

# Soziale und ökonomische Folgen nächtlichen Fluglärms im Umfeld des Flughafens Frankfurt/Main

## Social and Economic Consequences of Night-Time Aircraft Noise in the Vicinity of Frankfurt/Main Airport

## Autoren

E. Greiser<sup>1,2</sup>, G. Glaeske<sup>1</sup>

## Institute

<sup>1</sup> Abteilung Gesundheitsökonomie, Gesundheitspolitik und Versorgungsforschung, Zentrum für Sozialpolitik, Universität Bremen,<sup>2</sup> Epi.Consult GmbH, Musweiler

## Schlüsselwörter

- nächtlicher Fluglärm
- Krankheitskosten
- Krankenhaus-Entlassungsdiagnosen
- Exzessrisiko

## Key words

- night-time aircraft noise
- health expenditures
- hospital discharge diagnoses
- excess risk

## Bibliografie

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0033-1333785>  
 Online-Publikation: 2013  
 Gesundheitswesen  
 © Georg Thieme Verlag KG  
 Stuttgart · New York  
 ISSN 0941-3790

## Korrespondenzadresse

**Prof. Dr. med. Eberhard Greiser**

Zentrum für Sozialpolitik  
 Universität Bremen  
 Mary-Somerville-Straße 5  
 28359 Bremen  
 Eberhard.greiser@zes.  
 uni-bremen.de

## Zusammenfassung



Für das Umfeld des Flughafens Frankfurt wurde eine Prognose erstellt über die Entwicklung von Krankheitskosten in Abhängigkeit von nächtlichem Fluglärm. Die Prognose basiert auf Risikoeffizienten, die im Rahmen einer Fall-Kontroll-Studie im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn anhand der Daten von mehr als 1 Million gesetzlich Versicherter gewonnen worden waren, sowie auf Krankheitskostenrechnungen des Statistischen Bundesamtes für die Jahre 2002–2008 und einer Berechnung der im Umfeld des Frankfurter Flughafens durch Fluglärm ab 40dB(A) belasteten Bevölkerung (Flugrouten und Flugbewegungen des Jahres 2005). Die Prognose für die Kalenderjahre 2012–2021 wurde für 6 Diagnosegruppen durchgeführt (Herz- und Kreislaufkrankheiten, Diabetes mellitus, Depressionen, Psychosen und Schizophrenien, Demenz und Morbus Alzheimer, Krebserkrankungen außer bösartigen Neubildungen der Atmungsorgane). Über den 10-Jahreszeitraum ist mit ca. 23 400 Erkrankungsfällen zu rechnen, von denen ca. 3 400 verstorben sein dürften. Die dadurch entstehenden Krankheitskosten übersteigen 1,5 Mrd. €.

## Einleitung



In Deutschland sind gegenwärtig mehrere Millionen Menschen von Fluglärm betroffen. Im Umfeld des Flughafens Frankfurt sind es nach den Flugbewegungen des Jahres 2005 am Tage ca. 1,2 Millionen Menschen, während der Nacht knapp über 1 Million. Da in der Epidemiologie seit einigen Jahren Konsens darüber besteht, dass zwischen dem Einwirken nächtlichen Fluglärms und der Entstehung von Bluthochdruck bzw. den Folgekrankheiten des Bluthochdrucks [1–3] ein ursächlicher Zusammenhang besteht, erscheint ein Versuch sinnvoll, eine Prognose über die sozialen

## Abstract



A prospective calculation of disease-related social and economic costs due to night-time aircraft noise in the vicinity of Frankfurt/Main airport was performed for the calendar years 2012–2021. It was based on risk estimates for a variety of diagnostic entities (cardiovascular disease, depression, psychosis, diabetes mellitus, dementia and Alzheimer's disease, all cancers except malignancies of the respiratory system) from a previous case-control study on more than 1 million persons enrolled in compulsory sickness funds in the vicinity of the Cologne-Bonn airport, on disease-related cost estimates performed by the German Federal Statistical Office for the calendar years 2002–2008, and calculations of the population exposed to night-time aircraft noise in the vicinity of Frankfurt/Main airport (2005 aircraft routes and flight frequencies). Total estimated costs came to more than 1.5 billion € with an excess of 23 400 cases of diseases treated in hospitals and of 3 400 subsequent deaths.

Folgekosten des Fluglärms zu versuchen. Unter sozialen Kosten sollen im Folgen Krankheitskosten, Erkrankungsfälle und Todesfälle verstanden werden, die nächtlichem Fluglärm zugeschrieben werden können. Aus den Ergebnissen einer umfassenden Fall-Kontroll-Studie im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn standen differenzierte Risikoschätzer für den Einfluss nächtlichen Fluglärms auf das Auftreten verschiedener Erkrankungen zur Verfügung [1]. Die dieser Studie zugrunde liegende Datenbasis ist mit den Daten von mehr als einer Million in gesetzlichen Krankenkassen Versicherter die bislang umfangreichste in Deutschland für eine solche Fragestel-



**Tab. 1** Von nächtlichem Fluglärm betroffene Bevölkerung im Umfeld des Flughafens Frankfurt/Main.

Altersgruppe	Exponierte Bevölkerung bei Dauerschallpegel von...dB (A)				
	40–44	45–49	50–54	55–61	40–61
40–44	68 183	25 035	7 992	84	101 294
45–49	71 531	26 264	8 384	88	106 267
50–54	61 616	22 624	7 222	76	91 538
55–59	52 565	19 300	6 161	65	78 091
60–64	47 635	17 490	5 583	59	70 767
65–69	41 650	15 293	4 882	51	61 876
70–74	45 071	16 549	5 283	56	66 959
75–79	28 688	10 533	3 362	35	42 618
80–84	20 535	7 540	2 407	25	30 507
Summe	437 473	160 627	51 275	541	649 916

lung. Im Rahmen dieser Fall-Kontroll-Studie wurden in zusätzlichen Analysen auch weitere Erkrankungen mit Bluthochdruck als bedeutendem Risikofaktor auf einen möglichen Zusammenhang zur Exposition gegenüber nächtlichem Fluglärm untersucht. Dabei fand sich ein starker Zusammenhang mit dem Auftreten von Demenz und Morbus Alzheimer.

