

SiRENE: Kurz- und langfristige Auswirkungen der Verkehrslärmbelastung

Martin Röösl^{1,2}, Jean-Marc Wunderli³, Mark Brink⁴, Christian Cajochen⁵, Danielle Vienneau^{1,2}, Maria Foraster^{1,2}, Ikenna C. Eze^{1,2}, Harris Héritier^{1,2}, Emmanuel Schaffner^{1,2}, Laurie Thiesse⁵, Franziska Rudzik⁵, Reto Pieren³, Manuel Habermacher⁶, Micha Köpfli⁶, Nicole Probst-Hensch^{1,2}

¹Schweizerisches Tropen- und Public Health Institut, Basel, E-Mail:martin.roosli@swisstph.ch

²Universität Basel, Basel

³Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung

⁴Bundesamt für Umwelt, Ber

⁵Zentrum für Chronobiologie, Psychiatrisches Universitätsspital Basel, Basel

⁶n-Sphere AG, Zürich

Einleitung

Lärm führt akut zu Belästigung und Schlafproblemen [1]. In epidemiologischen Studien ist Verkehrslärm mit einem erhöhten Risiko für Herz-Kreislaufkrankungen, Diabetes, Depressionen und kognitiven Beeinträchtigungen bei Kindern assoziiert [1, 2]. Dennoch ist weitgehend unklar wie akute und kurzfristige Auswirkungen einer Lärmbelastung schlussendlich zu langfristigen Gesundheitsproblemen führen. Es besteht auch große Unsicherheiten in Bezug auf die Art der Expositions-Wirkungsbeziehung für Straßen-, Bahn- und Fluglärm und welche Charakteristika der Lärmbelastung besonders schädlich sind.

Ziele

Die SiRENE-Studie (*Short and Long Term Effects of Transportation Noise Exposure*) verfolgt die folgenden Hauptziele:

- Herleitung der Expositions-Wirkungsbeziehung für Straßen-, Bahn und Fluglärm für kardiometabolische Gesundheitseffekte (Morbidität und Mortalität), Lärmbelastigungen und lärmbedingte Schlafstörungen.
- Evaluation des Einflusses der Lärmcharakteristik (z.B. Tageszeit, Ereignishaftigkeit) auf den Schlaf, die Belästigung und kardiometabolische Gesundheit.
- Untersuchung des Einflusses von persönlichen Merkmalen auf die Gesundheitsauswirkungen des Verkehrslärms.
- Evaluation von genetischen und pathophysiologischen Wirkungsmechanismen des Verkehrslärms.

Methodik

In der SiRENE-Studie wird die Lärmbelastung durch Straßen-, Schienen und Luftverkehr für die gesamte Schweizer Bevölkerung modelliert. Neben der Höhe der Belastung werden dabei auch andere Charakteristika berücksichtigt wie etwa die tageszeitliche Verteilung oder die "Ereignishaftigkeit" des Lärms. Im Schlaflabor werden Probanden während einer Woche zufällig verschiedenen Lärmszenarien ausgesetzt und kurzzeitige Effekte auf den Schlaf, kardiometabolische Parameter und kognitive Leistungsfähigkeit am Folgetag analysiert. In einer repräsentativen Bevölkerungserhebung wird evaluiert, wie stark die Verkehrslärmbelastigung im Alltag ist und wie mit der entsprechenden Belastung umgegangen wird („Coping“).

In zwei großen laufenden epidemiologischen Studien (SAPALDIA Biobank und Schweizer Nationale Kohortenstudie) wird unter Berücksichtigung von Biomarkern und anderen Faktoren wie Luftbelastung untersucht, wie sich die Lärmbelastung am Wohnort langfristig auf die kardiometabolische Gesundheit auswirkt, und welche zu Grunde liegenden biologische Mechanismen dafür verantwortlich sind.

Resultate

Die Resultate der SiRENE-Studie sind in einer Vielzahl von wissenschaftlichen Publikationen (siehe www.sirene-studie.ch) im Detail dargestellt. Es folgt eine Übersicht über die wichtigsten bisher erarbeiteten Studienresultate:

Expositionsmodellierung

Für Straßen-, Bahn- und Fluglärm wurde die Lärmexposition für jedes Gebäude in der Schweiz im Jahr 2001 und 2011 modelliert [3]. Das entspricht 1.8 Millionen Gebäuden, 6.9 Millionen Wohneinheiten und 54 Millionen modellierten Empfangspunkten auf Gebäudefassaden. In die Modellierung flossen unter anderem 72'000 km Straßen, 4'500 km Bahnlinien, die vier größten Flughäfen (Zürich, Genf, Basel, Payerne) und 766 km Lärmschutzwände ein. Im Jahr 2011 waren rund 40% der Bevölkerung an ihrem Wohnort am Tag mehr als 55 dB Straßenlärm ausgesetzt. In der Nacht waren 15% oberhalb dieser Schwelle exponiert. Gegenüber Bahnlärm waren am Tag 5% und in der Nacht 4% einem höheren Pegel als 55 dB ausgesetzt. Gegenüber Fluglärm betragen die Anteile 2% am Tag beziehungsweise 0.1% in der Nacht.

