

Luftgeleiteter Ultraschall am Arbeitsplatz

Ein kritischer Blick auf die aktuelle Situation

Andrea Wolff, Sankt Augustin

In vielen produzierenden Unternehmen sind heutzutage Ultraschall-Anlagen wie Ultraschall-Schweißmaschinen und Ultraschall-Reinigungsbäder zu finden. Aufgrund der energieeffizienten und damit preiswerten Arbeitsweise, steigt die Zahl der eingesetzten Geräte weiterhin an. An Arbeitsplätzen mit Ultraschallquellen liegen sowohl Geräusche im Hörschallbereich (Frequenzen von 16 Hz bis 16 kHz) vor als auch Geräusche im Ultraschallbereich (Frequenzen > 16 kHz). Die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung und die zugehörigen Technischen Regeln beschäftigen sich per Definition mit der Messung, Bewertung, Beurteilung und Minderung der Hörschallexposition. Die Einwirkungen von Infraschall oder Ultraschall auf den Menschen werden in diesen Schriften aber nicht behandelt. Mit der VDI 3766 ist 2012 eine Richtlinie zur Messung, Bewertung, Beurteilung und Minderung von Ultraschall erschienen. Dabei liegt der Fokus auf der Vermeidung von Gehörschäden im Sprachfrequenzbereich. Es bleiben aber weiterhin offene Fragen und Unsicherheiten im Umgang mit Ultraschall am Arbeitsplatz bestehen.

In der heutigen Zeit sind in vielen produzierenden Unternehmen Ultraschall-Anlagen wie Ultraschall-Schweißmaschinen und Ultraschall-Reinigungsbäder zu finden. Aufgrund der energieeffizienten und damit preiswerten Arbeitsweise, steigt die Zahl der eingesetzten Geräte weiterhin an. An derartigen Arbeitsplätzen mit Ultraschallquellen liegen sowohl Geräusche im Hörschallbereich (Frequenzen von 16 Hz bis 16 kHz) vor, wie auch Geräusche im Ultraschallbereich (Frequenzen > 16 kHz). Die Größe der Maschinen reicht dabei vom handelsüblichen Ultraschallreinigungsbad zur Brillenreinigung bis hin zur vollautomatischen Schweißmaschine für die Innenausstattung von Automobilen und dem Durchlaufreinigungsbad zur Entfettung. **Bild 1** zeigt eine Detailaufnahme einer kleinen Ultraschallschweißmaschine mit Plexiglasabschirmung, **Bild 2** ein größeres Ultraschallreinigungsbad.

Messung, Bewertung und Beurteilung von luftgeleitetem Ultraschall

Die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [1] und die zugehörigen Technischen Regeln beschäftigen sich per Definition mit der Messung, Bewertung, Beurteilung und Minderung der Hörschallexposition. Die Einwirkungen



Bild 1 Detailaufnahme einer handbestückten Ultraschweißmaschine mit einer Plexiglasabschirmung zur Verringerung der Ultraschallbelastung am zugehörigen Arbeitsplatz.

von Infraschall oder Ultraschall auf den Menschen werden dort nicht behandelt.

Jedoch kann es bei Anwendung der herkömmlichen Messverfahren zur Ermittlung der Lärmexposition am Arbeitsplatz im Hörschallbereich zu einer Beeinflussung des Messergebnisses durch die Anwesenheit von Ultraschall kommen. Dies kann letztendlich zu einer fehlerhaften Bewertung der Hörschallexposition führen. Der Grund hierfür liegt in den Toleranzen, innerhalb denen ein Schall-

pegelmessgerät die A-Frequenzbewertung umsetzen muss. Die A-Bewertung ist in der Schallpegelmessgerätenorm DIN EN 61672-1 [4] nur bis 20 kHz definiert. In einem Messgerät werden Frequenzen oberhalb von 20 kHz jedoch keineswegs abgeschnitten, sondern werden – je nach Mikrofon – unterschiedlich hoch erfasst und vielfach gedämpft. Die tolerierbaren Abweichungen von der idealen A-Bewertungskurve nach DIN EN 61672-1 für einen Schallpegel-



Bild 2 Ultraschallreinigungsbad.

messers der Klasse 1 mit Bauartzulassung sind im Sprachfrequenzbereich (Frequenzen zwischen 100 Hz und 8 kHz) eng gehalten, mit Abweichungen von maximal +2,1 und - 3,6 dB bei 8 kHz. Für tiefere und höhere Frequenzen wird der Korridor deutlich breiter, bis er schließlich bei der Frequenz von 20 kHz Abweichungen von +4 dB bis -∞ dB von der idealen A-Bewertungskurve für einen Schallpegelmessers der Klasse 1 erlaubt. Eine vollständige Übersicht ist in der Schallpegelmessernorm DIN EN 61672-1 zu finden.

