk und Tageszeit eine Komponente LS_0 für die Lärmbelastung beim Startvorgang errechnet wurde, die sich auf ein durchschnittliches bzw. Referenz-Abfluggewicht G_0 bezieht, so errechnet sich gemäß der Regressionsgeraden aus Abbildung 7 die tatsächlich zu beaufschlagende Lärmkomponente LS_{tat} in Abhängigkeit vom gemessenen Abfluggewicht G_{tat} als:

$$LS_{tat} = LS_0 \cdot \left(1 + \frac{G_{tat} - G_0}{G_{max}} \cdot 1,4\right)$$

falls das maximale Startgewicht $G_{max} > 230$ t.

Diese Formel besitzt genau die Eigenschaft, dass im Fall $G_{tat} = G_0$ der Faktor innerhalb der Klammer eins beträgt und eine Abweichung des tatsächlichen Abfluggewichts vom Referenz-Abfluggewicht von 1 % nach oben oder unten zu einer Änderung der Entgeltkomponente für den Lärm von 1,4 % entspricht – der über-lineare Zusammenhang, der sich aus der Steigung der Regressionsgerade von Abbildung 7 entspricht.

Die externen Kosten für andere Flugzeugtypen als die in Tabelle 128 betrachteten lassen sich mit Hilfe der in diesem Bericht vorhandenen Daten und Annahmen über die Häufigkeit der Verwendung von Start- und Landebahnen ausrechnen.

Zu beachten ist bei diesem Ergebnis, dass diejenigen externen Kosten, die vor- und nachgelagerte Prozesse betreffen, nicht in der dargestellten Entgeltordnung Berücksichtigung finden sollten. Es ist vielmehr zu fordern, dass die Internalisierung dieser Effekte bereits dort erfolgt, wo die jeweiligen Vorleistungen entstehen – d. h. über Steuern oder andere geeignete Instrumente (z. B. eine Besteuerung von Brennstoffen) in die jeweiligen Marktpreise einfließen.

Aus den Einnahmen des vorgeschlagenen Entgeltsystems sollte das Programm der Lärmschutzmaßnahmen weiter finanziert werden.

Das vorgeschlagene Tarifsystem stellt selbstverständlich nur denjenigen Teil dar, der den Kostenbestandteil der externen Kosten betrifft und diese adäquat abbildet bzw. internalisiert. Daneben ist der Betreiber des Flughafens selbstverständlich völlig frei, weitere Entgeltkomponenten (passagier- bzw. frachtabhängig oder an anderen Bemessungsgrundlagen orientiert) einzuführen oder bestehende Komponenten beizubehalten, die die Kostendeckung der betriebswirtschaftlichen Kosten sicherstellt. Diese Fragestellung ist nicht Gegenstand dieser Arbeit, wengleich die im Anhang erläuterte Ramsey-Besteuerung hierbei eine Hilfestellung geben kann.

12 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Zielsetzung

Ziel des Gutachtens ist es, die externen Kosten (also die monetarisierten negativen externen Effekte) des Flugverkehrs am Flughafen Frankfurt/Main zu quantifizieren. Darunter werden die (technologischen) externen Effekte verstanden, die dem Nutzer oder Betreiber des Flughafens direkt anzulasten sind, z. B. die Auswirkungen der Lärm- und Luftschadstoffemissionen auf die Bevölkerung..

Die Quantifizierung externer Kosten, die durch den Flugverkehr am Flughafen Frankfurt/Main im Laufe eines Jahres verursacht werden, wird für fünf Referenzfälle vorgenommen. Der erste Referenzfall beschreibt die *Ist-Situation 2000*. Ferner wird der *Referenzfall Null* betrachtet. Dieser stellt die voraussichtliche Situation im Jahr 2015 ohne Flughafenausbau dar. Für den Fall des Ausbaus des Frankfurter Flughafens, also den zusätzlichen Bau einer Landebahn, werden drei Referenzfälle betrachtet, die die Situation im Jahr 2015 beschreiben. Die Berechnung umfasst beim Ausbaufall drei Varianten (*Nordwest-, Nordost- und Südvariante*), die sich hinsichtlich der Lage der zusätzlichen Landebahn unterscheiden..

Für alle fünf Varianten werden die externen Kosten ermittelt, die durch den gesamten Flugbetrieb während eines Jahres entstehen. Diese werden als *externe Gesamtkosten* bezeichnet.

Als weiterer Teil des Gutachtens werden die *marginalen externen Kosten* des Flugverkehrs am Flughafen Frankfurt/Main quantifiziert. Marginale Kosten werden hier interpretiert als die Kosten, die durch eine bestimmte zusätzlichen Flugbewegung (Start oder Landung) eines bestimmten Flugzeugtyps innerhalb der betrachteten Bilanzgrenzen (LTO-Zyklus, d.h. landing/take-off cycle) anfallen. Marginale Kosten sind technologiespezifisch und unterscheiden sich insbesondere bei Lärm von den Durchschnittskosten. Neben der Technologie des Flugzeugs ist auch die Flugroute entscheidend.

Die räumlichen Systemgrenzen der Umweltkosten bestimmen sich aus physikalischen Parametern und der Vorgabe, dass ausschließlich Effekte, die sich aus Aktivitäten auf oder in der Nähe des Flughafens Frankfurt/Main ergeben, betrachtet werden sollen. Daher werden bei den Luftschadstoffen des Luftverkehrs nur die Emissionen des LTO-Zyklus sowie Emissionen beim Betanken, Enteisen und anderen Aktivitäten am Boden bewertet. Dies sind die Emissionen, die bis zu einer Flughöhe von ca. 600m über Grund emittiert werden. Natürlich verursachen Flugzeuge auch externe Kosten während des Fluges außerhalb des LTO-Zyklus, diese werden hier jedoch nicht mit berücksichtigt.

Für das Gutachten wird soweit möglich und sinnvoll der sogenannte Wirkungspfadansatz zur Berechnung von externen Umweltkosten angewandt. Der Wirkungspfadansatz ist ein bottom-

up Ansatz und bildet die Kette von kausalen Ereignissen ab, beginnend mit der Emission, der nachfolgenden Ausbreitung in der Atmosphäre, der Schadwirkung auf Rezeptoren und endet mit einer monetären Bewertung der physischen Schäden.

Die innerhalb des Wirkungspfadansatzes realisierten Methoden erlauben eine räumlich aufgelöste und eine zeitlich zugeordnete Berechnung von externen Kosten, insbesondere durch Luftschadstoffe und Lärm. Der räumliche Aspekt erlaubt die Berücksichtigung lokaler Gegebenheiten, wie Meteorologie und Bevölkerungsverteilung. In zeitlicher Hinsicht werden Aspekte wie Einwirkungsdauer, Latenzzeiten und Schadenseintritt in der Zukunft beachtet.

Die Schadensgüter werden aufgrund der Wirkungspfade in unterschiedlichen Kompartimenten, ihrer modell-technischen Erfassung oder einfach ihrer Wirkungsweise wegen in Kostenkategorien eingeteilt. Kostenkategorien können ein oder mehrere Schadensgüter umfassen. Die als relevant eingestuften Kostenkategorien sind mit den betrachteten Schadensgütern zeigt Tabelle 129 .

Tabelle 129: Kostenkategorien und betrachtete Schadensgüter

Kostenkategorie	Schadensgüter
Luftschadstoffe	Menschliche Gesundheit, Material, Feldpflanzen
Lärm	Menschliche Gesundheit, Belästigung
Unfälle	Menschliche Gesundheit ¹
Natur und Landschaft	Flächenumnutzung und resultierende Auswirkungen
Klimaänderung	- ²

¹ Kosten der Behandlung einer Krankheit werden als von Versicherungen gedeckt angenommen und sind somit internalisiert.
² Schadensgüter durch Klimaänderung sind vielfältig, und die Schadensberechnung unterliegt großen Unsicherheiten. Im Gutachten wird daher die Verwendung von Vermeidungskosten empfohlen (siehe unten).

Darüber hinaus wird untersucht, ob es bei den Kosten der Infrastrukturbereitstellung und bei den Betriebskosten Kosten gibt, die dem Flughafenbetreiber zugeordnet werden sollten, aber von Dritten bezahlt werden und inwieweit eine indirekte Subventionierung des Flughafenbetriebs (z. B. durch Steuererleichterungen) erfolgt.

Ausgehend von den ermittelten marginalen Kosten wird ein Vorschlag erarbeitet, auf welche Weise diese Kosten internalisiert werden könnten.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen - Externe Gesamtkosten

Die ermittelten externen Gesamtkosten sind dargestellt in Abbildung 26.

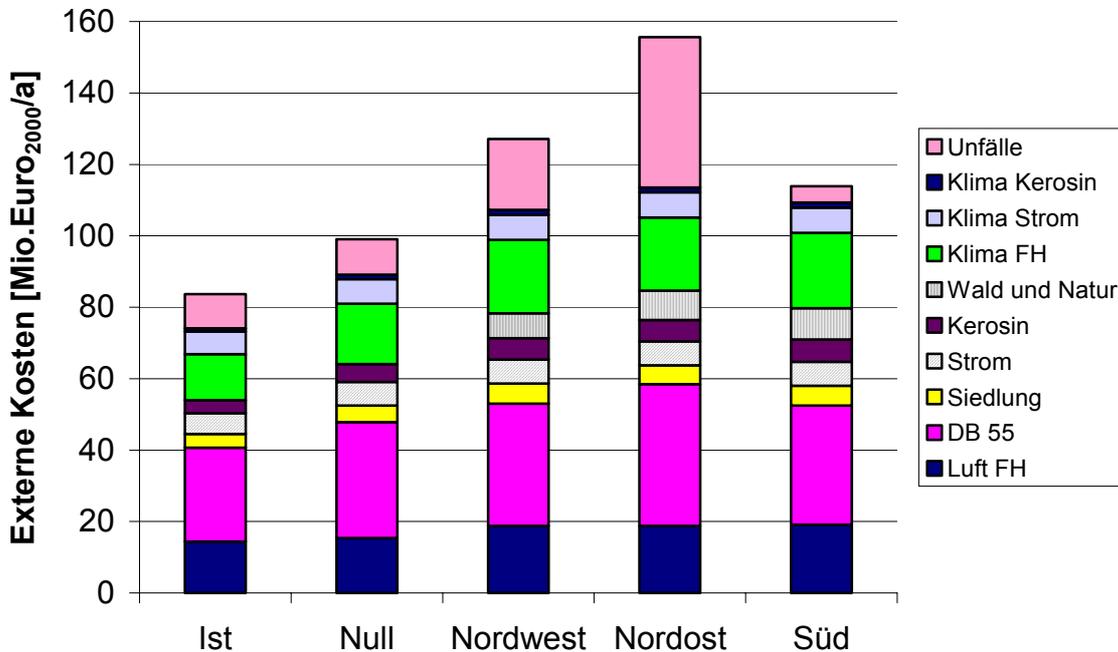


Abbildung 26: Zusammenfassung der wichtigsten Beiträge zu den Gesamtkosten – „beste Schätzung“

Diese Ergebnisse basieren auf der „besten Schätzung“ der zugrunde liegenden Daten und Methoden. Die Ergebnisse zeigen, dass ohne die Bewertung des Unfallrisikos die Nordwestvariante am günstigsten wäre, dicht gefolgt von der Südvariante. Aufgrund des niedrigen Unfallrisikos schneidet bei der Gesamtbewertung die Südvariante eindeutig am besten ab, gefolgt von der Nordwestvariante. Die Südvariante verursacht noch um ca. 14 Mio. € höhere externe Kosten als die Nullvariante ohne Ausbau. Die größten Beiträge zu den externen Kosten liefern Lärm, Luftschadstoffe, Klimagase und Unfallrisiken, wobei der Lärm den größten Beitrag verursacht.

Die externen Kosten des induzierten Verkehrs wurden in dieser Summe der externen Gesamtkosten nicht mit aufgenommen, da sie nicht direkt dem Flughafenbetrieb angelastet werden sollten. Der induzierte Verkehr stellt aber dennoch eine erhebliche Umweltbelastung dar.

Beim Vergleich der Ergebnisse der Sensitivitätsbetrachtungen wird ersichtlich, dass sich die absoluten Summen der unteren Schätzungen und der oberen Schätzungen der externen Gesamtkosten um ca. Faktor 6 unterscheiden. Unabhängig davon zeigen die Ergebnisse sowohl der Sensitivitätsbetrachtungen als auch der „besten Schätzung“ eine konsistente und robuste Reihenfolge der Varianten bezüglich der Summe der externen Gesamtkosten.

Interessant ist, dass der Einfluss von Gesundheitsschäden durch Lärm auf das Gesamtergebnis auch bei Anwendung eines VPF von 4,4 Mio.€₂₀₀₀ zu vernachlässigen ist. Die Belästigungswirkung durch Lärm verursacht jedoch den größten Teil an den externen Kosten.

Ebenfalls bemerkenswert ist der hohe Anteil der externen Kosten durch potentielle Unfälle, insbesondere bei der Ausbauvariante Nordost.

In der folgenden Abbildung 27 sind die durchschnittlichen Gesamtkosten pro Flugbewegung dargestellt. Eine Flugbewegung ist entweder die Ankunft oder der Abflug eines Flugzeuges, sodass ein LTO-Zyklus 2 Flugbewegungen entspricht. Die durchschnittlichen Kosten in Abbildung 27 ergeben sich aus den Gesamtkosten in Abbildung 26 und der Anzahl der Flugbewegungen im Jahr 2000 bzw., der prognostizierte Anzahl im Jahre 2015 (siehe Tabelle 130).

Tabelle 130: Anzahl der Flugbewegungen im Jahre 2000 bzw. 2015

Variante	Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
Anzahl der Flugbewegungen	460.000	500.000	656.000	656.000	656.000

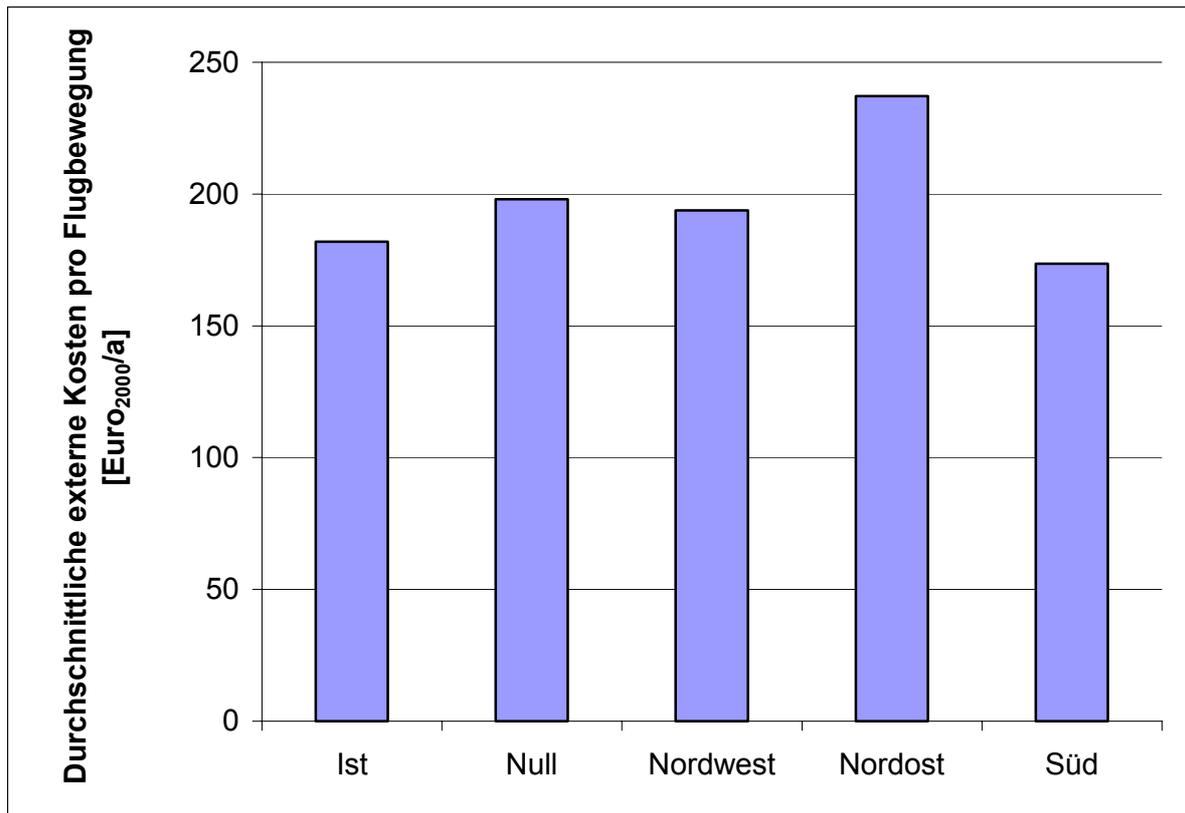


Abbildung 27: Durchschnittliche externe Kosten pro Flugbewegung

Aus Abbildung 27 ist zu erkennen, dass sich die durchschnittlichen externen Kosten pro Flugbewegung bei den Zukunftsvarianten gegenüber der Ist-Situation tatsächlich erhöhen würden. Bei der Südvariante verringern sich die durchschnittlichen externen Gesamtkosten gegenüber dem Ist-Zustand.

