

Lärmwirkungen und ihre Beurteilung am Arbeitsplatz

Florian Schelle, Martin Liedtke

Lärm ist eine der häufigsten Belastungen und Gefährdungen an Arbeitsplätzen. Dank umfangreicher Forschung ist die lärmbedingte Hörschwellenverschiebung heutzutage gut verstanden und in der staatlichen und normativen Regelsetzung ausführlich berücksichtigt. Zahlreiche Präventions- und Lärminderungsmaßnahmen wurden entwickelt und eine breite Produktpalette an wirksamer, zertifizierter Schutzausrüstung steht zur Verfügung – trotzdem bleibt die „Lärmschwerhörigkeit“ eine der am häufigsten anerkannten Berufskrankheiten. Außerdem stellt sie nur einen Teilaspekt der vielfältigen Lärmwirkungen dar, denen Beschäftigte während der Arbeit ausgesetzt sein können. Ist Lärm am Arbeitsplatz noch immer ein Thema für die Forschung?

Die Berufskrankheit „Lärmschwerhörigkeit“

Unter der „Lärmschwerhörigkeit“ wird eine durch beruflich bedingte Lärmexposition hervorgerufene, permanente Hörschwellenverschiebung bezeichnet. Im Jahr 2022 verzeichnete die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung 15 449 Verdachtsanzeigen auf eine beruflich bedingte Lärmschwerhörigkeit. In 6 637 Fällen erfolgte eine Anerkennung [1]. Mit Ausnahme der in Folge der Corona-Pandemie rasant angestiegenen Fälle berufsbedingter Infektionskrankheiten stellt die Lärmschwerhörigkeit damit noch immer die häufigste anerkannte Berufskrankheit in Deutschland dar. Seit 1996 ist die Zahl der Verdachtsanzeigen und Anerkennungen relativ konstant (siehe Abbildung 1 auf der folgenden Seite). Das durchschnittliche Alter der Beschäftigten, die eine Verdachtsanzeige stellen, liegt bei etwa 55–60 Jahren, der geburtenstärkste Jahrgang war 1964. Seitdem nahm die Geburtenrate bis zu ihrem Tiefpunkt im Jahr 2011 ab. Aufgrund dieser demografischen Entwicklung ist zu erwarten, dass die Zahl der Berufskrankheitsfälle in naher Zukunft abnehmen wird. Den größten Anteil der anerkannten Lärmschwerhörigkeiten machen „beginnende“ bis „geringgradige“ Schwerhörigkeiten aus. Erst ab einem beidseitigen Hörverlust von 40 % wird die Schwerhörigkeit nach Königsteiner Empfehlung [2] als „gering- bis mittelgradig“ eingestuft. In der Statistik der DGUV sind diese Fälle unter den „Renten“ zu finden. Allerdings enthält diese Kategorie auch sog. „Stützrenten“, bei denen zwar ein geringerer Schwerhörigkeitsgrad vorliegt, aber gleichzeitig auch eine

Effects and rating of noise at workplaces

Noise is a major strain and health hazard at workplaces. Due to extensive research, the noise-induced hearing threshold shift nowadays is well understood and respected in both regulation and standardization. Numerous prevention and noise abatement measures have been developed and a wide range of effective, certificated protection equipment is available – yet still the noise induced hearing loss remains one of the most frequently recognised occupational diseases. Beyond that there is a multitude of other noise effects that employees at work can be exposed to. Is noise at workplaces still a research topic?

zusätzliche andere Berufskrankheit. Eine genaue Aussage über den Schweregrad der anerkannten Lärmschwerhörigkeitsfälle lässt sich somit nicht treffen. Es ist aber erkennbar, dass in Relation zur Gesamtzahl der jährlichen Anerkennungen nur sehr wenige neue Rentenfälle vorliegen (siehe Abbildung 2 auf der folgenden Seite): Im Jahr 2022 war dies beispielsweise in 254 Fällen gegeben. Zum Vergleich: Mitte der 90er Jahre lag die Zahl der neuen Rentenfälle noch bei etwa 1 200 pro Jahr [3]. Dass die Zahl der neuen Rentenfälle seither abnimmt, wird als Erfolg der Prävention gedeutet – auch wenn der technologische Fortschritt eine zusätzliche Rolle spielt, in dessen Folge einerseits die Anzahl der sehr hoch exponierten Arbeitsplätze und andererseits die Geräuschemission der vom Menschen bedienten Arbeitsmittel und -maschinen in einigen Branchen abnimmt. Nach Schätzungen der DGUV arbeiten etwa 3–4 Millionen Beschäftigte in Deutschland in Lärmbereichen, d. h. in Bereichen, an denen während einer Arbeitsschicht der obere Auslösewert nach Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [4] in Höhe von $L_{EX,8h} = 85$ dB erreicht oder überschritten werden kann. Damit lässt sich zumindest abschätzen, dass bei näherungsweise 7 000 Anerkennungen pro Jahr ca. 0,2 % der lärmexponiert Beschäftigten im Laufe ihres Erwerbslebens eine berufliche Lärmschwerhörigkeit erleiden. Auch wenn es sich dabei in den allermeisten Fällen um eine geringe Minderung der Erwerbsfähigkeit handelt, steckt hinter jedem Einzelfall eine irreversible Schädigung des Innenohrs, die für die Betroffenen eine dauerhafte Beeinträchtigung in allen Lebenssituationen bedeu-