## Methoden

### Population

Die durch nächtlichen Fluglärm hervorgerufene Belastung im Umfeld des Flughafens Frankfurt wurde unter Verwendung eines DES (2005) ermittelt und die Belastung in 1-dB(A)-Isophonen errechnet<sup>1</sup>. Zur Ermittlung der betroffenen Bevölkerung wurde ein 100×100-Meter-Raster zugrunde gelegt. Aus diesen Populationszahlen wurden unter Verwendung der vorhandenen Bevölkerungsstruktur der Bundesländer Hessen und Rheinland-Pfalz die anteilige Population in 1-Jahres-Altersklassen errechnet. Für die weiteren Berechnungen wurde nur die Bevölkerung ab dem 40. Lebensjahr herangezogen. Diese Altersbegrenzung erscheint in Hinblick auf die Ergebnisse der Fall-Kontroll-Studie zu fluglärmbedingten Erkrankungen im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn [1] plausibel und zwingend. Von den insgesamt im Umfeld des Frankfurter Flughafens durch nächtlichen Fluglärm belasteten Personen (N=1 002 554) entfielen 649 916 auf Männer und Frauen ab dem 40. Lebensjahr (● **Tab. 1**).

## Erkrankungen

Kostenberechnungen können für Erkrankungen vorgenommen werden, deren Auftreten mit nächtlichem Fluglärm stark assoziiert ist. Im Rahmen der Kostenprognose werden nur Erkrankungen, die sich in den Köln-Bonner-Untersuchungen [1] als bedeutsam erwiesen haben, berücksichtigt:

- ▶ Herz- und Kreislaufkrankheiten (Myokardinfarkt, koronare Herzkrankheit, Myokardinsuffizienz, Apoplex),
- ▶ Diabetes mellitus,
- ▶ Demenz und Alzheimer,
- ▶ Depression,
- ▶ Psychosen und Schizophrenie,

<sup>1</sup> Lärmkontor Hamburg GmbH Die ursprünglich für eine Beurteilungszeit von typischerweise 8 Nachtstunden berechnete Lärmbelastung wurde an die von Nachtflügen tatsächlich genutzten Stunden angepasst indem für diesen Zeitraum ein um 4 dB erhöhter Pegel angesetzt wurde.

- ▶ Bösartige Neubildungen (außer bösartige Neubildungen der Atmungsorgane)<sup>2</sup>.

Die Analysen wurden für beide Geschlechter kombiniert durchgeführt. In die Analysen der Kölner Datenbasis wurden Männer und Frauen ab dem 40. Lebensjahr einbezogen (N=531 172). Der Schätzung der Odds Ratios in den Köln-Bonner Studien lagen folgende Einflussfaktoren zugrunde:

- ▶ Nächtlicher Fluglärm (23–1 Uhr),
- ▶ Alter,
- ▶ Interaktion zwischen Alter und nächtlichem Fluglärm,
- ▶ Nächtlicher Straßenverkehrslärm,
- ▶ Nächtlicher Schienenlärm,
- ▶ Sozialhilfahäufigkeit des Ortsteils bzw. des Stadtteils,
- ▶ Dichte von Alten- und Pflegeheimplätzen bezogen auf die Bevölkerung ab dem 65. Lebensjahr,
- ▶ Fehlen der Möglichkeit der Finanzierung von Lärmschutz durch den Flughafen Köln-Bonn.

Bei sämtlichen kardiovaskulären Krankheiten in Kombination und bei Demenz und Morbus Alzheimer wurden zur Berechnung der Odds Ratios als Proxy-Variablen für kardiovaskuläre Risikofaktoren gleichzeitig oder vorhergehende spezifische Arzneiverordnungen berücksichtigt, die als Indikatoren für bestehende Risikofaktoren betrachtet werden können (Antihypertensiva, Lipidsenker, Insulin, orale Antidabetika, Antidepressiva, Neuroleptika).