Eine Validierungsstudie des Lärmberechnungs-Modells mit wöchentlichen Messungen in 180 Räumen in der ganzen Schweiz fand eine gute Übereinstimmung zwischen Straßenlärmmodellierung und gemessenen Werten des Straßenlärms (mittlere Abweichung des L_{den} : 0.5 ± 4 dB(A)) [4]. In der Nacht ist die mittlere Differenz nur 0.2 dB.

Lärmmessungen in 102 Wohnungen ergaben im Durchschnitt eine Pegeldifferenz zwischen Innen- und Außenlärm von 28 dB bei geschlossenem Fenster, von 16 dB bei gekipptem Fenster und von 10 dB bei offenem Fenster [5].

Als Maß für die Beschreibung der "Ereignishaftigkeit" bzw. "Intermittenz" (als Lärmcharakteristik) wurde die Metrik Intermittency Ratio (IR) entwickelt [6]. Die IR ist ein Maß dafür, wie viel Schallenergie einzelne Ereignisse (z.B. eine

Zugsvorbeifahrt), im Gegensatz zu einem kontinuierlichen Grundgeräusch zur gesamten Lärmbelastung beisteuern. Der Größenbereich der IR reicht von 0% bis 100%, wobei 0% bedeutet, dass keine Lärmereignisse mit einem Maximalpegel von mehr als 3 dB oberhalb des stündlichen Mittelungspegels auftreten. Ein Wert von 100% bedeutet, dass die gesamte Schallenergie am Empfangspunkt durch einzelne Ereignisse erzeugt wird.

Belästigung und selbstberichtete Schlafstörungen

Belästigungen und selbstberichtete Schlafstörungen durch Lärm wurden in einer großangelegten Bevölkerungsbefragung in der ganzen Schweiz erhoben. Von in vier Wellen insgesamt 18'000 versendeten Fragebogen wurden 5'592 ausgefüllt retourniert. Abbildung 1 zeigt den Anteil stark belästigter Personen und Abbildung 2 den Anteil stark schlafgestörter Personen in Abhängigkeit der Lärmexposition, ausgedrückt im L_{den} , für die drei Verkehrsquellen. Es ist ersichtlich, dass bei gleichem Lärmpegel Fluglärm als belästigender wahrgenommen wird als Bahn- oder Straßenlärm. Die Belästigung ist am tiefsten zwischen 9:00 und 16:00 und am höchsten in den Morgen- und Abendstunden sowie für Bahnlärm in der Nacht. Entgegen der à priori formulierten Studienhypothese scheint ereignisreicher Strassenlärm weniger belästigend zu sein als monotoner Strassenlärm. Beim Bahn- und Fluglärm ist es wie erwartet: je ereignisreicher desto störender.

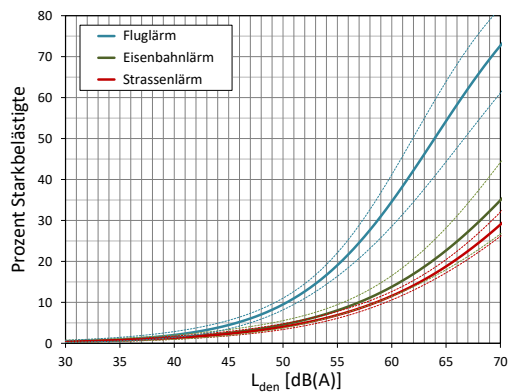


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen L_{den} für Straßen-, Bahn- und Fluglärm und dem Anteil stark belästigter Personen (+/- 95%-Konfidenzintervall)

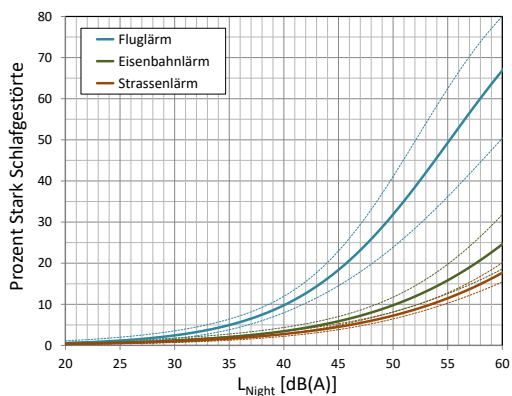


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen L_{den} für Straßen-, Bahn- und Fluglärm und dem Anteil stark schlafgestörter Personen (+/- 95%-Konfidenzintervall)

