

# Fluglärmstudie COSMA am Flughafen Köln/Bonn

Wie belästigt sind die Anwohner und welche Einstellungen haben sie zum naheliegenden Flughafen und Flugverkehr?

Susanne Bartels, Uwe Müller, Köln

**Zusammenfassung** In einer Telefonstudie mit 1 262 Anwohnern aus sechs Gebieten im Umfeld des Flughafens Köln/Bonn ( $M = 58,6$  Jahre,  $SD = 15,5$  Jahre, 61,8 % weiblich) wurden im Jahr 2010 die Belästigung durch Fluglärm sowie die Einstellungen und Ansichten, welche die Anwohner zu „ihrem“ Flughafen haben, untersucht. Aufgrund des hohen nächtlichen Verkehrsaufkommens am Flughafen Köln/Bonn wurde neben der allgemeinen Belästigung durch Fluglärm auch die Belästigung zu bestimmten Tageszeiten einschließlich der Nachtzeit erhoben. Daneben hatten die Interviewteilnehmer mittels offener Fragen die Möglichkeit, die aus ihrer Sicht positiven und negativen Aspekte des Flughafens und des lokalen Flugverkehrs sowie Vorschläge für Maßnahmen zur Verbesserung der Lebensqualität aufzulisten. Ein Vergleich mit der aktuellen Expositions-Wirkungskurve der EU zeigte, dass die Köln/Bonner Belästigungsprävalenzraten deutlich höher sind als von der EU-Kurve vorhergesagt. Die aktuellen Daten folgen eher dem Verlauf der kürzlich im Rahmen eines Reviews für die WHO veröffentlichten Kurven. Besonders hohe Belästigung wird für die Nachtstunden berichtet. Ein Großteil der Antworten auf die offenen Fragen hatte einen Bezug zum Nachtflugverkehr. Es bestand ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Nennung von negativen Aspekten und Verbesserungsvorschlägen, welche sich auf nächtlichen Flugverkehr beziehen, und der berichteten Fluglärmbelästigung. Die Ergebnisse zeigen (zumindest für Flughäfen mit signifikantem Nachtfluglärm) den großen Einfluss der Wahrnehmung nächtlichen Flugverkehrs auf die berichtete Fluglärmbelästigung.

Obwohl Flugzeuge heutzutage wesentlich leiser sind als vor Jahrzehnten, nimmt die Belästigung durch den Fluglärm zu. Mehrere Reviews [1-3] über Studien der vergangenen 20 Jahre zeigten starke Abweichungen der Prävalenzraten für Hochbelästigte von der EU-Kurve [4,5], deren Datenbasis sich auf Studien der 1960er bis 1990er Jahre stützt. Gründe für höhere Belästigungsprävalenzen wurden ausführlich diskutiert [vgl. 1,6,7]. Einer unter mehreren entscheidenden Faktoren scheint die Differenzierung zwischen sogenannten High Rate Change- (HRC) und Low Rate Change- (LRC) Flughäfen zu sein. Nach einer Definition von Janssen und Guskı [8] zeichnen sich HRC-Flughäfen aus durch abrupte Änderungen im Flugaufkommen innerhalb der vergangenen drei Jahre oder den Beschluss und die Ankündigung von Änderungen oder zumindest die öffentliche Diskussion darüber. Auf LRC-Flughäfen treffen diese Kriterien nicht zu. Für eine ausführliche Definition siehe [8]. Einige Autoren führen den Anstieg der Belästigungsprävalenzen in Studien der vergangenen 20 Jahre allein auf die Tatsache zurück, dass in jüngerer Vergangenheit Studien an HRC-Flughäfen überrepräsentiert waren. Ein zeitlicher Trend sei demzufolge nicht zu erkennen [9]. In ihrem aktuellen Review im Auftrag der WHO konnten Guskı et al. [3] jedoch zeigen, dass selbst LRC-Flughäfen in Studi-

## Aircraft noise annoyance study COSMA: How annoyed are residents of Cologne/Bonn Airport and what do they think about the local airport?

**Abstract** A telephone study with 1 262 residents from six areas in the vicinity of Cologne/Bonn Airport ( $M = 58.6$  years,  $SD = 15.5$  years, 61.8 % female) examined annoyance due to aircraft noise as well as residents' attitudes towards "their" local airport. Because of the high nocturnal air traffic volume, both overall annoyance and annoyance during certain times including night-time were assessed. In addition, via open questions, respondents had the opportunity to mention positive and negative sides of the airport and to make suggestions for actions the airport could undertake to improve airport residents' quality of life. A comparison of the data from the present study with the current EU standard exposure response-curve showed higher annoyance rates for Cologne/Bonn. The present data rather follow the trend of the curves which were recently published in a WHO review. Particularly high annoyance was reported for night-time. A considerable amount of answers to the open questions were related to the night-time traffic at Cologne/Bonn Airport. A significant correlation was found between annoyance and answers which referred to nocturnal air traffic. Results point at the high impact of the negative evaluation of night-time traffic on overall annoyance – at least for airports with significant nocturnal aircraft noise exposure.

en seit 2000 höhere Belästigungswerte hervorbringen als von der EU-Kurve vorhergesagt, auch wenn die Abweichungen nicht so stark waren wie für HRC-Flughäfen. In den Ergebnissen des Reviews wird jedoch auch deutlich, dass selbst nach Einteilung in HRC- und LRC-Flughäfen und der Erstellung von entsprechenden separaten Expositions-Wirkungskurven die Belästigungsdaten sehr stark um die Kurven streuen. Starke Moderatoren der Beziehung zwischen Lärmbelastung und Belästigung und damit Grund für diese große Streuung sind soziale und persönliche Faktoren [10-13]. Neben der generellen Empfindlichkeit gegenüber Lärm werden Einstellungen (einschl. Erwartungen und Befürchtungen) eines Lärmbetroffenen gegenüber dem Flugverkehr und den Lärmverantwortlichen als bedeutendster Prädiktor für chronische Belästigung betrachtet [10,11,14].

Der vorliegende Aufsatz beschreibt eine Telefonstudie im Umfeld des Flughafens Köln/Bonn (CGN) aus dem Jahr 2010, welche die Erhebung der Belästigung durch Fluglärm zum Ziel hatte. Der Flughafen Köln/Bonn kann als LRC-Flughafen kategorisiert werden. Er besitzt jedoch die Besonderheit, dass Flugverkehr nahezu uneingeschränkt in der Zeit zwischen 22.00 und 6.00 Uhr stattfindet. Aus diesem Grund wurde die Fluglärmbelästigung für die Nacht sowie im Tagesverlauf ebenfalls in der

Studie untersucht. Die Telefonstudie fällt in das Zeitfenster, in dem auch die Studien durchgeführt wurden, auf denen die Expositions-Wirkungskurven des WHO-Reviews basieren. Die Köln/Bonner Daten gingen jedoch nicht in die Entwicklung der Kurven ein. Sie sollen an dieser Stelle mit der vorgeschlagenen allgemeinen Kurve sowie mit den Kurven für High Rate Change- (HRC) und Low Rate Change- (LRC) Flughäfen [3] verglichen werden. Darüber hinaus werden die Belastungsdaten aus der vorliegenden Studie der derzeit gültigen EU Expositions-Wirkungskurve [4,5] gegenübergestellt. Die ausschließliche Berücksichtigung der Hochbelastigten birgt jedoch die Gefahr, einen Anstieg der Zahl derer, die moderat belastigt sind, außer Acht zu lassen und somit die Belastigung bei Flughafenanwohnern zu unterschätzen [6]. Es werden daher nicht nur der Anteil der hochbelastigten Personen (% Highly Annoyed, %HA) entsprechend des EU-Positionspapiers [4] sondern auch der Anteil der belastigten (% Annoyed, %A) und geringbelastigten Anwohner (% Little Annoyed, % LA) gemäß der Empfehlungen von Miedema und Oudshoorn [5] beleuchtet.

