



Ermittlung der externen Kosten des Flugverkehrs

am Beispiel des Flughafens Frankfurt/Main

Rainer Friedrich
Universität Stuttgart

Konferenz zur Internalisierung der flughafennahen Umweltkosten

Umweltbundesamt

13./14. Mai 2008

Externe Effekte und externe Kosten

Externe Effekte entstehen, wenn die Aktivitäten einer Gruppe von Personen Auswirkungen auf eine andere Gruppe haben, ohne dass die erste Gruppe diese Auswirkungen bei ihren Entscheidungen berücksichtigt.

Externe Kosten sind in Geldwerten ausgedrückte externe Effekte.

Die gesamten oder sozialen Kosten einer Aktivität sind die Summe aus internen und externen Kosten.

Das Umweltbundesamt hat mit der
,Methodenkonvention zur Schätzung externer
Umweltkosten‘ Empfehlungen zur Verwendung
von Methoden und Daten zur Berechnung
externer Kosten bereitgestellt.

Ziel der Berechnung externer Kosten: Adäquate und konsistente Berücksichtigung von Umwelt- und Gesundheitsschäden bei Entscheidungen

- ***Bewertung und Vergleich von Investitionen*** (z. B. Bau einer neuen Start- und Landebahn)
- ***Bewertung und Vergleich von Technologien*** (unterstützt Entscheidungen über Subventionen, Verteilung von Forschungsmitteln, Entwicklungsziele...)
- ***Entscheidungen von Akteuren/Konsumenten*** (z. B. durch Internalisierung über Steuern)
- ***Kosten-Nutzen-Analysen*** (z. B. bei Vorschriften zum Umwelt- und Gesundheitsschutz)
- ***Umweltökonomische Gesamtrechnungen***

Einordnung der Methode

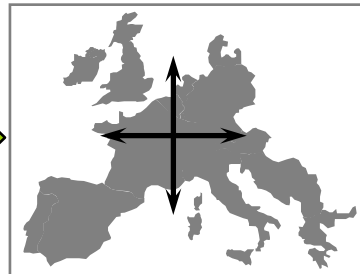
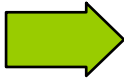
- **Gesundheitsschäden, die mit hoher Wahrscheinlichkeit eintreten, und unzumutbare Belästigungen sollten durch die Verwendung bzw. Unterschreitung von Grenzwerten sicher vermieden werden.**
 - **Lokale Schäden insbesondere an schützenswerten Biotopen (Verringerung der Biodiversität) werden durch die Umweltverträglichkeitsprüfung analysiert und bewertet.**
- > die Internalisierung externer Kosten ersetzt daher Grenzwerte und Umweltverträglichkeitsprüfung nicht, sondern setzt sie voraus und ergänzt sie.**

Wirkungspfadansatz

**Umwelteinwirkung
Schadstoffe, Lärm**

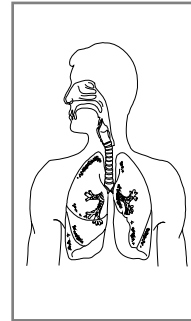


**Transport und
Chemische
Umwandlung;
Lärmausbreitung**



**Berechnung wird
zweimal
durchgeführt: mit
und ohne Projekt**

**Unterschiede der
Schäden/Risiken**



**Monetäre
Bewertung**



Grundprinzip der monetären Bewertung

Die Bewertung von Effekten beruht auf den gemessenen Präferenzen der betroffenen gut informierten Bevölkerung

Bewertungsmethoden von Nicht-Marktgütern

Revealed-Preference-Methoden (RP)

-> Verhaltensweisen aus der
Vergangenheit

Stated-Preference-Methoden (SP)

-> Befragung zu Präferenzen
oder Verhaltensweisen

Indirekte Methoden

Analyse getätigter Kosten oder
Anstrengungen im Zusammen-
hang mit dem Nicht-Marktgut

- Hedonic-Price-Methode
- Aufwandmethode /
Reisekostenmethode
- Schadensvermeidungskosten
- Methode des kontingenten
Verhaltens
- Analyse der Entscheidungen
von Volksvertretern

Direkte Methoden

- Contingent Valuation
(Zahlungsbereitschafts-
analysen)
- Attributbasierte
Bewertungsansätze
- Partizipative Bewertungs-
ansätze
- Befragung öffentlicher
Entscheidungsträger nach
ihren Präferenzen



Monetäre Bewertung Mittelwerte für Westeuropa

Gesundheitseffekte	Monetärer Wert (€₂₀₀₀)
Verlorenes Lebensjahr (Red. der Lebenserwartung)	50,000
Krankenhausaufenthalt wg. Herz-Kreislaufferkrankung	16,730
Krankenhausaufenthalt wegen Atemwegserkrankung	4,320
Herzinsuffizienz	3,260
Chronischer Husten bei Kindern	240
Tag mit verminderter Aktivität	110
Asthmaanfall	75
Husten	45
Tag mit leicht verminderter Aktivität	45
Tag mit Symptomen	45
Gebrauch eines Bronchodilators	40
Erkrankung des unteren Atemtrakts	8

Hinweise

- **Fallen Nutzen und Kosten unterschiedlichen Akteuren zu, könnte eine Kompensation durch die Nutzer die Akzeptanz verbessern (z. B. Zuschüsse für Lärmschutzmaßnahmen, Gesundheitsvorsorge usw., finanziert durch Lärmabgaben).**
- **Unsicherheiten sind hoch (ca. Faktor 2 bis 3); innerhalb der Bandbreite der Ergebnisse sollte daher durch Festlegung (Konvention) der zu internalisierende Betrag ermittelt werden.**

Was soll beim flughafennahen Verkehr berechnet werden?

- bei Entscheidungen zum Flughafenbau/ausbau:
externe Kosten des gesamten Flugverkehrs (LTO)
ohne ‚sunk costs‘ in €/a, enthält Auswirkungen des
LTO-Zyklus, des Flughafenausbaus und des
Flughafenbetriebs sowie externe Kosten des
lokalen zusätzlich induzierten Autobahnverkehrs;
- bei Entscheidungen zum Flugbetrieb:
marginale externe Kosten in € pro
Flugzeuglandung und –start.

