

Belästigungswirkung der Kombination von Fluglärm mit Straßen- oder Schienenverkehrslärm – Eine Untersuchung im Rahmen des NORAH-Forschungsverbundprojekts

Dirk Schreckenber¹, Jödis Wothge^{2,3}, Ulrich Möhler⁴, Rainer Guski⁵

¹ ZEUS GmbH, 58093 Hagen, E-Mail: schreckenber@zeusgmbh.de

² ehemals: Ruhr-Universität Bochum, 44801 Bochum

³ Umweltbundesamt, 06844 Dessau, E-Mail: joedis.wothge@uba.de

⁴ Möhler + Partner Ingenieure AG, 80336 München, E-Mail: ulrich.moehler@mopa.de

⁵ Ruhr-Universität Bochum, 44801 Bochum, E-Mail: rainer.guski@rub.de

Einleitung

Von 2011 bis 2015 wurde im Rhein-Main-Gebiet im Umfeld des Frankfurter Flughafens Frankfurt sowie teils an den Flughäfen Berlin-Brandenburg, Köln/Bonn und Stuttgart die NORAH-Studie zur Verkehrslärmwirkung (Noise-Related Annoyance, Cognition, and Health) durchgeführt. Es wurden dabei die Wirkungen von Verkehrslärm auf die Lärmbelastigung, Schlafstörungen, Blutdruck, Erkrankungsrisiken bezogen auf Herz-Kreislaufkrankheiten, Depression und Brustkrebs in der betroffenen Bevölkerung sowie die geistige Leistung und Lebensqualität von Grundschulkindern untersucht. Unter anderem wurde dabei die Belästigungswirkung der Mehrfachbelastung betroffener Anwohnerinnen und Anwohner aus dem Rhein-Main-Gebiet durch die Kombination von Flug- und Straßenverkehrslärm bzw. Flug- und Schienenverkehrslärm untersucht.

Nach Umfragen des Umweltbundesamtes fühlen sich 44% der Bevölkerung durch eine Mehrfachbelastung aus zwei bis fünf Lärmquellen belästigt, davon 22% durch eine Mehrfachbelastung aus zwei Lärmquellen, 11% durch drei Lärmquellen und weitere 11% durch vier oder fünf Lärmquellen [1]. Die Mehrfachbelastungen durch verschiedene Quellenarten des Umgebungslärms ist also ein weit verbreitetes Problem. Für die Belästigung der Bevölkerung durch einzelne Lärmquellenarten, insbesondere zum Flug-, Schienen- und Straßenverkehrslärm, liegen etablierte Expositions-Wirkungskurven bezogen auf Beurteilungspegel (z.B. L_{dn} , L_{den}) vor (u.a. [2]), deren Aktualität bzgl. Kurvenverlauf und -lage zum Teil bezweifelt werden kann (u.a. [3]). Dennoch ist die proportionale Belästigungs-Geräuschpegel-Beziehung bezogen auf einzelne Quellenarten des Umgebungslärms mehr als hinreichend belegt.

Bezogen auf die Einwirkung durch eine Quellenart erscheint es plausibel, dass eine berichtete Gesamtlärmbelastigung höher ausfällt, wenn Belastungen durch eine oder mehrere weitere Geräuschquellenarten hinzukommen. In der wissenschaftlichen Literatur werden allerdings von dieser plausiblen Annahme abweichende Befunde berichtet. Das heißt, die Gesamtlärmbelastigung kann bei Einwirkung mehrerer Quellen der höchsten quellenartspezifischen Lärmbelastigung entsprechen oder auch niedriger als die maximale quellenpezifische Lärmbelastigung ausfallen [4]. Diese Befundlage hat zu unterschiedlichen Modellen zur Gesamtbelastigung bei kombinierter Einwirkung verschiedener Lärmquellenarten und deren Überprüfung geführt (u.a. [5]-[6]).

Insgesamt zeigte sich dabei, dass eine rein expositionsbezogene, energetische Aufaddierung quellenpezifischer Geräuschpegel zu einem Gesamtschallpegel (Energiesummodell, [5]) nicht wirkungsadäquat ist. Dies gilt auch für eine gewichtete Aufaddierung quellenartspezifischer Geräuschpegel im Sinne eines Regressionsansatzes, wenn – wie beim 'independent-effect-model' [6] – der Einfluss von Interaktionen zwischen den quellenartspezifischen Geräuschpegeln unberücksichtigt bleibt.