Abschließend lassen sich bezüglich der externen Gesamtkosten folgende Aussagen machen:

- Die Variante Süd weist von allen Ausbauvarianten die geringsten externen Gesamtkosten auf
- Die externen Kosten werden hauptsächlich durch Lärm, durch die Emissionen von Luftschadstoffen und Treibhausgasen und durch potentielle Unfälle verursacht. Die Ausbauvarianten unterscheiden sich aber nur in den externen Kosten des Lärms und der potentiellen Unfälle entscheidend voneinander
- Auch bei einem Nichtausbau steigen die externen Gesamtkosten gegenüber der Ist-Situation. Die durchschnittlichen externen Gesamtkosten pro Flugbewegung erhöhen sich sogar. Dies ist insbesondere auf die externen Kosten durch Lärm zurückzuführen.

Bei der Untersuchung der indirekten und direkten Subventionen des *Flughafenbetriebs* wurden lediglich die Möglichkeit des Verkaufs zollfreier Waren und die Grundsteuerbefreiung des Ladenbereichs als Wettbewerbsvorteil und indirekte Subvention

identifiziert. Beim *Flugbetrieb* wurden die Befreiung von der Mehrwertsteuer für internationale Tickets und für Kerosin sowie wiederum der Verkauf zollfreier Waren als Wettbewerbsvorteile erkannt, die als indirekte Subvention interpretiert werden können.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen - Marginale externe Kosten und Internalisierung

Zur Ermittlung marginaler externer Kosten, also der externen Kosten, die durch Start oder Landung eines zusätzlichen Flugzeugs entstehen, wurden eine Vielzahl von Rechnungen mit verschiedenen Flugzeugtypen und verschiedenen Flugrouten durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass die gewählte Abflugroute einen erheblichen Einfluss auf die marginalen externen Kosten des Lärms hat, daneben ist auch die Zeit des Starts und der Landung (tagsüber, abends oder nachts) entscheidend. Abbildung 28 zeigt zunächst beispielhaft marginale externe Kosten für eine Flugroute, bei der die Lärmkosten besonders gering sind; die Abflugroute 18-KIR-L verläuft zunächst ausgehend von der Startbahn West nach Süden, dann nach Südwesten über weniger dicht besiedeltem Gebiet. Bei Abbildung 29 wird dagegen mit 07-N-L eine Route gewählt, die nach dem Start nach NNO dreht und dicht besiedeltes Gebiet zwischen Frankfurt und Offenbach überfliegt, sodass besonders hohe marginale externe Kosten entstehen, außerdem führt die Nachtbewertung zu höheren Werten. Es ist zu erkennen, dass die externen Kosten des Lärms die gesamten marginalen externen Kosten im einen Fall dominieren, aber im anderen Fall nur einen kleinen Beitrag leisten.

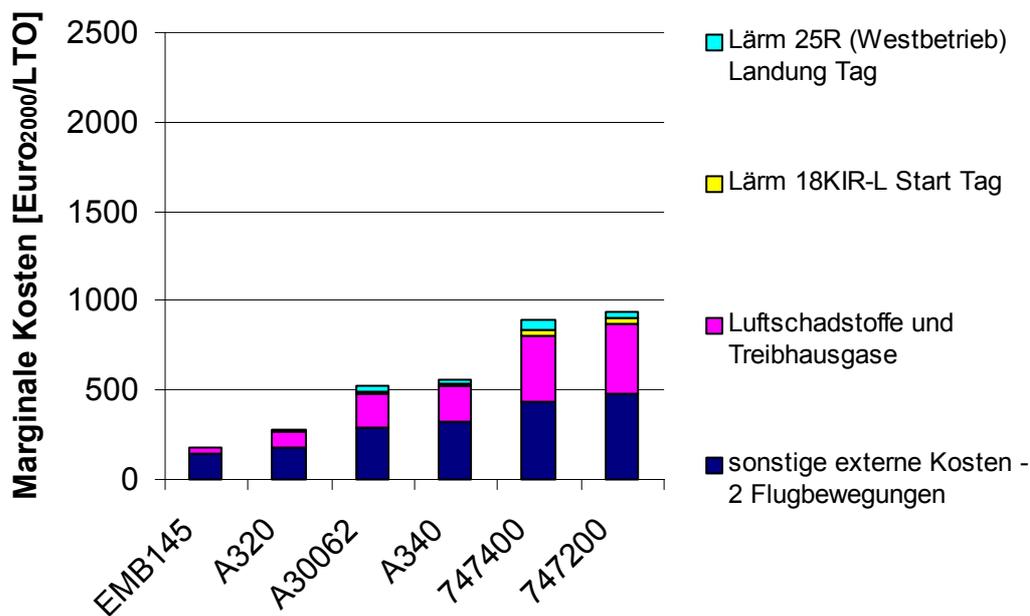


Abbildung 28: Gesamte marginale Kosten für Start und Landung am Tag, Flugrouten mit niedrigen externen Kosten bezüglich Lärm, (18KIR-L bezeichnet die Abflugroute)

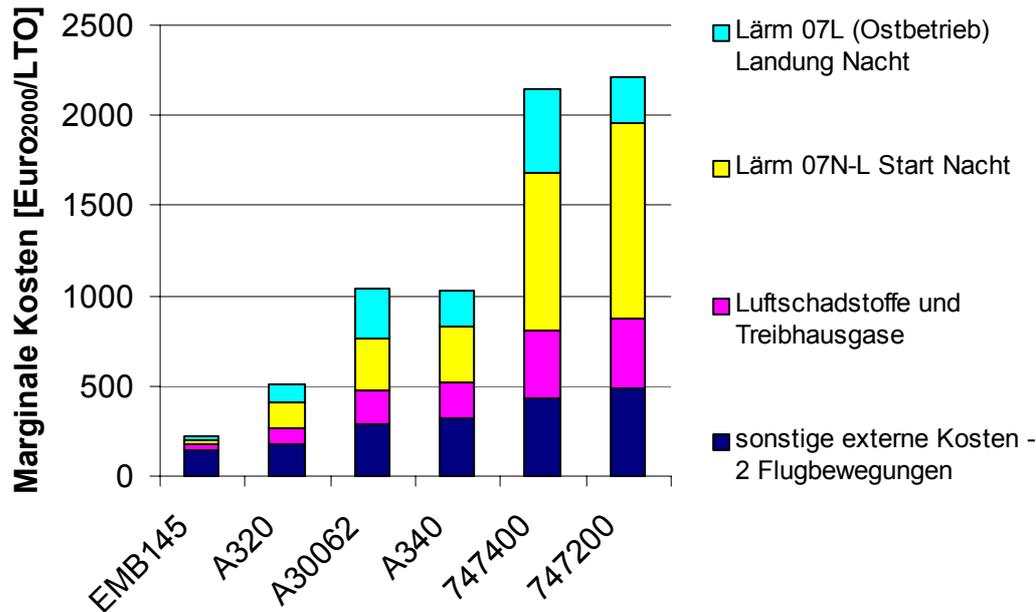


Abbildung 29: Gesamte marginale Kosten für Start und Landung in der Nacht, Flugrouten mit hohen externen Kosten bezüglich Lärm (07N-L bezeichnet die Abflugroute)

Somit ist die gewählte Startroute, aber auch die Zeit des Starts wesentlich für die Höhe der marginalen Kosten eines Startes. Die marginalen Kosten liegen je nach Start- bzw. Landezeit, Route und gewählter Flugzeugtypen / Triebwerkskonfiguration knapp über 200 bis ca. 2400 €₂₀₀₀ pro Flugbewegung.

Die ermittelten externen Kosten wurden verwendet, um eine Internalisierung der externen Kosten zu konzipieren. Insbesondere wird vorgeschlagen, ein nach Flugzeugtypen / Triebwerkskonfiguration und Tages-/Abend-/Nachtzeit differenziertes Entgelt zu erheben. Dieses Entgelt liegt in den Beispielrechnungen zwischen 50 und 600 €₂₀₀₀ pro LTO. Eine flugroutenspezifische Internalisierung wird aus Praktikabilitätsgründen hier nicht empfohlen, allerdings wird vorgeschlagen, die Entgelte entsprechend der Anteile der verwendeten Flugrouten pro Jahr anzupassen, sodass eine vermehrte Verwendung günstigerer Routen mittelfristig zu einer Minderung der lärmabhängigen Entgelte führt. Weiter wird zur Internalisierung vorgeschlagen, eine möglichst europa- oder weltweite Steuer auf Kerosin von ca. 6,0 €-Cent₂₀₀₀ je kg Kerosin, die an den externen Kosten des Treibhauseffekts orientiert ist, zu erheben.

Das Gutachten zeigt, dass eine detaillierte, verursachergerechte Zuordnung der externen Kosten möglich ist. Damit sind die Voraussetzungen und Grundlagen für eine verursachergerechte Internalisierung der externen Kosten vorhanden.

13 Literaturverzeichnis

- Abbey, D. E., Lebowitz, M. D., Mills, P. K., Petersen, F. F., Beeson, W. L. und Burchette, R. J. (1995). "Long-term ambient concentrations of particulates and oxidants and development of chronic disease in a cohort of nonsmoking California residents." Inhalation Toxicology 7: 19-34.
- Air Quality Archive "The UK National Air Quality Information Archive, <http://www.aeat.co.uk/netcen/airqual/welcome.html>."
- Anderson, H. R., Ponce de Leon, A., Bland, H. R., Bower, J. S. und Strachan, D. P. (1996). Air pollution and daily mortality in London: 1987-92.
- Baker, C. K., Colls, J. J., Fullwo, A. E. und Seaton, G. G. R. (1986). "Depression of growth and yield in winter barley exposed to sulphur dioxide in the field." New Phytologist(104): 233-241.
- Bateman, I., Day, B., Lake, I. und Lovett, A. (2000). The effect of road traffic on residential property values: a literature review and hedonic pricing study, Centre for Social and Economic Research on the Global Environment, University of East Anglia, Norwich.
- Behder (2003). Telefongespräch mit Ministerialrat Dr. Behder, Bundesministerium des Innern, Referat BGS I 2: Infrastruktur, Liegenschaften, Finanzplanung, 14.7.2003. A. Großmann.
- Berger, U. (2000). Engpässe bei Verkehrs-Infrastrukturen.
- Bickel, P. (2003). Unveröffentlichte Dissertation, persönliche Auskunft.
- Bickel, P. und Schmid, S. (2002a). Marginal Costs Case Study 9D: Urban Road and Rail Case Studies Germany, UNITE. Stuttgart, Working Funded by 5th Framework RTD Programme. IER, University of Stuttgart.
- Bickel, P. und Schmid, S. (2002b). Marginal Costs Case Study 9E: Inter-Urban Road and Rail Case Studies Germany, UNITE. Stuttgart, Working Funded by 5th Framework RTD Programme. IER, University of Stuttgart.
- Blok, K., Jager, D. d., Hendriks, C., Kouvaritakis, N. und Mantzos, L. (2001). Economic Evaluation of Sectoral Emission Reduction Objectives for climate change. Comparison of 'Top down' and 'Bottom-up' Analysis of Emission Reduction Opportunities for CO₂ in the European Union.
- British Heart Foundation (2001). Ischaemic heart disease. **2002**.
- Bundesminister für Gesundheit, Ed. (1995). Daten des Gesundheitswesens. Schriftenreihe des Bundesministers für Gesundheit. Baden-Baden, Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG.
- Buxbaum, J. (2002). Staukosten Frankfurt Flughafen. S. Schmid. Langen/Stuttgart, DFS.
- Capros, P. und Mantzos, L. (2000). "Kyoto and technology at the European Union: costs of emission reduction und flexibility mechanisms and technology progress." Int. J. Global Energy Issues 14(Nos. 1-4): 169.183.
- CEPMEIP "CEPMEIP Database, <http://www.air.sk/tno/cepmeip/>."
- Collins A. und Evans A. (1994). "Aircraft noise and residential property values: An artificial neural network approach." JOURNAL OF TRANSPORT ECONOMICS AND POLICY May: 175-197.
- Criqui, P. und Viguier, L. (2000). "Kyoto and the Technology at World Level: Costs of CO₂ Reduction under Flexibility Mechanisms and Technical Progress." Int. J. Global Energy Issues 14: 155-168.
- Dab, W., Quenel, S. M. P., Moullec, Y. L., Tertre, A. L., Thelot, B., Monteil, C., Lameloise, P., Pirard, P., Momas, I., Ferry, R. und Festy, B. (1996). Short term respiratory health

- effects of ambient air pollution: results of the APHEA project in Paris. Paris, J Epidemiol Comm Health 50. (suppl 1): 42-46.
- Day, B. (2001). The Theory of Hedonic Markets: Obtaining welfare measures for changes in environmental quality using hedonic market data, Economics for the Environmental Consultancy.
- Der Kreisausschuss des Kreises Groß-Gerau (2001). Bodenrichtwerte zum 31.12.2001 für unbebaute Grundstücke im Kreis Groß-Gerau (ohne Rüsselsheim) <http://www.kreis-gross-gerau.de/wirtschaft/standort/wirtschaftsdaten/bodenrichtwerte.shtml>.
- Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (1999). Umwelt und Gesundheit - Risiken richtig einschätzen. Stuttgart, Metzler-Poeschel.
- DETR (1999a). Night Restrictions at Heathrow, Gatwick and Stansted. London, Department of the Environment, Transport and the Regions.
- DETR (1999b). Noise exposure contours for Heathrow airport 1998, Department of the Environment, Transport and the Regions. 2000.
- Deutsche Liga zur Bekämpfung des hohen Blutdruckes (2001). Bluthochdruck. 2001.
- DIW, CE und IOO (2002). Financial support to the aviation sector. A methodological proposal for empirical analysis. Berlin/Delft, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW); CE Solutions for environment, economy and technology, Delft; Economic research for the public sector (IOO), Zoetermeer: 38.
- Dockery, D. W., Speizer, F. E., Stram, D. O., Ware, J. H., Spengler, J. D. und Ferris, B. G. (1989). "Effects of inhalable particles on respiratory health of children." Am Rev Respir Dis 139: 587-594.
- Doll, C. (2001a). Pilot Accounts Germany: User costs. Leeds, IWW University of Karlsruhe.
- Doll, C. (2001b). Pilot Accounts Nature and Landscape (Draft). Karlsruhe, IWW, Universität Karlsruhe.
- Döttger, B. (2003). E-mail-Auskunft von Frau Döttger, Leiterin Finanzierung, Fraport AG, am 30.7.2003 auf Anfrage zu den ausgewiesenen Fremdkapitalkrediten im Fraport-Geschäftsbericht. A. Greßmann. Frankfurt/Main.
- Dusseldorp, A., Kruize, H., Brunekreef, B., Hofschreuder, P., Meer, G. d. und Oudvorst, A. B. v. (1995). "Associations of PM10 and airborne iron with respiratory health of adults near a steel factory." Am J Respir Crit Care Med 152: 1932-9.
- Elsasser, P. (2001). "Der ökonomische Wert der Wälder in Deutschland für die Naherholung: Eine "Benefit Function Transfer"-Schätzung." Zeitschrift für Umweltökonomie(3): 417-442.
- Enquete-Kommission (2002). Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung, Abschlussbericht, Gremien des Deutschen Bundestages in der 14. Wahlperiode.
- ESCAP/AITD (2001). Sustainable Transport pricing and charges. Principles and issues. Bangkok, New Delhi, United Nations.
- Europäische Kommission (2000). Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlamentes und des Rates über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm. Brüssel, Europäische Kommission.
- European Commission (1995). Towards Fair and Efficient Pricing in Transport.
- European Commission, Ed. (1999). Methodology 1998 Update. ExternE - Externalities of Energy. Bruxelles, European Commission, Directorate XII, Science, Research and Development.
- European Commission (2003). An applied integrated environmental impact assessment framework for the European Union (GREENSENSE). Brussels, European Commission DG Research, 5th Framework Programme, Final Report, Contract EVG1-CT-2000-00022.