Untersuchte Umwelteinwirkungskategorien

- Lärm
- Luftverschmutzung (inbes. durch PM2.5, NOx, NMVOC, SO2), ggf. auch durch vorgelagerte Prozesse
- Klima, ggf. auch durch vorgelagerte Prozesse
- Unfälle
- Natur und Landschaft:
Landnutzungsänderung

Berechnungsweg zur Ermittlung marginaler externer Lärmkosten der Flugzeuge (Beispiel Frankfurt)

Modellierte Fluglärmdaten (der 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 (HP)

Externe Kosten Gesamtlärmpegel plus ein zusätzliches Flugzeug
- Externe Kosten Gesamtlärmpegel =
**Externe Kosten eines zusätzlichen Starts bzw. Landung
[€ / Flugbewegung]**



Meist verwendetes Maß zur Charakterisierung von Lärm:

Day-Evening-Night-Level L_{den}

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} (12 \cdot 10^{L_{day}/10} + 4 \cdot 10^{(L_{evening}+5)/10} + 8 \cdot 10^{(L_{night}+10)/10})$$

L = A-weighted long-term average sound level in dB(A)

Day: 07 – 19 h

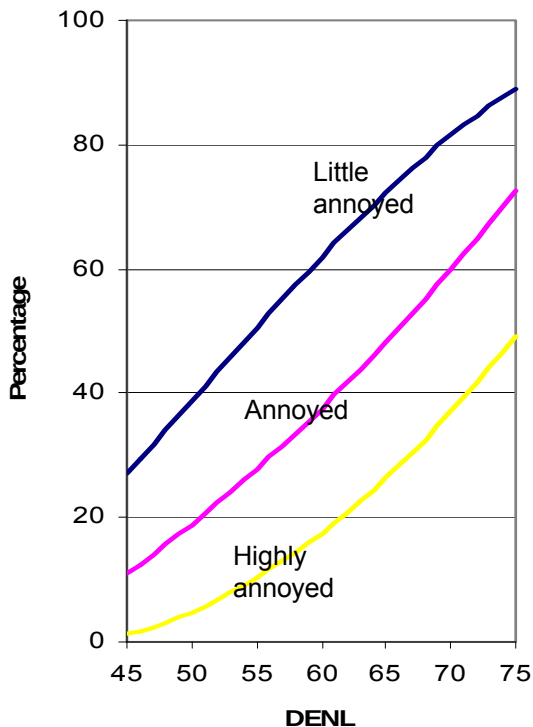
Evening: 19 - 23 h

Night: 23 – 07 h

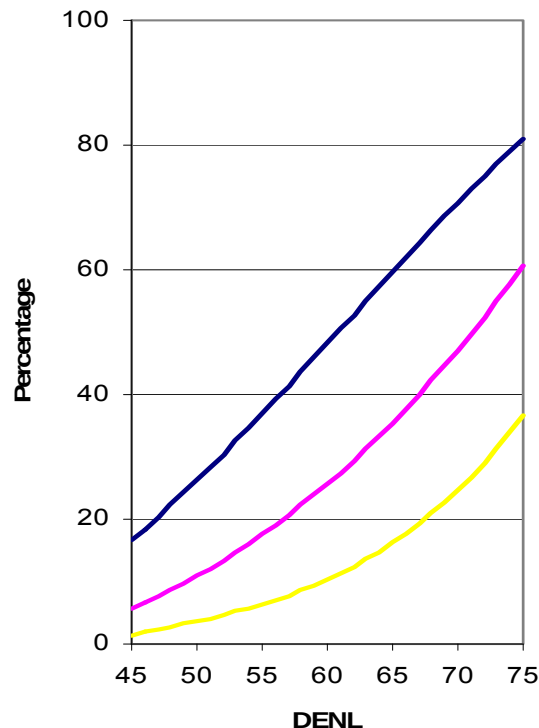
Lärm – betrachtete Schadenskategorien:

- Gesundheitsschäden: Bluthochdruck, Angina pectoris, Herzinfarkt
- Schlafstörungen, Belästigung

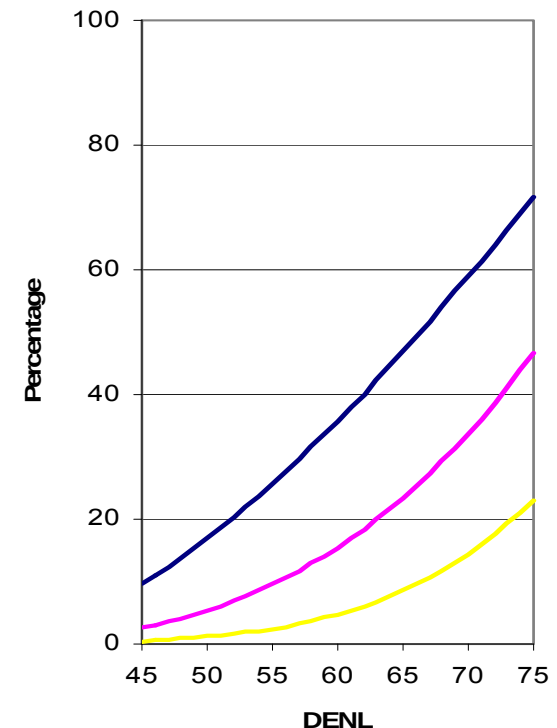
Air



Road



Rail





Bewertung von Lärm

- **Werte aus Umfragen nach der Zahlungsbereitschaft nach der Reduzierung von Lärm (zentral)**
- **Umfrage nach der Zahlungsbereitschaft zur Vermeidung von Belästigungskategorien (neuer Ansatz)**
- **Werte aus der Auswertung von Hauspreisen (hoch)**



Monetäre Werte für verschiedene Lärmpegel für Deutschland

zentral

neuer Ansatz

hoch

L_{DEN} dB(A)	road	rail	air	road	rail	air	road	rail	air
43	0	0	0	5	2	8	0	0	0
51	9	0	14	11	6	18	20	0	31
60	88	44	136	21	12	29	200	100	310
75	291	248	412	113	98	119	573	473	848