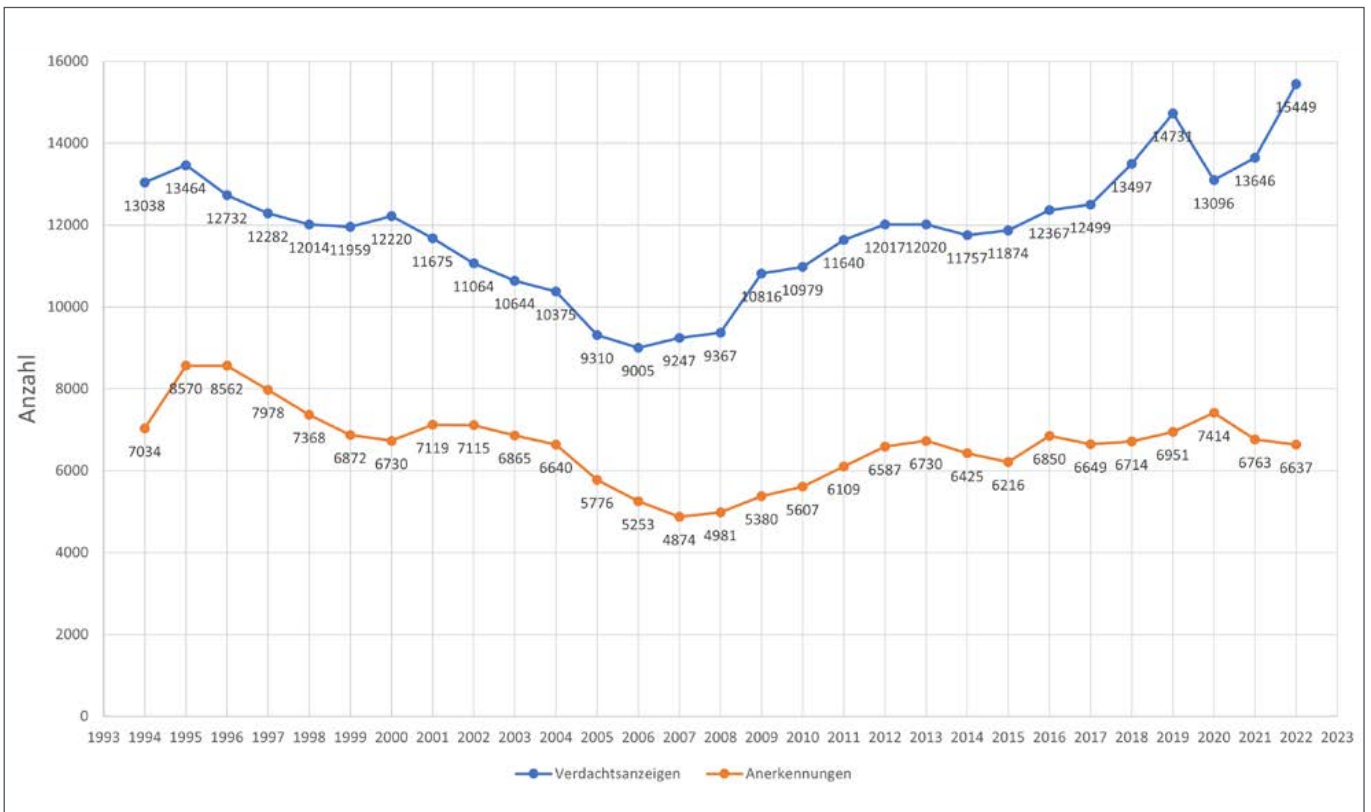


Abb. 1: Anzahl der Verdachtsanzeigen und Anerkennungen der Berufskrankheit 2301 „Lärmschwerhörigkeit“ im Zeitraum 1994–2022.

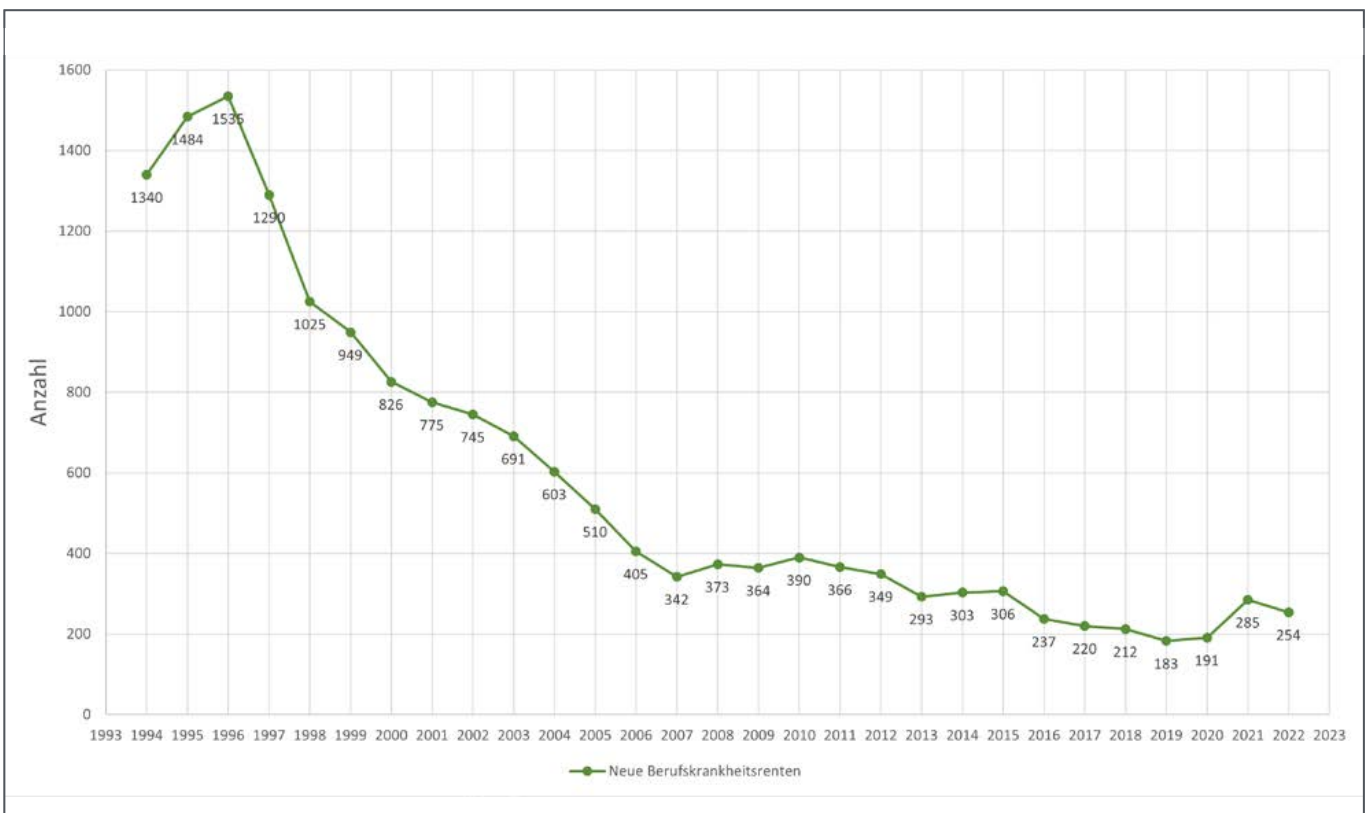


Abb. 2: Anzahl der jährlich neu hinzugekommenen Renten in der Berufskrankheit 2301 „Lärmschwerhörigkeit“.

tet. Umso wichtiger war die Einführung wirksamer Präventionsmaßnahmen, zunächst mit der Unfallverhütungsvorschrift „Lärm“ im Jahre 1974 [5] sowie der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [4] im Jahre 2007. Ein wichtiger Aspekt sowohl in der Erarbeitung wirksamer Schutzmaßnahmen, aber auch in der Kompensation von Berufskrankheiten, ist einerseits das gesicherte Verständnis der zugrundeliegenden Kausalität, andererseits das Vorhandensein eines anerkannten Dosis-Wirkungs-Modells. Im Folgenden wird daher zunächst die Erforschung der lärmbedingten Hörschwellenverschiebung und Entstehung der ISO 1999 [6] beschrieben, aus der sich die aktuell gültigen Beurteilungskriterien für den gehörgefährdenden Lärm am Arbeitsplatz ableiten.

Hörschwellenverschiebung

Es ist Bernardo Ramazzinis Verdienst, die Kausalität von Lärm und Hörverlust bei den Kupferschmiedern in Venedig erkannt und auf anschauliche Weise in seiner systematischen Abhandlung „Die Krankheiten der Handwerker“ [7] im Jahre 1700 beschrieben zu haben.

Einen brauchbaren Ansatz für die Beantwortung der Frage, wie Lärm hinsichtlich seiner gehörschädigenden Wirkung charakterisiert werden könnte, lieferte Eldred 1955 [8]: Er postulierte, dass der gleiche Betrag der auf das Ohr treffenden Schallenergie auch jeweils den gleichen Betrag an Hörverlust bewirkt. Diesem Ansatz folgend gewann in diesem Zusammenhang der äquivalente Dauerschalldruckpegel L_{eq} an Bedeutung. Die A-Frequenzbewertung hatte bei ihrer Entwicklung und Einführung zwar nicht das primäre Ziel, die gehörschädigende Wirkung des Lärms zu beschreiben, hat sich aber dennoch und trotz begründeter Kritik [9] dafür etabliert.

