



Gerhard HIMMER, Dipl.-Ing. Dr.techn., Jahrgang 1958, Studium Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau an der TU Graz, seit 1988 Assistent am Institut für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften, Abteilung für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung der TU Graz mit Aufgabenschwerpunkt Arbeitswissenschaft. Lehraufträge für Kreativitätstechniken und Logistik, Dissertation zum Thema: „Technoökonomische und humane Aspekte der Ultraschallanwendung in Industriebetrieben“, Promotion 1992

Leistungsschall – Anwendung mit Risiken?

Mit neuen Materialien halten auch neue Bearbeitungsverfahren Einzug in die moderne Fertigung. In einigen, heute noch eng begrenzten Bereichen, ist Leistungsschall das Verfahren der Wahl. Wo aber technische und ökonomische Aspekte für das Verfahren sprechen, werden seitens der Arbeitsmedizin Argumente gegen diese Technologie ins Feld geführt.

In diesem Bericht soll – ausgehend von einer kurzen Darstellung der Einsatzmöglichkeiten von intensivem Schall – die Frage der Belastung an Schallarbeitsplätzen in Österreichs Industrie und einer allfälligen Gefährdung der Betroffenen aufgezeigt werden.

1. Einleitung

Die Geschichte des technisch genutzten Schalls – Schall jenseits von 20 kHz – ist im Vergleich zur allgemeinen Akustik noch relativ jung. Methoden zu seiner Erzeugung waren zum Beginn des 20. Jahrhunderts nur in sehr beschränktem Ausmaß bekannt. Der eigentliche Startschuß für die Schalltechnik fiel im 1. Weltkrieg, als die Bedrohung durch U-Boote das Bedürfnis verstärkte, Objekte unter Wasser rechtzeitig orten zu können. Seit diesen Anfängen entwickelte sich die Schalltechnik, sowohl was die Methoden der Schallerzeugung wie auch die Anwendungsmöglichkeiten betrifft, stetig fort.

Heute spielt Schall in der industriellen Fertigung – im Vergleich zu konventionellen Fertigungsverfahren – zwar eine geringe Rolle, in einigen Nischen ist Leistungsschall aber nicht mehr wegzudenken. Da die Technologie auf dem Einbringen von leistungsintensivem, hochfrequentem Schall beruht, ist die Sorge, daß dieser das Hörvermögen des Bedienungspersonals gefährdet, groß. Dies umso mehr, als bei schallbelasteten Personen vereinzelt Symptome wie Unwohlsein, Schwindel und Übelkeit festgestellt werden müssen.

sonals gefährdet, groß. Dies umso mehr, als bei schallbelasteten Personen vereinzelt Symptome wie Unwohlsein, Schwindel und Übelkeit festgestellt werden müssen.

2. Schall im betrieblichen Einsatz – Eingrenzung des Untersuchungsumfanges

Die heute wohl bekanntesten Einsatzgebiete von Schall im technischen Bereich sind die einzelnen Verfahren der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung und in der Medizin alle sonographischen Methoden der Diagnostik. Bei diesen Anwendungen wird die Fähigkeit des Schalls ausgenutzt, Informationen zu übertragen, während es auf die in Schallwellen transportierte Energie nicht ankommt. Insbesondere ist bei diesen sogenannten „Kleinsignalanwendungen“ nicht beabsichtigt, irgendwelche Veränderungen im beschallten Material hervorzurufen.

Demgegenüber finden in der industriellen Produktion Schallverfahren Anwendung, mit deren Hilfe Material-

ien und Gegenstände in einer gewünschten Art verändert werden. Man spricht in diesem Zusammenhang von „Leistungsschallanwendung“. Dabei werden die speziellen Wirkungsmechanismen genutzt, die der Schall durch Umsetzung der Schallenergie in den Medien hervorruft. Für die Erzielung der genutzten Effekte bietet die hohe Schallfrequenz eine Reihe von Vorteilen. So kann man Schall schon von relativ kleinen Schallsendern stark gebündelt abstrahlen und ihn so in gewünschte Bereiche lenken. Auf Grund seiner „quasioptischen“ Schallausbreitungscharakteristik kann man Schall problemlos mit Linsen und Hohlspiegeln fokussieren und auf diese Weise die für die Bearbeitung notwendigen hohen Energie- und Leistungsdichten erreichen [1]. Die Wirkung von hochfrequentem Schall in den betroffenen Materialien ist stark von dessen akustischen Parametern abhängig - und hier sind es besonders die Frequenz und die Intensität des Schalls die seine Wirkung bestimmen.

Während bei den - für die weiteren Betrachtungen ausgeklammerten -



Meßanwendungen geringste Energiedichten bei hohen Frequenzen, etwa im Bereich von 1-4 MHz verwendet werden, ist die Leistungsschallanwendung auf einen schmalen Frequenzbereich von 20-50 kHz beschränkt. Dort werden aber – abhängig von der Anwendung – Schalleistungen von mehreren kW erzielt. Gerade diese beiden Tatsachen – die hohe akustische Leistung und der dem Hörbereich des Menschen benachbarte Frequenzbereich – sind es, die den Einsatz von Leistungsschall aus arbeitsmedizinischer Sicht beobachtenswert erscheinen lassen.