Der Aufsatz beinhaltet außerdem eine ausführliche Betrachtung von qualitativen Erhebungen zu den Ansichten und Erwartungen der Anwohner in Bezug auf den Flughafen und den Flugverkehr im Raum Köln/Bonn. Diese sind die aus der Sicht der Anwohner positiven und negativen Aspekte des Flughafens und lokalen Flugverkehrs sowie Vorschläge für Maßnahmen des Flughafens zur Verbesserung der Situation der Anwohner. Die Antworten auf die offenen Fragen werden hinsichtlich ihrer Nennungshäufigkeit und ihrer Korrelation zum Belastigungsurteil untersucht. Ziel ist es, Hinweise darauf zu erhalten, welche konkreten Einstellungen und Erwartungen für die Bildung des Belastigungsurteils von Bedeutung sind. Die vorgestellte Studie wurde im Rahmen des EU-Projekts COSMA (Community Oriented Solutions to Minimise aircraft noise Annoyance) durchgeführt. Das Projekt hatte die Aufdeckung der wesentlichen Einflussvariablen des Belastigungsurteils zum Ziel. Die Ergebnisse der Telefonstudie und einer nachfolgenden Vertiefungsstudie im Feld sollen genutzt werden, um Maßnahmen zur Reduzierung der Belastigung durch Fluglärm bei Flughafenanwohnern zu entwickeln.

## Methodik

### Untersuchungsgebiete

Der Flughafen Köln/Bonn ist ein bedeutender Passagier- und Frachtflughafen (drittgrößtes Frachtvolumen nach Leipzig/Halle und Frankfurt) und besitzt keine generelle Kernruhezeit oder ein Nachtflugverbot. Etwa ein Viertel der täglichen Flugbewegungen findet im Zeitraum zwischen 22.00 und 6.00 Uhr statt<sup>1)</sup>. Nachdem ab 1990 das Fluggastaufkommen und das umgesetzte Frachtvolumen kontinuierlich stark zugenommen hatten, blieben die Zahlen seit etwa 2007 relativ konstant. Der Flughafen Köln/Bonn wird als Low Rate Change-Flughafen klassifiziert [8], da es in den vergangenen zwei Jahrzehnten keinen sprunghaften Anstieg der Flugbewegungen gab und große Änderungen im operationellen Betrieb weder vollzogen noch geplant worden sind. Allerdings gab und gibt es immer wieder öffentliche Diskussionen darüber, ob und wie lange die bestehende Nachtflugregelung verlängert werden darf. Die in der Telefonstudie untersuchten Gebiete lagen zwischen 0,5 und ca. 20 km entfernt vom Flughafen. Die Fluglärmbelastung wurde durch den A-bewerteten energieäquivalenten Dauerschallpegel ( $L_{Aeq}$ ) für die sechs verkehrsreichsten Monate im Jahr definiert. Alle  $L_{Aeq}$ -Werte wurden einer Lärmkonturkarte in 5 dB-Schritten entnommen, die

vom Flughafen bereitgestellt wurde. Es lagen  $L_{Aeq}$ -Werte für die Tagesbelastung (d.h. 6.00 bis 22.00 Uhr) sowie für die Belastung während der Nacht (d.h. 22.00 bis 6.00 Uhr) vor.

### Stichprobe

Die 1 262 Teilnehmer im Alter von 18 bis 95 Jahren ( $M = 58,6$  Jahre,  $SD = 15,5$  Jahre; 61,8 % weiblich) wurden aus einem Pool von Telefonnummern von Anwohnern der Untersuchungsgebiete zufällig ausgewählt. Eine Teilnahme am Interview war ab einem Alter von 18 Jahren möglich. Die Teilnahme wurde nicht vergütet. Von den Personen, die telefonisch erreicht werden konnten, schlossen 33,7 % die Befragung ab. Die Interviews wurden zwischen Mitte Juli und Mitte Oktober 2010 durch Mitarbeiter des Leibniz-Instituts für Arbeitsforschung an der TU Dortmund (IfADo) in Dortmund geführt.

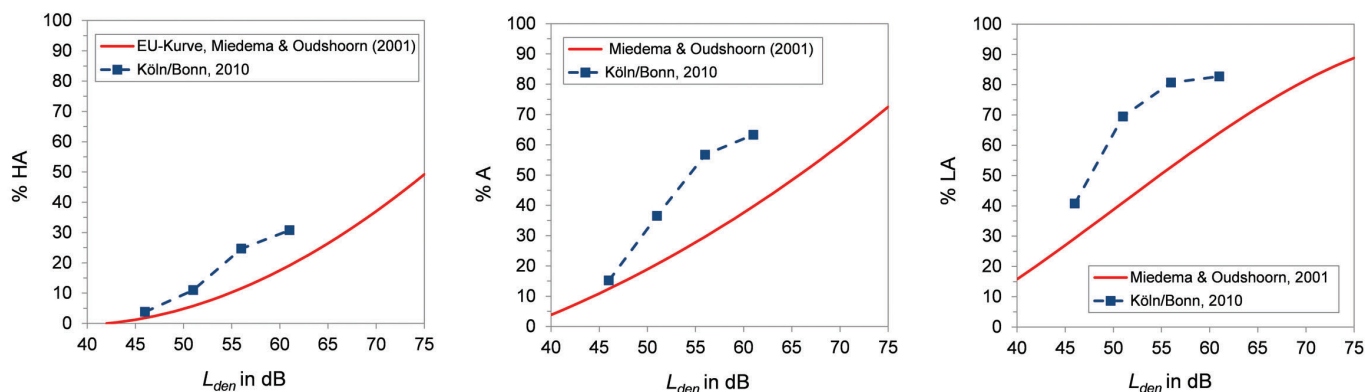
### Fragebogen

Die Fluglärmbelastung wurde gemäß der Empfehlung der International Commission on the Biological Effects of Noise (ICBEN) mit der Frage erhoben „Wenn Sie einmal an die letzten 12 Monate bei Ihnen zu Hause denken, wie stark haben Sie sich durch Fluglärm insgesamt gestört oder belastigt gefühlt?“ [16,17]. Zur Beantwortung diente die fünfstufige, verbale Skala „äußerst“, „stark“, „mittelmäßig“, „etwas“ und „überhaupt nicht“. Die Antwortoptionen wurden der einen (zufällig ausgewählten) Hälfte der Befragten in absteigender [16] und der anderen Hälfte in aufsteigender Reihenfolge [17] präsentiert, um potentielle Skaleneffekte auf das Antwortverhalten auszubalancieren. Die nächtliche Fluglärmbelastung wurde mit Hilfe derselben Skala und Frage erhoben, allerdings mit der Ergänzung „zwischen 22.00 und 6.00 Uhr?“.