Erläuterungen
siehe Rückseite

Abflüge 07

Anflüge 07

Abflüge 25

Anflüge 25

Abflüge 18

● Boden-
navi-
gations-
hilfen
mit Kennung

● Schallmeß-
punkt
mit Punkt-
nummer

FLUGHAFEN FRANKFURT / MAIN
AN- UND ABFLUGROUTEN



0 1 2 3 4 km

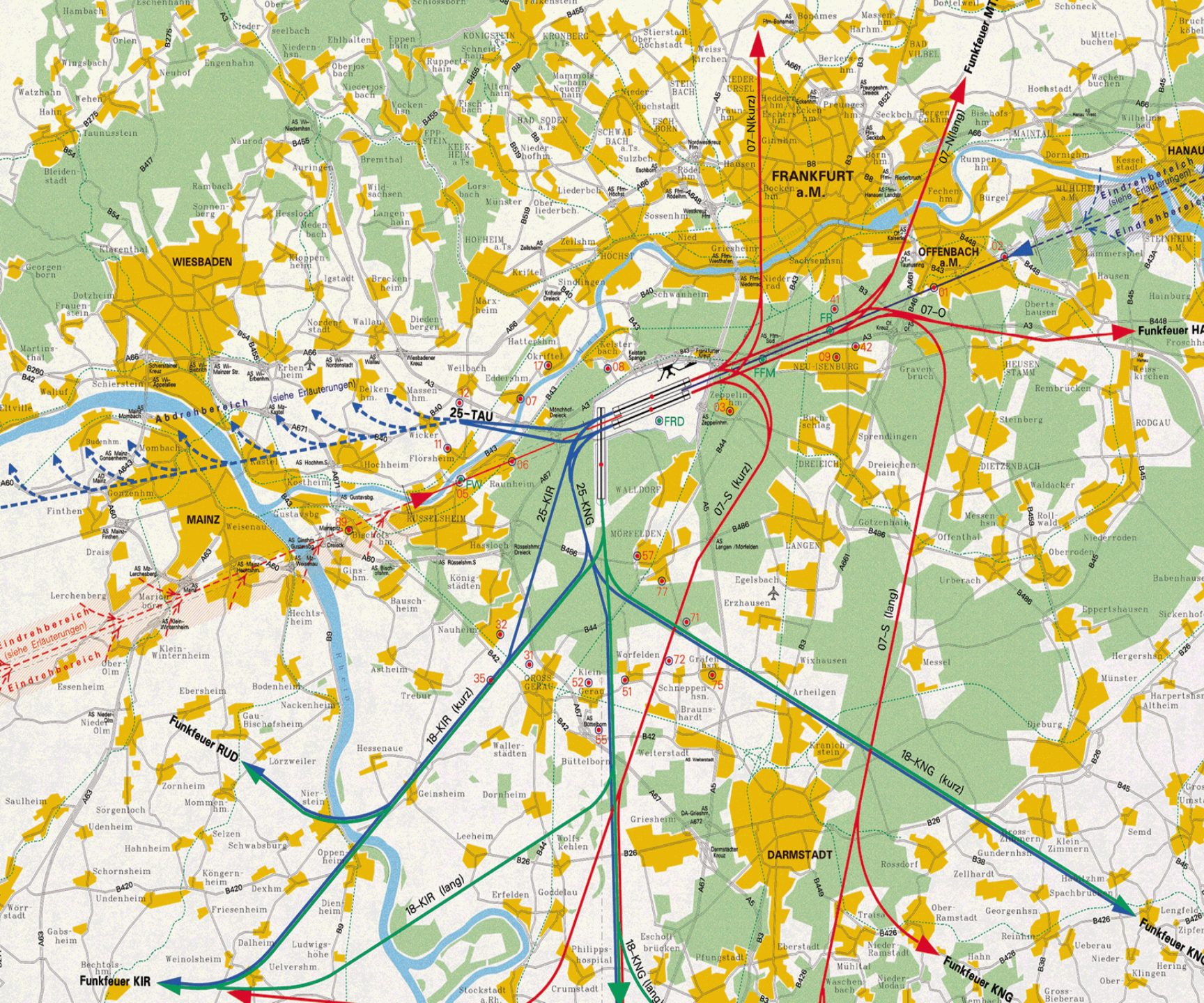
Herausgeber:
Der Hessische Minister für
Wirtschaft, Verkehr und
Landesentwicklung