Das dominant-source-Modell zur Gesamtlärmbelastigung

Unter den wirkungsbezogenen Modellen zur Gesamtlärmbelastigung ist insbesondere das 'dominant-source-model' verbreitet, das besagt, dass das Gesamtlärmbelastigungsurteil dem Maximum der quellenpezifischen Lärmbelastigungsurteile entspricht [5]-[6]. Danach richtet sich die Gesamtbelastigung nach der lästigsten Quellenart. Mitunter wird allerdings auch die Dominanz über die Geräuschpegel definiert, wonach sich das Gesamtbelastigungsurteil an der Lärmbelastigung durch die dominante, "lauteste" Quelle, d.h. Quellenart mit dem höchsten Geräuschpegel orientiert [7]-[8]. Solange bei gleicher Geräuschbelastung (z.B. in Bezug auf den L_{den} oder L_{dn}) Quellenunterschiede in der Lärmbelastigung bestehen [2], ist in einer Mehrfachbelastungs-Situation die Quellenart mit dem höchsten Geräuschpegel nicht unbedingt auch die "lästigste". Für die Analyse eines Dominanzeffekts ist es allerdings gerade in Felduntersuchungen einfacher, im Studienplan Stichprobengruppen in Abhängigkeit von der Geräuschpegeldominanz als in Abhängigkeit von der Belästigungsdominanz zu konzipieren, da ansonsten im letzteren Fall die quellenpezifischen Belastigungsurteile vor der Untersuchung bei Stichprobenziehung und -zuteilung bekannt sein müssten.

In mehreren Studien hat sich gezeigt, dass das 'dominant-source-model' im Vergleich zu anderen Erklärungsansätzen die höchste Varianzaufklärung in der Gesamtbelastigung aufweist, z.B. [5], [9]. Das Modell erlaubt eine gute Prognose der Gesamtbelastigung vor allem dann, wenn Geräuschpegelunterschiede (> 5 dB im $L_{pAeq,24h} / L_{den}$ in [7] bzw. > 2 dB in [8]) zwischen den beteiligten Quellenarten bestehen. Unklar ist die Ausprägung der Gesamtbelastigung, wenn die quellenpezifischen Geräuschpegel [7]-[8] bzw. Belastigungsurteile [4] in etwa gleich hoch ausfallen. Einerseits wird berichtet, dass in diesen Fällen die Gesamtbelastigung niedriger ausfällt als die maximale quellenpezifische

Belästigung [4][6], andererseits liegen Befunde vor, wonach die Gesamtlärmbelastigung in Nicht-Dominanz-Situationen höher ausfällt als die maximale quellenspezifische Belästigung [7] bzw. höher als die Gesamtlärmbelastigung in Situation mit einer im Geräuschpegel dominierenden Quellenart [8].

Wie sich die Variation der Geräuschpegeldominanz im Falle der Kombination von Flug- und Straßenverkehrslärm bzw. Flug- und Schienenverkehrslärm auswirkt, ist Gegenstand der hier berichteten Studie. Unter anderen weisen Pierrette et al. [5] auf die Bedeutung der Berücksichtigung nicht-akustischer Einflussgrößen für die Erklärung der Gesamtlärmbelastigung hin. Entsprechend wurden in dieser Studie eine Reihe von personen- bzw. einstellungsbezogenen als Moderatoren der Lärmbelastigung bekannte Variablen in die Analysen zur Gesamtlärmbelastigung einbezogen. Die Analysen beruhen auf Daten des Studienteils zur Belästigung und Lebensqualität der NORAH-Studie (Noise-Related Annoyance, Cognition, and Health) [10].