- FAA, I. (2001). Integrated Noise Model (INM) Version 6.0c, U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration (FAA).
- Faburel G. (2001). Le bruit des avions - Evaluation du coût social. Presses Ponts et Chaussées (in French_Summary in English, see chapter 4.2, provided by professor Jacques Lambert.). Paris, University of Paris 12, France.
- Fahl, U., Läge, E., Remme, U. und Schaumann, P. (1999). E³Net. In: Forum für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalysen in Deutschland_Energiemodelle zum Klimaschutz in Deutschland. Heidelberg, Physica-Verlag.
- Fraport (2002a). Fluglärmreport Ausgabe 1/2002. Bericht über die Ergebnisse der Fluglärmüberwachung am Flughafen Frankfurt. Frankfurt/Main, Fraport AG.
- Fraport (2002b). Geschäftsbericht 2001. Weiterentwicklung und Wachstum. Frankfurt/Main, Fraport AG.
- Fraport (2003a). Flughafenentgelte Frankfurt Main. Gültig ab 1. Januar 2003, http://www.fraport.de/online/general/de/download/VTM_flughafenentgelte.pdf. Frankfurt/M., Fraport AG.
- Fraport (2003b). Geschäftsbericht 2002. Fortschritt und Kontinuität. Frankfurt/Main, Fraport AG.
- Friedrich, R. und Bickel, P., Eds. (2001). Environmental External Costs of Transport, Springer.
- Gautrin J.-F. (1975). "An evaluation of the impact of aircraft noise on property values with a simple model of urban land rent." Land Economics **51**: 80-86.
- GFL (2001). Gutachten G 13. Externes Risiko für den Flughafen Frankfurt Main. Berlin, GFL - Gesellschaft für Luftverkehrsforschung.
- Guski, R. (1997). "Conceptual, methodological and dose-response problems related to annoyance and disturbance." INTERNOISE 2: 1077 -.
- Guski, R., Felscher-Suhr, U. und Schuemer, R. (1998). "The concept of noise annoyance: what international experts tell." INTERNOISE 2: 1045 -.
- Hanley, N., Spash, C. und Walker, L. (1995). "Problems in valuing the benefits of biodiversity protection." Environmental and Resource Economics **5**: 249-272.
- Hawkins, R. (1999). Review of Studies on External Costs of Noise, Department of Transport and the Regions (DETR), Environment Protection Economic Division.
- Health Council of the Netherlands (HCN) (1997). Assessing noise exposure for public health purposes. The Hague, Committee on uniform environmental noise exposure metric.
- HLUG (2002). Fluglärm Frankfurt: Ergebnis-Raster-Daten für die einzelnen Varianten, Kurt Müller. **2002**.
- I&U (2003). "Infrastruktur und Umwelt, RDF Bevölkerungsdaten."
- ICAO (1998). "ICAO - Committee on Aircraft Engine Emission: Engine Exhaust Emissions Data Bank;
- International Civil Organisation, Montreal, Quebec, Canada - First Edition 1995 - Upgrade 1997."
- Infraconsult AG (1999). Kosten und Nutzen im Natur- und Landschaftsschutz: Monetarisierungs- und Beurteilungsmodell für Schutzmassnahmen im Verkehr. Bern, Nationales Forschungsprogramm 41.
- INFRAS/IWW (2000). External Costs of Transport. Paris, Study for the International Union of Railways.
- IPCC (2001). Intergovernmental Panel on Climate Change - Climate Change 2001- Synthesis Report, Cambridge University Press.
- Kluizenaar, Y. d., Passchier-Vermeer, W. und Miedema, H. (2001). Adverse effects of noise exposure to health. Leiden, Netherlands Organisation of Applied Science (TNO), Prevention and Health, Division Public Health.

- Kosz, M. (1997). "Probleme der monetären Bewertung von Biodiversität." Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht **20**(4): 531-550.
- Krupnick, A. J., Harrington, W. und Ostro, B. (1990). "Ambient ozone and acute health effects: Evidence from daily data." J. Environ Econ Manage **18**: 1-18.
- Leykauf, H. (2002). Stellungnahme des DWD zur Kostendeckung für Aufwendungen für die Luftfahrt von Dr. Leykauf, Leiter Geschäftsfeld Luftfahrt am 24.07.2002. Offenbach.
- Link, H., Stewart, L. H., Doll, C., Bickel, P., Schmid, S., Friedrich, R., Krüger, R., Droste-Franke, B. und Krewitt, W. (2002). Deliverable 5 Annex 1 The Pilot Accounts for Germany, European Commission 5th Framework – Transport RTD.
- Mahmoudi, S., Winand, U., Frenken, T., Huber, F., Meiners, H. und Brosch, K. (2001). Weiterentwicklung der Stadtmodellbausteine als Grundlage für Abschätzungs- und Bewertungsaufgaben in der Verkehrsplanung. Aachen, Heusch/Boesefeldt GmbH, VSU, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen.
- Maibach, M., Banfi, S., Doll, C., Rothengatter, W., Schenkel, P., Sieber, N. und Zuber, J. (2000). External costs of transport: Accident, Environmental and Congestion Costs in Western Europe (INFRAS/IWW study). Zürich/Karlsruhe, INFRAS, Consulting group for policy analysis, and IWW, University of Karlsruhe. Printed by International Union of Railways (UIC).
- Maibach, M., Peter, D. und Seiler, B. (1995). Ökoinventar Transporte, INFRAS.
- Martin-Cejas, R. R. (1997). "Airport Pricing Systems in Europe and an application of Ramsey pricing to Spanish airports." Transpn Res.-E. **33**(4): 321-327.
- Maschke, C. (1999). Preventive Medical Limits for Chronic Traffic Noise Exposure. The Joint Meeting of the Acoustical Society of America, 2nd Convention of the European Acoustics Association: Forum Acusticum, and 2nd German Acoustics DAGA conference, Berlin.
- Maschke, C., Arndt, D., Ising, H., Laude, G., Thierfelder, W. und Contzen, S. (1995). Nachtfluglärnwirkung auf Anwohner, Verein für Wasser-, Boden- und Lufthygiene e.V.
- Maschke, C., Druba, M. und Pleines, F. (1996). Kriterien für schädliche Umwelteinwirkungen: Beeinträchtigung des Schlafes durch Lärm. Berlin, Technische Universität Berlin; Im Auftrag des Umweltbundesamtes.
- Maschke, C., Ising, H. und Hecht, K. (1997). "Schlaf - nächtlicher Verkehrslärm - Streß - Gesundheit: Grundlagen und aktuelle Forschungsergebnisse; Teil I: Grundlagen." Bundesgesundheitsblatt **40**(1): 3-10.
- Mediation Frankfurt Flughafen Ö13 (2000). Ergebnisse zu Ö13: Auswirkungen im Bereich Luftschadstoffe, Öko-Institut.
- Mediation Frankfurt Flughafen V14 (1999). Mediation Frankfurt Flughafen V14 Verkehrsuntersuchung zur Entwicklung des Flughafens (bodengebundene Verkehre), Durth Roos Consulting GmbH.
- Mediation Frankfurt G-Ö16/17 (2000). Mediation Frankfurt Flughafen/Main Datenaufnahme "Siedlung und Soziales" Endbericht.
- Mediationsverfahren Gutachten Ö12 (1999). Auswirkungen der Ausbaumaßnahmen auf das Wasser -, Cooperative.
- Metroeconomica (2001). Monetary valuation of noise effects. Draft Final Report prepared for the EC UNITE Project, subcontracted to IER. Bath, UK.
- Miedema, H. M. E. und Oudshoorn, C. G. M. (2001). "Annoyance from Transportation Noise: Relationships with Exposure Metrics DNL and DENL and Their Confidence Intervals." ENVIRONMENTAL HEALTH PERSPECTIVES **109**(PART 4): 409-416.
- Miedema, H. M. E. und Vos, H. (1998). "Exposure-response relationships for transportation noise." JOURNAL- ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA **104**(6): 3432-3445.

- Möller (2002). "Gespräch mit Herrn Möller, Leiter der Unternehmensfinanzierung der DFS am 04.07.2002."
- Müller-Wenk, R. (1999). *Life-cycle impact assessment of road transport noise*, Universität St. Gallen.
- Müller-Wenk, R. (2002). Attribution to road traffic of the impact of noise on health, Swiss Agency for the Environment, Forest and Landscape.
- Murray (1996).
- Navrud, S. (2002). *The State-Of-The-Art on Economic Valuation of Noise*, Agricultural University of Norway.
- Nowotny, E. (1996). Der öffentliche Sektor. Berlin Heidelberg.
- Ostro, B. D. (1987). "Air pollution and morbidity revisited: A specification test." J Environ Econ Manage **14**: 87-98.
- Ostro, B. D. und Rothschild, S. (1989). "Air pollution and acute respiratory morbidity: An observational study of multiple pollutants." Environ Res **50**: 238-247.
- Passchier-Vermeer, W., Miedema, H. M. E. und Vos, H. (2001). *Fluglärmbelastung und Volksgesundheit*. Leiden, Netherlands Organisation of Applied Science (TNO), Prevention and Health, Division Public Health.
- Pearce, D. (1994). The economic value of biodiversity. London, Earthscan Publ.
- Pearce, D. und Pearce, B. (2000). "SETTING ENVIRONMENTAL TAXES FOR AIRCRAFT: A CASE STUDY OF THE UK." : 34.
- Pennington G., Topham N. und Ward R. (1990). "Aircraft noise and residential property values adjacent to Manchester International Airport." JOURNAL OF TRANSPORT ECONOMICS AND POLICY **24**(1): 49-59.
- Pilkington, A., Hurley, J. F. und Donnan, P. (1997). *Health effects in Externe Transport: assessment and exposure-response functions.*, Institute of occupational health (IOM), Edinburgh.
- Planungsverband Ballungsraum Frankfurt / Rhein-Main - Tabelle 6 (2001). *Statistik - Trends Region Frankfurt RheinMain*, <http://www.pvfrm.de/download/stil11-01.pdf>.
- Pommerehne W.W. (1988). *Measuring Environmental Benefits: A Comparison of Hedonic Technique and Contingent Valuation in by Dieter Bos, D.M. Rose and C. Seidl (eds.): Welfare and Efficiency in Public Economics*, Springer; Berlin, Heidelberg, New York.
- Ponce de Leon, A., Anderson, H. R., Bland, J. M., Strachan, D. P. und Bower, J. (1996). "Effects of air pollution on daily hospital admissions for respiratory disease in London between 1987-88 and 1991-92." J Epidem Comm Health **50**(suppl 1): 63-70.
- Pope, C. A. und Dockery, D. W. (1992). "Acute health effects of PM10 pollution on symptomatic and asymptomatic children." Am Rev Respir Dis **145**: 1123-1126.
- Pope, C. A., Thun, M. J., Namboodri, M. M., Dockery, D. W., Evans, J. S., Speizer, F. E. und Heath, C. W. (1995). "Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of US adults." Amer. J. of Resp. Critical Care Med. **151**: 669-674.
- Pschyrembel (1994). Klinisches Wörterbuch. Berlin, New York, de Gruyter.
- Regierungspräsidium Darmstadt (2002). *Raumordnungsverfahren Flughafen Frankfurt, Landesplanerische Beurteilung*. Darmstadt, Regierungspräsidium Darmstadt.
- Roemer, W., Hoek, G. und Brunekreef, B. (1993). "Effect of ambient winter air pollution on respiratory health of children with chronic respiratory symptoms." Am Rev Respir Dis **147**: 118-124.
- ROV G2 Teil C9-13+D+E (2001). "Gutachten G2 Teil C9-13+D+E Umweltverträglichkeitsstudie zum Raumordnungsverfahren - C Raumanalyse und Auswirkungsprognose Kapitel 9 - 13 D Variantenvergleich E Literatur."
- ROV G2 TeilA+B (2001). *Gutachten G2 Teil A, B Umweltverträglichkeitsstudie zum Raumordnungsverfahren -A Allgemeine und Methodische Grundlagen, B Vorhaben und Projektwirkung*.

- ROV G2_TeilC5-8 (2001). Gutachten G2 Teil C5-8 Umweltverträglichkeitsstudie zum Raumordnungsverfahren - C Raumanalyse und Auswirkungsprognose.
- ROV G6.1 (2001). G6.1 Technisches Lärmgutachten - Fluglärm (Lärmphysikalische Gutachten). Göttingen, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
- ROV G6.2 (2001). Technische Lärmgutachten G 6.2: Landseitige Verkehrsanbindung (Straße/Schiene). München, Obermeyer Planen+Beraten.
- ROV G6.3 (2001). G6.3 Technisches Lärmgutachten: Rolllärmuntersuchung. München, Obermeyer Planen+Beraten.
- ROV G6.4 (2001). G6.4 Technisches Lärmgutachten: Bodenlärmuntersuchung. München, Obermeyer Planen+Beraten.
- ROV G6.5 (2001). G6.5 Technische Lärmgutachten : Gesamtlärm. München, Obermeyer Planen+Beraten.
- ROV G7.1 (2001). Gutachten G7.1 Ermittlung der nicht-flughafenspezifischen Emissionen und Immissionen durch den Ausbau des Flughafen Frankfurt/Main, IVU Umwelt GmbH.
- ROV G7.2 (2001). Luftschadstoffgutachten Flughafen Frankfurt/Main: Kfz-Verkehr und stationäre Quellen auf dem Flughafengelände. Aachen, Heusch/Boesefeldt GmbH.
- ROV G7.3 (2001). Flughafenausbau Frankfurt/Main: G 7.3 Luftschadstoffe - Flugverkehr. Meersburg, Ingenieurbüro Janicke.
- ROV G7.4 (2001). "Luftschadstoffe, Zusammenfassung der Luftschadstoffkennwerte."
- ROV G10 (2001). Amtliches Gutachten zu den klimatologischen Auswirkungen des Ausbauprogramms Flughafen Frankfurt/Main (Gutachten G10). Offenbach, Deutscher Wetterdienst, Geschäftsfeld Klima- und Umweltberatung.
- ROV G13 (2001). Externens Risiko für den Flughafen Frankfurt Main. Berlin, GFL - Gesellschaft für Luftverkehrsforschung.
- ROV Raumverträglichkeitsstudie (RVS) Band C (2001). Cc Vorzugsvariante Nordwest, Projektsteuerung Flughafenausbau Frankfurt/Main, Dornier SystemConsult GmbH, Schüßler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH.
- Schick, A. (1997). Das Konzept der Belästigung in der Lärmforschung. Lengerich, Pabst Science Pub.
- Schipper, Y., Nijkamp, P. und Rietveld, P. (1998). "Why do aircraft noise value estimates differ? A meta-analysis." JOURNAL OF AIR TRANSPORT MANAGEMENT 4: 117-124.
- Schmid, S. (2003). Externe Grenz- und Gesamtkosten des Verkehrs durch Lärm und Luftschadstoffe. Dissertation in Vorbereitung. Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart.
- Schwartz, J. und Morris, R. (1995). "Air pollution and hospital admissions for cardiovascular disease in Detroit, Michigan." Epidem 137: 701-705.
- Searl, A. (2002). Quantification of health impacts associated with secondary nitrates. Edinburgh, Institute for Occupational Medicine (IOM), Internal paper for the Green Sense project.
- Spix, C. und Wichmann, H. E. (1996). "Daily mortality and air pollutants: findings from Köln, Germany." Epidem Comm Health 50((suppl 1)): 52-58.
- Sunyer, J., Castellsague, J., Saez, M., Tobias, A. und Anto, J. (1996). "Air pollution and mortality in Barcelona." J Epidemiol Comm Health(50 (suppl 1)): S76-S80.
- Thune-Larsen H. (1995). Flystøyavgifter basert på betalingsvillighet. (In Norwegian) TØI-report 289/1995. Oslo, Institute for Transport Economics ((TØI),: 86.
- Tidblad, J., Kucera, V. und Mikhailov, A. A. (1998). Statistical analysis of 8 year materials exposure and acceptable deterioration and pollution levels. Stockholm, Sweden, Swedish Corrosion Institute.

