

11.18

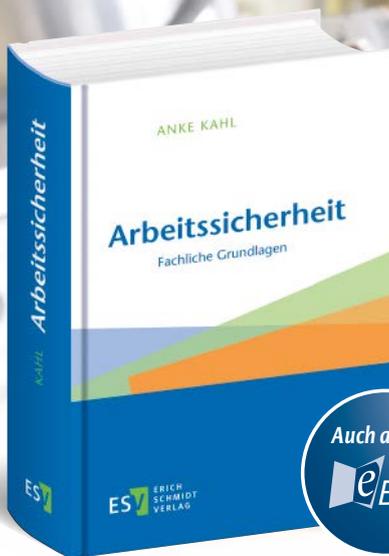
Lizenziert für Frau Dr. Andrea Wolff.
Die Inhalte sind urheberrechtlich geschützt.
In Kooperation mit:



69. Jahrgang
November 2018
ISSN 2199-7330
1424

sicher ist sicher

www.SISdigital.de



Arbeitssicherheit Fachliche Grundlagen

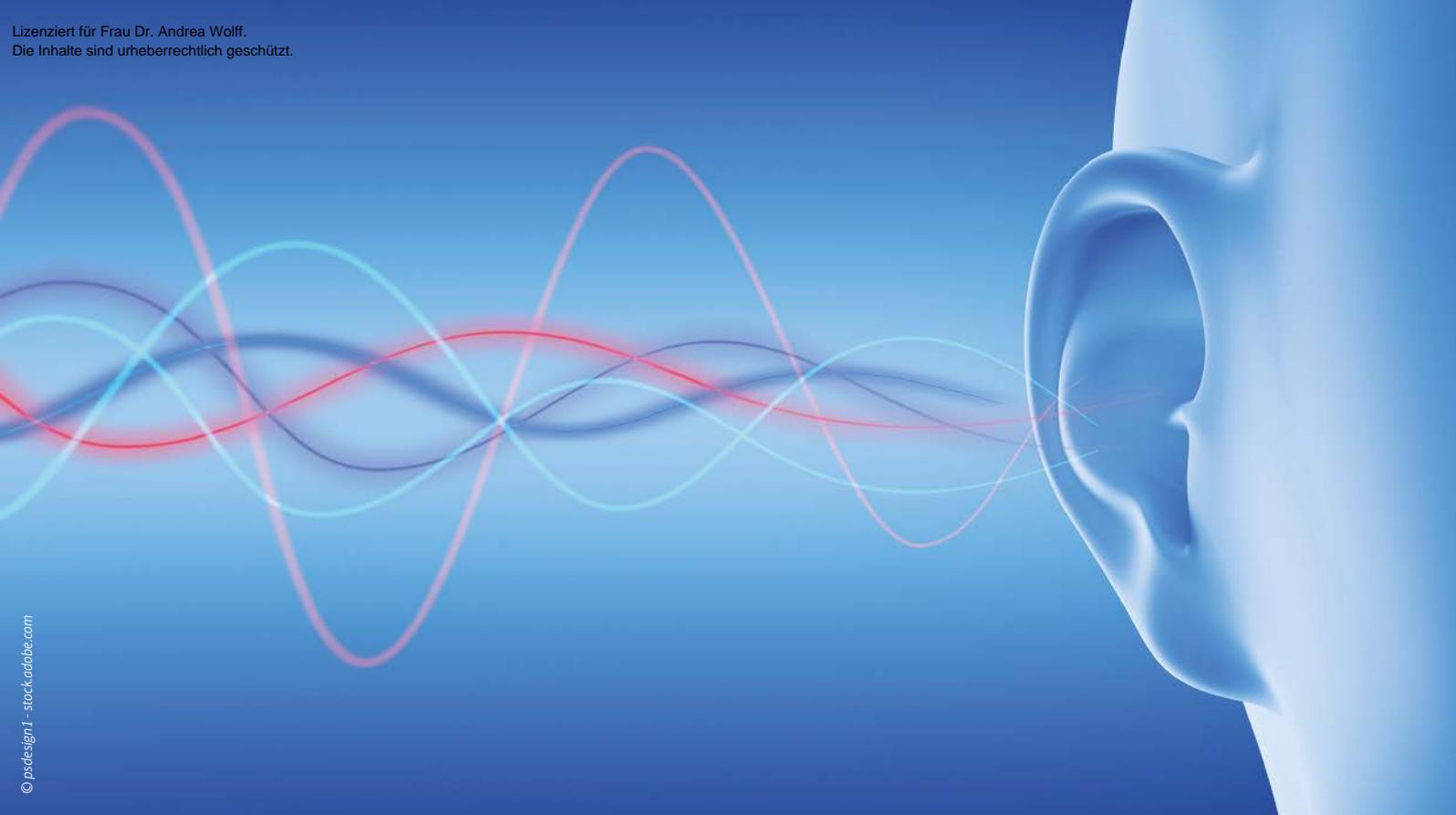
Von Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Anke Kahl
Fortgesetzt von Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. em. Günter Lehder
Begründet von Univ.-Prof. Dr.-Ing. em. Reinald Skiba
2018, ca. 900 Seiten, mit zahlreichen farbigen Abbildungen und Tabellen,
fester Einband, ca. € (D) 69,90, ISBN 978-3-503-17120-0