Zusätzlich wurde mittels einer offenen Frage, die auch Mehrfachnennungen zuließ, erhoben, zu welchen Tageszeiten der Fluglärm von den Betroffenen als besonders belastigend empfunden wird. Offene Fragen dienten darüber hinaus zur Erhebung der Einstellungen und Erwartungen der Anwohner zum naheliegenden Flughafen und Flugverkehr. Folgende Fragen wurden diesbezüglich gestellt: (a) „Gibt es aus Ihrer Sicht konkrete positive Aspekte des Flughafens und des Flugverkehrs? Welche sind das?“ (b) „Gibt es aus Ihrer Sicht konkrete negative Aspekte des Flughafens und des Flugverkehrs? Welche sind das?“ (c) „Haben Sie irgendwelche Vorschläge, was der Flughafen für Sie tun könnte? Welche sind das?“. Für die Erfassung der Antworten auf offene Fragen lagen dem Interviewer Antwortkategorien vor. Für darüber hinausgehende Antworten bestand die Möglichkeit einer Freitexteingabe.

Der in der Telefonstudie eingesetzte Fragebogen erhob darüber hinaus zahlreiche Faktoren, von denen eine moderierende Wirkung auf den Zusammenhang zwischen Fluglärmexposition und Belastigung angenommen wurde. Diese umfassten u.a. die allgemeine Empfindlichkeit gegenüber Lärm, die Zufriedenheit mit der Wohngegend, Coping-Maßnahmen sowie demographische Daten. Der vollständige Fragebogen sowie weitere Analysen zu den wichtigsten Prädiktoren des Belastigungsurteils sind zu finden bei [18]. Das Interview umfasste maximal 43 Fragen. Die mittlere Interviewdauer lag bei 10 min 46 s.

<sup>1)</sup>Die Daten stammen aus Flugbewegungsaufzeichnungen des Flughafens Köln/Bonn für den Zeitraum Juni bis November 2011, die im Rahmen der Vertiefungsstudie [vgl. 15] bereitgestellt wurden.



**Bild 1a-c.** Vergleich der Belästigungsdaten am Flughafen Köln/Bonn mit der aktuellen EU-Expositions-Wirkungskurve für Hochbelästigte (% HA, Bild 1a) [4,5] sowie mit den Kurven für Belästigte (% A, Bild 1b) und Geringbelästigte (% LA, Bild 1c) nach Miedema und Oudshoorn [5].

## Ergebnisse

### Status quo der Belästigung

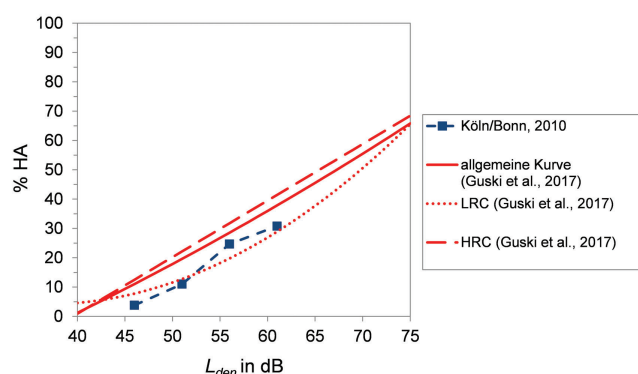
Um die Belästigungsdaten der Köln/Bonner Stichprobe mit den Standard-Kurven für Hochbelästigte (HA), Belästigte (A) und Geringbelästigte (LA) zu vergleichen, wurde der äquivalente Tag-Abend-Nacht-Pegel  $L_{den}$  wie in Formel (1) nach [5] beschrieben berechnet. Die Formel sieht für den Nachtpegel ( $L_n$ ), der sich in Deutschland auf die Zeit zwischen 22.00 und 6.00 Uhr bezieht, einen Malus von 10 dB vor. Der Abendpegel ( $L_e$ ) für den Zeitraum von 18.00 bis 22.00 Uhr wird mit einem Malus von 5 dB belegt. Da keine Daten für die Abendstunden vorlagen, wurden für den Abendpegel  $L_e$  die gleichen Werte wie für den Tagespegel  $L_d$  (mit dem Zeitrahmen 6.00 bis 18.00 Uhr) angenommen. Das allgemeine Fluglärmbelästigungsurteil korrelierte (Pearson) mit dem  $L_{den}$  mit 0,41 ( $p < 0,001$ , zweiseitiges Testen).

$$L_{den} = 10 \log \left[ \left( \frac{12}{24} \right) \cdot 10^{\frac{L_d}{10}} + \left( \frac{4}{24} \right) \cdot 10^{\frac{(L_e+5)}{10}} + \left( \frac{8}{24} \right) \cdot 10^{\frac{(L_n+10)}{10}} \right]$$

Zur Quantifizierung der Anteile an HA, A und LA wurde zunächst die verwendete fünf-stufige Antwortskala in eine von 0 bis 100 reichende Skala übersetzt. Der Anteil der Belästigungsurteile oberhalb des Cut-offs 72 auf der Skala von 0-100 wurde als %HA bezeichnet. Der Cut-off für den %A lag bei 50 und der für %LA bei 28 [5].

Ein Vergleich der Köln/Bonner Belästigungsdaten mit den durch die Expositions-Wirkungskurven der EU [4] und von Miedema und Oudshoorn [5] vorhergesagten Werten zeigte sowohl für den Anteil hochbelästigter (%HA) als auch für den Anteil belästigter (%A) und geringbelästigter Befragte (%LA) starke Abweichungen (siehe Bild 1a-c). Zur Beurteilung der Güte der Vorhersage der Köln/Bonner Daten durch die Standard-Kurven wurde die mittlere quadratische Abweichung (Mean Squared Error, MSE) herangezogen, wobei niedrige Werte für eine bessere Schätzung sprechen. Der MSE für die Schätzung der % HA durch die EU-Kurve betrug 84,6. Der MSE für die % A- und % LA-Schätzung gemäß den Empfehlungen von Miedema und Oudshoorn [5] betrug 387,7 bzw. 515,4.

Zur Beurteilung der Belästigung in der Bevölkerung wird häufig auch ein Präventiver Richtwert von 25 % HA herangezogen [19]. Der Pegel, bei dem dieser Richtwert erreicht wird (zw. 56



**Bild 2.** Vergleich der Belästigungsdaten am Flughafen Köln/Bonn mit den kürzlich veröffentlichten Expositions-Wirkungskurven des WHO-Reviews.

