

Ultraschallanlagen als Lärmquellen

Suva

Arbeitssicherheit
Postfach, 6002 Luzern
www.suva.ch

Auskünfte

Tel. 041 419 51 11

Bestellungen

Für Bestellungen:
Fax 041 419 59 17
Tel. 041 419 58 51

Titel

Ultraschallanlagen als Lärmquellen

Verfasser

Walter Lips, Beat Hohmann, Bereich Akustik

Abdruck – ausser für kommerzielle Nutzung – mit Quellenangabe gestattet
Erstausgabe: (als SBA 137.d) Oktober 1982
Überarbeitete Ausgabe: März 1997

Bestellnummer

66077.d (nur als PDF-Datei erhältlich)

Inhalt

1	Einleitung	4
2	Die Physik des Ultraschalls	5
2.1	Allgemeine akustische Grundlagen	5
2.2	Definition des Ultraschalls	5
2.3	Die Erzeugung des Ultraschalls	6
2.3.1	Magnetostriktive Geber	6
2.3.2	Piezoelektrische Geber	6
2.3.3	Kapazitive Ultraschallsender	7
2.4	Mechanische Ultraschallerzeugung	7
2.4	Internationale Normen	8
3	Die Anwendungsgebiete des Ultraschalls	9
3.1	Diagnostik und Behandlung in der Medizin	9
3.2	Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung	10
3.3	Ultraschallreinigung	11
3.4	Ultraschallschweißen	12
3.5	Ultraschallbohren	14
3.6	Mechanische Bearbeitung	14
3.7	Unterwassertechnik	15
3.8	Weitere Einsatzgebiete	16
4	Wirkungen des Ultraschalls auf die Gesundheit, Grenzwerte	17
4.1	Allgemeines	17
4.2	Physiologische Wirkungen des Ultraschalls	17
4.3	Die Wirkungen des Ultraschalls auf das Gehör	18
4.3.1	Allgemeines	18
4.3.2	Grenzwerte	20
4.4	Verhaltensregeln an Ultraschallanlagen	20
4.4.1	Schwangere Frauen	20
4.4.2	Arbeiten mit medizinischen Geräten	21
4.4.3	Arbeiten an Ultraschallanlagen	21
5	Schallmessungen an Ultraschallanlagen	22
5.1	Grundsätzliches	22
5.2	Messung und Bewertung im hörbaren Frequenzbereich	22
5.2.1	Zielsetzung	22
5.2.2	Anforderungen an den Frequenzumfang	22
5.2.3	Unterdrückung von Ultraschallanteilen	22
5.3	Messung und Bewertung im Ultraschallbereich	23
5.3.1	Zielsetzung	23
5.3.2	Anforderungen an den Frequenzumfang	23
5.3.3	Unterdrückung von Schallanteilen im Hörbereich	23
5.4	Zeitliche Bewertung	24
5.4.1	Bestimmung des Mittelungspegels	24
5.4.2	Bestimmung des Maximalpegels	24
5.4.3	Schalldruckpegel-Diagramm	24

5.5	Frequenzanalysen	24
5.6	Aufzeichnung von Ultraschallsignalen	24
5.7	Flüssigkeitsschall	25
5.8	Durchführung von Messungen	25
5.8.1	Messstelle.....	25
5.8.2	Frequenzanalysen	26
5.8.3	Zu erfassende Daten.....	26
5.8.4	Messprotokoll	26
6	Schallschutzmassnahmen an Ultraschallanlagen	27
6.1	Übersicht	27
6.2	Technische Schallschutzmassnahmen.....	27
6.2.1	Primärmassnahmen	27
6.2.2	Sekundärmassnahmen	28
6.3	Bauliche Schallschutzmassnahmen.....	31
6.4	Persönliche Schallschutzmassnahmen	32
6.5	Organisatorische Schallschutzmassnahmen	32
6.6	Arbeitsplatzgestaltung.....	32
6.6.1	Arbeitsplätze an Ultraschallanlagen	32
6.6.2	Arbeitsplätze in der Umgebung von Ultraschallanlagen	32
7	Lärm von Ultraschallanlagen: Beispiele.....	33
7.1	Ultraschallbäder	33
7.2	Ultraschallschweissmaschinen	33
7.3	Spezielle Maschinen und Anlagen	34
7.3.1	Läpp- und Poliermaschine	34
7.3.2	Bandschneidmaschine	34
7.3.3	Ultraschallgerät gegen Tauben	34
7.3.4	Ultraschall-Raumüberwachungsgerät	35
8	Literatur.....	35
	Anhang: Internationale Normen und Normenentwürfe.....	36

1 Einleitung

Der Ultraschall ist ein spezielles Teilgebiet der Akustik. Ultraschallverfahren sind zwar weit verbreitet, die Technik und die allfälligen Auswirkungen sind den Anwendern jedoch relativ unbekannt. Die vorliegende Publikation will diese Lücke schliessen. Sie wendet sich an eine breite Leserschaft: die Anwender sollen ebenso angesprochen werden wie die Werkstoff- oder Kunststoffingenieure, Medizinal- oder Messingenieure.

In der Industrie wären viele Arbeiten ohne Ultraschall praktisch undenkbar. Dies gilt auch für zahlreiche Untersuchungen und Therapien in der Medizin. Was als kriegerisches Gerät während des Ersten Weltkrieges zur Ortung von feindlichen U-Booten erstmals angewendet wurde, fand nach dem Zweiten Weltkrieg in Form von Ultraschallreinigung- und -messgeräten eine friedliche und sinnvolle Anwendung. Der eigentliche Durchbruch erfolgte zu Beginn der sechziger Jahre in der kunststoffverarbeitenden Industrie und in der Medizinaltechnik: Immer mehr technische Formartikel wurden aus Kunststoffen gefertigt, und in der Verbindungstechnik spielt die Ultraschallschweissmaschine seither eine dominierende Rolle. In der Reinigungstechnik ist heute das Ultraschallbad nicht mehr wegzudenken. In Spitälern und Arztpraxen stehen unzählige Ultraschallgeräte bei der Untersuchung und bei der Therapie im Einsatz.

Der Ultraschall (US) ist keine Erfindung des 20. Jahrhunderts. Ultraschall wurde erstmals im Tierreich entdeckt. Wer hat nicht schon vom phänomenalen Orientierungssinn der



Bild 1
Ohrenfledermaus

Fledermäuse (Bild 1) gehört? Die Fledermaus sendet kurzzeitige Ultraschallimpulse von weniger als $1/1000$ s Dauer im Bereich von $50'000$ Hz aus und kann die zurückgeworfenen Schallwellen mit ihren riesigen Ohrmuscheln wieder einfangen. Ihr Ortungssystem ist in der Lage, Insekten sogar auf der Oberfläche eines Blattes ausfindig zu machen. Nicht zu Unrecht ist das Orientierungsvermögen dieses Nachtieres mit einem Radargerät verglichen worden (das allerdings elektromagnetische und nicht akustische Wellen verwendet).

Es gibt noch eine zweite Gruppe von Tieren, die sich mit Hilfe von akustischen Signalen zu orientieren vermögen: der Delphin und der bis zu 120 t wiegende Blauwal. Beide senden Signale aus, die bis in den Bereich von $170'000$ Hz reichen können. Die im Wasser sich ausbreitenden Schwingungen gelangen unmittelbar zum Innenohr, wo sie verarbeitet werden. Ein Delphin kann beispielsweise mit verbundenen Augen einen einige Meter entfernten kleinen Fisch orten. Mit einem Strom von Impulsen peilt er dann seine im Wasser schwimmende Mahlzeit an (durch Versuche eindeutig nachgewiesen) [1].

In dieser Broschüre beschränken wir uns auf den Ultraschall und seine Anwendung im technischen Bereich.

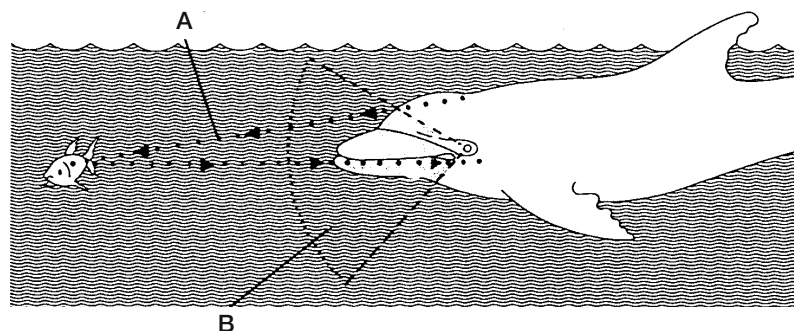


Bild 2
Delphin bei der Nahrungssuche:
Der akustische Bereich (A) ist
wesentlich grösser als der Seh-
bereich (B).

2 Die Physik des Ultraschalls

2.1 Allgemeine akustische Grundlagen

Die allgemeinen akustischen Grundlagen sind nicht Thema dieser Broschüre. Sie werden in der Suva-Publikation Nr. 44057 «Gehörgefährdender Lärm am Arbeitsplatz» (früher SBA Nr. 146) ausführlich dargestellt; es werden dort folgende Begriffe erläutert:

- ♦ Schallentstehung
- ♦ Schalldruck und Schallschwingung
- ♦ Schallwellen und Schallausbreitung
- ♦ Schalleistung und Schallenergie
- ♦ Schalldruckpegel
- ♦ Frequenzanalysen
- ♦ Schallsignale
- ♦ Ton, Klang, Geräusch
- ♦ Dauerlärm, intermittierender Lärm, Impulslärm
- ♦ Schallfelder
- ♦ usw.

2.2 Definition des Ultraschalls

Ähnlich wie bei den elektromagnetischen Wellen teilt man auch die Schallwellen in verschiedene **Bereiche** ein (Tabelle 1).

Frequenzbereich	Bezeichnung Anwendung
unter 20 Hz	Infraschallbereich
20 Hz – 20 kHz	Hörschallbereich
20 kHz – 1 GHz	Ultraschallbereich
20 kHz – 100 kHz	Industrielle Ultraschallverfahren
1 MHz – 15 MHz	Medizinische Diagnostik und Therapie
1 MHz – 15 MHz über 1 GHz	Werkstoffprüfung Hyperschall

Tabelle 1
Frequenzbereiche.

Anmerkung: 1 kHz = 1 000 Hz
1 MHz = 1 000 kHz = 10⁶ Hz
1 GHz = 1 000 MHz = 10⁹ Hz

Mit Ultraschall (von lat. ultra = darüber hinaus) bezeichnet man denjenigen Bereich akustischer Erscheinungen, der den menschlichen Wahrnehmungen nicht mehr zugänglich ist. Da die obere Frequenzgrenze des menschlichen Hörvermögens individuell

verschieden ist und zudem stark vom Alter abhängt, kann der Bereich des Ultraschalls nicht scharf gegenüber dem hörbaren Schall abgegrenzt werden. Allgemein, auch in Normen und Richtlinien, spricht man von Ultraschall, wenn die Frequenz grösser als 20 kHz ist. Der Ultraschall kann sich – wie der Schall im hörbaren Bereich – in Gasen und Flüssigkeiten, aber auch in festen Körpern ausbreiten. Je nach Medium ist die Schallausbreitungsgeschwindigkeit, die nicht von der Wellenlänge des Schalls abhängt, stark verschieden (Beispiele in Tabelle 2).

Stoff	Temperatur [°C]	Dichte [kg/m ³]	Schallausbreitungsgeschwindigkeit [m/s]	
Gase	Luft	20	1,205	344
Flüssigkeiten	Wasser	20	998	1'483
	Sauerstoff	-183	1'143	909
Metalle	Stahl	20	7'840	5'100
	Aluminium	20	2'700	5'100

Tabelle 2
Beispiele für Schallausbreitungsgeschwindigkeiten.

Die Art der Ausbreitung von Schallwellen hängt stark von der Wellenlänge des Schalls ab. Darum ist es wertvoll, in diesem Zusammenhang einen Vergleich anzustellen. Betrachtet man die Wellenlänge λ der einzelnen Frequenzbereiche nach Tabelle 1 unter Zuhilfenahme der Beziehung

$$\text{Wellenlänge } \lambda \text{ [m]} = \frac{\text{Schallausbreitungsgeschwindigkeit } c \text{ [m/s]}}{\text{Frequenz } f \text{ [Hz]}}$$

für eine Schallausbreitungsgeschwindigkeit von $c = 344 \text{ m/s}$ (Luft bei 20° C), erhält man folgende Ergebnisse (Tabelle 3):

Frequenz	Wellenlänge
20 Hz	17,2 m
1 000 Hz	0,34 m
20 kHz	17,2 mm
1 MHz	0,34 mm
1 GHz	0,34 µm

Tabelle 3
Frequenzen und Wellenlängen in Luft bei einer Schallausbreitungsgeschwindigkeit von 344 m/s und einer Temperatur von 20°C.

Der Ultraschall wird bezüglich Hörschall als **kurzwellig** bezeichnet; er breitet sich bei einer ebenen Welle nahezu geradlinig aus. Aus diesem Grunde können Abschirmungen von Ultraschallärmquellen sehr wirksam sein.

2.3 Die Erzeugung des Ultraschalls

2.3.1 Magnetostruktive Geber

Obschon der magnetostruktive Geber (oder Schallsender) in den letzten Jahren auf vielen Anwendungsgebieten vom Piezowandler (vgl. Ziffer 2.3.2) verdrängt wurde, hat er nach wie vor den grossen Vorteil eines einfachen Aufbaus sowie einer grossen mechanischen und elektrischen Robustheit.

Stäbe aus ferromagnetischen Stoffen wie Eisen, Nickel, Ferrit verändern im Magnetfeld ihre Länge wegen der Ausrichtung der «Weiss'schen Bezirke». Wird ein ferromagnetischer Stab in ein magnetisches Wechselfeld gebracht, so verändert sich analog zu den Feldänderungen seine Länge: Er beginnt zu schwingen (Bild 3). Mit extrem kurzen Nickelstäben, die in ihrer mechanischen Grundfrequenz angeregt werden, lassen sich theoretisch magnetostruktive Schwingungen bis etwa 1 MHz erzeugen. In der Praxis setzt man Magnetostruktionschwinger vor allem im Bereich von 20 bis 40 kHz ein. Mit modernen magnetostruktiven Ultraschallerzeugern können in diesem Bereich Schallintensitäten von bis zu 10 W/cm² erreicht werden, wenn die durch mechanische und Ummagnetisierungsverluste erzeugte Wärme durch Luft- oder Wasserkühlung abgeführt wird.

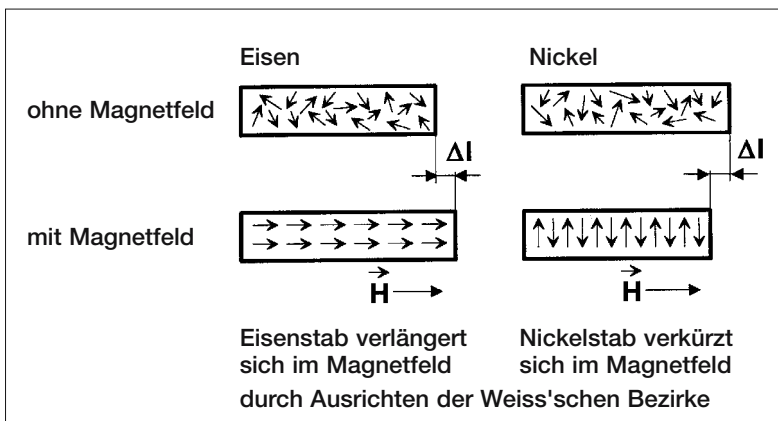


Bild 3
Prinzip der Längenänderung ferromagnetischer Stoffe. Durch Ausrichten der Weiss'schen Bezirke bezüglich eines äusseren Magnetfeldes verändert sich die Länge.