Das Ergebnis eines 1981 durchgeführten internationalen Impulslärm-Kolloquiums [10] schließlich stellte einen bis heute gültigen Stand der Erkenntnisse dar: Es gibt einen beachtlichen Bestand an experimentellen Belegen für das Energieäquivalenzprinzip in Bezug auch auf fluktuierenden Lärm (aber frei von Impulsen mit $L_{peak} > 145$ dB) für Expositionsdauern bis zu einigen Stunden. Auf dieser Grundlage wurde in der Praxis daher die Gültigkeit des Energieäquivalenzprinzips für eine Arbeitsschicht (acht Stunden) angenommen und der Tages-Lärmexpositionspegel $L_{EX,sh}$ konnte durch die ISO 1999 [6] international definiert werden. In Deutschland wurde diese Messgröße (mit teilweise geringer Modifikation als „Beurteilungspegel“) zur Verhütung von Gehörschäden durch Lärm schon in der Unfallverhütungsvorschrift (UVV) Lärm 1974 verwendet. 1990 wurde diese UVV zwecks Umsetzung der Europäischen Lärm-Richtlinie 86/188/EWG überarbeitet. Die Europäi-

sche Lärm-Richtlinie von 2003 (Richtlinie 2003/10/EG) machte die Verwendung des $L_{EX,sh}$ mit Verweis auf die ISO 1999:1990 verbindlich. Diese Europäische Richtlinie wurde in Deutschland mit der heute gültigen Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung im Jahr 2007 umgesetzt.

Aufgrund physiologischer Überlegungen [11], aber auch tierexperimenteller Befunde, war davon auszugehen, dass das Energieäquivalenzprinzip nicht ohne Weiteres auf Zeiträume von z. B. mehreren Jahren übertragbar sein dürfte. Tatsächlich weist die ISO 1999 für das 5%-Perzentil einer männlichen, 40 Jahre alten Population für eine Lärmexposition von $L_{EX,sh} = 85$ dB über 20 Jahre eine permanente Hörschwellenverschiebung (PTS: permanent threshold shift) bei 4 kHz von 33,7 dB aus. Für eine energieäquivalente Exposition von $L_{EX,sh} = 93$ dB über 3 Jahre und 2 Monate für dieselbe Population ergibt sich aber eine PTS bei 4 kHz von 38,5 dB. Die Differenz der PTS zur PTS der gleichen, nicht lärmexponierten Population beträgt im ersten Fall 6,6 dB und im zweiten Fall 11,4 dB.

Um unter Berücksichtigung der beschriebenen Erkenntnisse auch die schädigende Wirkung langfristiger Lärmeinwirkungen beurteilen zu können, die im $L_{EX,sh}$ und in der Dauer über Monate/Jahre wechseln, wurde die Effektive Lärmdosis nach Liedtke (ELD) auf Basis des in der ISO 1999 beschriebenen Lärmdosis-Wirkungsmodells entwickelt [12, 13]. Die ISO 1999 stützt sich auf mehrere kausalanalytisch qualitätsgesicherte, arbeitsmedizinisch-epidemiologische Studien mit quantitativ belastbaren Dosis-Häufigkeits-Beziehungen auf der Ursachenseite. Die ELD ist unabhängig vom Alter, vom Geschlecht und vom Perzentil (für Perzentile < 50) und nutzt NIPTS-Äquivalenzen (ISO 1999: NIPTS: Noise induced permanent threshold shift). Obwohl die Hörschwellenverschiebungen, und zwar sowohl die altersbegleitenden als auch die lärmbedingten, nach ISO 1999 eine große Streuung aufweisen, gelingt es mit der Effektiven Lärmdosis nach Liedtke dadurch, dass sie nur Relationen (Äquivalenzbeziehungen) nutzt und nicht absolute Werte der Hörschwellenverschiebung verwendet, Schwellenkurven gleicher Schädigung einheitlich zu beschreiben. Im Rahmen der Begutachtung der Lärmschwerhörigkeit wird durch die Berechnung der ELD die Lärmexposition für das gesamte Arbeitsleben durch die Anzahl der Lärmjahre bezogen auf einen einheitlichen Wert von $L_{EX,sh} = 90$ dB angegeben [2] (siehe Abbildung 3 auf der folgenden Seite).

Schallereignisse mit unmittelbarer Gehörgefährdung

Während sich die Lärmschwerhörigkeit erst im Laufe eines Erwerbslebens entwickelt, können Einzelereignisse das Gehör auch unmittelbar schädigen. Solche

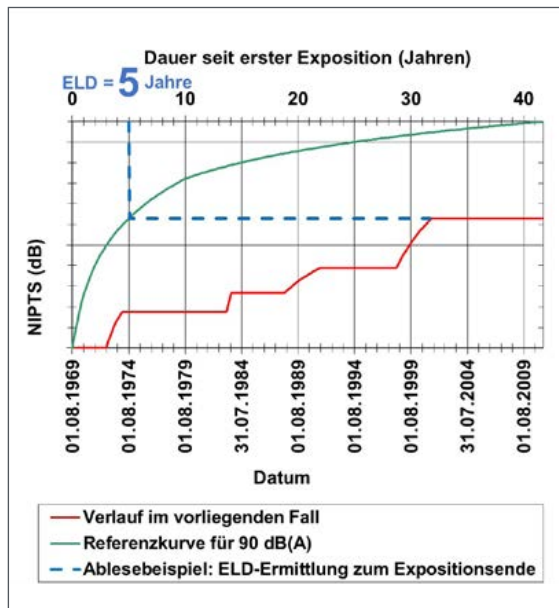


Abb. 3: Anwendungsbeispiel zur Berechnung der Effektiven Lärmdosis (ELD). Die auf ISO 1999 basierenden, expositionsabhängigen Verläufe der Hörschwellenverschiebung werden den jeweiligen Expositionsabschnitten zugeordnet und anschließend auf eine Referenzkurve bezogen, die einer äquivalenten NIPTS bei hypothetischer, gleichbleibender Exposition von 90 dB entspricht. Das Ergebnis der Effektiven Lärmdosis wird in „Lärmjahren“ angegeben. Eine Beschäftigungszeit von einem Jahr bei einer Lärmexposition von $L_{Ex,sh} = 90$ dB entspricht einer Effektiven Lärmdosis von einem Lärmjahr. Im Beispiel in der obigen Abbildung ergibt sich nach Berücksichtigung aller Expositionsabschnitte eine ELD von 5 Lärmjahren.