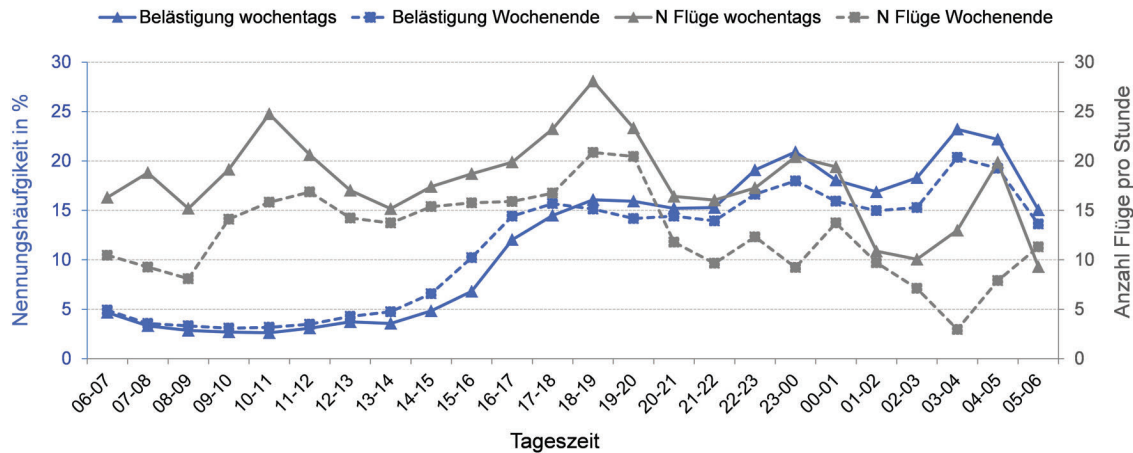
und 57 dB) lag deutlich unter dem Pegel, für den die EU-Kurve einen Anteil von 25 % vorhersagt (64-65 dB).

Darüber hinaus wurden die Ergebnisse der Studie in Köln/Bonn mit der allgemeinen Expositions-Wirkungskurve sowie mit den speziellen Kurven für HRC- und LRC-Flughäfen des kürzlich erschienenen WHO-Reviews [3] verglichen. Bild 2 zeigt, dass die Köln/Bonner Daten am nächsten an der LRC-Kurve lagen. Der MSE als Maß für die Güte der Schätzung betrug 11,6 für die LRC-Kurve, 48,0 für die allgemeine Kurve und 91,1 für die HRC-Kurve. Der Präventive Richtwert von 25 % HA würde bei der LRC-Kurve bei einem Pegel von 59 dB erreicht. Bei Anwendung der allgemeinen Kurve läge dieser bei 54 dB und bei Anwendung der HRC-Kurve zwischen 52 und 53 dB.

### Belästigung im Tagesverlauf

Die Häufigkeiten mit denen bestimmte Tageszeiten auf die Frage nach besonders hoher Fluglärmbelästigung genannt wurden, sind in Bild 3 dargestellt. Die Anzahl der Nennungen einer bestimmten Tageszeit wurde hierfür an der Gesamtzahl der Nennungen über alle Uhrzeiten hinweg normiert. Den Belästigungsdaten in Bild 3 sind die Anzahl der Flugbewegungen während dieser Zeit zugeordnet. Die Flugbewegungsdaten beziehen sich auf die Monate Juni bis November 2011 und wurden vom Flughafen Köln/Bonn bereitgestellt. Die Flugzahlen zwischen den Jahren 2009 bis 2011 können nach Aussage des Leiters für Nach-





**Bild 3.** Tageszeiten, zu denen der Fluglärm als besonders belästigend empfunden wird. Mehrfachnennungen möglich. Unterscheidung zwischen Wochentagen und Wochenende. Gegenübergestellt ist die Gesamtzahl an Flugbewegungen am Flughafen je Stunde.

haltigkeit und Umlandkommunikation des Flughafens Köln/Bonn (Parsch, persönliche Kommunikation) als vergleichbar betrachtet werden.

Der Zeitraum zwischen 22.00 Uhr und 6.00 Uhr wurde besonders häufig als Tageszeit genannt, zu denen der Fluglärm besonders belästigend ist. Am häufigsten wurde der Zeitraum 3.00 bis 4.00 Uhr morgens genannt, gefolgt vom Zeitraum 23.00 bis 0.00 Uhr. Rund 23 % bzw. 21 % aller Tageszeitnennungen für Wochentage entfielen hierauf. Der Verlauf der Kurven für die besonders belästigenden Zeiten war für Wochentage und Wochenende sehr ähnlich. Allerdings wurden insbesondere die Stunden zwischen 22.00 Uhr und 6.00 Uhr durchgehend häufiger für Wochentage als für das Wochenende genannt.

Auffällig ist auch, dass die Belästigungsmaxima nicht mit den Maxima der Flugzahlen zusammenfallen (10.00 bis 11.00 Uhr sowie 18.00 bis 20.00 Uhr). Die Anzahl der Flüge ist jedoch nicht unmittelbar mit der Fluglärmbelastung gleichzusetzen, da während der Nachtzeiten vermehrt Frachtflugzeuge verkehren. Diese sind häufig ehemalige Passagiermaschinen älteren Baujahrs und verursachen deutlich höhere Maximalpegel sowie ein anderes und unter Umständen stärker störendes Frequenzspektrum als moderne Passagierflugzeuge. Die exakten Daten zur Belastung einschließlich Maximal- und Dauerschallpegeln lagen für die einzelnen Stunden leider nicht vor.

Die allgemeine Fluglärmbelastung und die Fluglärmbelastung während der Nachtstunden von 22.00 bis 6.00 Uhr korrelierten nach Pearson mit  $r(1260) = 0,82$  ( $p < 0,001$ ). Die Korrelation blieb auch dann noch sehr hoch, wenn der  $L_{den}$  und der  $L_n$  (die wiederum hoch miteinander korrelierten,  $r(1260) = 0,97$ ,  $p < 0,001$ ) berücksichtigt wurden: Die partielle Korrelation zwischen allgemeiner Belästigung und nächtlicher Belästigung unter Berücksichtigung des Effekts von  $L_{Aeq,24h}$  und  $L_{Aeq,22-6}$  betrug  $r_{12,34} = 0,78$  ( $p < 0,001$ ).

## Ansichten der Anwohner zum Flughafen und Flugverkehr

Die Analyse der offenen Fragen zu den Meinungen und Erwartungen der Anwohner gegenüber dem regionalen Flughafen und Flugverkehr folgte dem Prinzip einer Frequenzanalyse. Hierfür wurde zunächst ein Kategoriensystem über mögliche Antworten (d.h. positive und negative Aspekte sowie vorgeschlagene Maßnahmen) gebildet. Anschließend wurde die Häufigkeit erhoben, mit der bestimmte Antwortkategorien genannt wurden. Die Nennungshäufigkeit einer Antwort wurde hierfür an der Anzahl

der gesamten Stichprobe von 1 262 Befragten gemessen und wird im Folgenden als Prozentsatz angegeben.