Der ferromagnetische Stab wandelt beim Schwingen magnetische, elektrische Energie in mechanische Energie um, die als Ultraschall abgestrahlt wird. Um einen möglichst hohen Wirkungsgrad zu erreichen, d. h. um aus der elektrischen Energie ein Maximum an abgestrahlter Ultraschallenergie zu erzeugen, wird die angelegte hochfrequente Speisespannung auf die Grundfrequenz der Stablänge abgestimmt (Eigen- oder Resonanzfrequenz).

Bild 4 veranschaulicht den prinzipiellen Aufbau einer magnetostruktiven Ultraschallreinigungsanlage.

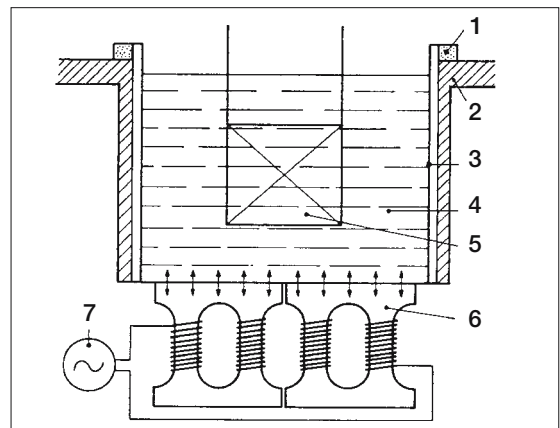


Bild 4
Prinzipieller Aufbau einer magnetostruktiven Ultraschallreinigungsanlage.

- 1 Dämmschicht zur Verhinderung von Ultraschallübertragungen auf die Wannenverkleidung
- 2 tragende Unterlage für den Reinigungsbehälter
- 3 Reinigungsbehälter
- 4 Reinigungsflüssigkeit
- 5 zu reinigendes Objekt, an einer Haltevorrichtung befestigt
- 6 magnetostruktiver Ultraschallschwinger
- 7 Elektrischer Signalgenerator

2.3.2 Piezoelektrische Geber

Der piezoelektrische oder elektrostruktive Wandler wird aus Seignette-Elektrika wie Quarz oder ferroelektrischen Materialien wie Barium- oder Blei-Zirkonat-Titanat (Handelsnamen PZT oder PXT), aber auch als Folien aus PVDF (Polyvinylidendifluorid) hergestellt. Platten, die aus einem Einkristall herausgeschnitten werden, oder im Falle von PZT bzw. PXT durch Sinterung und anschließender Polarisation hergestellte Körper, ändern im elektrischen Feld ihre Länge oder Dicke (Bild 5). Die Platten werden mit einer elektrisch leitenden Schicht versehen (Elektroden). Im elektrischen Feld können die ferroelektrischen Platten je nach Anregung Dicken-

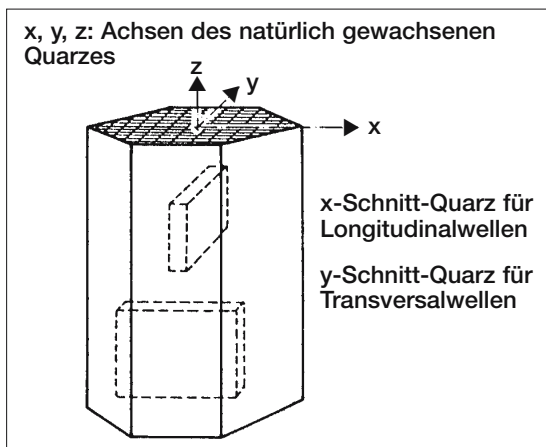


Bild 5
Lage von x- und y-Schnitt-Quarzen im natürlich gewachsenen Kristall.

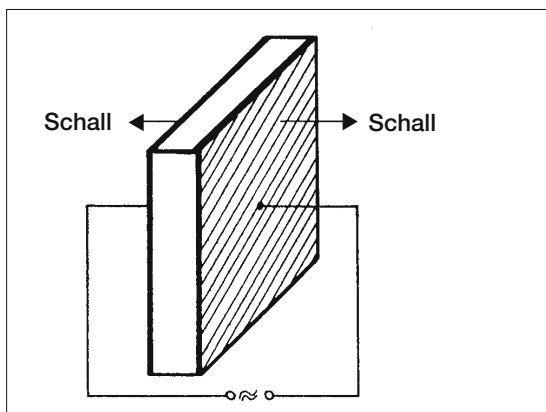


Bild 6
Anregung einer ferroelektrischen Platte zu Dickschwingungen.

schwingungen (Bild 6), Längsschwingungen oder Scherschwingungen erzeugen. Sie bilden den Kern des Ultraschall-Anregungssystems (z.B. Sonotrode).

Eine Quarzscheibe von 10 mm Dicke hat eine Resonanzfrequenz von etwa 300 kHz. Bei der industriellen Anwendung liegen die wünschbaren Frequenzen aber deutlich tiefer. Das würde dazu führen, dass die Quarzscheibe um ein Vielfaches dicker sein müsste. Da solche Quarze sehr teuer sind, setzt man zur Herabsetzung der Resonanzfrequenz als Zusatzmasse andere, billigere Materialien ein und erhält so die sog. Verbundschwinger.

Mit Quarzschwingungen werden Schallintensitäten bis etwa 55 W/cm^2 erreicht. Unter Zuhilfenahme von Ultraschalllinsen oder von Hohlquarzen können sogar Schallintensitäten bis 500 W/cm^2 erzeugt werden. Der akustisch-elektrische Wirkungsgrad piezo-

elektrischer Ultraschallgeber ist ausserordentlich hoch (z.B. $> 60 \%$ bei 1 MHz mit Quarz).

Für Ultraschall-Leistungsanwendungen wie Reinigung und Schweißen werden heute fast nur noch PZT- oder PXT-Materialien verwendet.

Interessant ist beim piezoelektrischen Effekt, dass dieser auch umgekehrt werden kann (reziproker Piezoeffekt = Elektrostriktion). Man kann demzufolge ein und denselben Wandler sowohl als Sender wie auch als Empfänger für Ultraschall einsetzen. Aus diesem Grunde spricht man in diesem Zusammenhang heute auch von «Ultraschallwandlern» – im Gegensatz zu den reinen Ultraschallgebern, wie bei der magnetostruktiven Technik.

2.3.3 Kapazitive Ultraschallsender

Die magnetostruktiven und piezoelektrischen Schallsender erzeugen hohe Wechselkräfte, wie sie bei der industriellen Anwendung auch erwünscht sind. Sie sind aber weniger geeignet, um in Gasen (z. B. Luft) hohe Schallschnellen zu erzeugen. Für diesen Bereich hat man spezielle kapazitive oder elektrostatische Wandler entwickelt, die sehr einfach herstellbar sind. Mit solchen Sendern kann man in Luft noch Frequenzen von über 200 kHz erzeugen, was für bestimmte Anwendungen speziell erwünscht ist (z. B. Raumüberwachungsanlagen).

2.3.4 Mechanische Ultraschallerzeugung

Die mechanische Ultraschallerzeugung hat heute praktisch keine Bedeutung mehr. Am bekanntesten dürfte noch die «Galton-Pfeife» sein, die in etwas abgewandelter Form heute noch als sog. Hundepfeife praktische Verwendung findet.

In der Industrie tritt bei bestimmten Maschinen und Anlagen mechanisch erzeugter Ultraschall als «Nebenprodukt» auf. So können beispielsweise Luft- oder Gasaustrittsvorgänge durchaus Lärmanteile im Bereich von mehr als 20 kHz erzeugen (z. B. Plasmaschweißen, Sandstrahlen, Strahltriebwerke, Luftaustrittsdüsen). Auch Wirbelbildungen in Flüssigkeiten (Kavitationsgeräusche) verursachen teilweise sehr hochfrequente Lärmanteile.

2.4 Internationale Normen

Ultraschall-Probleme werden in einer ganzen Reihe von internationalen Normen behandelt. Im Vordergrund stehen hierbei für uns die IEC-, EN- und ISO-Normen. Für den Anwender ist von Interesse, dass einige ISO- und IEC-Normen unverändert ins DIN-Normenwerk übernommen wurden (Reihe ISO/DIN bzw. IEC/DIN). Dies erleichtert speziell dem deutschsprachigen Anwender die Arbeit.

Der grösste Teil der über 60 Normen behandelt Ultraschall-Probleme aus dem medizinischen Bereich sowie bei Materialprüfverfahren. Für den industriellen Bereich sind nur wenige Normen vorhanden, wobei das Schwergewicht auf der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung und auf Messungen in Flüssigkeiten liegt.

Im Anhang sind die wichtigsten internationalen Normen (Stand Juli 1995) zusammengestellt.

3 Die Anwendungsgebiete des Ultraschalls

3.1 Diagnostik und Behandlung in der Medizin

Die **diagnostische Anwendung** von Ultraschall hat sich in den letzten Jahrzehnten von einer Art Laborkuriosität zunächst langsam und schliesslich – dank der modernen Elektronik und Datenverarbeitung – geradezu explosionsartig zu einer klinischen Standardmethode entwickelt. Die klinische Wertigkeit der Ultraschalldiagnostik beruht in erster Linie auf der Sichtbarmachung von Gewebe- und Organkonturen durch Ultraschallechos, aber auch auf der Dopplertechnik zur Strömungsmessung und der zeitabhängigen Tiefenmessung (z. B. von Herzstrukturen). In den folgenden medizinischen Spezialgebieten ist die Ultraschalldiagnostik stark verbreitet:

- ♦ Neurologie (Wissenschaft von den Nervenkrankheiten, ihrer Entstehung und Behandlung)
- ♦ Ophthalmologie (Augenheilkunde)
- ♦ Kardiologie (Teilgebiet der Medizin, das sich mit der Funktion und den Erkrankungen des Herzens befasst)
- ♦ Angiologie (Wissenschaftsgebiet, das sich mit den Blutgefässen und ihren Erkrankungen beschäftigt)
- ♦ Gastroenterologie (Wissenschaft von den Krankheiten des Magens und Darms)
- ♦ Gynäkologie (Frauenheilkunde)
- ♦ Urologie (Wissenschaft von den Krankheiten der Harnorgane)

Diese Anwendungen, die heute eine wichtige Ergänzung oder ein Ersatz der Röntgendiagnostik oder anderer bildgebender diagnostischer Methoden darstellen, kennt man unter dem Oberbegriff «Sonographie» (Bild 7). Die Arbeitsfrequenz solcher Geräte liegt im Bereich von 1 bis 10 MHz, wobei das Schwergewicht zwischen 4 bis 7 MHz liegt.

Bei der **Ultraschalltherapie** wird zur Erzielung bestimmter therapeutischer Wirkungen seit mehreren Jahrzehnten intensiver Ultraschall eingesetzt. Allerdings ist der Umfang

solcher Anwendungen deutlich bescheidener als in der Diagnostik. Mit Ultraschallbehandlungen kann man eine Verbesserung der Durchblutung erreichen, die in bestimmten Fällen zur Schmerzlinderung und zur Lösung von Krämpfen, aber auch zur Hemmung von Entzündungsprozessen führen kann. Dies gilt speziell für Erkrankungen des Muskel- und Skelettsystems sowie des peripheren Nervensystems. Im Vordergrund stehen hier Erkrankungen der Gelenke, Ischias, periphere Neuralgien und Muskelrheumatismus.

Mit der gezielten Anwendung von Ultraschall kann auch die Kallusbildung bei Knochenbrüchen (rascheres Zusammenwachsen der Bruchstellen) angeregt werden.

In der Praxis wird die Ultraschalltherapie, bei der Frequenzen von 175 kHz bis 3 MHz zum Einsatz gelangen (mit einem Schwergewicht bei 800 kHz), häufig mit anderen Behandlungsarten kombiniert.

Durch die **Ultraschallaspiration** (Ultraschallvernebler) werden Medikamente hergestellt, die vom Patienten eingeatmet werden können (sog. Aerosole). Dabei ist es wichtig, dass die Tröpfchen sehr klein sind, damit sie auch wirklich weit in die Bronchien bzw. in die Lunge gelangen.

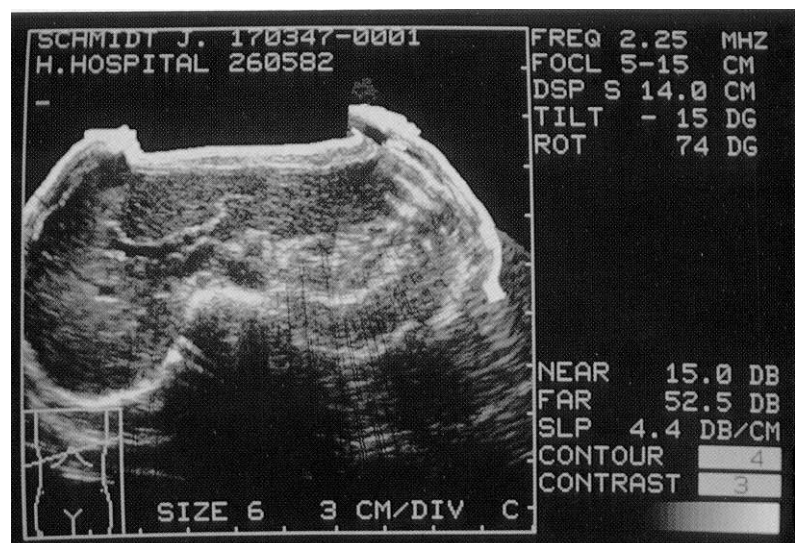


Bild 7
Sonogramm eines Fötus.

3.2 Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung

Die zerstörungsfreie Untersuchung von Werkstoffen und Werkstücken gehört zu den wichtigsten technischen Anwendungen des Ultraschalls. Hierbei nützt man die Erkenntnis, dass die Schallausbreitung in Festkörpern durch Inhomogenitäten beeinflusst wird. Auch in unserem Alltag kennen wir einen solchen Effekt: ein kleiner Riss in einem Weinglas macht sich dadurch bemerkbar, dass bei leichtem Anschlagen des Glases kein langsam verklingender Ton, sondern ein kurzes, stumpfes Geräusch zu hören ist.

Beim Einsatz von Ultraschall zur Werkstoffprüfung kann ein Fehler nicht nur nachgewiesen, sondern auch lokalisiert werden. Zudem kann je nach eingesetzter Technik auch festgestellt werden, ob es sich um Hohlräume, Einschlüsse anderer Werkstoffe oder innere Risse handelt. Die wirtschaftliche und sicherheitstechnische Bedeutung dieser Methode zur Werkstoffprüfung ist unbestritten und in vielen Fällen nicht mehr wegzudenken, z. B. bei Verkehrsmitteln oder Kernreaktoren, bei denen dem Sicherheitsaspekt grosse Bedeutung zukommt. In diesen Bereichen gibt es modernste Prüftechniken, um beispielsweise Achsenbrüche bei Bahnwagen oder Bruchschäden an Turbinenschaufeln von Triebwerken möglichst zu verhindern.

Für die Werkstoffprüfung werden zwei Verfahren eingesetzt (Bild 8):

- ♦ Impulsecho- oder Reflexionsverfahren
- ♦ Durchstrahlungsverfahren

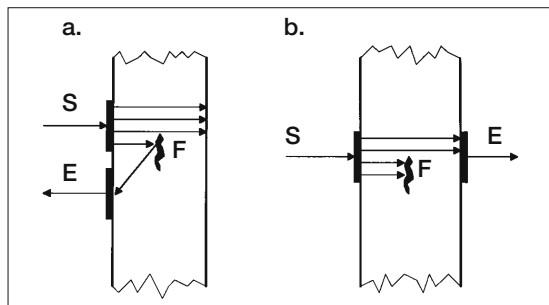


Bild 8
Verfahren für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung mit Hilfe von Ultraschall.

- a. Impulsecho- oder Reflexionsverfahren
- b. Durchstrahlungsverfahren
- S Sender
- E Empfänger
- F Materialfehler

Auf die Dickenmessung, die ebenfalls mit Ultraschall vorgenommen werden kann (Impulsecho- und Resonanzverfahren), soll hier nicht näher eingegangen werden.