Methodik

Im NORAH-Studienteil zur Belästigung wurden u.a. am Flughafen Frankfurt in den Jahren 2011 bis 2013 mehrere Befragungen per Telefon oder optional online mit verschiedenen Stichprobengruppen und quellenspezifischen Schwerpunkten durchgeführt. In einer Panelstudie mit Fokus auf Fluglärnwirkungen wurde der Einfluss von Fluglärm vor (2011) und nach (2012, 2013) Eröffnung der Landebahn Nordwest (21.10.2011) auf die Lärmbelastigung und Lebensqualität untersucht. Für die hier beschriebene Studie zur Belästigungswirkung der kombinierten Verkehrslärmexposition wurden aus der Panelstudie die Daten der Erhebung aus 2012 verwendet. Im gleichen Jahr wurden in der selben Studienregion in zwei weiteren Stichproben ("QS Straße", "QS Schiene") die Wirkungen von Straßen- und Schienenverkehrslärm betrachtet, wobei hier jeweils bei Stichprobenziehung darauf geachtet wurde, dass die im Fokus stehende Verkehrslärmquellenart gegenüber den übrigen beiden dominiert ($L_{pAeq,24h}$ -Differenz $> 2,5$ dB). Die gesamte Studienregion wurde eingegrenzt durch die Umhüllende der 40 dB-Konturen des Tages- und Nachtdauerschallpegels für Luftverkehrsgläusche (Bezugsjahr 2007). Innerhalb dieses Perimeters wurden für die Stichprobenziehungen Pegelgruppen des Maximums des Tages- und Nachtdauerschallpegels für Luftverkehrsgläusche (Panelstichprobe), für Straßenverkehrsgläusche (QS Straße) und Schienenverkehrsgläusche (QS Schiene) gebildet und die zu interviewenden Personen per Zufall innerhalb der jeweiligen Pegelgruppen gezogen. Hierfür standen einerseits Einwohnermeldedaten sowie Gebäudekoordinaten und dazu adressbezogen berechnete Mittelungspegel für Luft-, Schienen- und Straßenverkehrsgläusche zur Verfügung.

Zu den drei genannten Stichproben-Teilgruppen wurden noch zwei weitere im Jahr 2012 gezogen: Eine Stichprobengruppe ("FL+SCH"), in denen die Luft- und Schienenverkehrsgläuschpegel ($L_{pAeq,24h}$) einen annähernd gleichen Beitrag zum energetisch addierten Gesamtpegel leisten, d.h. eine Differenz im $L_{pAeq,24h} \leq 2,5$ dB aufweisen und der $L_{pAeq,24h}$ für Straßenverkehrsgläusche < 40 dB beträgt und

eine Stichprobengruppe ("FL+STR") in denen die Differenz im $L_{pAeq,24h}$ für Flug- und Straßenverkehrsgläusche $\leq 2,5$ dB und der $L_{pAeq,24h}$ für Schienenverkehrsgläusche < 40 dB beträgt. Alle Geräuschpegelberechnungen für die Stichproben erfolgten fassadengenau unter Anwendung von Berechnungsvorschriften, d.h. im Falle des Luftverkehrs der AzB'08 – mit der Besonderheit der Verwendung von Radar-daten der Deutschen Flugsicherung als Eingangsdaten – und der Vorläufigen Berechnungsmethode für Umgebungslärm an Straßen (VBUS) und Schienen (VBUSCH). Als Expositionsmaße wurden für die Auswertungen zur kombinierten Verkehrslärmwirkung folgende 12-Monatspegel für die Zeit von Oktober 2011 bis September 2012 verwendet, vgl. [10]:

- Quellenspezifische Geräuschpegel: $L_{pAeq,24h}$ – Luft, $L_{pAeq,24h}$ – Straße, $L_{pAeq,24h}$ – Schiene
- Energetisch addierter Geräuschpegel: $L_{pAeq,24h}$ – Luft + Straße, $L_{pAeq,24h}$ – Luft + Schiene

In den Befragungen wurden u.a. erhoben, vgl. [11]:

- Quellenspezifische Belästigungen durch Flug-, Straßen- bzw. Schienenverkehrslärm
- Kombinierte Belästigung (Gesamtlärmbelastigung): Belästigung durch Flug- und Straßenverkehrslärm, Belästigung durch Flug- und Schienenverkehrslärm
- Weitere Einflussgrößen/Confoundervariablen: Befragungsmodus (Telefon vs. Online), Geschlecht, Alter, Wohndauer, Hauseigentum, Sozialstatus (SWI-Index: Bildung, Beruf, Einkommen), Migrationshintergrund, Lärmempfindlichkeit, und Bewertung des quellenspezifischen Verkehrs als nützlich, bequem, umweltschädigend.