Beeinträchtigung des Schlafs (Laborstudie)

Sechszwanzig junge (19-33 Jahre) und 18 ältere (51-70 Jahre) Probanden nahmen an den experimentellen Untersuchungen im Schlaflabor teil. Bei gleichen durchschnittlichen Schallpegeln von 45 dB am Ohr der Schlafenden führte ereignisreicher Lärm zu einer längeren Einschlafdauer bis zum Schlafstadium 2 und zu mehr Wechsel der Schlafstadien ohne Beeinträchtigung der Schlafeffizienz. Die subjektive eingeschätzte Schlafqualität und wie frisch sich die Probanden nach dem Aufwachen fühlten war nach Nächten mit hoher Ereignishaftigkeit tiefer respektive schlechter [7].

Die Laborstudie lieferte auch Hinweise auf eine durch Lärm reduzierte Glukosetoleranz und Insulinsensitivität bei jungen Probanden im Vergleich zu lärmfreien Nächten und zu einer nicht-exponierten Kontrollgruppe. Diese Wirkung war nach Nächten mit vielen Ereignissen (IR) verstärkt [8].

Diabetes-Erkrankungen

Die SAPALDIA-Daten lieferten Hinweise für den langfristigen Einfluss des Lärms auf den Metabolismus. Bei einer Kohorte von 2,631 Personen erhöhte sich nach Berücksichtigung einer Vielzahl von weiteren Einflussfaktoren mit zunehmender Straßenlärmbelastung das Risiko, zwischen 2001 und 2011 neu an Diabetes Typ II zu erkranken. Tendenziell war auch ein Zusammenhang mit Fluglärm ersichtlich [9]. Der Zusammenhang mit Lärm war linear ohne erkennbaren Schwellenwert. Die Risikoerhöhung für Straßenlärm war unabhängig von der Luftbelastung, der subjektiven Lärmbelästigung und der Lärmsensitivität, nahm jedoch mit der Anzahl Lärmereignisse zu. Vertiefte Analysen deuten darauf hin, dass für diese beobachteten Assoziationen lärmbedingte Schlafbeeinträchtigungen [10] und möglicherweise auch damit verbundene reduzierte körperliche Aktivität eine wichtige Rolle spielen [11].

Herz-Kreislauf-todesfälle und Gefäßveränderungen

Im Rahmen der Schweizerischen Nationalen Kohortenstudie (SNC) wurden alle 143'000 kardiovaskulären Todesfälle, die zwischen 2000 und 2008 in der Schweiz aufgetreten sind, analysiert. Es ergaben sich konsistente Zusammenhänge zwischen allen drei Verkehrslärmarten und Herzinfarkt [12]. Auch die Ereignishaftigkeit spielte eine Rolle. Das Sterberisiko ist zusätzlich erhöht bei mittlerer IR im Vergleich zu wenig oder sehr hoher IR. Andere kardiovaskulären Todesfälle, insbesondere Herzinsuffizienz und bluthochdruckbedingte Todesfälle, sind ebenfalls mit Verkehrslärm assoziiert, am stärksten mit Straßenverkehrslärm. Die Zusammenhänge waren linear ohne offensichtlichen Schwellenwert unterhalb dessen keine gesundheitlichen Wirkungen zu beobachten waren. Zusätzliche Analysen legen nahe, dass für akute Herzerkrankungen vor allem Lärm in der Nacht relevant zu sein scheint, während für nicht-akute Erkrankungen wie Herzinsuffizienz der Lärm am Tag bedeutsamer ist [13]. Wie auch bei der SAPALDIA-Studie, sind die Zusammenhänge mit Lärm unabhängig von der Luftbelastung und den gesundheitsfördernden Auswirkungen von Grünflächen [14].

Die Kausalität dieser beobachteten Assoziation wird durch die Daten der SAPALDIA-Studie unterstützt. Bei den 2'775 untersuchten Studienteilnehmenden erhöhte sich mit zunehmender Bahnlärmexposition am Wohnort die arterielle Steifheit [15], ein Marker für das kardiovaskuläre Erkrankungsrisiko. Wiederum war dieser Zusammenhang unabhängig von der Luftbelastung, der subjektiven Lärmbelästigung und der Lärmempfindlichkeit. Etwas stärker ausgeprägt war die Assoziation bei Personen mit hoher Tagesmüdigkeit und bei hoher IR in der Nacht.

