



# 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

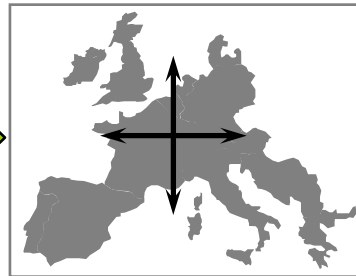
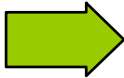
- **Gesundheitsschäden, die mit hoher Wahrscheinlichkeit eintreten, und unzumutbare Belästigungen sollten durch die Verwendung bzw. Unterschreitung von Grenzwerten sicher vermieden werden.**
  - **Lokale Schäden insbesondere an schützenswerten Biotopen (Verringerung der Biodiversität) werden durch die 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

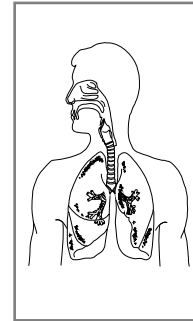


Transport und  
Chemische  
Umwandlung;  
Lärmausbreitung



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 Zusammenhang mit dem Nicht-Marktgut

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

### Direkte Methoden

- Contingent Valuation (Zahlungsbereitschaftsanalysen)
- Attributbasierte Bewertungsansätze
- Partizipative Bewertungsansätze
- Befragung öffentlicher Entscheidungsträger nach ihren Präferenzen



## Monetäre Bewertung Mittelwerte für Westeuropa

<b>Gesundheitseffekte</b>	<b>Monetärer Wert (€<sub>2000</sub>)</b>
Verlorenes Lebensjahr (Red. der Lebenserwartung)	50,000
Krankenhausaufenthalt wg. Herz-Kreislaufkrankung	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 $L_{den}$

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

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

**Day: 07 – 19 h**

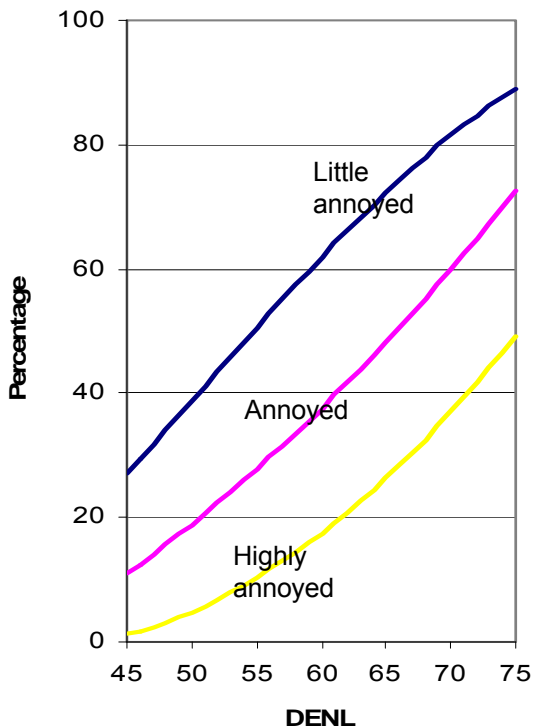
**Evening: 19 - 23 h**

**Night: 23 – 07 h**

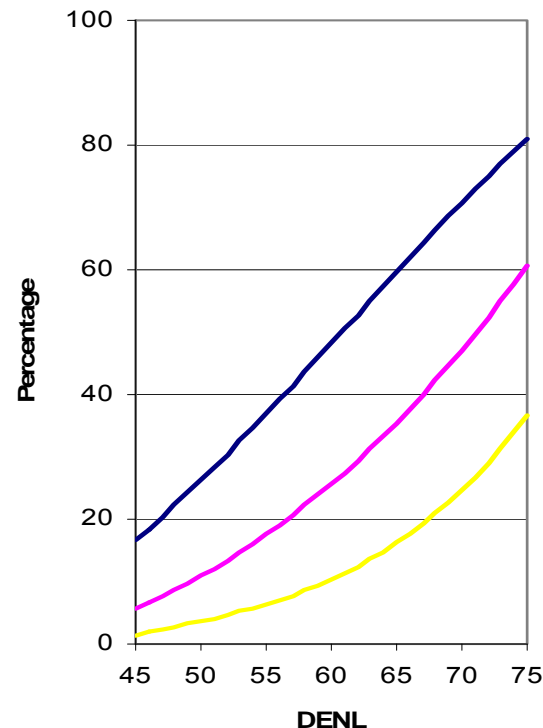
## Lärm – betrachtete Schadenskategorien:

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

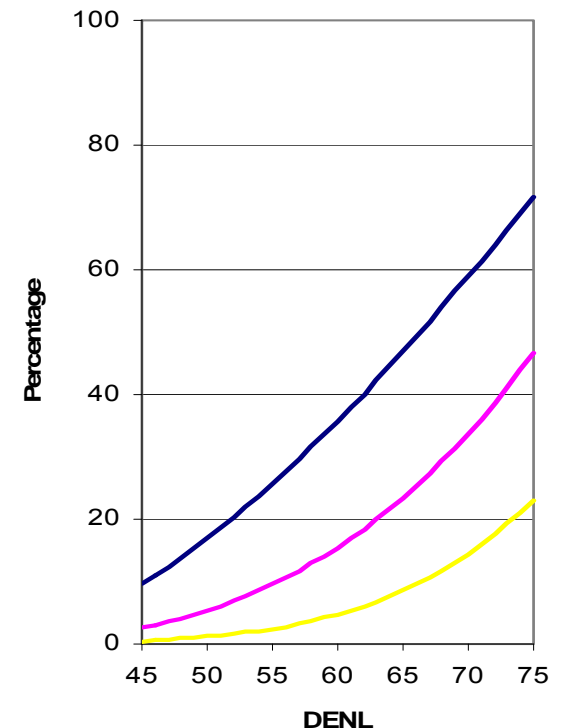
Air



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

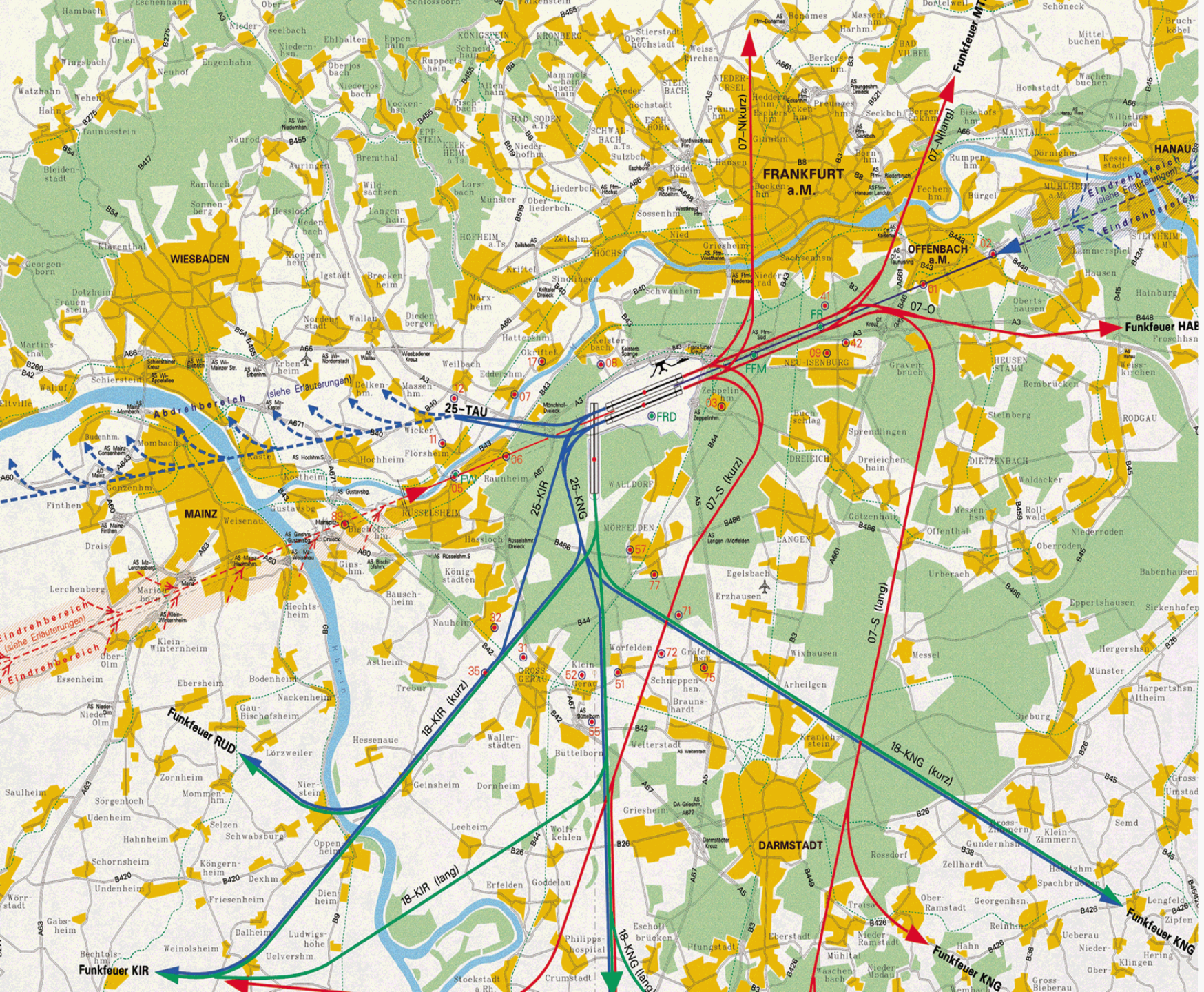
-  Abflüge 07
-  Anflüge 07
-  Abflüge 25
-  Anflüge 25
-  Abflüge 18