Die wichtigsten Einsatzgebiete des Leistungsschalls in der industriellen Praxis sind:

- Reinigung mittels Ultraschall
- Schweißen von Kunststoffen und Metallen
- Bohren in härtesten Materialien (Diamanten, keramische Werkstoffe etc.)
- Schneiden spezieller – nämlich zäher – Werkstoffe und
- Desintegration in der chemischen und Lebensmittelindustrie

Die meistverbreitete industrielle Anwendung findet energiereicher Ultraschall bei der Reinigung von Halbfabrikaten und Fertigprodukten, welche von Rückständen vorgelagerter Bearbeitungsschritte befreit werden müssen. Dabei handelt es sich oft um Schmier- und Kühlstoffe, bei hochsensiblen Teilen aber auch nur um Fingerabdrücke. Werden zu deren Entfernung konventionelle Tauch- und Dampffentfettungsverfahren angewandt, kommen verbreitet Lösungsmittel zum Einsatz, die – wegen ihrer Toxizität – sowohl für das Bedienungspersonal wie auch die Umwelt ein Risiko darstellen. Demgegenüber bietet die Ultraschallreinigung den Vorteil, daß Lösungsmittel auf wässriger Basis eingesetzt werden können – was ökologisch einen ungeheuren Vorteil darstellt – und gleichzeitig das

Reinigungsergebnis gegenüber dem Dampffentfetten bei einer Minimierung der Reinigungszeit bis auf das sechzigfache verbessert wird [8].

Mit Ultraschall können sowohl Thermoplaste wie auch die verschiedensten Metalle verschweißt werden. Obwohl dabei völlig unterschiedliche Mechanismen zum Tragen kommen, sind die verwendeten Anlagen praktisch ident. Verbreitetes Einsatzgebiet ist die kunststoffverarbeitende Industrie; das Schweißen von Metallen tritt demgegenüber eher in den Hintergrund. Die Vorzüge des Ultraschallschweißens von Plasten sind geringe Energiekosten und genaueste Maßhaltigkeit der Schweißzonen, was beides auf die gute Fokussierung des Ultraschalls zurückzuführen ist. Beim Metallschweißen ist es die Möglichkeit der schonenden Verbindung kleinster und empfindlichster Teile, die diese Technologie interessant macht, was beispielsweise beim „Bondern“ von Mikrochips, also dem Anschweißen der Verbindungsdrähte zwischen Sockel und Chip, ausgenutzt wird. Die Scherfestigkeit dieser Verbindungen kann die des Grundmaterials erreichen oder sogar überschreiten [7]. Die Wechselfestigkeit von Metallverschweißungen auf Ultraschallbasis ist dagegen 4- bis 7-mal größer als die bei

der Widerstandsschweißung erzielbaren Werte.

Heute spielen in der Produktion immer leichtere Materialien wie faserverstärkte Kunststoffe eine immer bedeutendere Rolle. Materialien also, deren Vorstufen bisher wegen ihrer großen Zähigkeit ausschließlich per Hand in die entsprechende Ausgangsform zugeschnitten werden konnten. In einer Großserie mit entsprechenden Qualitätsauflagen ist ein Zuschnitt dieser sogenannten „preg materials“ ausschließlich mit Ultraschallschneidmaschinen möglich. Konkurrenzverfahren wie Laser- oder Wasserstrahlschneiden kommen aus qualitativen Gründen, andere mechanische Trennverfahren aus Effizienzgründen nicht zum Tragen.

Zu den ältesten Anwendungen von Ultraschall hoher Intensität im Industriebetrieb gehört das Bohren von harten und spröden, vorzugsweise nichtmetallischen Werkstoffen. Funktionsprinzip ist, daß das schwingende Bohrwerkzeug in einer Schleifmittelsuspension eintaucht und dadurch die Schleifpartikel auf die zu bearbeitende Oberfläche geschleudert werden. Die dabei erzielte Bearbeitungsgeschwindigkeit hängt im entscheidenden Maße von der Art des zu bearbeitenden Materials ab. Für herkömmliche Metalle ergeben

| US-Verfahren (vs. herk. Verfahren) | Investitions-kriterien | Effizienz | Investitions-kosten | Personal-kosten | Sozial-kosten | Energie-kosten | Material-kosten | Hilfs-u. Betriebs-stoffkosten | Qualitäts-kosten | Transport-kosten | nachgelagerte Bearbeitungs-schritte |
|--|------------------------|-----------|---------------------|-----------------|---------------|----------------|-----------------|-------------------------------|------------------|------------------|-------------------------------------|
| US-Reinigen (Tauchreinigen) | | ↑↑ | ↗ | ↖ | ↓↓ | ↖ | → | ↓ | ↓↓ | → | ↓ |
| US-Schweißen (Met.) (Wrappen) | | ↖ | → | → | → | ↑ | ↖ | → | ↓ | → | → |
| US-Schweißen (Plast.) (therm. Schweißen) | | ↑ | ↑ | ↖ | ↓ | ↓ | → | → | ↓ | ↖ | ↓ |
| US-Polieren (händisches Polieren) | | ↑↑ | ↑ | ↓ | ↖ | ↖ | → | ↖ | ↖ | → | → |
| US-Desintegrieren | | ↑↑↑ | ↖ | → | ↖ | ↖ | → | → | → | ↗ | → |
| US-Bohren (konvent. Bohren) | | ↑ | ↗ | → | → | ↖ | → | → | ↓↓ | → | ↖ |
| US-Schneiden (mech. Abscheren) | | ↑↑ | ↗ | ↓ | → | → | ↖ | → | ↓↓ | → | → |