- Touloumi, G., Pocock, S., Katsouyanni, K. und Trichopoulos, D. (1994). "Short-term effects of air pollution on daily mortality in Athens: A time-series analysis." Int J Epidemiol **23**: 957-967.
- Treber, M., Kirchmair, A. und Kier, G. (2003). Die Subventionierung des Flugverkehrs. Eine Bestandsaufnahme. Bonn/Berlin, Germanwatch e.V.
- TRL, Hickman, J., Hassel, D., Joumard, R., Samaras, Z., Sorenson, S., TÜV Rheinland, INRETS und LAT (1999). Methodology for calculating transport emissions and energy consumption Deliverable 22 for the project MEET.
- Umwelt-Zwischenbilanz (1998). Umwelt-Zwischenbilanz der Flughafen Frankfurt/Main AG.
- Vainio, M. und White, S. (2001). Value of statistical life in Europe. Brussels, European Commission Environment Directorate General.
- Vallet M. und Cohen J.M. (2000). Etude Epidemiologiques des Troubles Anxio-Depressifs Autour des Aeroports, Ministere de l'Environnement, Mission Bruit.
- Verhoeff, A., Hoek, G., Schwartz, J. und Wijnen, J. v. (1996). "Air pollution and daily mortality in Amsterdam." Epidemiology **7**: 225-230.
- Wardman, M. (1998). "The Value of Travel Time: A Review of British Evidence." JOURNAL OF TRANSPORT ECONOMICS AND POLICY **32**(3): 285-316.
- WG HSEA (2003). Valuation of Noise, Draft Position Paper of the WORKING GROUP on HEALTH and SOCIO-ECONOMIC ASPECTS. Brüssel.
- Whittemore, A. und Korn, E. (1980). "Asthma and air pollution in the Los Angeles area." Am J Public Health **70**: 687-696.
- Wordley, J., Walters, S. und JG., J. A. (1997). "Short term variations in hospital admissions and mortality and particulate air pollution." Occup Environ Med **54**: 108-116.
- Wresowar, M., Sieghart M. (2000). Studie über die Auswirkung stickstoffhaltiger Auftaumittel - Auswirkungen auf Boden und Bewuchs - Vergleich mit herkömmlichen Auftaumitteln. Wien.
- Yamaguchi Y. (1996). Estimating the Cost of Aircraft Noise Round Airports in London unpublished MSc dissertation. Environmental and Resource Economics, Department of Economics. London, University College London.

14 Anhang

14.1 Kombination Fluggerät / Triebwerk für marginale Lärmkostenberechnungen

Für die Flugzeugtypen, die bei den marginalen Lärmkosten berechnet wurden, wurden im Text Kurzbezeichnungen in Anlehnung an das *Integrated Noise Model* verwendet. Nachfolgende Tabellen enthalten die genau Bezeichnung für die jeweilige Turbine, sowie aufgeteilt nach der Flughafenentgelt-Verordnung der Fraport AG 2003.

Tabelle 131: Kategorie 1 nach Einteilung Flughafenentgelte: Zertifizierte Fluggeräte, INM-Kurzbezeichnung und Beschreibung des INM-Modellflugzeugs mit Typ und Triebwerk

Bezeichnung Fluggerät nach Flughafenentgelt-Verordnung 2003	Beispielflugzeug, Kurzbezeichnung	
LAZ 1		
Alle Kap.-3-Jets mit MTOW < 34 t	CNA750 CIT3 CL600 CL601 CNA500 IA1125 LEAR35 MU3001 EMB145 EMB14L	Citation X / Rolls Royce Allison AE3007C CIT 3/TFE731-3-100S CL600/ALF502L CL601/CF34-3A CIT 2/JT15D-4 ASTRA 1125/TFE731-3A LEAR 36/TFE731-2 MU300-10/JT15D-4 Embraer 145 ER/Allison AE3007 Embraer 145 LR / Allison AE3007A1
Alle Propellerflugzeuge mit MTOW < 34 t	DHC7 DHC8 DHC830 SD330 SF340 EMB120	DASH 7/PT6A-50 DASH 8-100/PW121 DASH 8-300/PW123 SD330/PT6A-45AR SF340B/CT7-9B Embraer 120 ER/ Pratt & Whitney PW118
A 319, A 320, A 321	A320 A319 A32023 A32123	Airbus A320-211 CFM56-5A1 Airbus A319-131 / V2522-A5 Engines Airbus A320-232 / V2527-A5 Engines Airbus A321-232 / IAE V2530-A5
B 717	717200	717-200 / BR 715
B 737-300 bis -900	737300 7373B2 737400 737500 737700 737800	B737-300/CFM56-3B-1 B737-300/CFM56-3B-2 B737-400/CFM56-3C-1 B737-500/CFM56-3B-1 Boeing 737-700/CFM56-7B 737-800 / CFM56-7B26
B 757	757300 757PW 757RR	757-300 / RB211-535E4B B757-200/PW2037 B757-200/RB211-535E4
BAe146/Avro RJ	BAE146	BAE146-200/ALF502R-5
Gulfstream IV/V	GIV	Gulfstream GIV-SP/TAY 611-8
L 188	L188	L188C/ALL 501-D13
MD 90	MD9025	MD-90/V2525-D5
MD 90	MD9028	MD-90/V2528-D5

LAZ 2		
A 300	A300	A300B4-200/CF6-50C2
	A30062	Airbus A300-622R / PW4158
A 310	A310	Airbus A310-304 / CF6-80C2A2
B 727-100 Reengined	727QF	UPS 727100 22C 25C (TAY-Triebwerk)
B 767	767300	B767-300/PW4060
	767400	767-400ER with CF6-80C2B(F) Engines
	767CF6	B767-200/CF6-80A
	767JT9	B767-200/JT9D-7R4D
B 777	777200	Boeing 777-200 GE90-76B
	777300	777-300 with Trent 892 Engines
C 130 (Hercules)	C130	C-130H/T56-A-15
DC 6		Keine DC6 mit Chapter 3 Zulassung verfügbar
LAZ 3		
A 330	A330	Airbus A330-301 / CF6-80 E1A2
A 330	A33034	Airbus A330-343/RR TRENT 772B
A 340	A340	Airbus A340-211/CFM 56-5C2
B 737-200 Hushkit	737N17	B737-200/JT8D-17 Nordam B737 LGW Hushkit
B 737-200 Hushkit	737N9	B737/JT8D-9 Nordam B737 LGW Hushkit
DC 8-70-Serie	DC870	DC8-70/CFM56-2C-5
DC 9	DC93LW	DC9-30/JT8D-9 w/ ABS Lightweight hushkit
DC 9	DC95HW	DC9-50/JT8D17 w/ ABS Heavyweight hushkit
L 1011 (Tristar)	L1011	L1011/RB211-22B
L 1011 (Tristar)	L10115	L1011-500/RB211-224B
MD 80 bis MD 88	MD83	MD-83/JT8D-219
MD 11	MD11GE	MD-11/CF6-80C2D1F
MD 11	MD11PW	MD-11/PW 4460
LAZ 4		
B 747-400	747400	B747-400/PW4056
DC 10	DC1010	DC10-10/CF6-6D
	DC1030	DC10-30/CF6-50C2
	DC1040	DC10-40/JT9D-20
LAZ 5		
B 747-100 bis -300	74710Q	B747-100/JT9D-7QN
	747200	B747-200/JT9D-7
	74720A	B747-200/JT9D-7A
	74720B	B747-200/JT9D-7Q

Hinweis: Grundlegenden Daten zur Modellierung von IL 62, IL 18, TU204, YK 42/142, AN 22, BAC 111 Hushkit, B707 mit Chapter 3 Zulassung, B 727 Hushkit, B 747-S und TU154 liegen nicht vor.

Tabelle 132: Marginale externe Lärmkosten verschiedener Flugzeugtypen / Triebwerkskonfigurationen für den Anflug am Tag, Abend und in der Nacht auf Landebahn 07R (Bewertung mit 18 €₂₀₀₀/dB_{Lden}/Person; Schwellwert 50 und 55 dB_{Lden})[€₂₀₀₀/Anflug]

ACFT_ID	Tag 55dB	Tag 50dB	Abend 55dB	Abend 50dB	Nacht 55dB	Nacht 50dB	Max. Abflug- gewicht (t)	LAZ
717200	1.8	2.7	4.3	6.5	13.5	20.4	55	1
727QF	2.7	4.2	6.5	10.0	20.3	31.6	64	2
737300	6.3	9.3	14.9	22.2	46.5	69.6	70	1
7373B2	6.3	9.4	14.9	22.2	46.6	69.7	73	1
737400	6.3	9.5	15.0	22.5	47.0	70.7	79	1
737500	6.3	9.4	14.9	22.2	46.7	69.8	125	1
737700	8.1	12.1	19.3	28.8	60.2	90.3	243	1
737800	10.7	16.2	25.4	38.5	79.1	120.4	204	1
737N17	5.6	8.0	13.4	18.9	41.9	59.4	73	3
737N9	5.0	7.1	11.9	16.8	37.2	52.6	63	3
74710Q	23.8	36.1	56.7	85.7	172.8	264.0	352	5
747200	23.7	35.8	56.3	85.0	171.7	262.0	252	5
74720A	57.1	94.5	135.9	224.7	406.9	678.9	356	5
74720B	55.9	92.5	133.0	219.9	398.7	665.5	363	5
747400	38.8	64.0	92.3	152.0	280.8	467.0	332	4
757300	8.1	13.4	19.2	31.7	60.2	99.8	70	1
757PW	6.9	10.2	16.3	24.2	51.1	75.8	53	1
757RR	7.5	11.7	17.7	27.7	55.4	87.0	70	1
767300	13.8	21.3	32.7	50.6	101.5	158.0	230	2
767400	17.5	30.5	41.6	72.3	129.3	226.8	259	2
767CF6	11.9	18.8	28.3	44.6	88.1	139.4	73	2
767JT9	12.0	18.9	28.6	44.7	88.8	139.9	52	2
777200	12.1	17.9	28.7	42.6	89.1	132.6	56	2
777300	14.7	21.8	34.8	51.7	107.5	161.0	212	2
A300	9.7	15.0	23.1	35.5	72.0	111.2	299	2
A30062	23.7	38.9	56.4	92.3	173.5	286.6	395	2
A310	13.2	22.8	31.4	54.2	97.8	170.2	195	2
A319	4.3	7.3	10.1	17.2	31.8	54.4	71	1
A320	7.7	13.0	18.2	30.9	57.1	97.2	165	1
A32023	6.1	10.4	14.5	24.6	45.6	77.4	100	1
A32123	5.1	8.4	12.1	19.9	37.9	62.8	63	1
A330	16.2	27.4	38.5	65.1	119.4	203.8	310	3
A33034	13.1	23.6	31.0	56.0	96.7	176.3	161	3
A340	14.1	25.8	33.6	61.2	104.8	192.9	310	3
BAE146	4.6	6.9	10.8	16.4	34.0	51.6	61	1
C130	10.8	17.6	25.7	41.7	80.0	130.7	171	2
C130E	9.8	14.2	23.2	33.8	72.3	105.5	150	2
CIT3	0.6	0.7	1.4	1.7	4.5	5.3	9	1
CL600	0.6	0.7	1.4	1.6	4.6	5.1	12	1
CL601	1.1	1.7	2.7	3.9	8.6	12.4	8	1
CNA500	0.8	1.1	1.8	2.7	5.8	8.6	16	1
CNA750	2.3	3.3	5.4	7.9	17.0	25.0	12	1
DC1010	8.6	11.4	20.3	27.0	63.1	84.1	159	4
DC1030	7.4	10.1	17.5	24.0	54.6	74.8	77	4
DC1040	8.2	11.4	19.5	27.2	60.7	84.9	143	4
DC870	9.7	14.7	23.0	34.9	71.5	109.1	185	3
DC93LW	4.2	6.1	9.8	14.4	30.9	45.2	71	3
DC95HW	2.0	2.8	4.9	6.7	15.3	21.2	16	3
DHC7	0.4	0.6	1.0	1.4	3.1	4.4	19	1
DHC8	0.7	1.3	1.7	3.1	5.4	9.8	20	1
DHC830	0.6	1.1	1.4	2.5	4.5	8.1	6	1
EMB120	0.7	1.0	1.7	2.4	5.5	7.4	7	1
EMB145	2.4	3.5	5.7	8.3	18.0	26.0	42	1
EMB14L	1.5	2.2	3.6	5.2	11.5	16.4	22	1
GIV	1.7	2.7	4.1	6.4	12.9	20.1	34	1
IA1125	0.6	0.7	1.4	1.6	4.3	5.0	11	1
L1011	12.1	16.0	28.6	38.1	88.2	117.9	49	3
L10115	13.4	17.7	31.9	42.1	98.0	130.1	231	3
L188	11.4	16.8	27.1	39.9	84.3	124.5	55	1
LEAR35	1.1	1.7	2.6	4.0	8.3	12.6	20	1
MD11GE	14.6	25.0	34.6	59.3	107.7	186.0	257	3
MD11PW	20.8	36.1	49.4	85.6	153.0	267.8	206	3
MD83	3.2	4.8	7.6	11.4	24.0	35.9	10	3
MD9025	5.3	9.1	12.5	21.6	39.2	68.0	68	1
MD9028	5.3	9.1	12.5	21.6	39.2	68.0	109	1
MU3001	0.6	0.7	1.4	1.7	4.5	5.4	16	1
SD330	4.1	8.2	9.8	19.5	30.8	61.6	89	1
SF340	2.1	3.9	4.9	9.3	15.6	29.4	21	1

Tabelle 133: Marginale externe Lärmkosten verschiedener Flugzeugtypen / Triebwerkskonfigurationen für den Abflug in Richtung TAU am Tag, Abend und in der Nacht (Bewertung mit 18 €₂₀₀₀ /dB_{Lden} pro Person; Schwellwert 50 und 55 dB_{Lden})(€₂₀₀₀/Abflug)

