Schalleinwirkung auf Bediener-Arbeitsplätze an Ultraschall-Schweißmaschinen

Heiko Kusserow[1]

[1] *BG ETEM, 50968 Köln, E-Mail:kusserow.heiko@bgetem.de*

Einleitung

In der industriellen Produktion werden heute in vielen Bereichen Ultraschalltechnologien eingesetzt. Typische Anwendungsbeispiele hierfür sind das Reinigen, Schweißen, Bohren und Schneiden. Aufgrund der energieeffizienten und damit preiswerten Arbeitsweise, ist eine weiterhin ansteigende Zahl der eingesetzten Ultraschall-Geräte, -Maschinen und -Anlagen zu verzeichnen. An Arbeitsplätzen, die in direkter Verbindung zu derartigen Ultraschallquellen stehen, sind Beschäftigte neben Geräuschen im Hörfrequenzbereich (16 Hz bis 16 kHz) auch Schallimmissionen im Ultraschallbereich (> 16 kHz) ausgesetzt.

Mit der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [1] und den zugehörigen Technischen Regeln [2] liegen den Arbeitgebern in Deutschland Vorschriften zur Messung, Bewertung, Beurteilung und Minderung von Lärm am Arbeitsplatz vor. Per Definition beschränken sich diese Dokumente auf Schalleinwirkungen im Hörfrequenzbereich. Ein entsprechendes staatliches Vorschriften- und Regelwerk zu Einwirkungen im Ultraschallbereich existiert nicht. Zur Gefährdungsbeurteilung von Ultraschalleinwirkungen steht in Deutschland lediglich eine auf die 20 kHz-Terzmittenfrequenz beschränkte Grenzwertempfehlung in der fast 30 Jahre alten VDI 2058 Blatt 2 „Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung“ [3] zur Verfügung.

Dieser Beitrag zeigt die Ergebnisse einer Messserie an Bediener-Arbeitsplätzen von Ultraschall-Schweißmaschinen, die unter Berücksichtigung der im September 2012 veröffentlichten VDI 3766 „Ultraschall - Arbeitsplatz - Messung, Bewertung, Beurteilung und Minderung“ [4] durchgeführt wurde.

Die vorgestellte Messserie ist Bestandteil der im Masterstudiengang „Management Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit“ an der Dresden International University entstandenen Masterarbeit „Kritische Betrachtung der deutschen Beurteilungskriterien für berufliche Ultraschalleinwirkungen auf das Gehör im Rahmen eines internationalen Vergleichs und am Beispiel von Ultraschall-Schweißmaschinen“ [5].

Beurteilungskriterien für berufliche Ultraschalleinwirkungen auf das Gehör

Zur Beurteilung der erhobenen Messwerte wurden neben den Auslösewerten der LärmVibrationsArbSchV die nachfolgend aufgeführten Beurteilungskriterien für berufliche Ultraschalleinwirkungen auf das Gehör verwendet.

VDI 2058 Blatt 2: Diese Richtlinie hält bleibende Gehörschäden durch die Einwirkung von luftgeleiteten Ultraschall für unwahrscheinlich, wenn der in Tabelle 1 dargestellte Grenzwert eingehalten wird.

Tabelle 1: Grenzwert-Empfehlung der VDI 2058 Blatt 2

Schalldruckpegelgröße	Grenzwert
$L_{pZeq,Terz\ 20kHz}$	110 dB

VDI 3766: Der Titel der VDI 3766 lässt Empfehlungen zur Beurteilung von Ultraschall am Arbeitsplatz erwarten. Beim genauen inhaltlichen Betrachten ist jedoch festzustellen, dass der Fokus der Richtlinie auf der Vermeidung von Gehörschäden im Sprachfrequenzbereich (100 Hz bis 8 kHz) liegt. Dafür wird mittels einer AU-Frequenzbewertung der vorliegende Ultraschall ausgeblendet und letztendlich nur die verbleibende Hörschallexposition beurteilt. In Tabelle 2 sind die entsprechenden Richtwert-Empfehlungen aufgeführt.