Im nächsten Schritt wurde mit Hilfe einer punktbiserialen Korrelationsanalyse untersucht, ob es einen Zusammenhang gibt zwischen der Nennung einer bestimmten Antwortkategorie und der angegebenen allgemeinen Fluglärmbelastung. Hierzu wurden die erhobenen Antwortkategorien als dichotome Variablen betrachtet, d.h. entweder wurde ein Aspekt genannt (Kodierung mit 1) oder nicht genannt (Kodierung mit 0).

996 der insgesamt 1 262 Befragten (= 76,5 %) gaben an, dass der Flughafen und Flugverkehr positive Aspekte habe. **Tabelle 1** zeigt die Nennungshäufigkeiten und den Zusammenhang zum Fluglärmbelastungsurteil (punktbiserialer Korrelation) für die genannten Antworten.

Von den 1 262 Befragten gaben 655 (51,9 %) an, dass sie negative Aspekte des Flughafens und des Flugverkehrs sehen. Die Nennungshäufigkeiten der einzelnen Antworten sowie deren Zusammenhang zum Fluglärmbelastungsurteil (punktbiserialer Korrelation) sind **Tabelle 2** zu entnehmen.

Als letztes hatten die Befragten die Möglichkeit, Vorschläge zu machen, was der Flughafen für die Anwohner tun könnte (in Bezug auf die Verbesserung der Lebensqualität). 700 Befragte (55,5 %) machten einen oder mehrere Vorschläge. **Tabelle 3** zeigt die Nennungshäufigkeiten und den Zusammenhang zum Fluglärmbelastungsurteil (punktbiserialer Korrelation) für die genannten Antworten.

## Diskussion und Schlussfolgerungen

### Stand der Belästigung

Der Vergleich der Köln/Bonner Daten mit der EU-Expositions-Wirkungskurve [4,5] zeigte bei der Betrachtung des Anteils Hochbelastigter deutliche Abweichungen. Das gleiche gilt für den Vergleich der aktuellen Daten mit den Kurven für den Anteil Belästigter und Geringbelastigter nach Miedema und Oudshoorn [5]. Die Belästigungsprävalenzraten lagen durchweg höher als vorhergesagt, wobei der Betrag der Abweichungen zunahm von Hochbelastigten zu Geringbelastigten. Da die Prävalenzraten für Belästigte und Geringbelastigte in der Regel nicht angegeben werden, kann nur begrenzt eine Aussage zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit früheren Studien gezogen werden. Höhere Anteile für Belästigte (%A) als die durch die Miedema und Oudshoorn-Kurve [5] vorhergesagten wurden aber bereits für die RDF-Studie am Flughafen Frankfurt berichtet [20]. Das vorliegende Ergebnis unterstreicht das Argument, dass die

**Tabelle 1.** Positive Aspekte des Flughafens und des Flugverkehrs im Raum Köln/Bonn aus Sicht der Befragten,  $N = 1.262$ . Mehrfachnennungen möglich.

Genannter Aspekt	Nennungshäufigkeit (in %)	Korrelation ( $r_{pb}$ ) mit Belästigung
Gute Reise- und Verkehrsanbindung	64,0	-0,04
Verfügbarkeit von Arbeitsplätzen	21,9	0,05
Verbesserte Infrastruktur	8,4	-0,06
Wirtschaftliche Entwicklung	6,6	0,05
Gute Einkaufsmöglichkeiten am Flughafen	2,3	-0,05
(Schnelle) Verfügbarkeit von Waren	1,3	-0,02
Bietet attraktive internationale Reiseziele	1,0	-0,07
Internationales Flair	0,9	-0,04
Flughafen ist sehr übersichtlich	0,7	-0,05
Flughafen als attraktives Ausflugsziel	0,4	-0,05
Sonstiges	2,9	–

Anmerkung. Die Nennungshäufigkeit einer Antwort (in Prozent) bezieht sich dabei auf die gesamte Stichprobe von 1262 Befragten. \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$ . Adjustierung für kumulierten Alphafehler nach Bonferroni-Holm über alle punktbiserialen Korrelationsanalysen.

**Tabelle 2.** Negative Aspekte des Flughafens und des Flugverkehrs im Raum Köln/Bonn aus Sicht der Befragten,  $N = 1.262$ . Mehrfachnennungen möglich.

Negative Aspekte	Nennungshäufigkeit (in %)	Korrelation ( $r_{pb}$ ) mit Belästigung
Fluglärm (im Allgemeinen)	21,5	0,32***
Nachtflugverkehr	10,5	0,20***
Gesundheitsrisiken für die Anwohner	7,8	0,25***
Minderung der Lebensqualität	7,1	0,24***
Gefährdung und Schädigung der Umwelt	5,8	0,02
Frachtverkehr	2,0	0,06
Wertverlust an Grundstück/Haus	1,6	0,17***
(Zu) tief fliegende Flugzeuge	1,4	0,05
Luftverschmutzung durch das Ablassen von Kerosin	1,3	0,03
Gefahr von Flugzeugunglücken	1,0	0,02
Hohe Flugverkehrsdichte	0,6	0,01
Stau (bezogen auf das Straßennetz)	0,4	0,01
Sonstiges	7,1	–

Anmerkung. Die Nennungshäufigkeit einer Antwort (in Prozent) bezieht sich dabei auf die gesamte Stichprobe von 1262 Befragten. \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$ . Adjustierung für kumulierten Alphafehler nach Bonferroni-Holm über alle punktbiserialen Korrelationsanalysen.

ausschließliche Betrachtung der Hochbelästigten dazu führen kann, dass Veränderungen der Belästigung im mittleren Bereich unbemerkt bleiben [6].

Die Ergebnisse zum Anteil Hochbelästigter stehen größtenteils im Einklang mit den Resultaten früherer Studien [21-24] und Reviews [1,2]. Der Präventive Richtwert von 25 % Hochbelästigter [vgl. 19] wird für die Köln/Bonner Daten bei einem deutlich (um ca. 8 dB) geringeren  $L_{den}$  erreicht als von der aktuellen EU-Kurve vorhergesagt.

Im Vergleich dazu fallen die Abweichungen zu den Kurven aus dem kürzlich veröffentlichten WHO-Review, die ausschließlich die Daten von Studien aus den Jahren 2000 bis 2014 umfassen, deutlich geringer aus. Die beste Vorhersage der Köln/Bonner Daten ergibt sich unter Anwendung der Kurve für LRC-Flughäfen. Der  $L_{den}$ , bei dem der Präventive Richtwert von 25 % HA in der vorliegenden Stichprobe erreicht wird, liegt dann nur noch 2-3 dB unter dem von der LRC-Kurve vorhergesagten Pegel.

Eine wichtige Einschränkung bei der Interpretation der Daten aus der vorliegenden Telefonstudie stellt jedoch die Erhebung des Schalldruckpegels dar, der nur in 5 dB-Schritten für den Tag und die Nacht von einer Lärmkarte extrahiert werden konnte. Der  $L_{den}$  konnte damit nur annäherungsweise geschätzt werden. Jedoch wird trotz dieser Ungenauigkeiten deutlich, dass die aktuelle EU-Kurve die Belästigungssituation am Köln/Bonner Flughafen nicht mehr adäquat vorhersagen kann, die Kurven des WHO-Reviews (insbesondere die spezifische Kurve für LRC-Flughäfen) dagegen schon.