ACFT_ID	Tag 55dB	Tag 50dB	Abend 55dB	Abend 50dB	Nacht 55dB	Nacht 50dB	Abflug- gewicht (t)	Max. Abflug- gewicht (t)	LAZ
717200	1.7	5.7	4.0	13.6	12.5	39.1	45	55	1
727QF	5.7	18.3	13.5	43.3	42.6	124.3	65	77	2
737300	2.8	8.1	6.5	19.2	20.6	55.1	49	61	1
7373B2	3.4	9.8	8.1	23.2	25.7	66.6	50	63	1
737400	4.3	13.0	10.3	30.8	32.5	88.4	55	68	1
737500	2.9	8.5	6.8	20.1	21.5	57.8	50	63	1
737700	5.8	17.1	13.7	40.7	43.4	116.9	57	70	1
737800	7.0	22.7	16.5	54.0	52.2	155.1	66	79	1
737N17	21.9	66.9	52.1	159.3	164.3	457.6	48	56	3
737N9	14.2	43.6	33.8	103.5	106.6	297.3	42	49	3
74710Q	22.0	74.9	51.9	176.9	164.7	508.3	283	332	5
747200	20.2	69.6	47.6	164.2	150.9	471.7	277	352	5
74720A	22.6	79.6	53.4	187.9	169.4	539.9	277	356	5
74720B	30.9	106.0	72.9	251.7	231.3	723.2	302	363	5
747400	15.8	55.3	37.5	131.2	117.8	376.8	328	395	4
757300	5.0	16.9	11.8	40.1	37.1	115.2	101	125	1
757PW	1.5	4.5	3.5	10.7	11.1	30.9	86	109	1
757RR	4.0	12.2	9.5	29.1	29.8	83.5	82	100	1
767300	11.6	38.3	27.5	90.9	86.4	261.0	150	185	2
767400	7.4	26.0	17.5	61.7	55.1	177.2	173	204	2
767CF6	5.3	17.5	12.6	41.6	39.5	119.4	119	143	2
767JT9	6.5	21.4	15.4	50.9	48.5	146.1	129	159	2
777200	3.2	10.0	7.6	23.8	24.0	68.3	194	243	2
777300	8.2	27.0	19.4	64.1	60.8	184.1	239	299	2
A300	7.3	21.4	17.2	50.9	54.0	146.1	134	165	2
A30062	5.8	18.1	13.7	43.0	43.0	123.5	142	171	2
A310	3.9	11.0	9.3	26.2	29.3	75.3	123	150	2
A319	2.1	5.9	4.9	14.1	15.4	40.5	58	64	1
A320	3.0	9.4	7.2	22.3	22.5	64.0	62	73	1
A32023	2.2	6.6	5.2	15.6	16.2	44.9	62	73	1
A32123	3.0	9.5	7.0	22.4	22.1	64.5	75	89	1
A330	7.6	23.9	18.1	56.6	56.8	162.7	178	212	3
A33034	5.4	17.0	12.9	40.4	40.3	116.1	192	230	3
A340	5.4	19.1	12.9	45.2	40.3	129.7	218	257	3
BAE146	2.2	6.2	5.1	14.7	16.0	42.3	34	42	1
C130	7.5	22.9	17.9	54.2	55.6	155.8	60	70	2
C130E	4.1	14.5	9.8	34.4	30.6	98.8	60	70	2
CIT3	1.3	3.9	3.1	9.3	9.7	26.8	9	9	1
CL600	1.0	3.1	2.3	7.4	7.1	21.1	16	16	1
CL601	0.7	2.1	1.6	4.9	4.9	14.1	20	20	1
CNA500	0.9	3.0	2.3	7.2	7.0	20.7	7	7	1
CNA750	0.3	0.8	0.7	2.0	2.2	5.7	16	16	1
DC1010	8.3	24.7	19.8	58.6	61.6	168.5	163	206	4
DC1030	16.8	51.7	39.9	123.1	124.2	353.5	216	259	4
DC1040	14.1	45.4	33.5	108.1	104.2	310.5	210	252	4
DC870	11.4	35.4	27.0	84.1	83.9	241.7	132	161	3
DC93LW	7.2	22.4	17.2	53.1	53.6	152.6	42	52	3
DC95HW	9.4	29.0	22.3	68.8	69.2	197.8	45	55	3
DHC7	0.1	0.3	0.3	0.7	0.8	2.1	18	19	1
DHC8	0.1	0.5	0.3	1.1	1.0	3.1	14	16	1
DHC830	0.2	0.5	0.4	1.2	1.1	3.5	18	20	1
EMB120	0.3	0.8	0.7	1.9	2.1	5.4	10	12	1
EMB145	0.4	1.3	0.9	3.0	2.9	8.7	16	21	1
EMB14L	0.5	1.8	1.3	4.3	4.0	12.2	18	22	1
GIV	0.7	2.1	1.7	5.0	5.1	14.3	29	34	1
IA1125	1.6	4.8	3.9	11.3	12.0	32.6	11	11	1
L1011	10.0	30.1	23.7	71.5	74.0	205.5	161	195	3
L10115	14.1	43.0	33.5	102.1	104.0	293.4	187	231	3
L188	3.3	10.6	7.7	25.1	23.8	72.0	42	53	1
LEAR35	1.8	5.1	4.4	12.1	13.5	34.7	8	8	1
MD11GE	7.4	27.6	17.7	65.6	54.9	188.5	263	310	3
MD11PW	7.3	26.3	17.4	62.5	53.8	179.5	263	310	3
MD83	13.2	43.7	31.4	103.8	95.6	298.1	60	73	3
MD9025	2.8	8.7	6.6	20.6	20.5	59.2	59	71	1
MD9028	3.1	9.2	7.4	21.8	22.6	62.7	59	71	1

MU3001	4.2	14.2	10.0	33.6	30.6	96.7	6	6	1
SD330	1.4	5.5	3.3	13.1	9.9	37.5	10	10	1
SF340	1.1	3.5	2.6	8.4	7.7	24.1	11	12	1

Tabelle 134: Zuordnung der verwendeten Kurzbezeichner für Abflugrouten zu den Flugstreckenbezeichnern

Kurzbezeichner	Flugstrecke nach DES bzw. Luftfahrthandbuch Deutschland (SID designators)
07N-L	SUGIT N, SUGIT S
07R-O	HAB2000 N, HAB2000 N
18KIR-K	KIR 8F / 8G S
18KIR-L	KIR 9S 18/W/DF49
18KNG-K	KNG "kurz" 18/E/DF46, KNG "kurz" 18/W/DF46
18KNG-L	KNG "lg"18/E/DF48/56/59, RID/KNG "lg"18/W/DF48/56/59
25TAU-L	Tau 1G N, Tau 1G S
25TAU-K	Tau 1F N

Tabelle 135: Marginale externe Lärmkosten für den Start am Abend und in der Nacht auf verschiedenen Abflugrouten für die Ist-Situation (Bewertung mit 18 €₂₀₀₀/dB_{Lden} pro Person; Schwellwert 50dB_{Lden})[€₂₀₀₀/Abflug]

€/Start	07-N-LAN	07R-O	18-KIR-K	18-KIR-L	18-KNG-K	18-KNG-L	25RTAU-L	25RTAU-K
Abend								
DHC8	2,8	1,3	0,8	0,6	0,7	0,8	1,8	1,2
EMB145	6,8	3,8	2,2	1,6	2,0	2,2	5,7	3,1
A319	32,5	17,4	10,2	7,9	8,8	9,3	21,1	14,0
A320	51,2	28,5	16,4	12,5	14,0	15,3	34,1	22,3
A30062	98,0	56,6	32,8	24,8	28,8	31,4	65,8	42,9
HS748A	106,1	64,6	33,0	20,1	34,3	30,8	84,6	0,0
A340	107,7	66,9	36,7	22,9	35,1	32,8	99,8	45,3
737800	126,1	71,2	41,5	31,3	36,7	40,0	84,8	53,8
MD82	186,2	111,0	59,7	43,6	51,6	57,6	143,8	101,1
767300	223,1	128,1	72,8	51,1	59,6	69,2	151,1	90,9
747400	306,8	195,0	107,7	77,9	118,7	106,7	258,2	131,1
747200	376,6	238,4	125,2	86,3	133,1	116,2	358,0	165,2
Nacht								
DHC8	8,0	3,7	2,3	1,7	2,1	2,4	5,1	3,4
EMB145	19,5	10,8	6,5	4,5	5,6	6,2	16,5	8,9
A319	93,4	50,1	29,4	22,7	25,4	26,6	60,6	40,2
A320	147,1	81,9	47,2	35,8	40,3	44,0	98,1	64,1
A30062	281,4	162,5	94,3	71,3	82,6	90,3	188,9	123,3
HS748A	305,1	185,6	94,9	57,7	98,5	88,6	243,3	0,0
A340	309,6	192,4	105,6	66,0	100,8	94,4	286,9	130,3
737800	362,3	204,5	119,2	89,9	105,6	115,1	243,7	154,7
MD82	534,6	318,8	171,4	125,3	148,2	165,5	412,9	290,3
767300	641,0	368,1	209,3	146,9	171,1	198,8	434,3	261,2
747400	880,8	560,0	309,2	223,7	340,8	306,3	741,3	376,5
747200	1.081,8	684,9	359,5	247,9	382,4	333,7	1.028,4	474,4

Tabelle 136: Marginale externe Kosten für den Start am Tag, Abend und in der Nacht auf verschiedenen Abflugrouten für die Ist-Situation (Bewertung mit 18 €₂₀₀₀/dB_{Lden} pro Person; Schwellwert 55dB_{Lden}) [€₂₀₀₀/Abflug]

ID	07-N-LAN	07R-O	18-KIR-K	18-KIR-L	18-KNG-K	18-KNG-L	25RTAU-L	25RTAU-K
Tag								
DHC8	0,5	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1
EMB145	1,4	0,7	0,3	0,3	0,6	0,3	0,9	0,4
A319	6,1	3,9	1,3	1,3	2,4	1,4	3,7	2,1
A320	9,2	5,7	1,9	2,0	3,7	2,1	5,4	3,0
A30062	17,4	10,8	3,8	3,9	7,2	4,3	10,2	5,8
HS748A	19,3	9,8	3,4	3,2	7,2	3,7	10,5	4,1
A340	21,9	13,0	4,7	4,8	9,2	5,1	12,4	5,4
737800	22,5	12,3	4,4	4,2	8,6	4,9	14,8	7,0
MD82	35,1	20,2	6,9	7,2	14,2	8,0	21,5	12,1
767300	39,1	22,7	8,0	7,9	14,7	8,6	22,2	11,6
747400	57,7	31,8	12,7	13,5	26,1	14,9	36,0	15,8
747200	77,3	41,6	15,4	15,6	32,7	17,3	51,4	20,2
Abend								
DHC8	1,1	0,5	0,2	0,2	0,5	0,2	0,6	0,3
EMB145	3,2	1,7	0,6	0,6	1,3	0,7	2,0	0,9
A319	14,4	9,3	3,0	3,1	5,8	3,3	8,8	4,9
A320	21,8	13,5	4,6	4,7	8,7	5,0	12,8	7,2
A30062	41,2	25,7	9,1	9,3	17,1	10,1	24,2	13,7
HS748A	45,8	23,3	8,1	7,6	17,1	8,7	25,0	9,7
A340	51,8	30,9	11,2	11,4	21,9	12,2	29,4	12,9
737800	53,4	29,2	10,4	10,0	20,4	11,7	35,1	16,5
MD82	83,4	47,8	16,3	17,0	33,6	18,9	51,1	28,7
767300	92,7	54,0	18,9	18,7	34,8	20,3	52,8	27,5
747400	136,7	75,5	30,1	31,9	62,0	35,3	85,4	37,4
747200	183,5	98,8	36,5	37,0	77,5	41,2	121,9	47,9
Nacht								
DHC8	3,2	1,5	0,6	0,7	1,4	0,7	1,6	0,9
EMB145	9,3	4,9	1,8	1,9	3,8	2,1	5,8	2,7
A319	41,3	26,8	8,6	9,0	16,6	9,6	25,4	14,1
A320	62,7	38,7	13,2	13,4	25,1	14,4	36,9	20,7
A30062	118,3	73,7	26,2	26,6	49,2	29,0	69,4	39,3
HS748A	131,8	66,9	23,2	21,9	49,0	25,0	71,9	27,9
A340	149,1	88,8	32,3	32,7	62,8	34,9	84,5	37,0
737800	153,5	83,9	29,8	28,7	58,6	33,7	100,9	47,5
MD82	239,5	137,4	46,8	48,8	96,6	54,2	146,8	82,4
767300	266,5	155,0	54,4	53,8	100,0	58,3	151,6	78,9
747400	392,5	216,7	86,4	91,7	177,9	101,2	245,2	107,5
747200	527,2	283,8	104,9	106,2	222,8	118,2	350,0	137,5

Tabelle 137: Marginale externe Lärmkosten für den Anflug am Tag, Abend und in der Nacht in Richtung 07 und 25 für die Ist-Situation (Bewertung mit 18 €₂₀₀₀/dB_{Lden} pro Person; Schwellwert 55dB_{Lden}) [€₂₀₀₀/Anflug]

ID	07L (Ostbetrieb)			25R (Westbetrieb)		
	Tag	Abend	Nacht	Tag	Abend	Nacht
737800	10.7	25.4	79.1	8.3	19.7	62.0
747200	23.7	56.3	171.7	15.6	37.1	116.3
747400	38.8	92.3	280.8	29.3	69.4	219.2
767300	13.8	32.7	101.5	9.3	22.1	69.7
A30062	23.7	56.4	173.5	18.7	44.3	140.5
A319	4.3	10.1	31.8	2.7	6.5	20.6
A320	7.7	18.2	57.1	5.2	12.3	39.4
A340	14.1	33.6	104.8	11.1	26.3	84.7
ATR72	1.8	4.2	13.2	0.1	0.2	0.7
DHC8	0.7	1.7	5.4	1.1	2.6	8.1
EMB145	2.4	5.7	18.0	0.8	1.9	5.9
MD82	3.9	9.2	29.1	1.6	3.7	11.8

Tabelle 138: Marginale externe Kosten für den Start eines Airbus A340 bei verschiedenen Szenarien (Ist und Varianten) und Betriebsrichtungen. Bewertung: hedonischer Preisansatz 27 €₂₀₀₀/dB_{Laeq}6-22h pro Person bei Schwellwert 50dB [€₂₀₀₀/Abflug]

Flugroute	Betriebs- richtung	Prognose- Nullfall	Variante Süd	Variante Nordost	Variante Nordwest
07N-L	Ost	103.6	101.0	73.0	99.6*
07R-O	Ost	46.6	63.6	54.7	52.5
18KIR-L	Ost	18.3	19.1	17.8	17.8
25TAU-K	West				
25TAU-L	West	97.3	61.0	62.0	62.0
18KIR-K	West	28.3	26.2	24.6	24.6
18KNG-K	Ost	41.8	43.3	34.3	34.2
18KNG-K	West	40.6	39.6	31.4	31.5
18KNG-L	Ost	22.3	22.9	23.2	23.1

Tabelle 139: Marginale externe Kosten einer Landung am Abend und in der Nacht auf verschiedenen Landebahnen für die Varianten 2015 (Nordwest, Nordost, Süd und Prognosenullfall). (Bewertung mit 18 €₂₀₀₀/dB_{Lden} pro Person, Schwellwert 50 dB_{Lden}) [€₂₀₀₀/Anflug]

	07N9b	25N9b	07N9a	25N9a	07S	25S	07L	25R
Abend								
DHC8	4.5	5.2	4.3	6.8	2.3	2.0	0,27	2.7
EMB145	12.3	12.0	10.1	20.0	6.7	5.2	3,2	6.3
A319	26.3	30.9	29.6	42.1	13.0	13.0	14,4	17.6
A320	44.7	53.3	49.1	73.5	24.1	23.0	28,0	29.4
737800	55.0	61.8	50.5	102.1	33.4	29.7	36,0	35.0
767300	75.4	79.6	66.9	120.1	42.0	35.1	47,3	40.8
A340	92.3	113.8	102.4	146.4	47.6	48.3	64,4	63.6
747200	131.0	128.8	110.4	202.4	67.9	56.2	79,6	65.5
A30062	136.4	160.9	137.5	228.7	77.2	72.1	86,4	89.6
747400	234.6	256.6	220.2	354.1	126.4	112.0	164,7	132.8
Nacht								
DHC8	14.3	16.4	13.6	21.4	7.4	6.3	0,84	8.5
EMB145	38.6	38.0	31.8	63.1	21.1	16.4	10,2	19.8
A319	82.4	98.1	93.6	133.1	41.0	42.9	45,8	55.7
A320	139.9	168.5	155.7	231.0	76.2	76.4	88,6	92.8
737800	171.1	193.6	158.3	317.5	103.7	94.9	112,8	109.8
767300	234.2	248.9	210.1	372.4	129.9	113.3	148,0	128.0
A340	288.3	360.2	327.8	457.6	152.7	170.2	203,9	200.2
747200	402.5	398.6	345.8	618.0	207.6	183.0	246,4	204.1
A30062	418.9	505.4	434.7	700.7	241.7	249.9	271,5	279.9
747400	706.9	784.7	690.8	1,062.6	381.7	392.0	503,6	411.8

