

Bundesgesundheitsbl 2020 · 63:332–343  
<https://doi.org/10.1007/s00103-020-03094-y>  
 Online publiziert: 11. Februar 2020  
 © Der/die Autor(en) 2020



Kathrin Wolf<sup>1</sup> · Ute Kraus<sup>1</sup> · Mihovil Dzolan<sup>1,2</sup> · Gabriele Bolte<sup>3</sup> · Tobia Lakes<sup>4</sup> · Tamara Schikowski<sup>5</sup> · Karin Halina Greiser<sup>6,7</sup> · Oliver Kuß<sup>8</sup> · Wolfgang Ahrens<sup>9,10</sup> · Fabian Bamberg<sup>11</sup> · Heiko Becher<sup>12</sup> · Klaus Berger<sup>13</sup> · Hermann Brenner<sup>14</sup> · Stefanie Castell<sup>15</sup> · Antje Damms-Machado<sup>6</sup> · Beate Fischer<sup>16</sup> · Claus-Werner Franzke<sup>17</sup> · Sylvia Gastell<sup>18</sup> · Kathrin Günther<sup>9</sup> · Bernd Holleczeck<sup>19</sup> · Lina Jaeschke<sup>20</sup> · Rudolf Kaaks<sup>6</sup> · Thomas Keil<sup>21,22,23</sup> · Yvonne Kemmling<sup>15</sup> · Lilian Krist<sup>21</sup> · Nicole Legath<sup>13</sup> · Michael Leitzmann<sup>16</sup> · Wolfgang Lieb<sup>24</sup> · Markus Loeffler<sup>25,26</sup> · Claudia Meinke-Franze<sup>27</sup> · Karin B. Michels<sup>17</sup> · Rafael Mikolajczyk<sup>7</sup> · Susanne Moebus<sup>28</sup> · Ulrich Mueller<sup>29</sup> · Nadia Obi<sup>12</sup> · Tobias Pischon<sup>20,30,31,32</sup> · Wolfgang Rathmann<sup>8</sup> · Sabine Schipf<sup>27</sup> · Borge Schmidt<sup>28</sup> · Matthias Schulze<sup>33</sup> · Inke Thiele<sup>1</sup> · Sigrid Thierry<sup>1,34</sup> · Sabina Waniek<sup>24</sup> · Claudia Wigmann<sup>5</sup> · Kerstin Wirkner<sup>25,26</sup> · Johannes Zschocke<sup>7,35</sup> · Annette Peters<sup>1,36</sup> · Alexandra Schneider<sup>1</sup>

## Nächtliche Verkehrslärm- belästigung in Deutschland: individuelle und regionale Unterschiede in der NAKO Gesundheitsstudie

### Zusatzmaterial online

Die englischsprachige Version dieses Beitrags ist im Online-Zusatzmaterial dieses Artikels (<https://doi.org/10.1007/s00103-020-03094-y>) enthalten.

### Einleitung

Laut Weltgesundheitsorganisation (WHO) stellt Lärm nach der Luftverschmutzung den zweitgrößten gesundheitsgefährdenden Umweltfaktor in Europa dar [1, 2]. Menschen sind hauptsächlich in Ballungsgebieten, zunehmend jedoch auch außerhalb der Stadtgebiete Umweltlärm ausgesetzt. Die wichtigsten Lärmquellen sind dabei Straßen-, Luft- und Schienenverkehr sowie Industrie und Nachbarschaft. Nach Schätzungen

Die Autorinnen A. Peters und A. Schneider teilen sich die Letztautorenschaft.

Weitere Informationen zu den Affiliations der Autoren befinden sich auf der letzten Artikelseite.

der Europäischen Umweltagentur sind in Deutschland 6,7 Mio. Menschen tagsüber und 4,3 Mio. Menschen nachts gegenüber schädlichem Straßenverkehrslärm exponiert [3]. Zahlreiche epidemiologische Studien haben negative Auswirkungen des Umweltlärms auf Gesundheit und Wohlbefinden beschrieben [4–7]. Insgesamt schätzt die WHO, dass in Westeuropa mehr als 1 Mio. sog. Disability-adjusted Life Years (durch gesundheitliche Beeinträchtigungen und vorzeitigen Tod verlorene gesunde Lebensjahre) jährlich auf durch Verkehrslärm bedingte Erkrankungen zurückzuführen sind [1, 2].

Lärmbelästigung wird generell als psychische Reaktion auf Lärmexposition angesehen [8] und gilt als umweltbedingte Gesundheitsbelastung. Nach Angaben der WHO ist Lärmbelästigung nach den Schlafstörungen die zweitwichtigste gesundheitliche Auswirkung von Umweltlärm [1] und ist selbst wiederum mit kardiovaskulären Erkrankungen und Beeinträchtigungen der psychischen Ge-

sundheit verbunden [7, 9–14]. Insbesondere ist bei Lärmbelästigung das Risiko für Bluthochdruck [13], Vorhofflimmern [15], Depressionen und Angststörungen [9] erhöht. Lärm während der Nacht ist eine offensichtliche Quelle von Schlafstörungen und Lärmbelästigung und die negativen Auswirkungen auf die Gesundheit zeigten sich gerade für nächtliche Lärmbelästigung ausgeprägter als für Lärmbelästigung am Tag [5, 15].

Drei aktuelle, zwischen 2013 und 2016 durchgeführte Erhebungen in der deutschen Bevölkerung zeigten, dass sich 37–76 % der Studienteilnehmenden zumindest leicht durch Straßenverkehrslärm belästigt fühlten [11, 16, 17]. Zudem wurde kürzlich für Deutschland die Belastung durch Umgebungslärm anhand von Years Lost to Disability (YLD), also der Jahre, die Menschen mit einer Gesundheitsstörung oder deren Folgen leben, quantifiziert. Es wurden 29.433 YLD aufgrund von Lärmbelästigung durch Straßenverkehrslärm, 5669 YLD durch Fluglärm und 23.367 YLD durch

Schienenverkehrslärm geschätzt [18]. In Anbetracht der hohen Anzahl an Betroffenen besteht aus Sicht der öffentlichen Gesundheit ein starkes Interesse an der Identifikation und Bewertung von Determinanten der Lärmbelastigung in Deutschland. Nur teilweise ist diese Belastigung durch objektiv messbare Lärmpegel erklärbar. Tatsächlich ist die Korrelation zwischen den objektiven und subjektiven Maßen der Lärmexposition nur moderat, da sie durch regionale und individuelle Faktoren modifiziert werden kann [11, 14, 19–22]. Mehrere Studien zeigten Assoziationen zwischen Lärmbelastigung und regionalen Faktoren wie der Zusammensetzung der Wohngebiete oder -gemeinden bzw. einem benachteiligten Wohnumfeld [16, 22, 23]. Bei den individuellen Faktoren können Lärmempfindlichkeit und Kompensationsfähigkeit zur Variabilität der subjektiven Belastigung in einem vergleichbaren Ausmaß beitragen wie die individuellen Lärmpegel [24, 25]. Weitere individuelle Faktoren, die mit Lärmbelastigung assoziiert wurden, sind Angst vor Schädigung [24], subjektive Kontrollierbarkeit des Lärms [21], Wahrnehmung von Grünflächen [26], aber auch Alter, Geschlecht, sozioökonomischer Status und Wohnsituation [11, 16, 22–25, 27, 28].

Lärmbelastigung und ausgewählte potenzielle Einflussfaktoren wurden bereits in der deutschen Allgemeinbevölkerung in mehreren Studien untersucht [11, 16, 23, 29]. Die beiden populationsbasierten Erhebungen „Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland“ (DEGS1, 2008–2011; [16]) mit 7988 Teilnehmenden und „Gesundheit in Deutschland Aktuell“ (GEDA, 2012/2013) mit 19.294 telefonisch befragten Teilnehmenden berichteten eine erhöhte Lärmbelastigung bei Menschen mit niedrigerem sozioökonomischen Status und schlechten Wohnverhältnissen. Haushalte mit geringeren Einkommen lagen zudem eher an vielbefahrenen Straßen und waren daher stärker lärmexponiert [16].

Hauptziel dieser Querschnittsanalyse der Daten zur Halbzeit der Basiserhebung der NAKO Gesundheitsstudie ([www.nako.de](http://www.nako.de); [30]) war es, die Anzahl der NAKO-Teilnehmenden zu ermitteln,

die sich durch nächtlichen Verkehrslärm belästigt fühlen, sowie zu überprüfen, ob diese Zahlen mit früheren Ergebnissen, insbesondere aus Deutschland, vergleichbar sind. Darüber hinaus sollten mit der Lärmbelastigung assoziierte individuelle (demografische, sozioökonomische sowie wohnungsbedingte) und regionale Faktoren identifiziert werden.

Die englischsprachige Version dieses Beitrags ist im Online-Zusatzmaterial zu finden.

## Methodik

### Studienpopulation

Datengrundlage waren die Daten zur Halbzeit der NAKO-Basiserhebung [30], die von Teilnehmenden in 18 Studienzentren (Augsburg, Berlin-Mitte, Berlin-Nord, Berlin-Süd, Bremen, Düsseldorf, Essen, Freiburg, Halle, Hamburg, Hannover, Kiel, Leipzig, Mannheim, Münster, Neubrandenburg, Regensburg und Saarbrücken) zwischen 2014 und 2017 erhoben wurden (siehe einleitender Beitrag von Schipf et al. in diesem Themenheft). Die NAKO Gesundheitsstudie untersucht Ursachen für die Entwicklung wichtiger chronischer Erkrankungen anhand von umfangreichen persönlichen Interviews und Fragebögen sowie verschiedensten Untersuchungsverfahren und biologischen Proben [30]. Die Studienteilnehmenden im Alter von 20 bis 69 Jahren mit Hauptwohnsitz innerhalb der Einzugsgebiete in Deutschland wurden randomisiert aus der Allgemeinbevölkerung gezogen. Insgesamt waren 101.816 Teilnehmende im Halbzzeitdatensatz der Basiserhebung eingeschlossen, von denen 86.080 Angaben zur Lärmbelastigung machten und somit die Population für die vorliegende Analyse bildeten. Die Studie wurde gemäß der Deklaration von Helsinki durchgeführt.