Beim **Impulsechoverfahren** (Bild 9) wird ähnlich wie in der Radartechnik ein kurzzeitiger, hochfrequenter Impuls ausgesandt. Der Schallkopf dient gleichzeitig als Geber und Empfänger. Die von Grenzflächen, Rissen und Lunkerbegrenzungen reflektierten Ultraschallwellen werden durch den auf Empfang umgestellten Schallkopf empfangen. Je nach der zurückgelegten Entfernung des Ultraschallimpulses dauert es einige Mikrosekunden bis Millisekunden, bis der ausgesandte Impuls nach der Reflexion an der Grenzfläche des Prüflings zurückkehrt. Eine Synchronisier-Trennschaltung hat die Aufgabe, den Elektronenstrahl des Kathodenstrahloszilloskops (KO) synchron mit dem Vorgang des Sendens und Empfangens von links nach rechts zu bewegen, so dass bei Anpassung an die Schallgeschwindigkeit und die Weglänge im Prüfling ein stehendes Bild auf dem KO-Schirm entsteht. Die Ultraschallköpfe für diesen Anwendungszweck erzeugen einen gebündelten Strahl, wobei die Richtcharakteristik stark von der Frequenz und der Grösse des Ultraschallkopfes abhängt.

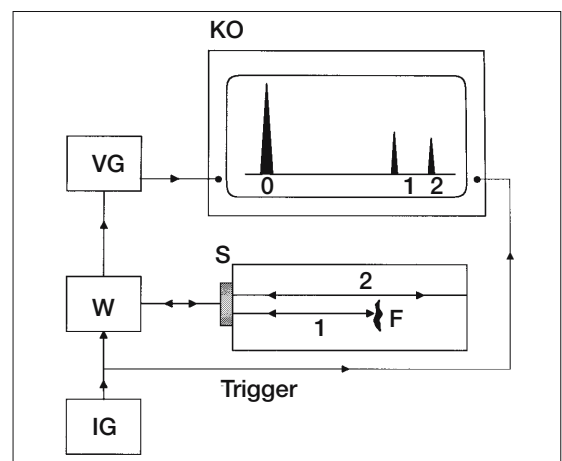


Bild 9
Impulsechoverfahren.

- IG Impulsgenerator
- W Weiche
- S Schallkopf (Sender/Empfänger)
- F Materialfehler
- VG Verstärker/Gleichrichter
- KO Kathodenstrahloszilloskop

Die verwendeten Frequenzen liegen beim Impulsechoverfahren normalerweise im Bereich von 0,5 bis 4 MHz. In Extremfällen, z. B. für die Suche nach sehr kleinen Fehlern in relativ verlustarmen und sehr feinkörnigen oder homogenen Werkstoffen, gelangen Frequenzen von bis 20 MHz zum Einsatz. Je grobkörniger das zu prüfende Material ist (z. B. Beton, Kunststeine usw.), desto tiefer muss die Arbeitsfrequenz sein. Die Prüfköpfe haben einen Durchmesser von 5 bis 50 mm und eine Spitzenleistung von etwa 10 W bis 1 kW.

Beim **Durchstrahlungsverfahren** wird auf der einen Seite eines Werkstückes der Ultraschall eingeleitet, auf der anderen mit einem Empfängerkopf empfangen. Die durchgelassene Schallintensität ist ein Mass für die Fehlerhaftigkeit des Werkstückes. Es wird also im Gegensatz zum Echoverfahren mit einer zeitlich konstanten Ultraschalleistung gearbeitet, wobei die Fehlererkennbarkeit begrenzt ist.

Das Auflösungsvermögen kann mit den beiden beschriebenen Prüfverfahren je nach Messdistanz und Frequenz bis zu 0,1 mm erreichen.

3.3 Ultraschallreinigung

Die häufigste Anwendung findet energiereicher Ultraschall bei der Reinigung von Gegenständen und Produkten, z. B.

- ♦ Teile der Feinmechanik und Feinwerktechnik
- ♦ medizinische, insbesondere chirurgische Instrumente
- ♦ Tusch- und Tintenschreibgeräte
- ♦ optische Linsen, insbesondere vor der Vergütung
- ♦ Brillengläser und Brillengestelle
- ♦ Glasgefäße
- ♦ Zahnprothesen
- ♦ Schmuck (Edelmetalle, Edelsteine) und Besteckteile
- ♦ Gehäuse von Kameras
- ♦ Fernsehbildröhren vor der Beschichtung
- ♦ elektrische Baugruppen
- ♦ zu galvanisierende Materialien oder Werkstücke
- ♦ kontaminierte Gegenstände aller Art

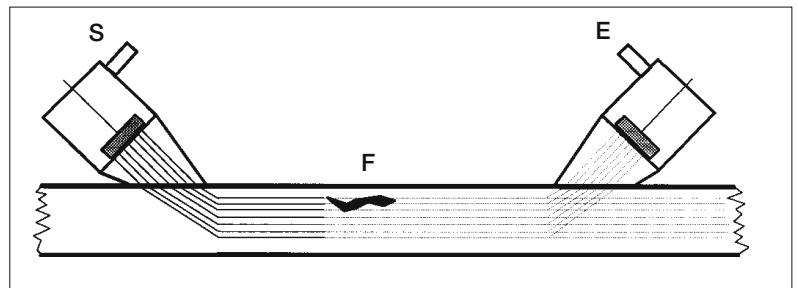


Bild 10
Durchstrahlungsverfahren.

S Sender
E Empfänger
F Materialfehler

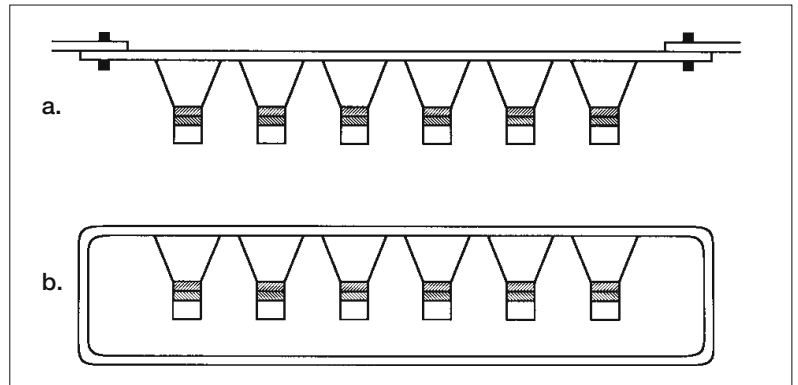


Bild 11
Anordnung von piezoelektrischen Verbundschwingern für Reinigungswannen.

a. Plattenschwinger
b. Tauchschwinger

Der zu reinigende Gegenstand wird in ein Bad getaucht, das mit einem flüssigen Reinigungsmittel gefüllt ist. Meist erzeugen mehrere an der metallischen Wanne angekoppelte Ultraschallwandler in der Flüssigkeit ein starkes Ultraschallfeld. Bei grossen Bädern gelangen auch sog. Plattenschwinger zum Einsatz, die in die Reinigungsflüssigkeit eingetaucht oder direkt in der Wand des Bades eingesetzt werden (Bild 11).

Bei ausreichender Intensität von Ultraschall in Flüssigkeiten tritt an festen Grenzflächen Kavitation auf. Dies ist das Stichwort für die Erklärung des Reinigungsvorganges. Bei hohen, örtlich begrenzten Mediumsgeschwindigkeiten entsteht ein dynamischer Unterdruck, der ausreicht, an Grenzflächen Verdampfungsvorgänge auszulösen. Die entstehenden Dampfblasen sind jedoch nicht beständig, sondern fallen wieder zusammen. Bei dieser Blasenimplosion treten Drücke von einigen kbar und Temperaturen von einigen Hundert Kelvin (bis 2'500 K) auf (Bild 12). Dabei wird das Kavitationsgeräusch erzeugt. Je höher die Temperatur des Mediums liegt,

desto eher tritt Kavitation auf. Durch die Blasenimplosionen wird der Schmutz von den Werkstücken weggerissen, wobei dieser Vorgang durch pulsierenden Ultraschall noch beschleunigt werden kann.

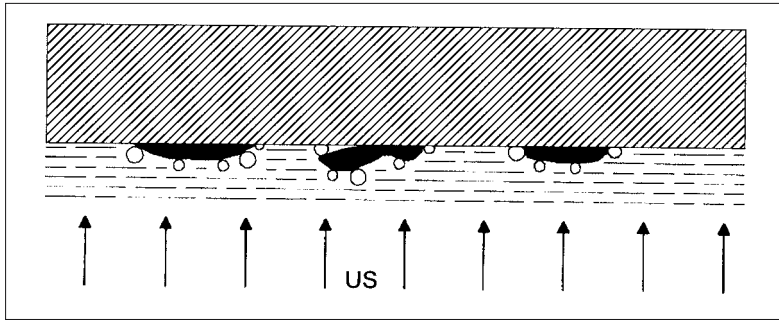


Bild 12
Funktionsweise der Ultraschallreinigung.
US = Ultraschalleinstrahlung

Für die Ultraschallreinigung werden meistens Frequenzen von 20 – 40 kHz verwendet. Tiefere Frequenzen würden zu einer starken Lärmbelastung im hörbaren Bereich führen, während höhere Frequenzen den Reinigungseffekt reduzieren. Für speziell empfindliche oder sehr kleine Teile setzt man Bäder mit 50 bis 100 kHz ein.

Die erforderliche Schallintensität bewegt sich je nach Verschmutzungsgrad und Reinigungsmittel zwischen 0,5 und 5 W/cm². Die spezifische Leistung (Leistung in Watt pro Liter Badinhalt) beträgt für grössere Bäder etwa 10 W/l. Kleinere Bäder brauchen eine grössere spezifische Leistung.

Die Reinigungszeiten reichen von wenigen Sekunden bis maximal einigen Minuten. Auf dem Markt sind Kleinbäder mit weniger als 1 Liter Inhalt bis hin zu Grosswaschanlagen mit mehreren hundert Litern Fassungsvermögen erhältlich (Bild 13).



Bild 13
Ultraschallreinigungsbad.

3.4 Ultraschallschweissen

Neben der Ultraschallreinigung ist das Ultraschallschweissen das meistverbreitete Verfahren mit Ultraschall. Die Ultraschallschweiss-technik wird praktisch nur in der Kunststoff-technik eingesetzt. Neben dem Schweissen kennt man auch das Einbetten von Metallteilen in Kunststoffe mit Hilfe von Ultraschall. Bei den hierbei verwendeten Kunststoffen handelt es sich ausnahmslos um Thermoplaste.

Bei der Herstellung unzähliger Serienteile aus Kunststoff gelangt die Ultraschallschweissung zum Einsatz, z. B.:

- ♦ Elektroindustrie (Stecker, Schalter, Gehäuse usw.)
- ♦ Automobilbau (Handschuhkästen, Instrumententafeln, Benzintanks, Rückleuchten)
- ♦ Photoindustrie (Diarähmchen, Schaukästen, Kameragehäuse)
- ♦ Elektronikindustrie
- ♦ Verpackungsindustrie (Dosen, Flaschen, Tuben, Ampullen)
- ♦ Haushaltmaschinen und -geräte (Gehäuse)
- ♦ Unterhaltungselektronik (Gehäuse, Kopfhörer)
- ♦ Uhrenindustrie (Billiguhrengehäuse)
- ♦ Bürotechnik (vom Kugelschreiber über den Computer bis zum Kunststoffpult)
- ♦ Sportartikel

Beim Ultraschallschweissverfahren gelangen Verbundschwinger zum Einsatz, die bei 20 – 70 kHz in Resonanz betrieben werden. Die erforderliche Leistung bei einer üblichen Tischanlage beträgt einige Kilowatt. Ausserdem gibt es kleine Handschweisspistolen sowie grosse Schweissautomaten, die aus mehreren Einheiten bestehen.

Der Schwinger wirkt – häufig über einen Schnelletransformator – auf das eigentliche Schweisswerkzeug, die sog. Sonotrode (Bild 14). Diese muss genau auf die Betriebsfrequenz abgestimmt sein.

Das Verschweissen von Kunststoffteilen ist ein thermischer Prozess, denn durch die Ultraschalleinwirkung wird das Material an den zu verbindenden Stellen über seinen Erweichungspunkt hinaus erhitzt, so dass es zähflüssig oder sogar flüssig wird und die Verbindung einleitet. Die Wärme entsteht



Bild 14
Verschiedene Sonotroden.

durch die Absorption von Ultraschall. Der grosse Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass die Wärme nicht von aussen zugeführt werden muss. Kunststoffe haben eine schlechte Wärmeleitfähigkeit und würden in den meisten Fällen beim Erwärmen Schaden erleiden. Mit der Ultraschalltechnik kann der Schweißprozess genau an der zu verbindenden Stelle ausgelöst werden.

Beim Einleiten des Schweißvorgangs wird Lärm erzeugt, der auf komplizierten Reibungsmechanismen basiert. In Extremfällen können Spitzenpegel von über 140 dB (linear) erreicht werden.

Als Vorteile des Ultraschallschweißens sind ausser einer zuverlässigen und dauerhaften Verbindung ein hoher Rationalisierungseffekt und die Automatisierbarkeit zu erwähnen. Es wird verhältnismässig wenig Energie verbraucht und die Bearbeitungszeiten sind sehr kurz (0,05 bis 0,5 s). Wegen der dadurch bedingten Wärmeausbreitung wird zudem das Material geschont. Vielfach könnten bestimmte Werkstücke oder Zwischenprodukte ohne Ultraschallschweissen gar nicht hergestellt werden.

Eine Ultraschallschweissmaschine besteht im wesentlichen aus den folgenden Teilen (Bild 15 und 16):

- ♦ Ultraschallgenerator zur Erzeugung der US-Frequenz
- ♦ Konverter zum Umwandeln der elektrischen Schwingungen in mechanische (Schallkopf)
- ♦ Transformationsstück (Booster)

- ♦ Sonotrode zum Übertragen der Schwingungen auf das Schweißobjekt
- ♦ pneumatische Presse zum Andrücken und Aufnehmen der Konverter-Sonotroden-Kombination

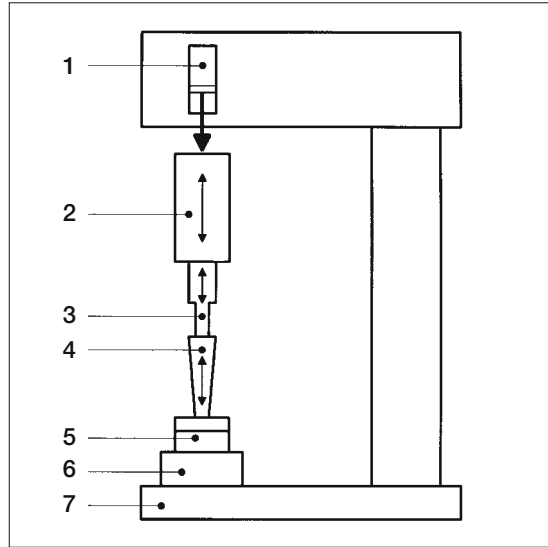


Bild 15
Schematische Darstellung einer Ultraschallschweissmaschine.

- 1 Presse
- 2 Schallkopf
- 3 Transformationsstück
- 4 Sonotrode
- 5 Werkstück
- 6 Amboß
- 7 Grundplatte



Bild 16
Beispiel einer Ultraschallschweissmaschine.