Ereignisse können in unterschiedlichsten Berufsbildern vorkommen. Beispiele hierfür sind Explosionen aller Art, platzende LKW-Reifen oder berstende Druckluftleitungen, aber natürlich auch Waffenknalle. Bei Vorliegen der arbeitstechnischen Voraussetzungen sowie entsprechendem fachärztlichem Befund werden solche Ereignisse als Arbeitsunfall anerkannt und kompensiert. Maßgeblich für die Art der möglichen Schädigung ist dabei der Verlauf des Impulses des Schalleignisses. So unterscheidet bspw. die VDI-Richtlinie 2058 Blatt 2 [14] zwischen „Explosions-trauma“ bei einer Druckwelle von mehr als 3 ms Dauer, und „Knalltrauma“ bei einer Druckwelle von 1–3 ms Dauer. Beide Fälle sind durch Spitzenschalldruckpegel von mindestens $L_{C,peak} = 150$ dB gekennzeichnet. Das medizinische Schadensbild unterscheidet sich aber insoweit, dass bei einem Knalltrauma das Trommelfell intakt bleibt, während ein Explosionstrauma immer mit einer Trommelfell- und ggf. Mittelohrschädigung verbunden ist, wobei das Innenohr zusätzlich betroffen sein kann [14, 15]. Da der Peak-Pegel keine Angabe über die Dauer des Ereignisses macht, wird zur Beurteilung der A- und Impuls-bewertete Maxi-

malpegel $L_{Al,max}$ herangezogen. Ab einem Pegel von $L_{Al,max} = 120$ dB und mehrminütiger Einwirkzeit ist eine irreversible Schädigung nicht auszuschließen, während höhere Pegel ab $L_{Al,max} = 135$ dB auch unmittelbar (für Einzelereignisse) bleibende Schädigungen des Gehörs hervorrufen können [14]. Bei der Messung von Knallereignissen korrelieren die Kenngrößen $L_{C,peak}$, $L_{Al,max}$ und der unter anderem in der Schweiz zur Beurteilung verwendete Einzelereignispegel L_{AE} (bzw. SEL, „Single Event Level“) [16, 17, 18]. In Anbetracht der leichten regulativen Inkonsistenz könnte perspektivisch ein Wechsel zu einer Beurteilung anhand des L_{AE} sinnvoll erscheinen. Eine weitere Alternative könnte auch der seit langem bekannte „Auditory Hazard Assessment Algorithm for Humans“ („AHAH“) sein [19], der sich jedoch bislang in Europa nicht durchsetzen konnte. Der hinsichtlich Impulslärm weit verbreitete $L_{C,peak}$ kann ausschließlich dem Zweck der Prävention dienen. Die Auslösewerte nach Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung liegen mit 135 dB bzw. 137 dB [4] deutlich unterhalb der akuten Gehörgefährdung durch Einzelereignisse, die erst ab einem $L_{C,peak}$ von ungefähr 150 bis 160 dB zu erwarten sind.

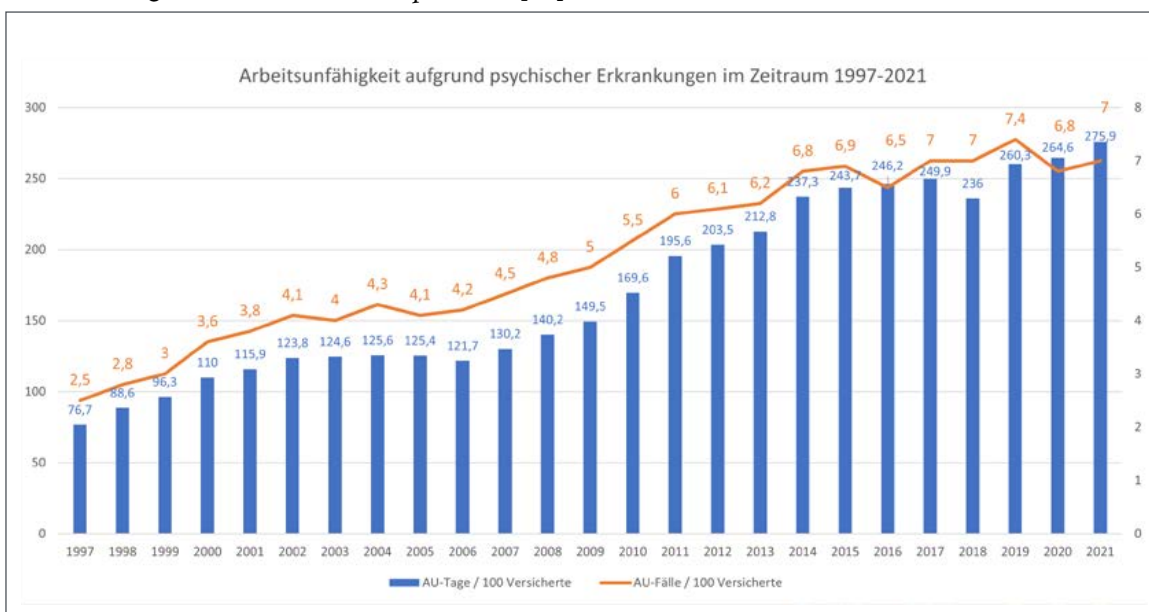
Extra-aurale Lärmwirkungen

Die mittel- und unmittelbaren lärmbedingten Gehörgefährdungen sind intensiv erforscht und reguliert. Zahlreiche Arbeitsschutz- und Präventionsmaßnahmen wurden und werden fortlaufend erarbeitet und das berufsbedingte Krankheitsbild der Lärmschwerhörigkeit im Schadensfall sozialversicherungsrechtlich kompensiert. Jedoch lässt sich die Wirkung von Lärm am Arbeitsplatz keinesfalls auf die unterschiedlichen Arten der Gehörgefährdung reduzieren. Eine Vielzahl weiterer, nicht das Gehör betreffender Wirkungen ist in der Literatur dokumentiert und nach wie vor Gegenstand aktueller Untersuchungen und Forschungsprojekte. Als mögliche Wirkungen werden insbesondere Beeinträchtigungen der Leistung, Zufriedenheit und Motivation von Beschäftigten genannt, aber auch Auswirkungen auf das Herz-Kreislauf-System sowie das Muskel-Skelett-System [20, 21]. Die Erforschung extra-auraler Lärmwirkungen ist populär: Alleine die Betrachtung der aktuellen Entwicklungen in der speziellen Fragestellung, wie sich Lärm auf die kognitive Leistungsfähigkeit auswirkt, ergab im entsprechenden ICBen-Review 2021 eine Anzahl von 78 relevanten Reports im Zeitraum 2017–2021 [22]. Die Nutzbarkeit von Reviews und Übersichtsarbeiten zur Ableitung von konkreten Beurteilungskriterien wird durch den Umstand erschwert, dass die einzelnen Studien sich in ihren Details grundlegend unterscheiden können und daher ihre Ergebnisse nicht immer übertragbar oder überhaupt vergleichbar sind [20]. Eine