| | | | | | |
|---|--|------------------------|------------|-------------------|-------------------------|
| Trendverlauf der Invest.-Kriterien bei Anwendung einer US-Technologie | → gleichbleibend | ↖ tendenziell steigend | ↑ steigend | ↑↑ stark steigend | ↑↑↑ sehr stark steigend |
| | ↗ Trend stark von eingesetzter Anlagenkonfiguration abhängig | ↖ tendenziell fallend | ↓ fallend | ↓↓ stark fallend | |

Abb. 1: Veränderung von wirtschaftlichen Größen beim Wechsel von einer herkömmlichen Technologie auf ein vergleichbares Ultraschallverfahren

sich beispielsweise geringe Abtragleistungen; andere Bearbeitungstechnologien sind hier viel effizienter. Weit besser eignet sich das Verfahren für harte und spröde Materialien wie Keramikwerkstoffe, deren Bearbeitungsgeschwindigkeit um Zehnerpotenzen höher als etwa bei Stahl liegt.

Desintegration umfaßt den Einsatz von Leistungultraschall zur Extraktion und zur Dispergierung (Emulgierung, Homogenisierung, Aerosolerzeugung). Im Vergleich, etwa mit der Ultraschallreinigung, werden bei der Desintegration sehr hohe Leistungsdichten von bis zu 400 W/cm erreicht. Das führt bei biologischem Material zur Zerstörung der Zellwände und zur Dispersion suspensierter Festkörper. Bei der verfahrenstechnischen Gewinnung von Proteinen und Enzymen aus dem Inneren von biologischen Zellen spielt Ultraschall deshalb eine bedeutende Rolle.

Für all diese Bearbeitungsverfahren stehen natürlich herkömmliche Alternativen zur Verfügung. Die Begründung für die Wahl von Ultraschall als technologisches Verfahren ist stark von den Randbedingungen des Einsatzes abhängig. Sprechen nicht von vornherein technische Kriterien für den Ultraschalleinsatz – was dann der Fall ist, wenn kein anderes Verfahren qualitativ und quantitativ vergleichbare Ergebnisse liefern kann – so sind letztendlich immer wirtschaftliche Aspekte für dessen Einsatz ausschlaggebend. Und hier hat diese Technologie einiges zu bieten.

3. Ökonomische Aspekte des Ultraschalleinsatzes

Ein Überblick über einige wesentliche wirtschaftlichen Kriterien, die einer Investitionsentscheidung zugunsten der einen oder anderen Fertigungstechnologie als Basis dienen, zeigt deutlich, wo die wirtschaftlichen Vorteile der Ultraschallverfahren liegen (Abb. 1). Da sich diese wegen der stark streuenden Randbedingungen (wie bearbeitete Materialien, Einsatztemperatur, Wahl der Werkzeuge, Hilfsstoffe etc.) von Anwendung zu Anwendung unterschiedlich darstellen, können nur Trendaussagen gemacht werden, wie in einer Gegenüberstellung herkömmliche Verfahren im Vergleich zu Ultraschallverfahren wirtschaftlich abschneiden.

Die Gegenüberstellung zeigt, daß bei den Anschaffungskosten Ultraschallanlagen fast immer ein höheres Investitionsvolumen als herkömmliche Anlagen mit ähnlichen Leistungsmerkmalen

erfordern. Kostenrechnerisch bedeutet dies einen höheren Fixkostenanteil und macht Ultraschall daher zu einer klassischen Großserientechnologie. Demgegenüber steht aber ein Bündel anderer kostenwirksamer Faktoren, die den Einsatz von Ultraschall aus wirtschaftlicher Sicht durchaus rechtfertigen.

Es ist vor allem die Effizienzsteigerung, die die Ultraschallverfahren von den herkömmlichen Verfahren abhebt. Dies kann beispielsweise beim Desintegrieren mit Hilfe von Ultraschall soweit führen, daß die Ausbringung eines verfahrenstechnischen Prozesses auf das Fünzigfache (!) steigt.

Bei personalintensiven Fertigungsverfahren verhalten sich Personalkosten generell indirekt proportional zur Effizienz des untersuchten Bereiches. Wo auf Ultraschall basierende Verfahren solche ersetzen, kann teilweise mit einer erheblichen Reduktion dieser Kostenanteile gerechnet werden. Ein krasses Beispiel ist die Substituierung von 15 ungelerten Arbeitnehmern, die Reinigungsarbeiten an Halbzeugen durchführten, durch eine Ultraschallwaschanlage. Die Amortisationszeit betrug 4 Monate.