Tabelle 2: Richtwert-Empfehlung der VDI 3766

Schalldruckpegelgrößen	Richtwert
$L_{EXAU,8h}$	85 dB
L_{pZpeak}	140 dB

Höchstwerte nach Maue: Bereits 1996 führte Schust [6] in der Diskussion ihres Reviews kritisch an, dass sich das Beurteilungskriterium für luftgeleiteten Ultraschall in der VDI 2058 Blatt 2 nur auf die 20 kHz-Terz beschränkt. Nachdem auch mit der Veröffentlichung der VDI 3766 keine weiteren Beurteilungskriterien für luftgeleiteten Ultraschall definiert wurden, empfahl Maue [7] zur Vermeidung von subjektiven Beeinträchtigungen und Hörverlusten oberhalb des Sprachfrequenzbereichs die in Tabelle 3 aufgeführten Höchstwerte für Ultraschallquellen.

Tabelle 3: Empfohlene Höchstwerte nach Maue

Terzmittenfrequenz [kHz]	Z-bewerteter maximaler 5-Minuten-Terzschalldruckpegel $L_{pZeq,Terz,5min}$ [dB]
16	90
20	110
25	110
31,5	110
40	110

Ultraschall-Messsystem

Zur Messung von Ultraschalleinwirkungen auf das Gehör muss das Messsystem die Anforderungen der VDI 3766 erfüllen. Im Rahmen der hier beschriebenen Messserie wurde dafür das PC-gebundene Messsystem AkuLap der Firma Dr-Jordan-Design aus Dresden [8] eingesetzt (Abbildung 1).

Das Messsystem entspricht der Klasse 1 nach DIN EN 61672-1 [9] und besteht aus einem Notebook mit ent-

sprechender Analysesoftware, einem externen Messinterface sowie einer Kombination von ¼“-Mikrofon und ½“-Vorverstärker. Mit dem Messsystem AkuLap lassen sich Frequenzen bis 96 kHz erfassen und mittels Oktav-, Terz- oder hochauflösender Spektralanalyse darstellen. An Frequenzbewertungen verfügt das Messsystem über die Z-, A-, C-, U, AU- und Ultra(US1)-Bewertung.

Abbildung 1: Ultraschall-Messsystem AkuLap der Firma Dr-Jordan-Design

Beschreibung der Messorte

Insgesamt wurden im Zeitraum von März 2013 bis April 2015 in 20 verschiedenen Unternehmen 43 Bediener-Arbeitsplätze an Ultraschall-Schweißmaschinen untersucht. Bei den Unternehmen handelte es sich um Hersteller von z. B. Elektrotechnischen Geräten, Schaltern, Leuchten, Schreibgeräten, Medizintechnik, Messtechnik und Fahrzeugtechnik.

Die Hersteller der 43 Ultraschall-Schweißmaschinen waren Branson Ultraschall, Herrmann Ultraschall, KLN mecasonic, KSI Theis, MTH (Maschinenbau Technologie Herrde), Rinco Ultrasonics, Schunk Sonosystems und Telsonic Ultrasonics. Die untersuchten Maschinen wurden zwischen 1985 und 2013 produziert.

Alle Messungen wurden unter Einhaltung der Messvorschriften aus der VDI 3766, bei repräsentativen Arbeitsbedingungen bezogen auf den jeweiligen Arbeitsplatz, durchgeführt. Das Mikrofon befand sich während den Messungen jeweils in Kopfnähe der Maschinenbediener.

Bezüglich der Ergebnisdarstellung wurden die Ultraschall-Schweißmaschinen nach ihrer Arbeitsfrequenz und dem Vorhandensein einer Schallschutzeinrichtung gruppiert (Tabelle 4, Abbildung 2).

Tabelle 4: Gruppierung der 43 Ultraschall-Schweißmaschinen nach ihrer Arbeitsfrequenz und dem Vorhandensein einer Schallschutzeinrichtung

Ultraschall-Schweißmaschinen		
Arbeits-frequenz	ohne Schallschutzeinrichtung	mit Schallschutzeinrichtung
20 kHz	26	10
30 kHz	1	1
35 kHz	4	1

Es erfolgte für die Messserie keine Vorauswahl von bestimmten Ultraschall-Schweißmaschinen. Die vorstehend aufgeführte Verteilung der Stichprobe ist zufällig und erlaubt keinen Rückschluss auf Repräsentativität.

Abbildung 2: Beispiel für eine Ultraschall-Schweißmaschine ohne (Bild links) und mit (Bild rechts) Schallschutzeinrichtung (Vollkapselung)

Messergebnisse

Ein Großteil der im Rahmen dieser Messserie in den Unternehmen vorgefundenen Ultraschall-Schweißmaschinen (36 von 43) hatte eine Arbeitsfrequenz von 20 kHz. Von diesen 36 Ultraschall-Schweißmaschinen wurden 26 ohne Schallschutzeinrichtung betrieben. Abbildung 3 zeigt die Frequenzspektren dieser 26 Ultraschall-Schweißmaschinen.