### Erfassung der Lärmbelastigung

Die Teilnehmenden beantworteten im Rahmen eines Touchscreenmoduls die Frage: „Wie sehr stört Sie Verkehrslärm in der Nacht (22–6 Uhr) von Auto, LKW, Zug oder Flugzeug in Ihrem Schlafraum, wenn Sie das Fenster geöffnet (gekipp

oder ganz offen) haben?“, auf einer Likert-Skala von 1 („stört gar nicht“) bis 5 („stört sehr stark“). Da die Kategorien 2–5 relativ gering besetzt waren, wurden die Kategorien 2 und 3 zu „etwas/mittel gestört“ und die Kategorien 4 und 5 zu „stark/sehr stark gestört“ entsprechend einer früheren Studie zusammengefasst [16]. Obwohl in der Frage das Wort „gestört“ verwendet wurde, interpretieren wir die Antwort im Sinne einer Lärmbelastigung, da nicht nach konkreten Ereignissen wie Aufwachen oder Einschlafen gefragt wurde, wie es bei der Beurteilung von Störungen üblicherweise der Fall ist [31]. Zudem werden die Begriffe „gestört“ und „belästigt“ im Deutschen synonym verwendet [32]. Daher wird im Weiteren allgemein von Lärmbelastigung gesprochen.

### Individuelle und regionale Faktoren

Die folgenden individuellen demografischen und sozioökonomischen Faktoren wurden betrachtet: Alter, Geschlecht (weiblich vs. männlich), Nationalität (Deutsch vs. andere), Familienstand (verheiratet vs. nicht verheiratet inkl. geschieden/verwitwet), Bildungsstand (niedrig: Hauptschul- oder kein Abschluss, mittel: mittlere Reife, hoch: Hochschulreife), monatliches Haushaltseinkommen (niedrig: <1700 €, mittel: 1700–4499 €, hoch: ≥4500 €) und Erwerbsstatus (erwerbstätig vs. nicht erwerbstätig inkl. Schüler/Rentner). Individuelle Faktoren zur Wohnsituation beinhalteten Wohneigentum (gemietete Wohnung/Haus, eigene Wohnung/Haus, betreutes Wohnen, Senioren-, Pflegeheim), Anzahl der Haushaltsmitglieder (eine, zwei, drei und mehr Personen), Stockwerk des Schlafraums (Untergeschoss/Erdgeschoss vs. Obergeschoss) und Lage des Schlafraums (zu einer Hauptverkehrsstraße, Nebenstraße oder zum Garten/Innenhof). Für die weiteren Analysen wurde die Angabe zum Wohneigentum dichotomisiert zu gemietete Wohnung/Haus (inkl. betreutes Wohnen, Senioren- oder Pflegeheim) vs. eigene Wohnung/Haus. Als regionaler Faktor wurde das Studienzentrum betrachtet, um regionale Unterschiede der Einzugsgebiete und Heterogenität

Bundesgesundheitsbl 2020 · 63:332–343 <https://doi.org/10.1007/s00103-020-03094-y>  
 © Der/die Autor(en) 2020

K. Wolf · U. Kraus · M. Dzolan · G. Bolte · T. Lakes · T. Schikowski · K. H. Greiser · O. Kuß · W. Ahrens · F. Bamberg · H. Becher · K. Berger · H. Brenner · S. Castell · A. Damms-Machado · B. Fischer · C.-W. Franzke · S. Gastell · K. Günther · B. Holleczeck · L. Jaeschke · R. Kaaks · T. Keil · Y. Kemmling · L. Krist · N. Legath · M. Leitzmann · W. Lieb · M. Loeffler · C. Meinke-Franze · K. B. Michels · R. Mikolajczyk · S. Moebus · U. Mueller · N. Obi · T. Pischon · W. Rathmann · S. Schipf · B. Schmidt · M. Schulze · I. Thiele · S. Thierry · S. Waniek · C. Wigmann · K. Wirkner · J. Zschocke · A. Peters · A. Schneider

## Nächtliche Verkehrslärmbelastigung in Deutschland: individuelle und regionale Unterschiede in der NAKO Gesundheitsstudie

### Zusammenfassung

**Hintergrund.** Lärmbelastigung geht mit gesundheitlicher Beeinträchtigung und reduziertem Wohlbefinden einher. Die subjektive Lärmbelastigung steht im Zusammenhang mit der objektiven Lärmbelastung sowie individuellen und regionalen Faktoren.

**Fragestellung.** Wie viele Teilnehmende der NAKO Gesundheitsstudie fühlen sich durch nächtlichen Verkehrslärm belästigt und welche Faktoren stehen damit im Zusammenhang?

**Material und Methoden.** Diese Querschnittsanalyse basiert auf Daten von 86.080 NAKO-Teilnehmenden aus 18 Studienzentren, die von 2014 bis 2017 untersucht wurden. Um die Beziehungen zwischen individuellen und regionalen Faktoren und Verkehrslärmbelastigung in den Kategorien nicht belästigt, leicht/mittel und stark/sehr stark belästigt zu untersuchen, wurden multinomiale logistische Regressionsmodelle mit wechselseitiger Adjustierung der Faktoren verwendet.

**Ergebnisse.** Zwei Drittel der Teilnehmenden fühlten sich nicht durch Verkehrslärm belästigt; jeder Zehnte berichtete von starker/sehr starker Belästigung, mit den höchsten Anteilen in Berlin-Mitte und Leipzig. Die stärksten Assoziationen mit Lärmbelastigung wurden für Faktoren der individuellen Wohnsituation beobachtet, wie z. B. die Position des Schlafraums zur Hauptstraße (OR für leicht/mittel belästigt: 4,26 [95 % KI: 4,01; 4,52]; OR für stark/sehr stark belästigt: 13,36 [95 % KI: 12,47; 14,32] im

Vergleich zu Garten/Innenhof). Teilnehmende im Alter von 40–60 Jahren oder der mittleren und niedrigen Einkommensklasse fühlten sich eher durch Verkehrslärm belästigt als jüngere bzw. ältere Teilnehmende oder solche mit hoher Einkommensklasse.

**Diskussion.** Teilnehmende der NAKO Gesundheitsstudie wiesen Unterschiede in der Belästigung durch nächtlichen Verkehrslärm in Bezug auf individuelle und regionale Faktoren auf.

### Schlüsselwörter

Lärmbelastigung · Lärmbelastung · Individuelle Faktoren · Städtische Umgebung · NAKO Gesundheitsstudie

## Nighttime transportation noise annoyance in Germany: personal and regional differences in the German National Cohort Study

### Abstract

**Background.** Noise annoyance is associated with adverse health-related conditions and reduced wellbeing. Thereby, subjective noise annoyance depends on the objective noise exposure and is modified by personal and regional factors.

**Objective.** How many participants of the German National Cohort Study (GNC; NAKO Gesundheitsstudie) were annoyed by transportation noise during nighttime and what factors were associated with noise annoyance?

**Materials and methods.** This cross-sectional analysis included 86,080 participants from 18 study centers, examined from 2014 to 2017. We used multinomial logistic regression

to investigate associations of personal and regional factors to noise annoyance (slightly/moderately or strongly/extremely annoyed vs. not annoyed) mutually adjusting for all factors in the model.

**Results.** Two thirds of participants were not annoyed by transportation noise during nighttime and one in ten reported strong/extreme annoyance with highest percentages for the study centers Berlin-Mitte and Leipzig. The strongest associations were seen for factors related to the individual housing situation like the bedroom being positioned towards a major road (OR of being slightly/moderately annoyed: 4.26 [95% CI: 4.01;4.52]; OR of being strongly/extremely annoyed: 13.36 [95% CI:

12.47;14.32]) compared to a garden/inner courtyard. Participants aged 40–60 years and those in low- and medium-income groups reported greater noise annoyance compared to younger or older ones and those in the high-income group.

**Conclusion.** In this study from Germany, transportation noise annoyance during nighttime varied by personal and regional factors.

### Keywords

Noise annoyance · Noise exposure · Personal factors · Urban environment · GNC study

der Studienpopulationen zu berücksichtigen.

### Statistische Auswertung

Der Zusammenhang zwischen individuellen und regionalen Faktoren und Lärmbelastigung wurde mittels multinomialer logistischer Regression mit wechselseitiger Adjustierung aller Faktoren untersucht. Personen, die sich leicht/mittel oder stark/sehr stark belästigt fühlten, wurden dabei mit nicht lärm-belästigten Personen verglichen. Für die einzige kontinuierliche Variable „Alter“ verwendeten wir glatte Funktionen (natürliche kubische Splines mit 2, 3 und 4 Freiheitsgraden), um einen potenziell nichtlinearen Zusammenhang mit der Lärmbelastigung zu untersuchen. Da wir insbesondere an Unterschieden zwischen den Studienzentren interessiert waren, wurden diese als feste Effekte aufgenommen. Als Sensitivitätsanalysen wurden zwei separate binäre logistische Regressionsmodelle gerechnet, die zumindest leicht belästigte mit nicht belästigten Personen

ren Zusammenhang mit der Lärmbelastigung zu untersuchen. Da wir insbesondere an Unterschieden zwischen den Studienzentren interessiert waren, wurden diese als feste Effekte aufgenommen. Als Sensitivitätsanalysen wurden zwei separate binäre logistische Regressionsmodelle gerechnet, die zumindest leicht belästigte mit nicht belästigten Personen

