

Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit (GerES): Welche Aussagen über Zusammenhänge zwischen Umwelteinflüssen und gesundheitlichen Parametern sind möglich?

*German Environmental Study (GerES):
What conclusions can be drawn regarding the connections
between environmental influences and health parameters?*

Myriam Tobollik, Enrico Rucic, Dietrich Pläß, Wolfgang Straff

Kontakt

Dr. Myriam Tobollik | Umweltbundesamt | Fachgebiet II 1.5 – Umweltmedizin und gesundheitliche Bewertung |
Corrensplatz 1 | 14195 Berlin, | E-Mail: myriam.tobollik@uba.de |
Umweltbundesamt | Abteilung Umwelthygiene

Zusammenfassung

Das Umweltbundesamt (UBA) führt seit vielen Jahren regelmäßig die *Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit* (GerES) durch. Diese liefert wertvolle Daten zur umweltbezogenen Belastung der in Deutschland lebenden Bevölkerung. Kinder und Jugendliche wurden zuletzt in GerES V (2014–2017) untersucht. Durch die Anbindung an die *Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland* (KiGGS Welle 2) des Robert Koch-Instituts konnten Umwelt- mit Gesundheitsdaten auf Ebene der einzelnen Teilnehmenden miteinander verknüpft werden. Ziel der mit GerES V assoziierten Studie *Zusammenhangsuntersuchungen zwischen Umwelteinflüssen und gesundheitlichen Parametern* war, statistische Zusammenhänge zwischen Umweltbelastungen und gesundheitlichen Parametern auf Basis der GerES V-Daten zu prüfen und, wo möglich, anhand explorativer Analysen neue Hypothesen für weiterführende Studien abzuleiten. Der Artikel stellt Ergebnisse exemplarisch für leichtflüchtige organische Verbindungen und hier speziell für Aldehyde vor. Letztere wurden ausgewählt, weil für diese Stoffe statistisch signifikante Zusammenhänge gefunden wurden. Zudem werden die Besonderheiten in den Auswertungen und ausgewählte Ergebnisse für Passivrauch, Lärm und ultrafeine Partikel erläutert. Insgesamt zeigte sich, dass Hypothesen über Zusammenhänge zwischen Umweltschadstoffen und anderen Einflüssen mit gesundheitlichen Effekten mit diesem Studienmodell nur eingeschränkt überprüft werden können.





Foto: c_yanlev/fotolia

Abstract

The German Environment Agency (UBA) conducts the German Environmental Survey (GerES) multiple times over the years. This survey has consistently provided valuable data on the environmental exposure of the population living in Germany. The most recent survey, GerES V (2014–2017), included children and adolescents. By linking GerES V with the German Health Interview and Examination Survey for Children and Adolescents (KiGGS Wave 2) conducted by the Robert Koch Institute, it was possible to connect environmental data with health data at the individual participant level. The goal of the GerES V associated study, called *Investigation of Relationships between Environmental Factors and Health Parameters* was to examine statistical relationships based on GerES V data and, where possible, generate new hypotheses for further studies through exploratory analyses. In this article, we present exemplary results, including those for volatile organic compounds, specifically aldehydes, which were chosen because statistically significant correlations were found for these substances. Additionally, we discuss specific findings related to secondhand smoke, environmental noise, and ultrafine particles. Overall, the study demonstrated that hypotheses regarding the relationships between environmental pollutants and health effects can be tested only to a very limited extent with the available data.

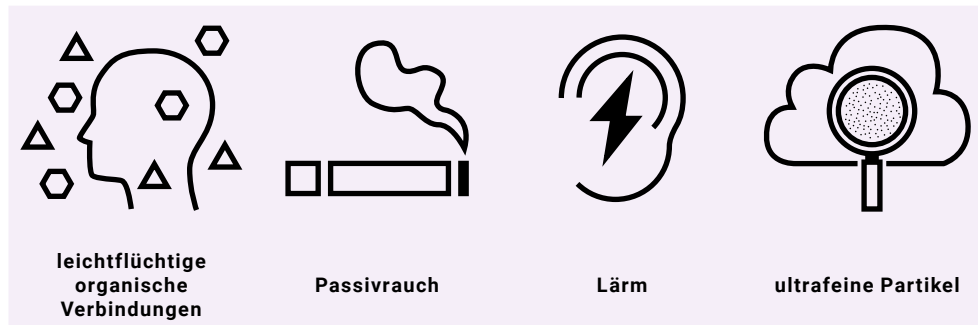
Einleitung

Die Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit, kurz: GerES, trägt dazu bei, das Wissen über innere und äußere Belastungen der Bevölkerung in Deutschland mit Umweltschadstoffen zu erweitern. Zudem sollen weitere Erkenntnisse über die komplexen Zusammenhänge zwischen Umwelt und Gesundheit gesammelt werden, um so einen Beitrag für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung zu leisten. Die Querschnittsstudie GerES wurde seit 1985 sechs Mal durchgeführt, zuletzt in den Jahren 2023 und 2024. Je nach Fragestellung und inhaltlichem Fokus standen unterschiedliche Bevölkerungsgruppen (Erwachsene oder Kinder und Jugendliche) im Fokus. Die Studie liefert bevölkerungsrepräsentative und spezifische Daten insbesondere zur korporalen Belastung mit Chemikalien sowie zu anderen relevanten Umweltrisiken, wie Feinstaub und Lärm, für die Bevölkerung in Deutschland. Die Daten werden ausgewertet und veröffentlicht sowie zur Politikberatung genutzt. GerES VI ist noch nicht abgeschlossen und bezieht sich auf Erwachsenenendaten. Die zuletzt abgeschlossene Studie (GerES V) fand in den Jahren 2014 bis 2017 statt. In diesem Rahmen wurden Daten für Kinder und Jugendliche im Alter von 3 bis 17 Jahren erhoben. Eine Beschreibung des Studiendesigns und die Ergebnisse der GerES V-Studie sind unter UBA (2023) zu finden.

GerES V wurde als Modul der Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland (KiGGS Welle 2) des Robert Koch-Instituts (RKI) durchgeführt. Daher konnten die Belastungsdaten aus GerES V auf Ebene der einzelnen Teilnehmenden mit den in KiGGS Welle 2 erhobenen Gesundheitsdaten und weiteren relevanten Charakteristiken der Teilnehmenden verknüpft werden.