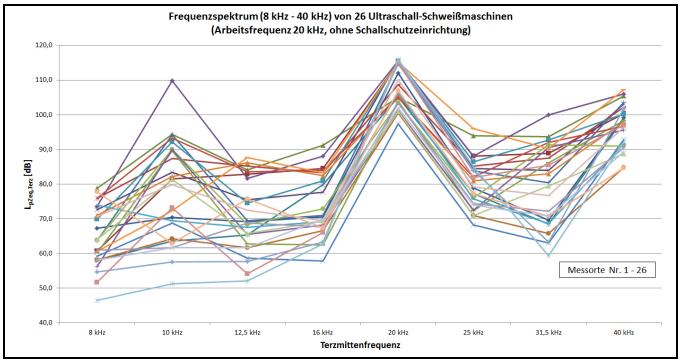

Abbildung 3: Frequenzspektrum (8 kHz - 40 kHz) von 26 Ultraschall-Schweißmaschinen (Arbeitsfrequenz 20 kHz, ohne Schallschutzeinrichtung)

Die Arbeitsfrequenz von 20 kHz ist bei allen Messorten deutlich zu erkennen. Bis auf eine Ausnahme liegen alle Messwerte $L_{pZeq,Terz\ 20kHz}$ oberhalb von 100 dB.

Beim Vergleich der 26 Terzspektren ergibt sich in der 20 kHz-Terz, in der die Arbeitsfrequenz liegt, eine Pegelspanne von 19 dB. Die Pegel der 40 kHz-Terz, die die erste Harmonische beinhaltet, differieren um 22 dB. Anders sieht dies für die Terz der ersten Subharmonischen (10 kHz) aus. Hier beträgt die Pegelspanne der Messwerte 59 dB. Die große Streuung der Messwerte in der 10 kHz-Terz zeigt, dass das Vorhandensein einer Subharmonischen als Begleiterscheinung des Ultraschalls im Hochfrequenzbereich

(8 kHz bis 20 kHz) nicht zwingend als Regel angesehen werden kann.

Der Grenzwert $L_{pZeq,Terz\ 20kHz}$ = 110 dB aus der VDI 2058 Blatt 2 wurde an 11 der 26 Ultraschall-Schweißmaschinen überschritten. Eine Überschreitung des Richtwertes $L_{EXAU,8h}$ = 85 dB aus der VDI 3766 wurde unter der Annahme einer achtstündigen Einsatzzeit der Ultraschall-Schweißmaschinen an 14 Messorten festgestellt. Der ebenfalls aus der VDI 3766 stammende Richtwert L_{pZpeak} = 140 dB wurde an zwei Messorten überschritten. Die von Maue empfohlenen zulässigen Höchstwerte $L_{pZeq,Terz,5min}$ zeigten an insgesamt 13 Ultraschall-Schweißmaschinen eine Überschreitung. In der Kombination aller Beurteilungskriterien waren an insgesamt 19 der 26 Ultraschall-Schweißmaschinen (entspricht 73 %) Grenz- bzw. Richtwertüberschreitungen festzustellen.

In Abbildung 4 sind die Frequenzspektren der 14 Ultraschall-Schweißmaschinen dargestellt, bei denen der L_{pAUeq} oberhalb von 85 dB lag.

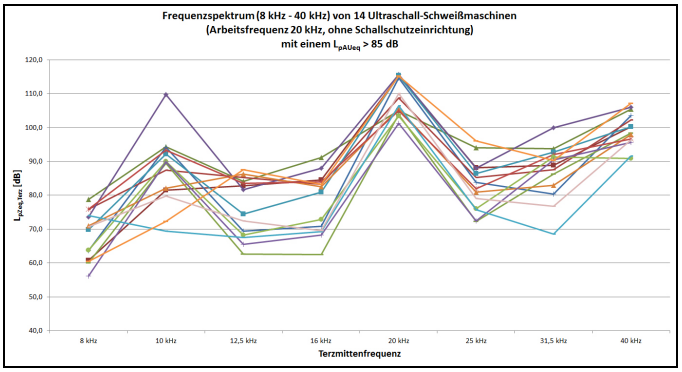

Abbildung 4: Frequenzspektrum (8 kHz - 40 kHz) von 14 Ultraschall-Schweißmaschinen (Arbeitsfrequenz 20 kHz, ohne Schallschutzeinrichtung) mit einem L_{pAUeq} > 85 dB

Es ist in dieser Abbildung zu erkennen, dass mit Ausnahme von zwei Messorten die Überschreitung des Richtwertes $L_{EXAU,8h}$ = 85 dB aus der VDI 3766 allein aus den Schalldruckpegeln der Subharmonischen in der 10 kHz-Terz bzw. aus einer Kombination der Schalldruckpegel in der 10 kHz- und 12,5 kHz-Terz resultiert.