www.ESV.info/17120

Neue Materialien – alte
Gefährdungen? 475

Isocyanate 482
Moderne Beleuchtung
am Arbeitsplatz 500

ESV ERICH
SCHMIDT
VERLAG



ANDREA WOLFF · CHRISTIAN ULLISCH-NELKEN

Messung von luftgeleitetem Ultraschall am Arbeitsplatz

Ultraschalltechnologie kommt in einer wachsenden Zahl von Anwendungen zum Einsatz. Dabei entsteht häufig eine Exposition der Beschäftigten mit luftgeleitetem Ultraschall. Diese kann mit den typischerweise im Arbeitsschutz eingesetzten Messgeräten und -methoden nicht verlässlich bestimmt werden. Wir erläutern die Probleme und stellen wesentliche Bestandteile für eine Messmethode vor, mit der luftgeleiteter Ultraschall am Arbeitsplatz gemessen werden kann.

1. Einleitung

In vielen industriellen Bereichen stellen Ultraschalltechnologien gute Alternativen zu herkömmlichen Fertigungsverfahren dar oder sind diesen überlegen. Die Anzahl der Arbeitsplätze, an denen mit Ultraschall gearbeitet wird, ist daher stetig steigend. Die Anwendungsmöglichkeiten reichen vom Ultraschallreinigungsbad über Ultraschallschweiß- und -schneidemaschinen bis hin zur zerstörungsfreien Materialprüfung von z.B. Schweißnähten. Die eingesetzten Maschinen arbeiten meistens mit Frequenzen zwischen 20 kHz und 40 kHz. Diese Frequenzen liegen oberhalb des menschlichen Hörfrequenzbereichs, der sich bis ca. 16 kHz erstreckt. Auch im öffentlichen und privaten Bereich finden sich mittlerweile eine Vielzahl von Anwendungen: Tiervertreibungsgeräte (Tauben- oder Marder-

schreck), Reinigungsbäder für Schmuck und Brillen, haptische 3D-Bedieneinheiten („ultrahaptics“), Lichtsteuerungen in öffentlichen Bereichen und vieles mehr.

Bei den meisten industriellen Anwendungen entsteht der luftgeleitete Ultraschall als mehr oder weniger unerwünschtes Nebenprodukt der eigentlichen Anwendung. Diesem luftgeleiteten Ultraschall ist eine Person zwangsläufig ausgesetzt, die die Maschine bedient oder den Prozess überwacht. Wenn mit Ultraschall arbeitende Maschinen in eine Produktionskette eingebunden oder in einer Werkshalle aufgebaut sind, so können auch Beschäftigte an benachbarten Arbeitsplätzen dem Ultraschall ausgesetzt sein.