Die quellenspezifische und kombinierte Lärmbelastigung wurde nach internationalem Standard gem. ISO/TS 15666 [12] anhand einer Belästigungsskala mit fünf Abstufungen erhoben: (1) überhaupt nicht; (2) etwas; (3) mittelmäßig; (4) stark; (5) äußerst gestört oder belästigt.

Ergebnisse

Für die Analyse zur *Kombination von Flug- und Straßenverkehrslärm* waren schließlich 4.905 Fälle verfügbar, davon 48% mit dominierendem $L_{pAeq,24h}$ für Strassenverkehrsgläusche, 28% mit dominierendem $L_{pAeq,24h}$ für Luftverkehrsgläusche und 24% mit einer $L_{pAeq,24h}$ -Differenz $\leq 2,5$ dB zwischen den beiden Geräuschpegeln. 52% sind männlich, 48% weiblich (Alter: 18 bis 93 Jahre, Ø 54 Jahre). 13% der Befragten verfügen über einen Migrationshintergrund. 27% sind Hauseigentümer. 85% wurden telefonisch interviewt, 15% nahmen online teil.

Für die Analyse zur *Kombination von Flug- und Schienenverkehrslärm* lagen 4.777 Fälle vor, davon 42% mit dominierenden Schienenverkehrspegeln, 32% mit dominierenden Luftverkehrspegeln und 26% mit einer $L_{pAeq,24h}$ -Differenz $\leq 2,5$ dB zwischen beiden Quellenarten. 48% der Befragten sind männlich, 52% weiblich, im Alter von 19 bis 92 (Ø 54 Jahre). 13% der Befragten verfügen über einen Migrationshintergrund. 22% sind Hauseigentümer. 86% nahmen am Telefoninterview teil, 14% nutzten den Online-Fragebogen.

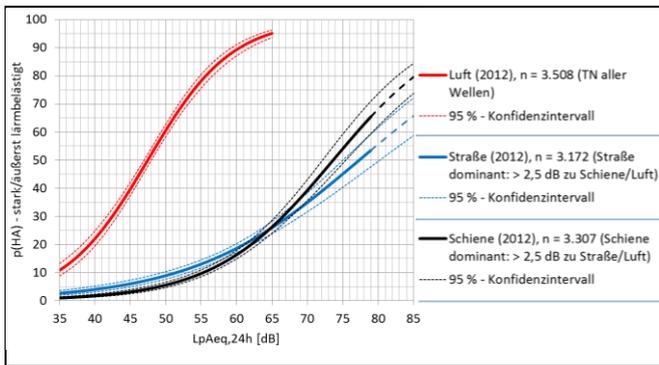


Abbildung 1: %HA-Anteil für Flug-, Schienen- und Straßenverkehrslärm in getrennten, quellenspezifischen Stichproben im Umfeld des Flughafens Frankfurt.

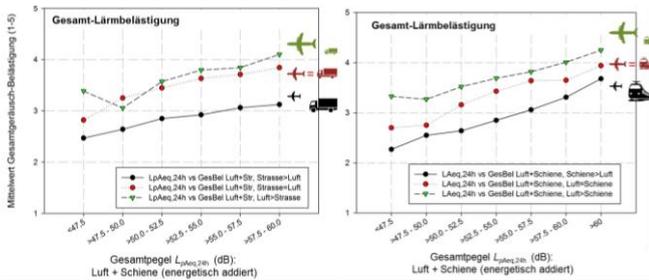


Abbildung 2: Gesamtlärmbelastigung durch Luft-kombiniert mit Straßenverkehrslärm (links) bzw. Schienenverkehrslärm (rechts) in Abhängigkeit von der akustischen Quellendominanz.