Diskussion

Die interdisziplinäre SiRENE Studie zeigt verschiedene gesundheitliche Auswirkungen der Verkehrslärmbelastung anhand von experimentellen und epidemiologischen Forschungsmethoden auf. Extrapoliert man die gefundenen Expositions-Wirkungsbeziehungen auf die ganze Schweiz implizieren die Studienresultate jährlich rund 500 zusätzliche Herz-Kreislauf-todesfälle und 2'500 Diabetes Erkrankungen, die durch Verkehrslärm (mit-)verursacht sind. Rund 13% der Bevölkerung sind stark lärmbelästigt und etwa 9% fühlen sich wegen Verkehrslärm stark im Schlaf gestört. Obwohl die SiRENE-Studie seit Ende 2017 abgeschlossen ist, werden noch weitere Resultate hinzukommen und die Daten auch in Zukunft weiter genutzt, um das Verständnis über die Auswirkungen der Lärmbelastung zu verbessern. Zugang zu allen Publikationen gibt es auf der Studien-Homepage: www.Sirene-Studie.ch. Neu erscheinende Publikationen werden laufend ergänzt werden.

Literatur

- [1] Basner M., Babisch W., Davis A., et al., Auditory and non-auditory effects of noise on health. *Lancet* 383 (2014), 1325-32.
- [2] Seidler A., Hegewald J., Seidler A.L., et al., Association between aircraft, road and railway traffic noise and depression in a large case-control study based on secondary data. *Environ Res* 152 (2017), 263-271.
- [3] Karipidis I., Vienneau D., Habermacher M., et al., Reconstruction of historical noise exposure data for environmental epidemiology in Switzerland within the SiRENE project. *Noise Mapping* 1 (2014), 3-14.
- [4] Schlatter F., Piquerez A., Habermacher M., et al., Validation of large scale noise exposure modeling by long-term measurements. *Noise Mapping* 4 (2017), 75-86.
- [5] Locher B., Piquerez A., Habermacher M., et al., Differences between outdoor and indoor sound levels for open, tilted, and closed windows. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15 (2018), E149.
- [6] Wunderli J.M., Pieren R., Habermacher M., et al., Intermittency ratio: A metric reflecting short-term temporal variations of transportation noise exposure. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 26 (2016), 575-585.
- [7] Rudzik F., Thiesse L., and Pieren R., et al., Sleep spindle characteristics and arousability from night-time transportation noise exposure in healthy young and older individuals. *Sleep* (2018), in press.
- [8] Thiesse L., Rudzik F., and Spiegel K., Adverse impact of nocturnal transportation noise on glucose regulation in healthy young adults: effect of different noise scenarios. *Environ Int* (in revision).
- [9] Eze I.C., Foraster M., Schaffner E., et al., Long-term exposure to transportation noise and air pollution in relation to incident diabetes in the SAPALDIA study. *Int J Epidemiol* 46 (2017), 1115-1125.
- [10] Eze I.C., Imboden M., Foraster M., et al., Exposure to Night-Time Traffic Noise, Melatonin-Regulating Gene Variants and Change in Glycemia in Adults. *Int J Environ Res Public Health* 14 (2017), 1492.
- [11] Foraster M., Eze I.C., Vienneau D., et al., Long-term transportation noise annoyance is associated with subsequent lower levels of physical activity. *Environ Int* 91 (2016), 341-9.
- [12] Heritier H., Vienneau D., Foraster M., et al., Transportation noise exposure and cardiovascular mortality: a nationwide cohort study from Switzerland. *Eur J Epidemiol* 32 (2017), 307-315.
- [13] Heritier H., Vienneau D., Foraster M., et al., Diurnal variability of transportation noise exposure and cardiovascular mortality: a nationwide cohort study from Switzerland. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* (2018), epub ahead of print.
- [14] Vienneau D., de Hoogh K., Faeh D., et al., More than clean air and tranquillity: Residential green is independently associated with decreasing mortality. *Environ Int* 108 (2017), 176-184.
- [15] Foraster M., Eze I.C., Schaffner E., et al., Exposure to road, railway, and aircraft noise and arterial stiffness in the SAPALDIA study: annual average noise levels and temporal noise characteristics. *Environmental Health Perspectives* 125 (2017), 097004.

Finanzierung

Die SiRENE-Studie wurde vom Schweizerischen Nationalfonds mit dem Sinergia-Förderinstrument (CRSII3_147635) und dem Bundesamt für Umwelt finanziert.