Selbst wenn durch Ultraschall kein klassischer Höreindruck entsteht, so sind extra-aurale Wirkungen von Ultraschall auf den Menschen schon

lange dokumentiert [1,2]. Symptome wie Schwindel, Übelkeit, Druckgefühl auf den Ohren oder Kopfschmerzen können bereits nach sehr kurzer Expositionszeit auftreten. Eine gehörschädigende Wirkung des Ultraschalls kann nach aktuellem Erkenntnisstand nicht ausgeschlossen werden [1,2].

Über den reinen Ultraschall hinaus finden sich an vielen betroffenen Arbeitsplätzen stark tonale Geräuschanteile im hörbaren Bereich. Dadurch, dass z.B. Teile der Maschine mit der halben Arbeitsfrequenz mitschwingen, kommt es zur Entstehung von sogenannten Subharmonischen im hörbaren Frequenzbereich vorwiegend zwischen 10 kHz bis 16 kHz. Es werden auch Subharmonische bei noch tieferen Frequenzen gemessen, z.B. Subharmonische mit 5 kHz bei einer Arbeitsfrequenz von 20 kHz. Diese subharmonischen Schwingungen können, wie die Ultraschall-Arbeitsfrequenzen selbst, hohe Pegel aufweisen. Über die Wirkung stark tonaler und gleichzeitig hochpegeliger Geräusche auf das menschliche Ohr ist nicht viel bekannt. Die BK 2301 „Lärm-schwerhörigkeit“ [3] beruht auf den Erkenntnissen der ISO 1999 [4]. Diese wiederum beruht auf Messungen an industriellen Arbeitsplätzen, an denen aufgrund der damaligen Produktionsbedingungen und Fertigungsverfahren vorwiegend eine breitbandige, über viele Frequenzbänder verteilte Lärmexposition vorlag.

Die biologische Wirkung sowohl des Ultraschallanteils, wie auch eines eventuell vorhandenen tonalen Geräuschanteils im hochfrequenten Hörbereich sind nach wie vor Themen, die es zu untersuchen gilt.

2. Situation im Arbeitsschutz

Im Zusammenhang mit einer Gefährdungsbeurteilung hinsichtlich Lärm am Arbeitsplatz kommt es durch die Anwesenheit von luftgeleitetem Ultraschall nun gleich zu mehreren Problemen.

2.1 Regelwerke

Die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV) legt ihren Zuständigkeitsbereich wie folgt fest: „Lärm im Sinne dieser Verordnung ist jeder Schall, der zu einer Beeinträchtigung des Hörvermögens oder zu sonstigen mittelbaren oder unmittelbaren Gesundheitsgefahren führen kann.“ [5]. Die zugehörigen Technischen Regeln (TRLV) [6] konkretisieren diese Zuständigkeit durch eine Einschränkung auf den Hörschallbereich, der sich gemäß der TRLV auf den Frequenzbereich „von 16 Hz bis 16 kHz“ erstreckt. Infraschall und Ultraschall werden explizit vom Gültigkeitsbereich der TRLV ausgeschlossen, sodass für diese Frequenzbereiche zwar eine Verordnung existiert, jedoch keine erläuternden Technischen Regeln. Eine exakte Spezifizierung des Frequenzbereichs „von 16 Hz bis 16 kHz“ bleibt in der TRLV aus. So bleibt es unklar, ob mit der genannten oberen Grenzfrequenz von 16 kHz eine scharfe Grenze gemeint ist, oder ob etwa die gesamte Terz mit Mittenfrequenz 16 kHz noch zum Zuständigkeitsbereich gezählt wird oder gar die gesamte Oktave mit Mittenfrequenz 16 kHz. Letztere umfasst Frequenzen bis 22,4 kHz. Bei vielen handelsüblichen Schallpegelmessgeräten der Klasse 1 oder 2 die im Arbeitsschutz eingesetzt werden, kann eine scharfe Grenzfrequenz von 16 kHz gar nicht eingestellt werden.