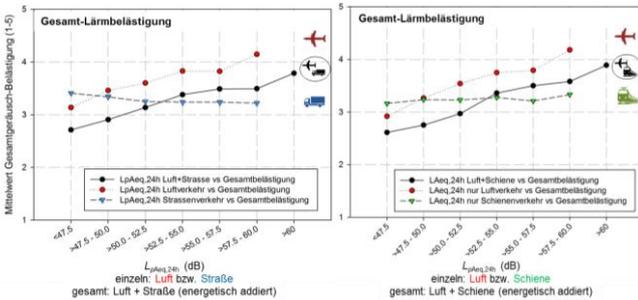


Abbildung 3: Gesamtlärmbelastigung durch zwei Quellenarten in Abhängigkeit von den quellenartspezifischen und dem über zwei Quellenarten (links: Luft + Straße; rechts: Luft + Schiene) energetisch addierten Mittelungspegeln $L_{pAeq,24h}$.

In Abbildung 1 ist der Prozentanteil der hoch durch jeweils Luft-, Schienen- oder Straßenverkehrslärm belästigten Personen im Untersuchungsgebiet der Rhein-Main Region (%HA; *highly annoyed*) bezogen auf den jeweiligen quellenspezifischen 24-Stunden-Mittelungspegel $L_{pAeq,24h}$ dargestellt. Es zeigt sich ein deutlicher Unterschied im quellenspezifischen %HA-Anteil: Bei gleichen 24-Stunden-Mittelungspegeln sind deutlich mehr Menschen durch Luftverkehrs- als durch Straßen- oder Schienenverkehrslärm hoch belästigt. Die Darstellung des %HA-Anteils zum Fluglärm bezieht sich zwar nur auf die Panelerhebung im Jahr 2012, der Quellenart-Unterschied in den %HA-Anteilen gilt aber in vergleichbarer Größenordnung unabhängig davon, ob die Fluglärmbelastigung vor- (2011) oder nach (2012, 2013) Inbetriebnahme der Nordwest-Landebahn am Flughafen Frankfurt erhoben wurde.

Mit zunehmendem energetisch aufaddierten Gesamtmitlungspegel $L_{pAeq,24h}$ steigt die Gesamtlärmbelastigung in der Kombination von Luft- und Straßen- als auch Luft- und Schienenverkehrslärm (Abbildung 2, Abbildung 3). Bei Dominanz der Luftverkehrsgeräuschpegel ist die Gesamtlärmbelastigung bei gleichem $L_{pAeq,24h}$ höher als bei Dominanz der Straßenverkehrsgeräuschpegel. Sind die Geräuschpegel der beiden Quellenarten annähernd gleich, dann liegt die Gesamtlärmbelastigung kurz unter der Gesamtlärmbelastigung bei dominierendem Luftverkehrsgeräuschpegel (Abbildung 2). Ähnlich bei der Kombination von Luft- und Schienenverkehrslärm: Bei Dominanz des Luftverkehrsgeräuschpegels im Gesamtgeräuschpegel ist die Gesamtlärmbelastigung höher als bei Dominanz des Schienenverkehrsgeräuschpegels. Bei annähernd gleichen quellenspezifischen Geräuschpegeln (Nicht-Dominanz) liegt die Gesamtlärmbelastigung über alle Pegelstufen zwischen den Gesamtlärmbelastigungsurteilen bei Dominanz von Luft- versus Schienenverkehrsgeräuschpegeln. Abbildung 3 zeigt, dass die Gesamtlärmbelastigung mit zunehmendem $L_{pAeq,24h}$ für Luftverkehrsgeräusche deutlich steigt, aber nicht bzw. kaum mit Zunahme des $L_{pAeq,24h}$ für Straßen- bzw. Schienenverkehrsgeräusche.

Insgesamt zeigt sich, dass über nahezu den gesamten untersuchten Geräuschpegelbereich die Gesamtlärmbelastigung im Wesentlichen durch die Mittelungspegel der lästigsten Quellenart (hier: Fluglärm) bestimmt wird und die zweite Verkehrslärmquellenart auch dann kaum einen Einfluss hat, wenn sie einen dominierenden Anteil am Gesamt-Mittelungspegel hat. Dies zeigen auch die multiplen Regressionsanalysen (Tabelle 1) zur Gesamtlärmbelastigung bei Kombination von Luft- und Straßen- bzw. Luft- und Schienenverkehrslärm. Als Einflussfaktoren sind neben den $L_{pAeq,24h}$ -Werten der betrachteten Quellenarten deren Interaktion sowie zur Kontrolle der $L_{pAeq,24h}$ der dritten Verkehrslärmquellenart einbezogen worden. Weiterhin wurden methodische Kontrollfaktoren (z.B. Befragungsmodus), soziodemographische und personen-/einstellungsbezogene Variablen als potentielle Confounder bzw. nicht-akustische Einflussgrößen in die Modelle mit aufgenommen.