Die 12 Frequenzspektren der Ultraschall-Schweißmaschinen, bei denen der L_{pAUeq} unterhalb von 85 dB lag, sind in Abbildung 5 zu sehen.

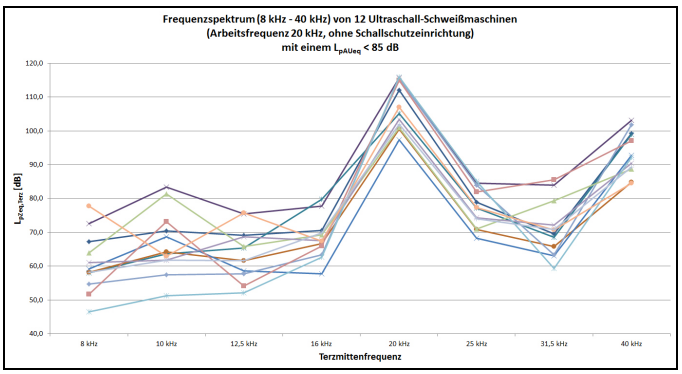

Abbildung 5: Frequenzspektrum (8 kHz - 40 kHz) von 12 Ultraschall-Schweißmaschinen (Arbeitsfrequenz 20 kHz, ohne Schallschutzeinrichtung) mit einem L_{pAUeq} < 85 dB

Zusammengefasst wurden an lediglich 2 der 26 untersuchten Bediener-Arbeitsplätze an 20 kHz-Ultraschall-Schweißmaschinen ohne Schallschutzeinrichtung der Richtwert $L_{EXAU,8h}$ = 85 dB aus der VDI 3766 aufgrund von sonstigen Raumpegeln überschritten. In 12 Fällen resultierte eine Richtwertüberschreitung aufgrund von deutlich ausgeprägten Subharmonischen (Abbildung 4), während es an den verbleibenden 12 Messorten aufgrund von weniger stark ausgeprägten bzw. fehlenden Subharmonischen sowie einem ansonsten relativ niedrigen Restspektrum im Raum zu keiner Überschreitung des Richtwerts kam (Abbildung 5).

An der einen Ultraschall-Schweißmaschine mit 30 kHz-Arbeitsfrequenz und fehlender Schallschutzeinrichtung konnte keine Überschreitung der Beurteilungskriterien für luftgeleiteten Ultraschall und seine Begleiterscheinungen im Hochfrequenzbereich festgestellt werden. Bezogen auf den Hörfrequenzbereich wurde an diesem Messort der untere Auslösewert $L_{EX,8h}$ = 80 dB(A) der LärmVibrationsArbSchV überschritten.

Abbildung 6 zeigt die Frequenzspektren der 4 Ultraschall-Schweißmaschinen mit einer Arbeitsfrequenz von 35 kHz und fehlender Schallschutzeinrichtung.

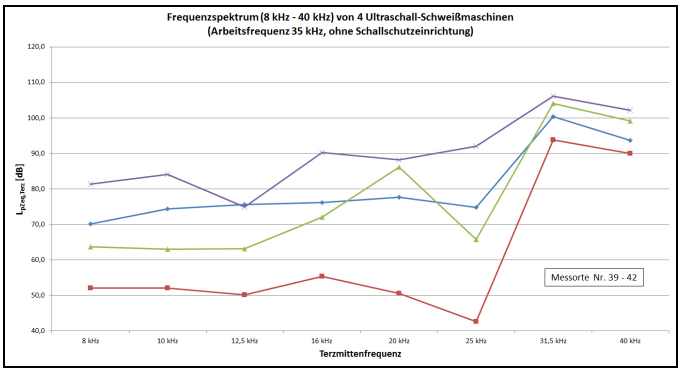

Abbildung 6: Frequenzspektrum (8 kHz - 40 kHz) von 4 Ultraschall-Schweißmaschinen (Arbeitsfrequenz 35 kHz, ohne Schallschutzeinrichtung)