Um diesen und anderen Unwägbarkeiten zu begegnen, ist mit Erscheinen der VDI 3766 „Ultraschall – Arbeitsplatz – Messung, Bewertung, Beurteilung und Minderung“ im September 2012 ein spezielles Verfahren zur Messung, Bewertung, Beurteilung und Minderung der Schallexposition durch Ultraschall am Arbeitsplatz publiziert worden [5]. Nach dieser Richtlinie soll im Beisein von Ultraschall eine Bewertung der Lärmexposition grundsätzlich nach Anwendung des AU-Frequenzbewertungsfilters [3] erfolgen. Diese Bewertungskurve stimmt im Frequenzbereich bis 10 kHz mit der A-Frequenzbewertung überein und unterdrückt höhere Frequenzen dann deutlich stärker als die A-Bewertung. Eine Darstellung der Bewertungskurven als Funktion der Frequenz ist in Bild 3 zu finden.

Um eine Bewertung der Gefährdung durch Ultraschall am Arbeitsplatz vorzunehmen, kann dann aus den gemessenen AU-bewerteten Schalldruckpegeln – in Anlehnung an das Mess- und Beurteilungsverfahren der DIN EN ISO 9612 – der AU-bewertete Lärmexpositionspegel $L_{EXAU,8h}$ bestimmt werden. Zusätzlich ist der unbewertete Spitzenschalldruckpegel $L_{Z,peak}$ zu messen. Für diese beiden

Messgrößen gibt die VDI 3766 zwei Richtwerte an. Um eine Gehörschädigung im Sprachfrequenzbereich (bis 8 kHz) zu vermeiden, soll nach der Richtlinie der AU-bewertete Lärmexpositionspegel $L_{EXAU,8h}$ den Wert von 85 dB(AU) nicht überschreiten. Ebenso soll der Z-bewertete Spitzenschalldruckpegel $L_{Z,peak}$ niedriger als 140 dB sein. Die VDI 2058 Blatt 2 „Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung“ von September 1988 nennt einen weiteren Richtwert: Der Terzschalldruckpegel der Terz mit Mittenfrequenz 20 kHz $L_{Z, Terz, 20kHz}$ soll den Wert von 110 dB nicht überschreiten. Dann sind bleibende Gehörschäden durch luftgeleiteten Ultraschall nicht wahrscheinlich. Tabelle 1 fasst diese Richtwerte zusammen.

Weiterhin muss das Eindringen von intensivem Ultraschall durch direkten Kontakt auf den Schädelknochen ausgeschlossen werden. Auch sonstige Ultraschalleinleitung in den Körper, beispielsweise durch Arbeiten in einem Ultraschallreinigungsbad bei eingeschalteter Sonotrode ohne Tragen von geeigneten Schutzhandschuhen, soll möglichst vermieden werden. Sonst kann es zu lokalen Effekten wie Durchblutungsstörungen in den Fingern oder anderen Beeinträchtigungen des vegetativen Nervensystems kommen [11].

Probleme bei der Messdurchführung

Durch die sehr kurzen Wellenlängen ist das Verhalten von Ultraschall in einigen Aspekten extremer als von der Hörschallausbreitung bekannt. Die Dämpfung von Ultraschall in Luft ist ver-

gleichsweise hoch und die Abstrahlung deutlich gerichteter als bei Frequenzen im Hörschallbereich. Dadurch kann es in der Nähe von Ultraschallquellen auch zu starken lokalen Pegelunterschieden bei Verschiebung der Messposition um wenige Zentimeter kommen. Zum einen kann die Ultraschallbelastung am Arbeitsplatz so sehr effektiv durch einfache Kapselungen reduziert werden – etwa durch Plexiglas-Einhausungen. Zum anderen kann es durch kleine Lücken in der Kapselung aber auch lokale Bereiche mit unverändert hoher Ultraschallbelastung geben.

Die korrekte messtechnische Erfassung einer Ultraschallbelastung am Arbeitsplatz wird durch die gerichtete Abstrahlung erschwert. Im Gegensatz zu den sonst üblichen stationären Messungen bzw. dem Verfolgen der sich bewegenden arbeitenden Person muss im Beisein von Ultraschall der Aufenthaltsbereich vor der Maschine sehr genau mit dem Mikrofon abgescannt werden, um auch mögliche Bereiche mit besonders hoher Ultraschallbelastung zu erfassen. Hier kann das Messergebnis maßgeblich von der Sorgfalt der Durchführung abhängen.