Subsummiert man unter Sozialkosten alle gesetzlichen und freiwilligen Aufwendungen, die intern den Arbeitnehmerschutz und extern alle Aktivitäten zur Vermeidung von realen Beeinträchtigungen oder Schäden Dritter betreffen, so sind in diesem wirtschaftlichen Verfahrensvergleich Aufwendungen für den Schutz am Arbeitsplatz und den Umweltschutz gemeint [4]. Deutliche Kosteneinsparungspotentiale zeigen sich bei der Ultraschallreinigung mittels wässriger Reinigungslösung. Wegen des Einsatzes umweltverträglicher Lösungsmittel sind am Arbeitsplatz keine weiteren kostenintensiven Umwelt- und Arbeitnehmerschutzauflagen zu erfüllen. Darüber hinaus sind die Entsorgungskosten wegen der relativ unkomplizierten Trennungsmöglichkeit Wasser/Verunreinigungsrückstände gering.

Energiekosten sind ein entscheidender Kostenfaktor in der Kostenstruktur eines Produktionsunternehmens. Nun zeichnen sich die meisten Ultraschallbearbeitungsverfahren nicht durch hohe Energieintensität aus. Dies deshalb, da im Gegensatz zu vielen konkurrierenden Bearbeitungstechnologien, die Energieform Ultraschall gezielt an den vorgesehenen Ort geleitet und gebündelt werden kann. Durch die Möglichkeit der gezielten Einleitung verringern sich die energetischen Ver-

luste im Vergleich zu anderen Verfahren erheblich.

Auffallend bei einem Verfahrensvergleich ist, daß die Qualitätskosten, hauptsächlich die Schadensfolgekosten, bei fast allen Ultraschallverfahren weit unter denen der Konkurrenzverfahren liegen. Das heißt, daß mit Hilfe von Ultraschall qualitativ bessere Bearbeitungsergebnisse erreicht werden können, was im Hinblick auf eine Stabilität des Produktionsprozesses entsprechende Bedeutung besitzt.

Bei einigen Ultraschallverfahren ist ein Rationalisierungspotential dadurch gegeben, daß einzelne, nachgelagerte Arbeitsschritte – im Gegensatz zu Alternativtechnologien – entweder stark verkürzt oder überhaupt weggelassen werden können.

4. Ultraschall als Belastungs-/Beanspruchungsfaktor

Bei der Beantwortung der Frage nach dem möglichen Schädigungspotential von Ultraschall muß man grundsätzlich unterscheiden, um welche Form der Schallart es sich bei der Schalleinwirkung auf den menschlichen Körper handelt. Hier muß zwischen körpergeleitetem Ultraschall – also direkt in Körpergewebe eingeleitetem Schall – und luftgeleitetem Schall unterschieden werden. Die Direkteinleitung von Ultraschall, die zu schwerwiegenden Schädigungen des Gewebes führen könnte, kann durch sicherheitstechnische Maßnahmen vermieden werden. Anders verhält es sich bei luftgeleitetem Ultraschall, der weniger gut durch strukturelle Maßnahmen in der Anlage auszuschalten und deshalb an industriellen Ultraschallarbeitsplätzen verbreitet ist.

Die Wirkung dieser Form von Schall auf den Menschen läßt sich unter zwei Aspekten betrachten

- Auswirkungen auf das Gehörorgan (aurale Auswirkung) hinsichtlich des Entstehens eines schallbedingten Hörschadens.
- Auswirkungen auf den Gesamtorganismus (extraaurale Auswirkung) durch Beeinflussung von Organen und Organsystemen (z.B. Herz - Kreislaufsystem, Magen - Darmtrakt, Hormonsystem)

Die Belastung ist durch die Belastungshöhe und die Belastungsdauer determiniert, wobei die Belastungshöhe wesentlich vom Ultraschallverfahren und hier von der Arbeitsfrequenz der Anlage und der abgestrahl-