-  Bodennavigationshilfen mit Kennung
-  Schallmeßpunkt mit Punktnummer

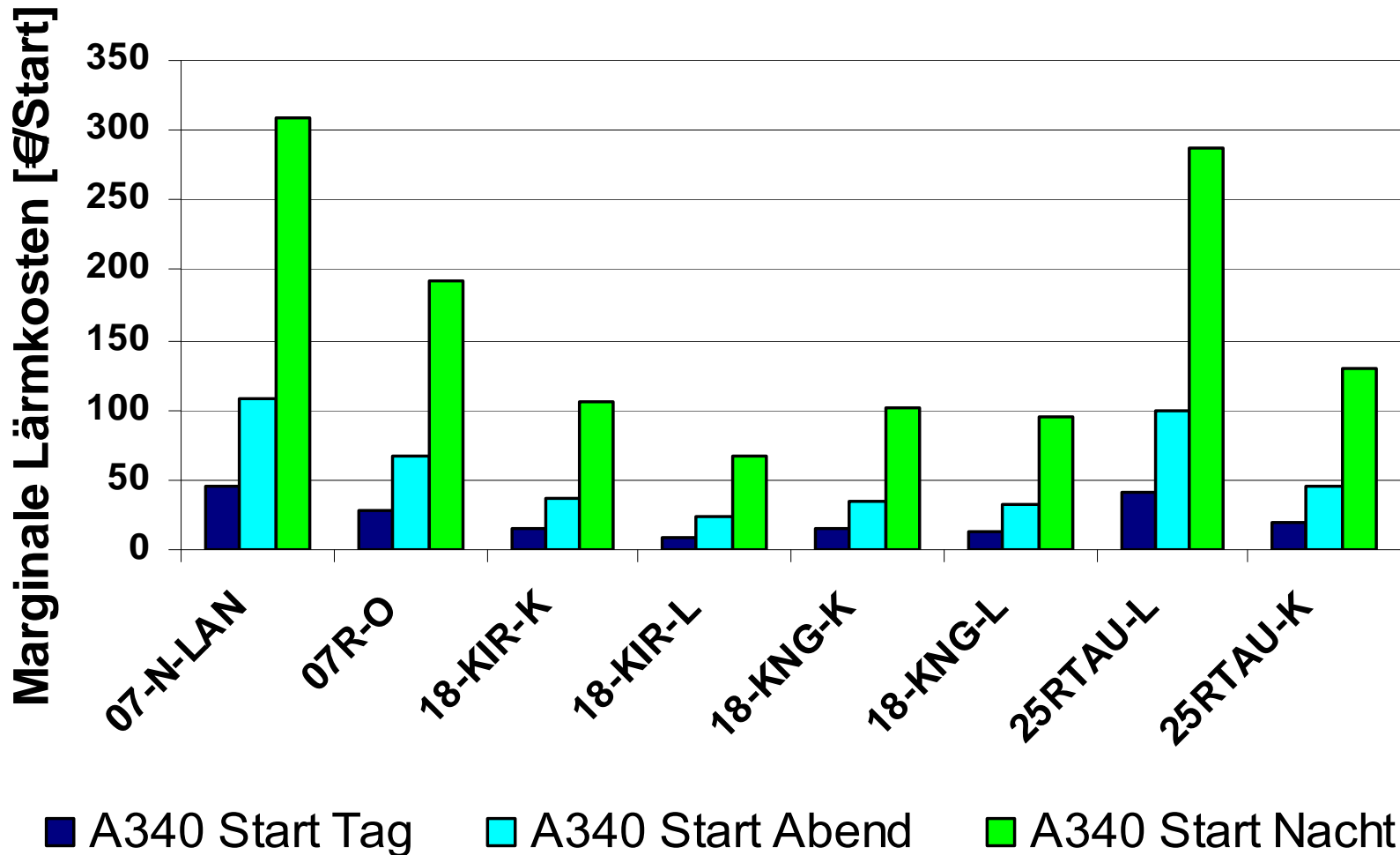
**FLUGHAFEN FRANKFURT / MAIN AN- UND ABFLUGROUTEN**



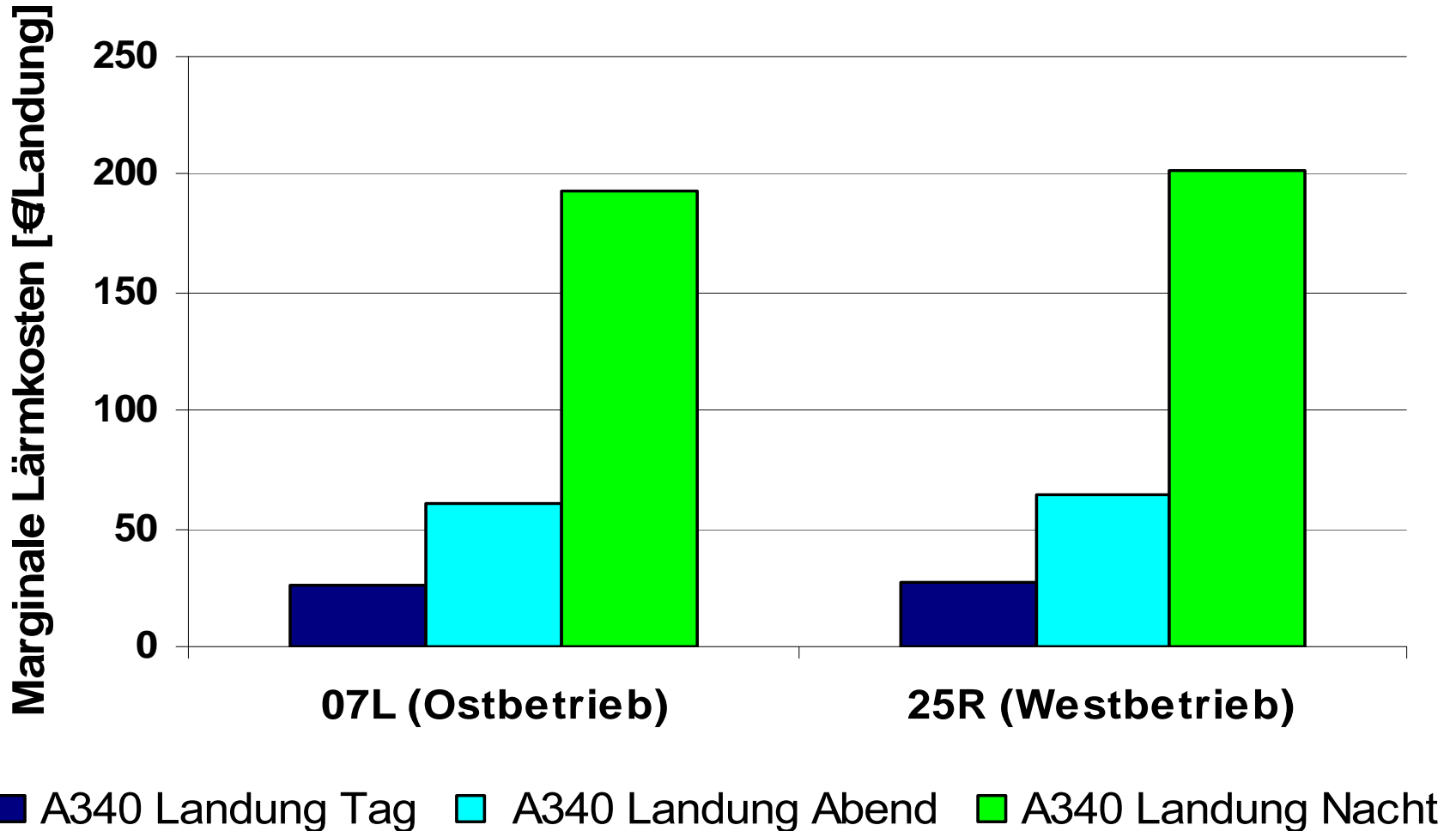
Herausgeber:  
Der Hessische Minister für  
Wirtschaft, Verkehr und  
Landesentwicklung  
Kartengrundlage:  
Hessisches Landes-  
vermessungsamt  
Datenbasis für die Dar-  
stellung der Flugstrecker  
u. Bodennavigationshilfen  
DFS Deutsche Flug-  
sicherung GmbH  
Datenbasis für die Dar-  
stellung der Schallmeß-  
punkte:  
Flughafen Frankfurt M. AG  
CAD-Bearbeitung:  
FAG Abt.FIF-PIVermessung