Tabelle 140: Marginale externe Kosten einer Landung am Tag, Abend und in der Nacht für die Varianten 2015 auf verschiedenen Landebahnen (Nordwest, Nordost, Süd und Prognosenullfall). Bewertung: 18 €₂₀₀₀/dB_{Lden} pro Pers.; Schwellwert 55 dB_{Lden} [€₂₀₀₀/Anflug]

	07N9b	25N9b	07N9a	25N9a	07S	25S	07L	25R
Tag								
DHC8	0.8	1.1	0.7	1.8	0.8	0.4	0.1	0.6
EMB145	2.6	3.0	1.9	6.1	2.5	1.3	0.8	1.6
A319	4.7	6.2	3.7	10.0	4.3	2.3	2.8	3.0
A320	8.0	10.9	6.7	18.2	8.2	4.2	5.6	5.3
737800	11.4	13.7	9.1	30.3	12.0	6.5	8.4	8.3
767300	15.0	18.3	11.8	34.3	15.4	8.5	11.2	11.1
A340	15.7	22.3	13.0	34.0	14.4	7.6	11.8	9.4
A30062	25.8	34.0	20.8	61.4	26.6	14.4	19.9	18.5
747200	27.2	30.5	20.1	58.9	23.3	12.6	17.3	15.5
747400	43.9	57.6	34.7	95.2	42.7	23.0	35.6	28.9
Abend								
DHC8	1.9	2.6	1.5	4.2	1.9	1.0	0.1	1.4
EMB145	6.2	7.1	4.6	14.4	5.9	3.1	1.9	3.7
A319	11.1	14.7	8.9	23.8	10.3	5.5	6.6	7.2
A320	19.0	25.8	15.9	43.2	19.4	10.0	13.2	12.6
737800	27.1	32.6	21.6	71.9	28.5	15.4	20.0	19.8
767300	35.5	43.5	28.1	81.5	36.6	20.2	26.5	26.3
A340	37.2	52.9	30.8	80.8	34.3	18.1	28.0	22.2
A30062	61.1	80.8	49.3	145.8	63.1	34.1	47.3	43.8
747200	64.4	72.5	47.8	140.0	55.3	30.0	41.0	36.9
747400	103.9	136.9	82.5	226.2	101.3	54.6	84.7	68.6
Nacht								
DHC8	6.0	8.4	4.9	13.2	6.0	3.3	0.4	4.3
EMB145	19.6	22.4	14.6	45.3	18.6	9.6	6.1	11.7
A319	35.1	46.3	27.9	75.1	32.4	17.4	20.6	22.8
A320	60.5	81.2	50.0	135.6	61.2	31.2	41.2	40.2
737800	84.9	102.6	67.8	222.7	88.8	48.0	62.6	62.2
767300	112.3	136.1	87.8	252.9	115.9	62.9	83.0	84.9
A340	120.4	166.3	96.7	253.6	107.1	56.4	86.2	70.1
A30062	195.6	253.1	152.8	446.8	195.1	104.7	146.5	139.2
747200	203.1	225.0	147.7	428.2	171.5	92.2	125.2	115.9
747400	340.5	424.4	251.4	684.3	308.5	165.5	255.4	217.4

Tabelle 141: Marginale externe Kosten einer Landung auf verschiedenen Landebahnen für die Varianten 2015 (Nordwest, Nordost, Süd und Prognosenullfall). Bewertung nach hedonischen Preisansatz mit 27 €₂₀₀₀/dB_{6-22h} pro Person, Schwellwert 55 dB [€₂₀₀₀/Anflug]

ID	07N9b	25N9b	07N9a	25N9a	07S	25S	07L	25R
DHC8	1.5	2.2	1.2	3.7	1.4	0.9		1.3
EMB145	5.2	5.9	3.8	13.1	4.6	2.7		3.9
A319	8.9	12.0	7.0	21.2	7.4	4.9		7.2
A320	15.4	20.9	12.9	38.7	14.4	8.8		12.6
737800	23.1	25.4	18.4	67.1	23.3	14.0		20.5
767300	29.3	35.3	22.6	73.8	26.3	16.1		22.5
A340	29.7	43.3	24.3	71.3	26.6	17.8		25.8
A30062	50.4	65.7	40.0	132.4	48.6	30.5		44.7
747200	53.3	59.9	38.1	125.7	42.0	26.5		37.4
747400	83.7	114.7	64.4	200.4	75.7	47.8		68.5

Tabelle 142: Marginale externe Gesundheitskosten einer Landung am Tag auf verschiedenen Landebahnen für die Varianten 2015 [€₂₀₀₀/Anflug]

Id	07N9b	25N9b	07N9a	25N9a
Tag				
DHC8	-	0.001	-	0.01
HS748A	0.0001	0.237	-	0.12
EMB145	0.0001	0.004	0.0001	0.03
A319	0.0002	0.009	0.0001	0.07
A320	0.0004	0.207	0.0003	0.08
737800	0.0006	0.223	0.0006	0.11
767300	0.0007	0.234	0.0007	0.18
A340	0.0008	0.230	0.0006	0.13
A30062	0.0010	0.249	0.0009	0.25
747200	0.0014	0.279	0.0008	2.98
747400	0.0016	0.282	0.0016	2.99
Abend				
DHC8	-	0.002	-	0.02
HS748A	0.0003	0.693	-	0.28
EMB145	0.0003	0.009	0.0003	0.07
A319	0.0005	0.022	0.0002	0.16
A320	0.0008	0.030	0.0008	0.18
737800	0.0014	0.616	0.0014	0.25
767300	0.0017	0.685	0.0016	0.43
A340	0.0018	0.676	0.0015	0.31
A30062	0.0023	0.722	0.0022	0.59
747200	0.0034	0.794	0.0019	4.60
747400	0.0039	0.801	0.0037	4.61
Nacht				
DHC8	-	0.0077	-	0.05
HS748A	0.0009	0.5208	-	4.69
EMB145	0.0010	0.3434	0.0010	0.23
A319	0.0017	0.3889	0.0008	2.29
A320	0.0026	0.4133	0.0024	4.37
737800	0.0043	0.4256	0.0045	4.63
767300	0.0055	0.5005	0.0051	7.24
A340	0.0056	0.4717	0.0046	4.82
A30062	0.6247	0.6758	0.0071	7.80
747200	4.3567	0.9835	0.0061	11.35
747400	4.3665	1.0005	0.0116	11.41

Anmerkung: bei „-“, sind keine Gesundheitseffekte berechenbar.

14.2 Marginale externe Kosten verschiedener Fluggerät / Triebwerk Kombinationen

Tabelle 143: Marginale externe Kosten verschiedener Flugzeugtypen und Turbinentypen bezüglich Luftschadstoffe und Treibhausgase in 2000 [€₂₀₀₀/LTO]

Beispielflugzeug	UID Nummer	AzB-Klasse	LAZ-Kategorie	Externe Kosten Treibhausgase	Externe Kosten Luftschadstoffe	Externe Kosten Summe
Citation X / Rolls Royce Allison AE3007C	3AL001	S5.1	1	11,94	7,52	19,46
CIT 3/TFE731-3-100S	1AS002	S5.1	1	8,95	6,52	15,47
CL600/ALF502L	1TL001	S5.1	1	15,65	9,31	24,96
CL601/CF34-3A	1GE034	S5.1	1	16,11	8,73	24,84
CIT 2/JT15D-4	1PW036	S5.1	1	7,63	7,03	14,66
ASTRA 1125/TFE731-3A	1AS002	S5.1	1	8,95	6,52	15,47
LEAR 36/TFE731-2	1AS001	S5.1	1	8,28	6,38	14,66
MU300-10/JT15D-4	1PW036	S5.1	1	7,63	7,03	14,66
Embraer 145 ER/Allison AE3007	4AL003	S5.1	1	15,53	10,54	26,07
Embraer 145 LR / Allison AE3007A1	4AL002	S5.1	1	15,72	10,41	26,13
Airbus A320-211 CFM56-5A1	1CM008	S5.2	1	38,20	30,04	68,24
Airbus A319-131 / V2522-A5 Engines	3IA006	S5.2	1	39,49	29,77	69,26
Airbus A320-232 / V2527-A5 Engines	1IA003	S5.2	1	42,21	33,48	75,69
Airbus A321-232 / IAE V2530-A5	1IA005	S5.2	1	49,47	46,80	96,27
717-200 / BR 715	4BR002	S5.2	1	32,53	24,43	56,96
717-200 / BR 715	4BR005	S5.2	1	32,73	21,40	54,12
717-200 / BR 715	4BR003	S5.2	1	34,33	27,66	61,99
717-200 / BR 715	4BR006	S5.2	1	34,95	24,87	59,82
717-200 / BR 715	4BR004	S5.2	1	36,32	31,68	68,00
717-200 / BR 715	4BR007	S5.2	1	36,84	28,40	65,24
B737-300/CFM56-3B-1	1CM004	S5.2	1	37,93	24,23	62,16
B737-300/CFM56-3B-2	1CM005	S5.2	1	41,07	27,66	68,73
B737-400/CFM56-3C-1	1CM007	S5.2	1	43,94	31,00	74,94
B737-500/CFM56-3B-1	1CM002	S5.2	1	40,67	25,98	66,65
Boeing 737-700/CFM56-7B	3CM029	S5.2	1	33,54	23,73	57,27
Boeing 737-700/CFM56-7B	3CM030	S5.2	1	35,30	25,78	61,08
Boeing 737-700/CFM56-7B	4CM039	S5.2	1	35,47	22,41	57,88
Boeing 737-700/CFM56-7B	3CM031	S5.2	1	38,39	29,85	68,24
Boeing 737-700/CFM56-7B	4CM040	S5.2	1	38,36	25,61	63,97
Boeing 737-700/CFM56-7B	3CM032	S5.2	1	40,80	33,34	74,14
Boeing 737-700/CFM56-7B	4CM041	S5.2	1	40,51	28,08	68,59
Boeing 737-700/CFM56-7B	3CM033	S5.2	1	43,86	38,80	82,67
Boeing 737-700/CFM56-7B	4CM042	S5.2	1	43,50	31,70	75,20
Boeing 737-700/CFM56-7B	3CM034	S5.2	1	45,52	41,95	87,46
Boeing 737-700/CFM56-7B	4CM043	S5.2	1	45,21	33,94	79,15
737-800 / CFM56-7B26	3CM033	S5.2	1	43,86	38,80	82,67
757-300 / RB211-535E4B	3RR034	S6.1	1	72,89	88,11	161,00
757-300 / RB211-535E4B	5RR039	S6.1	1	72,68	56,48	129,16
B757-200/PW2037	1PW039	S5.2	1	54,46	50,99	105,44
B757-200/PW2037	4PW072	S5.2	1	58,16	51,51	109,66
B757-200/RB211-535E4	1RR013	S5.2	1	70,14	84,21	154,35
B757-200/RB211-535E4	1RR014	S5.2	1	70,14	81,49	151,63
B757-200/RB211-535E4	3RR028	S5.2	1	67,63	71,23	138,86

Gutachten: Externe Kosten des Flugverkehrs am Flughafen Frankfurt/Main

B757-200/RB211-535E4	5RR038	S5.2	1	67,42	48,34	115,76
BAE146-200/ALF502R-5	1TL003	S5.1	1	27,71	15,92	43,62
Gulfstream GIV-SP/TAY 611-8	1RR019	S5.1	1	32,27	20,95	53,22
MD-90/V2525-D5	1IA002	S5.2	1	42,21	33,48	75,69
MD-90/V2528-D5	1IA004	S5.2	1	46,45	40,89	87,34
A300B4-200/CF6-50C2	3GE074	S6.1	2	79,23	75,61	154,84
Airbus A300-622R / PW4158	1PW048	S6.1	2	86,57	80,46	167,03
Airbus A310-304 / CF6-80C2A2	1GE015	S6.1	2	75,33	68,36	143,70
Airbus A310-304 / CF6-80C2A2	1GE016	S6.1	2	75,33	68,13	143,46
Airbus A310-304 / CF6-80C2A2	2GE037	S6.1	2	76,53	59,48	136,02
B767-300/PW4060	1PW043	S6.1	2	89,51	86,95	176,46
767-400ER with CF6-80C2B(F) Engines	1GE026	S6.1	2	73,39	60,75	134,14
767-400ER with CF6-80C2B(F) Engines	2GE046	S6.1	2	76,26	58,66	134,93
B767-200/CF6-80A	1GE010	S6.1	2	73,07	72,18	145,24
B767-200/JT9D-7R4D	1PW026	S6.1	2	80,89	80,44	161,33
Boeing 777-200 GE90-76B	2GE052	S6.1	2	105,90	126,84	232,74
Boeing 777-200 GE90-76B	3GE062	S6.1	2	103,44	116,52	219,97
Boeing 777-200 GE90-76B	5GE086	S6.1	2	100,82	113,13	213,95
Boeing 777-200 GE90-76B	6GE087	S6.1	2	100,82	113,13	213,95
777-300 with Trent 892 Engines	2RR027		2	129,85	156,26	286,11
Airbus A330-301 / CF6-80 E1A2	1GE033	S6.1	3	94,86	104,10	198,97
Airbus A330-301 / CF6-80 E1A2	2GE051	S6.1	3	94,86	84,76	179,62
Airbus A330-343/RR TRENT 772B	2RR023	S6.1	3	109,96	128,39	238,35
Airbus A330-343/RR TRENT 772B	3RR030	S6.1	3	111,58	109,40	220,98
Airbus A340-211/CFM 56-5C2	1CM010	S6.3	3	93,03	90,53	183,57
B737-200/JT8D-17 Nordam B737 LGW Hushkit	1PW013	S5.2	3	48,12	31,83	79,96
B737-200/JT8D-17 Nordam B737 LGW Hushkit	1PW012	S5.2	3	48,08	35,21	83,28
B737/JT8D-9 Nordam B737 LGW Hushkit	1PW007	S5.1	3	41,44	25,64	67,08
B737/JT8D-9 Nordam B737 LGW Hushkit	1PW006	S5.1	3	41,43	28,61	70,04
DC8-70/CFM56-2C-5	1CM003	S6.2	3	81,34	51,97	133,30
DC9-50/JT8D17 w/ ABS Heavyweight hushkit	1PW013		3	48,12	31,83	79,96
DC9-50/JT8D17 w/ ABS Heavyweight hushkit	1PW012	S5.2	3	48,08	35,21	83,28
L1011/RB211-22B	1RR002	S6.2	3	119,36	194,47	313,83
L1011/RB211-22B	1RR003	S6.2	3	111,69	179,07	290,75
MD-83/JT8D-219	4PW071	S5.2	3	49,46	30,58	80,03
MD-83/JT8D-219	1PW019	S5.2	3	49,46	41,47	90,93
MD-11/CF6-80C2D1F	1GE031	S7	3	128,67	126,01	254,68
MD-11/CF6-80C2D1F	2GE049	S7	3	133,16	117,81	250,97
MD-11/PW 4460	1PW052	S7	3	134,26	130,43	264,69
B747-400/PW4056	1PW042		4	167,37	150,24	317,61
B747-400/PW4056	1PW041		4	165,12	161,23	326,35
DC10-10/CF6-6D	1GE001	S6.2	4	95,90	121,79	217,70
DC10-30/CF6-50C2	1GE007	S6.2	4	128,91	154,48	283,39
DC10-30/CF6-50C2	3GE074	S6.2	4	118,84	113,41	232,26
DC10-40/JT9D-20	1PW031	S6.2	4	119,15	152,63	271,78
B747-200/JT9D-7	1PW020	S7	5	157,12	199,18	356,31
B747-200/JT9D-7A	1PW021	S7	5	158,87	203,50	362,37
B747-200/JT9D-7Q	1PW025	S7	5	178,12	175,72	353,85