Die einzelnen Verfahren, die in der Praxis mit einer Ultraschallschweissmaschine realisierbar sind, können wie folgt gegliedert werden (Bild 17):

- ◆ Schweißen
- ◆ Einbetten
- ◆ Nieten

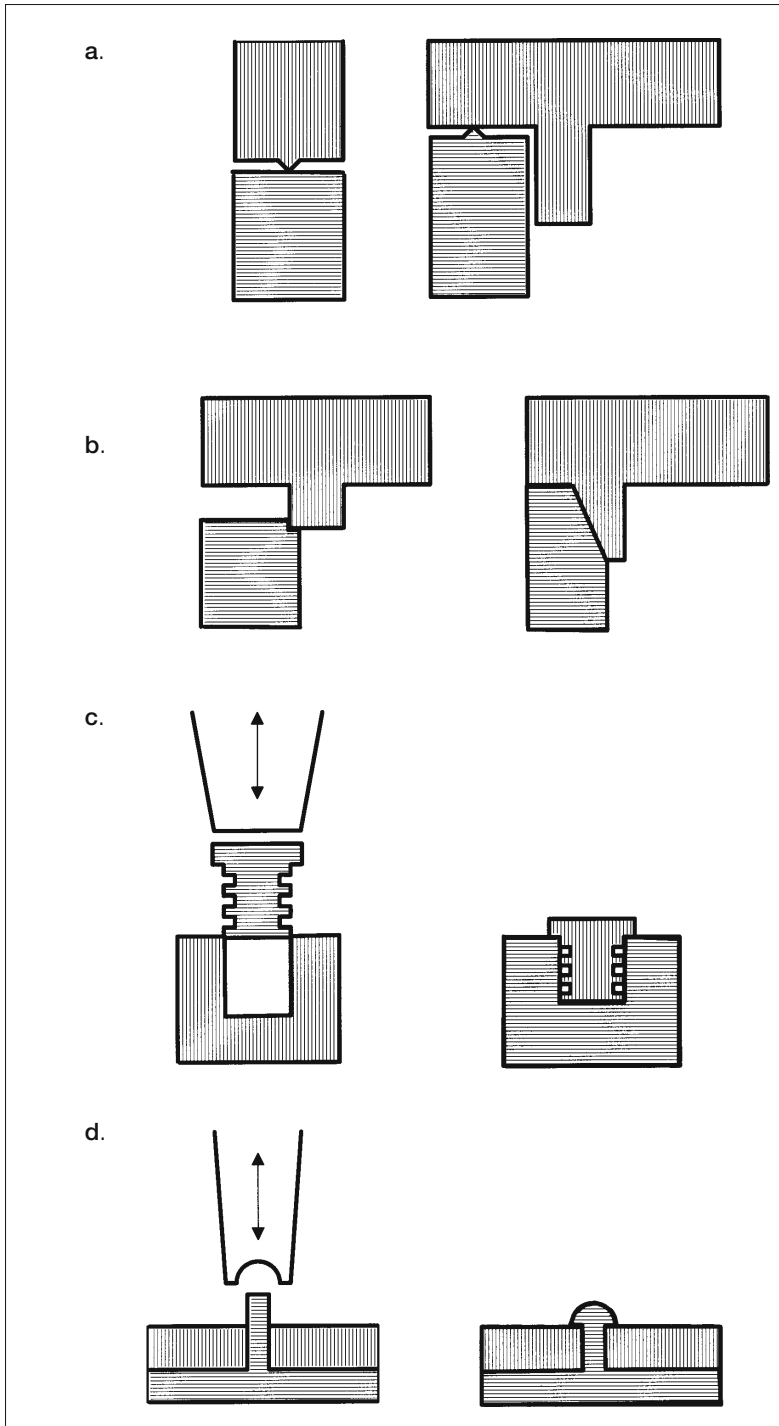


Bild 17
Mögliche Bearbeitungsverfahren mit einer Ultraschallschweissmaschine.

- a. Kunststoffschweißen mit Schweißrippen
- b. Kunststoffschweißen mit Quetschnaht (links vor, rechts nach dem Schweißen)
- c. Einbetten von Metallteilen in Kunststoff
- d. Ultraschallnieten

3.5 Ultraschallbohren

Als eines der ältesten Verfahren der industriellen Ultraschalltechnik kann das Bohren bezeichnet werden. Allerdings ist in diesem Zusammenhang der Ausdruck Bohren nicht ganz korrekt, geht es doch in den meisten Fällen um ein Schleifen oder Zerspanen.

Die zum Einsatz gelangenden Maschinen sind den Ultraschallschweissmaschinen sehr ähnlich. Die Schwingungen werden mit einem magnetostriktiven oder piezoelektrischen Wandler im Bereich von 20 kHz und höher erzeugt. Die vibrierenden Werkzeuge können bei geeigneter Schleifmittelzugabe (meistens Siliziumkarbid) Löcher oder Profilformen in härteste und spröde Materialien (z. B. Glas, keramische Stoffe, Edelsteine) bohren. Die Bearbeitungszeit liegt je nach Material und Zerspanungsvolumen zwischen einigen Minuten und mehreren Stunden. Bei Glas ist z.B. das Abtragsvolumen mit etwa 1000 mm³/min bei 400 Watt Leistung tausendmal so gross wie bei Diamant. Die erzielbaren Bearbeitungsgenauigkeiten sind äusserst gross (Bild 18).

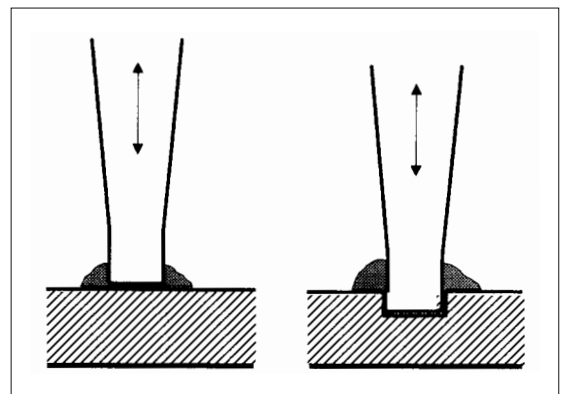


Bild 18
Bohren mit Ultraschall.

3.6 Mechanische Bearbeitung

Für den Einsatz im Präzisionsmaschinen- oder Werkzeugbau sind Geräte auf dem Markt, die als Ultraschalläppmaschinen bezeichnet werden. Mit Hilfe eines biegsamen Schlauches, in dem sich eine flexible Kraftübertragung befindet, werden Axialbewegungen von einigen hundert µm Weg auf ein bleistiftähnliches Werkzeug übertragen. Damit werden, unter Zugabe von Schleifmitteln, Präzisionsteile bearbeitet (z. B. Stanz- oder Spritzwerkzeuge).

3.7 Unterwassertechnik

In der Unterwassertechnik hat die Akustik und mit ihr der Ultraschall – wie in der Einleitung erwähnt – bereits eine lange Geschichte. Insbesondere bei der Erkennung von Hindernissen im Meer sowie bei der Tiefenmessung mit Hilfe von SONAR-Geräten kommt dem Ultraschall eine grosse Bedeutung zu. Das Akronym (Kunstwort) SONAR (**S**ound **N**avigation **A**nd **R**anging) entstand während des Zweiten Weltkrieges und ist ein Gegenstück zum damals bereits bekannten Akronym RADAR (**R**adio **D**etecting **A**nd **R**anging).

Vorläufer der SONAR-Geräte waren die zu Beginn dieses Jahrhunderts benutzten Unterwasserglocken, die Schiffe vor gefährlichen Untiefen warnen sollten (Bild 19). 135 Küstenleuchtfeuer überall in der Welt waren mit derartigen Geräten ausgestattet. Ein von einem Metallgehäuse umschlossener Mechanismus erzeugte Schwingungen, die sich im Wasser ausbreiteten und die Schiffe bei jedem Wetter bis auf 24 Kilometer Entfernung erreichten. Die Signale konnten an Bord der Schiffe mit Hilfe von Mikrofonen aufgefangen werden.

Heute werden SONAR-Geräte auch zur Tiefenmessung (vertikale Schallortung) eingesetzt. Diese Technik ist unter dem Begriff Echolotung bekannt (Bild 20).

Die Ausbreitungsbedingungen des Ultraschalls im Meerwasser sind intensiv erforscht worden und liefern heute die Basis für präzise Messungen. So spielt z.B. für die Schallausbreitungsgeschwindigkeit neben der Wassertemperatur auch der Salzgehalt und die Wassertemperaturschichtung eine grosse Rolle. Zudem muss man das Absorptionsvermögen in Abhängigkeit von diesen Parametern kennen.

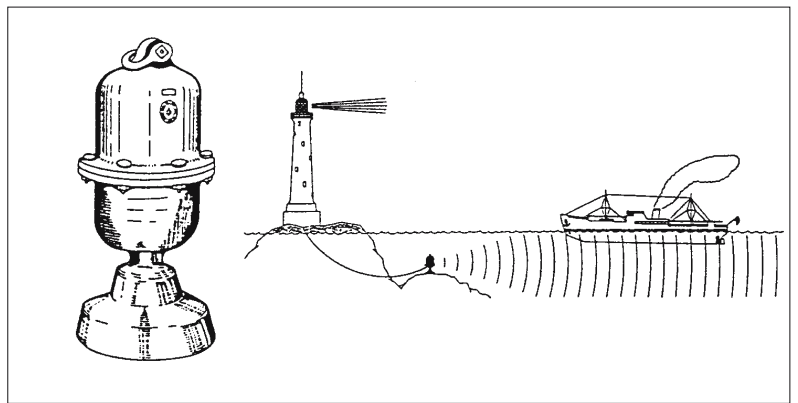


Bild 19
Unterwasserglocken - Vorläufer des Echolots.

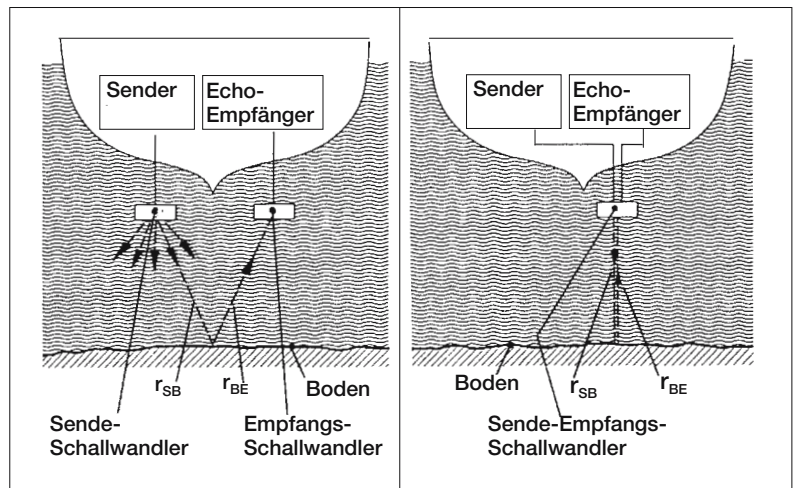


Bild 20
Prinzip der Echolotung.

- links: bistatischer Betrieb
- rechts: monostatischer Betrieb (Sende- und Empfangswandler am gleichen Ort)
- r_{SB} : Radius des Senderechos (Abstand Sender – Boden)
- r_{BE} : Radius des reflektierten Bodenechos (Abstand Boden – Empfänger)

3.8 Weitere Einsatzgebiete

Zum Schluss sei stichwortartig noch auf einige weitere, allerdings z. T. recht exotische Einsatzgebiete des Ultraschalls hingewiesen:

- ◆ Emulgieren, Dispergieren und Homogenisieren von Farbstofflösungen, Photoemulsionen, Milch usw.
- ◆ Sonochemie (chemische Reaktionen als Folge von Ultraschalleinwirkungen)
- ◆ Ultraschallunterstütztes Sieben feinsten Partikel
- ◆ Kornverfeinern bei Erstarrung von Metallschmelzen
- ◆ Herstellung von Dispersionen (Mischungen)
- ◆ Löten und Verzinnen von Aluminium
- ◆ Elektroplattieren und Elektropolieren
- ◆ Polieren von Metallen
- ◆ künstliches Altern von Wein
- ◆ Beschallen des Entwicklungsbades in der Fototechnik zur Kornverfeinerung
- ◆ Entfernen von Zahnstein in Zahnarztpraxen (Arbeitsfrequenz etwa 40 kHz)
- ◆ Entgasen von Flüssigkeiten (z. B. Glas- oder Metallschmelzen)
- ◆ Vertreiben von Vögeln (Bahnhöfe, Schiffstationen, Landwirtschaft)
- ◆ Vertreiben von Mäusen und Ratten in Kellern
- ◆ Raumakustische Modellversuche (Schallausbreitung in anspruchsvollen Räumen)
- ◆ Raumüberwachungsgeräte (auch im Freien), Bewegungsmelder auf der Basis des sog. Dopplereffekts
- ◆ Ultraschallholographie (ähnlich dem Hologramm, wie es heute auf den meisten Kreditkarten abgebildet ist)
- ◆ Ultraschallmikroskopie (gleiche oder höhere Auflösungen als mit einem Lichtmikroskop erzielbar)
- ◆ Ultraschalltomographie (Schichtaufnahmen des menschlichen Körpers oder von Körperteilen)

4 Wirkungen des Ultraschalls auf die Gesundheit, Grenzwerte

4.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt wird aufgrund des heutigen Wissensstandes versucht, die Frage zu beantworten, ob Ultraschall die Gesundheit schädigen kann und wo die zulässigen Grenzwerte liegen. Hierbei geht es nicht nur um Patienten, die mit Ultraschall medizinisch untersucht oder therapiert werden, sondern auch um Personen, die in der Nähe von industriellen Ultraschallanlagen arbeiten.

Grundsätzlich hängt eine schädigende Wirkung durch Ultraschall vom Schalldruck und von seiner Intensität ab. Allerdings spielt es hierbei eine wichtige Rolle, ob der Ultraschall als Körperschall direkt in den Körper eingeleitet oder ob er als Luftschall das Gehör belastet. Aus diesem Grunde müssen auch völlig getrennte Grenzwerte formuliert werden.

4.2 Physiologische Wirkungen des Ultraschalls

Es gibt nur wenig wissenschaftliche Arbeiten, die sich mit den physiologischen Wirkungen des Ultraschalls befassen. Eine der wenigen Untersuchungen stammt von W. I. Acton aus dem Jahre 1974 (Bild 21).

Mögliche Mechanismen für biologische Wirkungen durch Ultraschall sind die Kavitation, die chemische Veränderungen hervorruft, das Zerreißen sehr langer Moleküle bei hohen Frequenzen und die Temperaturerhöhung aufgrund der Absorption im beschallten Gewebe. Denn bei hinreichender Intensität ist Ultraschall in der Lage, Gewebepartien zu erwärmen. Diese Wirkung tritt allerdings praktisch nur bei Körperschalleinleitung des Ultraschalls ein (direkter Kontakt Ultraschallgeber-Gewebe).

Bei der Beurteilung des Schädigungspotentials von diagnostischem Ultraschall muss berücksichtigt werden, dass die meisten Verfahren der Sonographie kurze, sich wiederholende Schallimpulse von einigen Mikrosekunden Dauer und einer Impulsfolge von

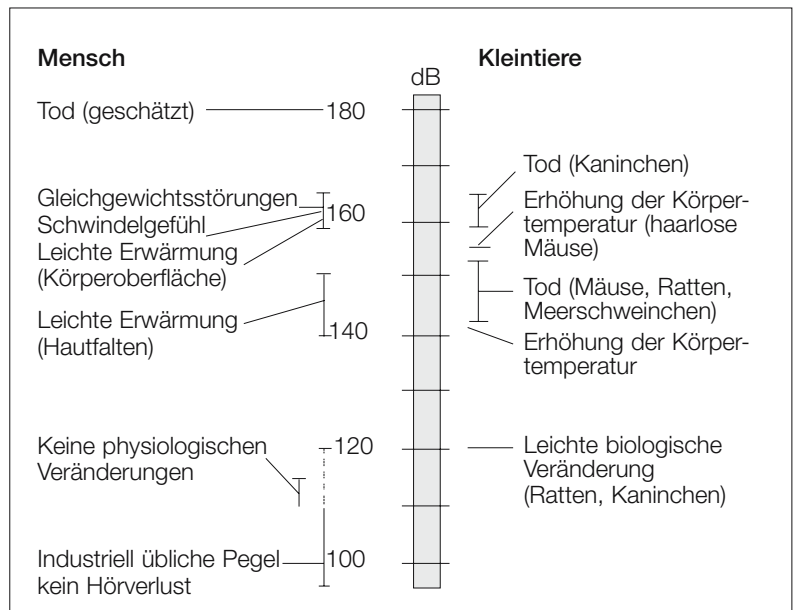


Bild 21
Physiologische Wirkungen des Ultraschalls.

etwa einer Tausendstelsekunde verwenden. Aus diesem Grunde muss man zwischen dem zeitlichen und räumlichen Mittelwert der Schallintensität und der während eines Impulses auftretenden räumlich-zeitlichen Spitzenintensität unterscheiden.