Ist luftgeleiteter Ultraschall am Arbeitsplatz anwesend, so ist die VDI-Richtlinie 3766 [7] zu empfehlen. Die Richtlinie enthält ein Verfahren zur Beurteilung der Gehörgefährdung im Sprachfrequenzbereich bis 8 kHz durch den anwesenden Ultraschall. Die VDI 3766 nennt jedoch keine Richtwerte zur Vermeidung von Gehörschäden im gesamten Hörfrequenzbereich. Neben einem Mess- und Beurteilungsverfahren nennt die Richtlinie auch erweiterte Anforderungen an die verwendeten Schallpegelmessgeräte. Diese Anforderungen werden derzeit weder durch die Baumusterprüfung [8] noch durch die regelmäßige Funktionsprüfung oder die Eichung [9] abgedeckt.

Der neue Entwurf der VDI 2058-2 „Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung“ [10] beinhaltet zudem weitere präventiv einzuhaltende Richtwerte für die lautesten fünf Minuten eines Arbeitstages in den Terzbänder mit Mittenfrequenzen zwischen 16 kHz und 40 kHz, dargestellt in Tabelle 1, mit dem Ziel extra-aurale Wirkungen durch die Ultraschallexposition zu vermeiden. Wie in Kapitel 2.3 noch näher erläutert wird, steht jedoch derzeit noch keine genormte Messmethode zur Verfügung, um die Einhaltung der Richtwerte zu überprüfen.

Bezeichnung	Richtwert	Herkunft
$L_{EX,AU,8h}$	85 dB	VDI 3766
L_{Zpeak}	140 dB	VDI 3766
$L_{Terz,20kHz}$	110 dB	VDI 2058-2 (1988)
$L_{Zeq,Terz,5min,16kHz}$	90 dB	Entwurf VDI 2058-2 (2017)
$L_{Zeq,Terz,5min,20kHz}$	110 dB	Entwurf VDI 2058-2 (2017)
$L_{Zeq,Terz,5min,25kHz}$	110 dB	Entwurf VDI 2058-2 (2017)
$L_{Zeq,Terz,5min,31,5kHz}$	110 dB	Entwurf VDI 2058-2 (2017)
$L_{Zeq,Terz,5min,40kHz}$	110 dB	Entwurf VDI 2058-2 (2017)

Tab. 1: Übersicht über die im Zusammenhang mit luftgeleitetem Ultraschall anwendbaren Richtwerte für die Exposition am Arbeitsplatz

2.2 Messtechnik

Messgeräte der Klassen 1 und 2 nach IEC 61672-1 müssen bei Frequenzen zwischen 10 Hz und 20 kHz auf die Einhaltung der Idealwerte in den Frequenzbewertungen A, C und Z geprüft werden. Bei Klasse 2-Geräten sind ab einer Frequenz von 10 kHz Abweichungen vom Idealwert zwischen +5 dB und $-\infty$ dB erlaubt. Die Anforderungen an Klasse 1-Geräte sind strenger, sodass hier bei 16 kHz Abweichungen von +2,5 dB bis -16 dB und bei 20 kHz Abweichungen von +3 dB bis $-\infty$ dB erlaubt sind. Anforderungen für höhere Frequenzen werden nicht genannt. Somit sind Messgeräte der Klasse 2 grundsätzlich nicht zur Messung von Ultraschall geeignet. Ferner kann mit Klasse 2-Geräten auch eine eventuell vorhandene tonale Komponente im Hörfrequenzbereich nicht sicher erfasst werden.