Tabelle 144: Marginale externe Kosten verschiedener Flugzeugtypen und Turbinentypen bezüglich Luftschadstoffe und Treibhausgase in 2015 [€₂₀₀₀/LTO]

Beispielflugzeug	UID Nummer	AzB-Klasse	LAZ-Kategorie	Externe Kosten Treibhausgase	Externe Kosten Luftschadstoffe	Externe Kosten Summe
Citation X / Rolls Royce Allison AE3007C	3AL001	S5.1	1	11,94	7,56	19,50
CIT 3/TFE731-3-100S	1AS002	S5.1	1	8,95	6,56	15,51
CL600/ALF502L	1TL001	S5.1	1	15,65	9,38	25,03
CL601/CF34-3A	1GE034	S5.1	1	16,11	8,81	24,92
CIT 2/JT15D-4	1PW036	S5.1	1	7,63	7,07	14,70
ASTRA 1125/TFE731-3A	1AS002	S5.1	1	8,95	6,56	15,51
LEAR 36/TFE731-2	1AS001	S5.1	1	8,28	6,42	14,70
MU300-10/JT15D-4	1PW036	S5.1	1	7,63	7,07	14,70
Embraer 145 ER/Allison AE3007	4AL003	S5.1	1	15,53	10,59	26,12
Embraer 145 LR / Allison AE3007A1	4AL002	S5.1	1	15,72	10,46	26,18
Airbus A320-211 CFM56-5A1	1CM008	S5.2	1	38,20	30,30	68,50
Airbus A319-131 / V2522-A5 Engines	3IA006	S5.2	1	39,49	29,97	69,46
Airbus A320-232 / V2527-A5 Engines	1IA003	S5.2	1	42,21	33,69	75,90
Airbus A321-232 / IAE V2530-A5	1IA005	S5.2	1	49,47	47,05	96,51
717-200 / BR 715	4BR002	S5.2	1	32,53	24,54	57,07
717-200 / BR 715	4BR005	S5.2	1	32,73	21,50	54,23
717-200 / BR 715	4BR003	S5.2	1	34,33	27,78	62,11
717-200 / BR 715	4BR006	S5.2	1	34,95	24,99	59,94
717-200 / BR 715	4BR004	S5.2	1	36,32	31,80	68,12
717-200 / BR 715	4BR007	S5.2	1	36,84	28,53	65,37
B737-300/CFM56-3B-1	1CM004	S5.2	1	37,93	24,36	62,29
B737-300/CFM56-3B-2	1CM005	S5.2	1	41,07	27,79	68,87
B737-400/CFM56-3C-1	1CM007	S5.2	1	43,94	31,15	75,09
B737-500/CFM56-3B-1	1CM002	S5.2	1	40,67	26,12	66,79
Boeing 737-700/CFM56-7B	3CM029	S5.2	1	33,54	23,90	57,44
Boeing 737-700/CFM56-7B	3CM030	S5.2	1	35,30	25,95	61,26
Boeing 737-700/CFM56-7B	4CM039	S5.2	1	35,47	22,59	58,06
Boeing 737-700/CFM56-7B	3CM031	S5.2	1	38,39	30,04	68,43
Boeing 737-700/CFM56-7B	4CM040	S5.2	1	38,36	25,81	64,16
Boeing 737-700/CFM56-7B	3CM032	S5.2	1	40,80	33,55	74,34
Boeing 737-700/CFM56-7B	4CM041	S5.2	1	40,51	28,28	68,80
Boeing 737-700/CFM56-7B	3CM033	S5.2	1	43,86	39,02	82,89
Boeing 737-700/CFM56-7B	4CM042	S5.2	1	43,50	31,92	75,42
Boeing 737-700/CFM56-7B	3CM034	S5.2	1	45,52	42,18	87,69
Boeing 737-700/CFM56-7B	4CM043	S5.2	1	45,21	34,17	79,38
737-800 / CFM56-7B26	3CM033	S5.2	1	43,86	39,02	82,89
757-300 / RB211-535E4B	3RR034	S6.1	1	72,89	88,48	161,37
757-300 / RB211-535E4B	5RR039	S6.1	1	72,68	56,84	129,52
B757-200/PW2037	1PW039	S5.2	1	54,46	51,26	105,72
B757-200/PW2037	4PW072	S5.2	1	58,16	51,80	109,96
B757-200/RB211-535E4	1RR013	S5.2	1	70,14	84,56	154,70
B757-200/RB211-535E4	1RR014	S5.2	1	70,14	81,84	151,98
B757-200/RB211-535E4	3RR028	S5.2	1	67,63	71,57	139,20
B757-200/RB211-535E4	5RR038	S5.2	1	67,42	48,68	116,10
BAE146-200/ALF502R-5	1TL003	S5.1	1	27,71	16,06	43,76

Gutachten: Externe Kosten des Flugverkehrs am Flughafen Frankfurt/Main

Gulfstream GIV-SP/TAY 611-8	1RR019	S5.1	1	32,27	21,11	53,38
MD-90/V2525-D5	1IA002	S5.2	1	42,21	33,69	75,90
MD-90/V2528-D5	1IA004	S5.2	1	46,45	41,12	87,57
A300B4-200/CF6-50C2	3GE074	S6.1	2	79,23	75,97	155,20
Airbus A300-622R / PW4158	1PW048	S6.1	2	86,57	80,87	167,44
Airbus A310-304 / CF6-80C2A2	1GE015	S6.1	2	75,33	68,72	144,05
Airbus A310-304 / CF6-80C2A2	1GE016	S6.1	2	75,33	68,48	143,81
Airbus A310-304 / CF6-80C2A2	2GE037	S6.1	2	76,53	59,74	136,27
B767-300/PW4060	1PW043	S6.1	2	89,51	87,38	176,89
767-400ER with CF6-80C2B(F) Engines	1GE026	S6.1	2	73,39	60,99	134,39
767-400ER with CF6-80C2B(F) Engines	2GE046	S6.1	2	76,26	58,92	135,18
B767-200/CF6-80A	1GE010	S6.1	2	73,07	72,48	145,55
B767-200/JT9D-7R4D	1PW026	S6.1	2	80,89	80,82	161,70
Boeing 777-200 GE90-76B	2GE052	S6.1	2	105,90	127,20	233,11
Boeing 777-200 GE90-76B	3GE062	S6.1	2	103,44	117,05	220,49
Boeing 777-200 GE90-76B	5GE086	S6.1	2	100,82	113,46	214,28
Boeing 777-200 GE90-76B	6GE087	S6.1	2	100,82	113,46	214,28
777-300 with Trent 892 Engines	2RR027		2	129,85	156,93	286,78
Airbus A330-301 / CF6-80 E1A2	1GE033	S6.1	3	94,86	104,45	199,31
Airbus A330-301 / CF6-80 E1A2	2GE051	S6.1	3	94,86	85,09	179,95
Airbus A330-343/RR TRENT 772B	2RR023	S6.1	3	109,96	128,95	238,91
Airbus A330-343/RR TRENT 772B	3RR030	S6.1	3	111,58	109,97	221,54
Airbus A340-211/CFM 56-5C2	1CM010	S6.3	3	93,03	90,89	183,92
B737-200/JT8D-17 Nordam B737 LGW Hushkit	1PW013	S5.2	3	48,12	32,12	80,24
B737-200/JT8D-17 Nordam B737 LGW Hushkit	1PW012	S5.2	3	48,08	35,44	83,52
B737/JT8D-9 Nordam B737 LGW Hushkit	1PW007	S5.1	3	41,44	25,84	67,28
B737/JT8D-9 Nordam B737 LGW Hushkit	1PW006	S5.1	3	41,43	28,81	70,24
DC8-70/CFM56-2C-5	1CM003	S6.2	3	81,34	52,24	133,57
DC9-50/JT8D17 w/ ABS Heavyweight hushkit	1PW013		3	48,12	32,12	80,24
DC9-50/JT8D17 w/ ABS Heavyweight hushkit	1PW012	S5.2	3	48,08	35,44	83,52
L1011/RB211-22B	1RR002	S6.2	3	119,36	195,12	314,48
L1011/RB211-22B	1RR003	S6.2	3	111,69	179,43	291,12
MD-83/JT8D-219	4PW071	S5.2	3	49,46	30,81	80,27
MD-83/JT8D-219	1PW019	S5.2	3	49,46	41,74	91,20
MD-11/CF6-80C2D1F	1GE031	S7	3	128,67	126,46	255,12
MD-11/CF6-80C2D1F	2GE049	S7	3	133,16	118,27	251,43
MD-11/PW 4460	1PW052	S7	3	134,26	131,07	265,33
B747-400/PW4056	1PW042		4	167,37	151,03	318,40
B747-400/PW4056	1PW041		4	165,12	162,17	327,28
DC10-10/CF6-6D	1GE001	S6.2	4	95,90	122,11	218,02
DC10-30/CF6-50C2	1GE007	S6.2	4	128,91	154,91	283,82
DC10-30/CF6-50C2	3GE074	S6.2	4	118,84	113,95	232,79
DC10-40/JT9D-20	1PW031	S6.2	4	119,15	153,11	272,26
B747-200/JT9D-7	1PW020	S7	5	157,12	199,80	356,92
B747-200/JT9D-7A	1PW021	S7	5	158,87	204,15	363,02
B747-200/JT9D-7Q	1PW025	S7	5	178,12	176,62	354,74

Zu Tabelle 143 und Tabelle 144 ist anzumerken, dass die selben Fluggerät / Triebwerk Kombinationen identischen Emissionen in 2000 und 2015 haben. Die externen Kosten unterscheiden sich aber bezüglich der Luftschadstoffe, da durch eine erhöhte Besiedlungsdichte im Jahr 2015 mehr Menschen den selben resultierenden Schadstoffkonzentrationserhöhungen ausgesetzt sind, und somit höhere externe Kosten entstehen.

14.3 Engpässe bei der Nutzung des Flughafens: *Staukosten*

Dieses Kapitel behandelt die Definition, die Zusammensetzung, sowie die Entstehung von Staukosten. Auf eine Quantifizierung der Staukosten wird aber verzichtet, weil diese Kosten das Verhältnis von Fluggästen untereinander betreffen, jedoch nicht Auswirkungen auf die Bevölkerung allgemein haben.

14.3.1 Definition des Begriffs der *Staukosten*

Flughäfen sind durch ihre Infrastruktur und die Möglichkeiten der örtlichen Flugsicherung in ihrer Kapazität beschränkt, d. h. es kann zu bestimmten Zeiten nicht eine beliebige Anzahl von Flugzeugen gleichzeitig starten oder landen. Insbesondere um eine sichere Abwicklung des Flugverkehrs zu gewährleisten, müssen einige Flugzeuge am Boden warten oder Schleifen fliegen, sogenannte Holdings. Dies stellt eine Verminderung der Nutzerqualität für alle Nutzer dar, und diese Nutzenminderung wird ökonomisch als Opportunitätskosten bezeichnet. Der Begriff der Staukosten oder, in der angelsächsischen Literatur ‚congestion costs‘, sind gebräuchliche Beispiele für die Opportunitätskosten. Relevant sind in diesem Zusammenhang die durch eine zusätzliche Nutzung entstehenden Opportunitätskosten, also die marginalen Opportunitäts- oder Staukosten.

Die Staukosten setzen sich aus einem ‚internen‘ und einem ‚externen‘ Teil zusammen. Jede Fluggesellschaft möchte den internen Teil, also den Teil, den sie direkt bezahlen muss (z. B. Treibstoffkosten) minimieren. Auch jeder einzelne Passagier möchte so schnell wie möglich ans Ziel kommen. Es kann jedoch vorausgesetzt werden, dass die Situation des Flugverkehrs bekannt ist und daher dem einzelnen Passagier vor dem Kauf des Flugscheins bewusst ist, dass es zu Verzögerungen kommen kann und die Reise länger dauern kann, als auf dem Flugschein angegeben ist. Mit anderen Worten heißt dies, die eigenen Kosten durch Zeitverluste des Verkehrsteilnehmers bzw. des genutzten Flugzeugs können als internalisiert betrachtet werden. Der Flugverkehrsteilnehmer berücksichtigt jedoch nicht, dass durch seinen Flug ein Teil der Flughafen- und der Luftraumkapazität verbraucht wird, und daher alle anderen, die nach ihm fliegen wollen, warten müssen, bis wieder Kapazität verfügbar ist. Die Kosten, die den anderen aufgebürdet werden, werden als externe Staukosten bezeichnet. Relevant sind die marginalen externen Staukosten, die sich in den Preisen wiederfinden sollen (also internalisiert sein sollen), um das System insgesamt zu optimieren.

In der Literatur finden sich vereinzelt Zitate, die die Existenz externer Staukosten mit dem Argument des ‚Club-Gutes‘ verneinen, d. h. es wird argumentiert, dass alle Kosten von den Fluggästen als Gruppe getragen werden. Tatsächlich sind nur die relevanten Nutzer betroffen und Zeitverluste werden gruppenintern getragen, sie sind jedoch extern für das individuelle

Entscheidungskalkül (Berger 2000), und somit für eine Optimierung des Flugverkehrssystems im Sinne der Wohlfahrtsökonomie wesentlich.

14.3.2 Identifizierung von Opportunitätskosten

14.3.2.1 Die Vergabe von Start- und Landerechten

Bei der Regelung der Nutzung der Flughafeninfrastruktur wird über eine ex-ante Festlegung eine bestimmte Menge von zeitlich genau spezifizierten Nutzungsrechten (Slots) den verschiedenen Akteuren (Fluggesellschaften) zugewiesen. Die Menge die zur Verfügung steht, d. h. die Kapazität, wurde zuvor vom Flugplankoordinator der Bundesrepublik Deutschland durch die sogenannten Eckwerte festgelegt. Sind alle Slots vergeben, so ist keine weitere Nutzung mehr möglich.

In der gegenwärtigen Situation nach der Liberalisierung des Flugverkehrs übersteigt die Nachfrage nach Start- und Landerechten auf einigen Flughäfen das Angebot, d. h. nicht alle Nachfrager können entsprechend ihren Wünschen bedient werden. Damit sind die Opportunitätskosten der Nachfrager, die keine Rechte bekommen und somit kein Angebot am Markt platzieren können, entsprechend groß. Auch diese Kosten fallen unter den Aspekt der Staukosten, insbesondere der externen Staukosten, und für eine Optimierung des Flugverkehrs unter wohlfahrtsökonomischen Gesichtspunkten müssen diese Kosten durch ein entsprechendes Verfahren bei der Vergabe der Slots internalisiert werden. In der Literatur wird hierzu z. B. eine geeignete Form einer Auktion und/oder Slothandel genannt (Berger 2000).

14.3.2.2 Nicht prognostizierbare Überlast

Durch die Vergabe von Slots ist die Nutzung der Flughafeninfrastruktur zeitlich geregelt. Oberhalb der Menge der verfügbaren Slots ist keine weitere Nutzung möglich, was ökonomisch als direkte Rivalität bezeichnet wird. Weit unterhalb der Kapazitätsgrenze, wenn die Anzahl der vergebenen Slots gering ist gegenüber der Kapazität, sind die Grenzopportunitätskosten null, es besteht keine Rivalität. Ab einem gewissen Nutzungsgrad steigt jedoch die gegenseitige Beeinträchtigung und damit die Grenzopportunitätskosten graduell an. Der Zusammenhang zwischen zunehmender Nutzungsmenge und ansteigendem Rivalitätsgrad wird in der Theorie als partielle Rivalität bezeichnet. Obwohl man theoretisch davon ausgehen könnte, dass durch die Vergabe der zeitlich genau geregelten Nutzungsrechte der „Fahrplan“ festliegt und keine Beeinträchtigung stattfindet, kommt es in der Praxis z. B. durch meteorologische Bedingungen u.ä. häufig zu zeitlichen Verschiebungen und daher zu einer zeitweiligen Überlastung der Flugverkehrsinfrastruktur. Dieses Phänomen wird als stochastische oder nicht prognostizierbare Überlast bezeichnet.