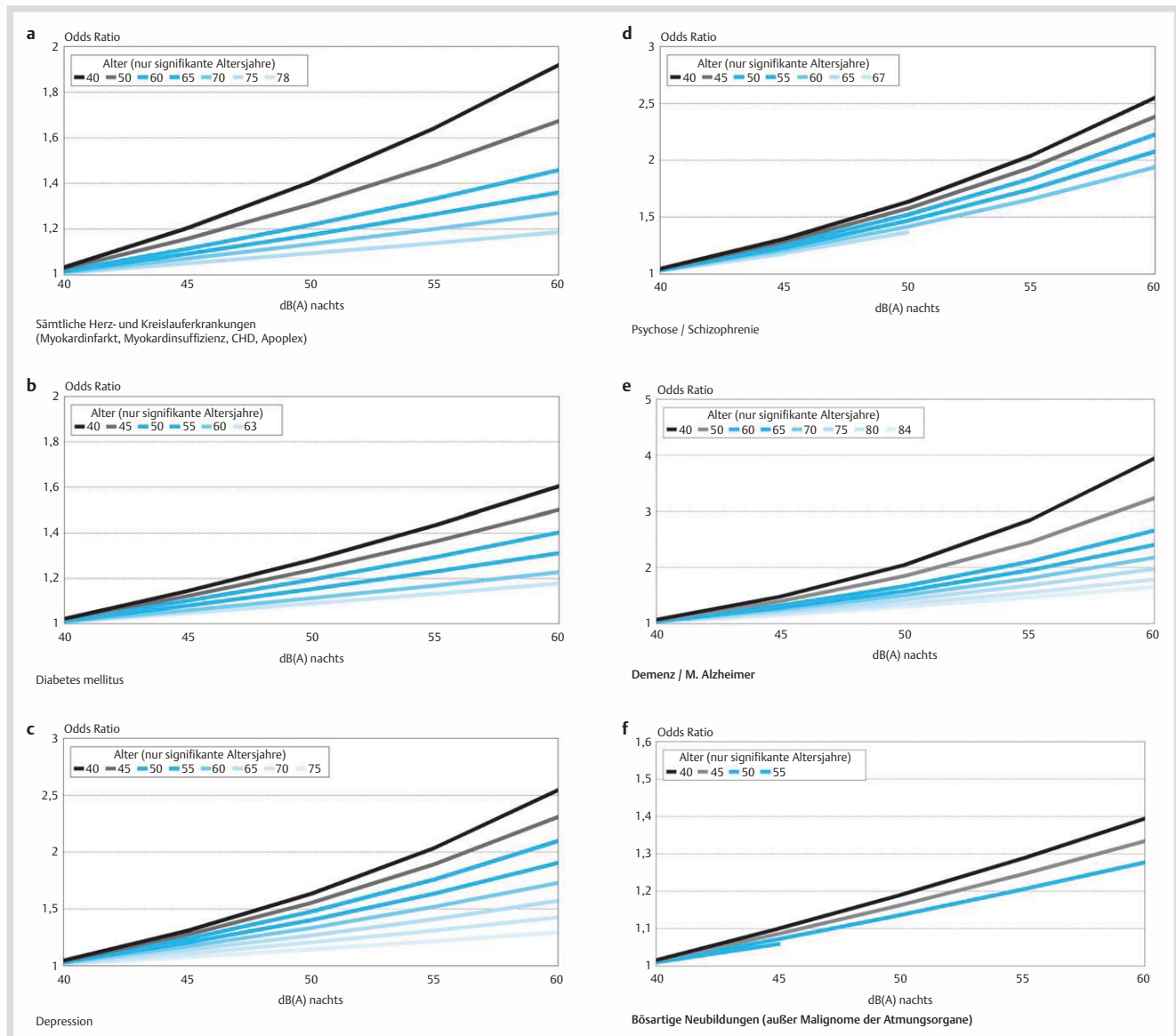
Die grafischen Darstellungen der Odds Ratios für die verschiedenen Krankheits-Entitäten finden sich in ● **Abb. 1**. Da der mit zunehmender Fluglärmexposition einhergehende Anstieg des Erkrankungsrisikos mit zunehmendem Alter abnimmt, sind die Odds Ratios lediglich für diejenigen Altersjahre dargestellt worden, bei denen die Odds Ratios statistisch signifikant erhöht waren.

## Schätzung der Krankheitskosten

Das Statistische Bundesamt führt seit 2002 Berechnungen der Krankheitskosten in 2-Jahres-Abständen durch. Dabei werden aus verschiedenen Datenquellen Kostenarten zusammengeführt und nach Diagnosegruppen ausgewertet. Diese Berechnungen sind online verfügbar [4]. Für die Kostenermittlung wurden den Autoren vom Statistischen Bundesamt für das Kalenderjahr 2008 Krankheitskosten für beide Geschlechter in 10-Jahres-Altersgruppen zur Verfügung gestellt. Analog zum Anteil der Prävalenz der untersuchten Diagnosegruppen in 1-Jahres-Altersklassen wurden die Kosten für 1-Jahres-Altersklassen geschätzt. Aus den Krankheitskostenrechnungen der Jahre 2002–2008 wurde eine Teuerungsrate geschätzt. Diese wurde bei der Schätzung der Krankheitskosten für die Jahre 2012–2021 fortgeschrieben. Die dem nächtlichen Fluglärm zuschreibbaren Kostenanteile (Attributivanteil) wurden für jede Diagnosegruppe jeweils für prävalente als auch für inzidente Erkrankungsfälle geschätzt. Dabei wurden jeweils nur solche Odds Ratios verwendet, deren Untergrenze des Vertrauensbereichs über 1.0 lag. Bei einer Prognose über mehrere Kalenderjahre ist neben der Teuerungsrate zusätzlich zu berücksichtigen, dass ein bestimmter Anteil von Erkrankten im Laufe eines Kalenderjahres verstirbt. Für das Gebiet der Bundesrepublik existieren Daten über das Überleben nach Diagnosestellung für längere Zeitperioden lediglich für Krebserkrankungen. Für Zwecke dieser Prognose wurden Überlebensraten des Tumorregisters München herangezogen [5].

<sup>2</sup> Da für alle Malignome der Atmungsorgane das Zigarettenrauchen einen überragenden Einfluss ausübt, wurde diese Gruppe von Diagnosen aus den Analysen ausgeschlossen.





**Abb. 1** Risikoerhöhung durch nächtlichen Fluglärm (23–1 Uhr) im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn bei Männern und Frauen im Alter ab 40 Jahren.

Für alle anderen analysierten Krankheitsgruppen musste auf internationale Literatur zurückgegriffen werden. Für Herz- und Kreislauferkrankungen wurden die Publikationen von Jhund et al. [6], Capewell et al. [7] und Schissel et al. [8] herangezogen, für Depressionen die Publikation von Chang et al. [9], für Psychosen und Schizophrenie die Publikation von Laursen et al. [10], für Demenz die Publikation von Rait et al. [11] und für Diabetes mellitus die Publikation von Gu et al. [12].

