

Ein Projekt zur Re-Analyse von Fluglärm-Belastigungsdaten: Leq+X

Rainer Guski¹, Dirk Schreckenber², Mark Brink³, Ullrich Isermann⁴, Rainer Schmid⁴, Beat Schäffer⁵,
Jean-Marc Wunderli⁵

¹ Fakultät für Psychologie, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, E-Mail: rainer.guski@rub.de

² ZEUS GmbH, 58093 Hagen, E-Mail: schreckenber@zeusgmbh.de

³ ETH Zürich, CH-8092 Zürich, E-Mail: Mark.Brink@bafu.admin.ch

⁴ DLR, 37073 Göttingen, E-mails: ullrich.isermann@dlr.de, rainer.schmid@dlr.de

⁵ Empa, CH-8600 Dübendorf, E-mails: beat.schaeffer@empa.ch, jean-marc.wunderli@empa.ch

Einleitung

In der jüngeren Vergangenheit haben mehrere Veröffentlichungen gezeigt, dass die Belästigung der Bevölkerung durch Fluglärm bei vergleichbaren Dauerschallpegeln über die Jahre gestiegen ist. Dafür wurden neben methodischen Aspekten der jeweiligen Untersuchungen v.a. Änderungen im Flugbetrieb verantwortlich gemacht, z.B. eine höhere Anzahl von Flugbewegungen und ein geändertes Verhältnis zwischen sehr lauten und leiseren Flugzeugen. Das interdisziplinäre Forschungsprojekt „Leq+X“ re-analysiert Daten von Bevölkerungsbefragungen in der Umgebung der Flughäfen Basel, Berlin-Schönefeld, Frankfurt, Genf, Köln/Bonn, Stuttgart I und Genf im Hinblick auf die Zusammenhänge zwischen Belästigungsangaben einerseits und akustischen und/oder flugbetrieblichen Variablen andererseits. Dazu werden die Fluglärm- und Flugbetriebsdaten hinsichtlich Dauerschallpegeln, Maximalpegel, Bewegungshäufigkeiten und Typenmix für unterschiedliche Zeitabschnitte adressgenau neu berechnet und hinsichtlich ihres Zusammenhangs – untereinander und in Kombination – mit Belästigungs- und Schlafstörungenangaben untersucht. Der Vergleich zwischen Ergebnissen von Leq-basierten Zusammenhangsanalysen mit erweiterten akustischen Prädiktoren (Leq+X) soll zeigen, welche Vor- und Nachteile die Hinzunahme weiterer akustischer Variablen (v.a. für die Varianzaufklärung der Befragungsdaten) bietet.

Motivation

Seit dem Jahr 2004 sind mehrere Veröffentlichungen erschienen, die nahelegen, dass sich die Fluglärm-Belästigung der Anwohnerinnen und Anwohner von Verkehrsflughäfen im Verlauf der Jahre geändert hat, zumindest ist der Anteil hoch belästigter Personen (%HA) bei vergleichbaren Fluglärm-Dauerschallpegeln in jüngeren Untersuchungen meist höher, als die sog. EU-Standardkurven [1] bei vergleichbaren Pegeln angeben (vgl. Abb. 1). Diese Feststellung bestätigen u.a. die Veröffentlichungen von Van Kempen & van Kamp [2], Janssen & Vos [3], Guski et al. [4] und Brink et al. [5].

Man kann generell fragen, ob der Dauerschallpegel für Belästigungs- und Störungsfragen ein geeigneter Prädiktor sein kann. Dafür sprechen zwar die – wenngleich niedrigen – statistisch signifikanten Korrelationen zwischen Dauerschallpegeln und Belästigungs-Angaben in vielen Bevölkerungsuntersuchungen (vgl. [4] und Brink [6]), die heute nicht niedriger sind als in älteren Untersuchungen [4], andererseits korrelieren die Häufigkeiten von

Flugbewegungen meist auch nicht weniger stark mit Belästigungsangaben als die Dauerschallpegel, und Korrelationskoeffizienten können zwar etwas über den statistischen Gesamtzusammenhang zwischen zwei Größen aussagen, jedoch nichts über die spezifische Höhe einer Größe in Relation zur jeweiligen Höhe der anderen Größe – hier: der Höhe der Belästigung in Relation zur Höhe der akustischen Belastung.