**Tab. 1** Deskription der individuellen Faktoren der Teilnehmenden insgesamt (N=86.080) sowie aufgeschlüsselt nach Lärmbelastigung

| Lärmbelastigung N (%)              | Alle Teilnehmenden         | Lärmbelastigung  |               |                  |
|------------------------------------|----------------------------|--|---------------|------------------|
|                                    |                            | Keine  | Leicht/mittel | Stark/sehr stark |
|                                    |                            | 53.602 (62,3)  | 23.518 (27,3) | 8960 (10,4)      |
|                                    | N (%) bzw. Mittelwert (SD) | N (%) bzw. Mittelwert (SD) bezogen auf die Lärmbelastigungskategorie |               |                  |
| <b>Demografische Faktoren</b>      |                            |  |               |                  |
| Alter in Jahren                    | 51,1 (12,4)                | 51,4 (12,4)  | 50,4 (12,5)   | 50,8 (12,2)      |
| Keine Angabe                       | 6 (0,0)                    | 4 (0,0)  | 0 (0,0)       | 2 (0,0)          |
| <i>Geschlecht</i>                  |                            |  |               |                  |
| Männlich                           | 40.611 (47,2)              | 25.519 (47,6)  | 11.439 (48,6) | 3653 (40,8)      |
| Weiblich                           | 45.469 (52,8)              | 28.083 (52,4)  | 12.079 (51,4) | 5307 (59,2)      |
| <i>Nationalität</i>                |                            |  |               |                  |
| Deutsch                            | 82.870 (96,3)              | 51.547 (96,2)  | 22.687 (96,5) | 8636 (96,4)      |
| Andere                             | 3199 (3,7)                 | 2050 (3,8)   | 826 (3,5)     | 323 (3,6)        |
| Keine Angabe                       | 11 (0,0)                   | 5 (0,0)  | 5 (0,0)       | 1 (0,0)          |
| <b>Sozioökonomische Faktoren</b>   |                            |  |               |                  |
| <i>Familienstand</i>               |                            |  |               |                  |
| Verheiratet                        | 52.784 (61,3)              | 34.091 (63,6)  | 13.779 (58,6) | 4914 (54,8)      |
| Nicht verheiratet                  | 33.275 (38,7)              | 19.495 (36,4)  | 9735 (41,4)   | 4045 (45,1)      |
| Keine Angabe                       | 21 (0,0)                   | 16 (0,0)   | 4 (0,0)       | 1 (0,0)          |
| <i>Bildungsstand<sup>a</sup></i>   |                            |  |               |                  |
| Niedrig                            | 12.227 (14,2)              | 8130 (15,2)  | 2922 (12,4)   | 1175 (13,1)      |
| Mittel                             | 28.648 (33,3)              | 17.722 (33,1)  | 7797 (33,2)   | 3129 (34,9)      |
| Hoch                               | 45.145 (52,4)              | 27.722 (51,7)  | 12.776 (54,3) | 4647 (51,9)      |
| Keine Angabe                       | 60 (0,1)                   | 28 (0,1)   | 23 (0,1)      | 9 (0,1)          |
| <i>Monatseinkommen<sup>b</sup></i> |                            |  |               |                  |
| Niedrig                            | 13.179 (15,3)              | 7479 (14,0)  | 3889 (16,5)   | 1811 (20,2)      |
| Mittel                             | 47.892 (55,6)              | 29.490 (55,0)  | 13.331 (56,7) | 5071 (56,6)      |
| Hoch                               | 19.926 (23,1)              | 13.373 (24,9)  | 4960 (21,1)   | 1593 (17,8)      |
| Keine Angabe                       | 5083 (5,9)                 | 3260 (6,1)   | 1338 (5,7)    | 485 (5,4)        |
| <i>Erwerbsstatus</i>               |                            |  |               |                  |
| Erwerbstätig                       | 63.543 (73,8)              | 39.567 (73,8)  | 17.556 (74,6) | 6420 (71,7)      |
| Nicht erwerbstätig                 | 22.462 (26,1)              | 13.977 (26,1)  | 5955 (25,3)   | 2530 (28,2)      |
| Keine Angabe                       | 75 (0,1)                   | 58 (0,1)   | 7 (0,0)       | 10 (0,1)         |

bzw. stark/sehr stark belästigte mit nicht/leicht/mittel belästigten Personen verglichen. Die Ergebnisse sind als Odds Ratios (OR) mit 95 %-Konfidenzintervall (KI) dargestellt. Alle Analysen wurden mit den Paketen „mgcv“ und „VGAM“ der Software R, Version 3.6.0 (<https://www.r-projects.org/>) durchgeführt.

## Ergebnisse

### Teilnehmercharakteristika

Unsere Stichprobe enthielt etwas mehr Frauen als Männer (■ **Tab. 1**). Die meisten Teilnehmenden waren zwischen

45 und 65 Jahre alt, deutscher Nationalität, erwerbstätig und verheiratet. Über drei Viertel hatten ihren Schlafraum im Obergeschoss, über die Hälfte gab eine Lage zum Garten/Innenhof an. Nahezu zwei Drittel der Teilnehmenden (62,3 %) fühlten sich nicht durch nächtlichen Verkehrslärm gestört, 27,3 % waren leicht oder mittel gestört und 10,4 % berichteten eine starke oder sehr starke Lärmbelastigung (■ **Tab. 1**). Ein Vergleich der demografischen Merkmale über die Lärmbelastigungskategorien zeigte, dass sich Männer tendenziell weniger durch Lärm gestört fühlten als Frauen. Teilnehmende aus der niedrigen

Einkommensgruppe, Unverheiratete, zur Miete Wohnende sowie Teilnehmende mit einem im Obergeschoss bzw. zu einer Hauptstraße gelegenen Schlafraum fühlten sich vergleichsweise häufiger stark/sehr stark belästigt als die jeweiligen Alternativgruppen (■ **Tab. 1** und Abb. Z1 im Online-Zusatzmaterial für Zeilenprozent ausgewählter Variablen).

Da sich für die Faktoren Einkommen und Wohnsituation die größten Unterschiede bzgl. der Lärmbelastigung zeigten, untersuchten wir auch die Beziehung dieser Faktoren untereinander. Teilnehmende mit niedrigen Einkommen wohnten häufiger zur Miete und

Tab. 1 (Fortsetzung)

| Lärmbelästigung N (%)                      | Alle Teilnehmenden         | Lärmbelästigung  |               |                  |
|--|----------------------------|--|---------------|------------------|
|  |                            | Keine  | Leicht/mittel | Stark/sehr stark |
|  |                            | 53.602 (62,3)  | 23.518 (27,3) | 8960 (10,4)      |
|  | N (%) bzw. Mittelwert (SD) | N (%) bzw. Mittelwert (SD) bezogen auf die Lärmbelästigungskategorie |               |                  |
| <b>Wohnsituation</b>                       |                            |  |               |                  |
| <i>Wohneigentum</i>                        |                            |  |               |                  |
| Gemietete Wohnung/Haus                     | 40.800 (47,4)              | 23.290 (43,5)  | 12.434 (52,9) | 5076 (56,7)      |
| Eigene Wohnung/Haus                        | 45.167 (52,5)              | 30.242 (56,4)  | 11.052 (47,0) | 3873 (43,2)      |
| Betreutes Wohnen/Senioren-/Pflegeheim      | 62 (0,1)                   | 42 (0,1)   | 14 (0,1)      | 6 (0,1)          |
| Keine Angabe                               | 51 (0,01)                  | 28 (0,01)  | 18 (0,01)     | 5 (0,01)         |
| <i>Anzahl der Haushaltsmitglieder</i>      |                            |  |               |                  |
| 1 Person                                   | 16.604 (19,3)              | 9604 (17,9)  | 4842 (20,6)   | 2158 (24,1)      |
| 2 Personen                                 | 40.465 (47,0)              | 25.160 (46,9)  | 11.061 (47,0) | 4244 (47,4)      |
| 3+ Personen                                | 28.986 (33,7)              | 18.821 (35,1)  | 7611 (32,4)   | 2554 (28,5)      |
| Keine Angabe                               | 25 (0,0)                   | 17 (0,0)   | 4 (0,0)       | 4 (0,0)          |
| <i>Stockwerk des Schlafraums</i>           |                            |  |               |                  |
| Untergeschoss                              | 1117 (1,3)                 | 888 (1,7)  | 161 (0,7)     | 68 (0,8)         |
| Erdgeschoss                                | 18.608 (21,6)              | 12.843 (24,0)  | 4293 (18,3)   | 1472 (16,4)      |
| Obergeschoss                               | 66.355 (77,1)              | 39.871 (74,4)  | 19.064 (81,1) | 7420 (82,8)      |
| <i>Lage des Schlafraums zu einer/einem</i> |                            |  |               |                  |
| Hauptstraße                                | 8755 (10,2)                | 2587 (4,8)   | 3275 (13,9)   | 2893 (32,3)      |
| Nebenstraße                                | 29.156 (33,9)              | 15.872 (29,6)  | 10.156 (43,2) | 3128 (34,9)      |
| Garten/Innenhof                            | 48.166 (56,0)              | 35.142 (65,6)  | 10.086 (42,9) | 2938 (32,8)      |
| Keine Angabe                               | 3 (0,0)                    | 1 (0,0)  | 1 (0,0)       | 1 (0,0)          |

<sup>a</sup>Definition der Kategorien: niedrig = Hauptschul- oder kein Abschluss, mittel = mittlere Reife, hoch = Hochschulreife

<sup>b</sup>Definition der Kategorien: niedrig = unter 1700 €, mittel = 1700–4499 €, hoch = über 4500 €. N = absolute Anzahl, SD = Standardabweichung

hatten eher einen im Untergeschoss/ Erdgeschoss und zu einer Hauptstraße hin gelegenen Schlafraum als Teilnehmende mit hohem Einkommen (siehe Online-Zusatzmaterial, Abb. Z2). Bezüglich Studienzentrum wiesen Berlin-Mitte und Leipzig die höchsten Anteile stark oder sehr stark lärmbelästigter Teilnehmender auf (16,4 % bzw. 13,7 %), während in Augsburg und Regensburg die Zahlen am geringsten ausfielen (7,1 % bzw. 7,3 %; **Abb. 1**).