Bei den in der Ultraschalltherapie verwendeten Schallköpfen erhält man z. B. bei 50 mW Leistung eine Temperaturerhöhung von 1°C nach 10 min. bei schwach durchblutetem Gewebe. Aufgrund der Kühlung durch den Blutkreislauf wird die Temperatur auch bei längerer Behandlung nicht erhöht.

Allgemein gilt Ultraschall als gesundheitlich unbedenklich, wenn eine **mittlere Intensität von 0,1 W/cm²** nicht überschritten wird (gilt für die Sonographie und die Therapie). Dieser bereits 1976 vom American Institute of Ultrasound in Medicine (AIUM) festgelegte allgemeine Grenzwert hat noch heute Gültigkeit. Für Beschallungszeiten zwischen 500 s und 1 s werden auch höhere Intensitäten im Gewebe zugelassen, wenn das Produkt aus Intensität und Beschallungszeit kleiner als 50 Ws/cm² ist. Diese Empfehlung wurde später auch von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) übernommen. Da bei der

Ultraschalltherapie im begrenzten Umfang biologische Effekte erwünscht sind, empfiehlt die WHO im Gewebe einen zeitlich gemittelten räumlichen Maximalwert der Intensität von 3 W/cm^2 . Allerdings liegt dieser Wert nicht um Grössenordnungen unter der Schädigungsgrenze. Umfangreiche Abklärungen bei den Geräteherstellern zeigen aber, dass in der praktischen Sonographie diese Werte bei weitem nicht erreicht werden. Die Festlegung der Grenze von $0,1 \text{ W/cm}^2$ basiert auf Untersuchungen, bei denen sowohl die Erwärmung als auch die mechanische Beanspruchung und Kavitationseffekte im menschlichen Gewebe bei direkter Ultraschalleinleitung berücksichtigt wurden.

Aufgrund umfangreicher internationaler Untersuchungen kann festgehalten werden, dass sowohl die Ultraschalldiagnostik als auch die Ultraschalltherapie in den derzeit gebräuchlichen Formen keine schädigenden Nebenwirkungen verursachen.

Ultraschall als Luftschall kann bei den üblichen Intensitäten keine physiologischen Wirkungen verursachen. Diese Feststellung beruht auf der Tatsache, dass beim Übergang von der Luft in den menschlichen Körper nur etwa $0,05 \%$ des ursprünglichen Schalldruckes weitergeleitet werden, wobei die resultierenden Intensitäten sehr klein sind. Dies zeigt auch eine ungefähre Abschätzung: 120 dB als Luftschall im ungestörten Freifeld entsprechen bei einem Abstand von $0,3 \text{ m}$ bei einer kugelförmigen Ausbreitung einer Intensität von 1 W/m^2 oder $0,1 \text{ mW/cm}^2$. Dieser Wert liegt um einen Faktor $1'000$ unter dem vorgeschlagenen Grenzwert.

4.3 Die Wirkungen des Ultraschalls auf das Gehör

4.3.1 Allgemeines

Während man sich mit den physiologischen Wirkungen des Ultraschalls schon seit langem beschäftigt, wurde mit den Untersuchungen über die Einflüsse auf unser Gehör verhältnismässig spät begonnen. Die Wirkungen auf unser Gehör können in drei Gruppen eingeteilt werden:

- ❶ Beschallung mit nichtmoduliertem Ultraschall (Luftschall)
 - ♦ Dabei kann ein Ton wahrgenommen werden, dessen Höhe sich mit der Ultraschallfrequenz zwangsläufig ändert.
 - ♦ Bei allenfalls hörbaren Tönen handelt es sich um subharmonische Schwingungen des Ultraschallsignals. Vorübergehende Hörschwellenverschiebungen (TTS, temporary threshold shift) bei Pegeln um 150 dB an der Stelle der ersten subharmonischen Frequenz wurden experimentell nachgewiesen. Obwohl viele Untersuchungen das Auftreten von Kopfschmerzen, Unwohlsein, Ohrengeräuschen und sogar Übelkeit nach ständiger und intensiver Ultraschalleinwirkung an Arbeitsplätzen bestätigen, ist bisher jedoch kein Fall von eindeutiger Gehörschädigung bekanntgeworden.
- ❷ Beschallung mit niederfrequent moduliertem Ultraschall (Luft- und Knochenschall)
 - ♦ In diesem Fall kann das niederfrequente Signal hörbar werden, d. h. es findet ein Demodulationsvorgang statt.
 - ♦ Mit Hilfe von sehr stark fokussiertem, amplitudenmoduliertem Ultraschall können akustische Informationen unmittelbar ins Innenohr übertragen werden. Die Lautstärke des hörbaren niederfrequenten Signals steigt mit grösser werdendem Modulationsgrad an, was auch theoretisch verständlich ist.
- ❸ Beschallung mit nichtmoduliertem, festkörpergeleitetem Ultraschall (Knochenschall)
 - ♦ Auch in diesem Fall kann eine Hörempfindung ausgelöst werden, und zwar bei Ultraschallfrequenzen bis etwa 200 kHz . Der dabei entstehende Höreindruck ent-

spricht demjenigen eines sehr hohen und häufig als «unangenehm» empfundenen Tones, dessen Höhe nahezu unabhängig von der Frequenz des eingeleiteten Ultraschalls ist.

- ♦ Aus Untersuchungen mit Knochenschall ist bekannt, dass im Ultraschallbereich auch bei sehr hohen Frequenzen (bis 200 kHz) hörähnliche Empfindungen ausgelöst werden können, sofern man die Ultraschallsignale auf dem Knochenschallweg einleitet. Diese Beobachtung ist insofern von Interesse, als beim Menschen das Hören über den Schädelknochen einen nicht zu vernachlässigenden Anteil an der gesamten Hörfähigkeit einnimmt.

Den Verlauf der Knochenleitungshörschwelle im Hör- und Ultraschallbereich zeigt Bild 22. Bemerkenswert ist der steile Anstieg der Schwellenkurve zwischen 14 und 20 kHz, der – wahrscheinlich – auf den Übergang zu einem anderen Funktionsmechanismus hindeutet, der bis heute nicht geklärt werden konnte. Es wird vermutet, dass es sich dabei entweder um hydrodynamische Ausgleichsvorgänge im fensternahen Teil der Schnecke mit einer entsprechenden Reizung des Cortischen Organs handelt oder aber dass eine direkte, inadäquate Reizung des Hörnervs durch mechanische Schwingungen der ihn umgebenden Knochenwandungen erfolgt, insbesondere an seiner Austrittsstelle aus dem Labyrinth. Mit Sicherheit weiss man lediglich, dass die durch sehr intensiven Knochenschall ausgelösten Hörempfin-

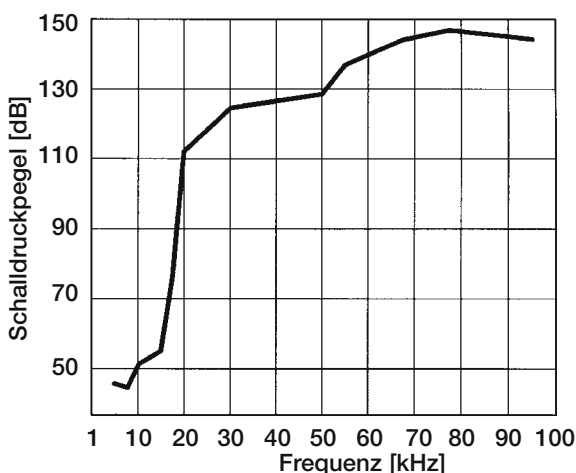


Bild 22
Knochenschallhörschwelle für den Hör- und Ultraschallbereich (gemessen von Corso an 38 Männern und 37 Frauen, alle normalhörend).

dungen zwar nicht besonders laut, dafür aber ausgesprochen unangenehm sind; sie verursachen auch häufig über Stunden anhaltende Nachwirkungen in Form von Ohrgeräuschen.

Diese Ausführungen zeigen deutlich, wie komplex das Problem Ultraschall im Zusammenhang mit dem menschlichen Hörvermögen ist. Bis neue Erkenntnisse vorliegen, muss von der Hypothese ausgegangen werden, dass intensiver Ultraschall das Cortische Organ bzw. die Haarzellen beeinträchtigen oder sogar schädigen kann.

Bei der medizinischen Anwendung können Schallanteile im hörbaren Bereich ausgeschlossen werden. In der industriellen Anwendung hingegen liegen die Verhältnisse völlig anders. Auf die Beurteilung dieser Probleme soll im folgenden eingegangen werden.

Die Arbeitsfrequenz der meisten industriellen Ultraschallverfahren liegt über 20 kHz und damit im unhörbaren Bereich. Oft treten aber kräftige subharmonische Töne auf, die meist bei der halben Arbeitsfrequenz liegen. In bestimmten Fällen lassen sich subharmonische Töne auch bei $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{8}$ oder $\frac{1}{10}$ der Arbeitsfrequenz nachweisen. Diese Töne sind es denn auch meist, die einerseits eine Gehörgefährdung darstellen oder als belästigend beurteilt werden.

Dass man Ultraschall wahrnehmen, wenn auch nicht im eigentlichen Sinn hören kann, ist schon seit langem bekannt. Man empfindet nicht einen Ton im musikalischen Sinn, sondern eher einen Druck auf dem Ohr oder auf dem Kopf. Bei längerer Einwirkung von Ultraschall klagen betroffene Personen häufig über Kopfschmerzen, Unwohlsein und Schwindelanfälle. Ähnliche Folgen werden übrigens auch durch die intensive Einwirkung von Infraschall (sehr tieffrequenter Schall, d. h. weniger als 20 Hz) auf den Menschen beobachtet.

4.3.2 Grenzwerte

Ultraschall verursacht nach heutigem Wissensstand keine Schädigung, wenn der Maximalpegel unter 140 dB und der Mittelungspegel, bezogen auf 8 h/Tag, unter 110 dB liegt.

Da sich dieser Grenzwert ausschliesslich auf die Signalanteile mit Frequenzen über 20 kHz bezieht, kann bei der Messung ein Filter eingesetzt werden, das die Anteile unter 20 kHz unterdrückt. Genauere Hinweise sind unter Ziffer 5.3.3 zu finden.

Schallanteile im **hörbaren Bereich** gelten als gehörgefährdend, wenn der energieäquivalente Dauerschalldruckpegel $L_{eq} = 88$ dB(A) und mehr erreicht (bezogen auf eine repräsentative Arbeitsperiode von 8 h/Tag, max. 2000 h/Jahr).

Als Grenzbereich der Gehörgefährdung gelten energieäquivalente Dauerschalldruckpegel L_{eq} von 85 bis 87 dB(A) pro Tag oder Woche sowie Impulsschallereignisse mit einem Spitzenwert L_{Peak} über 140 dB(C). Die Frequenzbewertungen A und C (IEC 651) sind in Bild 23 dargestellt.

In gewissen Publikationen wird die Filterkombination AU bestehend aus dem in der IEC-Norm 1012-1990 beschriebenen Tiefpass-Filter «U» und dem Filter «A» für die Bewertung von Schallsignalen bis in den

Ultraschallbereich vorgeschlagen. Nach diesem Konzept wäre bei 20 kHz ein Dauerschallpegel von 120 dB und bei 25 kHz ein solcher von 135 dB zulässig (Bild 23).

Nach IEC-Norm 1012 ist aber das U-Filter nicht als Bewertungsfilter anzusehen, sondern nur als Hilfsmittel, um Verfälschungen der Resultate im hörbaren Frequenzbereich durch gleichzeitige Ultraschallsignale zu vermeiden.

Nach wie vor bestehen Unsicherheiten über die Auswirkungen von intensiven (Reinton-) Schallsignalen im obersten Hörbereich. Deshalb hat sich die Suva darauf festgelegt, alle Schallanteile bis 20 kHz vollumfänglich zu erfassen und nur mit dem A-Filter zu bewerten. (Für die Unterdrückung von Ultraschallanteilen werden unter Ziffer 5.2.3 verschiedene Methoden angegeben.)

Damit soll versucht werden, das an Ultraschallanlagen beschäftigte Personal – vor allem auch jüngere Personen und Frauen – bestmöglich vor lärmbedingten Gehörschäden und vor starken Belästigungen zu schützen. Die Praxis zeigt denn auch, dass viele Beschäftigte bei Expositionen im Grenzbereich recht häufig Gehörschutzmittel verwenden, um der belästigenden Wirkung zu entgehen.

4.4 Verhaltensregeln an Ultraschallanlagen

4.4.1 Schwangere Frauen

Die auftretenden Intensitäten an Ultraschallanlagen sind unter der berechtigten Annahme, dass nur Luftschall und kein direkt eingeleiteter Körperschall auftritt, so klein, dass eine Gefährdung sowohl für die werdende Mutter als auch für das ungeborene Kind ausgeschlossen werden kann. Diese Meinung wird von Fachleuten an namhaften Institutionen vertreten (z.B. Institut für biomedizinische Technik, ETHZ; Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, ETHZ; Bundesamt für Umwelt, Wald und Landwirtschaft BUWAL; Bundesamt für Gesundheitswesen BAG; Bundesanstalt für Unfallforschung, BAU, Dortmund).

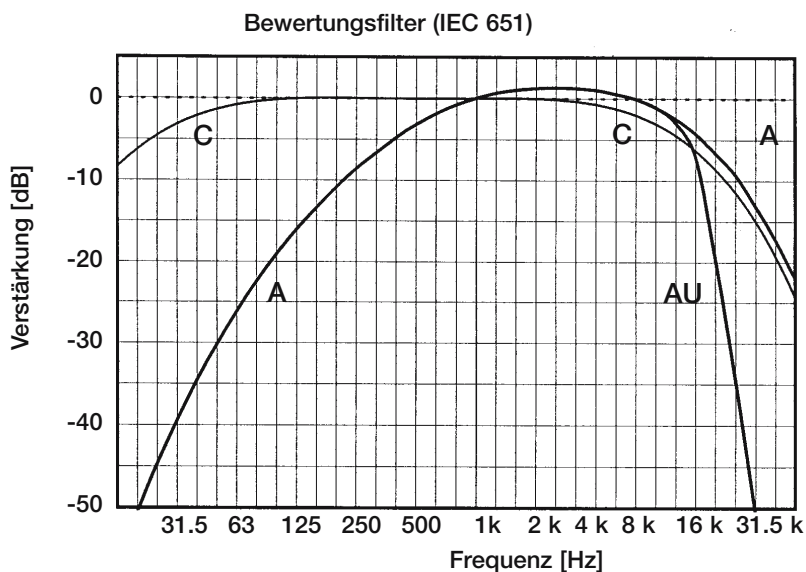


Bild 23
A Bewertungsfilter A (bis 20 kHz: nach IEC 651, über 20 kHz: typischer Verlauf)
C Bewertungsfilter C (bis 20 kHz: nach IEC 651, über 20 kHz: typischer Verlauf)
AU Filterkombination AU (IEC 1012-1990)

4.4.2 Arbeiten mit medizinischen Geräten

Ultraschallköpfe von Therapie- und Chirurgiegeräten, die während des Betriebes vom Bedienungspersonal berührt werden müssen, sind ausreichend gegen die Übertragung von Körperschall zu dämmen. Im Wasser stehende Ultraschall-Therapeuten können durch entsprechende Kleidung aus einem gashaltigen Material (z.B. geschlossenzelliger Neoprenschaumstoff) weitgehend vor Körperschalleinwirkungen geschützt werden.