Gerade im Bereich der Umwelthygiene ist es für neue Forschungsfragen essenziell, nicht nur bereits etablierte Fragestellungen zu untersuchen und durch Hypothesentests zu validieren, sondern auch neue Hypothesen zu generieren und zu überprüfen. Die GerES V-Daten liefern hierfür mit ihrer Vielfalt an erhobenen Daten in Zusammenschau mit den Ergebnissen der KiGGS-Studie eine für Deutschland einzigartige Datenbasis zur Generierung und Prüfung von Hypothesen über die Umweltbelastung von Kindern und Jugendlichen sowie deren Zusammenhänge mit gesundheitlichen Auswirkungen. Das Ziel der GerES V-assoziierten Studie Zusammenhangsuntersuchungen zwischen Umwelteinflüssen und gesundheitlichen Parametern war es, statistische Koinzidenzen zwischen Umweltbelastungen und gesundheitlichen Parametern auf Basis der GerES V-Daten zu prüfen und, wo möglich, anhand explorativer Analysen neue Hypothesen für weiterführende Studien abzuleiten. Gesundheitliche Parameter umfassen auch symptomatische Beeinträchtigungen ohne klinischen Wert, wie Reizungen der Schleimhäute, um auch milde Auswirkungen von Umweltbelastungen berücksichtigen zu können. Weitere Details zur Studie und zum Rahmenprojekt Umweltbedingte Krankheitslasten/Gesundheitliche Parameter (UKAGEP) sind im Abschlussbericht des Forschungsprojekts zu finden (Busse et al., 2022).

Die im Rahmen dieses Projekts untersuchten und hier in Kurzform dargestellten Risikofaktoren für die Gesundheit sind leichtflüchtige organische Verbindungen (engl. Volatile Organic Compounds, kurz VOC), Passivrauch, Lärm und ultrafeine Partikel.



Methode

Es wurde ein explorativer Ansatz verfolgt, der erste Hinweise darauf geben sollte, welche Belastungen der Kinder und Jugendlichen gegenüber umweltbedingten Risikofaktoren in Zusammenhang mit bestimmten gesundheitlichen Beeinträchtigungen stehen können.

Es handelt sich bei GerES V um eine Querschnittsstudie, was bedeutet, dass zu einem Zeitpunkt ein bestimmtes Kollektiv von Personen einbezogen wurde. Die Teilnehmenden wurden mithilfe einer Zufallsauswahl aus der Bevölkerung Deutschlands rekrutiert. Diese stellen eine zufällige Teilstichprobe aus den Teilnehmenden der KiGGS Welle 2 des RKI dar. Die GerES V-Stichprobe umfasst 2.294 Fälle der Altersklasse 3 bis 17 Jahre. Um eine bevölkerungsrepräsentative Auswertung hinsichtlich der Alters- und Geschlechtsverteilung zu gewährleisten, wurden die GerES V-Daten gewichtet.

Einige der Untersuchungsprogramme zu bestimmten Risikofaktoren wie VOC wurden nur an zufällig ausgewählten Unterstichproben mit geringerer Stichprobengröße durchgeführt. Die statistischen Analysen wurden mit dem Programm IBM Statistics SPSS 26 durchgeführt.

Für die Risikofaktoren VOC, Passivrauch, ultrafeine Partikel und Lärm wurden Variablen aus GerES V bestimmt und deskriptive Analysen durchgeführt, um die Anzahl der vorhandenen gültigen und fehlenden Werte, Mittelwert, Median, Standardabweichung, Spannweite, Minimum und Maximum zu erfassen. Zusätzlich wurden potenzielle gesundheitliche Auswirkungen identifiziert, die üblicherweise nominal oder ordinal im Fragebogen skaliert sind. Für diese wurde sowohl die Symptomatik als auch die Häufigkeit ermittelt, um die Prävalenzen darzustellen.

Nach den Basisdeskriptionen wurden bivariate Analysen durchgeführt, um die Mittelwerte der Belastungsvariablen für verschiedene gesundheitliche Symptome zu vergleichen. Dies erfolgte mittels t-Tests und einfaktorieller Varianzanalysen. Die Ergebnisse lieferten Hinweise darauf, ob Kinder mit Symptomen einer höheren Belastung ausgesetzt waren. Die Belastung wurde zudem in Terzile aufgeteilt, und der statistische Zusammenhang wurde mittels Chi-Quadrat-Tests quantifiziert. Als Signifikanzmaß wurde der p-Wert und als Zusammenhangsmaß das Cramers V ausgewertet.

Im Anschluss wurden multivariate Analysen (logistische Regression) durchgeführt, um für potenzielle Störvariablen zu kontrollieren. Mithilfe von Kreuztabellen wurde untersucht, welche weiteren Variablen wie Alter, Geschlecht und sozioökonomischer Status mit den

unabhängigen und/oder abhängigen Variablen in Verbindung standen. Hierzu wurden Odds Ratios (OR) berechnet. Dies ist ein statistisches Maß, das die Stärke eines Zusammenhangs im Hinblick auf seine Auftrittswahrscheinlichkeit angibt. Deshalb wird im Folgenden auch der Begriff der Wahrscheinlichkeit im Zusammenhang mit dem OR verwendet.

Als letzter Schritt erfolgte eine medizinische Bewertung der identifizierten Assoziationen. Hierbei wurden pathophysiologische Mechanismen berücksichtigt und für ausgewählte Risikofaktoren die Bradford-Hill-Kriterien herangezogen. Diese sind Prinzipien zur Bewertung von Kausalzusammenhängen von Risikofaktoren und Effekten, die hauptsächlich in der Epidemiologie und Medizin angewendet werden (Gianicolo et al., [2020](#)).

Ergebnisse

Im Folgenden werden die Methode und die Ergebnisse beispielhaft für die VOC und hier speziell für Aldehyde vorgestellt. Die Aldehyde wurden ausgewählt, weil für diesen Stoff statistisch signifikante Zusammenhänge mit gesundheitlichen Effekten gefunden wurden. Im Anschluss werden die Besonderheiten in den Auswertungen und ausgewählte Ergebnisse für Passivrauch, Lärm und ultrafeine Partikel dargelegt.

Flüchtige organische Verbindungen – Aldehyde

VOC sind gas- und dampfförmige Stoffe organischen Ursprungs. Die Quellen können sowohl im Innen- als auch im Außenraum liegen. Quellen der Außenluft sind technische Vorgänge wie unvollständige Verbrennungen und biologische Prozesse wie Pflanzenstoffwechsel und Fäulnis. Quellen, die im Innenraum vorkommen und VOCs in die Luft abgeben, sind Produkte und Materialien wie Klebstoffe, Farben, Lacke und Möbel. Eine weitere Quelle stellen Reinigungs- und Pflegeprodukte dar. Üblicherweise sind die Konzentrationen von VOC so gering, dass keine gesundheitlichen Effekte zu erwarten sind. Ausnahmen stellen Bau- und Renovierungsmaßnahmen sowie unsachgemäße und übermäßige Verarbeitung und Verwendung bestimmter Produkte dar, wie zum Beispiel Lösemittel oder Flüssigbrennstoffe (UBA, [2016](#)).