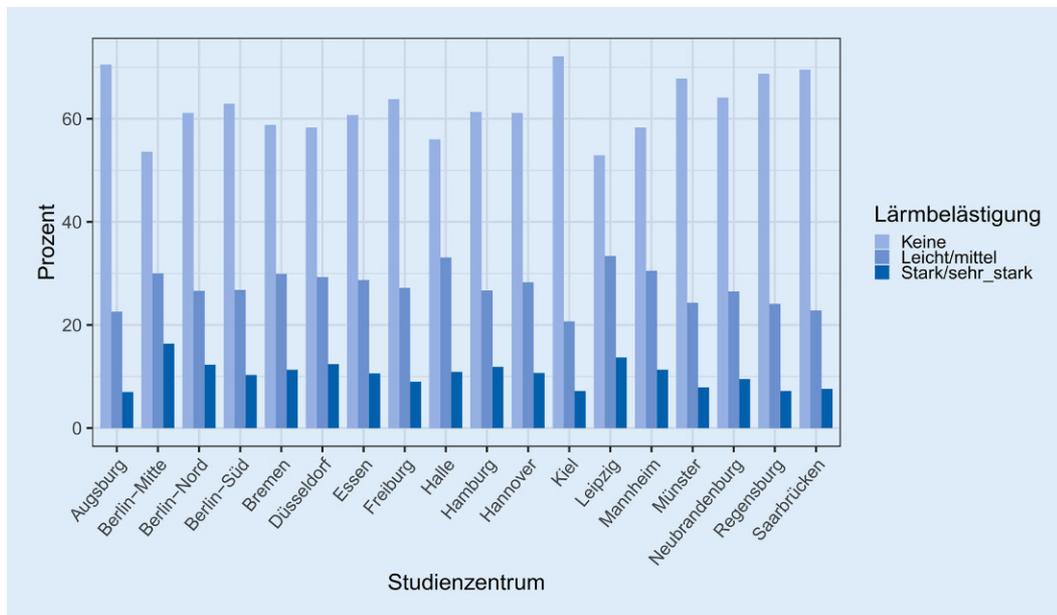
### Lärmbelästigung und individuelle und regionale Risikofaktoren

Von den 86.080 Teilnehmenden mit Angaben zur Lärmbelästigung wurden 80.828 Teilnehmende in die Regressionsanalyse eingeschlossen, da für diese vollständige Informationen zu allen untersuchten Faktoren vorlagen. Da die natürlichen Splines für Alter mit 2, 3

oder 4 Freiheitsgraden alle auf einen quadratischen Zusammenhang mit höchsten Lärmbelastigungsanteilen für Teilnehmende der Altersgruppe 40–60 Jahre verglichen mit jüngeren bzw. älteren Teilnehmenden hinwiesen (**Abb. 2**), wurde Alter als natürlicher Spline mit 2 Freiheitsgraden in das Hauptmodell aufgenommen.

Alle weiteren individuellen Faktoren wurden als binäre oder kategoriale Variablen eingeschlossen; die Ergebnisse sind in **Tab. 2** im Vergleich zu den jeweiligen Referenzkategorien dargestellt. Interessanterweise fühlten sich Frauen weniger häufig leicht/mittel durch Lärm gestört (OR vs. nicht gestört: 0,92 [95 % KI: 0,89; 0,96]), aber häufiger stark/sehr stark gestört (OR 1,26 [95 % KI: 1,20; 1,33]) als Männer. Für alle anderen Einflussvariablen waren die Effektschätzer für leichte/mittlere und starke/sehr starke Belästigung gleichgerichtet. Teilneh-

mende nichtdeutscher Nationalität, mit mittlerer Reife, Hauptschul- oder fehlendem Schulabschluss und Teilnehmende in Haushalten mit mehr als drei Personen gaben weniger Lärmbelästigung an als Teilnehmende mit deutscher Nationalität, Hochschulabschluss bzw. Singlehaushalt. Teilnehmende mit geringem oder mittlerem Einkommen sowie nicht erwerbstätige, unverheiratete, zur Miete wohnende Teilnehmende mit einem im Obergeschoss und zu einer Haupt- oder Nebenstraße gelegenen Schlafraum fühlten sich stärker durch Lärm belästigt als Teilnehmende mit hohem Einkommen bzw. erwerbstätige, verheiratete Haus-/Wohnungseigentümer mit einem im Unter-/Erdgeschoss bzw. zum Garten/Innenhof liegenden Schlafraum. Den deutlichsten Einfluss auf die Chance, leicht/mittel oder stark/sehr stark durch Lärm belästigt zu sein, hatten die Wohnverhältnisse, insbesondere die Lage des



**Abb. 1** ◀ Verteilung der nächtlichen Verkehrslärmbelastigung nach Studienzentrum

Schlafrums zu einer Hauptstraße (OR für leichte/mittlere vs. keine Lärmbelastigung: 4,26 [95% KI: 4,01; 4,52]; OR für starke/sehr starke vs. keine Belästigung: 13,37 [95% KI: 12,47; 14,33]).

Bezüglich der Studienregionen zeigten Teilnehmende aus Berlin-Mitte (OR für leicht/mittel belästigt: 1,46 [95% KI: 1,34; 1,59]; OR für stark/sehr stark belästigt: 2,49 [95% KI: 2,19; 2,82]) und Leipzig (OR 1,60 [95% KI: 1,84; 1,73] bzw. OR 2,04 [95% KI: 1,80; 2,30]) die stärkste Assoziation mit Lärmbelastigung im Vergleich zum Studienzentrum Augsburg (vorgegebene Referenz). Kiel dagegen war das einzige Zentrum, dessen Teilnehmende signifikant geringere Lärmbelastigung angaben als die Augsburger Teilnehmenden (OR 0,83 [95% KI: 0,75; 0,92] bzw. OR 0,90 [95% KI: 0,76; 1,06]; **Abb. 3**).

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen, zwei binäre logistische Regressionsmodelle zum Vergleich der zumindest leicht belästigten mit nicht belästigten bzw. stark/sehr stark belästigten mit nicht/leicht/mittel belästigten Teilnehmenden, zeigten ähnliche Muster im Vergleich zur multinomialen logistischen Regression, sowohl für die individuellen Faktoren als auch die Studienzentren (siehe Online-Zusatzmaterial, Tab. Z1 bzw. Abb. Z3).

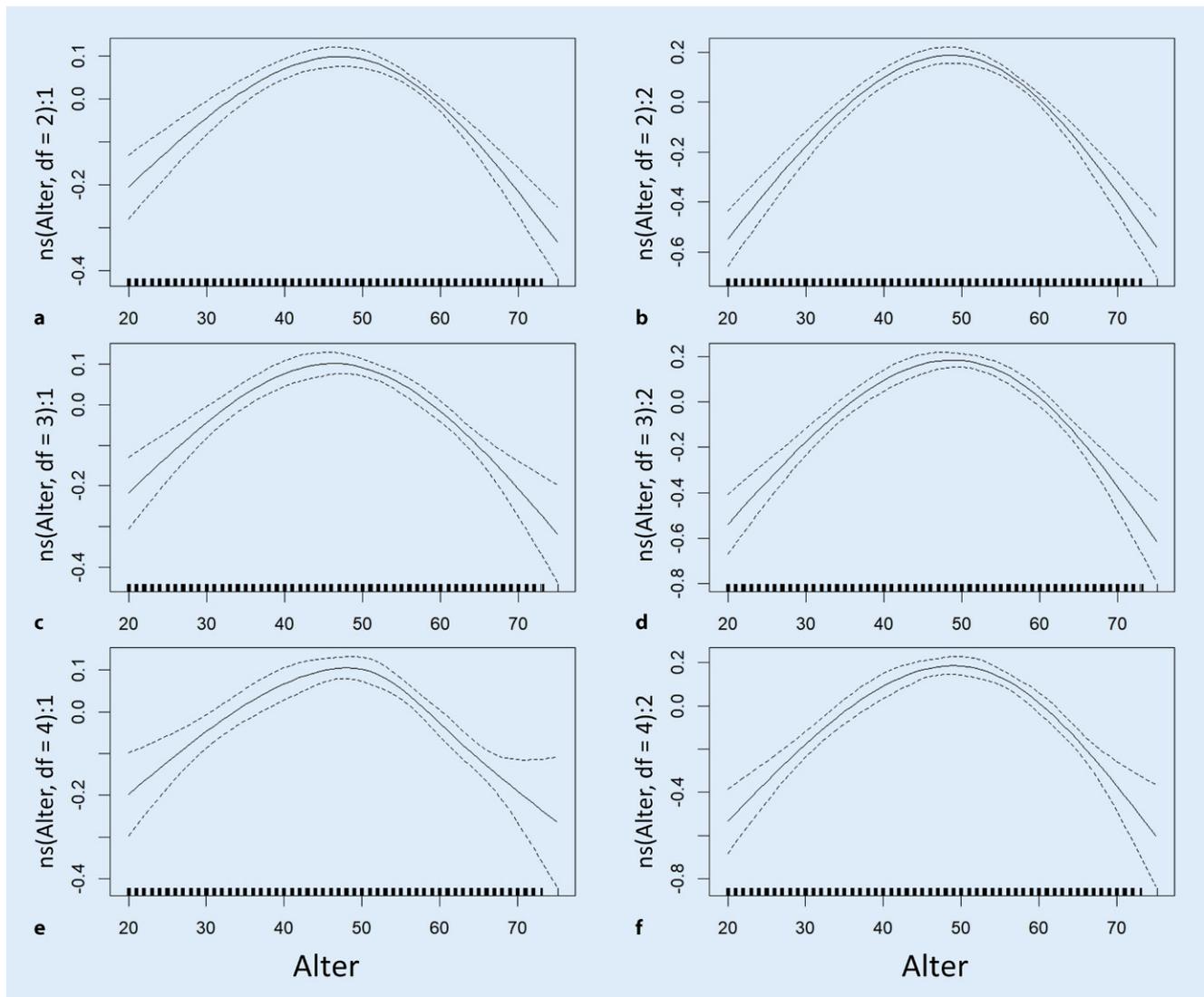
## Diskussion

### Zusammenfassung der Ergebnisse

In dieser Querschnittsanalyse der Daten zur Halbzeit der NAKO-Basiserhebung fühlten sich knapp zwei Drittel der NAKO-Teilnehmenden gar nicht durch nächtlichen Verkehrslärm gestört. Leichte bis mittlere Lärmbelastigung wurde jedoch von 27,3%, starke bis sehr starke Belästigung von jedem zehnten Teilnehmenden angegeben. Alle untersuchten demografischen und sozioökonomischen Variablen sowie Faktoren der Wohnsituation zeigten Assoziationen in den wechselseitig adjustierten Analysen. Wenn auch ein direkter Größenvergleich der Effektschätzer nicht möglich ist, ergaben sich die deutlichsten Assoziationen für die Lage des Schlafraums, gefolgt von Schulabschluss, Nationalität und monatlichem Haushaltseinkommen. Unterschiede in der subjektiven Lärmbelastigung ließen sich jedoch nicht allein durch individuelle Faktoren oder Wohnverhältnisse erklären, sondern fanden sich auch zwischen den teilnehmenden Studienzentren. Hier spiegeln sich möglicherweise regionale Unterschiede wie der Deprivationsindex, Zugang zu Grünflächen oder die Zusammensetzung der jeweiligen Studienpopulation wider.