In dieser Abbildung sind sehr gut die Grenzen der Terzbandanalyse aufzuzeigen. Die Arbeitsfrequenz von 35 kHz liegt nah an der oberen Grenzfrequenz der 31,5 kHz-Terzmittenfrequenz (28,1 kHz bis 35,4 kHz), so dass eine eindeutige Erkennung der Arbeitsfrequenz im Frequenzspektrum nicht möglich ist. Gleiches gilt für die Subharmonische, die mit 17,5 kHz nah an der oberen Grenzfrequenz der 16 kHz-Terzmittenfrequenz (14,3 kHz bis 18 kHz) liegt. Bei dem Messort mit der hellgrünen Linie ist die Subharmonische eindeutig zu erkennen, wird aber komplett innerhalb der 20 kHz-Terzmittenfrequenz abgebildet.

Bei den Ultraschall-Schweißmaschinen mit einer Arbeitsfrequenz von 35 kHz und fehlender Schallschutzeinrichtung konnte an einem Messort eine Überschreitung des von Maue empfohlenen, zulässigen Höchstwerts $L_{pZeq,Terz16kHz,5min}$ = 90 dB festgestellt werden. An einem weiteren Messort wurde bezogen auf den Hörfrequenzbereich der untere Auslösewert der LärmVibrationsArbSchV $L_{EX,8h}$ = 80 dB(A) überschritten (Tabelle 5).

An Messort 42 ist ein deutlicher Effekt der hohen Dämmung des U-Filters an der 16 kHz-Terzmittenfrequenz (-13 dB) zu

erkennen. Dies hat eine negative Auswirkung auf das Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung. An dem Schalldruckpegel $L_{pAeq,Hfb}$ = 87,2 dB ($L_{pAeq,Hfb}$ > A-bewerteter äquivalenter Dauerschalldruckpegel, begrenzt auf den Hörfrequenzbereich (16 Hz - 16 kHz)) wird deutlich, dass hier im Sinne der LärmVibrationsArbSchV für den Hörfrequenzbereich eine Gehörgefährdung oberhalb des oberen Auslösewertes vorliegt, was aber im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung durch das Beurteilungskriterium $L_{EXAU,8h}$ in diesem Maße nicht abgebildet wird.

Tabelle 5: Messwerte zu den Messorten 39 bis 42 (Ultraschall-Schweißmaschinen, Arbeitsfrequenz 35 kHz, ohne Schallschutzeinrichtung) mit Bezug zu Beurteilungskriterien

Ultraschall-Schweißmaschinen, Arbeitsfrequenz 35 kHz, ohne Schallschutzeinrichtung									
Lfd. Nr.	Messwerte								
	Diverse Messwerte (energetischer Mittelwert bzw. Maximalwert aus 3 Stichproben)				Z-bewerteter maximaler 5-Minuten-Terzschalldruckpegel LpZeq,Terz,5 min				
	LpAeq,Hfb	LpAUeq	LpZeq,Terz 20 kHz	LpZpeak	16 kHz	20 kHz	25 kHz	31,5 kHz	40 kHz
39	81,6	81,1	77,7	118,0	78,5	79,7	76,9	101,0	94,4
40	68,9	68,9	50,6	127,3	55,9	50,9	43,1	94,0	90,2
41	74,3	73,5	86,1	129,4	73,4	87,3	66,2	104,8	99,8
42	87,2	84,7	88,2	131,9	91,1	89,5	92,5	107,8	103,8

Es konnten an insgesamt 12 Ultraschall-Schweißmaschinen mit Schallschutzeinrichtungen Messungen durchgeführt werden. Davon hatten 10 Ultraschall-Schweißmaschinen eine Arbeitsfrequenz von 20 kHz (Abbildung 7) und jeweils eine Ultraschall-Schweißmaschine die Arbeitsfrequenz 30 kHz bzw. 35 kHz. An keinem dieser 12 Messorte konnten Überschreitungen der Beurteilungskriterien festgestellt werden.