gesicherte Kausalität vergleichbar dem Beispiel der lärmbedingten Gehörgefährdung liegt für die Vielzahl extra-auraler Wirkungen von Lärm bislang nicht vor, eine oder mehrere Dosis-Wirkungsbeziehungen konnten noch nicht abgeleitet werden. Entsprechend findet sich in der Regulierung im Falle der LärmVibrationsArbSchV [4] samt zugehörigen Technischen Regeln [23] lediglich ein Hinweis, dass extra-aurale Wirkungen zu berücksichtigen sind. In der Arbeitsstättenverordnung [24] existiert bis heute lediglich die Vorgabe, dass der Schalldruckpegel am Arbeitsplatz so gering zu halten sei, wie dies nach Art des Betriebes möglich ist. Erst im Mai 2018 wurde diese Verordnung durch Veröffentlichung der Arbeitsstättenregel ASR A3.7 [25] konkretisiert. Konsequenterweise behält die ASR A3.7 den Bezug zum Schalldruckpegel bei und definiert, wohl auch aus Mangel an Alternativen, den aus DIN 45645-2 stammenden Beurteilungspegel L_f zum verbindlichen Kennwert, der neben dem äquivalenten Dauerschallpegel L_{Aeq} noch Zuschläge für Impuls- und Tonhaltigkeit enthält. Abhängig von der Art der ausgeübten Tätigkeit und den damit verbundenen Anforderungen an Sprachverständlichkeit oder Konzentrationsfähigkeit definiert die ASR A3.7 drei Kategorien mit den jeweiligen Grenzwerten 55 dB (Tätigkeitskategorie I), 70 dB (Tätigkeitskategorie II) und „so gering wie möglich“ (Tätigkeitskategorie III). An der Eignung des Beurteilungspegels als Prädiktor für extra-aurale Lärmwirkungen bestehen in einigen Fällen, wie beispielsweise die Beeinträchtigung der Leistung, begründete Zweifel. In Ergänzung zur Bestimmung der tätigkeitsbezogenen Pegelwerte kann eine zuverlässige Beurteilung der psychischen Belastung beispielsweise durch den Einsatz validierter

Fragebögen erfolgen, die auf die unterschiedlichen, lärmspezifischen Belastungsfaktoren des betrachteten Arbeitsplatzes angepasst wurden [26]. Vor dem Hintergrund, dass es sich bei der ASR A3.7 um ein staatliches Regelwerk handelt, welches im Konsens unterschiedlicher Interessensgruppen erarbeitet und verabschiedet wurde, und sich am Ende auf einen normativ geregelten und langjährig angewendeten Beurteilungsparameter stützt, ohne dabei die Inhalte der Arbeitsstättenverordnung konterkarieren zu dürfen, scheint die Erwartungshaltung gegenüber diesem Regelwerk sehr hoch. Dem Anspruch einer umfassenden, differenzierten, adäquaten und praktikablen Beurteilung extra-auraler Lärmwirkungen oder gar einer effektiven Reduzierung der psychischen Belastung am Arbeitsplatz kann die ASR A3.7 unmöglich gerecht werden. Derartige ist bislang weder auf wissenschaftlicher noch normativer Ebene vorhanden und konnte entsprechend auch nicht in die Erarbeitung des staatlichen Regelwerks eingebracht werden. Insgesamt erscheint es für die Berücksichtigung, Reduzierung und Prävention extra-auraler Wirkungen von Lärm am Arbeitsplatz ratsam, Beschäftigte wie Arbeitgeberinnen und Arbeitgeber noch stärker für das Thema zu sensibilisieren. Auch wenn die ASR A3.7 hierfür alleine nicht ausreichend ist, bewirkt sie in vielen Fällen zumindest eine Auseinandersetzung mit der akustischen Gestaltung von Arbeitsstätten, die ohne eine verbindliche Regulierung zumindest nicht in vergleichbarer Tiefe stattfinden würde. Die Zahl der Fehltag durch psychische Erkrankungen hat sich im Zeitraum 1991 bis 2021 mehr als verdreifacht, die Anzahl der zugehörigen Arbeitsunfähigkeits-Fälle ist von 2,5 % auf 7,1 % gestiegen [27] (siehe Abbildung 4). Stressbedingte

Abb. 4: Entwicklung der durch psychische Erkrankungen bedingten Arbeitsunfähigkeit in Deutschland in den Jahren 1997–2021. Quelle: DAK-Gesundheitsreport 2022 [27]



Erkrankungen sind ein gesamtgesellschaftliches Problem, zu dem neben vielen weiteren Einflussfaktoren auch Lärm am Arbeitsplatz beiträgt.

Weitere physiologische Wirkungen und offene Fragestellungen

Tieffrequenter Schall und Infrashall

Nach der Definition aus DIN 1320 [28] handelt es sich bei Lärm ausschließlich um Hörschall. Jedoch kann es an Arbeitsplätzen auch zur Exposition durch Infrashall kommen, dessen prinzipielle Wahrnehmbarkeit bis hinab zu 1 Hz untersucht wurde [29, 30]. Eine Gehörgefährdung erscheint unwahrscheinlich, Betroffene beklagen jedoch vielfältige Wirkungen wie z. B. Ohrendruck, Unwohlsein oder Angstzustände [31, 32]. In den staatlichen Regelwerken wird zur Messung und Beurteilung auf DIN 45680 [33] verwiesen, die das Thema umfassend behandelt.

Hochfrequenter Hörschall und luftgeleiteter Ultraschall

Auch die Wirkung und Messung von Ultraschall ist in den letzten Jahren wieder vermehrt in den Fokus der Forschung geraten. Dank unbestreitbarer Vorteile für eine Vielzahl industrieller Anwendungen sind ultraschallbasierte Arbeitsmittel und Maschinen heutzutage von vielen Arbeitsplätzen nicht mehr wegzudenken. Neben den bekannteren Wirkungen wie Unwohlsein, Schwindelgefühle oder Übelkeit existieren in mehreren Reviews auch Hinweise auf aurale Wirkungen, die sich beispielsweise in Form einer Senke im Audiogramm zeigen, die mit Subharmonischen der Arbeitsfrequenzen von Ultraschallmaschinen übereinstimmt, die von den Betroffenen bei der Arbeit eingesetzt werden (ein Überblick findet sich bspw. in [34]). Als wesentliches Regelwerk zur Messung und Beurteilung von Ultraschall galt lange Zeit die Richtlinie VDI 3766 [35], die jedoch aufgrund ihres Alters nicht mehr dem aktuellen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis hinsichtlich Messtechnik und Messverfahren entspricht [36–45]. Richtwerte für den AU-bewerteten (Kombination der Frequenzbewertungen A und U nach DIN EN 61672-1 und DIN EN 61012, siehe auch [35]) Tages-Lärmexpositionspegel sowie den Z-bewerteten Spitzenschalldruckpegel finden sich ebenfalls in VDI 2058 Blatt 2 [46], die darüber hinaus als zusätzliche Schutzmaßnahme die Einhaltung von Richtwerten für maximale 5-Minuten-Terzband-Pegel empfiehlt. Im Terzband mit der Mittenfrequenz 16 kHz sollten $L_{Zeq, Terz, 5min} = 90$ dB nicht überschritten werden, in den übrigen Terzbändern bis hin zur Mittenfrequenz 40 kHz werden $L_{Zeq, Terz, 5min} = 110$ dB als einzuhaltender Höchstwert empfohlen.