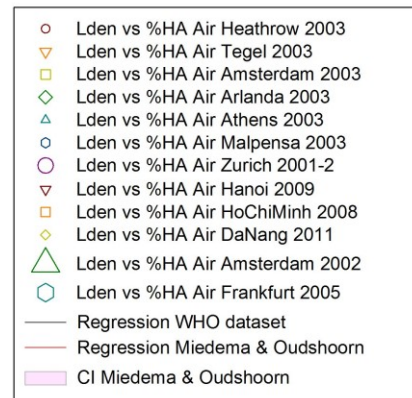
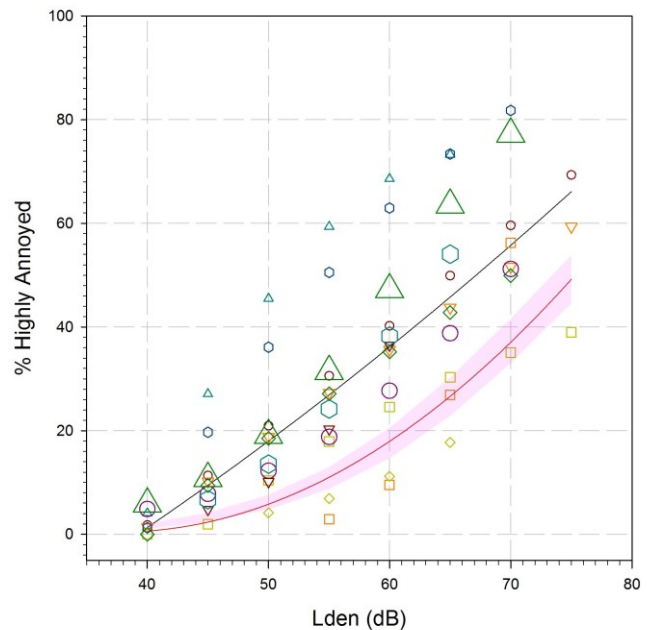


Abbildung 1: Scatterplot des Zusammenhangs zwischen L_{den} und % Hochbelästigte (Highly Annoyed, HA) aus 12 Fluglärm-Untersuchungen des WHO-Annoyance-Reviews [4]. Die Daten wurden entsprechend dem Stichprobenumfang gewichtet und mit Hilfe einer quadratischen Regression (schwarze Linie) zusammengefasst. Zum Vergleich ist die „EU-Standardkurve“ für Fluglärm [1] (rot, mit Konfidenzintervall) dargestellt. In dieser Abbildung

wird nicht zwischen „stabilen“ und „Änderungs-Situationen“ unterschieden.

Sucht man nach Erklärungen für den in jüngeren Fluglärm-Untersuchungen beobachtete Anstieg des Anteils von hochbelastigten Personen bei gleichem Dauerschallpegel, so muss berücksichtigt werden, dass sich seit Mitte 90er Jahre die Charakteristika von Fluglärm geändert haben. Vereinfacht gesagt, sind die Flugzeuge leiser geworden, fliegen aber häufiger. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob der energie-äquivalente Dauerschallpegel wirklich der optimale Ansatz ist, oder ob möglicherweise die ihm zu Grunde liegenden Variablen Maximalpegel, Geräuschkdauer und Geräuschkhäufigkeit bei anderer Verknüpfung und allenfalls kombiniert mit dem Dauerschallpegel besser mit der Störwirkung korrespondieren.

Hinzu kommt, dass mehrere Fluglärm-Untersuchungen aus der jüngeren Vergangenheit im sog. „Änderungs-Kontext“ durchgeführt wurden, d.h. in einer Situation, in der überdurchschnittlich große operative oder bauliche Änderungen am Flughafen in absehbarer Zukunft geplant waren bzw. in jüngerer Vergangenheit stattfanden. Allein die öffentliche Ankündigung eines solchen Vorhabens kann die Belästigungswerte in Befragungen deutlich in die Höhe treiben. Deshalb erscheint es sinnvoll, Belästigungsdaten aus Änderungssituationen (high rate change) und relativ stabilen Situationen (low rate change) voneinander zu trennen [4].