### Belästigung im Tagesverlauf

In Bezug auf die Belästigung durch Fluglärm im Tagesverlauf zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den Tageszeiten. Die Belästigung nahm mit voranschreitender Tageszeit zu. Auf die Frage, zu welchen Tageszeiten der Fluglärm besonders belästigend ist, werden die Stunden bis ca. 15 Uhr nur selten genannt,

**Tabelle 3.** Vorschläge für Maßnahmen, die der Flughafen Köln/Bonn zum Wohle der Anwohner ergreifen sollte,  $N = 1\,262$ . Mehrfachnennungen möglich.

Geforderte Maßnahme	Nennungshäufigkeit (in %)	Zusammenhang mit Belästigungsurteil ( $r_{pb}$ )
Zahl der Flüge während der Nacht verringern	21,4	0,35***
Partielles oder vollständiges Nachtflugverbot für Passagier- und/oder Frachtflieger	13,6	0,30***
Austausch /Modernisierung der Flugzeugflotte	11,2	0,22***
Lärm reduzieren (nicht näher spezifiziert)	10,7	0,25***
Verlegung von An- und Abflurouten ( über dünn besiedelte Gebiete)	8,7	0,26***
(Besseren) häuslichen Schallschutz anbieten	6,4	0,11*
Flugroutenbelegung verteilen oder alternieren	1,5	0,05
Höhere Überflughöhen	1,3	0,07
Mitspracherechte für Anwohner	1,2	0,06
Steilerer Anstieg nach Abflug	0,7	0,05
Den aktuellen Status quo beibehalten, keine Expansionen des Flughafens	0,6	-0,03
Finanzielle Kompensation	0,5	0,02
Umfangreiche und transparente Information und Kommunikation	0,4	-0,01
Sonstiges	8,1	–

Anmerkung. Die Nennungshäufigkeit einer Antwort (in Prozent) bezieht sich dabei auf die gesamte Stichprobe von 1 262 Befragten.  
 \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$ . Adjustierung für kumulierten Alphafehler nach Bonferroni-Holm über alle punktbiserialen Korrelationsanalysen.

obwohl die Zahl der Überflüge bereits vormittags ein erstes Maximum erreicht. Erst ab etwa 15 Uhr (am Wochenende bereits etwas eher) wird von einer erhöhten Belästigung berichtet. Während dieser Stunden steigt auch die Zahl der Flüge je Stunde an und erreicht zwischen 18 und 19 Uhr das absolute Maximum. Die Tageszeiten, die am häufigsten genannt wurden, sind Stunden der ersten (zwischen 22.00 und 0.00 Uhr) und zweiten Nachthälfte (zwischen 3.00 und 4.00 Uhr). Die genannten Zeiten decken sich mit den Zeiten zu denen eine große Zahl von Frachtflugzeugen in Köln/Bonn ankommt und nach Entladung und erneuter Beladung wieder abfliegt.

Mögliche Verzerrungen resultieren bei solch einer offenen und auf die vergangenen 12 Monate ausgerichteten Frage aus Erinnerungseffekten. Eine Erklärung weshalb die hochbelasteten Stunden am Vormittag nur selten als besonders belästigend genannt werden, ist sicherlich zu einem Teil auch der Tatsache geschuldet, dass ein Großteil der Bevölkerung zu dieser Zeit nicht zu Hause ist. Die aktuellen Ergebnisse stehen im Einklang mit früheren Studien, die für die Abend- und Nachtstunden ebenfalls eine erhöhte Belästigung fanden [24-26]. Eine zum späten Nachmittag und Abend hin ansteigende Belästigung zeigte sich auch in der Vertiefungsstudie, in der sich die Probanden aufgrund des Studiendesigns während der gesamten Testtage zu Hause aufhielten [15]. In Folge eines anstrengenden (Arbeits-)Tages herrscht für die Abend- und Nachtstunden bei einem Großteil der Bevölkerung der Wunsch nach ungestörter aktiver und passiver Kommunikation sowie Ruhe und Erholung [27,28]. Die vorliegenden Ergebnisse unterstreicht die Aussage, dass während dieser Zeiten auftretender Verkehrslärm als besonders störend und belästigend empfunden wird [29]. Die empfundene Störung und Belästigung während der Nacht korrelierte in der vorliegenden Studie außerdem sehr hoch mit dem allgemeinen Belästigungsurteil. Dieses sowie die vorher beschriebenen Ergebnisse legen den Schluss nahe, dass – zumindest für Flughäfen mit

durchgehendem Flugverkehr wie Köln/Bonn – das allgemeine Belästigungsurteil zu einem beachtlichen Teil durch die nächtliche Belästigung bestimmt wird. Daraus soll jedoch nicht geschlossen werden, dass die Belästigung gen Null geht, sobald beispielsweise eine Kernruhezeit eingeführt würde. Die Frage ob und wie die Fluglärmbelästigung durch Betriebsbeschränkungen in der Nacht reduziert werden könnte, bleibt an dieser Stelle offen.

## Ansichten und Erwartungen der Flughafenanwohner

Den Interviewteilnehmern wurden Fragen zu ihren Ansichten und Wünschen gegenüber dem Flughafen und dem lokalen Flugverkehr gestellt. Damit sollte erhoben werden, welche flughafen- und flugverkehrsbezogene Themen die Anwohner besonders bewegen. Das offene Frageformat bot außerdem den Vorteil, sich der Analyse von nicht-akustischen Faktoren von einer anderen als sonst üblichen Perspektive zu nähern [30]. Hierbei wurden die befragten Anwohner selbst als Experten und somit als zusätzliche Informationsquelle anerkannt [30]. Bei den Antworten auf die Frage nach positiven Aspekten des Flughafens überwogen sehr deutlich verkehrspolitische Aspekte (gute Reisemöglichkeiten und Verkehrsanbindung), gefolgt von Antworten, die im Bezug zu positiven Auswirkungen auf die lokale Wirtschaft standen (Verfügbarkeit von Arbeitsplätzen, verbesserte Infrastruktur, wirtschaftliche Entwicklung). Dem gegenüber wurden als negative Aspekte der Fluglärm und der Nachtflugverkehr und die daraus resultierenden Gesundheitsrisiken und die verminderte Lebensqualität sowie eine Gefährdung/Schädigung der Umwelt genannt. Die Ergebnisse aus den Korrelationsanalysen dieser offenen Fragen zeigten erneut den Zusammenhang zwischen negativen Überzeugungen und Befürchtungen (vor allem in Bezug auf die Gesundheit) auf der einen Seite und dem Grad der Belästigung durch den Fluglärm auf der anderen Seite: Personen, welche negative Überzeugungen und Befürchtungen

angeben, beschreiben sich auch als mehr belästigt [12,31]. Die Wahrnehmung von positiven Aspekten, insbesondere in Bezug auf die Bedeutung des Flughafens für die Region, spielt dagegen – zumindest in der vorliegende Stichprobe – für die Entwicklung der Belästigung nur eine untergeordnete Rolle.