Da es sich bei den VOC um eine sehr große Stoffgruppe handelt, werden als Beispiel die Aldehyde und hier speziell die gesättigten azyklischen aliphatischen C4–C11-Aldehyde näher beschrieben, auch weil für diesen Stoff signifikante Ergebnisse gefunden wurden.

Im Innenraum entstehen Aldehyde durch Zersetzungsprozesse, bei denen die wesentlichen Emissionsquellen fettsäurereiche Hölzer und Holzwerkstoffe, Lacke, Alkyldarben, Öle und Klebstoffe, Beschichtungsprodukte auf Naturöl-Basis sowie Bodenbeläge wie etwa Linoleum sind (Ad-hoc-AG Innenraumrichtwerte IRK/AOLG, [2009](#)).

Aldehyde wirken reizend insbesondere auf die Schleimhäute (Araki et al., [2020](#)). So wurden beispielsweise in verschiedenen Studien Reizungen der Atemwege beim Menschen mit einer erhöhten Exposition gegenüber Stoffen aus der Gruppe der Aldehyde C4–C11 in Zusammenhang gebracht, so zum Beispiel Hexanal und Nonanal. In einer Kammeruntersuchung wurden zwölf Probanden und Probandinnen für zwei Stunden gegenüber 0,8 und 40 mg/m³ exponiert. Bei beiden Konzentrationen wurden Geschmacksveränderungen berichtet, jedoch nur bei der höheren Konzentration zusätzlich leichte

Reizungen der Augen und Kopfschmerzen (Ad-hoc-AG Innenraumrichtwerte IRK/AOLG 2009). Zudem gibt es Studien, die Aldehyde mit dem „Sick Building Syndrome“ assoziieren (Araki et al., 2020).

Generell gibt es für Aldehyde nur wenige Studien über die Belastungen und Wirkungen auf Kinder und Erwachsene in Deutschland. Auch international liegen nur begrenzte Informationen aus Studien vor. Eine Ausnahme stellt das Formaldehyd da, zu dem es einige Studien gibt (Castro et al., 2023).

Die meisten Studien zu Schadstoffbelastungen fokussieren sich auf bestimmte höher belastete Arbeitsstätten oder -bereiche, wie zum Beispiel Nagelstudios (Pavilonis et al., 2018; Quach et al., 2011). In Tierexperimenten konnte bei einer Langzeitexposition eine kanzerogene Wirkung gezeigt werden (Ad-hoc-AG Innenraumrichtwerte IRK/AOLG, 2009).

□ **Tabelle 1** zeigt die Innenraumrichtwerte für Aldehyde C4–C11, die der Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR) abgeleitet hat. Der wirkungsbezogenen Richtwert II, auch Gefahrenrichtwert genannt, gibt die Konzentration eines Stoffes an, ab der die Gesundheit empfindlicher Personen bei längerer Innenraumluftbelastung gefährdet ist (Ad-hoc AG Innenraumrichtwerte IRK/AOLG, 2012). Richtwert I stellt einen Vorsorgerichtwert dar.

Tabelle 1: Abgeleitete Richtwerte I und II des AIR für Aldehyde C4–C11 in der Innenraumluft

Verbindung	Richtwert II	Richtwert I	Einheit	Jahr der Festlegung
Aldehyde, C4–C11 (gesättigt, azyklisch, aliphatisch)	2,0	0,1	mg/m ³	2009

Quelle: AIR, 2022

Aldehyde-Messung

Bei einer zufällig ausgewählten Unterstichprobe von GerES V-Teilnehmenden (n=639) wurden Aldehyde in der Innenraumluft gemessen. Dafür wurden bei den Teilnehmenden für sieben Tage Passivsammler in dem Raum aufgehängt, in dem sich das Kind beziehungsweise der oder die Jugendliche während eines 24h-Tages üblicherweise am längsten aufhielt (Cholmakow-Bodechtel et al., 2018). In 94 Prozent der Fälle war dies das Kinderzimmer. Ausführliche Informationen zur Messung sind in Birmili et al. (2022) zu finden.

Das geometrische Mittel der Aldehyde C4–C11 lag bei 24,5 µg/m³, das arithmetische Mittel bei 32,5 µg/m³ (□ **Tabelle 2**). Der Unterschied der beiden Werte weist auf eine rechtsschiefe Verteilung der Messwerte hin. Der höchste Messwert für die Aldehyde C4–C11 lag bei 162,0 µg/m³. Bei 1 Prozent der Haushalte wurde mit einer Aldehyd C4–C11-Konzentration von über 0,1 mg/m³ der Richtwert I überschritten (vergleiche □ **Tabelle 1**). Eine Überschreitung des Richtwertes II (2,0 mg/m³) kam nicht vor.

Tabelle 2: Aldehyde, C4–C11, in der Innenraumluft aus an GerES V teilnehmenden Haushalten mit drei- bis 17-jährigen Kindern und Jugendlichen in Deutschland (Mittelwerte über sieben Tage)

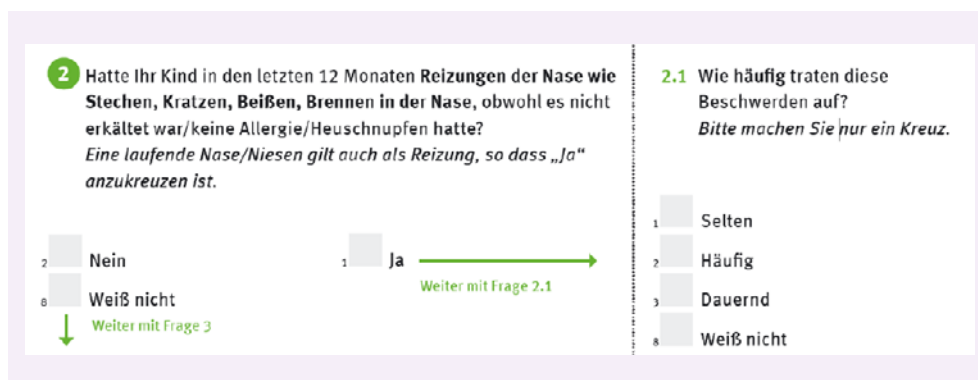
Stoff(gruppe) in µg/m³	Gültige Fälle	n <BG	% ≥BG	T1	P50	T2	P90	P95	Max	AM	GM	KI GM
Aldehyde, C4–C11	639	0	–	18,91	26,65	34,69	65,26	82,29	162,03	32,50	24,52	22,98– 26,14

BG: Bemessungsgrenze, T: Terzil, P: Perzentil, AM: arithmetisches Mittel, GM: geometrisches Mittel,
KI: Konfidenzintervall

Gesundheitliche Effekte: Prävalenzen von Reizungen, Kopfschmerzen und Konzentrationsproblemen

In unserer Analyse wurden die Gesundheitsendpunkte Reizungen, Kopfschmerzen und Konzentrationsprobleme jeweils als abhängige Variable definiert. Diese Symptome wurden mittels Fragebogen von den Eltern erhoben, siehe [Abbildung 1](#).