Kartengrundlage:
Hessisches Landes-
vermessungsamt

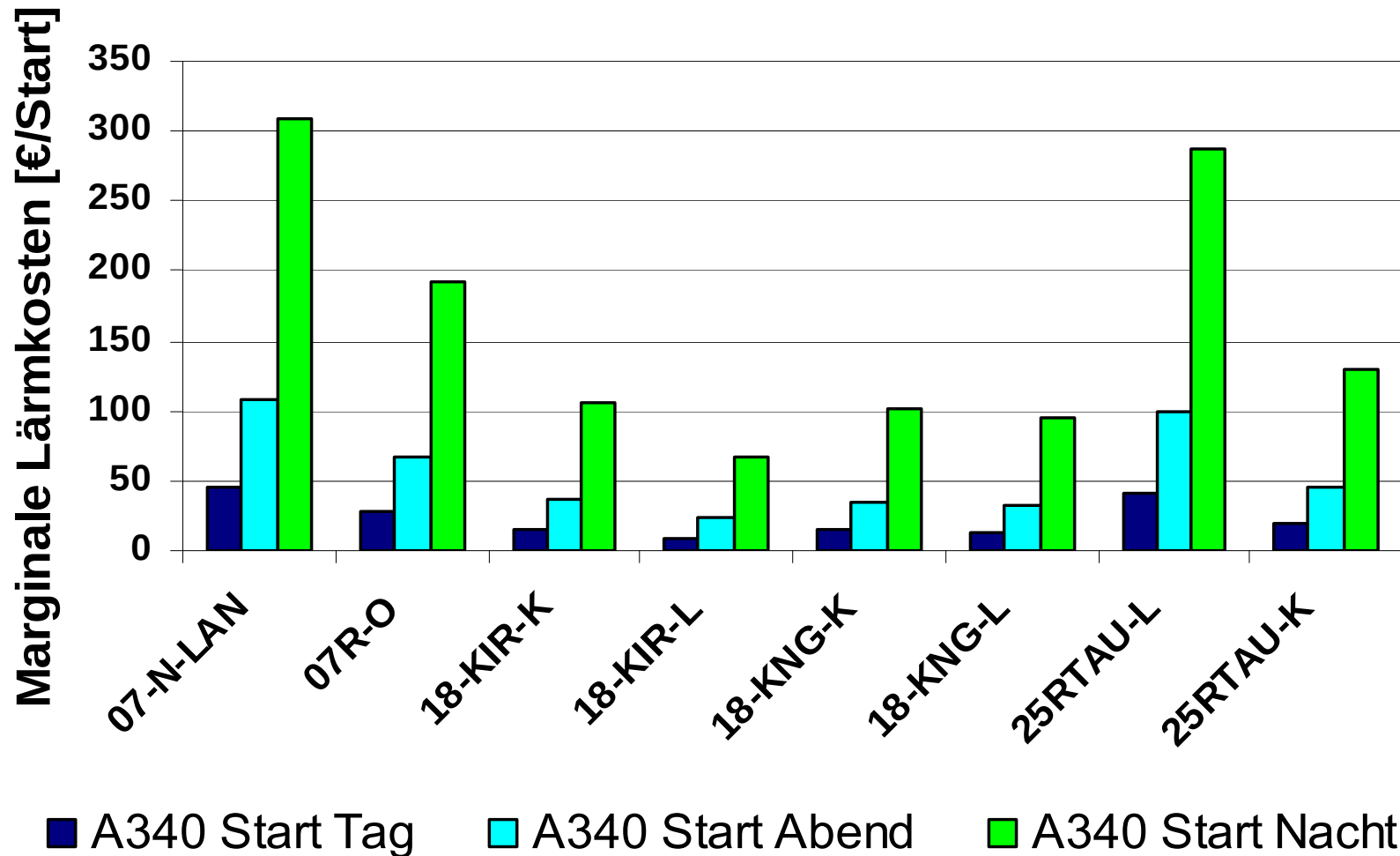
Datenbasis für die Dar-
stellung der Flugstrecke
u. Boden-navigationshilfen

DFS Deutsche Flug-
sicherung GmbH

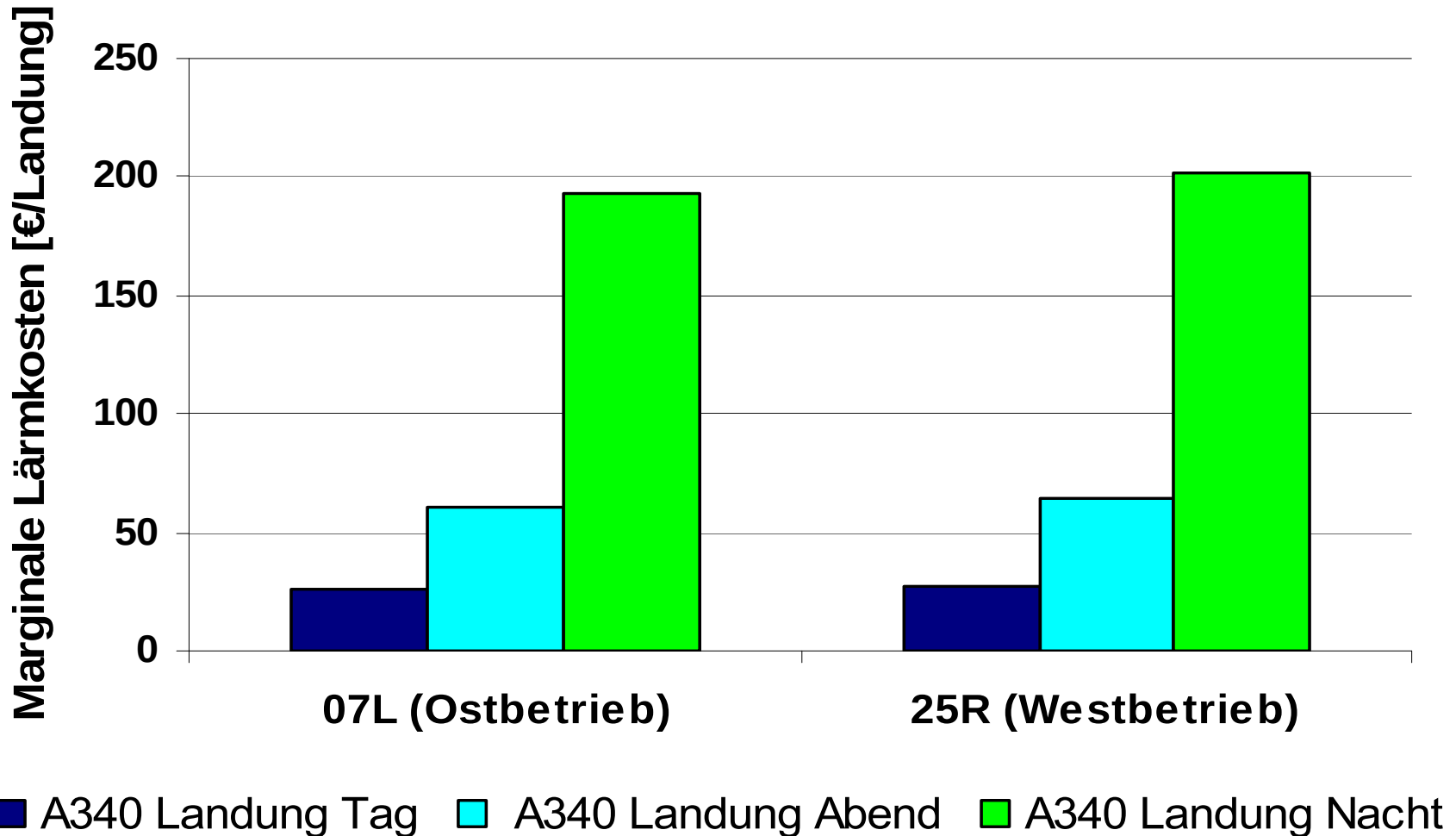
Datenbasis für die Dar-
stellung der Schallmeß-
punkte:
Flughafen Frankfurt M. AG
CAD-Bearbeitung:
FAG Abt.FIF-Vermessung