## Marginale externe Lärmkosten verschiedener Flugrouten - Start einer A340



## Marginale externe Lärmkosten verschiedener Flugrouten - Landung einer A340





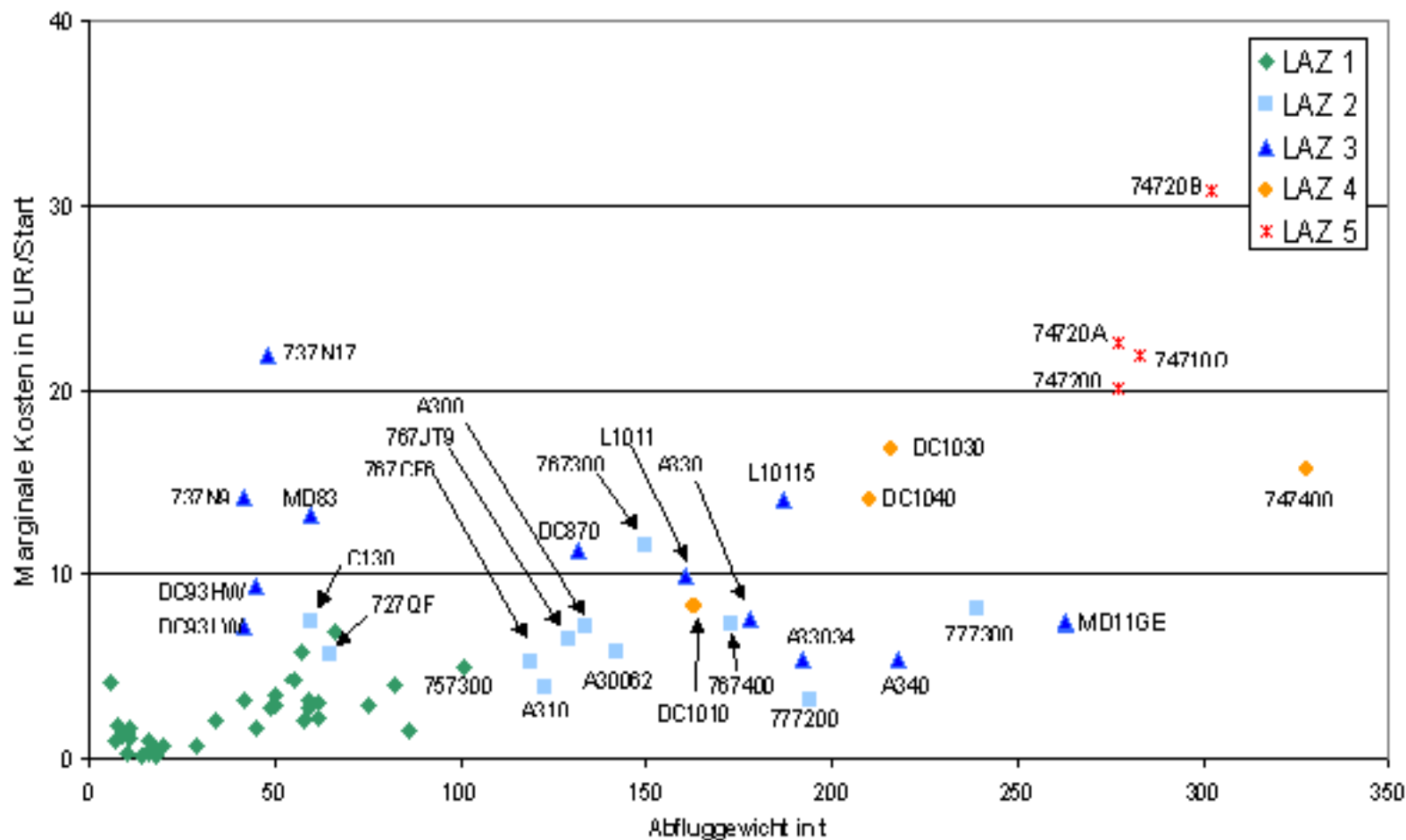
## Klassifizierung von Flugzeugen

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)



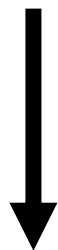
## Marginale externe Kosten durch Luftschadstoffe

**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]**

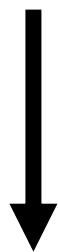
# Marginale externe Kosten durch Klimagase