Aus den globalen Krankheitskosten nach den Angaben des Statistischen Bundesamtes wurden die Kosten pro Person durch Division der Kosten in den einzelnen Alterskategorien durch die Bevölkerung der Bundesrepublik im Jahre 2008 in den entsprechenden Altersklassen berechnet. Diese Berechnung ergab die Kosten pro Person (der Bevölkerung). Für das Umfeld des Flughafens Frankfurt war die Anzahl von Personen in jeder dB(A)-Belastungsklasse und für jede 1-Jahres-Altersklasse ermittelt worden (s. o.). Durch Multiplikation der entsprechenden Population mit den Kosten pro Person ergaben sich die Gesamtkosten für die jeweilige Altersklasse nach dB(A)-Belastungsklassen. Unter

Anwendung der Prävalenzraten wurde für jede dieser Klassen die Anzahl von prävalenten Erkrankungsfällen ermittelt. Die Division der Gesamtkosten durch die Anzahl der prävalenten Fälle ergab die Kosten pro Erkrankungsfall. Angewendet auf die attributablen prävalenten und inzidenten Erkrankungsfälle errechneten sich die attributablen Krankheitskosten.

### Schätzung von Attributiv-Fällen und attributabler Mortalität

Aus den 1-dB(A)-Belastungsklassen-Populationen wurde der attributable Anteil geschätzt:

$$AR = \frac{OR - 1}{OR},$$

wobei AR den Attributiv-Anteil und OR die Odds Ratio für die entsprechende 1-dB(A)-Belastungsklasse und die 1-Jahres-Altersgruppe bezeichnet. Der in den einzelnen Prognose-Jahren attributable Anteil von Verstorbenen wurde durch Anwendung



**Tab. 2** Prognose der Folgen nächtlichen Fluglärms auf Erkrankungsrisiken, Sterblichkeit und Krankheitskosten im Umfeld des Flughafens Frankfurt/Main für einen 10-Jahres-Zeitraum (2012–2021).

Herz- und Kreislauferkrankungen (Myokardinfarkt, Myokardinsuffizienz, koronare Herzkrankheit, Apoplex)									
Alter	€ Kosten/		Prävalenz			Inzidenz			
	Fall pro Jahr (2008)	Rate (%)	Anzahl (2012)	Attributive Erkrankungen 2012–2021	Attributive Todesfälle 2012–2021	Rate pro 1,00 pro Jahr	Attributive Erkrankungen 2012–2021	Attributive Todesfälle 2012–2021	Krankheitskosten kumulativ 2012–2021 (Millionen €)
40–44	8913	1,1	1157	253	44	<0,1	129	17	31,090
45–49	9124	2,3	2407	477	82	0,1	231	30	59,744
50–54	7122	4,1	3699	649	112	0,1	296	38	62,692
55–59	7824	6,6	5178	788	210	0,2	369	75	78,475
60–64	8752	8,8	6136	789	210	0,4	423	86	90,708
65–69	7160	13,1	8287	847	314	0,6	328	98	67,409
70–74	5645	19,8	13216	1031	435	1,0	–	–	49,368
75–79	8447	24,7	10477	52	0,0	1,5	–	–	0,439
Σ			50557	4886	1406		1775	343	439,93
<b>Diabetes mellitus</b>									
40–44	1943	1,0	1041	190	5	0,2	303	5	10,657
45–49	1989	2,1	2287	362	17	0,3	569	17	20,642
50–54	5165	3,9	3498	464	39	0,6	687	35	65,664
55–59	5674	6,5	5131	548	72	0,9	797	63	82,366
60–64	3677	8,0	5581	215	39	1,2	308	33	18,686
65–69	3008	10,4	6539	–	–	1,7	0	–	–
70–74	2359	12,8	8518	–	–	2,1	0	–	–
75–79	3529	12,3	5252	–	–	2,0	0	–	–
Σ	–	–	37848	1779	171	2,2	2665	153	198,02
Für alle mit „–“ bezeichneten Felder wurden keine Berechnungen vorgenommen, weil die entsprechenden Odds Ratios nicht signifikant waren.									
<b>Depression</b>									
40–44	6113	1,2	1188	379	7	0,2	512	6	6,660
45–49	6257	1,4	1514	442	8	0,2	625	7	8,112
50–54	5808	1,7	1556	408	13	0,3	600	11	70,378
55–59	6380	1,7	1351	313	15	0,3	493	14	60,868
60–64	5421	1,5	1078	216	15	0,3	383	16	37,369
65–69	4435	1,7	1066	174	13	0,3	347	16	25,938
70–74	2851	2,3	1522	197	21	0,4	359	28	19,703
75–79	4266	2,9	1206	40	6	0,5	214	13	7,770
Σ	–	–	10481	2169	97		3532	111	369,74
<b>Psychose/Schizophrenie</b>									
40–44	8549	0,6	641	244	7	0,1	306	5	44,608
45–49	8752	0,6	590	209	10	0,1	299	9	41,151
50–54	9233	0,6	524	170	14	0,1	268	13	36,334
55–59	10143	0,4	295	87	11	0,1	132	10	19,602
60–64	11048	0,4	268	70	14	0,1	119	14	17,380
65–69	9038	0,4	244	29	9	0,1	49	9	5,950
70–74	6545	0,4	274	–	–	0,1	0	–	–
75–79	9793	0,4	169	–	–	0,1	0	–	–
Σ	–	0,5	3006	809	64	0,1	1172	60	165,02
<b>Demenz/M. Alzheimer</b>									
40–44	3298	0,02	20	9	0	<0,01	19	0	0,936
45–49	4918	0,04	39	16	0	0,01	26	0	2,359
50–54	5739	0,07	65	25	1	0,01	41	1	4,284
55–59	6305	0,12	93	33	2	0,02	56	3	6,254
60–64	8121	0,25	169	56	6	0,04	111	7	14,597
65–69	6017	0,69	449	135	22	0,12	255	26	23,810
70–74	6834	2,02	993	274	58	0,33	466	63	50,785
75–79	10225	4,14	2060	505	169	0,70	857	188	127,89
80–84	13827	8,92	2671	558	272	1,58	276	86	109,88
Σ			6558	1610	531		2107	374	340,80
<b>Bösartige Neubildungen (außer Malignome der Atmungsorgane)</b>									
40–44	6902	0,8	848	109	15	0,1	187	20	21,529
45–49	4690	1,3	1425	159	21	0,2	217	23	19,199
50–54	5474	2,2	2052	194	35	0,3	–	0	14,691
55–59	6013	3,7	2881	7	1	0,5	–	0	0,570
60–64	7745	4,9	3378	–	–	0,8	–	–	–
65–69	4209	6,8	4223	–	–	1,1	–	–	–
70–74	4781	8,5	5684	–	–	1,4	–	–	–
75–79	7154	10,2	4341	–	–	1,7	–	–	–
80–84	9136	10,6	2713	–	–	1,8	–	–	–
Σ			27547	469	73		404	43	55,989