4.4.3 Arbeiten an Ultraschallanlagen

Hier können folgende Verhaltensregeln aufgestellt werden:

- ♦ Grundsätzlich soll nicht in Reinigungsbäder gegriffen werden. Bei nicht vermeidbaren Arbeiten in Reinigungsbädern sind flüssigkeitsdichte Handschuhe mit untergezogenen Netzhandschuhen zu benützen.
- ♦ Falls die Grenzwerte nach Ziffer 4.3.2 überschritten werden, sind persönliche Gehörschutzmittel (Spezialwatte, Pfropfen oder Kapseln) zu benützen.
- ♦ Aktive Schwinger (z. B. Sonotrode an Schweissmaschine) dürfen nicht berührt werden.
- ♦ Bestehende Lärmschutzeinrichtungen sind strikte zu verwenden (z.B. Abdeckungen von Bädern, Kapselungen).

5 Schallmessungen an Ultraschallanlagen

5.1 Grundsätzliches

Bei Schallmessungen an industriellen Ultraschallanlagen werden übliche Schallmessgeräte ausserhalb ihres eigentlichen Anwendungsbereiches eingesetzt. Auch mit hochwertigen Schallpegelmessern, welche die Anforderungen der Klasse 1 nach IEC 804/651 erfüllen, können sich bei Schallsignalen ab 16 kHz beliebig grosse Abweichungen ergeben. Es ist deshalb unumgänglich, bei Messungen an Ultraschallanlagen die Eigenschaften der verwendeten Messgeräte, speziell des Messmikrofons, genau zu kennen.

Ein zweites Problem besteht darin, dass die A-Bewertung zwar nur bis 20 kHz definiert ist, Frequenzen über 20 kHz aber keineswegs abschneidet, sondern nur zunehmend abschwächt (Bild 23). Zur Unterdrückung der Ultraschallanteile sind deshalb zusätzliche Massnahmen erforderlich.

In jedem Fall ist es von Vorteil, vor der Messung abzuklären, wo die Arbeitsfrequenz der Ultraschallanlage nach den Angaben des Herstellers liegt und bei welchen Frequenzen mit Subharmonischen zu rechnen ist.

5.2 Messung und Bewertung im hörbaren Frequenzbereich

5.2.1 Zielsetzung

Um die Lärmsituation an einem Arbeitsplatz anhand der Suva-Grenzwerte für den hörbaren Frequenzbereich (Abschnitt 4.3.2) zu beurteilen, müssen alle wesentlichen Schallsignale bis 20 kHz erfasst und mit dem A-Filter bewertet werden. Bei Spitzenpegeln über 140 dB ist zusätzlich eine Messung mit dem C-Filter erforderlich. Liegt die Hauptenergie des Schalls im Frequenzbereich über 1 kHz, so ergibt sich mit dem A-Filter praktisch derselbe Pegel wie mit dem C-Filter.

5.2.2 Anforderungen an den Frequenzumfang

Aufgrund der grossen Toleranzen von Schallmessgeräten der Klasse 1 nach IEC 651 im Frequenzbereich über 12 kHz sind für die

Messung im Umfeld von Ultraschallquellen nur Mikrofone geeignet, deren Frequenzgang weitgehend innerhalb der – sehr strengen – Toleranzen für die Klasse 0 nach IEC 651 liegt (bei 20 kHz weniger als 3 dB Abfall im Vergleich zu 1 kHz). Dies gilt z. B. für die Kondensator-Mikrofone Brüel&Kjær (B&K) 4155, Norsonic 1220 und äquivalente Typen anderer Hersteller sowie die unter Ziffer 5.3.2 erwähnten ultraschalltauglichen Mikrofone, aber keineswegs für alle Halbzoll-Mikrofone (Bild 24 a).

Die Elektronik hochwertiger Messgeräte weist bis 20 kHz keine nennenswerten Verluste auf.

5.2.3 Unterdrückung von Ultraschallanteilen

Signale über 20 kHz sind wirksam zu unterdrücken, damit sie das Messresultat im hörbaren Bereich nicht verfälschen. Dafür bieten sich verschiedene Methoden an:

- ♦ Komponenten über 20 kHz werden mit einem speziellen Tiefpass-Filter mit grosser Flankensteilheit abgeschnitten.
- ♦ Wenn aufgrund der Angaben zur Ultraschallanlage vorausgesetzt werden kann, dass keine Subharmonischen zwischen 14 und 20 kHz liegen, kann das U-Filter eingesetzt werden, das Signale über 12 kHz zunehmend abschwächt (Bild 24 b). Der Messwert ist in diesem Fall in dB(AU) anzugeben.
- ♦ Eine äusserst steiflankige Begrenzung bei 21 bis 22 kHz ergibt sich durch die Aufzeichnung und Wiedergabe auf einem DAT-Gerät mit 44 kHz Abtastfrequenz (Frequenzgang in Bild 24 b).
- ♦ Der A-bewertete Schallpegel wird auf einem digitalen Frequenzanalysator als gewichtete Summe aus der Terzbandanalyse bis 20 kHz (Mittenfrequenz) errechnet. Dies entspricht einer Begrenzung bei ca. 22 kHz.
- ♦ Es wird ein Mikrofon ausgewählt, dessen Frequenzgang bis 20 kHz reicht und darüber möglichst steil abfällt, z.B. B&K 4155, Norsonic 1220 oder äquivalente

Typen. Diese Methode ist aber unsicher, weil diese Mikrofone häufig eine Resonanz bei etwa 26 kHz aufweisen und somit auf Ultraschallsignale in diesem Bereich ansprechen können (vgl. Bild 24 a). Der vom Hersteller dem Mikrofon beigelegte Frequenzgang deutet zwar einen steilen Abfall ab 20 kHz an; tatsächlich endet aber bei dieser Frequenz nur die Messung.

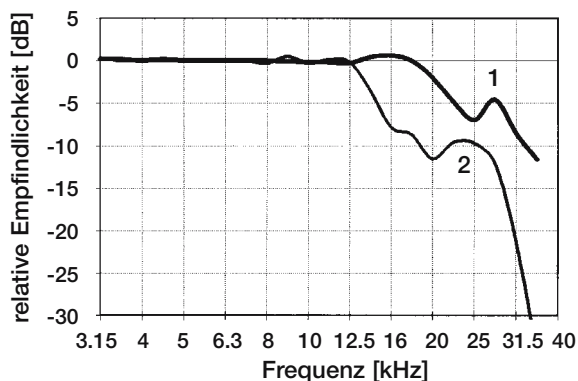


Bild 24 a
Frequenzgänge
1 hochwertiges 1/2"-Mikrofon
2 1/2"-Mikrofon (Klasse 1 nach IEC 651)

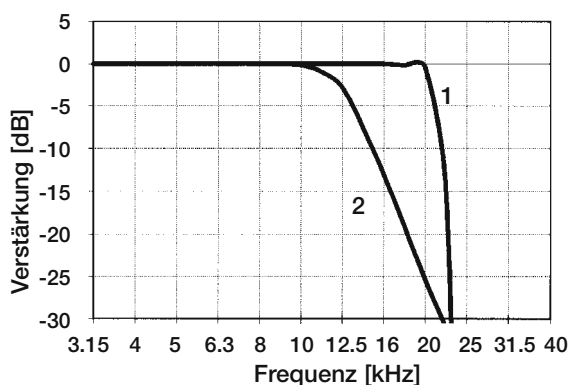


Bild 24 b
Frequenzgänge
1 DAT-Rekorder bei 44 kHz Abtastfrequenz
2 Tiefpassfilter U (IEC 1012-1990)

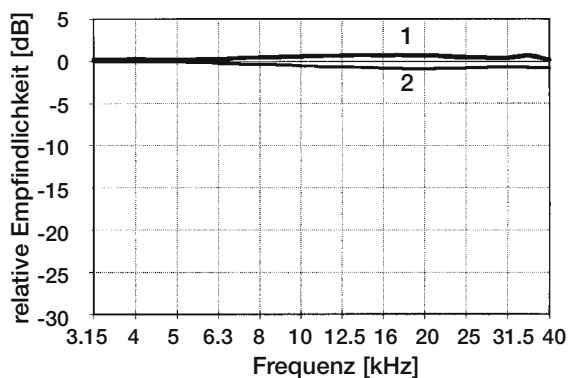


Bild 24 c
Frequenzgänge
1 breitbandiges 1/2"-Mikrofon
2 1/4"-Mikrofon (Freifeldtyp)

5.3 Messung und Bewertung im Ultraschallbereich

5.3.1 Zielsetzung

Bei der Messung geht es darum, alle von der Quelle im Ultraschallbereich abgestrahlten Signale zu erfassen und andererseits zu verhindern, dass das Ergebnis durch Schallanteile unter 20 kHz verfälscht wird.

5.3.2 Anforderungen an den Frequenzumfang

Der Frequenzbereich der ganzen Messkette muss bis über die Arbeitsfrequenz der Ultraschallquelle reichen. Dabei kann der Frequenzgang des elektrischen Teils der Messgeräte den Herstellerangaben entnommen oder mit einem elektrischen Eingangssignal von einem Signalgenerator überprüft werden.

Beim Mikrofon muss ein Typ gewählt werden, der nach den Herstellerspezifikationen die obigen Anforderung erfüllt. Das ist bei gewissen (älteren) Halbzollmikrofonen (z. B. B&K 4133) sowie bei Kondensatormikrofonen mit einem Durchmesser von 1/4 Zoll (z. B. B&K 4135 oder Microtech Gefell MK 301) oder 1/8 Zoll (z. B. B&K 4138) der Fall. Bild 24 c zeigt den Frequenzgang eines breitbandigen 1/2-Zoll-Mikrofons und eines 1/4-Zoll-Mikrofons. Alle diese Mikrofone sind nicht vorpolarisiert und deshalb darauf angewiesen, dass der Schallpegelmessers bzw. Analysator oder Vorverstärker die Polarisationsspannung von 200 Volt bereitstellt.

Die Erfassung von Frequenzen über 50 kHz ist nur mit speziellen Geräten möglich – aber bei industriellen Ultraschallquellen auch nur selten erforderlich.

5.3.3 Unterdrückung von Schallanteilen im Hörbereich

Um sicherzustellen, dass Schallanteile im hörbaren Frequenzbereich das Resultat nicht verfälschen, gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- ♦ Sofern im Bereich von 12 bis 20 kHz keine wesentlichen Schallanteile vorkommen, kann das Ultra-Filter (z. B. im Ansteckfilter B&K 1627) eingesetzt werden, das Signale unter 20 kHz zunehmend abschwächt.

- ♦ Andernfalls muss ein steiles Hochpassfilter bei 20 kHz eingesetzt werden.
- ♦ Der Ultraschallpegel wird aus einer Frequenzanalyse (Ziffer 5.5) ermittelt.

5.4 Zeitliche Bewertung

5.4.1 Bestimmung des Mittelungspegels

Zur Bestimmung des Dauerschall- oder des Mittelungspegels eignen sich integrierende Schallpegelmesser. Ebenso verfügen die meisten professionellen Akustik-Analysatoren über diese Möglichkeit. Der Dauerschallpegel kann aber auch aus dem Kurzzeit-Mittelungspegel und der Expositionszeit errechnet werden. Dieses Verfahren ist in der Suva-Publikation 44057.d «Gehörgefährdender Lärm am Arbeitsplatz» eingehend beschrieben.

5.4.2 Bestimmung des Maximalpegels

Um den Maximalpegel des Ultraschallsignals zu erfassen, muss der Schallpegelmesser oder Analysator über die Zeitkonstante «Fast» (125 ms) verfügen und Spitzenpegel bis ca. 140 dB verarbeiten können. Dies ist praktisch bei allen professionellen Schallmessgeräten der Fall.

5.4.3 Schalldruckpegel-Diagramm

Ein Schalldruckpegel-Zeitdiagramm (Bild 25) liefert nur selten Informationen, die für die Interpretation der Lärmverhältnisse von Bedeutung sind. Immerhin zeigt eine solche Darstellung bei Ultraschallschweissmaschinen die zeitliche Struktur des Signals. Der mehr oder weniger konstante Schalldruckpegel bei Ultraschallreinigungsanlagen ist

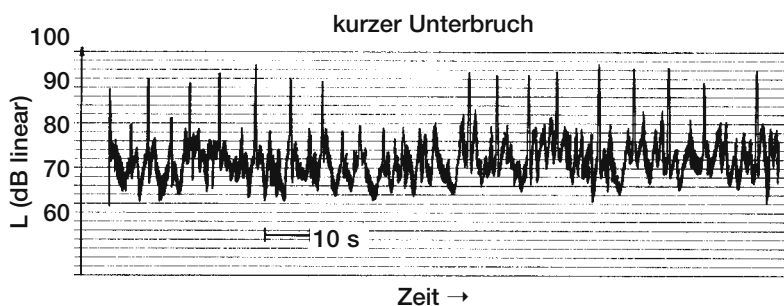


Bild 25
Schalldruckpegel-Zeitdiagramm an einer Ultraschallschweissmaschine.

hingegen von beschränkter Aussagekraft. Aus diesem Grunde kann auf diese Darstellungsart von Messergebnissen meistens verzichtet werden.

5.5 Frequenzanalysen

Im Frequenzbereich unter 20 kHz können umschaltbare Filter sowie Parallelanalysatoren (Oktav-/Terzband oder Schmalband/FFT) verwendet werden.

Für Frequenzanalysen im Ultraschallbereich gibt es Filtersätze, die zusätzlich die Frequenzbänder bis 40 kHz umfassen, sowie gewisse FFT-Analysatoren mit erweitertem Frequenzbereich.

Moderne Akustik-Analysatoren mit digitaler Signalverarbeitung sind aber meist auf den Frequenzbereich unter 22 kHz beschränkt. Deshalb muss vor der Analyse eine Frequenztransformation der Ultraschallsignale auf die Hälfte oder auf $\frac{1}{10}$ der ursprünglichen Frequenz vorgenommen werden, wie dies mit speziellen Aufzeichnungsgeräten (vgl. Ziffer 5.6) möglich ist.

Für die Frequenzbestimmung der hauptsächlichsten Komponenten eignen sich FFT-Analysatoren mit Zoom-Funktion. Es ist auch möglich, einen elektronischen Zähler an ein analoges Terzfilter anzuschliessen und die Frequenz dieses vorgefilterten Signales sehr genau zu messen.

5.6 Aufzeichnung von Ultraschallsignalen

Aufgrund der Abtastfrequenz von 44 oder 48 kHz reicht der Frequenzumfang von DAT-Geräten systembedingt nur bis 21 oder 22 kHz. Seit 1995 sind nun aber auch «high sampling»-DAT-Geräte mit 96 kHz Abtastfrequenz erhältlich, darunter ein portables Modell. Diese Geräte können Signale bis 40 kHz mit höchster Qualität aufzeichnen. Zum Teil ist die Wiedergabe von «high sampling»-Aufnahmen mit halber Geschwindigkeit und halbiertes Frequenz möglich, so dass die Auswertung auf üblichen Akustikanalysatoren erfolgen kann. Allerdings muss dabei die transformierte Frequenzskala berücksichtigt werden, und auch Zeitkonstanten (z. B. «Fast») sind um einen Faktor 2 langsamer (grösser) einzustellen.

Bild 26 zeigt die Auswertungen einer solchen Messung an einem Ultraschallbad. Deutlich zu erkennen ist die Arbeitsfrequenz bei ca. 26 kHz und die Subharmonische bei ca. 13 kHz.

Analoge portable Tonbandgeräte (Stellavox, Kudelski Nagra) sind zwar bei einer Bandgeschwindigkeit von 38 cm/s (15") in der Lage, Frequenzen bis etwa 28 kHz aufzuzeichnen, doch muss der Abfall des Frequenzgangs bei der Auswertung kompensiert werden.