Diese ‚zufällige‘ oder stochastische Überlast kann je nach Verursachung klassifiziert werden in eine

- **nachfrageinduzierte** oder eine
- **angebots- bzw. kapazitätsinduzierte** Überlast.

Nachfrageinduzierte Überlast

Die Ursache für die nachfrageinduzierte Überlast sind Unpünktlichkeiten der anfliegenden Flugzeuge, wobei es sowohl ‚zu früh‘ als auch ‚zu spät‘ gibt. Diese Unpünktlichkeit führt dazu, dass der für den jeweiligen Slot zugewiesene Zeitpunkt nicht eingehalten wird. Das verspätete Flugzeug fragt nun die Nutzung zu einem Zeitpunkt in einem späteren Zeitintervall nach. Wenn das Recht für diesen Zeitpunkt anderweitig vergeben und das nun relevante Zeitintervall ausgebucht ist, kann das verspätete Flugzeug nicht auf ein anderes Recht in diesem Zeitintervall ausweichen. Dann kommt es aufgrund der Nachfrage-Verschiebung dazu, dass die tatsächliche Nachfrage die Kapazität im fraglichen Zeitintervall übersteigt.

Trotz der Zuteilung von Slots werden in Deutschland die Flugzeuge nach dem Prinzip ‚first come - first serve‘ behandelt. D. h. ein Flugzeug übt durch Unpünktlichkeit einen Einfluss auf die Abfertigung anderer Flugzeuge aus.

Angebots- bzw. kapazitätsinduzierte Überlast

Zu einer angebotsinduzierten Überlast kommt es, wenn die Infrastruktur des Flughafens nicht im geplanten Umfang zur Verfügung steht. Dies kann durch einen unerwarteten Störfall geschehen, wie z. B. ein Unfall, oder durch extreme Witterungsverhältnisse hervorgerufen werden (z. B. Schneeräumen auf der Rollbahn). Hier kann also auch die erwartete Zahl an Nachfragern zu einer Überlast führen.

Schließlich hängt jedoch die Klassifizierung vom Betrachtungsstandpunkt ab: Ergeben sich zum Beispiel auf dem Start-Flughafen witterungsbedingte Verzögerungen, so ist die folgende Überlast beim Zielflughafen nachfrageinduziert.

14.3.2.3 Vermiedene Überlast

Ein hier als ‚vermiedene Überlast‘ bezeichneter Vorgang entsteht durch eine Verkehrsfluss-Regelungsmaßnahme (ATFM-Delay). Sobald die prognostizierte Verkehrslast für einen Sektor bzw. einen Flughafen die betrieblichen Grenzen um ein bestimmtes Mass überschreitet oder die Verkehrslast aus anderen Gründen verändert werden muss, entscheidet die Central Flow Management Unit (CFMU) bei EUROCONTROL über eine steuernde Maßnahme. Z. B. ermittelt die CFMU, welche Flüge nach Frankfurt in dem betreffenden Zeitfenster in Europa am Boden gehalten werden können, damit sie erst später – zu einer verkehrsschwächeren Zeit – in Frankfurt ankommen. Die betroffenen Flüge erhalten einen "CFMU-Slot" bzw. eine Calculated Take-Off-Time (CTOT), zu der sie erst abheben können

(Buxbaum 2002). Damit wird zwar vorausschauend vermieden, dass es zu einer Überlast beim Anflug und damit zu Wartezeiten in der Luft an dem betroffenen Flughafen kommt (Holding etc.), aber den betroffenen Passagieren in der festgehaltenen Maschine entstehen Opportunitätskosten, da sie außerflugplanmäßig andernorts auf den Start warten müssen. Diese Kosten sind extern.

14.3.3 Ansatz zur praktischen Quantifizierung von Staukosten

Die Wahrscheinlichkeit einer nicht-prognostizierbaren Überlast und auch einer vermiedenen Überlast, die möglicherweise aus erstgenannter hervorgeht, steigt, je höher der Kapazitätseckwert eines Flughafens festgelegt ist. Da eine Reduktion dieser Eckwerte aus politischen und ökonomischen Gründen derzeit nicht durchsetzbar scheint, muss also von den heutigen Eckwerten ausgegangen werden.

Opportunitätskosten durch die Vergabe von Start- und Landerechten werden hier nicht betrachtet, da zunächst von dem bestehenden System ausgegangen wird und dies über die Zielsetzung des Gutachtens hinaus gehen würde.

Nach Überprüfung der verfügbaren Daten ist folgendes Vorgehen möglich, um externe Kosten zu berechnen:

- es werden nur Landungen betrachtet, da insbesondere der Anflug auf Frankfurt Flughafen einem Kapazitätsengpass unterliegt
- Staukosten aufgrund von ATFM-Delays, also vermiedene Überlast, werden berechnet, da hier sehr gute Daten vorliegen und die Gründe für die Überlast (z. B. Flughafenkapazität) klar identifizierbar sind. Die entstehenden Zeitkosten, die den Kapazitätsgründen zugeordnet sind, können insgesamt als externe Kosten betrachtet werden, da sie jeweils von anderen verursacht sind.
- Holdings werden nicht betrachtet, da diese aufgrund der geänderten Routenführung ab April 2001 alleine nicht mehr aussagekräftig sind.
- Eine statistische Auswertung der nicht-prognostizierbaren Überlast ist über die Delayminuten möglich. Diese stellen die Differenz zwischen der ‚normal‘ benötigten Zeit (Referenzzeit) für die Distanz zwischen Einflug in den Luftraum Frankfurt und der Landung, und der tatsächlich benötigten Zeit dar. Hier ist allerdings keine Aussage über die Gründe (z. B. Kapazität, Wetter, etc.) möglich, d. h. der externe und interne Teil der entstehenden Kosten kann nicht getrennt berechnet werden.
- Prognose zukünftiger Szenarien mit erhöhtem Verkehrsaufkommen (Eckwert ca. 60 Landungen pro Stunde) sind nur mit Hilfe einer TAAM-Airspace Simulation möglich. ATFM-Delays durch Kapazitätsbeschränkungen eines zukünftigen 4 Bahnensystems mit dem heutigen Verkehr sind nahezu auszuschließen.

14.3.4 Durchschnittliche Staukosten

Eine Auswertung der ATFM-Delays scheint vielversprechend. Vorläufig kann folgende Abschätzung gemacht werden: Im Mai 2002 hat die Kontrollzentrale Langen (EDFF) rund 62.000 Verspätungsminuten auf Vorflughäfen produziert. D. h. Flugzeuge mit einer zugewiesenen CTOT mussten im Juni insgesamt rund 1000 Stunden am (europäischen) Boden warten, weil die Zentrale in Langen „gesteuert“ hat. Pro Tag also durchschnittlich 30 Stunden, die den Airlines an gesamter Wartezeit bis zur CTOT entstanden. Von diesen Verspätungsminuten waren 52,4 % bedingt durch Aerodrome Capacity. Es waren also 500 der 1000 Stunden CFMU-Delay begründet durch die zu geringe Kapazität des Flughafens Frankfurt. Mit einigen vorläufigen Annahmen ergeben sich daraus Zeitkosten in der Größenordnung von ca. 8 bis 9 Millionen Euro pro Jahr. Zusätzlich kann für eine Stichprobe in der Peak-Jahreszeit (Sommer) und in der Low-Season (Winter) der Tagesverlauf dieser Kosten ermittelt werden.

14.3.5 Marginale Staukosten

Aus den Erfahrungen der letzten Jahre lassen sich einige Schlussfolgerungen über den Zusammenhang zwischen der Zunahme von Flugbewegungen (Nachfrage) und der Wartezeiten machen. Auswertungen der Central Flow Management Unit von EUROCONTROL (CFMU) 1999 zeigen, dass eine Zunahme des Verkehrs europaweit um 1% eine Erhöhung des ATFM-Delays von 10% zur Folge hatte. Umgekehrt zeigte sich, dass ein Verkehrsrückgang in Deutschland im Jahr 2002 gegenüber 2001 um 4% eine Verringerung der Verspätungen um rund 50% mit sich brachte (Buxbaum 2002). Zumindest für den gegenwärtigen Zustand in Deutschland liegt ein exponentieller Zusammenhang nahe. Damit und mit weiteren Daten der Tagesverläufe könnte ein erster Ansatz für marginale (ATFM-) Staukosten entwickelt werden.

14.3.6 Bewertung von Zeitverlusten

Für die Bewertung von Zeit werden neuere Studien herangezogen, die sich damit auseinandergesetzt haben. Darunter sind drei als wesentlich zu nennen: die Niederländische Studien über den ‚value of time‘ (VOT), die schwedische VOT Studie von Algers, und die Review von Studien durch (Wardman 1998) (Doll 2001b), (Doll 2001a). Die Werte wurden unter Berücksichtigung der realen pro-Kopf Kaufkraft auf Deutschland übertragen und sind als vorläufige Werte in Tabelle 145 dargestellt.

Tabelle 145: Monetäre Bewertung von Zeit (€₁₉₉₈ pro Person und Stunde, vorläufig)

Land	Geschäftsreisende	Berufspendler	Freizeit/Urlaub
Deutschland	21,8	5,3	3,5

14.4 Das Prinzip des Ramsey-Pricing

Im gesamtwirtschaftlichen Sinne wäre es optimal, wenn die Grenzkosten (unter Einbeziehung der externen Effekte) zur Preissetzung herangezogen würden. Allerdings führt dies nicht zur Kostendeckung, d. h. zu einem Verlust beim Anbieter, da die Durchschnittskosten immer höher liegen als der Preis. Soll nun aber die zusätzliche Restriktion erfüllt sein, dass die erhobenen Gebühren insgesamt beim Monopolisten (und der Betreiber des Flughafens ist in diesem Kontext ein Monopolist) zur Kostendeckung führen sollen, dann tritt die Ramsey-Pricing-Regel in Kraft. Sie gibt an, wie – im Fall mehrerer Güter, hier etwa unterschiedlicher Gebührensätze - die jeweiligen Preisaufschläge auf die Grenzkosten gesetzt werden müssen, dass (ökonomisch gesprochen) der Wohlfahrtsverlust gegenüber dem optimalen Marktergebnis minimiert wird. Die Ramsey-Regel besagt, dass die prozentuale Abweichung des Preises von den Grenzkosten für jedes produzierte Gut (bzw. hier für jede angebotene Dienstleistung) umgekehrt proportional zur Preiselastizität der Nachfrage für dieses Gut ist (inverse Elastizitätenregel). Das bedeutet, in den Fällen, bei denen die Nachfrage auf Gebührenerhöhungen nur sehr wenig reagiert, sollen entsprechend höhere Aufschläge auf die Grenzkosten gewählt werden als bei solchen Leistungen, für die eine geringe Preiserhöhung bereits zu starkem Nachfragerückgang führt. Näher beschrieben ist dieses Prinzip in Lehrbüchern der Finanzwissenschaft, sehr verständlich etwa bei (Nowotny 1996). Anders interpretiert, richtet sich die Preisgestaltung nach der Zahlungsfähigkeit, sofern man eine preisunelastische Nachfrage (etwa bei Geschäftsflügen) als höhere Zahlungsfähigkeit interpretiert, als dies etwa bei Urlaubsreisen der Fall ist.

Zu beachten ist jedoch: Diese Regel berücksichtigt nur die Allokation, d. h. eine Minimierung der Wohlfahrtsverluste - sie lässt aber Verteilungseffekte, z. B. auf unterschiedliche Einkommensschichten außer acht. Unerwünschte Verteilungseffekte können aber etwa dadurch auftreten, dass durch die hohe Besteuerung preisunelastischer Güter möglicherweise bestimmte Fluggesellschaften und letztlich Passagiere relativ stark belastet sind als andere, was unter sozialen oder anderen politischen Aspekten möglicherweise unerwünscht ist. Preisunelastische Nachfrage kann auch damit zusammenhängen, dass für einen essentiellen Bedarf keine Alternative besteht.

Im übrigen ist auch eine andere von Ramsey untersuchte Fragestellung zur rationalen Gestaltung eines Steuersystems, die Ramsey-Regel der optimalen Besteuerung, eng mit diesem Problem verwandt. Diese gibt die Bestimmungsgleichung für die optimalen Verbrauchssteuersätze an, so dass die Zusatzlast (excess burden) eines Systems von Verbrauchssteuern bei einem vorgegebenem zu erzielenden Steueraufkommen minimiert wird. Auch hier spielen die Nachfrageelastizitäten für die Höhe der Zusatzlast die entscheidende Rolle, d. h. es gilt auch hier für das Optimum die „inverse Elastizitätsregel“

Ob dieses Ramsey-Pricing auch auf die Preisgestaltung von Flughafengebühren anwendbar ist, wurde in einer Studie für spanische Flughäfen bereits empirisch untersucht (Martin-Cejas 1997). Bezogen auf den Flughafenbetrieb kommt diese Studie zu dem Ergebnis, dass diese Vorgehensweise der Tarifgestaltung grundsätzlich sinnvoll ist, da die strikte Anwendung der Preisgestaltung nach Grenzkosten bei vielen Flughäfen zu Verlusten führt. In gewisser Weise reflektiert auch eine Preisgestaltung nach der Ramsey-Regel den „wahren beigemessenen Wert einer Dienstleistung“ für den Konsumenten (Martin-Cejas 1997).

Gleichzeitig werden in der Schlussfolgerung zu dieser Studie auch Bedenken geäußert, dass verlässliche empirische Größen für Preiselastizitäten nur mit hohem Aufwand abgeschätzt werden können und sich im Zeitablauf ändern. Daher wird auch nicht empfohlen, die erhaltenen Ergebnisse aus der Studie unmittelbar auf die betrachteten spanischen Flughäfen anzuwenden, sie dienen vielmehr als Darstellung zur prinzipiellen Anwendbarkeit der Methodik.

Daneben wird für den Fall, dass Grenzkostenbesteuerung zu einem Defizit führt, auch häufig vorgeschlagen, einen zweiteiligen Tarif oder Spalttarif anzuwenden. Dieser besteht aus einem fixen, vom Verbrauch unabhängigen Grundtarif, der die fixen Kosten (z. B. die Kapitalkosten) decken soll, und einem variablen, der sich an den Grenzkosten orientiert. Eine Möglichkeit besteht darin, dass pro konsumierter Einheit der Preis für die Abnehmer immer gleich ist; in diesem Fall ist der entsprechende Grundtarif dabei von jedem Konsumenten als so genannte „lump-sum tax“, das heißt, als Pauschalgebühr, in gleicher Höhe zu erheben (Nowotny 1996).

Für den Fall des Flughafenbetriebs ließe sich dieses Prinzip nochmals zweistufig differenzieren: Im allgemeinen bezieht sich diese lump-sum tax auf den Konsumenten des Gutes. Im Fall des Flughafens gibt es aber einerseits Gebühren, die einheitlich je Flugzeug bzw. je Flugbewegung zu erheben wären, da sie bei jeder Art von Flugzeug, unabhängig vom Typ oder der Anzahl der Passagiere, dem Flughafenbetreiber gleich hohe Kosten verursachen. Die zweite Komponente könnte weiterhin aus Gebühren bestehen, die pauschal dem Passagier zu beaufschlagen sind (oder bei reinen Frachtflügen einer geeigneten Frachteinheit). Als dritte Komponente wäre ein Grenzkostentarif anzufügen, der auch die Komponente der externen Kosten enthält. In gewisser Weise müsste sich dieses Prinzip bereits zum Teil in der bestehenden Gebührenordnung wiederfinden.

Dies erscheint auch prinzipiell als ein praktikabler Weg zur Preisgestaltung, wenngleich das Prinzip des Ramsey-Pricing dort Anwendung finden sollte, wo über die Preiselastizitäten eine einigermaßen sichere Erkenntnis besteht und eine solche Tarifgestaltung nicht aus anderen Gründen unakzeptabel erscheint.