Weiterhin ist beim Vergleich von Bevölkerungs-Befragungen zu berücksichtigen, dass die Auswahl von Teilnehmerinnen und Teilnehmern an Fluglärm-Bevölkerungsbefragungen bisher meist nach Dauerschallpegeln stratifiziert erfolgte und Untersuchungen oft auch nur an einem einzigen Flughafen durchgeführt wurden, so dass Dauerschallpegel und Maximalpegel, Flugbewegungszahlen, Typenmix und andere Charakteristika des Flughafens im erhaltenen Datensatz so konfundiert sind, dass der Einfluss dieser Variablen nicht unabhängig voneinander untersuchbar ist.

Wählt man dagegen ein Untersuchungsdesign, in dem einige der akustischen Variablen wenigstens halbwegs unabhängig voneinander variieren, so kann man feststellen, welche Wirkung diese Variablen auf die erhobene Belästigung haben, und ggf. auch, ob sich die jeweilige Wirkung im Verlauf der letzten Jahre geändert hat. Diesen Weg ist z.B. die sog. ANASE-Studie [7] gegangen: Hier wurden 19 Flughäfen in Großbritannien mit insgesamt 76 Untersuchungsgebieten ausgewählt, deren jeweilige Maximalpegel und Flugbewegungszahlen möglichst unabhängig voneinander variieren. Es stellte sich heraus, dass die Fluglärm-belästigung zwar bei vergleichbaren Dauerschallpegeln höher ausfiel als in einer ähnlichen Untersuchung (ANIS) 23 Jahre zuvor [8], jedoch mit dieser Studie vergleichbare Belästigungswerte erbrachte, sobald als Prädiktor eine bestimmte Kombination aus Maximalpegeln und Bewegungshäufigkeit gewählt wurde, bei der die Bewegungshäufigkeit ein stärkeres Gewicht bekam als im Dauerschallpegel üblich. Die Autoren [7] schreiben auf S.9.18: „Das Gewicht der Anzahl von Flugbewegungen (in Relation zum Schallpegel) hat sich von 6 bei ANIS auf über 20 bei ANASE erhöht. Das bedeutet, dass sich der Beitrag

der Flugbewegungszahl zur Belästigung beträchtlich erhöht hat“ (Übersetzung Rainer Guski). Allerdings müssen wir diese Interpretation insofern einschränken, als sich in den 23 Jahren, die zwischen den beiden Untersuchungen liegen, auch der Typenmix, d.h. z.B. das Verhältnis zwischen den „lauten“ und „leiseren“ Flugbewegungen geändert hat.

Hypothesen

1. Der sog. „Fluglärm-Belästigungstrend“ ist teilweise dadurch bedingt, dass die Anzahl der Flugbewegungen für die Belästigung eine beträchtliche Rolle spielt und im energie-äquivalenten Dauerschallpegel nicht wirkungsäquivalent berücksichtigt wird.
2. Die Validität eines am L_{pAeq} – oder auch am Maximalpegel – orientierten akustischen Deskriptors als Prädiktor für Belästigungen bzw. Störungen steigt, wenn zusätzlich ein Häufigkeitsterm N (z.B. „number above threshold, NATx) oder ein komplexeres Maß eingeführt wird, das möglichst genau die Anzahl der hörbaren Überflüge an einer Wohnadresse beschreibt.
3. Die Vorhersagekraft eines stärker an der Häufigkeit von Flugbewegungen orientierten Prädiktors ist für Belästigungen und Störungen durch Fluglärm unterschiedlich. Es wird erwartet, dass Häufigkeits-bezogene Indikatoren stärker mit berichteten Störungen zusammenhängen als mit „reinen“ Belästigungsvariablen.
4. Wenn eine Bevölkerungsstichprobe nach einem bestimmten akustischen Kriterium (z.B. L_{pAeq} , L_{Amax} oder N) stratifiziert wird, werden die statistischen Zusammenhänge zwischen Belästigung und akustischer Belastung für diejenige akustische Variable am höchsten ausfallen, nach der die Stichprobe stratifiziert wurde.