Die VDI 3766 [7] nennt erweiterte Anforderungen an die Genauigkeit der Schallpegelmessgeräte im Zusammenhang mit Messungen in Anwesenheit von luftgeleitetem Ultraschall. Es dürfen nur noch Messgeräte der Klasse 1 eingesetzt werden, deren Messbereich mindestens die Terz mit Terzmittenfrequenz 40 kHz einschließt. In diesem erweiterten Frequenzbereich werden sodann verschärfte Grenzabweichungen der Z-Bewertung zwischen 5 kHz und 50 kHz genannt, wobei die noch erlaubten Abweichungen bei $\pm 2,5$ dB bei 20 kHz und $+3,5$ dB/ $-7,5$ dB bei 40 kHz betragen. Diese Anforderungen werden jedoch bislang von keiner Prüfnorm abgedeckt. Darüber hinaus müssen die eingesetzten Geräte über das U-Frequenzfilter [12] verfügen.

Leider erlauben nicht alle Messgeräte eine Einschränkung des Messbereichs auf vom Benutzer festgelegte Terzen oder Oktaven. Darunter fallen insbesondere auch Messgeräte mit Bauartzulassung. So besteht – abgesehen von der fehlenden klaren Definition – seitens einiger Messgeräte keine Möglichkeit den in der TRLV genannten Frequenzbereich abzubilden. Dies stellt bei Abwesenheit von Ultraschall in der Regel kein messtechnisches Problem dar. Der dominant zum Dauerschalldruckpegel beitragende Teil der Schallenergie liegt meist im mittleren Frequenzbereich der TRLV. Die Anwendung der A-Bewertung mit einer Betonung dieser mittleren Frequenzen, z.B. bei Messung des L_{Aeq} , wirkt dann zusätzlich als positiv verstärkender Faktor. Wird nun eine Messung am Arbeitsplatz einer mit Ultraschall arbeitenden Maschine durchgeführt, deren Arbeitsfrequenz bei beispielsweise 20 kHz liegt, treten folgende Probleme zutage: Ein Messgerät, das genau bis 16 kHz misst, gibt einen Messwert L_{Aeq} aus, in dem der Ultraschallanteil keinen Einfluss auf das Messergebnis hat. Ein Messgerät, das in Oktaven bis einschließlich der Mittenfrequenz 20 kHz misst, gibt hingegen

einen Messwert L_{Aeq} aus, in dem die Schallenergie des Ultraschallanteils enthalten ist und der somit deutlich höher ausfallen kann.

Zum Schutz der Mikrofonmembran wird während Betriebsmessungen in der Regel mit aufgeschraubtem Schutzgitter, eventuell sogar mit aufgestecktem Windschirm gemessen. Nun verkleinert sich mit steigender Frequenz die Wellenlänge des Schalls. So beträgt die Wellenlänge einer Frequenz von 20 kHz noch ca. 1,7 cm und verkürzt sich bei einer Frequenz von 40 kHz auf nur noch ca. 0,86 cm. Ein Sinuston mit der Frequenz 1 kHz weist im Vergleich hierzu die deutlich größere Wellenlänge von 34,3 cm auf. Mikrofonkapseln der Größen $\frac{1}{2}$ " bzw. $\frac{1}{4}$ " besitzen einen Durchmesser von ca. 1,27 cm respektive 0,64 cm und sind dadurch für Ultraschallwellen „sichtbar“. Als Konsequenz wird der Ultraschall an den Schutzgittern der Mikrofone gebeugt, gebrochen oder reflektiert. Daher kann Ultraschall überhaupt nur dann richtig gemessen werden, wenn vor der Messung das Schutzgitter des Mikrofons entfernt wurde und kein Windschirm verwendet wird. Dies erfordert natürlich eine erhöhte Umsicht der messenden Person, ist aber an vielen Arbeitsplätzen möglich, wie eigene Messungen des IFA an verschiedenen industriellen Arbeitsplätzen gezeigt haben.