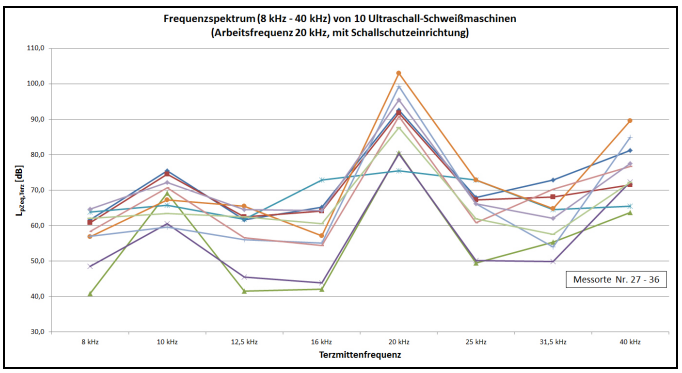

Abbildung 7: Frequenzspektrum (8 kHz - 40 kHz) von 10 Ultraschall-Schweißmaschinen (Arbeitsfrequenz 20 kHz, mit Schallschutzeinrichtung)

Zusammenfassung

In dieser Messserie wurden insgesamt 43 Bediener-Arbeitsplätze an Ultraschall-Schweißmaschinen untersucht. Von diesen 43 Ultraschall-Schweißmaschinen wurden 31 ohne Schallschutzeinrichtung betrieben. An 22 dieser 31 Ultraschall-Schweißmaschinen ohne Schallschutzeinrichtungen (entspricht 71 %) wurde eine Überschreitung der Beurteilungskriterien festgestellt. Im Gegenzug dazu konnte an keiner der verbleibenden 12 Ultraschall-Schweißmaschinen mit Schallschutzeinrichtung eine Überschreitung der Beurteilungskriterien dokumentiert werden.

Die Ergebnisse dieser Messserie bekräftigen die Forderung, Ultraschall-Schweißmaschinen bereits herstellerseitig nur mit einer Schallschutzeinrichtung (Kapselung) zu vertreiben.

Als ein weiteres Ergebnis der durchgeführten Messserie ist die Besonderheit der 16 kHz-Terzmittenfrequenz anzuführen. Mit den Messergebnissen konnte belegt werden, dass es an dieser Stelle bei Ultraschall-Schweißmaschinen mit einer Arbeitsfrequenz von 30 kHz bzw. 35 kHz durch den Richtwert der VDI 3766 ($L_{EXAU,8h}$ = 85 dB) zu einer Unterschätzung der Hörschallexposition im Sinne der LärmVibrationsArbSchV kommen kann.

Bezogen auf die Gefährdungsbeurteilung nach LärmVibrationsArbSchV fehlen staatliche Definitionen, mit welchen Schallpegelgrößen die Hörschallexposition an derartigen Arbeitsplätzen zu beurteilen ist und wie ein entsprechender Tages-Lärmexpositionspegel berechnet wird, wenn Beschäftigte verschiedene Tätigkeiten mit und ohne Ultraschalleinwirkung ausführen.

Literatur

[1] LärmVibrationsArbSchV, vom 19.07.2010 (06.03. 2007): Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung - LärmVibrationsArbSchV). URL: http://www.baua.de/trlv.

[2] TRLV Lärm, 2010: Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung. URL: http://www.baua.de/trlv.

[3] VDI 2058 Blatt 2, Juni 1988: Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung.

[4] VDI 3766, September 2012: Ultraschall - Arbeitsplatz - Messung, Bewertung, Beurteilung und Minderung.

[5] Kusserow, Heiko (2015): Kritische Betrachtung der deutschen Beurteilungskriterien für berufliche Ultraschalleinwirkungen auf das Gehör im Rahmen eines internationalen Vergleichs und am Beispiel von Ultraschall-Schweißmaschinen. Masterarbeit im Studiengang „Management Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit“ an der Dresden International University.

[6] Schust, Marianne (1996): Biologische Wirkung von luftgeleitetem Ultraschall. Literaturdokumentation 4. Bremenhaven: Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft GmbH.

[7] Maue, Jürgen H. (2012): Messung und Beurteilung von Ultraschallgeräuschen am Arbeitsplatz. In: Technische Sicherheit Bd. 2 (Nr. 7/8), S. 51–55.

[8] Dr-Jordan-Design (Hg.) (2015): Ultraschall Messsystem bis 96 kHz. Dr-Jordan-Design. URL: http://wwwi.akulap.de/joomla/components/com_jshopping/files/demo_products/FLYER_Ultraschall.pdf, zuletzt geprüft am 20.05.2015.

[9] DIN EN 61672-1, Juli 2014: Elektroakustik - Schallpegelmesser - Teil 1: Anforderungen.