**Tab. 3** Prognose der auf nächtlichen Fluglärm zurückzuführenden Krankheits- und Todesfälle im Umfeld des Flughafens Frankfurt/Main für die Jahre 2012–2021 (Ergebnisse gerundet).

Erkrankung	Krankheitsfälle	...davon Todesfälle
Herz- und Kreislauferkrankungen	6 700	1 800
Diabetes mellitus	4 400	300
Depression	5 700	200
Psychose/Schizophrenie	2 000	100
Demenz/Morbus Alzheimer	3 700	900
Krebserkrankungen (außer bösartigen Neubildungen der Atmungsorgane)	900	100
Summe	23 400	3 400

der altersentsprechenden Letalitätsfraktion auf die Anzahl attributabler Erkrankungsfälle ermittelt.

## Ergebnisse

Die den Prognosen zugrunde liegenden Erkrankungsrisiken, wie sie aus den Daten der Fall-Kontroll-Studie im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn berechnet wurden, finden sich in den **Abb. 1a–f**. Dabei zeigt sich bei allen diagnostischen Entitäten ein mit zunehmendem Alter abnehmendes Exzessrisiko infolge Fluglärms. Dieses Phänomen ist vermutlich auf die mit zunehmendem Alter zunehmende Schwerhörigkeit zurückzuführen, da unterstellt werden kann, dass nur solche Lärmimpulse zu einer patho-physiologischen Reaktion des menschlichen Körpers führen, die über das Ohr noch wahrgenommen werden können. Dass die Altersschwelle bis zu der die logistischen Regressions statistisch signifikante Odds Ratios erbrachten bei den verschiedenen Krankheitsgruppen unterschiedlich ausfielen, dürfte sowohl von der Anzahl von Erkrankungen abhängen als auch von unterschiedlich starken Zusammenhängen zwischen nächtlichem Fluglärm und den entsprechenden Erkrankungen.

Da für die Berechnung der attributiven Erkrankungsfälle und der daraus abgeleiteten Krankheitskosten lediglich die signifikanten Odds Ratios herangezogen worden waren, ergeben sich daraus in den **Tab. 2** unterschiedliche Altersklassen, für die signifikante Fluglärmeffekte prognostiziert werden konnten.

Bei den Kosten schlagen am stärksten zu Buche Herz- und Kreislauferkrankungen (440 Millionen €), Demenz und Morbus Alzheimer (341 Millionen €) und Depressionen (370 Millionen €). Die Gesamtkosten belaufen sich auf knapp 1 570 Mrd. €.

Die infolge nächtlichen Fluglärms auftretenden Gesamtkosten von mehr als 1,5 Milliarden € im Prognosezeitraum 2012–2021 sind im Kontext der insgesamt prognostizierten Erkrankungs- und Todesfälle zu sehen (**Tab. 3**). Bezogen auf einen zusätzlichen Erkrankungsfall entstehen also in dem 10-Jahreszeitraum Exzesskosten von ca. 67 000 €. In dieser Summe sind lediglich die unmittelbar mit der Erkrankung zusammenhängenden Kosten enthalten, nicht jedoch Folgekosten durch Produktionsausfälle.

## Diskussion

Für die Kostenprognosen sind wissenschaftlich plausible und begründete Annahmen gemacht worden:

1. Die Bevölkerung im Umfeld des Flughafens Frankfurt weist hinsichtlich der untersuchten Krankheits-Entitäten vergleichbare Prävalenz- und Inzidenz-Raten auf wie die Bevölkerung im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn. Diese Annahme ist sinnvoll, da keine Befunde bekannt sind, die ihr widersprechen.
2. Die Bevölkerung im Umfeld des Flughafens Frankfurt reagiert in vergleichbarer Weise auf eine Belastung durch Fluglärm mit einer Erhöhung von Krankheitsrisiken wie die Bevölkerung im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn. Diese Annahme ist sinnvoll, da keine Daten bekannt sind, die ihr widersprechen.
3. Die Belastung der Bevölkerung im Umfeld des Flughafens Frankfurt ist vergleichbar der Belastung der Bevölkerung im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn. Dies belegt ein Vergleich der nächtlichen Belastungssituationen der beiden Flughäfen.

Ad 1 und ad 2: Es liegen bislang keine Daten über Krankheitshäufigkeiten oder Neuerkrankungsraten im Umfeld des Flughafens Frankfurt vor. Sollten diese in Zukunft verfügbar werden, wären noch genauere Prognosen möglich.