Kombinationswirkung mit ototoxischen Arbeitsstoffen

Hinsichtlich der Gehörgefährdung stellt auch die Kombinationswirkung von Lärm und ototoxischen Substanzen ein bislang ungelöstes Problem dar. Prinzipiell können diese Stoffe auch ohne Lärmeinwirkung das Hörvermögen beeinträchtigen. Erst kürzlich wurden neue Medikamente identifiziert, die selbst ohne zusätzliche Lärmexposition zu einem beidseitigen Hörverlust bei den Patienten führten [47]. Da von einer Kombinationswirkung ototoxischer Substanzen und Lärm ausgegangen wird, ist die Ototoxizität auch Gegenstand der EU-Richtlinie „Lärm“. Entsprechend findet sich auch in der TRLV „Lärm“ [23] die Vorgabe, dass mögliche Wechsel- oder Kombinationswirkungen mit ototoxischen Substanzen in der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen sind. Mit Verweis auf das Ausbleiben gesicherter Erkenntnisse zu Dosis-Wirkungs-Beziehungen für an Arbeitsplätzen relevante Konzentrationsbereiche existiert aber keine weitere Vorgabe, wie genau diese Kombinationswirkung zu berücksichtigen wäre oder wie in solchen Fällen die maximal zulässigen Lärmexpositionswerte anzusetzen seien. Auch das Positionspapier „Ototoxische Arbeitsstoffe“ des Arbeitskreises „Lärm“ im Ausschuss Arbeitsmedizin der Gesetzlichen Unfallversicherungsträger [48] kann aus demselben Grund lediglich zusätzliche „expositionsmindernde Maßnahmen“ empfehlen.

Hypertonie

Bereits seit den 40er Jahren wird der Zusammenhang zwischen Lärmeinwirkung und Bluthochdruck untersucht, inzwischen existieren mehrere tausend Veröffentlichungen zum Thema. Ein einheitliches Bild scheint sich bislang nicht zu ergeben, was unter anderem darauf zurückzuführen ist, dass die teilweise sehr unterschiedlichen Studiensettings nur schwierig bis gar nicht übertragbar sind. Es gibt eine sehr große Anzahl weiterer Risikofaktoren für die Entstehung von Bluthochdruck, die vollständig erfasst und entweder im Studiendesign ausgeschlossen oder bei der Auswertung besonders berücksichtigt werden müssten. Die Expositionsermittlung ist insbesondere in der medizinischen Fachliteratur häufig unzureichend beschrieben oder erfolgt nicht nach der auch in Deutschland angewendeten ISO 9612 [49]. Ein Versuch zur Ableitung eines Dosis-Wirkungs-Modells erfolgte jüngst in einem umfangreichen Review der TU Dresden [50]. Im Rahmen einer Meta-Analyse von über 4 000 Veröffentlichungen wurden 4 Studien identifiziert, auf deren Basis ein Risikomaß für die Entstehung einer lärmbedingten arteriellen Hypertonie vorgeschlagen wurde. Allerdings liegt dem mathematischen Modell eine geringe Anzahl

an Datensätzen zugrunde und es wurde bislang nicht durch weitere Arbeitsgruppen überprüft. Fast zeitgleich zur oben genannten Publikation von Bolm-Audorff et. al. wurde ein ähnliches Review von einer Joint Working Group aus WHO und ILO publiziert [51]. Die Autoren kamen zu der Bewertung, dass die Evidenz für einen lärmbedingten Einfluss auf Hypertonie-Prävalenz, -Inzidenz und -Mortalität unzureichend ist. Auffällig ist, dass trotz der Vielzahl der in den letzten knapp 70 Jahren veröffentlichten Studien der genaue Wirkungsmechanismus nach wie vor ungeklärt ist. Zwei Publikationen postulieren folgende Wirkungskette: durch die Lärmeinwirkung kommt es zur vermehrten Produktion von Stresshormonen, die wiederum einen Anstieg des Blutdrucks verursachen [52, 53]. In diesem Szenario würde die Aufstellung einer Dosis-Wirkungsbeziehung unter anderem dadurch erschwert, dass die weiteren möglichen Ursachen für die Bildung von Stresshormonen betrachtet und entweder zuverlässig quantifiziert oder ausgeschlossen werden müssten. Derartige Studien scheinen bislang nicht zu existieren. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es in der Literatur seit vielen Jahren Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen Lärmexposition und Bluthochdruck gibt. Auf wissenschaftlicher Ebene besteht dennoch bis heute kein Konsens.

Grenzwerte für Schwangere

Nach §11 (3) des Mutterschutzgesetzes [54] hat der Arbeitgeber unter anderem dafür Sorge zu tragen, dass die physikalischen Einwirkungen am Arbeitsplatz keine unverantwortbare Gefährdung für die schwangere Frau oder ihr Kind darstellen. Die TRLV Lärm [23] ordnet Schwangere der Gruppe der „besonders gefährdeten Personen“ zu, für die im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung die besonderen Forderungen des Mutterschutzgesetzes zu beachten sind. In der ASR A3.7 werden schwangere Personen nicht explizit aufgeführt. Eine konkrete Vorgabe zur Umsetzung findet sich lediglich in der DGUV-Grenzwertliste [55]: In einer Übereinkunft der staatlichen Gewerbeärzte wurde ein Beurteilungspegel von $L_f = 80$ dB als Grenzwert für den Zeitraum der Schwangerschaft festgelegt. Jedoch handelt es sich hierbei noch um einen „Beurteilungspegel“ nach UVV Lärm, der seit Einführung der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung im Jahre 2007 dem unterem Auslösewert des Tages-Lärmexpositionspegels von $L_{EX,sh} = 80$ dB entspricht. Eine umfangreiche Studie aus dem Jahre 2016 deutet darauf hin, dass eine Lärmexposition während der Schwangerschaft von mehr als $L_{EX,sh} = 85$ dB mit einer höheren Rate angebotener Hörschäden bei den Neugeborenen verbunden sein könnte [56]. Auch dies spricht dafür, dass ein Grenzwert von $L_{EX,sh} = 80$ dB

eine wirksame Hörschadensprävention für Mutter und Kind darstellt.

Fazit

Lärm war und ist eine der häufigsten Gesundheitsgefahren am Arbeitsplatz, und das nicht nur aufgrund der Gehörgefährdung. Diese ist sowohl für lange Expositionen bis hin zur Beurteilung über ein vollständiges Erwerbsleben als auch für kurzzeitige Ereignisse, die eine unmittelbare Gefährdung darstellen, gut erforscht, beschrieben und reguliert. Eine zentrale Rolle nimmt dabei die ISO 1999:2013 ein. Sie ist bis heute die einzige international veröffentlichte Norm, die ein belastbares und statistisch fundiertes Dosis-Wirkungs-Modell für Lärmexpositionen enthält. Etwas Vergleichbares wäre auch in Bezug auf die zahlreichen weiteren Lärmwirkungen am Arbeitsplatz wünschenswert. Die meisten Effekte sind in der Literatur gut beschrieben, oft mangelt es aber an einer nachgewiesenen Kausalität. Vielleicht ist dieser Nachweis teilweise auch gar nicht möglich und in manchen Fällen auch nicht notwendig. Dies erschwert aber die Ableitung wirksamer Schutzmaßnahmen und Kompensationsmodelle für arbeitsbedingte, gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Lärm. Insbesondere die medizinische Forschung könnte bedeutende Wissenslücken schließen, beispielsweise hinsichtlich des möglichen Zusammenhangs zwischen Lärmeinwirkung und Hypertonierisiko. Idealerweise sollten die unterschiedlichen Disziplinen hierbei ineinandergreifen, damit nicht nur die medizinische Wirkungskette, sondern auch die physikalische Einwirkung möglichst präzise erfasst und falls möglich Dosis-Wirkungs-Beziehungen modelliert werden können. Es war die Absicht dieses Artikels, einen kompakten Überblick über die historische Entwicklung und den aktuellen Kenntnisstand zu Lärmwirkungen und ihrer Beurteilung am Arbeitsplatz zu bieten. Dadurch konnten die aufgegriffenen Themen nicht in der gebotenen Tiefe betrachtet werden. Andere, ebenfalls wichtige Diskussionen und Entwicklungen, wie beispielsweise die Berücksichtigung von impulshaltigem Lärm mittels Betrachtung der Kurtosis, wurden gar nicht behandelt. Neben der Aufarbeitung historischer Erkenntnisse war es aber auch die Absicht dieses Artikels, gewohnte Perspektiven zu hinterfragen und Diskussionen anzuregen. In der Hoffnung, dass weiterhin große Fortschritte in diesem Randgebiet der Akustik erzielt werden, das täglich für einen Großteil unserer Bevölkerung von Bedeutung ist. Auch wenn die älteste Literaturstelle in diesem Artikel bereits über 300 Jahre alt ist, existieren noch heute offene und wichtige Fragestellungen, während fortlaufend neue hinzukommen.