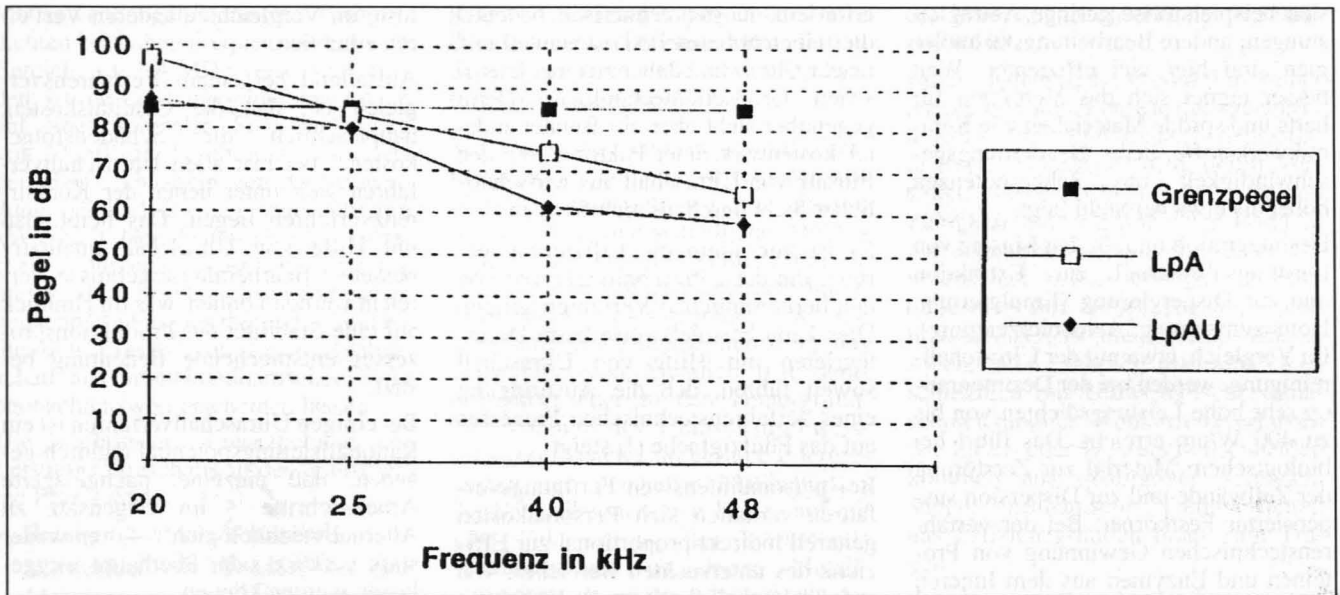


Abb. 2: Verlauf der durchschnittlich an Ultraschallwaschanlagen gemessenen Schalldruckpegel über die verschiedenen Einsatzfrequenzen

ten Leistung abhängt. Weiters spielen die Randbedingungen des Einsatzes (beispielsweise vorhandene Schallschutzmaßnahmen, Schallreflexionen) eine wichtige Rolle. Die individuelle Reaktion von Personen auf eine Belastung – die Beanspruchung – ist uneinheitlich und von der Belastung selbst und der persönlichen Belastbarkeit des Menschen abhängig. Sobald bei Belastung eine – auch nur kurzfristige – Beanspruchungsreaktion des Menschen festgestellt werden kann, wird davon ausgegangen, daß bei dieser Belastungshöhe langfristiger Einwirkung mit bleibenden Schädigungen des Organismus zu rechnen ist.

Akustisch gesehen wird die Belastungshöhe durch den Schalldruck und die Frequenz bestimmt. Die Berücksichtigung der Frequenz ist deshalb wichtig, da das Hörvermögen des menschlichen Ohrs stark frequenzabhängig ist und bei Frequenzen über dem normalen Hörbereich rasch abnimmt. Um diese frequenzmäßige Nichtlinearität der Schallempfindung bei Schallmessungen berücksichtigen zu können, werden international frequenzkorrigierende Filter eingesetzt. Im „Sprachbereich“ ist das A-Filter gebräuchlich, das die beste Übereinstimmung zwischen den gemessenen Werten und der störenden und schädigenden Wirkung von Schall aufweist. Im obersten Hörbereich ist diese Übereinstimmung aber nicht mehr gegeben, weshalb für diesen Bereich ein Zusatzfilter, das U-Filter, erarbeitet wurde. In Kombination ergeben diese beiden Filter das AU-Filter, mit dessen Hilfe

ultraschallhaltiger Lärm meßbar ist. Nach der in Österreich geltenden Gesetzeslage darf während einer 8-Stundenschicht die Belastung durch ultraschallhaltigen Lärm einen Schalldruckpegel von 85 dB (AU) nicht überschreiten, wenn Beeinträchtigungen durch luftgeleiteten Ultraschall vermieden werden sollen [9].

Die gesetzlichen Regelungen sind europaweit sehr uneinheitlich, was auf unterschiedliche Auffassungen über noch tolerierte Schalldruckpegelwerte in einzelnen Frequenzbändern zurückzuführen ist.

5. Wirkung von Ultraschall

Ist eine Person zu hohen Ultraschallbelastungen ausgesetzt, können sich unterschiedliche Wirkungen zeigen. Extraauralen Wirkungen – also solche, die nicht das menschliche Ohr betreffen, reichen von leichter Erwärmung der Körperoberfläche bis hin zu Tod und sind nur theoretisch aus den Ergeb-

nissen von Tierversuchen auf den Menschen hochgerechnet. Bei luftgeleitetem Ultraschall, speziell aber bei industriellen Pegeln sind solche massiven Wirkungen ausgeschlossen. Bis heute aber nicht geklärt ist, ob – wie beim Hörschall – vegetative Schädigungen auch durch Pegel geringerer Intensität entstehen können. Diese bestehen im wesentlichen in einer möglichen Erhöhung des Blutdruckes oder der Ausbildung einer chronischen Stoffwechselstörung. Beides ist aber aufgrund bisheriger Forschungsergebnisse nicht zu erwarten. Verbreitet treten aber bei Personen, die an industriellen Ultraschallanlagen arbeiten, Beschwerden wie Kopfwahl, Schwindel und Ohrensausen auf [1]. Die Ursache dieser Phänomene ist bis heute ungeklärt.