Marginale externe Lärmkosten verschiedener Flugrouten - Start einer A340



Marginale externe Lärmkosten verschiedener Flugrouten - Landung einer A340

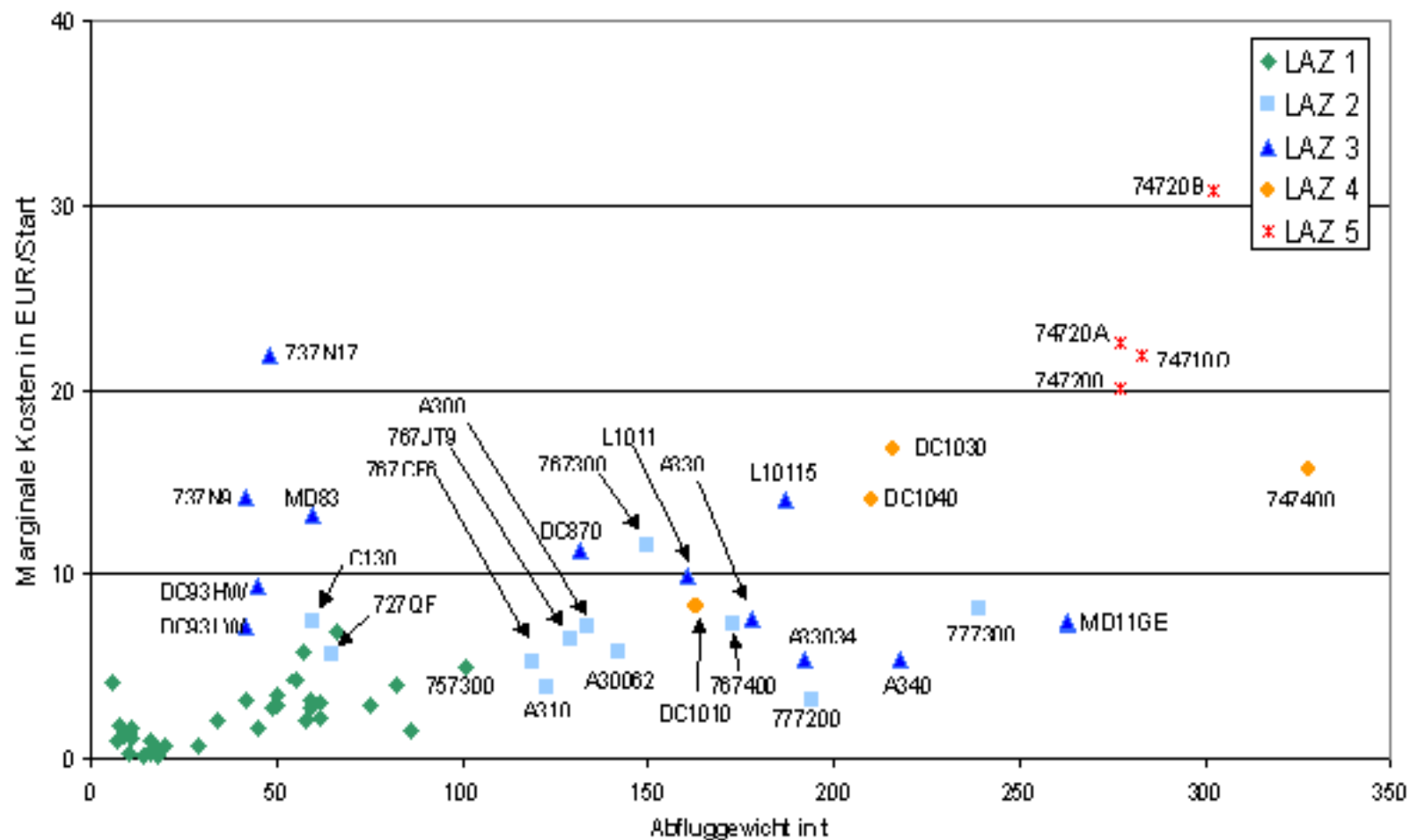


Klassifizierung von Flugzeugen

AzB-Klassen: aus ,Anleitung zur
Berechnung von Lärmschutzbereichen an
... Flugplätzen nach dem Gesetz zum
Schutz gegen Fluglärm - nach AzB/99

LAZ-Klassen: Einteilung in 7 Klassen auf
Grund von Lärmmessungen am Boden
durch FRAPORT

Externe Lärmkosten verschiedener LAZ-Klassen (Flugroute 25TAU-K/L)



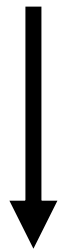
Marginale externe Kosten durch Luftschadstoffe

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] , ermittelt mit Hilfe von
atmosphärischen Modellen und Bevölkerungsdaten

Marginale externe Kosten der einzelnen
Flugzeuge [€/ LTO]

Marginale externe Kosten durch Klimagase

Emissionen eines bestimmten Flugzeugs pro Sekunde, differenziert nach LTO-Segment aus (ICAO 1998) [g / s (LTO-Segment)]