Literatur

- [1] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.: DGUV-Statistiken für die Praxis 2022. 2023.
- [2] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung: Empfehlung für die Begutachtung der Lärmschwerhörigkeit (BK-Nr. 2301) – Königsteiner Empfehlung. 2020.
- [3] Hoffmann, H.; von Lüpke, A.; Maue, J.: 0 Dezibel + 0 Dezibel = 3 Dezibel. 8. Auflage, Erich Schmidt Verlag, 2003.
- [4] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung – LärmVibrationsArbSchV) vom 6. März 2007, BGBl. I, S.261.
- [5] Unfallverhütungsvorschrift (UVV) „Lärm“ vom Dezember 1974. BG-Vorschrift BGV B3, Carl Heymanns Verlag, Köln – zurückgezogen.
- [6] ISO 1999: Acoustics – Estimation of noise-induced hearing loss. Third Edition. International Organisation for Standardization, Genf; 2013.
- [7] Ramazzini, B.: „De morbis artificum diatriba“ aus dem Lateinischen übersetzt von P. Goldmann. Königshausen & Neumann, Würzburg 1998.
- [8] Eldred, F.E.; Gannon, W.J.; v. Gierke, H.: „Criteria for Short Time Exposure of Personnel to High Intensity Jet Air Craft Noise“. Air Craft Noise, Rept. WADC-TN-355. Aerospace Medical Laboratory, Wright-Patterson AFB, Ohio 1955.
- [9] Ordoñez¹, R.; de Toro, M.A.A.; Hammershøi¹, D.: Time and Frequency Weightings and the Assessment of Sound Exposure. Internoise 2010, 13–16 June, Lisbon, Portugal. ¹Acoustics, Institute of Electronic Systems, Aalborg University.
- [10] v. Gierke, H.E.; Robinson, D.W.; Karmy, S.J.: Results of a Workshop on impulse noise and auditory hazard. J. Sound Vib., 83, pp. 579–584, 1982.
- [11] Hellbrück, J.: Hören. Physiologie, Psychologie und Pathologie. Göttingen: Hogrefe, 1993.
- [12] Liedtke, M.: Effektive Lärmdosis basierend auf Hörminderungsäquivalenzen nach ISO 1999. Arbeitmed. Sozialmed. Umweltmed. 45: pp. 612–623, 2010.
- [13] Liedtke, M.: Die Effektive Lärmdosis (ELD) – Grundlagen und Verwendung. Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie 63, Nr. 2, S. 66–79, 2013.
- [14] VDI-Richtlinie 2058 Blatt 2: Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung. 2020.
- [15] Feldmann, H.; Brusis, T.: Das Gutachten des Hals-Nasen-Ohren-Arzt. Georg Thieme Verlag KG Stuttgart, 2019.
- [16] Maue, J.: Die Bedeutung des Spitzenschalldruckpegels für die Beurteilung industrieller Arbeitsplätze. Sicherheitsingenieur 40, S. 52–55, 2009.
- [17] Paulsen, R.: Spitzenschalldruckpegel bei Arbeitsunfällen mit Knallereignissen. Lärmbekämpfung Bd. 6, 2012.
- [18] Maue, J.: Lärmschädigung am Arbeitsplatz: Grenzen für das Gehör. Sicherheitsingenieur S. 7–8, 2023
- [19] Michel, O.: Wann führt der Knall zum Trauma. HNO Nachrichten 48 (6), 2018.
- [20] Sukowski, H.: BAuA Fokus „Extra-aurale Wirkungen von Lärm bei der Arbeit“. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dortmund, 2023.
- [21] Ising, H.; Sust, Ch.A.; Rebentisch, E.: Lärmbeurteilung – Extra-aurale Wirkungen. Auswirkungen von Lärm auf Gesundheit, Leistung und Kommunikation. BAuA – Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 98, Dortmund, 1996.
- [22] Schlittmeier, S.; Marsh, J.E.: Review of research on the effects of noise on cognitive performance 2017–2021. The 13th ICBen Congress on Noise as a Public Health Problem, Karolinska Institutet, Stockholm, Sweden, 2021.
- [23] Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung – TRLV, Teil Lärm. Gemeinsames Ministerialblatt S. 590 vom 05.09.2017.
- [24] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 12. August 2004. BGBl. I S. 2179, zuletzt geändert durch Artikel 4 des Gesetzes vom 22. Dezember 2020 (BGBl. I S. 3334).
- [25] Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.7 „Lärm“. Ausgabe März 2021, GMBI 2021, S. 543.
- [26] Rokosch, F.; Schwarzmann, K.; Uslar, W.; Gehrke, A.; Wiegand, J.; Selzer, J.; Wolff, A.; Schelle, F.: DGUV-Report 4/2020 „Lärmbelastung im Einzelhandel“. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V., Berlin, 2020.
- [27] Schumann, M.; Marschall, J.; Hildebrandt, S.; Nolting, H.-D.: DAK-Gesundheitsreport 2022. Analyse der Arbeitsunfähigkeitsdaten. Risiko Psyche: Wie Depressionen, Ängste und Stress das Herz belasten. DAK Gesundheit, Hamburg, 2022.
- [28] DIN 1320:2009-12: Akustik – Begriffe. Beuth Verlag, Berlin, 2009.
- [29] Swedish Defence Material Administration (Hrsg.): Infrasound. Stockholm, 1985.
- [30] Watanabe, T.; Moeller, H.: Low frequency hearing thresholds in pressure field and in free field. Journal of Low Frequency Noise and Vibration 9, 1990.
- [31] Gono, F.: Infraschall und seine Wirkung auf Menschen. Arbeitsmed. Sozialmed. Präventivmed. 13, 1978.
- [32] Ising, H.: Infraschallwirkungen auf den Menschen. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 29, 1982.
- [33] DIN 45680:2020-06-Entwurf: Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschmissionen. Beuth Verlag, Berlin, 2020.
- [34] Kusserow, H.: IFA Report 4/2016 „Kritische Betrachtung der deutschen Beurteilungskriterien für berufliche Ultraschalleinwirkungen auf das Gehör im Rahmen eines internationalen Vergleichs und am Beispiel von Ultraschall-Schweißmaschinen“. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V., Berlin, 2016.
- [35] VDI 3766: Ultraschall – Arbeitsplatz – Messung, Bewertung, Beurteilung und Minderung. Verein Deutscher Ingenieure, September 2012.
- [36] Wolff, A.: Luftgeleiteter Ultraschall am Arbeitsplatz – ein kritischer Blick auf die aktuelle Situation. Technische Sicherheit 4, 2014.
- [37] Wolff, A.: Airborne ultrasound at german workplaces. INTER-NOISE 2016. 45th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering „Towards a Quieter Future“, Hamburg, Germany, 2016.
- [38] Ullisch-Nelken, C.; Schönweiß, R.; Wolff, A.: Ears II: Entwicklung eines praxistauglichen Messverfahrens für luftgeleiteten Ultraschall. In: Fortschritte der Akustik – DAGA 2017. 43. Jahrestagung für Akustik, Kiel, 2017.
- [39] Kling, C.; Schönweiß, R.; Wolff, A.; Ullisch-Nelken, C.: Investigations on airborne ultrasound at working places. 24th International Congress on Sound and Vibration, London, 2017.
- [40] Wächtler, M.; Kling, C.; Wolff, A.: Entwicklung eines Ultraschall-Pegelmesssystems für den Arbeitsschutz. Lärmbekämpfung 13, Nr. 1, S. 28–32, 2018.
- [41] Ullisch-Nelken, C.; Kusserow, H.; Wolff, A.: Analysis of the Noise Exposure and the Distribution of Machine Types at Ultrasound Related Industrial Workplaces in Germany. Acta Acustica united with acustica 104, pp. 733–736, 2018.
- [42] Wolff, A.; Ullisch-Nelken, C.: Messung von luftgeleitetem Ultraschall am Arbeitsplatz. sicher ist sicher 69, Nr. 11, S. 495–499, 2018.
- [43] Cieslak, M.; Kling, C.; Wolff, A.: Ultrasound exposure in a workplace and a potential way to improve its measurement methodology. 2020 IEEE Virtual Reality Conference (VR). 3–5 June 2020, Roma, Italy – Vortrag. Tagungsbericht, S. 1–5 Hrsg.: Höllerer, T.; Interrante, V.; Lecuyer, A.; Swan, J.E. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), New York/USA. ISBN: 978-1-7281-4892-2.