Analoge Messmagnetbandgeräte können teilweise Frequenzen bis 40 kHz aufzeichnen, allerdings mit einem beschränkten Dynamikbereich von beispielsweise 40 dB, der die Aussteuerung ziemlich kritisch macht.

5.7 Flüssigkeitsschall

Um den Flüssigkeitsschall direkt zu messen, benötigt man spezielle Messmikrophone, sog. **Hydrophone** (Wasserschallempfänger). Diese verfügen gegenüber den üblichen Mikrofonen über einen deutlich grösseren Messbereich, wie der Frequenzgang in Bild 27 zeigt. Hydrophone werden meistens in der Luft mit den üblichen Eich- oder Kalibrierquellen geprüft.

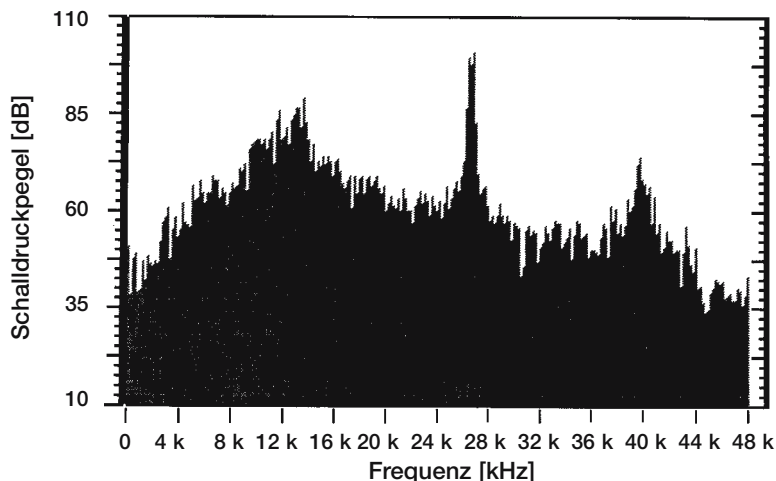
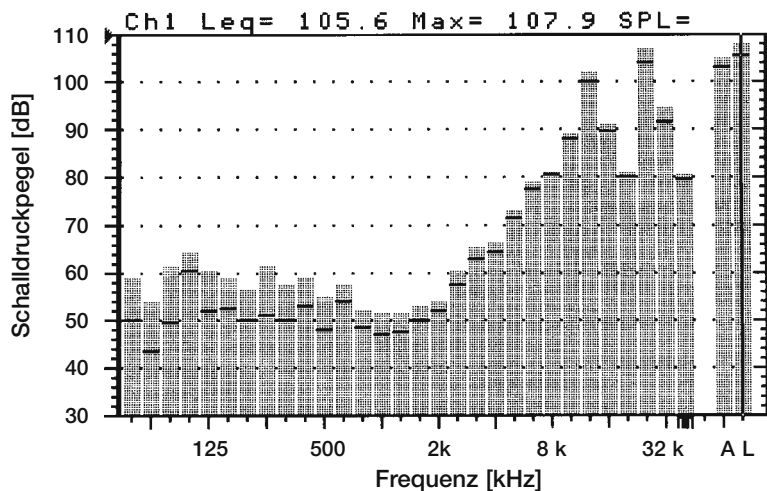
Interessant ist der Hinweis, dass der Wasserschalldruckpegel per Definition um 36 dB höher liegt als der Schalldruckpegel in Luft. Auf diesen Unterschied soll aber hier nicht weiter eingegangen werden.

5.8 Durchführung von Messungen

5.8.1 Messstelle

Als massgebende Messstelle muss der Arbeitsplatz zur Bedienung der Anlage bezeichnet werden, im besonderen die Lage des Kopfes bzw. der Ohren.

Da sich der Ultraschall praktisch nur geradlinig (d. h. ohne Beugung) ausbreitet, muss die Mikrofonposition der Schalleinfallrichtung angepasst werden. Im Bereich eines Arbeitsplatzes ist die Stelle mit dem höchsten Pegel zu ermitteln.



Bilder 26 a und 26 b
Luftschalldruckmessungen an einem Ultraschallbad
(in 1 m Entfernung).
a. Terzbandanalyse
b. Schmalbandanalyse

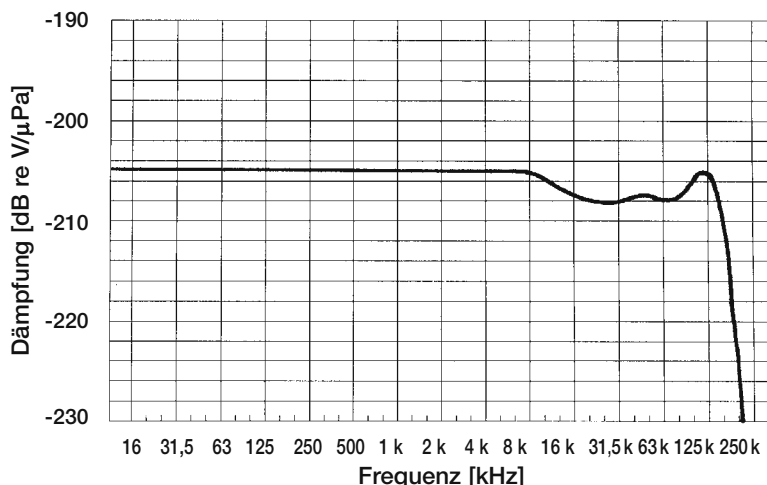


Bild 27
Frequenzgang eines Hydrophons (Quelle: Brüel & Kjær).

5.8.2 Frequenzanalysen

Zur Bestimmung der Geräuschschwerpunkte eignet sich eine Schmalbandanalyse mit Filtern konstanter Bandbreite (Fourieranalyse, FFT). Bei Oktav- oder Terzbandanalysen können die Arbeitsfrequenz sowie die harmonischen und subharmonischen Schwingungen (ganzahlige Teile oder Vielfache der Arbeitsfrequenz) nicht genau nachgewiesen werden.

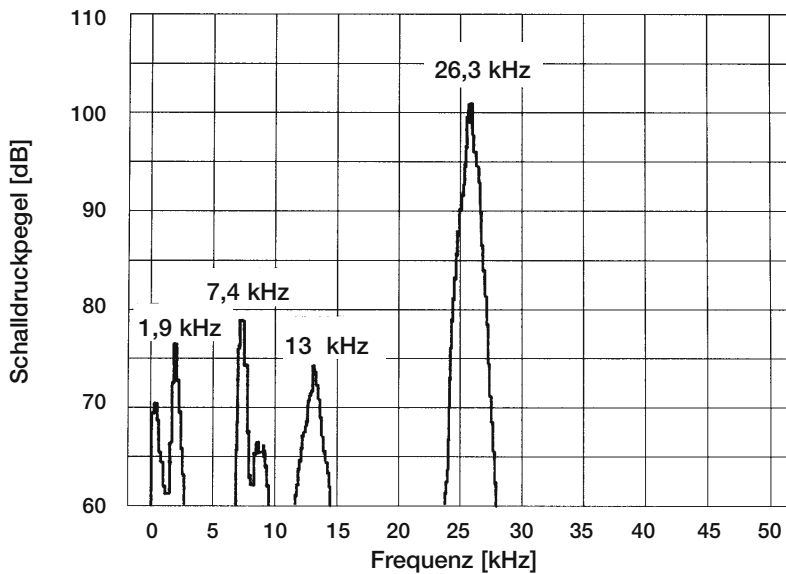


Bild 28
Ultraschallreinigungsbad (Schmalbandanalyse, Bandbreite der Filter 125 Hz).
Die Analyse ergibt, dass die Arbeitsfrequenz bei 26'300 Hz liegt. Die erste subharmonische Schwingung (bei 13'000 Hz) ist deutlich sichtbar, während eine harmonische Schwingung bei 52 kHz bei der Messung nicht nachgewiesen werden konnte. Der Gesamtschallpegel beträgt
L = 101 dB(linear) und 89 dB(A).

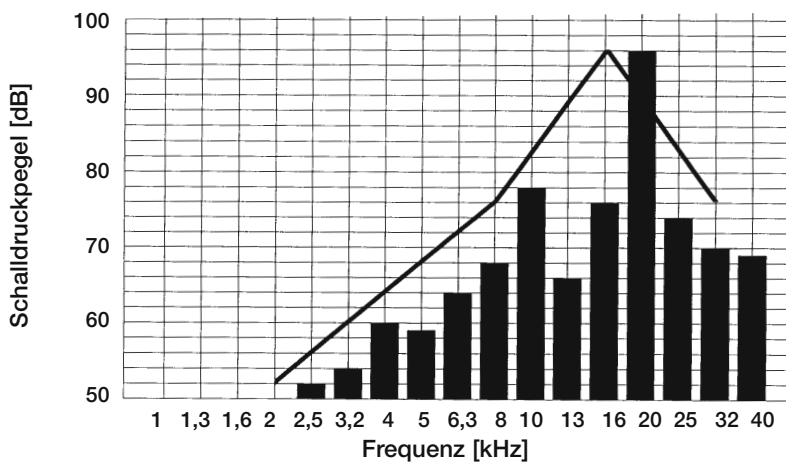


Bild 29
Ultraschallreinigungsbad. Gegenüberstellung Oktavband-/Terzbandanalyse.
Oktavbandanalyse: Linie
Terzbandanalyse: Balken

Bild 28 zeigt eine Schmalbandanalyse, aufgenommen an einem Ultraschallbad, Volumen rund 40 l, Messstelle Arbeitsplatz (Ohrnähe).

In Bild 29 werden Oktavband- und Terzbandanalyse einander gegenübergestellt. Man sieht sofort, dass die Aussagekraft der Terzbandanalyse wesentlich grösser ist. Die Arbeitsfrequenz des Bades liegt bei 20 kHz, während sie bei der Oktavbandanalyse als Folge der grossen Filterbandbreiten ins Oktavband 16 kHz zu liegen kommt. Auch ist die erste subharmonische Schwingung nur bei der Terzbandanalyse (10 kHz) feststellbar.

5.8.3 Zu erfassende Daten

Je nach Anlage und Problem wird man sich mit der Erfassung der bewerteten und linearen Gesamtschallpegel begnügen oder, falls die Realisierbarkeit von technischen Schallschutzmassnahmen geprüft werden soll, auch Frequenzanalysen durchführen.

5.8.4 Messprotokoll

Ein vollständiges Messprotokoll enthält im wesentlichen die folgenden Daten:

- ♦ Beschreibung der Anlage oder Maschine, Arbeitsfrequenz, Herstellungsjahr, Seriennummer, Betriebszustand, bearbeitete Materialien
- ♦ Messstelle (Abstand, Höhe)
- ♦ Verwendete Messgeräte, Kalibrierschallquelle
- ♦ Messergebnisse
- ♦ Beurteilung der Messergebnisse bezüglich Gehörgefährdung
- ♦ Allenfalls Vorschläge für die Lärmreduktion

6 Schallschutzmassnahmen an Ultraschallanlagen

6.1 Übersicht

Grundsätzlich kann wie bei allen anderen lärm erzeugenden Verfahren zwischen folgenden Massnahmengruppen unterschieden werden:

- ◆ technische Schallschutzmassnahmen
- ◆ bauliche Schallschutzmassnahmen
- ◆ persönliche Schallschutzmassnahmen
- ◆ organisatorische Schallschutzmassnahmen

Aus der Sicht des Arbeitnehmerschutzes ist es gerechtfertigt, die technischen oder maschinenseitigen Schallschutzmassnahmen als wichtigste Massnahmengruppe zu bevorzugen.

6.2 Technische Schallschutzmassnahmen

Die technischen Schallschutzmassnahmen können in zwei Hauptgruppen unterteilt werden:

- ◆ Primärmassnahmen an der Anlage in bezug auf das Fertigungsverfahren, d. h. Lärmbekämpfung an der Quelle
- ◆ Sekundärmassnahmen, bei denen es um eine Verringerung der Ausbreitung des prozessbedingten Lärms geht (z. B. Kapselung)

6.2.1 Primärmassnahmen

6.2.1.1 Übersicht

Bei der Abklärung der Realisierbarkeit von technischen Massnahmen an Ultraschallanlagen muss vorerst geprüft werden, ob Eingriffe an der Anlage möglich sind, mit denen die

- ◆ Schallentstehung
- ◆ Schallübertragung oder
- ◆ Schallabstrahlung

beeinflusst werden können. Die Aufteilung der Massnahmen in diese drei Teilbereiche erleichtert nicht nur dem Konstrukteur die Arbeit, sondern liefert auch Lösungsansätze, wie der von Ultraschallanlagen verursachte

Lärm verringert werden kann. Für Ultraschallschweissmaschinen und Ultraschallbäder werden diese drei Kriterien in Tabelle 4 dargestellt.

Teilbereich	Ultraschallschweissmaschinen	Ultraschallbäder
Schallentstehung	Schallkopf (Konverter)	Schwinger, Reinigungsgut
Schallübertragung	Transformationsstück, Sonotrode, Werkstück	Reinigungsflüssigkeit, Bad-Wanne, Bad-Wanne – Badummantelung
Schallabstrahlung	Transformationsstück, Sonotrode, Werkstück	Reinigungsflüssigkeit, Badummantelung (Verkleidung)

Tabelle 4
Ansatzpunkte für die technische Lärmbekämpfung bei Ultraschallanlagen.

6.2.1.2 Schallentstehung

Massnahmen, welche die Schallentstehung an Ultraschallanlagen beeinflussen, bieten sich nur in einem beschränkten Masse an. Als wirkungsvollste, allerdings technisch verhältnismässig aufwendige Massnahme steht eine Anhebung der Arbeitsfrequenz im Vordergrund, z. B. von 20 auf 30 – 70 kHz. Sehr oft lassen sich grosse 20-kHz-Werkzeuge durch einfachere und vor allem billigere Mehrfach-Sonotroden höherer Frequenz ersetzen. Wer diese meist betriebssicherere Lösung wählt, kann in bestimmten Fällen sogar auf eine Schallschutzkabine verzichten. Durch die Erhöhung der Arbeitsfrequenz wird die Anregung in den nicht hörbaren Bereich verschoben; hörbar sind dabei allenfalls nur noch die subharmonischen Schwingungen unterhalb von 20 kHz.

Es besteht auch die Möglichkeit, die Leistung herabzusetzen und die Bearbeitungszeit entsprechend zu verlängern. Aus Gründen einer rationellen Fertigung ist der Spielraum allerdings begrenzt.

6.2.1.3 Schallübertragung

Die Schallübertragung lässt sich sowohl beim Schweißen als auch beim Reinigen aus akustischer Sicht praktisch nicht beeinflus-

sen, da ein guter Übertragungsfaktor zur Erzielung eines günstigen Wirkungsgrades der Gesamtanlage wünschbar ist.

6.2.1.4 Schallabstrahlung

Die eigentliche Schallabstrahlung lässt sich nur beim Ultraschallbad beeinflussen. Die Badummantelung muss dazu körperschalltechnisch vollständig von der eigentlichen Reinigungswanne getrennt werden. Durch diese Massnahme beschränkt sich die Schallabstrahlung auf die Oberfläche der Reinigungsflüssigkeit. Hier ist es allerdings auch möglich, mit einem Deckel die Schallab-

strahlung zu reduzieren. Sinnvollerweise wird eine elektrische Verriegelung eingebaut, die das Einschalten des Bades bei offenem Deckel verhindert.