Ad 3: Für die 6 verkehrsreichsten Monate des Jahres 2004 wurden für den Flughafen Köln-Bonn für die gesamte Nacht (22–6 Uhr) 83,3 Flugbewegungen ermittelt. In Frankfurt fanden in den 6 verkehrsreichsten Monaten (2005) 162,9 Flugbewegungen pro Nacht statt. Die Statistik des Flughafens Frankfurt weist für den Monat Juli 2012 für den Zeitraum von 23 bis 5 Uhr insgesamt 183 Flugbewegungen auf. Die Anzahl der nächtlichen Flugbewegungen ist infolge des Urteils des Bundesverwaltungsgerichts in den Nachtrandstunden (22–23 Uhr sowie 5–6 Uhr) im Jahresmittel auf nunmehr 133 begrenzt worden. Trotzdem läge die nächtliche Belastung für das Umfeld des Frankfurter Flughafens unter diesen Rahmenbedingungen immer noch über der des Flughafens Köln-Bonn im Jahre 2004.

Für die Schätzung der Risiko-Erhöpfung durch nächtlichen Fluglärm im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn wurde das Zeitfenster 23–1 Uhr ausgewählt. Bei einem Vergleich der Risiko-Erhöpfung unter Zugrundelegung der Dauerschallpegel verschiedener Zeitfenster während der Nacht (23–1 Uhr, 3–5 Uhr, 22–6 Uhr) zeigte sich, dass die Lärmbelastung während der Zeit zwischen 23–1 Uhr die höchsten Steigerungen für das Risiko von Erkrankungen des Herzens und des Kreislaufs mit sich brachte. Publikationen belegen, dass eine Störung des Schlafs in der ersten Nachthälfte in besonderer Weise zur Beeinflussung der circadianen Variabilität des Cortisolspiegels beim Menschen führen kann [13–15]. Ein erhöhter Cortisolspiegel führt akut zu einer Blutdrucksteigerung, chronisch erhöhter Cortisolspiegel kann seinerseits mit Bluthochdruck assoziiert werden.

Deshalb erscheint es sinnvoll, die Risikokoeffizienten der Fall-Kontroll-Studie im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn [1], die für den Zeitraum 23–1 Uhr berechnet worden waren, auf den Zeitraum von 22–23 im Umfeld des Flughafens Frankfurt anzuwenden. Die tatsächliche Lärmbelastung während der ersten Nachthälfte liegt in jedem Fall deutlich über der Lärmbelastung zwischen 23 und 1 Uhr im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn.

Die aus den Flugdaten des Jahres 2004 im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn ermittelten Risikokoeffizienten unterschätzen vermutlich die tatsächlichen Risikoerhöhungen durch nächtlichen Fluglärm, weil als Berechnungsbasis die fiktiven Flugrouten zugrunde gelegt wurden. Da es üblich ist, dass Fluglotsen den Piloten in einer unbestimmten Anzahl von Fällen Abweichungen von den fiktiven Flugrouten und Flughöhen gestatten ist davon auszugehen, dass tatsächlich eine größere Bevölkerung, als aufgrund der fiktiven Flugrouten berechnet wurde, nächtlichem



Fluglärm exponiert wurde. In den auf der Basis dieser Daten durchgeführten logistischen Regressionen würden solcherweise exponierte Personen fälschlicher Weise als geringer bzw. überhaupt nicht belastet klassifiziert werden. Eine solche Fehlklassifikation der Exposition führt in jedem Fall zu einer Unterschätzung realer Erkrankungsrisiken.

Die Anwendung der Köln-Bonner Risikokoeffizienten auf die als belastet berechnete Population um den Frankfurter Flughafen führt zu einer weiteren Unterschätzung der Risiken, weil die Fehlklassifikation zum zweiten Mal zum Tragen kommt wegen der Berechnung der belasteten Population mithilfe fiktiver Flugrouten. Eine weitere Unterschätzung ist für die Prognosewerte deswegen gegeben, weil die Effekte der neu in Betrieb genommenen Nordwest-Landebahn außer Acht gelassen werden mussten.

Weder für die Berechnung der Risikokoeffizienten im Rahmen der Fall-Kontroll-Studie im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn [1] noch für die mit Fluglärm belastete Population im Umfeld des Flughafens Frankfurt waren Informationen über die Wohndauer verfügbar. Dieses führt zu einer weiteren Fehlklassifikation der realen Exposition. Allerdings führt auch diese Fehlklassifikation zu einer Unterschätzung möglicher Exzessrisiken. Dieser Effekt wurde unter anderem in der Schweizer Mortalitätsstudie [3] deutlich. Dort fanden sich in einer Untergruppe von Personen mit längerer Wohndauer signifikant höhere Exzessrisiken für die Sterblichkeit an akutem Herzinfarkt als in der Gesamtpopulation.

Zusätzlich zum Fehlen von Daten über die Wohndauer war auch über die Mobilität der Bevölkerung im Bezug auf Wohnsitze nichts bekannt. Diese Defizite sind als nicht-differentieller Bias der Exposition zu klassifizieren. Ein solcher Bias führt in jedem Fall zur Unterschätzung möglicher Exzessrisiken. Es wäre hilfreich gewesen, wenn Daten zur Verfügung gestanden hätten, die die Schätzung einer Latenzzeit zwischen erster Exposition gegenüber Fluglärm und Auftreten der untersuchten Erkrankungen erlaubt hätten. Eine solche Analyse wäre möglich gewesen, wenn ausschließlich die Erkrankungsrisiken von Personen untersucht worden wären, die an einem definierten Zeitpunkt in ein durch Fluglärm belastetes Gebiet ihren Wohnsitz verlegt hätten. Derartige Daten standen für die von uns durchgeführte Studie nicht zur Verfügung. Es findet sich eine derartige Analyse auch in keiner der in den letzten Jahrzehnten publizierten Studien zu möglichen Gesundheitsgefährdungen durch Fluglärm. Die Autoren weniger Studien [2, 3] konnten Analysen unter Berücksichtigung von unterschiedlichen Wohndauern durchführen.