Dr. rer. med.

Florian Schelle

Bereichsleiter
„Lärm“, Institut für
Arbeitsschutz der
Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung e.V. (IFA),
St. Augustin



Dr. rer. nat.

Martin Liedtke

Abteilungsleiter
„Arbeitsgestaltung,
Physikalische Einwirkungen“, Institut
für Arbeitsschutz der
Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung e.V. (IFA),
St. Augustin

- [44] Cieslak, M.; Kling, C.; Wolff, A.: Development of a Personal Ultrasound Exposimeter for Occupational Health Monitoring. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18, 13 289.
- [45] Wolff, A.; Cieslak, M.; Kling, C.: Development of a high-frequency and ultrasound personal noise exposure meter for identification of sufficient sound rating quantities. Proceedings of the 13th ICBEN Congress on Noise as a Public Health Problem, Karolinska Institutet, Stockholm, Sweden, 2021.
- [46] VDI 2058-2: Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung. Verein Deutscher Ingenieure, August 2020.
- [47] Lee, S.; Cha, J.; Kim, J.-Y.; Son, G. M.; Kim, D.-K.: Detection of unknown ototoxic adverse drug reactions: an electronic healthcare record based longitudinal nationwide cohort analysis. *Nature Scientific Review*, 2021.
- [48] Ototoxische Arbeitsstoffe. Positionspapier des Arbeitskreises „Lärm“ im Ausschuss Arbeitsmedizin der DGUV. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V., Berlin, 2018.
- [49] DIN EN ISO 9612: Akustik – Bestimmung der Lärmexposition am Arbeitsplatz – Verfahren der Genauigkeitsklasse 2. Beuth-Verlag, Berlin, 2009.
- [50] Bolm-Audorff, U.; Hegewald, J.; Pretzsch, A.; Freiberg, A.; Nienhaus, A.; Seidler, A.: Occupational Noise and Hypertension Risk: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020.
- [51] Teixeira, L. R.; Pega, F.; Dzhambov, A. M.; Bortkiewicz, A.; Correa da Silva, D. T.; de Andrade, C. A. F.; Gadzicka, E.; Hadkhale, K.; Iavicoli, S.; Martinez-Silveira, M. S.; Pawlaczuk-Luszczynska, M.; Rondinone, B. M.; Siedlecke, J.; Valenti, A.; Gagliardi, D.: The effect of occupational exposure to noise on ischaemic heart disease, stroke and hypertension: A systematic review and meta-analysis from the WHO/ILO Joint Estimates of the Work-Related Burden of Disease and Injury. *Environment International* 154, 2021.
- [52] Babisch, W.: Stress hormones in the research on cardiovascular effects of noise. *Noise Health*, 2003.
- [53] Maschke, C.; Rupp, T.; Hecht, K.: The influence of stressors on biochemical reactions – a review of present scientific findings with noise. *Int. J. Hyg. Environ. Health*, 2000.
- [54] Mutterschutzgesetz vom 23. Mai 2017 (BGBl. I S. 1228), das durch Artikel 57 Absatz 8 des Gesetzes vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2652) geändert worden ist.
- [55] IFA Report 01/2022: Grenzwerteliste 2022. Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V., 2022.
- [56] Selander, J.; Albin, M.; Rosenhall, U.; Rylander, L.; Lewné, M.; Gustavsson, P.: Maternal Occupational Exposure to Noise during Pregnancy and Hearing Dysfunction in Children: A Nationwide Prospective Cohort Study in Sweden. *Environmental Health Perspectives*, Volume 124 (6), 2016. ■

Ehrungen der DEGA

Preisträger 2024

Die DEGA verleiht zur Eröffnung der Jahrestagung DAGA 2024 die folgenden Preise:

- die **Helmholtz-Medaille** an *Prof. Dr.-Ing. Manfred Zollner* für sein Lebenswerk zur Elektroakustik und zur Musikalischen Akustik, insbesondere für seine Arbeiten zur Elektrogitarre,
- den **Lothar-Cremer-Preis** an *Ass.Prof. Dr. techn. Stefan Schoder* für seine innovativen und wegweisenden Arbeiten auf dem Gebiet der Strömungsakustik,
- zwei **DEGA-Studienpreise** an *M.Sc. Marius Lambacher* für seine Masterarbeit „Low-Latency MIMO Loudspeaker-Room Compensation for Real-Time Driving Sound Enhancement in Electric Vehicles“ an der Technischen Universität München,

und an *M.Sc. Jeremy Lawrence* für seine Masterarbeit „Sound Source Localization with the Rotating Equatorial Microphone (REM)“ an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.

Die Preisverleihungen finden während der Eröffnung der DAGA 2024 am

Dienstag, den **19. März 2024**

um **9:00 Uhr**

in der **Glashalle** des

Hannover Congress Centrum

statt.

Ausführliche Informationen zu den Preisträgern und ihren DAGA-Vorträgen finden Sie im Tagungsprogramm der DAGA 2024. ■