Abbildung 1: Auszug aus dem GerES V-Fragebogen zu Krankheiten und gesundheitlichen Beschwerden, hier Reizungen der Nase:



2 Hatte Ihr Kind in den letzten 12 Monaten Reizungen der Nase wie Stechen, Kratzen, Beißen, Brennen in der Nase, obwohl es nicht erkältet war/keine Allergie/Heuschnupfen hatte? Eine laufende Nase/Niesen gilt auch als Reizung, so dass „Ja“ anzukreuzen ist.

2 ☐ Nein

8 ☐ Weiß nicht

1 ☐ Ja

Weiter mit Frage 3

Weiter mit Frage 2.1

2.1 Wie häufig traten diese Beschwerden auf? Bitte machen Sie nur ein Kreuz.

1 ☐ Selten

2 ☐ Häufig

3 ☐ Dauernd

8 ☐ Weiß nicht

Als abhängige Variable stand die selbst-berichtete Angabe zur Zwölf-Monats-Prävalenz von Reizungen sowie die ordinal skalierte Variable zur Häufigkeit von Reizungen im letzten Jahr zur Verfügung. Für Kopfschmerzen und Konzentrationsprobleme lagen die Angaben zur Lebenszeitprävalenz, zur Zwölf-Monats-Prävalenz sowie zur Häufigkeit des Vorkommens vor (selten, manchmal, oft, dauernd). Zudem konnte auf die Information, ob zurzeit das Gesundheitsproblem besteht, zugegriffen werden.

12 Prozent der Kinder und Jugendlichen aus der Unterstichprobe zu den VOC gaben an, in den letzten zwölf Monaten unter Reizungen der Nase und 9 Prozent unter Augen- beziehungsweise Kehltreizungen gelitten zu haben. Zusammengenommen hatten 23 Prozent der Kinder und Jugendlichen in den letzten zwölf Monaten mindestens einmal eine Reizung der Augen, der Nase oder der Kehle. 8 Prozent litten dabei innerhalb der letzten zwölf Monate häufig oder dauernd unter einer dieser Reizungen.

Die Zwölf-Monats-Prävalenz von Kopfschmerzen lag bei den Kindern und Jugendlichen in der VOC-Unterstichprobe bei 61 Prozent. Bei 7 Prozent kamen sie im letzten Jahr häufig

oder dauernd vor und 11 Prozent der Kinder und Jugendlichen litten zum Zeitpunkt der Befragung unter Kopfschmerzen.

Konzentrationsprobleme kamen bei 37 Prozent der Kinder und Jugendlichen in der VOC-Unterstichprobe in den letzten zwölf Monaten vor; bei 14 Prozent häufig oder dauernd. Ein Fünftel der Teilnehmenden litt zum Befragungszeitpunkt unter Konzentrationsproblemen.

Da unklar ist, welche Exposition in den letzten zwölf Monaten hinsichtlich der Aldehyde vorlag (gemessen wurde für eine Woche), wurde für Kopfschmerzen und Konzentrationsprobleme die Auswertung für das derzeitige Vorliegen dieser gesundheitlichen Einschränkung genutzt. Bei diesem Vorgehen lagen Zeitpunkt der Messung und die Angaben zum Vorliegen der Beeinträchtigung nah beieinander. Daten zur derzeitigen Belastung lagen nicht für Reizungen vor. Deshalb wurde hier die Zwölf-Monats-Prävalenz verwendet.

Mittelwertvergleiche

Die Ergebnisse der Mittelwertvergleiche sind uneindeutig und zeigen nur in wenigen Fällen statistisch signifikante Konzentrationsunterschiede zwischen Teilnehmenden mit und ohne Reizungen der Augen, Nase oder Kehle. Es lassen sich lediglich Tendenzen ableiten.

Die Zwölf-Monats-Prävalenz jedweder Reizung war bei Kindern und Jugendlichen im oberen Terzil der Aldehyd-C4-C11-Belastung ($> 34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) mit 29 Prozent am höchsten. Bei einer niedrigeren Aldehyd-C4-C11-Belastung lag sie bei rund 20 Prozent. Die Prävalenzunterschiede sind statistisch signifikant ($p < 0,05$), in der Stärke allerdings äußerst gering (Cramer-V = 0,106) (Tabelle 3).

Tabelle 3: Aldehyde C4-C11 (Terzile) und Zwölf-Monats-Prävalenz von Reizungen

			Reizungen von Augen oder Nase oder Kehle in den letzten zwölf Monaten		Gesamt
			Nein	Ja	
Aldehyde, C4–C11	≤ 18,9 µg/m³	Anzahl	157	42	199
		%	78,9	21,1	100
	18,9–34,7 µg/m³	Anzahl	146	34	180
		%	81,1	18,9	100
	> 34,7 µg/m³	Anzahl	158	65	223
		%	70,9	29,1	100
Gesamt		Anzahl	144	461	602
		%	23,9	76,6	100

Gewichtete Daten; n = 602

p = 0,034, Chi-Quadrat-Test nach Pearson; Cramer-V = 0,106

Zwischen der Belastung mit Aldehyden C4-C11 und der Prävalenz von Kopfschmerzen zurzeit zeigte sich ein positiver, statistisch signifikanter Zusammenhang: Je höher die Konzentration in den Räumen war, desto häufiger litten die Kinder zum Zeitpunkt der

Untersuchung unter Kopfschmerzen ($p < 0,05$). Mit einem Cramer-V von 0,120 ist die Stärke des Zusammenhangs allerdings gering (□ Tabelle 4). Diese Ergebnisse können als ein erster Hinweis dafür gesehen werden, dass eine steigende Aldehyd-Belastung mit einer höheren Prävalenz von Kopfschmerzen bei Kindern und Jugendlichen einhergeht.

Tabelle 4: Aldehyde C4–C11 (Terzile) und Prävalenz von Kopfschmerzen zurzeit

			Kopfschmerzen zurzeit		Gesamt
			Nein	Ja	
Aldehyde, C4–C11	≤ 18,9 µg/m³	Anzahl	169	10	179
		%	94,4	5,6	100
	18,9–34,7 µg/m³	Anzahl	144	22	166
		%	86,7	13,3	100
	> 34,7 µg/m³	Anzahl	175	28	203
		%	86,2	13,8	100
Gesamt		Anzahl	488	60	548
		%	89,1	10,9	100

Gewichtete Daten; $n = 548$

$p = 0,020$, Chi-Quadrat-Test nach Pearson; Cramer-V = 0,120

Je höher die Belastung mit den Aldehyden C4–C11 in den Räumen der Kinder und Jugendlichen war, desto häufiger litten sie zum Zeitpunkt der Befragung unter Konzentrationsproblemen. Der Zusammenhang war schwach (Cramer V = 0,135), aber statistisch signifikant ($p < 0,01$) (□ Tabelle 5).