Vorgehen

Die Hypothesen sollen an bereits gestehenden Datensätzen mit individuellen Belästigungsurteilen und adressbezogenen akustischen Belastungs- und Flugbetriebsvariablen geprüft werden. Die Datensätze sollen groß genug sein, um auch Subsamples mit unterschiedlichen Stratifizierungsregeln getrennt analysieren zu können.

Befragungs-Datensätze mit vergleichbarer Definition von Belästigungs- und Störungsvariablen stehen für insgesamt 11 Untersuchungen aus Deutschland und der Schweiz zur Verfügung:

sechs nach Fluglärm- L_{pAeq} stratifizierte Zufallsstichproben: FRA 2005 (RDF, n=2.312), FRA 2011 (NORAH Panel, n>9.000), FRA 2013 (NORAH Neurekruitierte, n = 2.400), BER (NORAH, n=5.548), CGN (NORAH, n=2.955) und STR (NORAH, n=1.979),

zwei NORAH-Querschnittsstudien mit Fluglärm-daten, stratifiziert nach Straßen- bzw. Schienenverkehrs-lärm- L_{pAeq} : FRA-Straße, n=3.100) und Schienenverkehrs-lärm- L_{pAeq} , FRA-Schiene, n=3.300),

zwei Random-Stichproben aus Lärmstudie 2000 [9] ZRH 2001 (n=1.816) und ZRH 2003 (n=1.719), sowie

eine nach L_{pAeq} stratifizierte SiRENE-Stichprobe [5] an 3

Schweizer Flughäfen: ZRH + GVA + BSL (n=5.367). Insgesamt stehen so Befragungsdaten von ca. 39.500 Personen zur Verfügung.

(Erläuterungen: RDF = Untersuchung Regionales Dialogforum [10]; FRA = Flughafen Frankfurt/Main; NORAH = Untersuchung Noise Related Annoyance, Cognition, and Health [11]; BER = Flughafen Berlin-Brandenburg (Schönefeld); CGN = Flughafen Köln/Bonn, STR = Flughafen Stuttgart; ZRH = Flughafen Zürich; SiRENE = Schweizer Verbundforschungsprojekt Short and Long Term Effects of Transportation Noise Exposure [5, 12, 13]; GVA = Flughafen Genf; BSL = Flughafen Basel.)

Vergleichbarkeit der Datensätze: In Vorab-Analysen wurde festgestellt, dass die Lärmstudie 2000, RDF, NORAH und SiRENE nicht in allen psychologischen Aspekten vollumfänglich vergleichbar sind: Es gibt z.B. beim Frageformat und bei den Antwortskalen Unterschiede bzw. unterschiedliche Schnittmengen zwischen den Datensätzen. Hier muss geprüft werden, ob gegebenenfalls Konvertierungen notwendig und verzerrungsfrei möglich sind.

Hinsichtlich der Exposition wurden die bestehenden Datensätze bereits geprüft. Es wurde festgestellt dass folgende akustischen und flugbetrieblichen Variablen adressbezogen zur Verfügung stehen oder neu berechnet werden können:

1. Dauerschallpegel für den Tag (06–22 Uhr)
2. Dauerschallpegel für die Nacht (22–06 Uhr)
3. Day-Evening-Night-Level (L_{den})
4. Varianten der Dauerschallpegel mit unterschiedlichen Halbierungsparametern (d.h. nicht-energieäquivalente Dauerschallpegel)
5. Häufigkeits-basierte akustische Variablen vom Typ NATx (number above threshold, mit Schwellenwert x)
6. Unterschiedliche Kombinationen von gemittelten Maximalpegeln oder L_{pAeq} mit Bewegungshäufigkeit N
7. Der Flugzeugtypen-Mix – beispielsweise in Form des Anteils der Schwerflugzeuge - zumindest für den gesamten Flughafen und das Erhebungsjahr der Befragung,.