### Vergleich mit bisherigen Studien

Lärmbelastigung rückte bereits in den 1960er-Jahren ins Blickfeld der Forschung. Verschiedene Übersichtsarbeiten über individuelle und regionale Faktoren, die zur Belästigung durch Verkehrslärm beitragen könnten, wurden seither veröffentlicht [24, 25, 33–36]. Die meisten Untersuchungen basierten auf Daten aus Europa und Nordamerika. Eine Übersicht über deutsche Studien zur Prävalenz von Lärmbelastigung liefert **Tab. 3**. Der Bundes-Gesundheitssurvey (BGS; [29]) untersuchte die 1997–1999 erhobenen Daten einer repräsentativen Stichprobe von 6644 Personen zwischen 18 und 79 Jahren, von denen 32,1% eine zumindest leichte und 22,0% eine mittelstarke oder sehr starke Belästigung durch Verkehrslärm im Innenraum angaben. Zwischen 2008 und 2011 wurden 7988 Einwohner von 18–79 Jahren (BGS-Teilnehmende sowie eine neue Stichprobe) in der Studie DEGS1 untersucht [16]. Hier zeigten sich 37,4% zumindest leicht und 6,3% stark oder sehr stark in ihrer Wohnung durch den Straßenverkehrslärm belästigt. Bei der GEDA-Erhebung wurden 19.294 Einwohner ab 18 Jahre zwischen Februar 2012 und März 2013 telefonisch befragt [11]. Der Straßenverkehr wurde dabei als Hauptquelle der Lärmbelastigung in der Wohnung benannt: 37,2% der Frauen und 39,3% der



**Abb. 2** ▲ Nichtlineare Assoziation des Faktors „Alter“: Vergleich der Gruppen mit leichter/mittlerer (a, c, e) bzw. starker/sehr starker (b, d, f) nächtlicher Verkehrslärmbelastigung mit der nichtbelästigten Gruppe anhand natürlicher kubischer Splines mit 2 (a, b), 3 (c, d) und 4 (e, f) Freiheitsgraden im multinomialen logistischen Regressionsmodell unter Adjustierung aller anderen Kovariablen. *ns* natürlicher Spline, *df* Freiheitsgrade

Männer fühlten sich zumindest leicht gestört und 5,4% der Männer wie der Frauen gaben eine starke oder äußerst starke Lärmbelastigung an.

Im Sozio-oekonomischen Panel (SOEP, Jahr 1999) machten 7275 Haushaltsvorstände im Alter von 17–98 Jahren in einem Fragebogen Angaben dazu, wie stark sie sich in ihrer Nachbarschaft durch Lärmbelastung betroffen fühlten ([23]; **Tab. 3**). Während sich 75,8% nicht betroffen fühlten, gaben 16,4% niedrig bis hohe und 7,8% sehr hohe Beeinträchtigung durch Lärm aus jeglicher Quelle in der Nachbarschaft an. Die aktuellste Erhebung wurde vom Umweltbundesamt

(UBA) durchgeführt und zeigte eine wesentlich höhere Prävalenz der Lärmbelastigung: Von 2030 Teilnehmenden ab 14 Jahren, repräsentativ für die deutsche Allgemeinbevölkerung, gaben nur 24% gar keine Lärmbelastigung an, während sich 76% zumindest etwas und 23% stark oder äußerst stark durch Straßenverkehrslärm gestört fühlten [17]. Der Grund für diese Diskrepanz könnte darin liegen, dass die Befragung online durchgeführt wurde. Die Autoren des Berichts weisen darauf hin, dass die Onlinebefragungen von 2014 und 2016 deutlich höhere Häufigkeiten ergaben als die persönlichen Befragungen von 2012 und 2014

[17], bei denen 46% keine und 54% eine zumindest leichte Lärmbelastigung angaben.

Alle genannten Studien befassten sich mit der Lärmbelastigung während des gesamten Tages und sind damit nur begrenzt mit unserer Untersuchung vergleichbar. Zudem wurde die Lärmbelastigung in den einzelnen Studien unterschiedlich erfasst (**Tab. 3**). Nur die UBA-Umfrage und die DEGS1-Studie verwendeten dafür die ICBEN/ISO-Formulierung [37]. Generell enthielten die Fragen unterschiedliche Referenzpunkte (die Wohnung, innerhalb der Wohnung, die Nachbarschaft ohne Fest-

**Tab. 2** Odds Ratios (OR) und 95 %-Konfidenzintervalle (95 % KI) für die Assoziation individueller Faktoren mit leichter/mittlerer bzw. starker/sehr starker nächtlicher Verkehrslärmbelastigung im Vergleich zu keiner Belästigung mittels multipler multinomialer logistischer Regression ( $N = 80.828$ ). Die Studienzentren wurden als feste Effekte aufgenommen

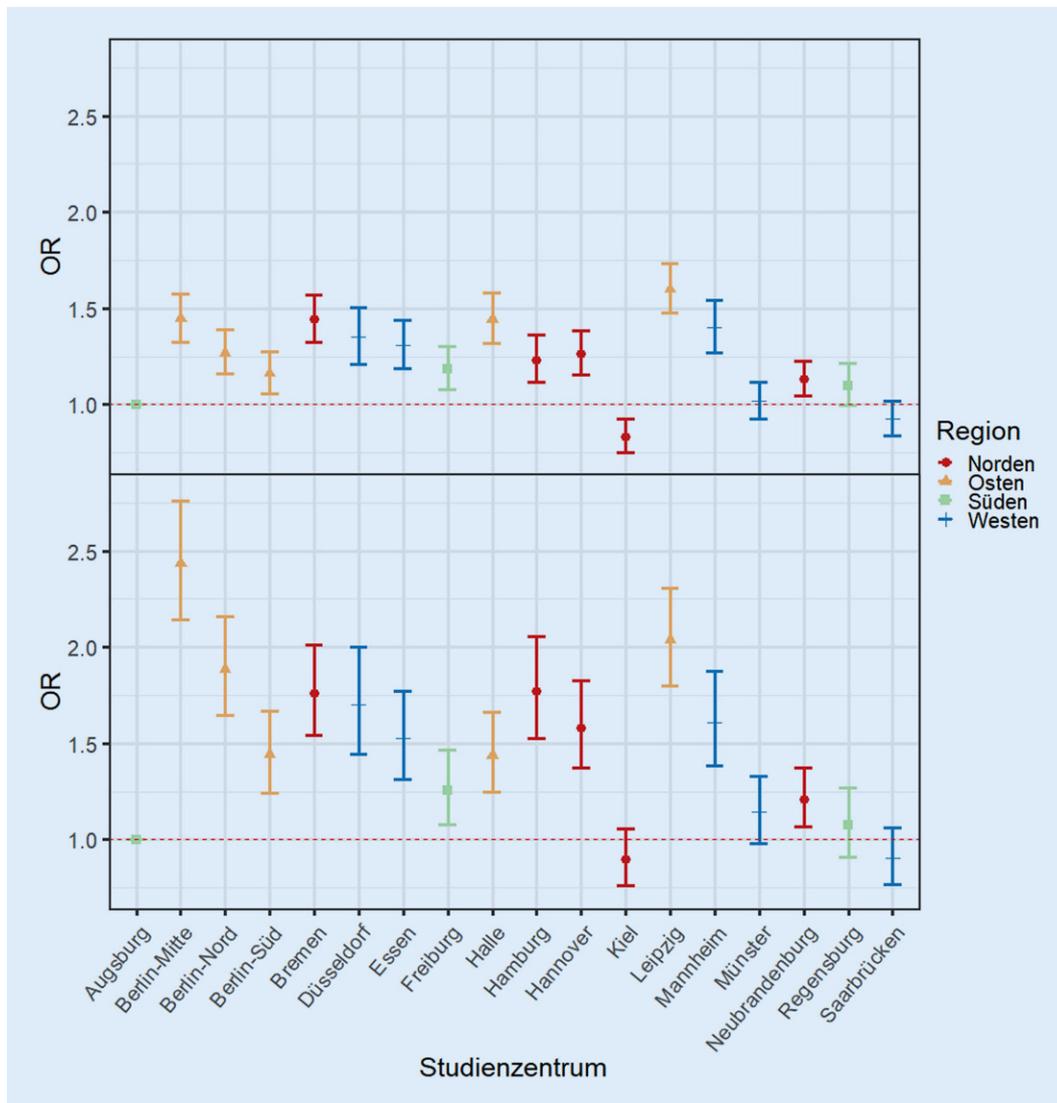
|  | Lärmbelastigung               |                                  |
|--|-------------------------------|----------------------------------|
|  | Leicht/mittel<br>OR (95 % KI) | Stark/sehr stark<br>OR (95 % KI) |
| Weiblich (vs. männlich)  | 0,92 (0,89; 0,95)             | 1,25 (1,19; 1,31)                |
| Nichtdeutsche (vs. deutsche) Nationalität                      | 0,82 (0,75; 0,89)             | 0,77 (0,67; 0,88)                |
| Nicht verheiratet (vs. verheiratet)                            | 1,03 (0,99; 1,08)             | 1,10 (1,03; 1,18)                |
| <i>Bildungsstand (Referenz: hoch)</i>                          |                               |                                  |
| Mittel   | 0,90 (0,86; 0,93)             | 0,89 (0,84; 0,94)                |
| Niedrig  | 0,79 (0,74; 0,83)             | 0,80 (0,74; 0,87)                |
| <i>Einkommen (Referenz: hoch)</i>                              |                               |                                  |
| Mittel   | 1,17 (1,12; 1,22)             | 1,23 (1,15; 1,32)                |
| Niedrig  | 1,19 (1,11; 1,27)             | 1,31 (1,19; 1,44)                |
| Nicht erwerbstätig (vs. erwerbstätig)                          | 1,08 (1,03; 1,13)             | 1,29 (1,21; 1,38)                |
| Gemietete (vs. eigene) Wohnung/Haus                            | 1,17 (1,13; 1,22)             | 1,10 (1,04; 1,17)                |
| <i>Anzahl der Haushaltsmitglieder (Referenz: 1 Person)</i>     |                               |                                  |
| 2 Personen   | 1,05 (1,00; 1,11)             | 1,02 (0,94; 1,10)                |
| 3+ Personen  | 0,94 (0,88; 1,00)             | 0,82 (0,75; 0,90)                |
| Schlafräum im Obergeschoss (vs. Untergeschoss/<br>Erdgeschoss) | 1,37 (1,31; 1,42)             | 1,49 (1,40; 1,59)                |
| <i>Lage des Schlafraums (Referenz: zum Garten/Innenhof)</i>    |                               |                                  |
| Nebenstraße  | 2,17 (2,09; 2,24)             | 2,30 (2,18; 2,44)                |
| Hauptstraße  | 4,26 (4,01; 4,52)             | 13,36 (12,47; 14,32)             |

legung auf Innen- oder Außenbereich), unterschiedliche Skalen und Kategorienkombinationen sowie unterschiedliche Formulierungen (z. B. belästigt, gestört oder beeinträchtigt). In Bezug auf den letzten Punkt ist es unseres Erachtens gerechtfertigt, alle Fragen im Sinne der Lärmbelastigung zu interpretieren, obwohl es streng genommen Unterschiede zwischen Belästigung und Störung gibt: „Störung“ impliziert eher, dass eine Tätigkeit nicht wie gewünscht ausgeführt werden kann, während „Belästigung“ eine negative Beurteilung der Umgebungsbedingung beinhaltet [8]. Jedoch erfragten weder die bisherigen Studien noch die NAKO Gesundheitsstudie konkrete Ereignisse, die auf eine Störung hinweisen würden, wohingegen bei der Erfassung von Schlafstörungen explizit Ereignisse wie nächtliches Aufwachen oder Schwierigkeiten beim Einschlafen erfragt werden [31]. Wir gehen daher davon aus, dass die Studienteilnehmenden Angaben zu Belästigung und nicht zu einer unbewerteten Störung gemacht haben.