Tabelle 5: Aldehyde C4–C11 (Terzile) und Prävalenz von Konzentrationsproblemen zurzeit

			Konzentrationsprobleme zurzeit		Gesamt
			Nein	Ja	
Aldehyde, C4–C11	≤ 18,9 µg/m³	Anzahl	161	23	184
		%	87,5	12,5	100
	18,9–34,7 µg/m³	Anzahl	137	38	175
		%	78,3	21,7	100
	> 34,7 µg/m³	Anzahl	154	52	206
		%	74,8	25,2	100
Gesamt		Anzahl	452	113	565
		%	80,0	20,0	100

Gewichtete Daten; $n = 565$

$p = 0,006$, Chi-Quadrat-Test nach Pearson; Cramer-V = 0,135

Multivariate Analysen

Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten irgendeiner Reizung in den letzten zwölf Monaten war im letzten Terzil der Aldehyd-C4-C11-Belastung ($> 34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) mit einem OR von 1,31 höher als im Referenz-Terzil ($< 18,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Die 95%-Konfidenzintervalle waren allerdings groß und die Koeffizienten statistisch nicht signifikant (Ergebnistabelle hier nicht dargestellt).

Ein anderes Bild zeigt sich bei der Konzentration der Aldehyde C4-C11 im Innenraum in Verbindung mit dem Auftreten von Kopfschmerzen zurzeit ([Tabelle 6](#)). Bei einer Belastung der Räume mit Konzentrationen zwischen $18,9$ und $34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2. Terzil) hatten die Teilnehmenden im Vergleich zum ersten Terzil eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit, zum Zeitpunkt der Befragung an Kopfschmerzen zu leiden (OR: 2,11; 95%-Konfidenzintervall: 1,02–4,38). Das OR für das oberste Terzil hingegen zeigte keinen signifikanten Zusammenhang (1,83; 95%-Konfidenzintervall: 0,88–3,85), da das Konfidenzintervall auch Werte kleiner als 1 einschloss.

Tabelle 6: Aldehyde C4-C11 und OR für Kopfschmerzen zurzeit – Basismodell

		p-Wert	OR	95 % Konfidenzintervall	
				Unterer Wert	Oberer Wert
Schritt 1a	Aldehyde, C4-C11 (1. Terzil): $\leq 18,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Referenz)	0,122	1		
	Aldehyde, C4-C11 (2. Terzil): $18,9-34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0,045	2,11	1,016	4,379
	Aldehyde, C4-C11 (3. Terzil): $> 34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0,108	1,83	0,875	3,845
	Konstante	0,000	0,07		

a. In Schritt 1 eingegebene Variablen: Aldehyde, C4-C11 (Terzile). Ungewichtete Daten. Abhängige Variable: Kopfschmerzen (zurzeit): Ja; n = 557

Bei Hinzunahme weiterer möglicher Einflussfaktoren änderte sich das OR nur geringfügig, jedoch waren die Ergebnisse nicht mehr signifikant ([Tabelle 7](#)).

Tabelle 7: Aldehyde C4–C11 und OR für Kopfschmerzen zurzeit – erweitertes Modell

	p-Wert	OR	95 % Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Aldehyde, C4–C11 (1. Terzil): $\leq 18,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Referenz)		1		
Aldehyde, C4–C11 (2. Terzil): $18,9\text{--}34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0,055	2,15	0,985	4,688
Aldehyde, C4–C11 (3. Terzil): $> 34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0,094	1,96	0,891	4,315
3 bis 5 Jahre	0,001	0,15	0,048	0,439
6 bis 10 Jahre	0,005	0,29	0,124	0,692
11 bis 13 Jahre	0,703	0,87	0,434	1,757
14 bis 17 Jahre (Referenz)		1		
Mädchen (Referenz)		1		
Jungen	0,004	0,40	0,211	0,749
Sozioökonomischer Status (SES): Niedrig	0,330	1,65	0,601	4,554
Sozioökonomischer Status (SES): Mittel	0,989	0,100	0,514	1,929
Sozioökonomischer Status (SES): Hoch (Referenz)		1		
Nichtraucher (Referenz)		1		
Raucher	0,133	3,34	0,693	16,059
Konstante	0,000	0,16		

Eingegebene Variablen: Aldehyde, C4–C11, Altersklasse, Geschlecht, Sozioökonomischer Status (SES), Rauchstatus.
Ungewichtete Daten. Abhängige Variable: Kopfschmerzen (zurzeit): Ja; n = 557

Hinsichtlich Konzentrationsproblemen zeigte sich im Basismodell im dritten Terzil ein signifikantes OR (1,92; 95%-Konfidenzintervall: 1,09–3,36) im Vergleich zum Referenz-Terzil (□ Tabelle 8).

Tabelle 8: Aldehyde C4–C11 und OR für Konzentrationsprobleme zurzeit – Basismodell

	p-Wert	OR	95 % Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Aldehyde, C4–C11 (1. Terzil): $\leq 18,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Referenz)	0,064	1		
Aldehyde, C4–C11 (2. Terzil): $> 18,9\text{--}34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0,067	1,70	0,963	2,995
Aldehyde, C4–C11 (3. Terzil): $> 34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0,023	1,92	1,093	3,356
Konstante	0,000	0,14		

Eingegebene Variablen: Aldehyde, C4–C11 (klassiert). Ungewichtete Daten. Abhängige Variable: Konzentrationsprobleme (zurzeit): Ja; n = 564

Bei einer Aldehyd-C4–C11-Belastung der Innenraumluft mit Werten über $34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (3. Terzil) hatten die Teilnehmenden im Vergleich zum ersten Terzil eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit, zum Zeitpunkt der Befragung Konzentrationsprobleme angegeben zu haben (OR: 1,996; 95%-KI: 1,12–3,56), adjustiert für Alter, Geschlecht, sozio-ökonomischen Status und aktiven Rauchstatus. Das OR im zweiten Terzil adjustiert für

die weiteren Variablen war ebenfalls signifikant 1,82 (95%-Konfidenzintervall: 1,02–3,27) (□ Tabelle 9). Insofern zeigt sich an dieser Stelle trotz der insgesamt geringen Fallzahlen eine schrittweise erhöhte Wahrscheinlichkeit für Konzentrationsprobleme mit steigender Aldehyd-C4–C11-Konzentration in den Räumen, in denen sich die Teilnehmenden am längsten aufhalten.