**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]**

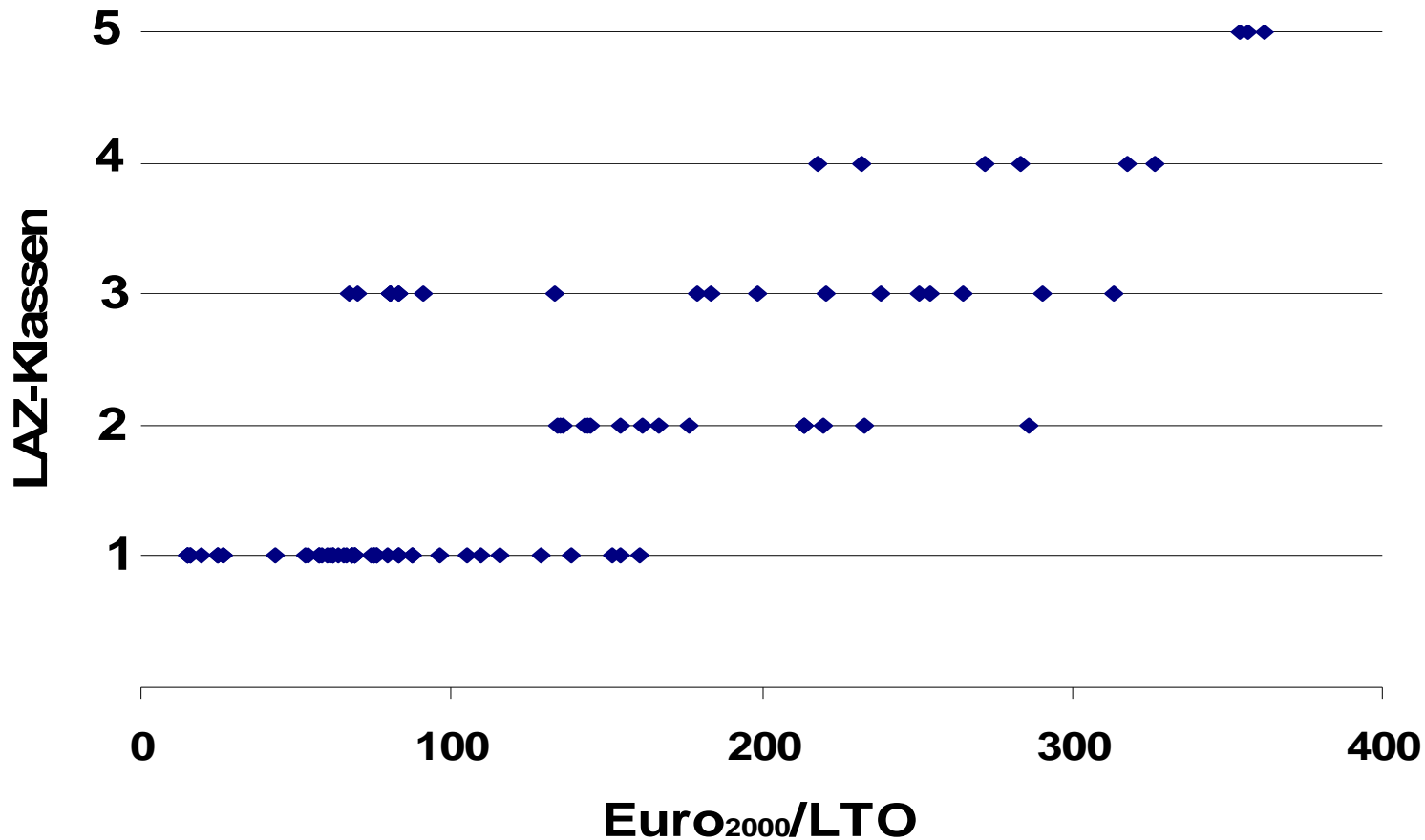


Multiplikation mit marginalen Vermeidungskosten zur Erreichung des Kyotoziels (2010) und nach 2010 weitergehender Ziele der EU (-20% bis 2020, langfristig Begrenzung auf 2° Erwärmung)