Multiplikation mit Zeiten [s] für LTO-Segmente

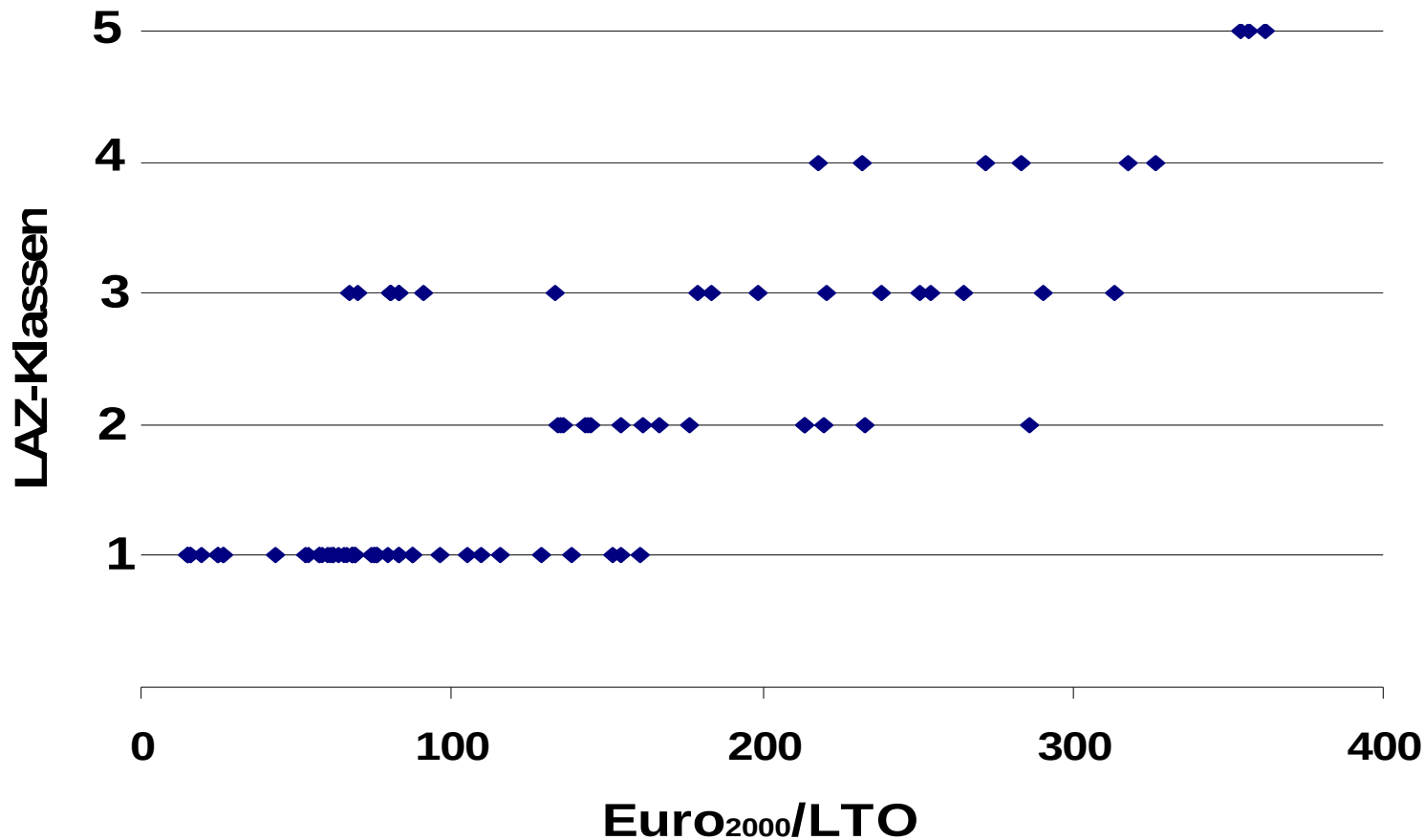
Emissionen des Flugzeugs pro LTO oder pro Start bzw. Landung [g / LTO bzw. Start bzw. Landung]



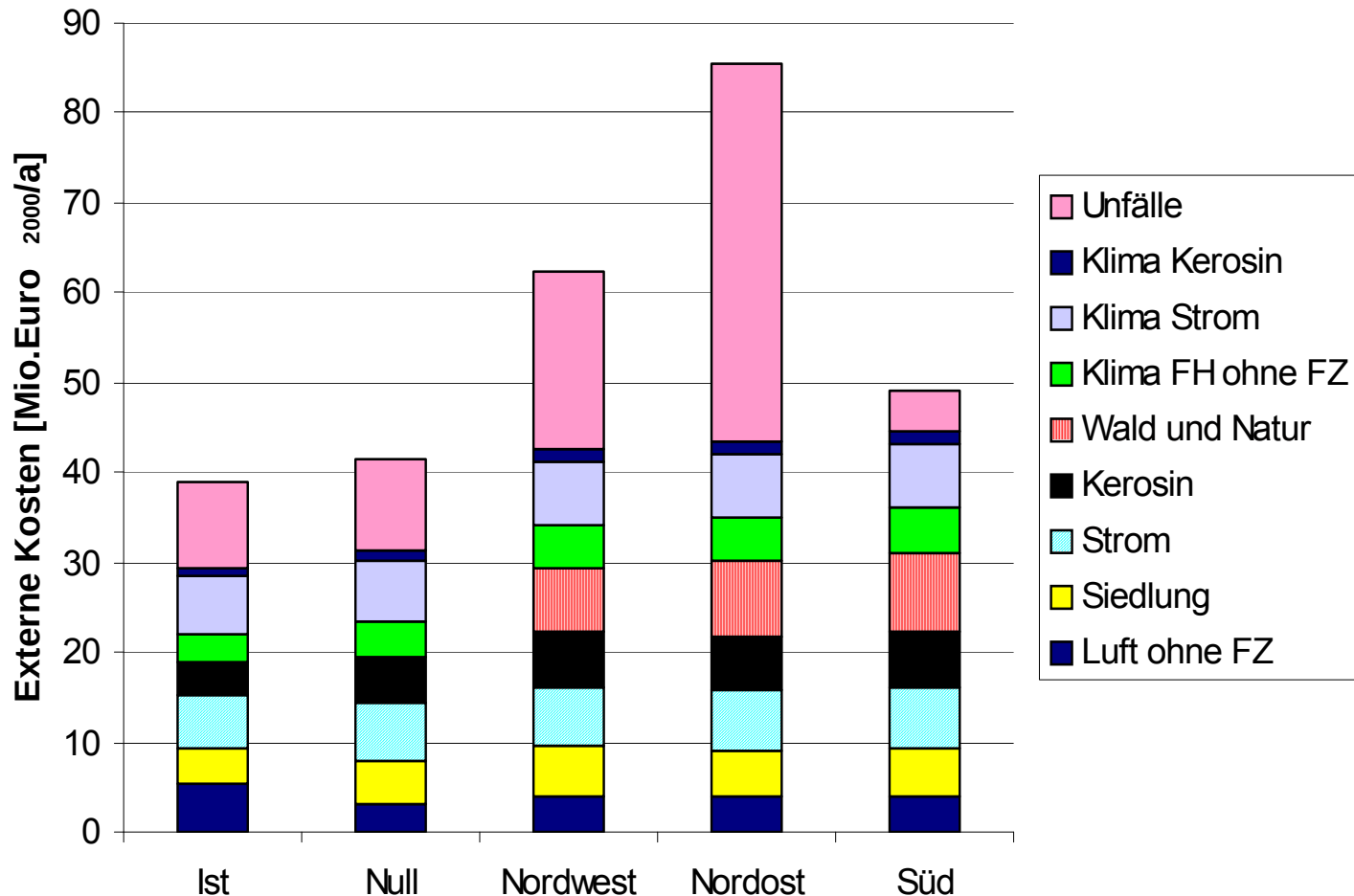
Multiplikation mit marginalen Vermeidungskosten zur Erreichung des Kyotoziels (2010) und nach 2010 weitergehender Ziele der EU (-20% bis 2020, langfristig Begrenzung auf 2° Erwärmung)