Da sich die früheren Studien bezüglich ihrer Definition der Verkehrslärmbelastigung, der erklärenden Faktoren und der statistischen Ansätze unterscheiden, kann der folgende Vergleich nur qualitativ sein. Unsere Analyse zeigte die stärksten Assoziationen mit der Lärmbelastigung für die Wohnverhältnisse und insbesondere die Lage des Schlafraums und bestätigte damit Ergebnisse des BGS [29], der DEGS1-Studie [16] sowie zweier früherer Studien aus Schweden [38] und der Schweiz [39], wenn auch alle diese Untersuchungen nur die Wohnlage allgemein betrachteten. Zu Wohneigentum und Wohnungstyp gibt es unterschiedliche Ergebnisse: Einige Studien finden keinen Unterschied bezüglich der Lärmbelastigung [33, 38], andere eine höhere [25] oder auch geringere [16, 36] Prävalenz bei Wohneigentümern. In unserer sowie der DEGS1-Studie gaben Eigenheimbesitzer seltener eine Belästigung durch Verkehrslärm an als Mieter. Auch Teilnehmende mit hohem Einkommen fühlten sich weniger lärmbeeinträchtigt; gleichzeitig korrelierte das Einkommen, wie auch

bei der DEGS1-Studie [16] und im SOEP [23], mit den Wohnverhältnissen. DEGS1 und SOEP fanden jedoch keine signifikanten Unterschiede der Lärmbelastigung in Abhängigkeit vom Bildungsstand oder Erwerbsstatus, während wir, ähnlich einer Schweizer Studie [39], eine höhere Lärmbelastigung bei Personen mit höherem Schulabschluss beobachteten. Andere Studien [19, 25, 33, 38] fanden im Gegensatz dazu nur schwache oder gar keine Assoziationen zwischen Einkommen bzw. Bildungsstand und Lärmbelastigung. Bei der GEDA-Studie war ein niedriger sozioökonomischer Status (basierend auf Bildungsstand, beruflicher Stellung und Einkommen) mit stärkerer Verkehrslärmbelastigung assoziiert [11]. Entsprechend lebten Teilnehmende des BGS mit geringerem sozioökonomischen Status eher an vielbefahrenen Straßen und fühlten sich öfter durch Verkehrslärm belästigt als Teilnehmende mit höherem sozioökonomischen Status [29]. Auch die UBA-Erhebung zeigte einen erhöhten Lärmbelastigungsanteil bei Personen mit geringem Sozialstatus [17]. In einer aktuellen Übersicht zur sozialen Ungleichheit und Umgebungslärmbelastigung kamen Dreger et al. zu dem Schluss, dass Indikatoren, die materielle Aspekte repräsentieren (wie Einkommen oder Wohneigentum), damit assoziiert sind, welche Wohnumgebung sich die Menschen leisten können. Für diese materiellen Indikatoren ist eine niedrigere sozioökonomische Position mit stärkerer Lärmexposition und Lärmbelastigung verbunden, während die Evidenz bezüglich des Bildungsstands uneinheitlich ist [22].

Während wir einen höheren Anteil an Verkehrslärmbelastigung bei Teilnehmenden deutscher Nationalität beobachteten, fühlten sich im SOEP Teilnehmende nichtdeutscher Nationalitäten häufiger durch Lärm allgemein betroffen [23]. Bezüglich des Alters beschrieben mehrere Studien eine geringere Lärmbelastigung bei älteren Menschen [25, 39]. Dies entspricht unseren Ergebnissen und kann durch die höhere Rate an Hörminderungen in dieser Population bedingt sein [4, 40]. Andere Studien (z. B. DEGS1) fanden hingegen keinen signifikanten Unterschied bzgl. Verkehrslärm-



**Abb. 3** ◀ Feste Effekte der Studienzentren (Odds Ratio [OR] mit 95 %-Konfidenzintervall) für den Vergleich leichte/mittlere (*oben*) bzw. starke/sehr starke (*unten*) nächtliche Verkehrslärmbelastigung vs. keine Lärmbelastigung mittels multipler multinomialer logistischer Regression (Referenzkategorie: Augsburg)

belastigung in verschiedenen Altersgruppen [16, 33, 38], während im SOEP ältere Personen ihre allgemeine Lärmbelastigung als höher empfanden [23]. NAKO-Teilnehmerinnen zeigten häufiger eine starke/sehr starke Lärmbelastigung als NAKO-Teilnehmer. Entsprechendes wurde auch in früheren Studien beschrieben und spricht dafür, dass Frauen Umweltexpositionen mehr Aufmerksamkeit schenken als Männer [39, 41, 42]. Allerdings waren Frauen in unserer Analyse sowie in der DEGS1-Studie und im SOEP weniger häufig leicht oder mittel durch Lärm belastigt, während in anderen Studien keine eindeutigen Geschlechterunterschiede gefunden wurden [16, 23, 25].

Weitere Faktoren, die in der DEGS1-Studie mit erhöhter Verkehrslärmbelastigung

und im SOEP mit erhöhter gefühlter allgemeiner Lärmbelastigung einhergingen, waren Wohnort in Ostdeutschland, in einer großen Stadt oder im Industriegebiet. Ein ähnliches Muster zeigte sich auch in unserer Analyse, in der Studienzentren in großen Städten (Berlin-Mitte, Berlin-Nord, Bremen) und in Ostdeutschland (Leipzig, Halle) einen höheren Anteil an lärm-belastigten Teilnehmenden aufwiesen als Zentren in Westdeutschland oder kleineren Städten (Kiel). Interessanterweise wies auch Neubrandenburg, eine kleine ostdeutsche Stadt mit großem ländlichen Einzugsgebiet, einen hohen Anteil lärm-belastigter Teilnehmender auf. Für diese Analyse konnten wir nur die Studienzentren als sehr grobe Approximation

für regionale Einflüsse verwenden. Hier wären spezifischere Faktoren, die die genaue Wohnlage und Wohnumgebung der Teilnehmenden beschreiben, von großem Interesse und sollen in künftigen Analysen Berücksichtigung finden.

Unsere Ergebnisse bestätigen Erkenntnisse früherer Studien, dass Indikatoren materieller Aspekte mit der Wohnumgebung assoziiert sind, die die Personen sich leisten können, und damit entscheidend für die Lärmexposition sein können [22]. Haushalte mit geringerem Einkommen liegen beispielsweise häufiger an vielbefahrenen Straßen und sind entsprechend häufiger Verkehrslärm ausgesetzt, ihre Mitglieder fühlen sich daher häufiger durch Lärm beeinträchtigt [11, 16, 23, 29].

**Tab. 3** Vergleich der NAKO Gesundheitsstudie mit bisherigen Erhebungen zur Lärmbelastung in der deutschen Bevölkerung

| Studie                        | NAKO Gesundheitsstudie  | Befragung des Umweltschutzbundesamts (UBA; [17])  | Befragung des Robert Koch-Instituts: Gesundheit in Deutschland Aktuell (GEDA; [11])   | Befragung des Robert Koch-Instituts: Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS 1; [16])  | Deutsches Sozio-oekonomisches Panel (SOEP; [23])   | Bundes-Gesundheits-survey (BGS 1998; [29])  |
|-------------------------------|---|---|---|---|--|---|
| Frage                         | „Wie sehr stört Sie Verkehrslärm in der Nacht (22–6 Uhr) von Auto, LKW, Zug oder Flugzeug in Ihrem Schlafraum, wenn Sie das Fenster geöffnet (gekippelt oder ganz offen) haben?“<br>Skala: gar nicht, leicht/mittel, stark/sehr stark | „Wenn Sie einmal an die letzten 12 Monate hier bei Ihnen zu Hause denken, wie stark haben Sie sich persönlich von folgenden Dingen gestört oder belästigt gefühlt?“<br>Skala: weiß nicht, überhaupt nicht, etwas, mittelmäßig, stark, äußerst stark | „Wenn Sie einmal an die letzten zwölf Monate denken: Wie stark haben Sie sich – alles in allem genommen – durch Lärm bei Ihnen zu Hause insgesamt gestört oder belästigt gefühlt?“<br>(ebenso für einzelne Quellen)<br>Skala: überhaupt nicht, etwas, mittelmäßig, stark, äußerst stark | „Wie sehr fühlen Sie sich innerhalb Ihrer jetzigen Wohnung durch die unten angegebenen Lärmquellen belästigt?“<br>Skala: stark/sehr stark, gering/mittel, keine | „Wie stark fühlen Sie sich von der Lärmbelastung in Ihrer Nachbarschaft betroffen?“<br>Skala: nein, niedrig/medium/hoch, sehr hoch | „Haben Sie in Ihrer Wohnung Lärm von außen? Wodurch wird der Lärm im Allgemeinen verursacht? Als wie stark würden Sie ihn jeweils bezeichnen?“<br>Skala: sehr stark, mittelstark, nicht stark (bei Bejahung der ersten Frage) |
| Studienpopulation             | Zufallsstichprobe der in Deutschland lebenden Wohnbevölkerung   | Zufallsstichprobe der deutschsprachigen Wohnbevölkerung in Privathaushalten   | Zufallsstichprobe der deutschsprachigen Wohnbevölkerung in Privathaushalten; per Festnetz zu erreichen  | Die in Deutschland lebende Bevölkerung; Einwohnermeldeamtstichprobe und Teilnehmende des Bundesgesundheitsurvey 1998  | Repräsentative Stichprobe der in Deutschland lebenden Bevölkerung in Privathaushalten  | Repräsentative Stichprobe der erwachsenen Bevölkerung in Deutschland  |
| Alter                         | 20–69 Jahre   | ≥14 Jahre   | ≥18 Jahre   | 18–79 Jahre   | 17–98 Jahre  | 18–79 Jahre   |
| Studienzeitraum <sup>a</sup>  | 2014–2017   | 07–08/2016  | 02/2012–03/2013   | 2008–2011   | 1999   | Herbst 1997 – Frühjahr 1999   |
| Populationsgröße <sup>a</sup> | 86.080  | 2030  | 19.294  | 7988  | 7275   | 6644  |