Sind bei industriellen Anwendungen extraaurale Wirkungen breiteren Ausmaßes kaum zu erwarten, könnte übermäßige Belastung durch Ultraschall aurale Wirkungen haben. Eine Schädigung

| Abdeckung offen | | | Abdeckung geschlossen | | |
|----------------------|-----------------------|--|-----------------------|-----------------------|--|
| L _{pA} (dB) | L _{pAU} (dB) | L _{pA} -L _{pAU} (dB) | L _{pA} (dB) | L _{pAU} (dB) | L _{pA} -L _{pAU} (dB) |
| 101 | 77 | 24 | 92 | 68 | 24 |

Abb. 3: Ergebnisse der Geräuschmessung an einer Ultraschallschneidmaschine. A-bewertete und AU-bewertete Schalldruckpegel in Abhängigkeit von der Stellung der Abdeckung (Angaben der Fa. GFM GmbH, Steyr, zur Geräuschemission der Ultraschallschneidmaschine US 40)

Verteilung der US-Anwendungen

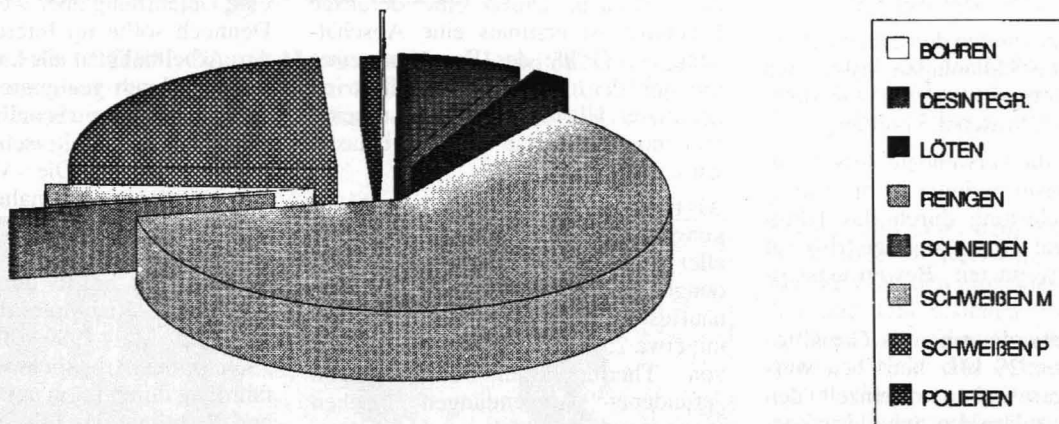


Abb. 4: Einsatzgebiete von industriellen Ultraschallanlagen. Die Kreisfläche entspricht 1789 Ultraschallanlagen.

gung des Ohres kann also durchaus auftreten, obwohl in systematischen Untersuchungen, die an belasteten Personen durchgeführt wurden, keine signifikant verschlechterten Hörergebnisse festgestellt werden mußten. Dennoch zeigte sich bei einigen Personen in den Bereichen der subharmonischen Schwingungen – also bei der halben Arbeitsfrequenz der Anlage, die ja dann durchaus im Hörbereich gelegen ist – ausgeprägte Schädigungen des Hörvermögens. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich bei Arbeitnehmern, die tiefsten Ultraschallfrequenzen – Frequenzen von 18 bis 20 kHz – ausge-

setzt waren. Hier mußten Verschlechterungen des Hörvermögens in den knapp darunterliegenden Frequenzbereichen hingenommen werden [3].

6. Messungen an Ultraschallanlagen

Bei einer Untersuchung an verschiedenen Ultraschallanlagen, die vom Institut für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften, Abteilung für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung durchgeführt wurde, konnten die Ergebnisse eine systematische Erhebung der Allgemeinen Unfallversiche-

rungsanstalt AUVA über die Lärmsituation in unmittelbarer Umgebung von Ultraschallanlagen bestätigt werden [6]. Dabei zeigte sich, daß bei den weit verbreiteten Ultraschallwaschanlagen im statistischen Mittel damit zu rechnen ist, daß bei Anlagen mit einer Grundfrequenz von 20 kHz Gehörgefährdungswerte immer, an solchen mit einer Arbeitsfrequenz von 25 kHz fallweise überschritten werden (Abb. 2). Anlagen mit Grundfrequenzen von 40 kHz sind hinsichtlich ihrer Gehörgefährdung als unbedenklich zu erachten. Daraus leitet sich die Empfehlung ab, die Arbeitsfrequenz von Ultraschallanlagen, wenn dies technisch nur einigermaßen vertretbar ist, möglichst hoch anzusetzen. Dies gilt übrigens für alle Ultraschallanlagen.