Grenzwerte

Bei Betrachten der in Deutschland geltenden Richtwerte stellt sich die Frage, warum es beispielsweise nur für die Terz mit Mittenfrequenz 20 kHz eine Pegelbegrenzung gibt, nicht aber für die benachbarten Terzen. Ein Geräusch mit ausgeprägtem Energieanteil in der 16-kHz-Terz wird durch die AU-Bewertung um knapp 15 dB mehr

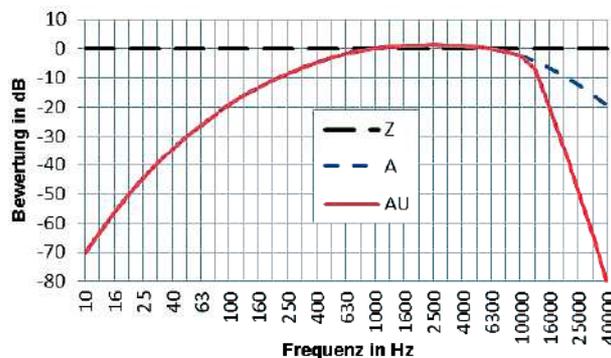


Bild 3 Frequenzbewertungskurven Z (schwarz, lang gestrichelt), A (blau, kurz gestrichelt) und AU (rot, durchgezogen).

Bezeichnung	Richtwert	Herkunft
$L_{EXAU,8h}$	85 dB	VDI 3766
$L_{Z,peak}$	140 dB	VDI 3766
$L_{Z, Terz, 20kHz}$	110 dB	VDI 2058-2

Tabelle 1 Übersicht über die im Zusammenhang mit luftgeleiteten Ultraschall anwendbaren Richtwerte für die Exposition am Arbeitsplatz.

unterdrückt als durch die A-Bewertung, obwohl es noch im hörbaren Frequenzbereich liegt.

Die Mehrheit der in der produzierenden Industrie eingesetzten Ultraschallmaschinen arbeitet bei Frequenzen zwischen 20 und 40 kHz. Häufig misst man auch deutliche Harmonische bei einem ganzen Vielfachen der Arbeitsfrequenz und deutliche Subharmonische bei der halben Arbeitsfrequenz. Subharmonische, die in den Hörschallbereich fallen, können dabei besonders lästig sein, selbst wenn ihr Pegel in einem für das Gehör nicht gefährlichen Bereich liegt. Auch wenn keine Subharmonischen messbar sind, kann das Trommelfell durch unmodulierten Ultraschall zu subharmonischen Schwingungen angeregt werden [9].

Zwar gibt es nach VDI 3766 und VDI 2058-2 mehrere Richtwerte, die zur Gefährdungsbeurteilung durch Ultraschall herangezogen werden könnten, jedoch treffen diese allesamt nur eine Aussage zum möglichen Schädigungspoten-

Terzmittenfrequenz in kHz	Maximaler 5-Minuten-Terzbandpegel $L_{Z, Terz, 5min}$ in dB
16	90
20	110
25	110
31,5	110
40	110

Tabelle 2 Vorschlag zur Erweiterung der Richtwerte für die maximalen 5-Minuten-Terzbandpegel bei Exposition mit Ultraschall [7].

zial im Sprachfrequenzbereich, also bis 8 kHz. Für den Hörfrequenzbereich oberhalb von 8 kHz stellt sich die Situation deutlich anders dar. Da Audiometrie meist nur bis zu Frequenzen von 8 kHz stattfindet, liegen für den hochfrequenten Hörfrequenzbereich nur wenige Untersuchungsergebnisse vor. Auch zu möglichen Schädigungen durch reinen luftgeleiteten Ultraschall wird in der VDI 3766 keine Aussage getroffen, obwohl bekanntlich viele Menschen durch extraaurale Symptome wie Schwindel, Übelkeit, Druckgefühl auf den Ohren oder Kopfschmerzen beeinträchtigt werden, wenn sie Ultraschall bei höheren Pegeln ausgesetzt sind. Der Wirkungsmechanismus ist allerdings noch un-

bekannt [10]. Hier sind weitere Studien notwendig, um eine Aussage zu Schädigungen durch Geräuscheinwirkung im gesamten Hörfrequenzbereich treffen zu können und gegebenenfalls gut abgesicherte Richtwerte festzulegen. Um extraaurale Symptome zu vermeiden, empfiehlt *Maue* [7] die bestehenden Richtwerte gemäß **Tabelle 2** zu erweitern.