Die vorgeschlagenen Maßnahmen dazu, was der Flughafen für die Anwohner tun könnte, bezogen sich im Wesentlichen auf Betriebsbeschränkungen und operationelle Maßnahmen, wobei die Beschränkung des Nachtflugverkehrs mit großem Abstand am häufigsten genannt wurde. Ebenfalls häufig gefordert wurden die Modernisierung der Flugzeugflotten und Maßnahmen zur Ausweitung und Verbesserung des häuslichen Schallschutzes sowie nicht näher spezifizierte Maßnahmen zur Reduzierung des Lärms. Vorherige Studien, die eine vergleichbare Frage zu Verbesserungsmaßnahmen gestellt hatten, brachten teilweise ähnliche Ergebnisse hervor: In einer am Frankfurter Flughafen durchgeführten Studie [30] bezogen sich die genannten Verbesserungsvorschläge ebenfalls sehr häufig auf Betriebsbeschränkungen (z. B. Ausweitung des Nachtflugverbots) und operative Maßnahmen (z.B. Flugrouten verlegen) sowie unterstützende Maßnahmen bei den Anwohnern (vorwiegend besserer Lärmschutz und Kompensationszahlungen). Darüber hinaus wurden Maßnahmen in Bezug auf das Kommunikationsverhalten des Flughafens besonders häufig genannt. Diese Maßnahmen bezogen sich vor allem auf eine bessere Kommunikation mit den Anwohnern sowie auf eine umfangreiche, ehrliche und transparente Information der Betroffenen. In vorherigen Studien, die an den Flughäfen Kassel-Calden und Augsburg [32] sowie Düsseldorf und Dortmund [33] durchgeführt wurden, stand die Forderung nach einer umfangreichen, transparenten und offenen Informationspolitik seitens des Flughafens sogar an erster Stelle, gefolgt von der Forderung nach Beibehaltung des aktuellen Status quo und der nicht näher spezifizierten Forderung, den Lärm zu reduzieren. In der Studie am Köln/Bonner Flughafen wurden Maßnahmen in Bezug auf eine bessere und transparente/ehrliche Informations- und Kommunikationspolitik dagegen quasi nicht genannt. Anders als der Flughafen Köln/Bonn waren jedoch alle anderen untersuchten Flughäfen von Veränderungen im Flugbetrieb betroffen, d.h. eine Erweiterung des Flughafens war bereits vollzogen, stand in Planung oder zumindest zur öffentlichen Diskussion. Daraus wird der Schluss gezogen, dass eine umfangreiche, ehrliche und transparente Kommunikation und Information besonders für Anwohner von High Rate Change-Flughäfen eine sehr wichtige Rolle spielt. In Köln/Bonn dagegen übertrahlt der Nachtflugbetrieb zu einem großen Teil alle weiteren Forderungen. Die Korrelationsanalysen zeigen darüber hinaus einen Zusammenhang zwischen den Forderungen nach Reduzierung des Nachtflugverkehrs und der Belästigung. Ebenso – wenn auch etwas geringer – korrelierten die Forderungen nach einer Modernisierung der Flugzeugflotte hin zu leiseren Flugzeugtypen, einer nicht näher spezifizierten Reduzierung des Lärms, der Verlegung von Flugrouten und der Ausweitung des Schallschutzes mit der Belästigung. Ob diese Überlegungen der Befragten ein Teil der Überzeugung sind, dass Lärm vermieden werden könnte (= das Konstrukt des *preventability belief*) und damit die Belästigung erhöhen [vgl. 11,12,13] oder ob sie vielmehr Folge der Belästigung sind [vgl. 34], kann an dieser Stelle nicht eindeutig festgestellt werden. Denkbar ist auch ein sich gegenseitig beeinflussender und verstärkender Prozess.

Zusammenfassend wird aber deutlich, dass der Nachtbetrieb am Flughafen Köln/Bonn und die daraus resultierenden Befürchtungen in Bezug auf die Gefährdung der Gesundheit und

eine Verschlechterung der Lebensqualität für die Anwohner eine Problematik von besonderer Bedeutung ist. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass sich die Wahrnehmung des Lärms und die Interpretation dessen als potenzielle Bedrohung maßgeblich auf das allgemeine Belästigungsurteil auswirken.

## Ausblick

Zu klären bleibt die Frage, ob und wie sich Nachtbetrieb an einem Flughafen auf die Gesamtbelästigung der Anwohner im Vergleich zu Flughäfen mit nächtlichen Betriebsbeschränkungen auswirkt. Der Vergleich der vorliegenden Köln/Bonner Daten mit der Kurve für Low Rate Change-Flughäfen aus dem WHO-Review lässt eine Aussage diesbezüglich nicht zu. Die Daten für diese Kurve basieren auf lediglich fünf Studien und die Belästigungsdaten aus den einzelnen Studien streuen deutlich um die LRC-Kurve. Die drei Flughäfen, an denen uneingeschränkter Nachtbetrieb herrscht, stammen überdies alle aus dem asiatischen Raum. Dagegen sind die zwei Flughäfen, an denen Nachtflüge nicht oder nur sehr eingeschränkt betrieben werden, in Mitteleuropa beheimatet. Somit sind kulturelle Unterschiede in den Lärmreaktionen nicht auszuschließen. Zukünftig wäre eine Differenzierung zwischen Flughäfen mit und ohne Nachtbetriebsbeschränkungen wünschenswert bei der Erstellung von Expositions-Wirkungskurven, um den Einfluss von Nachtflugbetrieb auf die Belästigung sichtbar zu machen.

## Danksagung

Die Telefonstudie wurde im Rahmen des Projektes COSMA (Community Oriented Solutions to Minimise aircraft noise Annoyance, <http://fp7-cosma.eu>) durchgeführt und durch eine Förderung des 7. Rahmenprogramms der Europäischen Kommission (ACP8-GA-2009-234118) finanziell unterstützt. Die Autoren danken dem Team von Prof. Barbara Griefahn vom Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund (IfA-Do) für das Führen der unzähligen Interviews und den Anwohnern des Flughafens Köln/Bonn für ihre Bereitschaft zur Interviewteilnahme. Dank gilt außerdem folgenden Partnern im COSMA-Projekt für die Unterstützung bei der Methodenentwicklung: dem French Institute of Science and Technology for Transport, Development and Networks (IFSTTAR), dem Institute of Sound and Vibration Research der Universität Southampton (ISVR), dem Royal Institute of Technology (KTH), der Universität Cergy-Pontoise (UCP) und dem Zentrum für angewandte Psychologie, Umwelt- und Sozialforschung (ZEUS).