Aus Tabelle 1 geht hervor, dass sowohl bei der Kombination Luft + Straße als auch Luft + Schiene der $L_{pAeq,24h}$ für Luftverkehrsgeräusche ein deutlich stärkeres β -Gewicht (= höheres Einflussgewicht) hat, als der $L_{pAeq,24h}$ der zweiten Verkehrslärmart Straßen- bzw. Schienenverkehr. Bei der Kombination Luft + Straße hat der Straßenverkehrsgeräuschpegel keinen statistisch signifikanten Einfluss, dagegen aber geringfügig die Wechselwirkung der quellenspezifischen Mittelungspegel. Das negative Vorzeichen des β -Gewichtes ($\beta = -0,08$) bedeutet, dass durch die Wechselwirkung der quellenspezifischen Mittelungspegel eine geringfügige Abschwächung des Grads der Gesamtlärmbelastigung erfolgt. Bei der Kombination Luft + Schiene ist die Wechselwirkung der quellenspezifischen $L_{pAeq,24h}$ -Werte nicht signifikant.

Tabelle 1 zeigt weiterhin auch die Bedeutung der nicht-akustischen Faktoren für die Gesamtlärmbelastigungsurteile. Insbesondere die Lärmempfindlichkeit und die Bewertungen des Luftverkehrs sind danach mit der Gesamtlärmbelastigung assoziiert. Je lärmempfindlicher die Person oder je ne-

gativer die Bewertung von Attributen des Luftverkehrs, desto höher ist die Gesamtlärmbelastigung.

Tabelle 1: Standardisierte Regressionsgewichte und Irrtumswahrscheinlichkeiten aus den Regressionsanalysen zur kombinierten Flug-/Straßen- (Luft + Straße) bzw. Flug-/Schienenverkehrslärmbelastigung (Luft + Schiene)

	Luft + Straße		Luft + Schiene	
	β	p	β	p
(Konstante)	-0,25	< 0,01	-0,23	< 0,01
$L_{pAeq,24h}$ – Luft	0,40	< 0,01	0,36	< 0,01
$L_{pAeq,24h}$ – Straße	0,03	0,51	0,01	0,91
$L_{pAeq,24h}$ – Schiene	0,02	0,65	0,10	< 0,01
$L_{pAeq,24h}$ – Luft * Straße	-0,08	0,02	--	--
$L_{pAeq,24h}$: Luft * Schiene	--	--	-0,02	0,52
Befragungsmodus	-0,03	0,22	-0,02	0,35
Geschlecht	0,01	0,55	0,00	0,91
Alter	-0,02	0,39	0,00	0,88
Alter ²	-0,10	< 0,01	-0,14	< 0,01
Wohndauer	0,01	0,70	-0,02	0,54
Hauseigentum	0,06	0,01	0,07	< 0,01
SWI	0,03	0,25	0,05	0,05
Migration	-0,05	0,02	-0,02	0,31
Lärmempfindlichkeit	0,29	< 0,01	0,23	< 0,01
Luftverk. = nützlich	-0,15	< 0,01	-0,11	< 0,01
Luftverk. = bequem	-0,02	0,40	-0,03	0,13
Luftverk. = umweltschädigend ^a	-0,09	< 0,01	-0,19	< 0,01
Schienenv. = nützlich	-0,04	0,10	-0,04	0,11
Schienenv. = bequem	0,02	0,47	-0,01	0,85
Luftverk. = umweltschädigend ^a	-0,03	0,19	0,03	0,29
B.-Modus * Alter	-0,01	0,58	-0,02	0,32
AIC ^b	4.150,07		5.332,41	

^a umkodiert, sodass ansteigende Attributwerte zu "umweltschädigend" mit Werten zu "nützlich" und "bequem" zunehmend positive Bewertungen widerspiegeln. ^b Akaike-Informationskriterium zur Modellgüte.