Diese Erweiterung der Richtwerte fügt sich gut in die verschiedenen nationalen Regelungen anderer Länder ein. *Lawton* [8] gibt im ISVR-Report des letzten Jahres eine Übersicht über verschiedene existierende Regelungen. Die Übersichtstabelle des ISVR-Reports ist in **Tabelle 3** wiedergegeben.

Tabelle 3 Maximal zulässige Terzpegel für hohe Frequenzen und luftgeleiteten Ultraschall, entnommen aus dem ISVR-Report Nr. 334 von *Lawton* [8].

one-third-octave band centre frequency (kHz)	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
source:	band Sound Pressure Level (dB)								
Internat. Lab. Off. (1977)	–	–	75	85	110	110	110	110	110
cited in Lee (1980)									
ACGIH, 1979		80	80	80	105	110	115	115	115
WHO (1982)									
Japan, 1971	90	90	90	90	110	110	110	110	110
USSR, 1975	–	–	75	85	110	110	110	110	110
US Air Force, 1976	–	–	85	85	85	85	85	85	–
Sweden, 1978	–	–	–	–	105	110	115	115	115
Canada, 1980	80	80	80	80	80	110	110	110	110
INRC IRPA (1984)									
occupational exposure	–	–	–	–	75	110	110	110	110
general public	–	–	–	–	70	100	100	100	100
cited in Damongeot, André (1985)									
Norway, 1978	–	–	–	–	–		– 120 (octave) –		
Australia, 1981	–	75	75	75	75	110	110	110	110
cited in Tanttari (1986)									
USSR, 1983	–	–	80	90	100	105	110	110	110
Health Canada (1991)	–	–	–	75	75	110	110	110	110
ACGIH (2004)									
8 hours average ceiling values	–	88	89	92	94	–	–	–	–
	–	105	105	105	105	140	145	145	145
cited in Pawlaczyk-Luszczynska et al. (2007)									
Poland, 2002									
L_{eq8h}	–	80	80	80	90	105	110	110	–
L_{max}	–	100	100	100	110	125	130	130	–
US Department of Defence (2010)	–	80	80	80	105	110	115	115	115

Persönliche Schutzmaßnahmen

Wie immer wieder in Betrieben zu sehen ist, tragen die mit Ultraschallverfahren arbeitenden Geräte häufig die Kennzeichnung eines Lärmbereichs. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass dort meist nur wenige Mitarbeiter Gehörschutz tragen. Viele Ultraschallarbeitsplätze sind auch keine Lärm-arbeitsplätze, d. h. der Tageslärmaxpositionspegel liegt dort unter dem oberen Auslösewert von 85 dB(A) bzw. 85 dB(AU). Doch wenn Gehörschutz getragen werden muss, obwohl es am Arbeitsplatz nicht besonders laut ist, fühlen sich viele Arbeitnehmer isoliert. Gespräche unter Kollegen werden deutlich erschwert und das Geschehen rund um den Arbeitsplatz kann nicht mehr hörend wahrgenommen werden. Dies wiederum führt zu einer schlechten Akzeptanz des Gehörschutzes und eventuell auch zu einer Gefährdung der Mitarbeiter, da diese beispielsweise den von hinten herannahenden Gabelstapler bei eingesetztem Gehörschutz erst viel zu spät wahrnehmen können. Auch deshalb ist es wichtig, das Schädigungspotenzial von luftgeleitetem Ultraschall richtig einzuschätzen. Überflüssige Schutzmaßnahmen könnten vermieden und die Mitarbeiter dadurch letztendlich besser geschützt werden.

Dosis-Wirkungs-Beziehung

Ein Hauptproblem beim Umgang mit einer Gefährdungsbeurteilung durch Ultraschall ist das Fehlen einer Dosis-Wirkungs-Beziehung. Bei „klassischem“ Lärm am Arbeitsplatz kann die Norm DIN EN ISO 1999 [2] für die Ableitung einer Dosis-Wirkungs-Beziehung heran-

gezogen werden. Die Norm basiert auf audiometrischen Daten mehrerer tausend Menschen mit wohldefinierter Hörschallexposition. Mithilfe dieser Daten kann ein Zusammenhang zwischen den individuellen Gehörverlusten und der Lärmexposition am Arbeitsplatz hergestellt werden.