Bei der Diskussion möglicher Kausalbeziehungen zwischen der Exposition gegenüber Fluglärm und Erkrankungsrisiken kann deswegen das Kriterium der Temporalität nicht als erfüllt angesehen werden. Dieses Defizit findet sich in der Umweltepidemiologie jedoch fast ubiquitär.

Da lediglich für Herz- und Kreislauferkrankungen eine Kausalbeziehung zur Exposition gegenüber Fluglärm gesichert ist, müssen Risikoschätzungen für psychische Erkrankungen, maligne Neubildungen oder Diabetes mellitus mit einem gewissen Vorbehalt betrachtet werden. Allerdings existieren für diese Erkrankungen keine plausiblen Alternativ-Hypothesen zur Erklärung von Risikoerhöhungen in durch Fluglärm belasteten Regionen. Allerdings geben Ergebnisse mehrerer Studien Hinweise darauf, dass bei verkürzter Schlafdauer das Risiko für Diabetes mellitus ansteigt [16, 17].

Für die Berechnung der Stärke der Exposition gegenüber Fluglärm sind lediglich die Flugbewegungen der 6 verkehrsreichsten

Monate des Jahres 2004 zugrunde gelegt worden. Eine geringere bzw. größere Anzahl von Flugbewegungen in den Jahren vor 2004 bzw. nach 2004 dürfte für die Berechnung der regionalen Lärmparameter von relativ geringer Bedeutung sein, weil erst bei einer Verdopplung von Flugbewegungen ein Anstieg der berechneten Lärmpegel um 3 dB(A) resultieren würde. Die Entwicklung der Anzahl von Flugbewegungen zwischen 1991 und 2011 zeigt relativ starke Schwankungen von Jahr zu Jahr, die jedoch vom Ausgangswert im Jahre 1991 (N=118283) um maximal 31,6% im Jahre 2000 ansteigen, um danach wieder abzufallen [18].

Bei der Diskussion der Schätzung von attributablen Todesfällen muss berücksichtigt werden, dass bis auf Krebserkrankungen keine Datenquelle und keine Publikation zur Verfügung stand, aus der für Deutschland Überlebensraten hätten abgeleitet werden können.

Die dargestellten Kostenschätzungen könnten präziser erfolgen, wenn analog zu der Fall-Kontroll-Studie im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn die Ergebnisse einer methodisch vergleichbaren Fall-Kontroll-Studie vorgelegen hätte oder wenn wenigstens Daten zur Prävalenz und Inzidenz relevanter Erkrankungen vorgelegen hätte. Diese Daten stehen aber gegenwärtig nicht zur Verfügung. Es ist allerdings kaum anzunehmen, dass eine *lege artis* geplante und durchgeführte epidemiologische Studie auf der Basis von Originaldaten von Versicherten im Umfeld des Frankfurter Flughafens zu grundlegend anderen Ergebnissen kommen würde.

Mittelbar zu den hier prognostizierten sozialen Kosten hinzuzurechnen wären Subventionen, die dem Flugverkehr durch Verzicht auf eine Besteuerung von Kerosin zu Gute kommen. Dieser Verzicht machte für die gesamte Bundesrepublik allein im Jahre 2011 4,8 Mrd. € aus [19].

Demgegenüber stehen positive wirtschaftliche Effekte, die noch zu beziffern wären. Es sollte Aufgabe politischer Entscheidungsträger sein, eine Abwägung zwischen sozialen Kosten und wirtschaftlichen Effekten durchzuführen und gegenüber der Bevölkerung zu vertreten.

In diesem Zusammenhang mit den Ergebnissen der hier vorgelegten Prognose ist auf die Publikation einer Studie hinzuweisen, die im Umfeld des Flughafens Frankfurt durchgeführt wurde [20]. Die Ergebnisse dieser Studie werden von den Autoren der Publikation dahingehend interpretiert, dass kein Zusammenhang zwischen nächtlichem Fluglärm und irgendeiner relevanten Erkrankung bestehen könnte. Allerdings zeigten die Detailergebnisse dieser Studie, dass mit zunehmendem nächtlichem Fluglärm das Risiko für relevante Erkrankungen und Arzneiverordnungen dieser Erkrankungen signifikant abnehmen. Dieses gilt für Bluthochdruck, Myokardinsuffizienz, mehr als 2 Erkrankungen, blutdrucksenkende Arzneimittel, mehr als 2 verschiedene Arzneimittel. Diese Befunde einer mit zunehmendem nächtlichem Fluglärm geringeren Krankheitshäufigkeit sind bislang weltweit einzigartig. Es ist zu vermuten, dass die erheblichen Designdefizite dieser Studie zu diesen bizarren Ergebnissen beigetragen haben könnten. Wären die Ergebnisse dieser Studie wissenschaftlich belastbar, würden folgerichtig auch keine zusätzlichen Erkrankungsfälle oder Exzesskosten resultieren können.

**Interessenkonflikt:** Die Autoren erklären, dass kein Interessenkonflikt besteht. Eberhard Greiser hat im Auftrag des Umweltbundesamtes 2 Forschungsvorhaben abgeschlossen zum möglichen Zusammenhang von nächtlichem Fluglärm und Gesundheit (1. „Beeinträchtigung durch Fluglärm: Arzneimittelver-



brauch als Indikator für gesundheitliche Beeinträchtigungen“. FKZ 205 51 100. 2005–2006. 2. „Risikofaktor nächtlicher Fluglärm“. FKZ 3708 51 101. 2008–2009.). Das erste dieser Forschungsprojekte wurde durch den Rhein-Sieg-Kreis, verschiedene Gemeinden des Rhein-Sieg-Kreises und die Ärzte-Initiative für ungestörten Schlaf e.V. kofinanziert.