Lärm im Sinne der LärmVibrationsArbSchV ist jeder Schall, der zu einer Beeinträchtigung des Hörvermögens oder zu sonstigen [...] Gesundheitsgefahren führen kann [5].

Seit einiger Zeit stellt die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) ein nationales Normal zur Verfügung, das es erlaubt, Mikrofone bis 100 kHz rückzuführen [13]. Somit kann immerhin die Funktionsweise des für Ultraschallmessungen verwendeten Mikrofons überprüft und sichergestellt werden. Da es sich beim Mikrofon um einen entscheidenden Teil der Messkette handelt, ist die Möglichkeit der Rückführung von besonderem Wert.

2.3 Messmethoden

Ein im Arbeitsschutz weit verbreitetes Verfahren zur Bestimmung der Lärmexposition am Arbeitsplatz wird in der DIN EN ISO 9612 [14] beschrieben. Dieses Verfahren erlaubt sowohl stationäre Messungen am besetzten oder unbesetzten Arbeitsplatz wie auch personenbezogene Messungen. Eingesetzt werden dürfen Messgeräte der Klasse 1 oder Klasse 2 nach IEC 61672-1 und auch

DIE AUTOREN



Dr. Andrea Wolff

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)
Fachbereich: Arbeitsgestaltung, Physikalische Einwirkungen
Referat: Lärm
Alte Heerstr. 111, 53757 Sankt Augustin (Germany)
E-Mail: andrea.wolff@dguv.de
de, Internet: www.dguv.de/ifa

Christian Ullisch-Nelken

Personenschallexposimeter nach IEC 61252 [15]. Letztere werden meist als Dosimeter bezeichnet. Neben den unterschiedlichen Arten der Messung stehen drei Messstrategien zur Auswahl, die auf verschiedene Arbeitsprofile und -umstände abgestimmt sind. Je nach gewählter Messstrategie wird das Messgerät während der Messung entweder handgehalten in unmittelbarer Nähe des höher exponierten Ohrs des Arbeitnehmers den Bewegungen nachgeführt, am Körper des Beschäftigten befestigt oder aber, z.B. mit Hilfe eines Stativs, stationär am Arbeitsplatz aufgestellt.

Die Messmethode der VDI 3766 lehnt sich an die der DIN EN ISO 9612 an. Sie macht jedoch den Zusatz, dass bei stationären Messungen das Mikrofon vor der eigentlichen Messung über alle möglichen Kopfpositionen des Beschäftigten zu bewegen ist, um einen Überblick über die eventuell lokal stark unterschiedlich ausfallenden

Das IFA arbeitet im Rahmen eines europäischen Projekts [16] an der Entwicklung einer praxistauglichen Messmethode für luftgeleiteten Ultraschall.

Expositionen zu erhalten. Die Messung ist dann an der Position mit der höchsten Exposition durchzuführen. In Anwesenheit des Beschäftigten ist eine Kontrollmessung durchzuführen um zu verhindern, dass Abschirmungs- oder Reflektionseffekte einen signifikanten Einfluss auf das Messergebnis haben.

Wie umfassende eigene Untersuchungen gezeigt haben¹, sind die in ISO 9612 und VDI 3766 aufgeführten Arten der Messdurchführung leider nicht für die Erfassung der Exposition gegenüber luftgeleitetem Ultraschall geeignet.

3. Entwicklung einer praxistauglichen Messmethode für luftgeleiteten Ultraschall

Um dieser unbefriedigenden Situation des Arbeitsschutzes in Zukunft besser begegnen zu können, arbeitet das IFA zusammen mit mehreren Projektpartnern im europäischen Projekt „Metrology for modern hearing assessment and protecting public health from emerging noise sources“ [16] an der Entwicklung einer praxistauglichen Messmethode für luftgeleiteten Ultraschall. In diesem Zuge wurden umfangreiche Untersuchungen der Messtechnik, existierender Messmethoden und der von industriellen Maschinen erzeugten Ultraschallfelder durchge-

führt. Ebenfalls wird innerhalb des Projekts die Lästigkeit und Störwirkung durch länger andauernde Ultraschallexposition bei niedrigen Pegeln betrachtet.