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei Messungen an anderen Ultraschallanlagen, etwa bei Ultraschallschweißgeräten. Dort traten aber bei einigen Maschinen subharmonische Schwingungen im Hörbereich auf, was dann zu einer massiven Überschreitung der Grenzwerte führte.

Wenn sich die akustischen Parameter des Ultraschallprozesses aus technischen Gründen nicht so ändern lassen, daß eine Gefährdung von vornherein ausgeschlossen werden kann, steht noch die Möglichkeit der Schalldämmung offen. Diese ist wegen der quasi-optischen Ausbreitungscharakteristik von hochfrequentem Schall einfacher durchzuführen als bei niederfrequentem Schall, wo es immer zu Reflexionen erheblichen Ausmaßes kommt. Diese Maßnahme des technischen

prozentuale Verteilung

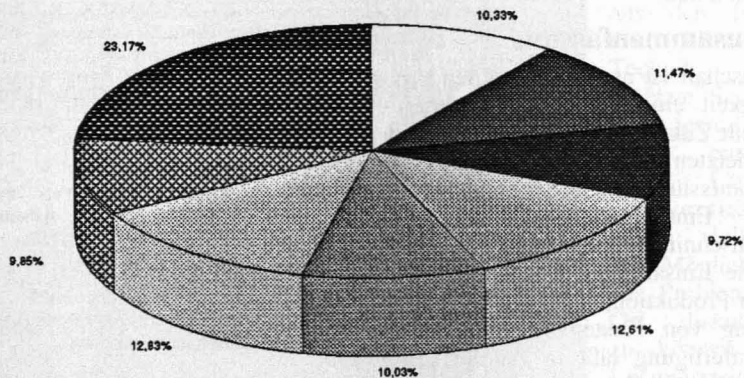
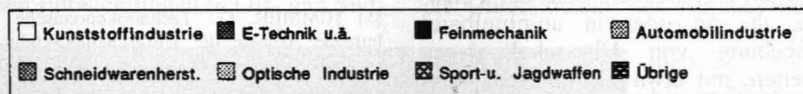


Abb. 5: Verteilung des Ultraschalleinsatzes auf verschiedene Branchen



Lärmschutzes zeigt in den meisten Fällen hervorragende Wirkung, wie die Meßergebnisse an einer ungekapselten und einer gekapselten Ultraschallschneidmaschine beweisen (Abb. 3).

Aus den Ergebnissen der Untersuchungen an Ultraschallanlagen lassen sich allgemeingültige Aussagen zur Belastung durch Ultraschall ableiten:

- Je höher die verwendete Arbeitsfrequenz, desto geringer ist die auftretende Belastung durch das Ultraschallgerät. Diese Aussage trifft auf alle verwendeten Bewertungsmodelle zu.
- Nur Geräte, die mit einer Grundfrequenz von 20 kHz betrieben werden, überschreiten vereinzelt den maximal zulässigen Schalldruckpegel von 85 dB(AU).
- Die 1. Subharmonische hat, wenn sie auftritt, einen hohen Anteil an der Gesamtbelastung. Aus diesem Grund ist es wichtig, daß die Abmessungen schwingfähiger Teile so dimensioniert sind, daß sie durch subharmonische Schwingungen nicht zu Resonanz angeregt werden. Bessere Resultate ergeben sich, wenn diese Teile durch Dämmung schalltechnisch entkoppelt werden.
- Je höher die Arbeitsfrequenz, desto geringer ist die Belastung durch eine auftretende Subharmonische. Daraus leitet sich wieder die Forderung nach möglichst hoher Arbeitsfrequenz ab.
- Ausreichende Kapselung der schwingenden Teile reduziert die Belastung fast immer auf einen unbedenklichen Pegel.

Insgesamt ergibt sich beim Vergleich der Meßergebnisse der Gesamteindruck, daß die große Masse der Ultraschallanlagen zwar ein beträchtliches Lärmaufkommen haben, die zulässigen Grenzwerte aber praktisch nie überschritten werden. Überdies gelingt es fast immer, durch Kapselung von Ultraschallemitenten und richtiges Bedienen der Anlage die Gefährdung des Gehörs durch Ultraschallbelastung auf ein Minimum zu senken, wenn man davon ausgeht, daß der in Österreich geltende Beurteilungspegelgrenzwert von 85 dB(AU) eine Gehörschädigung ausschließt.

7. Verbreitung der Technologie

Die Verbreitung von Ultraschall als industrielle Bearbeitungstechnologie wurde im Rahmen der Dissertation des

Autors mit einer Umfrage, in die alle bekannten Hersteller und Vertreiber von Ultraschallanlagen und Ultraschallkomponenten einbezogen wurden, erhoben. Durch eine derartige Erhebung ist erstmals eine Abschätzung der Größe des Personenkreises möglich, der im Umfeld von industriell genutzten Ultraschallanlagen arbeitet und möglicherweise dadurch belastet wird.