<sup>a</sup>in Bezug auf die jeweilige Publikation

Im Gegensatz dazu sind Personen aus Haushalten mit höherem Einkommen eher in der Lage, sich in Stadtvierteln mit niedrigeren Lärmpegeln niederzulassen oder umzuziehen, wenn die Lärmbelastung zunimmt [16, 22, 23]. Ob eine ungleiche Verteilung der Lärmbelastungen zwischen Bevölkerungsgruppen mit unterschiedlichem sozioökonomischen Status negative Auswirkungen auf die Gesundheit sozial benachteiligter Gruppen hat, bleibt in künftigen Studien zu prüfen.

### Stärken und Schwächen der Studie

Wesentliche Stärken der vorliegenden Studie sind der große Stichprobenumfang und die genaue, über die Studienzentren einheitliche Charakterisierung der NAKO-Studienpopulation, was eine umfassende und standardisierte Analyse der Lärmbelastung ermöglichte. Zudem verwendeten wir zur Untersuchung individueller und regionaler Einflussfaktoren multiple Regressionsmodelle mit wechselseitiger Adjustierung dieser Variablen, sodass gegenseitig verzerrende Einflüsse minimiert wurden. Dies könnte jedoch auch als Limitation angesehen werden, da potenzielle Korrelationen der erklärenden Variablen, beispielsweise der sozioökonomischen Faktoren, zu Multikollinearitätsproblemen innerhalb der Modelle führen könnten. Diese erste Analyse sollte jedoch einen generellen Überblick geben. Für die Entflechtung des Zusammenspiels der Faktoren sowie für die Identifikation der einflussreichsten Variablen sind weitergehende Analysen erforderlich. Darüber hinaus zeigten univariate Korrelationsanalysen nur geringe bis mittelstarke Korrelationen zwischen den betrachteten Faktoren.

Eine wesentliche Limitation unserer Studie ist das Fehlen von Daten zur objektiven Verkehrslärmbelastung, beispielsweise zu gemessenen oder geschätzten Lärmpegeln, Verkehrsdichte und weiteren regionalen Faktoren wie Arbeitslosenquote, für die in anderen Studien ein Einfluss auf die Lärmbelastung beobachtet wurde [16, 23, 35]. Es ist jedoch geplant, die NAKO Gesundheitsstudie für künftige Analysen

mit den entsprechenden Datenquellen zu verknüpfen. Weiterhin wurde in unserer Studie nicht die ICEN/ISO-Formulierung [37] für die Erfassung der Lärmbelastigung verwendet, was die Vergleichbarkeit einschränkt. Zudem war eine Aufschlüsselung nach einzelnen Verkehrslärmquellen nicht möglich, da alle Quellen zusammen erfragt wurden. Auch konnten wir die Lärmempfindlichkeit nicht berücksichtigen, ein wichtiger individueller Faktor, der die Lärmbelastigung beeinflussen kann, aber selbst nicht von der Lärmbelastigung abhängig ist [35]. Der Gesundheitszustand der Teilnehmenden konnte ebenfalls nicht mit einbezogen werden, da entsprechende Daten zum Zeitpunkt der Auswertung noch nicht zur Verfügung standen. Aufgrund des Querschnittscharakters unserer Analyse ist die kausale Inferenz im Hinblick auf die Direktionalität der Beziehungen zwischen demografischen, sozioökonomischen Faktoren und der Wohnsituation mit Lärmbelastigung begrenzt. Eine weitere Limitation liegt darin, dass durch den großen Stichprobenumfang auch relativ kleine und möglicherweise irrelevante Assoziationen statistisch signifikant ausfallen können. Alle gefundenen Assoziationen erschienen jedoch plausibel. Schließlich ist anzumerken, dass die NAKO Gesundheitsstudie nicht repräsentativ für die deutsche Bevölkerung ist.

## Schlussfolgerungen

Diese Querschnittsanalyse der NAKO Gesundheitsstudie identifizierte Lärmbelastigung als nach wie vor relevantes Thema der öffentlichen Gesundheit, da jeder dritte Teilnehmende angab, zumindest leicht oder mittelstark durch nächtlichen Verkehrslärm belästigt zu sein, was frühere Studien aus Deutschland bestätigt. Darüber hinaus lieferte unsere Analyse Informationen über die Lärmbelastigung bei Nacht und ergänzt somit die Ergebnisse früherer Analysen, welche sich nur auf die Lärmbelastigung während des ganzen Tages konzentrierten. Mehrere demografische und sozioökonomische Faktoren waren mit Lärmbelastigung assoziiert, insbesonde-

re Wohnverhältnisse und einkommensbezogene Faktoren. Die Studienzentren als regionale Indikatoren zeigten in unserer Analyse großen Einfluss, was in weitergehenden Untersuchungen zum Zusammenhang regionaler Faktoren und Lärmbelastigung erforscht werden sollte.

## Korrespondenzadresse

### Kathrin Wolf

Institut für Epidemiologie, Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt  
Ingolstädter Landstr. 1, 85764 Neuherberg, Deutschland  
kathrin.wolf@helmholtz-muenchen.de

**Danksagung.** Dieses Projekt wurde mit Daten der NAKO Gesundheitsstudie durchgeführt ([www.nako.de](http://www.nako.de)). Wir danken allen Teilnehmenden der NAKO Gesundheitsstudie sowie den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der NAKO Gesundheitsstudie.

**Förderung.** Die NAKO Gesundheitsstudie wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF, Förderkennzeichen 01ER1301A/B/C und 01ER1511D), die Bundesländer und die Helmholtz-Gemeinschaft gefördert sowie durch die beteiligten Universitäten und Institute der Leibniz-Gemeinschaft finanziell unterstützt.

**Funding.** Open Access funding provided by Projekt DEAL.

## Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** K. Wolf, U. Kraus, M. Dzolan, G. Bolte, T. Lakes, T. Schikowski, K.H. Greiser, O. Kuß, W. Ahrens, F. Bamberg, H. Becher, K. Berger, H. Brenner, S. Castell, A. Damms-Machado, B. Fischer, C.-W. Franke, S. Gastell, K. Günther, B. Hollecsek, L. Jaeschke, R. Kaaks, T. Keil, Y. Kemmling, L. Krist, N. Legath, M. Leitzmann, W. Lieb, M. Loeffler, C. Meinke-Franze, K.B. Michels, R. Mikolajczyk, S. Moebus, U. Mueller, N. Obi, T. Pischon, W. Rathmann, S. Schipf, B. Schmidt, M. Schulze, I. Thiele, S. Thiery, S. Waniek, C. Wigmann, K. Wirkner, J. Zschocke, A. Peters und A. Schneider geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Alle beschriebenen Untersuchungen am Menschen wurden mit Zustimmung der zuständigen Ethik-Kommission, im Einklang mit nationalem Recht sowie gemäß der Deklaration von Helsinki von 1975 (in der aktuellen, überarbeiteten Fassung) durchgeführt. Von allen beteiligten Patienten liegt eine Einverständniserklärung vor.

**Open Access.** Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz

beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

## Literatur

1. World Health Organization (2011) Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe. [https://www.who.int/quantifying\\_ehimpacts/publications/e94888.pdf](https://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/e94888.pdf). Zugegriffen: 6. Aug. 2019
2. Hanninen O, Knol AB, Jantunen M et al (2014) Environmental burden of disease in Europe: assessing nine risk factors in six countries. *Environ Health Perspect* 122:439–446
3. European Environment Agency (2018) Germany noise fact sheet 2018. <https://www.eea.europa.eu/themes/human/noise/noise-fact-sheets/noise-country-fact-sheets-2018/germany>. Zugegriffen: 6. Aug. 2019
4. Basner M, Babisch W, Davis A et al (2014) Auditory and non-auditory effects of noise on health. *Lancet* 383:1325–1332
5. Hahad O, Kröller-Schön S, Daiber A, Münzel T (2019) The cardiovascular effects of noise. *Dtsch Arztebl Int* 116:245–250
6. World Health Organization (2018) Environmental noise guidelines for the European region. [http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0008/383921/noise-guidelines-eng.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0008/383921/noise-guidelines-eng.pdf). Zugegriffen: 6. Aug. 2019
7. Willich SN, Wegscheider K, Stallmann M, Keil T (2006) Noise burden and the risk of myocardial infarction. *Eur Heart J* 27:276–282
8. Guski R, Felscher-Suhr U, Schuemer R (1999) The concept of noise annoyance: how international experts see it. *J Sound Vib* 223:513–527
9. Beutel ME, Jünger C, Klein EM et al (2016) Noise annoyance is associated with depression and anxiety in the general population—the contribution of aircraft noise. *PLoS ONE* 11:e155357
10. Hammersen F, Niemann H, Hoebel J (2016) Environmental noise annoyance and mental health in adults: findings from the cross-sectional German health update (GEDA) study 2012. *Int J Environ Res Public Health* 13(10):E954
11. Niemann H, Hoebel J, Hammersen F, Laußmann D (2014) Lärmbelastigung – Ergebnisse der GEDA-Studie 2012
12. Niemann H, Maschke C, Hecht K (2005) Lärmbedingte Belästigung und Erkrankungsrisiko Ergebnisse des paneuropäischen LARES-Survey. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 48:315–328
13. Ndrepepa A, Twardella D (2011) Relationship between noise annoyance from road traffic noise and cardiovascular diseases: a meta-analysis. *Noise Health* 13:251–259