Nach einer Analyse der dem IFA und der BG ETEM vorliegenden Messungen an ultraschall-exponierten Arbeitsplätzen [17,18] wurden Ultraschall-Schweißmaschinen mit einer Arbeitsfrequenz von 20 kHz aufgrund hoher Schallpegel und der niedrigen Ultraschallarbeitsfrequenz als ein potenziell problematischer Maschinenzweig identifiziert. Alle Laboruntersuchungen wurden daher an einer flexibel programmierbaren Schweißmaschine durchgeführt.

Für die Untersuchungen im Rahmen des Projekts wurden am IFA ein Labormesssystem der Firma Dr. Jordan Design eingesetzt, welches mit einem ¼“-Mikrofon ausgestattet ist und einen Messbereich bis 100 kHz aufweist. Das Mikrofon wurde anhand einer Rückführung bis 100 kHz kalibriert und das gesamte Messsystem verschiedenen Prüfungen unterzogen um Kenntnis über die Funktionsweise des Geräts im Ultraschallbereich zu erhalten. Anschließend wurden die verschiedenen Messverfahren der ISO 9612 und VDI 3766 systematisch im Labor untersucht.

So zeigte sich, dass es nur dann möglich ist, die in den Richtlinien VDI 3766, VDI 2058-2 (1988 und Entwurf 2017) genannten Richtwerte im Ultraschallfrequenzbereich verlässlich und reproduzierbar zu messen, wenn das Schutzgitter zuvor von der Mikrofonkapsel entfernt wurde. Weiterhin erwies sich, dass stationäre Messungen, wie sie von der ISO 9612 explizit erlaubt und seitens VDI 3766 nicht ausgeschlossen werden, nicht geeignet sind, die in diesen Regelwerken genannten Pegel im Ultraschallbereich reproduzierbar und mit tolerierbarer Ungenauigkeit zu messen. Vielmehr muss auf ein räumlich mittelndes Verfahren zurückgegriffen werden, bei dem das Mikrofon im Ultraschallfeld bewegt wird.²

In Abwesenheit der bedienenden Person lassen sich so gut reproduzierbare Messergebnisse mit akzeptabler Unsicherheit erzielen, die auch die Exposition widerspiegeln. Ist die Anwesenheit einer maschinenbedienenden Person notwendig, können sich durch die sehr geradlinige Ausbreitung der Ultraschallwellen u.a. starke Abschattungseffekte und Reflektionen zeigen. Wie stark strukturiert das Ultraschallfeld in der Nähe eines Kunstkopfes ausfallen kann, haben Walther und Kling bereit 2015 gezeigt [19]. Ist eine Messung unter Anwesenheit einer Person am Arbeitsplatz unumgänglich, muss am höher exponierten Ohr gemessen werden. Das IFA untersucht derzeit in einer Probandenstudie den Einfluss von Maschinenbedienern auf das Messergebnis.

¹ Veröffentlichung in Vorbereitung

² Veröffentlichung in Vorbereitung

4. Zusammenfassung

Luftgeleiteter Ultraschall tritt immer häufiger an Arbeitsplätzen auf. Derzeit kann er aus verschiedenen Gründen nicht vollumfänglich in die Gefährdungsbeurteilung aufgenommen werden. Zum einen stehen kaum praxistaugliche Messgeräte zur Verfügung, die verlässliche Aussagen über Schalldruckpegel im Ultraschallbereich treffen können. Es existieren weder eine standardisierte Prüfmethode für diese Messgeräte im Ultraschallbereich noch eine geeignete Messmethode, die es ermöglicht reproduzierbare Messergebnisse mit akzeptabler Messunsicherheit zu erfassen. Zum anderen sind bezüglich der biologischen Wirksamkeit noch viele offene Fragen zu klären. In verschiedenen Regelwerken existieren präventive Richtwerte für die Exposition im Ultraschallbereich, diese sind jedoch derzeit nicht nach einer standardisierten Methode messbar.