Als Ergebnis zeigte sich, daß die Reinigung mittels Ultraschall mit etwa 60 % aller industrieller Ultraschallanwendungen in Österreich bei weitem am häufigsten anzutreffen ist. Dahinter, mit etwa 25 %, rangiert das Schweißen von Thermoplasten. Die übrigen gefundenen Anwendungen machen zusammen knapp 15 % aus (Abb. 4).

Betrachtet man die Einsatzbereiche, fällt auf, daß Ultraschallanlagen quer durch alle in Frage kommenden Industriesparten gleichmäßig vertreten sind (Abb. 5). In absoluten Zahlen ausgedrückt: Knapp 1800 Ultraschallanlagen sind in der Österreichischen Industrie mit Stichtag 31.12.1991 eingesetzt gewesen. Nicht berücksichtigt dabei sind gewerblich genutzte Anlagen und Geräte. In der Trendentwicklung zeigt sich, daß das größte Wachstum bei den Ultraschallreinigungsanlagen liegt. Das ist möglicherweise auf die Tatsache zurückzuführen, daß ökologisch problematische Reinigungsverfahren durch die umweltfreundlichere und wirksamere Ultraschallreinigung ersetzt wurden. Mit der Zunahme an modernen Hochleistungswerkstoffen, deren Bearbeitung äußerst schwierig ist, wird eine ähnliche Entwicklung für Ultraschallbohr- und -schneidanlagen erwartet.

Aus der Gesamtzahl der eingesetzten Anlagen läßt sich die Zahl der Personen, die an oder in unmittelbarer Umgebung von Ultraschallanlagen arbeiten, mit etwa 11.500 Arbeitnehmer ableiten.

8. Zusammenfassung

Ultraschall ist auf Grund seiner Vielfältigkeit eine Bearbeitungstechnologie mit Zukunft. Die Zuwachsraten in den letzten Jahren, bezogen auf die Verkaufsstückzahlen, schwanken je nach Einsatzgebiet und liegen im Durchschnitt bei rund 10 %. Der vermehrte Einsatz moderner Materialien in der Produktion, aber auch die Realisierung von Kostenvorteilen in der Serienfertigung läßt in Zukunft eine Vergrößerung des Anteiles von Ultraschall an den Bearbeitungstechnologien erwarten. Die Frage der Schädigung

durch hohe Ultraschallbelastung ist zwar nicht hinreichend geklärt, die Einhaltung der Grenzwerte schließt nach heutigem Stand der Erkenntnis eine Gefährdung aber weitgehend aus. Dennoch sollte im Interesse betroffener Arbeitnehmer alles unternommen werden, durch geeignete Maßnahmen des technischen Schallschutzes die Belastung durch Ultraschall noch weiter zu senken. Die Verpflichtung, Lärminderungsmaßnahmen durchzuführen, darf nicht beim Unterschreiten von Grenzwerten enden, sondern muß auch darüber hinaus aufrecht bleiben (vgl. auch: Richtlinie des EG-Rates vom 12. Mai 1986 (86/188/EWG), „Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Lärm am Arbeitsplatz“ und Richtlinie des EG-Rates vom 14. Juni 1989 (89/392/EWG) „Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Maschinen“).

In der betrieblichen Praxis in Österreich ist diese Forderung zum Großteil realisiert: Die Belastung an Ultraschallarbeitsplätzen der Österreichischen Industrie ist - wie die Messungen zeigen - gesundheitlich weitgehend unkritisch.

Literatur:

- [1] ACTON, W.I.: The Effects of Industrial Airborne Ultrasound on Humans, Ultrasonics (1974)
- [2] ACTON, W.I.; CARSON, M.B.: Auditory and Subjective Effects of Airborne Noise from Industrial Ultrasonic Sources, British Journal of Industrial Medicine, 24 (1967), S.297-308
- [3] GRZESIK, J.; PLUTA, E.: High-frequency-noise-induced hearing loss: a field study on the role of intensity level and accumulated noise dose, in: Int. Arch. Occup. Environ. Health 1986 (56)
- [4] HEINEN, E.: Kosten und Kostenrechnung, Wiesbaden 1975
- [5] HIMMER, G.: Technoökonomische und humane Aspekte der Ultraschallanwendungen im Industriebetrieb, Dissertation TU Graz, Graz 1992
- [6] KÖRPERT, K.; VANEK, R.: Industrielle Ultraschallverfahren, Beschreibung - Messung - Beurteilung - Schutzmaßnahmen, Typoskript-Reihe der AUA, Abt. f. Unfallverhütung und Berufskrankheitenbekämpfung, Wien 1983
- [7] KUTRUFF, H.: Physik und Technik des Ultraschalls, Stuttgart 1988
- [8] LIPS, W.: Ultraschallanlagen als Lärmquelle, in: Schweizerische Blätter für Arbeitswissenschaft No. 137, SUVA (Hrsg.), Luzern 1982
- [9] N.N.: Österreichischer Arbeitskreis für Lärm-bekämpfung: ÖAL-Richtlinie Nr. 3, Blatt 2: Schalltechnische Grundlagen für die Beurteilung von Lärm, 5. Ausgabe, Mai 1990