14. Fuks KB, Wigmann C, Altug H, Schikowski T (2019) Road traffic noise at the residence, annoyance, and cognitive function in elderly women. *Int J Environ Res Public Health* 16(10):E1790. <https://doi.org/10.3390/ijerph16101790>
15. Hahad O, Beutel M, Gori T et al (2018) Annoyance to different noise sources is associated with atrial fibrillation in the Gutenberg health study. *Int J Cardiol* 264:79–84
16. Laußmann D, Haftenberger M, Lampert T, Scheidt-Nave C (2013) Soziale Ungleichheit von Lärmbelastigung und Straßenverkehrsbelastung. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F00103-013-1668-7.pdf>. Zugegriffen: 6. Aug. 2019
17. Umweltbundesamt (2017) Umweltbewusstsein in Deutschland 2016: Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/umweltbewusstsein\\_deutschland\\_2016\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/umweltbewusstsein_deutschland_2016_bf.pdf). Zugegriffen: 6. Aug. 2019
18. Tobollik M, Hintzsche M, Wothge J, Myck T, Plass D (2019) Burden of disease due to traffic noise in Germany. *Int J Environ Res Public Health* 16(13):E2304. <https://doi.org/10.3390/ijerph16132304>
19. Birk M, Ivina O, von Klot S, Babisch W, Heinrich J (2011) Road traffic noise: self-reported noise annoyance versus GIS modelled road traffic noise exposure. *J Environ Monit* 13:3237–3245
20. Pitchika A, Hampel R, Wolf K et al (2017) Long-term associations of modeled and self-reported measures of exposure to air pollution and noise at residence on prevalent hypertension and blood pressure. *Sci Total Environ* 593–594:337–346
21. Riedel N, Kockler H, Scheiner J et al (2018) Home as a place of noise control for the elderly? A cross-sectional study on potential mediating effects and associations between road traffic noise exposure, access to a quiet side, dwelling-related green and noise annoyance. *Int J Environ Res Public Health* 15(5):E1036. <https://doi.org/10.3390/ijerph15051036>
22. Dreger S, Schule SA, Hiltz LK, Bolte G (2019) Social inequalities in environmental noise exposure: a review of evidence in the WHO European region. *Int J Environ Res Public Health* 16(6):E1011. <https://doi.org/10.3390/ijerph16061011>
23. Kohlhuber M, Mielck A, Weiland SK, Bolte G (2006) Social inequality in perceived environmental exposures in relation to housing conditions in Germany. *Environ Res* 101:246–255
24. Guski R (1999) Personal and social variables as co-determinants of noise annoyance. *Noise Health* 1:45
25. Miedema H, Vos H (1999) Demographic and attitudinal factors that modify annoyance from transportation noise. *J Acoust Soc Am* 105(6):3336–3344
26. Li HN, Chau CK, Tang SK (2010) Can surrounding greenery reduce noise annoyance at home? *Sci Total Environ* 408:4376–4384
27. Jakovljevic B, Paunovic K, Belojevic G (2009) Road-traffic noise and factors influencing noise annoyance in an urban population. *Environ Int* 35:552–556
28. Von Szombathely M, Albrecht M, Augustin J et al (2018) Relation between observed and perceived traffic noise and socio-economic status in urban blocks of different characteristics. *Urban Sci* 2:20
29. Hoffmann B, Robra BP, Swart E (2003) Soziale Ungleichheit und Straßenlärm im Wohnumfeld – eine Auswertung des Bundesgesundheits surveys. *Gesundheitswesen* 65:393–401
30. German National Cohort (GNC) Consortium (2014) The German national cohort: aims, study design and organization. *Eur J Epidemiol* 29:371–382
31. Basner M, Mcguire S (2018) WHO environmental noise guidelines for the European region: a systematic review on environmental noise and effects on sleep. *Int J Environ Res Public Health* 15(3):E519. <https://doi.org/10.3390/ijerph15030519>
32. Dudenredaktion (2019) Duden online. <https://www.duden.de/rechtschreibung/belaestigen>. Zugegriffen: 6. Aug. 2019
33. Fields JM (1993) Effect of personal and situational variables on noise annoyance in residential areas. *J Acoust Soc Am* 93:2753–2763
34. Job RFS (1988) Community response to noise: a review of factors influencing the relationship between noise exposure and reaction. *J Acoust Soc Am* 83:991–1001
35. Laszlo HE, Mcrobie ES, Stansfeld SA, Hansell AL (2012) Annoyance and other reaction measures to changes in noise exposure—a review. *Sci Total Environ* 435–436:551–562
36. Stansfeld S, Haines M, Brown B (2000) Noise and health in the urban environment. *Rev Environ Health* 15:385
37. Fields JM, De Jong RG, Gjestland T et al (2001) Standardized general-purpose noise reaction questions for community noise surveys: research and a recommendation. *J Sound Vib* 242:641–679
38. Bluhm G, Nordling E, Berglund N (2004) Road traffic noise and annoyance—an increasing environmental health problem. *Noise Health* 6(24):43–49
39. Dratva J, Zemp E, Felber Dietrich D et al (2010) Impact of road traffic noise annoyance on health-related quality of life: results from a population-based study. *Qual Life Res* 19:37–46
40. Babisch W (2004) Health aspects of extra-aural noise research. *Noise Health* 6:69–81
41. Michaud DS, Keith SE, Mcmurphy D (2008) Annoyance and disturbance of daily activities from road traffic noise in Canada. *J Acoust Soc Am* 123:784–792
42. Passchier-Vermeer W, Passchier WF (2000) Noise exposure and public health. *Environ Health Perspect* 108(1):123–131

## Affiliations

<sup>1</sup> Institut für Epidemiologie, Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt, Neuherberg, Deutschland; <sup>2</sup> Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaften, Technische Universität München, München, Deutschland; <sup>3</sup> Institut für Public Health und Pflegeforschung, Abteilung Sozialepidemiologie, Universität Bremen, Bremen, Deutschland; <sup>4</sup> Geographisches Institut, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, Deutschland; <sup>5</sup> IUF – Leibniz-Institut für Umweltmedizinische Forschung, Düsseldorf, Deutschland; <sup>6</sup> Abteilung Epidemiologie von Krebserkrankungen, Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ), Heidelberg, Deutschland; <sup>7</sup> Institut für Medizinische Epidemiologie, Biometrie und Informatik, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle (Saale), Deutschland; <sup>8</sup> Deutsches Diabetes-Zentrum (DDZ), Institut für Biometrie und Epidemiologie, Leibniz-Zentrum für Diabetes-Forschung an der Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf, Deutschland; <sup>9</sup> Leibniz-Institut für Präventionsforschung und Epidemiologie – BIPS, Bremen, Deutschland; <sup>10</sup> Institut für Statistik, Fachbereich Mathematik und Informatik, Universität Bremen, Bremen, Deutschland; <sup>11</sup> Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Universitätsklinikum Freiburg, Medizinische Fakultät, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg, Deutschland; <sup>12</sup> Institut für Medizinische Biometrie und Epidemiologie, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Deutschland; <sup>13</sup> Institut für Epidemiologie und Sozialmedizin, Universität Münster, Münster, Deutschland; <sup>14</sup> Abteilung Klinische Epidemiologie und Altersforschung, Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ), Heidelberg, Deutschland; <sup>15</sup> Abteilung für Epidemiologie, Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung (HZI), Braunschweig, Deutschland; <sup>16</sup> Institut für Epidemiologie und Präventivmedizin, Universität Regensburg, Regensburg, Deutschland; <sup>17</sup> Institut für Prävention und Tumorepidemiologie, Universitätsklinikum Freiburg, Medizinische Fakultät, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg, Deutschland; <sup>18</sup> Deutsches Institut für Ernährungsforschung Potsdam-Rehbrücke, NAKO Studienzentrum, Nuthetal, Deutschland; <sup>19</sup> Krebsregister Saarland, Saarbrücken, Deutschland; <sup>20</sup> Forschergruppe Molekulare Epidemiologie, Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin in der Helmholtz-Gemeinschaft (MDC), Berlin, Deutschland; <sup>21</sup> Institut für Sozialmedizin, Epidemiologie und Gesundheitsökonomie, Charité – Universitätsmedizin Berlin, Berlin, Deutschland; <sup>22</sup> Institut für Klinische Epidemiologie und Biometrie, Universität Würzburg, Würzburg, Deutschland; <sup>23</sup> Landesinstitut für Gesundheit, Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, Bad Kissingen, Deutschland; <sup>24</sup> Institut für Epidemiologie, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel, Deutschland; <sup>25</sup> Leipziger Forschungszentrum für Zivilisationserkrankungen (LIFE), Universität Leipzig, Leipzig, Deutschland; <sup>26</sup> Institut für Medizinische Informatik, Statistik, und Epidemiologie (IMISE), Universität Leipzig, Leipzig, Deutschland; <sup>27</sup> Institut für Community Medicine, Universitätsmedizin Greifswald, Greifswald, Deutschland; <sup>28</sup> Institut für medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie, Universität Duisburg-Essen, Essen, Deutschland; <sup>29</sup> Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung, Wiesbaden, Deutschland; <sup>30</sup> Charité – Universitätsmedizin Berlin, Berlin, Deutschland; <sup>31</sup> Deutsches Zentrum für Herz-Kreislauf-Forschung (DZHK), Partnerstandort Berlin, Berlin, Deutschland; <sup>32</sup> MDC/BIH Biobank, Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin in der Helmholtz-Gemeinschaft (MDC) und Berlin Institute of Health (BIH), Berlin, Deutschland; <sup>33</sup> Deutsches Institut für Ernährungsforschung Potsdam-Rehbrücke, Nuthetal, Deutschland; <sup>34</sup> NAKO Studienzentrum, Universitätsklinikum Augsburg, Augsburg, Deutschland; <sup>35</sup> Institut für Physik, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle (Saale), Deutschland; <sup>36</sup> Institut für Medizinische Informationsverarbeitung, Biometrie und Epidemiologie (IBE), Ludwig-Maximilians-Universität München, München, Deutschland