Weiterhin sollen die Flughäfen insgesamt über Einzahlwerte charakterisiert werden, z.B. hinsichtlich Änderungssituation, lärmäquivalenter Flugbewegungen, Medienpräsenz, Anteil Schwerflugzeuge insgesamt o.ä.

Bestehende Datensätze müssen geprüft werden, ob jeweils genügend Befragte für Subsamples zur Verfügung stehen, in denen die Stratifizierungsregel systematisch variieren kann. Mögliche Stratifizierungsregeln: Zufall / unterschiedliche Dauerschallpegel / unterschiedliche Maximalpegel / unterschiedliche NATx / Anteil von Schwerflugzeugen / Anteil Nachtflugbetrieb / unterschiedliche Kombinationen von akustischen Variablen bzw. Flugbetriebe.

Weiterhin muss geprüft werden, wie hoch die Pegeldifferenzen bei den drei verwendeten Verfahren bzw. Datengrundlagen zur Berechnung der Fluglärmbelastung (AzB99, AzB2008, FLULA2) sind und wie diese ggf. ausgeglichen werden können.

Die Prüfung der Hypothesen 1-3 und (nach Möglichkeit auch Hypothese 4) soll durch Vergleiche in Längs- und Querschnitt geschehen, d.h. am selben Flughafen zu verschiedenen Zeitpunkten, Vergleiche über verschiedene Flughäfen (möglichst zu vergleichbaren Zeitpunkten). Dabei werden statistische Re-Analysen der ausgewählten Datensätze mit vorhandenen oder neu berechneten akustischen und flugbetrieblichen Prädiktoren durchgeführt (s.o. 1 bis 7), sowie mit Pegel-Häufigkeitskombinationen (z.B. $L_{pAeq} + \log \text{NATx}$ oder $L_{pA,max,gemittelt} + \log \text{NATx}$), jeweils getrennt zumindest für Belästigung (Tageswerte) und Schlafstörungen (Nachtwerte). Dabei wird untersucht, welchen Einfluss die beiden Komponenten Pegel und Anzahl der Flugbewegungen unabhängig voneinander und in Kombination haben.

Es werden – je nach Verfügbarkeit der Daten – drei verschiedene Arten von Analysemodellen für den Gesamtdatensatz gerechnet:

1. Modellart 1 mit einem einzigen akustischen bzw. operativen Prädiktor. Hier sollen v.a. L_{pAeq} (mit verschiedenen Halbierungsparametern), $L_{pAmax,gemittelt}$ (mit Varianten), NAT (mit Varianten) und Anteil Schwerflugzeuge verwendet werden.
2. Modellart 2 mit zwei akustischen bzw. operativen Prädiktoren (z.B. $L_{pAmax-X} + \log \text{NATx}$ oder $L_{pAeq} + \text{Anteil Schwerflugzeuge}$). Bei den Kombinationen werden v.a. die erfolgreichsten Varianten der akustischen/operativen Variablen von Modellart 1 berücksichtigt.
3. Modellart 3 mit drei akustischen bzw. operativen Prädiktoren (z.B. $L_{pAeq} + (L_{pAmax}$ und/oder NATx und/oder Anteil Schwerflugzeuge)). Auch hier werden v.a. die erfolgreichsten Varianten aus Modellart 2 verwendet.

Diese Modellarten werden – je nach Daten-Verfügbarkeit – teils nur für jeden Flughafen getrennt gerechnet, teils für mehrere Flughäfen gemeinsam.

Als Referenzmodell gilt Modellart 1 mit dem energieäquivalenten Tages-Dauerschallpegel unter Berücksichtigung soziodemografischer Einflüsse als Prädiktoren der Belästigung, d.h. hier wird ein einzelner traditioneller akustischer Prädiktor für Belästigungsrohwerte verwendet. Dieser L_{pAeq} wird auch bei den Modellarten 2 und 3 als eine der zu kombinierenden Variablen herangezogen.