Marginale externe Kosten der einzelnen Flugzeuge [€/ LTO]

Marginale Kosten der Luftschadstoffe und CO₂ nach Flugzeugtypen und LAZ-Klassen in Frankfurt/M



Nicht nach Flugzeugtypen differenzierte externe Kosten

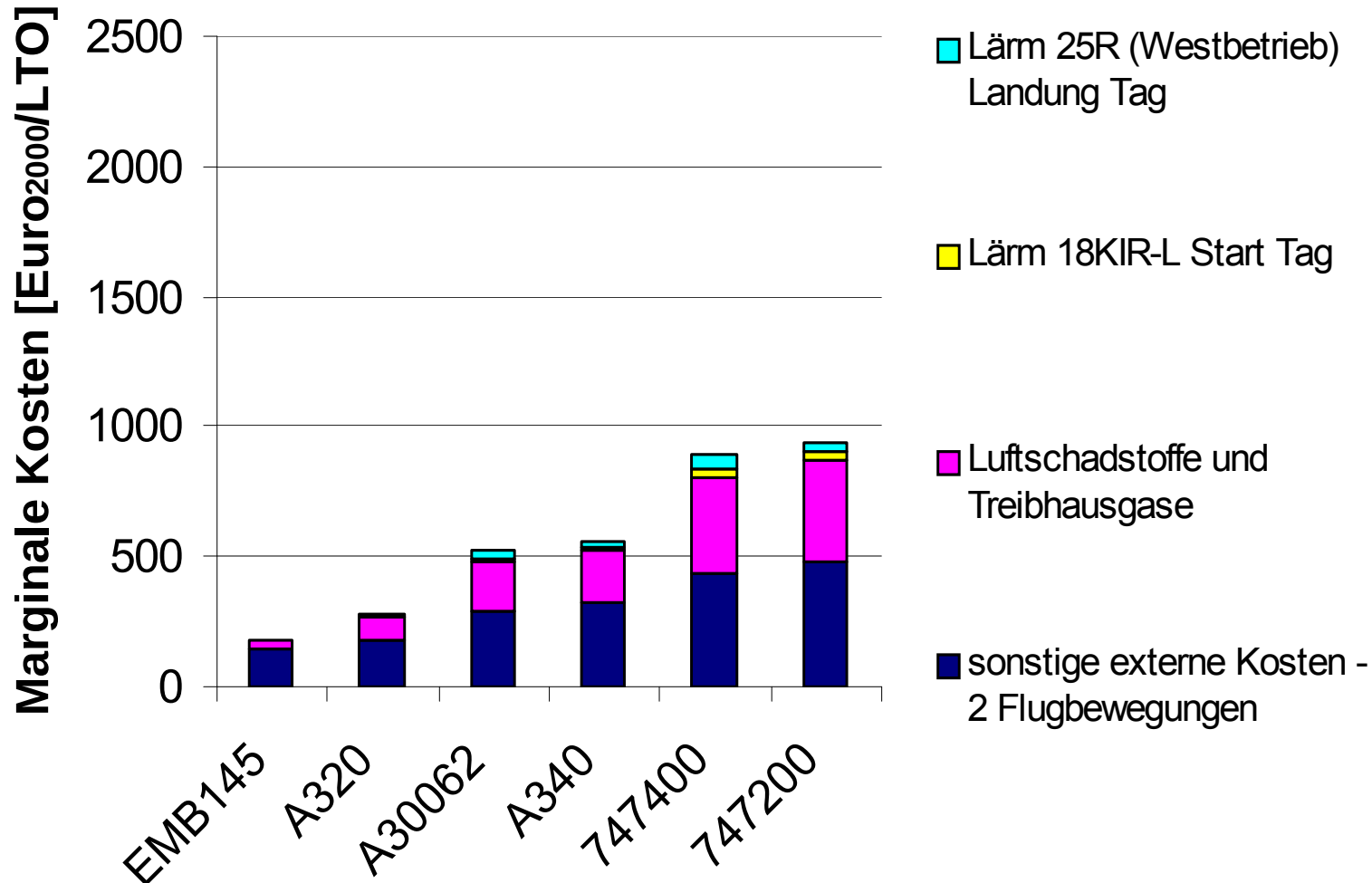


Nicht nach Flugzeugtypen differenzierte externe Kosten

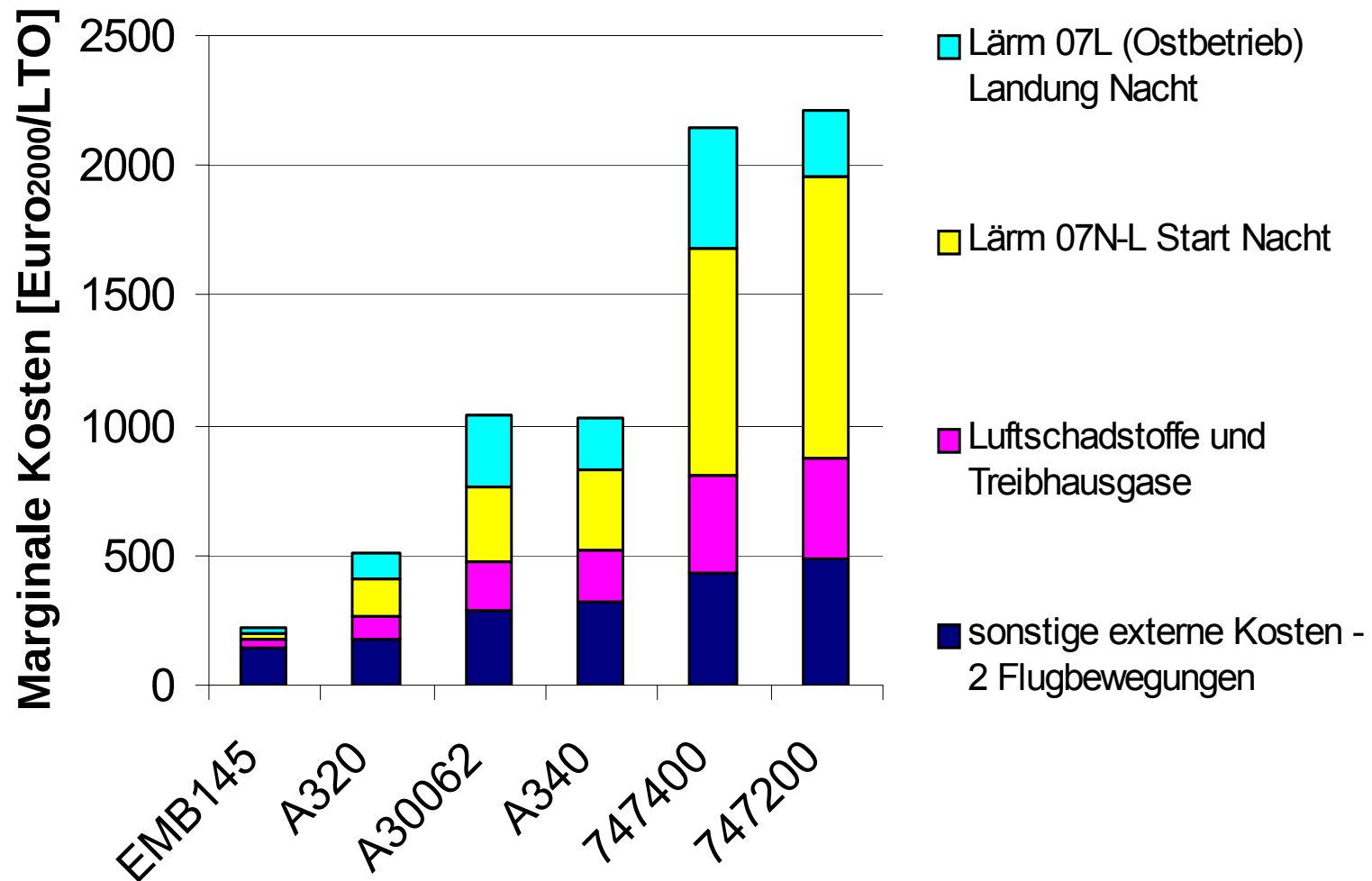
Variante	Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
Externe Kosten [€ ₂₀₀₀ /Flugbewegung]	82,83	82,10	94,54	129,58	74,14

Variante	Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
Externe Kosten [€ ₂₀₀₀ /Passagier], ohne Unfallrisiko	0,57	0,53	0,52	0,53	0,54

Summe marginaler externer Kosten Minimum



Summe marginaler externer Kosten pro LTO – Zyklus - Maximum



Überlegungen zur Internalisierung

Treibhauseffekt: europaweit, besser weltweit harmonisierte Kerosinsteuer

Lokale und regionale Effekte: Abgabe pro LTO-Zyklus differenziert nach Flugzeug/Triebwerkskombination, Abfluggewicht (>230 t) und Tageszeit

Für Schadstoffe berechnet aus jährlichem Routenmix, Lärmkosten differenziert nach Route



weltweite oder wenigstens europaweite Steuer auf Kerosin

6 €-cent pro kg, ggf. ansteigend auf ca.
24 €-cent per kg bis 2050, entsprechend
der post-Kyoto-Ziele der EU

Entsprechend HEATCO Empfehlungen
Verdoppelung dieses Betrages für
Emissionen in großen Höhen

(heatco.ier.uni-stuttgart.de).