Fazit

In dieser Studie wurden Daten des NORAH-Forschungsverbundprojekts zur Gesamtbelastigung durch die kombinierte Einwirkung von Flug- und Straßen- sowie Flug- und Schienenverkehrslärm untersucht. Es zeigte sich, dass die Gesamtlärmbelastigung durch die "lästigste" Quellenart (hier: Luftverkehr) dominierend bestimmt wird und der Mittelungspegel der jeweils zweiten betrachteten Verkehrslärmquellenart einen nur geringfügigen, bei der Kombination Luft + Straße eher abschwächenden Einfluss auf das Gesamtbelastigungsurteil hat. Wie auch bei der quellenspezifischen Lärmbelastigung trägt insbesondere die Lärmempfindlichkeit zur Erklärung der Gesamtlärmbelastigung bei, ebenso wie die Einstellung zur Lärmquelle, allerdings nur zur lästigsten. In weiteren Untersuchungen ist zu klären, inwieweit sich o.a. Aussagen bei getrennter Betrachtung von Gestörtheitsbereichen und Zeitbereichen verändern.

Literatur

[1] Umweltbundesamt 2014, URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/laermwirkung/laermbelaestigung>

[2] Miedema H.M.E., Vos, H.: Noise sensitivity and reactions to noise and other environmental conditions. *Journal of the Acoustical Society of America* 113 (2003), 1492-1504

[3] Janssen, S.A., Vos, H. A comparison of recent surveys to aircraft noise exposure-response relationships. Delft, NL: TNO report, TNO-034-DTM-2009-01799, 2009.

[4] Miedema, H.M.E.: Relationship between exposure to multiple noise sources and noise annoyance. *Journal of the Acoustical Society of America* 116 (2004), 949-957

[5] Pierrette, M., Marquis-Favre, C., Morel, J., Rioux, L., Vallet, M., Viollon, S. & Moch, A.: Noise annoyance from industrial and road traffic combined noises: A survey and a total annoyance model comparison. *Journal of Environmental Psychology*, 32 (2012), 178-186.

[6] Weber, R., Schulte-Fortkamp, B., Ronnebaum, T., Dönniges, T.: Literaturstudie zur Gesamtgeräuschbewertung. Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg, 1996.

[7] Champelovier, P., Cremezi-Charlet, C. & Lambert, J. Evaluation de la gêne due à l'exposition combinée aux bruits routier et ferroviaire (Report 242). INRETS, Lyon, 2003

[8] Öhrström, E., Barregård, K., Andersson, E., Skånberg, A., Svensson, H. & Ångerheim, P.: Annoyance due to single and combined sound exposure from railway and road traffic. *Journal of the Acoustical Society of America* 122 (2007), 2642-2652.

[9] Nguyen, T.L., Nguyen, H.Q., Yano, T., Nishimura, T., Sato, T., Morihara, T. et al.: Comparison of models to predict annoyance from combined noise in Ho Chi Minh City and Hanoi. *Applied Acoustics* 73 (2012), 952-959.

[10] Möhler, U., Liepert, M., Mühlbacher, M., Beronius, A., Nunberger, M., Braunstein, G., Gillé, M., Schaal, J., Bartel, R.: Erfassung der Verkehrsgeräuschexposition. In Gemeinnützige Umwelthaus gGmbH (Hg.), NORAH (Noise related annoyance cognition and health): Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld (Bd. 2), Kelsterbach. URL: www.norah-studie.de/dl.pl?typ=pub&id=1446116917_71891

[11] Schreckenberger, D., Faulbaum, F., Guski, R., Ninke, L., Peschel, C., Spilski, J. & Wothge, J.: Wirkungen von Verkehrslärm auf die Belastigung und Lebensqualität. In Gemeinnützige Umwelthaus gGmbH (Hg.), NORAH (Noise related annoyance cognition and health): Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld (Bd. 3), Kelsterbach. URL: www.norah-studie.de/dl.pl?typ=pub&id=1446117079_73161

[12] ISO - International Organization for Standardization, "Acoustics – Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys", ISO/TS 15666, Geneva, (2003)

Hinweis

Die Studie wurde finanziert durch die Gemeinnützige Umwelthaus GmbH, 65451 Kelsterbach.