Die Ergebnisse aller Rechenmodelle werden mit denen des Referenzmodells verglichen. Als Erfolgskriterien dienen je nach Modellart die erreichte Varianzaufklärung sowie die Informationskriterien BIC und AIC [13].

Ergebnisse der Modellierungen sind einerseits Formeln, in denen die Belästigungswerte durch Kombinationen akustischer Variablen geschätzt werden, andererseits

Expositions-Wirkungskurven. Die Gesamtzahl der zu berechnenden Modelle kann zur Zeit noch nicht angegeben werden. Sie hängt v.a. vom Ausgang der Verfügbarkeitsprüfungen ab.

Das Forschungsprojekt wird gleichzeitig vom Schweizer Bundesamt für Umwelt (BAFU) und der Ruhr-Universität finanziell unterstützt.

Literatur

- [1] Miedema, H. M. E.; Oudshoorn, C. G., Annoyance from transportation noise: Relationships with exposure Metrics DNL and DENL and their confidence intervals. *Environmental Health Perspectives* 109, (2001), 409-416.
- [2] Van Kempen, E.; Van Kamp, I. Annoyance from air traffic noise. Possible trends in exposure-response relationships; RIVM: Bilthoven, Niederlande, 2005.
- [3] Janssen, S. A.; Vos, H. A comparison of recent surveys to aircraft noise exposure-response relationships; TNO-034-DTM-2009-01799; TNO Built Environment and Geosciences: Delft, Niederlande, 2009.
- [4] Guski, R.; Schreckenberger, D.; Schuemer, R., Review: WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Annoyance. *International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH)* 14, (2017), 1-41. URL: <http://www.mdpi.com/1660-4601/14/12/1539/>
- [5] Brink, M., Belästigung durch Strassen-, Eisenbahn- und Fluglärm in der Schweiz: Erkenntnisse aus der SiRENE-Befragung. In SGA-SSA Tagung, Solothurn, Schweiz, 2017.
- [6] Brink, M., A review of explained variance in exposure-annoyance relationships in noise annoyance surveys. In 1th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN)2014), Nara, Japan, 2014.
- [7] MVA-Consultancy ANASE: Attitudes to Noise from Aviation Sources in England. Final Report; Queen's Printer and Controller of HMSO: Woking / Norwich, UK, 2007.
- [8] Brooker, P.; Critchley, J. B.; Monkman, D. J.; Richmond, C. United Kingdom Aircraft Noise Index Report.; London, UK, 1985.
- [9] Brink, M.; Wirth, K.E.; Schierz, C.; Thomann, G.; Bauer, G. Annoyance responses to stable and changing aircraft noise exposure. *J. Acoust. Soc. Am.* 2008, 124, 2930-2941, doi: 10.1121/1.2977680.
- [10] Schreckenberger, D.; Meis, M. Gutachten: Belästigung durch Fluglärm im Umfeld des Frankfurter Flughafens - Endbericht; ZEUS / Hörzentrum Oldenburg, Bochum und Oldenburg, 2006. URL: <http://www.verkehrslaermwirkung.de/>
- [11] Schreckenberger, D.; Faulbaum, F.; Guski, R.; Ninke, L.; Peschel, C.; Spilski, J.; Wothge, J. Wirkungen von Verkehrslärm auf die Belästigung und Lebensqualität; Gemeinnützige Umwelthaus GmbH: Kelsterbach, Germany, 2015. URL: <https://www.norah-studie.de/de/publikationen.html>
- [12] Röösl, M.; Héritier, H.; Vienneau, D.; und das SiRENE Team, Überblick SiRENE. Einfluss auf Herz-Kreislaufsterblichkeit: Schweizerische Nationale Kohortenstudie. In SSA-SSA Herbsttagung, Solothurn, Schweiz, 2017.
- [13] Wunderli, J.-M., Lärmwirkungsforschung aus akustischer Sicht: neue Ansätze in SiRENE. In SGA-SSA Herbsttagung, Solothurn, Schweiz, 2017.
- [14] Fahrmeir, L.; Kneib, T.; Lang, S., Regression. Modelle, Methoden und Anwendungen. Zweite Auflage. Springer: Heidelberg, 2009.