Eine solche Beziehung existiert für die Belastung mit Ultraschall nicht. Zudem gibt es längst nicht so viele rein Ultraschall exponierte Menschen. Die Lärmeinwirkung ist typischerweise eine Kombination aus Ultraschall und Schall im Hörbereich und der Einsatz von Gehörschutz hat deutlich zugenommen.

Die Unwissenheit bezüglich der Dosis-Wirkungs-Beziehung für Ultraschall spiegelt sich auch in einer Vielzahl von Grenz- und Richtwerten wider, wie man bei einem Blick auf die Regelungen im internationalen Umfeld schnell feststellen kann, vgl. Tabelle 3 und [8]. Viele dieser Werte wurden in den 1970er- und 1980er-Jahren aufgestellt und seitdem nicht mehr angepasst.

Fazit

In der Industrie ist der Einsatz von Ultraschalltechnologie nach wie vor steigend. Die Lärm- und Vibrations-Arbeitschutzverordnung beschäftigt sich ausschließlich mit Lärm im Hörfrequenz-

bereich, nicht mit Infraschall und Ultraschall. Die VDI 3766 nennt zwei Richtwerte zur Beurteilung der Lärmexposition am Arbeitsplatz im Beisein von Ultraschall. Der Lärmexpositionspegel $L_{EXAU,8h}$ soll 85 dB nicht überschreiten und der Z-bewertete Spitzenschalldruckpegel $L_{Z,peak}$ soll < 140 dB sein. Zusätzlich legt die VDI 2058-2 einen Richtwert von $L_{Z,Terz,20kHz} = 110$ dB für den Z-bewerteten Pegel der Terz mit Mittenfrequenz 20 kHz fest.

Generell ist eine große Unsicherheit bezüglich der Gefährdung durch die Exposition mit Ultraschall festzustellen. Sie äußert sich beispielsweise in von Land zu Land variierenden Richtwerten. Da keine Dosis-Wirkungs-Beziehung für Ultraschall existiert und auch keine ausreichenden Daten für die Erstellung einer solchen vorhanden sind, ist diese Situation nicht kurzfristig zu beheben.

Mittelfristiges Ziel der Prävention muss es sein, dass Ultraschall richtig erfasst und in die Gefährdungsbeurteilung einbezogen wird. Ohne genauere Kenntnisse kann nur empfohlen werden, sich an den Vorgaben der VDI 3766 zu orientieren und zusätzlich die von Maue empfohlenen Höchstwerte für die Terzbandpegel von 16 bis 40 kHz einzuhalten.

TS 372



Autorin

Dr. **Andrea Wolff**,
Institut für Arbeitsschutz
der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung (IFA),
Sankt Augustin.

Literaturverzeichnis

- [1] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten durch Lärm und Vibrationen (Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung – LärmVibrationsArbSchV) vom 6. März 2007. BGBl. I, S. 261, zul. geänd. 19. Juli 2010. BGBl. I, S. 964.
- [2] DIN EN ISO 1999: Acoustics – Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment. Berlin: Beuth Verlag, 2. Aufl. 1990.
- [3] DIN EN 61012: Filter für die Messung von hörbarem Schall im Beisein von Ultraschall. Berlin: Beuth Verlag 1998.
- [4] DIN EN 61672 Blatt 1: Schallpegelmessung Teil 1: Anforderungen. Berlin: Beuth Verlag 2003.
- [5] VDI 3766: Ultraschall – Arbeitsplatz – Messung, Bewertung, Beurteilung und Minderung. Berlin: Beuth Verlag 2012.
- [6] VDI 2058 Blatt 2: Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung. Berlin: Beuth Verlag 1988.
- [7] Maue, J.: Messung und Beurteilung von Ultraschallgeräuschen am Arbeitsplatz. TS 2 (2012) Nr. 7/8, S. 51-55.
- [8] Lawton, B. W.: Exposure limits for airborne sound of very high frequency and ultrasonic frequency, ISVR Technical Report No. 334 (2013).
- [9] Veit, I.: Wirkung von Ultraschall auf das Gehör: Bestandsaufnahme. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, Forschungsbericht Nr. 231 Dortmund 1980.
- [10] Schust, M.: Biologische Wirkung von luftgeleitetem Ultraschall. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsmedizin. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 1996.
- [11] Lips, W.; Hohmann, B.: Ultraschallanlagen als Lärmquellen. Hrsg.: Schweizerische Unfallversicherungsanstalt. Luzern 2. Aufl. 1997.