Tabelle 9: Aldehyde C4–C11 (dreistufig klassiert) und OR für Konzentrationsprobleme zurzeit – erweitertes Modell

	p-Wert	OR	95 % Konfidenzintervall	
			Unterer Wert	Oberer Wert
Aldehyde, C4–C11 (1. Terzil): $\leq 18,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Referenz)	0,046	1		
Aldehyde, C4–C11 (2. Terzil): $> 18,9–34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0,043	1,82	1,018	3,266
Aldehyde, C4–C11 (3. Terzil): $> 34,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0,019	1,70	1,120	3,557
3 bis 5 Jahre	0,188	0,60	0,285	1,279
6 bis 10 Jahre	0,057	1,84	0,981	3,455
11 bis 13 Jahre	0,266	1,45	0,753	2,789
14 bis 17 Jahre (Referenz)		1		
Mädchen (Referenz)		1		
Jungen	0,009	1,85	1,170	2,935
Sozioökonomischer Status (SES): Niedrig	0,150	1,83	0,803	4,186
Sozioökonomischer Status (SES): Mittel	0,026	1,80	1,074	3,031
Sozioökonomischer Status (SES): Hoch (Referenz)		1		
Nichtraucher (Referenz)		1		
Raucher	0,999	0,000	0,000	
Konstante	0,000	0,054		

Eingegebene Variablen: Aldehyde, C4–C11 (klassiert), Altersklasse, Geschlecht, Sozioökonomischer Status (SES), Rauchstatus; Abhängige Variable: Konzentrationsprobleme (zurzeit): Ja, n = 564

Medizinische Bewertung

Bezüglich der Wirkungen von VOC und bestimmten Einzelverbindungen dieser Gruppe ist insgesamt wenig über die pathophysiologischen Mechanismen der hier untersuchten Beschwerden bekannt, insbesondere bei Kindern.

Hinzu kommt, dass die Belastungen der untersuchten Kinder und Jugendlichen in GerES V im Hinblick auf die bekannten Schwellenwerte für die Verursachung von körperlichen Beschwerden als sehr gering zu bewerten sind. Lediglich ein Prozent der Messwerte lag über dem Richtwert I. Diesen Wert unterschreitende Konzentrationen gelten als hygienisch unauffällig und deuten auf eine recht gute Raumluftqualität hin (AIR, 2007). Die in dieser Studie gefundenen vereinzelt Assoziationen sind daher entweder nicht mit den vorliegenden Aldehyd-Belastungen zu erklären oder es deutet sich hier eine niedrigere Wirkungsschwelle für die Entstehung von Kopfschmerzen und Konzentrationsstörungen an.

Fazit für Aldehyde

Die in dieser Studie gefundenen Assoziationen für Kinder und Jugendliche in Deutschland sind im Allgemeinen schwach und uneinheitlich. Auffällig ist der Zusammenhang zwischen erhöhten Aldehyd-Konzentrationen in der Raumluft und berichteten Konzentrationsproblemen, der auch in der multivariaten Analyse bestätigt wurde. Allerdings legt das Fehlen einer erhöhten Kopfschmerzrate in der höchsten Terzilgruppe nahe, dass dieses Ergebnis hinterfragt und in weiteren Studien bestätigt werden sollte.

Passivrauch

Die Belastung der Kinder und Jugendlichen mit Passivrauch wurde in GerES V sowohl mittels Fragebögen als auch über die korporale Belastung mit dem Nikotinabbauprodukt Cotinin im Urin erfasst. Die Erfassung über den Fragebogen erfolgte bis zum zehnten Lebensjahr der Kinder über die Befragung der Eltern und ab dem elften Lebensjahr über die Befragung der Kinder und Jugendlichen selbst. Hierbei wurde die Frage gestellt, wie oft sich die Teilnehmenden üblicherweise in Räumen aufhalten, in denen geraucht wird. Die Antworten der Teilnehmenden wurden über die Kategorien „täglich“, „nicht täglich“ und „nie“ ausgewertet.

Von den gemessenen Cotinin-Werten im Urin der nicht aktiv rauchenden Teilnehmenden lagen lediglich 4,7 Prozent der Messwerte zwischen 10 und 50 µg/l, was den Nachweisbereich für eine Passivrauchbelastung (hergeleitet in einer Schweizer Studie) darstellt (Gruber & Schuurmans, 2018). Fast die Hälfte (44%) der Werte lagen unter der Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/l und weitere 47,7 Prozent zwischen der Bestimmungsgrenze und 10 µg/l. Laut Fragebogenauswertung hielten sich 11 Prozent der nicht aktiv rauchenden Kinder und Jugendlichen täglich oder zumindest manchmal zu Hause in Räumen auf, in denen geraucht wird. Ein täglicher Aufenthalt in Raucherräumen zu Hause wurde für etwa 5 Prozent der Kinder und Jugendlichen berichtet. Die beiden Hinweise zum Passivrauchen (Cotinin Wert und Fragebogenangabe) korrelierten miteinander.

Insgesamt zeigten die Analysen zwischen gemessenen Cotinin-Konzentrationen im Urin beziehungsweise berichteten Expositionen gegenüber Passivrauch und der Infektanfälligkeit bei Kindern und Jugendlichen eher schwache Korrelationen, die häufig statistisch nicht signifikant waren. Für belastbare statistische Auswertungen war die Fallzahl der hochbelasteten Teilnehmenden zu gering, was generell als gute Nachricht für den Gesundheitsschutz von Kindern und Jugendlichen zu werten ist.

Lärm

In GerES V wurde die Exposition gegenüber Straßen-, Schienen-, und Flugverkehrslärm sowohl anhand einer Schallpegelmessung als auch über die erfragte subjektive Lärmbelastung bei allen Teilnehmenden erfasst. Die Messung fand für 15 Minuten im Schlafraum des Kindes an dem Fenster zu der am meisten befahrenen beziehungsweise lauesten Straße statt. Die gemessene Lärmbelastung im Kinderzimmer lag im Mittel bei 50 dB(A) (min. 30 bis max. 80 dB(A)), wobei in städtischen Gebieten ein höherer Lärmpegel vorherrschte. Die gemittelte Lärmbelastung war vergleichbar mit der Belastung in der vorangegangenen GerES IV-Studie 2003–2006 (Babisch et al., 2009).

Statistisch signifikante Unterschiede hinsichtlich des Mittelungspegels ergaben sich in GerES V für Vergleiche zwischen den Geschlechtern, West- vs. Ostdeutschland und

für Vergleiche zwischen den Gebietstypen (ländlich 47,7 dB(A), vorstädtisch 49,6 dB(A), städtisch 51,7 dB(A); $p < 0,001$). Der sozioökonomische Status der Eltern sowie der Migrationshintergrund korrelierten negativ mit dem Schallpegel. Dies deckt sich mit bisherigen Studien, die zeigen, dass Menschen mit niedrigerem sozioökonomischem Status häufig an Orten leben, die stark von Umweltlärm betroffen sind (Barnes et al., 2018; Dreger et al., 2019; Li et al., 2022). Diese Ungerechtigkeit zeigen auch die Angaben zum individuellen Gesundheitszustand: Der allgemeine Gesundheitszustand wurde von Teilnehmenden mit höherer Lärmbelastung als signifikant schlechter eingeordnet als von Teilnehmenden mit niedrigerer Lärmbelastung.