Das IFA erarbeitet zusammen mit europäischen Kooperationspartnern eine Messmethode für luftgeleiteten Ultraschall. Nach Abschluss der Untersuchungen wird die entwickelte Messmethode in die Normung eingebracht – nicht zuletzt, um überhaupt einheitliche Messungen der derzeit in den Regelwerken vorhandenen Messgrößen zu ermöglichen.

5. Danksagung

This project has received funding from the EMPIR programme co-financed by the Participating States and from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme.



Die in diesem Projekt verwendete Ultraschall-Schweißmaschine wurde von der Herrmann Ultraschalltechnik GmbH & Co. KG zur Verfügung gestellt. ■



LITERATUR:

- [1] B.W. Lawton: *Damage to human hearing by airborne sound of very high frequency or ultrasonic frequency*. HSE Books, Sudbury, 2001.
- [2] B. Smagowska, M. Pawlaczyk-Łuszczynska: *Effects of Ultrasonic Noise on the Human Body – A Bibliographic Review*. *Int J Occup Saf Ergon* 2013, 19 (2), S. 195–202.
- [3] *Berufskrankheiten-Verordnung Merkblätter zu Berufskrankheiten*, Bek. des BMAS v. 1.7.2008 – IVa 4-45222-2301, GMBI Nr. 39 vom 5. August 2008, S. 798–800
- [4] ISO 1999:2013, *Akustik – Bestimmung des lärmbedingten Hörverlusts*
- [5] *Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung vom 6. März 2007 (BGBl. I S. 261)*, die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 5 der Verordnung vom 18. Oktober 2017 (BGBl. I S. 3584) geändert worden ist (LärmVibrationsArbSchV)
- [6] *Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung*, GMBI 2017 S. 590 [Nr. 34/35] (v. 05.09.2017) (TRLV)
- [7] VDI 3766:2012, *Ultraschall – Messung, Bewertung, Beurteilung*
- [8] IEC 61672-1:2013, *Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications*
- [9] IEC 61672-2:2013, *Electroacoustics – Sound level meters – Part 2: Pattern evaluation tests*
- [10] VDI 2058-2:2017, *Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung*, Entwurf
- [11] VDI 2058-2:1988, *Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung*
- [12] IEC 61012:1990, *Filters for the measurement of audible sound in the presence of ultrasound*.
- [13] <https://www.ptb.de/cms/ptb/fachabteilungen/abt1/fb-16/ag-163.html>
- [14] ISO 9612:2009, *Akustik – Messung und Berechnung der Lärmexposition im Arbeitsbereich – Verfahren der Genauigkeitsklasse 2*
- [15] IEC 61252:2017, *Electroacoustics – Specifications for personal sound exposure meters*
- [16] www.ears-project.eu
- [17] H. Kusserow: *Kritische Betrachtung der deutschen Beurteilungskriterien für berufliche Ultraschalleinwirkungen auf das Gehör im Rahmen eines internationalen Vergleichs und am Beispiel von Ultraschall-Schweißmaschinen*. IFA Report 4/2016, DGUV, 2016
- [18] C. Ullisch-Nelken, H. Kusserow, A. Wolff: *Analysis of the noise exposure and the distribution of machine types at ultrasound-related industrial workplaces in Germany*. *Acta Acustica united with Acustica* 2018, 104 (5), S. 733–736.
- [19] S. Walther, C. Kling: *3-D-Vermessung von Luftschallfeldern*. *Fortschritte der Akustik*, DEGA, 2015