Startgewichtsabhängiger Korrekturfaktor bei Flugzeugen über 230 t Startgewicht

$$LS_{tat} = LS_0 \cdot \left(1 + \frac{G_{tat} - G_0}{G_{max}} \cdot 1,4 \right)$$

LS_{tat} = korrigierte Lärmkomponente in €

LS_0 = Komponente bezogen auf Referenzgewicht G_0

G_{tat} = tatsächliches Abfluggewicht

G_0 = Referenzabfluggewicht

G_{max} = maximales Abfluggewicht

Relative Häufigkeit der Startrouten/Frankfurt/M

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	-



Komponenten einer Entgeltordnung je LTO-Zyklus [€ / 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		Kompo- nente Unfallrisik o ²⁾	Summe des Entgeltes je LTO- Zyklus		
	Luftschadstoffe			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

Zusammenfassung

- Methoden zur detaillierten Berechnung marginaler externer Kosten des LTO-Zyklus differenziert nach Route, Flugzeugtyp, Triebwerktyp und Gewicht sind verfügbar. Die Unsicherheiten sind recht hoch (Standardabweichung ca. Faktor 2 bis 3).
- Die marginalen externen Kosten des Lärms hängen sehr stark von der Route und dem Anflugverfahren ab. Eine Entgeltordnung sollte daher für die Komponente Lärm differenziert nach der Route erfolgen.
- Für die marginalen externen Kosten durch Luftschadstoffe ist eine Differenzierung nach Flugzeugtyp/Triebwerkskombinationen ausreichend.
- Die externen Kosten des Treibhauseffekts werden am besten durch eine – möglichst weltweit erhobene - Kerosinsteuer internalisiert.