Hinsichtlich der Lärmbelastung gab es zwei Gesundheitsendpunkte, die vermehrt auftraten: Konzentrationsprobleme und Ohrgeräusche.

Der objektiv gemessene Schallpegel war bei Teilnehmenden, die Konzentrationsprobleme angaben, im Mittel höher als bei jenen ohne Konzentrationsprobleme. Auch die subjektive Belästigung war mit Konzentrationsproblemen assoziiert, aus der Sicht der Kinder und Jugendlichen insbesondere bei Schienen- und Fluglärm. Für Fluglärm wurde darüber hinaus in anderen Studien auch ein Zusammenhang zur Beeinträchtigung der Lesekompetenz und Gedächtnisleistung von Kindern gezeigt (Klatte et al., 2016; Stansfeld et al., 2005).

Ein deutlicher Zusammenhang zeigte sich für ein starkes Belästigungsempfinden der Kinder und Jugendlichen gegenüber Straßen-, Schienen-, und Flugverkehrslärm insgesamt sowie Schienenverkehrslärm in der Nacht und dem Auftreten von Ohrgeräuschen. In der Literatur wird ein möglicherweise stressvermitteltes Auftreten von Tinnitus diskutiert, bislang jedoch mit inkonsistenten Befunden (Elarbed et al., 2021). Die bisherige Forschung bezieht sich größtenteils auf Erwachsene. Denkbar wäre ein möglicher stressvermittelter Zusammenhang bei Kindern, sodass eine höhere Umweltlärmbelästigung zu einer höheren physiologischen Stressreaktion bei Kindern führt, und dadurch bedingt möglicherweise auch zum Auftreten von Ohrgeräuschen. Eine weitere mögliche Erklärung wäre, dass sich Kinder aufgrund der vorbestehenden Ohrgeräusche durch zusätzlichen Umweltlärm verstärkt belästigt fühlen.

Ultrafeine Partikel

GerES V ist eine der wenigen Studien, in denen ultrafeine Partikel im Innenraum gemessen wurden. Ultrafeine Partikel wurden in allen GerES V-Haushalten gemessen. Hierbei handelte es sich um orientierende Kurzzeitmessungen (eine Stunde), bei denen für weiterführende Korrelationsstudien mit gesundheitlichen Effekten nicht klar ist, inwieweit sie als repräsentative Expositionswerte angesehen werden können (Birmili et al., 2020).

Ansätze für Expositionsmodelle für ultrafeine Partikel in Innenräumen sind im Grundsatz verfügbar (Zhao et al., 2021), jedoch in der Anwendung mit hohen Unsicherheiten behaftet. Die Messwerte aus dem GerES V-Datensatz geben lediglich orientierende und nur im Mittel eine aussagekräftige Information über die Exposition gegenüber ultrafeinen Partikeln in Innenräumen. Für die Bewertung auf Individualebene sind solche Messungen nicht geeignet. Diese Werte würden jedoch für eine Hypothesenüberprüfung benötigt, um Personen, die höher belastet sind, von Personen, die niedriger belastet sind, unterscheiden zu können.

Fazit

GerES V ist eine Studie, die zur Beschreibung der Belastungen von Kindern und Jugendlichen in Deutschland mit Schadstoffen oder anderen Umwelteinflüssen geeignet ist und wurde entsprechend dieser Fragestellung konzipiert. Eine Datennutzung hinsichtlich von Hypothesentestung und -generierung ist jedoch nur eingeschränkt möglich, denn aufgrund des repräsentativen Querschnittsdesigns lassen sich spezifisch belastete Teilnehmende kaum und wenn dann nur für kurzfristige Effekte identifizieren. Aufgrund der im Querschnitt insgesamt geringen Belastungen mit den untersuchten Risikofaktoren lieferten die Analysen kaum Hinweise auf Zusammenhänge mit gesundheitlichen Auswirkungen bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland. In einer Studie wie GerES, die nicht primär zur Untersuchung kausaler Zusammenhänge konzipiert ist, sind sowohl die Expositionshöhen zu gering als auch die potenziellen Beschwerden zu selten, um aussagekräftige Schlussfolgerungen zu ziehen. Nichtsdestotrotz lieferte die GerES V-Studie entscheidende Einblicke in die Belastungssituation von Kindern und Jugendlichen in Deutschland. Zudem können auf Basis der Daten aus den Fragebögen auch Zusammenhänge zu potenziellen Quellen für die Belastungen abgeleitet werden. Grundsätzlich ist die Kinder- und Jugendlichenbevölkerung im Vergleich zu anderen Altersgruppen ein gesunder Querschnitt der Bevölkerung in Deutschland, bei dem umweltrelevante Schädigungen der Gesundheit möglicherweise noch nicht eingetreten sind und sich gegebenenfalls erst im Laufe des Lebens durch eine kontinuierliche Umweltbelastung entwickeln. Deshalb ist es wichtig, die Belastungssituation von Kindern und Jugendlichen systematisch zu erfassen und daraus Handlungsempfehlungen für die Politik abzuleiten. Für die Untersuchung von Ursache-Wirkungsbeziehungen im Bereich Umwelt und Gesundheit sind allerdings andere Studien wie zum Beispiel Kohorten- oder Fall-Kontroll-Studien erforderlich.

Danksagung

Großer Dank gilt Heike Gruhl, Maxie Bunz und Julia Rehling für ihre grundlegende Mitarbeit in diesem Teilprojekt von GerES V. Ebenfalls danken wir dem gesamten GerES-Team für ihr Engagement in der Studie sowie den Studienteilnehmenden für ihre Bereitschaft, ihre Daten für wissenschaftliche Zwecke erheben und auswerten zu lassen. Ein außerordentlicher Dank geht an das Fachgebiet II 1.3 „Innenraumhygiene, gesundheitsbezogene Umweltbelastungen“ im UBA, das die Laboranalysen der Innenraumkonzentrationen für die Aldehyde und weitere VOC durchführte. Ebenfalls möchten wir dem UKAGEP-Team für die tolle Zusammenarbeit und den Rückhalt im Projekt danken sowie Aline Murawski, Sarah Kienzler, Wolfram Birmili und Dirk Wintermeyer für das Gegenlesen dieses Artikels.