Gegenwärtig wird unter der Leitung von Eberhard Greiser im Auftrag des Umweltbundesamtes ein weiteres Forschungsprojekt durchgeführt („Umweltlärm und Gesundheitsgefährdung am Beispiel Bremen“. FKZ 3710 61 170). Bei diesem Forschungsprojekt erfolgt eine Kofinanzierung durch den Senator für Gesundheit der Freien Hansestadt Bremen.

## Literatur

- 1 Greiser E, Greiser C. Risikofaktor nächtlicher Fluglärm. Abschlussbericht über eine Fall-Kontroll-Studie zu kardiovaskulären und psychischen Erkrankungen im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. (FKZ 3708 51 101). Schriftenreihe Umwelt und Gesundheit 01/2010
- 2 Jarup L, Babisch W, Houthuijs D *et al.* On behalf of the HYENA study team. Hypertension and exposure to noise near airports: The HYENA Study. *Environ Health Perspect* 2008; 116: 329–333
- 3 Huss A, Spoerri A, Egger M *et al.* Aircraft noise, air pollution, and mortality from myocardial infarction. *Epidemiology* 2010; 21: 829–836
- 4 Link [http://www.gbebund.de/oowa921/istall/servlet/oowa/aw92/WS0100/\\_XWD\\_FORMPROC?TARGET=&PAGE=\\_XWD\\_534&OPINDEX=14&HANDLER=\\_XWD\\_CUBE.SETPGS&DATACUBE=\\_XWD\\_560&D.000=3730&D.003=43](http://www.gbebund.de/oowa921/istall/servlet/oowa/aw92/WS0100/_XWD_FORMPROC?TARGET=&PAGE=_XWD_534&OPINDEX=14&HANDLER=_XWD_CUBE.SETPGS&DATACUBE=_XWD_560&D.000=3730&D.003=43)
- 5 [http://www.tumorregister-muenchen.de/facts/specific\\_analysis.php](http://www.tumorregister-muenchen.de/facts/specific_analysis.php)
- 6 Jhund PS, MacIntyre K, Simpson CR *et al.* Long-term trends in first hospitalization for heart failure and subsequent survival between 1986 and 2003. A population study of 5.1 million people. *Circulation* 2009; 119: 515–523
- 7 Capewell S, Kivimäki BM, MacIntyre K *et al.* Trends in case-fatality in 117,718 patients admitted with acute myocardial infarction in Scotland. *Eur Heart J* 2000; 21: 1833–1840
- 8 Schissel C, Berger AK, Luepker RV *et al.* Trends in nine-year survival of stroke patients between 1980 and 2000. The Minnesota Stroke Survey. Abstract MP 080. *Circulation* 2012; 125: AMP080
- 9 Chang CK, Hayes RD, Broadbent M *et al.* All-cause mortality among people with serious mental illness (SMI), substance use disorders, and depressive disorders in southeast London: a cohort study. *BMC Psychiatry* 2010; 10: 77
- 10 Laursen TM, Munk-Olsen T, Nordentoft M *et al.* Increased mortality among patients admitted with major psychiatric disorders: A register-based study comparing mortality in unipolar depressive disorder, bipolar affective disorder, schizoaffective disorder, and schizophrenia. *J Clin Psychiatry* 2007; 68: 899–907
- 11 Rait G, Walters K, Bottomley C *et al.* Survival of people with clinical diagnosis of dementia in primary care: a cohort study. *BMJ* 2010; 341: c3584
- 12 Gu K, Cowie KC, Harris MI. Mortality in adults with and without diabetes in a national cohort of the U.S. population 1971–1993. *Diabetes Care* 1998; 21: 1138–1145
- 13 Balbo M, Leproult R, van Cauter E. Impact of sleep and its disturbances on hypothalamo-pituitary-adrenal axis activity. *Int J Endocrinol* 2010, doi:10.1155/2010/759234
- 14 Stamatakis KA, Punjabi NM. Effects of sleep fragmentation on glucose metabolism in normal subjects. *Chest* 2010; 137: 95–101
- 15 von Treuer K, Norman TR, Armstrong SM. Overnight human plasma melatonin, cortisol, prolactin, TSH, under conditions of normal sleep, sleep deprivation, and sleep recovery. *J Pineal Res* 1996; 20: 7–14
- 16 Mallon L, Broman JE, Hetta J. High incidence of diabetes in men with sleep complaints or short sleep duration. *Diabetes Care* 2005; 28: 2762–2767
- 17 Cappuccio FP, Strazzullo P, D'Elia L *et al.* Quantity and quality of sleep and incidence of type 2 diabetes. A systematic review and meta-analysis. *Diabetes Care* 2010; 33: 414–420
- 18 Link Homepage des Flughafens Köln-Bonn, Access am 4.1.2013; [www.koeln-bonn-airport.de/unternehmen/daten-fakten.html](http://www.koeln-bonn-airport.de/unternehmen/daten-fakten.html)
- 19 Deutscher Bundestag. Drucksache 17/10724. Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Lisa Paus, Sven-Christian Kindler, Stephan Kühn, und weiterer Abgeordneter der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN – Drs: 17/10587) Subventionsabbau im Luftverkehr
- 20 Schreckenberg D, Eikmann TF, Herr CEW *et al.* Fluglärm und Gesundheit in der Main-Rhein-Region 2005. Ergänzende Auswertungen der RDF-Belastungsstudie um die Fragen zur Gesundheit. Amt für Gesundheit, Frankfurt am Main. 16.3.2009