**Marginale externe Kosten der einzelnen Flugzeuge [€/ LTO]**

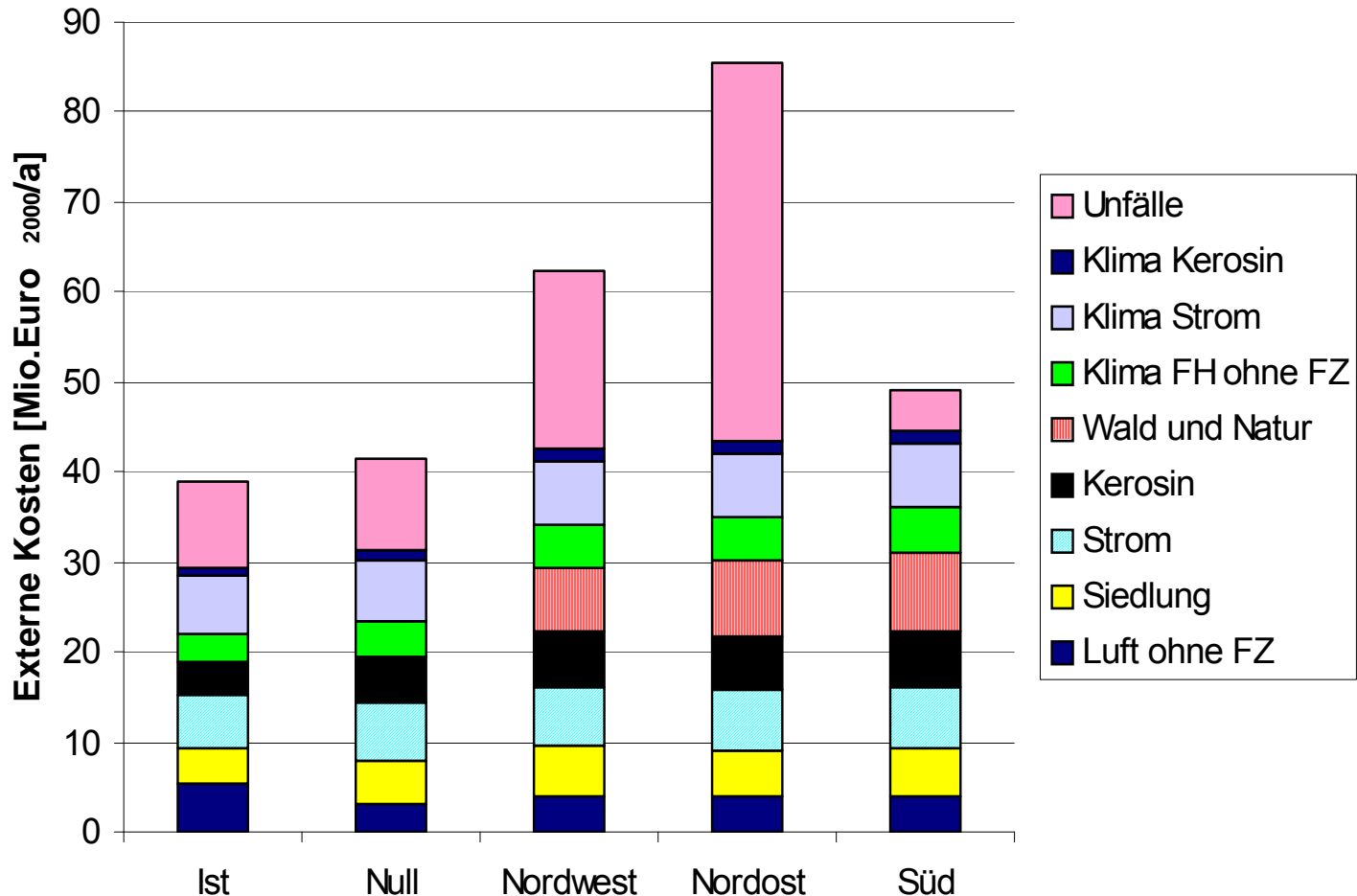


## Marginale Kosten der Luftschadstoffe und CO<sub>2</sub> nach Flugzeugtypen und LAZ-Klassen in Frankfurt/M





## Nicht nach Flugzeugtypen differenzierte externe Kosten



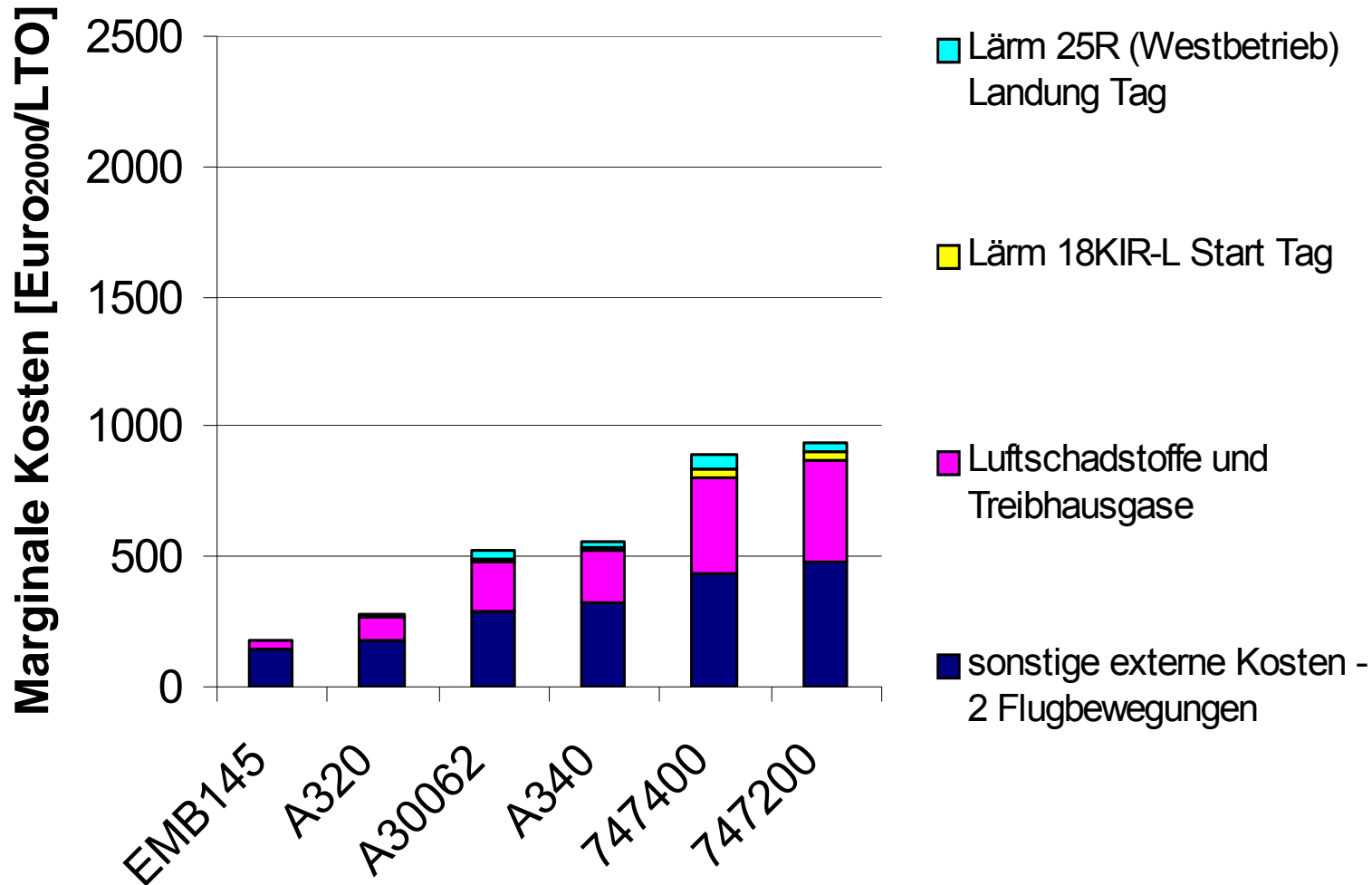


## Nicht nach Flugzeugtypen differenzierte externe Kosten

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

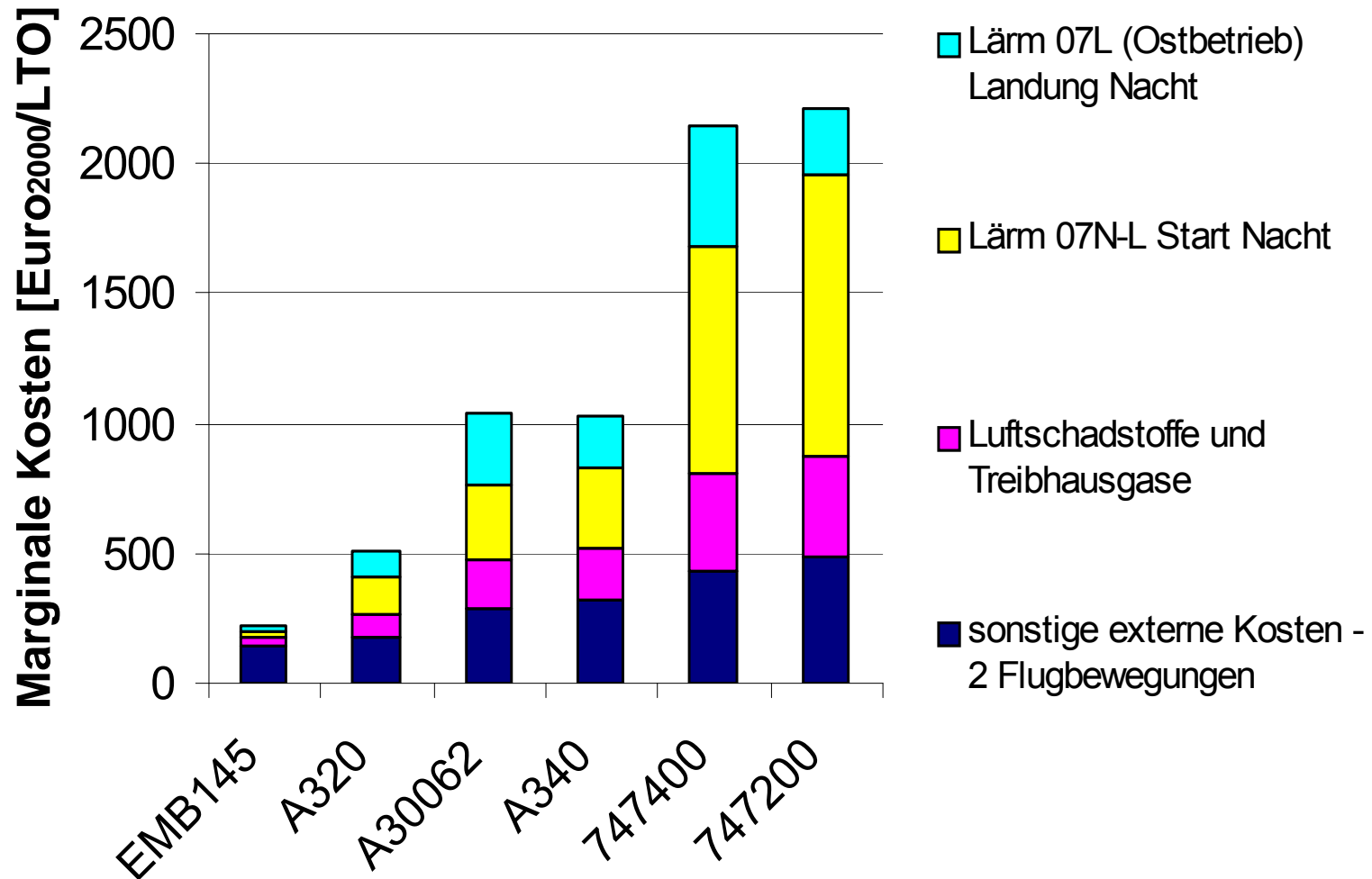
Variante	Ist	Null	Nordwest	Nordost	Süd
Externe Kosten [€ <sub>2000</sub> /Passagier], ohne Unfallrisiko	0,57	0,53	0,52	0,53	0,54

# 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](http://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 <sup>1)</sup>	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 <sup>1)</sup>	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 <sup>1)</sup>	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 <sup>1)</sup>	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 <sup>1)</sup>	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 <sup>1)</sup>			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 <sup>1)</sup>	12	28	41	12	28	88
747400 <sup>1)</sup>	35	82	157	32	76	231
747200 <sup>1)</sup>	47	112	200	18	42	127
ID	Komponente		Komponente Unfallrisik o <sup>2)</sup>	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.