Dr. rer. nat. **Susanne Bartels**,  
Dr. rer. nat. **Uwe Müller**  
Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) Köln



## Literatur

- [1] Janssen, S. A.; Vos, H. van Kempen, E. E. Breugelmans, O. R. and Miedema, H. M.: Trends in aircraft noise annoyance: the role of study and sample characteristics, *J Acoust. Soc. Am.*, 129 (2011) 1953-1962.
- [2] van Kempen, E. E. M. M.; van Kamp, I.: Annoyance from air traffic noise. Possible trends in exposure-response relationships. 01/2005 MGO EvK. 2005. Dutch Ministry of Housing and Environmental and Spatial Planning.
- [3] Gusk, R.; Schreckenberg, D.; Schümer, R.: WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Annoyance, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14 (2017).
- [4] European Commission. Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance. 2002. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities.
- [5] Miedema, H. M. E.; Oudshoorn, C. G. M.: Annoyance from transportation noise: Relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals, *Environ Health Perspect*, 109 (2001) S. 409-416.
- [6] Gusk, R.: The increase of aircraft noise annoyance in communities. Causes and consequences, *Proceedings of the 12th International Congress on Noise as a Public Health Problem*, 2017.
- [7] Brooker, P.: Do people react more strongly to aircraft noise today than in the past?, *Applied Acoustics*, 70 (2009) 747-752.
- [8] Janssen, S. A.; Gusk, R.: Aircraft noise annoyance, in: *Stansfeld, S.; Berglund, B.; Kephalopulos, S.; Paviotti, M.* (Eds.), *Evidence Review on Aircraft Noise and Health*, Directorate. General Joint Research Center and Directorate General for Environment, European Union, Bonn, Germany, im Druck.
- [9] Gelderblom, F. B.; Gjestland, T.; Fidell, S.; Berry, B.: On the stability of community tolerance for aircraft noise, *Acta Acustica United with Acustica*, 103 (2017) S. 17-27.
- [10] Miedema, H. M. E.; Vos, H.: Demographic and attitudinal factors that modify annoyance from transportation noise, *J. Acoust. Soc. Am.*, 105 (1999) S. 3336-3344.
- [11] Fields, J. M.: Effect of personal and situational variables on noise annoyance in residential areas, *J Acoust Soc Am*, 93 (1993) S. 2753-2763.
- [12] Gusk, R.: Personal and social variables as co-determinants of noise annoyance, *Noise Health*, 3 (1999) S. 45-56.
- [13] Stallen, P. J. M.: A theoretical framework for environmental noise annoyance, *Noise Health*, 1 (1999) S. 69-79.
- [14] Schreckenberg, D.; Schuemer, R.: The impact of acoustical, operational and non-auditory factors on short-term annoyance due to aircraft noise, 39th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Internoise 2010), 2010.
- [15] Bartels, S.; Márki, F.; Müller, U.: The influence of acoustical and non-acoustical factors on short-term annoyance due to aircraft noise in the field- The COSMA study, *Sci Total Environ*, 538 (2015) S. 834-843.
- [16] Fields, J. M.; de Jong, R. G.; Gjestland, T.; Flindell, I. H.; Job, R. F. S.; Kurra, S.; Lercher, P.; Vallet, M.; Yano, T.: Standardized general-purpose noise reaction question for community noise surveys: Research and a recommendation, *J Sound Vib*, 242 (2001) S. 641-679.
- [17] ISO, ISO/TS 15666:2003(E) Acoustics – Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys, ISO, Geneva, Switzerland 2003.
- [18] Bartels, S.; Müller, U.: Assessing aircraft noise-induced annoyance around a major German airport and its predictors via telephone survey – The COSMA study, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 59 (2018) S. 246-258.
- [19] Scheuch, K.; Spreng, M.; Jansen, G.: Fluglärmschutzkonzept der sogenannten Synopse auf dem Prüfstand neuer Erkenntnisse der Lärmwirkungsforschung sowie gesetzlicher Rahmenbedingungen (Teil 2), *Lärmbekämpfung*, 2 (2007) S. 187-193.
- [20] Schreckenberg, D.; Meis, M.: Gutachten Belästigung durch Fluglärm im Umfeld des Frankfurter Flughafens – Endbericht [Annoyance due to aircraft noise in the vicinity of Frankfurt Airport – Final report]. 2006. Bochum, Oldenburg, ZEUS GmbH, Hörzentrum Oldenburg.
- [21] Babisch, W.; Houthuijs, D.; Pershagen, G.; Cadum, E.; Katsouyanni, K.; Velonakis, M.; Dudley, M. L.; Marohn, H. D.; Swart, W.; Breugelmans, O.; Bluhm, G.; Selander, J.; Vigna-Taglianti, F.; Pisani, S.; Haralabidis, A.; Dimakopoulou, K.; Zachos, I.; Järrup, L.: Annoyance due to aircraft noise has increased over the years: Results of the HYENA study, *Environ Int*, 35 (2009) S. 1169-1176.
- [22] Brink, M. Wirth, K. Schierz, C. Thomann, G. Bauer, G.: Annoyance responses to stable and changing aircraft noise exposure, *J. Acoust. Soc. Am.*, 124 (2008) S. 1-12.
- [23] Gille, L.-A.; Marquis-Favre, C.; Morel, J.: Testing of the European Union exposure-response relationships and annoyance equivalents model for annoyance due to transportation noises: The need of revised exposure-response relationships and annoyance equivalents model, *Environment International*, 94 (2016) S. 83-94.
- [24] Schreckenberg, D.; Meis, M.: Lärmbelästigung und Lebensqualität in der Bevölkerung am Frankfurter Flughafen, *Lärmbekämpfung*, 2 (2007) S. 225-235.
- [25] Hoeger, R. Schreckenberg, D. Felscher-Suhr, U.; Griefahn, B.: Night-time noise annoyance: state of the art, *Noise and Health*, 4 (2002) S. 19-25.
- [26] Wirth, K.: Lärmstudie 2000 – Die Belästigungssituation im Umfeld des Flughafens Zürich. Dissertationsschrift, 2004. Zürich, Philosophische Fakultät der Universität Zürich.
- [27] Fields, J. M.: The timing of noise-sensitive activities in residential areas, NASA Contractor Report 177937. 1985. Hampton, Virginia, USA, The Bionetics Corporation.
- [28] Porter, N. D., Kershaw, A. D., and Ollerhead, J. B.: Adverse Effects of Night-Time Aircraft Noise. Report 9964. 2000. London, UK Civil Aviation Authority.
- [29] Hoeger, R.: Aircraft noise and times of day: possibilities of re-distributing and influencing noise exposure, *Noise Health*, 6 (2004) S. 55-58.
- [30] Sommerfeldt, K.: Dauerhaft zufrieden leben mit dem Flughafen als Nachbarn – was würde wirklich helfen? Masterthesis, 2013. Darmstadt, Technische Universität Darmstadt.
- [31] Kroesen, M.; Molin, E. J. E.; van Wee, B.: Testing a theory of aircraft noise annoyance: a structural equation analysis., *J Acoust Soc Am*, 123 (2008) S. 4250-4260.
- [32] Maziul M., Vogt, J.: Can a telephone service reduce annoyance?, *Forum Acusticum*, Sevilla, Spain, 2002.
- [33] Vogt J., Kastner, M.: The role of information policy in annoyance generation and reduction, 29th International Congress on Noise Control Engineering, 2000.
- [34] Kroesen, M.; Molin, E. J. E.; van Wee, B.: Determining the direction of causality between psychological factors and aircraft noise annoyance, *Noise Health*, 12 (2013) S. 17-25.