[UBA] ●

Literatur

- [1] Ad-hoc AG Innenraumrichtwerte IRK/AOLG. (2012). Richtwerte für die Innenraumluft: erste Fortschreibung des Basisschemas. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz, 55, 279290. <https://doi.org/10.1007/s00103-011-1420-0>

- [2] Ad-hoc-AG Innenraumrichtwerte IRK/AOLG. (2009). Richtwerte für gesättigte azyklische aliphatische C4- bis C11-Aldehyde in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz, 52, 650659. <https://doi.org/10.1007/s00103-009-0860-2>
- [3] Araki, A., Ketema, R. M., Ait Bamai, Y. et al. (2020). Aldehydes, Volatile Organic Compounds (VOCs), and Health. In: Kishi R, Norbäck D, Araki A (eds) Indoor Environmental Quality and Health Risk toward Healthier Environment for All. Springer Singapore, Singapore, 129158. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9182-9_7
- [4] AIR – Ausschuss für Innenraumrichtwerte. (2022). Abgeleitete Richtwerte I und II des AIR für Schadstoffe in der Innenraumluft. Umweltbundesamt. Abgerufen am 16. Februar 2022 von <https://www.umweltbundesamt.de/galerie/die-richtwerte-i-ii-fuer-stoffe-in-der>
- [5] AIR – Ausschuss für Innenraumrichtwerte. (2007). Leitwerte für TVOC in der Innenraumluft (2007). Umweltbundesamt. Abgerufen am 10. Februar 2022 von <https://www.umweltbundesamt.de/bild/leitwerte-fuer-tvoc-in-der-innenraumluft>
- [6] Babisch, W., Neuhauser, H., Thamm, M. et al. (2009). Blood pressure of 8–14 year old children in relation to traffic noise at home—Results of the German Environmental Survey for Children (GerES IV). Science of the Total Environment, 407, 58395843. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.08.016>
- [7] Barnes, J., De Vito, L., Hayes, E. et al. (2018). Qualitative assessment of links between exposure to noise and air pollution and socioeconomic status. WIT Trans Ecol Environ, 230, 1525
- [8] Birmili, W., Daniels, A., Bethke, R. et al. (2022). Formaldehyde, aliphatic aldehydes (C₂-C₁₁), furfural, and benzaldehyde in the residential indoor air of children and adolescents during the German Environmental Survey 2014–2017 (GerES V) Indoor Air, 32: e12927. <https://doi.org/10.1111/ina.12927>
- [9] Birmili, W., Pietsch, A., Niemeyer, T. et al. (2020). Abundance and sources of ultrafine particles in indoor and ambient air – current state of knowledge (Vorkommen und Quellen ultrafeiner Partikel im Innenraum und in der Außenluft – Aktueller Kenntnisstand), in German Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft, 80, 33–43. <https://dx.doi.org/10.37544/0949-8036-2020-01-02-35>
- [10] Busse, L., Bunz, M., Fischer, T. et al. (2022). Umweltbedingte Krankheitslasten – Analyse und Bewertung sozialer und ökonomischer Zusammenhänge; Zusammenhangsuntersuchungen zwischen Umwelteinflüssen und gesundheitlichen Parametern: Kurztitel: Umweltbedingte Krankheitslasten / Gesundheitliche Parameter (UKAGEP) Schlussbericht. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. <https://doi.org/10.2314/KXP:1882044134>
- [11] Castro, I., Kappeler, R., Kienzler, S. et al. (2023). ETC HE Report 2022/22: Environmental health risks to children and adolescents: an umbrella review on indoor and outdoor air pollution. Eionet Portal, <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-he/products/etc-he-products/etc-he-reports/etc-he-report-2022-22-environmental-health-risks-to-children-and-adolescents-an-umbrella-review-on-indoor-and-outdoor-air-pollution>
- [12] Cholmakow-Bodechtel, C., Mayer, S., Scharf, L. et al. (2018). Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen, GerES 2014–2017: Vorbereitung und Durchführung der Feldarbeit inklusive Datenlieferung. Abschlussbericht. Umweltbundesamt
- [13] Dreger, S., Schüle, S. A., Hilz, L. K., Bolte, G. (2019). Social Inequalities in Environmental Noise Exposure: A Review of Evidence in the WHO European Region. International journal of environmental research and public health, 16. <https://doi.org/10.3390/ijerph16061011>
- [14] Elarbed, A., Fackrell, K., Baguley, D. M., Hoare, D. J. (2021). Tinnitus and stress in adults: a scoping review. International journal of audiology, 60, 171182. <https://doi.org/10.1080/14992027.2020.1827306>

- [15] Gianicolo, E., Eichler, M., Muensterer, O. et al. (2020). Methods for evaluating causality in observational studies—part 27 of a series on evaluation of scientific publications Dtsch Arztebl Int:101–107 doi: <https://www.aerzteblatt.de/archiv/inhalt?heftid=6465>
- [16] Gruber, D. & Schuurmans, M. M. (2018). Biomarker für Rauchen-Welche Cut-off-Werte sind anwendbar? Praxis, (16618157), 107. <https://doi.org/10.1024/1661-8157/a003026>
- [17] Klatte, M., Spilski, J., Mayerl, J. et al. (2016). Effects of Aircraft Noise on Reading and Quality of Life in Primary School Children in Germany: Results From the NORAH Study. Environment and Behavior, 49, 390424. <https://doi.org/10.1177/0013916516642580>
- [18] Li, A., Martino, E., Mansour, A. et al. (2022). Environmental Noise Exposure and Mental Health: Evidence From a Population-Based Longitudinal Study. American Journal of Preventive Medicine. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2022.02.020>
- [19] Pavilonis, B., Roelofs, C., Blair, C. (2018). Assessing indoor air quality in New York City nail salons. J Occup Environ Hyg, 15, 422429. <https://doi.org/10.1080/15459624.2018.1447117>
- [20] Quach, T., Gunier, R., Tran, A. et al. (2011). Characterizing workplace exposures in Vietnamese women working in California nail salons. Am J Public Health, 101, Suppl 1, S271276. <https://doi.org/10.2105%2FAJPH.2010.300099>
- [21] Stansfeld, S. A., Berglund, B., Clark, C. et al. (2005). Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study. Lancet (London, England), 365, 19421949. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(05\)66660-3](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(05)66660-3)
- [22] UBA – Umweltbundesamt. (2023). Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit, GerES V (2014–2017) Abgerufen am 30. Juli 2024 von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/belastung-des-menschen-ermitteln/umwelt-survey/5-umwelt-survey-von-2013-bis-2016#undefined>
- [23] UBA – Umweltbundesamt. (2016). Flüchtige organische Verbindungen. Abgerufen am 10. Februar 2022 von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/umwelteinfluesse-auf-den-menschen/chemische-stoffe/fluechtige-organische-verbindungen#fluchtige-organische-verbindungen-voc->
- [24] Zhao, J., Birmili, W., Hussein, T. et al. (2021). Particle number emission rates of aerosol sources in 40 German households and their contributions to ultrafine and fine particle exposure Indoor Air, 31, 818831. <https://doi.org/10.1111/ina.12773>