6.2.2 Sekundärmassnahmen

6.2.2.1 Kapselungen

Ultraschallfertigungsmaschinen sind wegen ihrer kompakten Bauart prädestiniert für Kapselungen. Durch die praktisch ausschliesslich hochfrequenten Lärmanteile ergeben sich keine sehr grossen schalltechnischen Probleme. Die erzielbare Pegelre-

Bild 30
Lärmpegel einer
Ultraschallgrosswaschanlage
mit und ohne Kapselung.
 $\Delta L = 18 \text{ dB(linear)}$ bzw.
 13 dB(A)

▨ ohne Kapselung
■ mit Kapselung

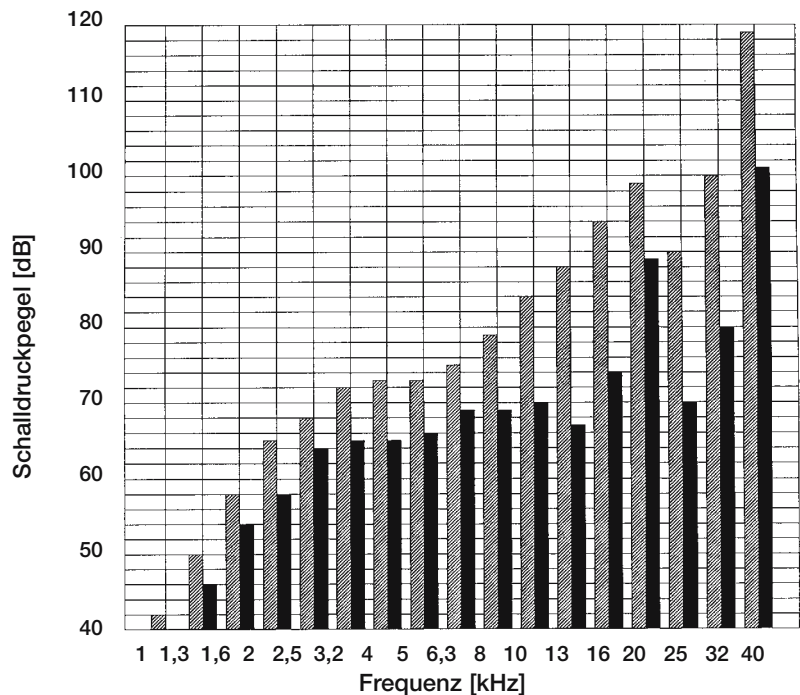
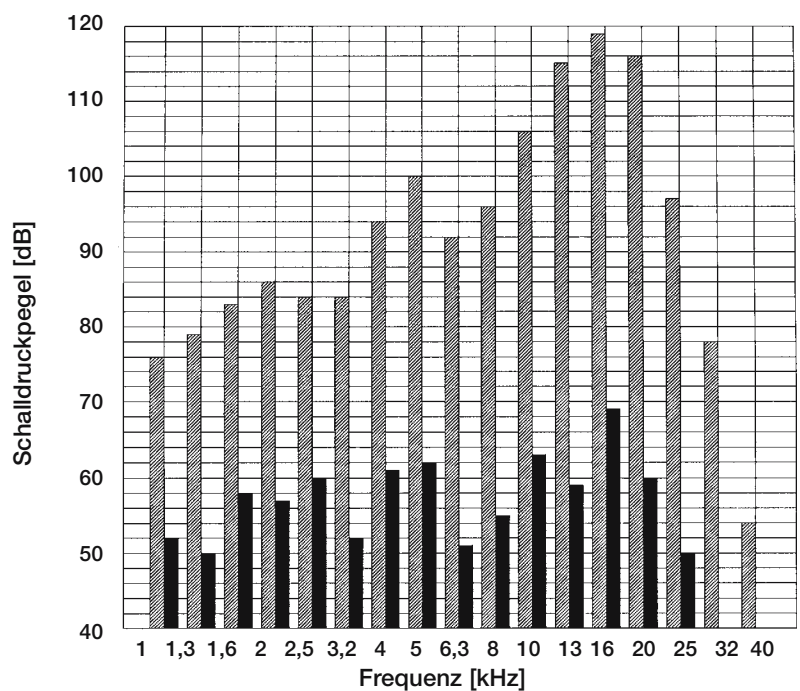


Bild 31
Lärmpegel einer
Ultraschallschweissmaschine
mit und ohne Kapselung.
 $\Delta L = 48 \text{ dB(linear)}$ bzw.
 43 dB(A)

▨ ohne Kapselung
■ mit Kapselung



duktion ist recht beachtlich, wie die Beispiele in den Bildern 30 und 31 zeigen. Allerdings muss bei der Wahl bzw. Konstruktion einer Kapsel auf einige wichtige Punkte geachtet werden, auf die kurz eingegangen werden soll. In der Suva-Publikation Nr. 66026 «Lärmbekämpfung durch Kapselungen» werden die Probleme detailliert vorgestellt.

Allerdings darf nicht verschwiegen werden, dass der finanzielle Aufwand für eine solche Kapselung im Verhältnis zum Preis der Maschine allein recht gross ist. Aus diesem Grunde wurde verschiedentlich auch versucht, nur die Lärm abstrahlende Sonotrode allein zu kapseln. Es liegt auf der Hand, dass die erzielbaren Schallpegelreduktionen mit dieser Methode deutlich kleiner sind und nur dann zu einem Achtungserfolg führen, wenn nicht das Werkstück selbst den Hauptlärmanteil abstrahlt.

Schalltechnisch dichte Konstruktion

Die beste Kapselung ist nur so gut wie ihre schwächste Stelle (Bilder 32, 33). Bewegliche Teile müssen abgedichtet sein (Gummidichtungen). Verschlüsse müssen ein wandfreies Schliessen garantieren.

Wandaufbau

Der Wandaufbau muss im Hochtonbereich ein Dämmvermögen (R'_w) von wenigstens 30 dB aufweisen, was allgemein mit verhältnismässig geringem Aufwand realisierbar ist (z. B. 24 mm Spanplatte, 1,5 mm Alublech, 1 mm Stahlblech).

Innenseitige Absorption

Eine akustisch wirksame absorbierende Auskleidung sollte wenigstens 20 mm dick sein ($\lambda = 17$ mm bei 20 kHz gemäss Ziffer 2.1, Tabelle 3) und besonders im Hochtonbereich ein maximales Absorptionsvermögen aufweisen. Das zu verwendende Material soll unbrennbar oder schwer entflammbar sein.

Wärmeabfuhr

Für Überschlagsrechnungen zur Abschätzung der abzuführenden Wärmemenge kann davon ausgegangen werden, dass die elektrische Leistung der Ultraschallanlage voll in Wärme umgesetzt wird. Dabei darf die Kapselbeleuchtung nicht vergessen werden.

Ergonomische Aspekte

Grundsätzliche ergonomische Aspekte sind zu berücksichtigen (z. B. Arbeitshöhe, Sitzposition). Zur Überwachung des Arbeitsbereichs ist eine leistungsfähige Arbeitsfeldbeleuchtung (z. B. Halogenlampe, Leuchtstofflampe) erforderlich.

Sicherheit

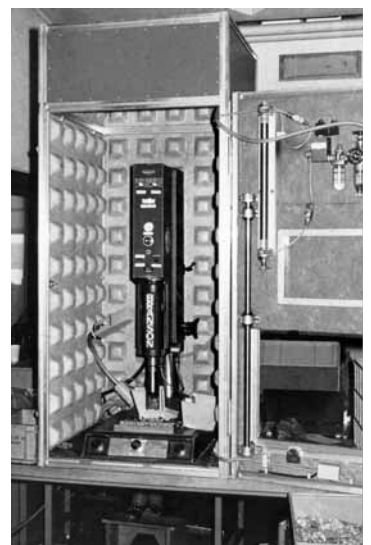
Hier gilt es verschiedene Punkte zu berücksichtigen. So muss z. B. dafür gesorgt werden, dass der Ultraschall-Bearbeitungsvorgang erst dann ausgelöst werden kann, wenn die Bedienungsöffnungen ganz geschlossen sind. Bei Schweißmaschinen sind die Vorschriften bezüglich Tischpressen zu beachten (Suva: Richtlinien über Bau und Anordnung von Schaltvorrichtungen, Form. 1594). Mit einer guten Kapselung lässt sich der Lärmpegel ohne weiteres um 20 dB(A) senken. Allerdings müssen hierzu einige tausend Franken aufgewendet werden, und zudem kann die Leistungsfähigkeit der Anlage spürbar vermindert werden (bei Ultraschallschweißmaschinen ist mit einer Einbusse von bis zu 20 % zu rechnen).

Im Interesse einer Humanisierung der Arbeit sollten diese Nachteile in Kauf genommen werden. Verschiedene Spezialfirmen bieten heute fertige Kabinen an, so dass sich ein Eigenbau nur in den wenigsten Fällen lohnt (Bilder 32 bis 34).



Bilder 32 a und 32 b
Gekapselte Ultraschallschweißmaschine.

a. geschlossen, betriebsbereit
(der Schieber im Bedienungsfeld wird pneumatisch betätigt)



b. geöffnet (Man beachte die absorbierende Auskleidung und die Steuerung für den Schieber, rechts im Bild)



Bilder 33 a und 33 b
Ultraschallschweissmaschine mit integrierter Kapselung.

- a) abgesenkt (der unterste Teil besteht aus Acrylglas), betriebsbereit
- b) angehoben

Teilkapselungen

Mit Teilkapselungen an Ultraschallschweissmaschinen kann meistens nur eine kleine Pegelsenkung erreicht werden. So wird beispielsweise mit einer Ummantelung der Sonotrode – wie in Bild 34 gezeigt – eine Reduktion des Schalldruckpegels in 1 m Abstand von 93 auf 89 dB(A) erzielt. Die bescheidene Wirkung lässt sich dadurch erklären, dass die Sonotrode wohl den Lärm

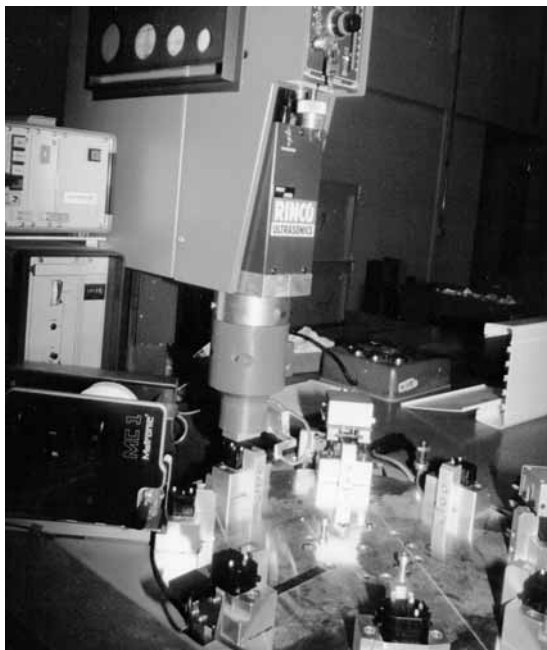


Bild 34
Ummantelung der Sonotrode an einer Ultraschallschweissmaschine.

erzeugt, ihn aber nicht allein abstrahlt. Die Struktur der Maschine und auch das Werkstück selbst steuern zum Gesamtschallpegel einen erheblichen Anteil bei. Eine zusätzliche Abschirmung bringt in diesem konkreten Fall im Nahbereich eine weitere Pegelreduktion von 3 dB(A).

Kombinierte Kapselungen

Bei komplexen Ultraschallschweissmaschinen kann die erforderliche Sicherheitsverschaltung mit einer schalltechnisch wirksamen Kapselung kombiniert werden. Hierbei ist die Wirkung häufig nicht so gross wie bei einer reinen akustischen Kapselung, genügt aber meistens zum Schutz der Arbeitsplätze (Bild 35). Eine weitere mögliche Lösung in Form eines Drehtisches (Karussells) zeigt Bild 36.

6.2.2.2 Abdeckung von Ultraschallbädern

Ultraschallbäder können vielfach durch eine Abdeckung, die vor Inbetriebsetzung der Anlage abgesenkt wird, sinnvoll ergänzt werden. Die Immissionen lassen sich um bis 20 dB herabsetzen, falls die folgenden Forderungen erfüllt sind.

- ♦ Die Badummantelung darf den eigentlichen Badkörper nicht unmittelbar berühren, damit vermieden wird, dass wesentliche Lärmanteile über die Verschaltungen abgestrahlt werden (Trennung durch Neoprenprofil).
- ♦ Der Hohlraum zwischen Bad und Verschaltung soll mit schallabsorbierendem Material ausgefüllt werden (Mineral- oder Glaswolleplatten).
- ♦ Die Badabdeckung soll sich möglichst einfach handhaben lassen (z. B. nach hinten klappbar) und allenfalls mit einem Schalter mit dem Ultraschallgenerator verbunden sein, so dass der Reinigungsprozess nur bei gedecktem Bad möglich ist. Bei grösseren Bädern kann der Mechanismus für die Abdeckung automatisiert werden.
- ♦ Die Badabdeckung muss am Gehäuse sauber anliegen (Gummidichtungen vorsehen). Sie kann z. B. aus Aluminium- oder Stahlblech ausgeführt sein, wobei eine badseitige Absorptionsschicht wünschbar, aber nicht Bedingung ist (z. B. Antidröhnfolie).



Bild 35
Sicherheitsverschaltung an einer komplexen
Ultraschallschweißmaschine.



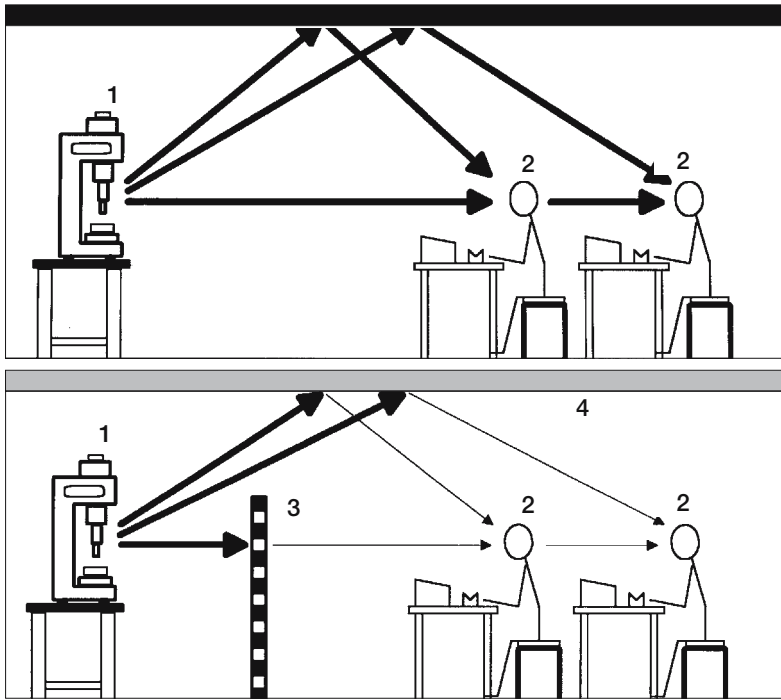
Bild 36
Verschaltung an einer Ultraschallschweißmaschine mit
einem Drehtisch.

6.3 Bauliche Schallschutzmassnahmen

Von den vielen baulichen Schallschutzmassnahmen stehen bei Ultraschallanlagen die raumakustischen im Vordergrund. Unter raumakustischen Massnahmen ist die Anwendung aller Mittel gemeint, mit deren Hilfe einerseits die Halligkeit des Raumes und andererseits die direkte Ausbreitung des Lärms innerhalb des gleichen Raumes reduziert wird. Als Folge der Verringerung der Nachhallzeiten wird auch der Raumschallpegel herabgesetzt. Diese Probleme werden in der Suva-Publikation Nr. 66008 «Industrielle Raumakustik» ausführlich behandelt. Konkret kann die Realisierung der folgenden Massnahmen geprüft werden (Bild 37):

- ◆ Einbau einer Akustikdecke (schallabsorbierende Decke) im Bereich der Ultraschallanlage zur Reduktion von Schallreflexionen an der Decke
- ◆ Aufstellen von mobilen, schallabsorbierenden Stellwänden im Bereich von Ultraschallanlagen (zur Abschirmung benachbarter Arbeitsplätze)

Unter dem Stichwort «Bauliche Schallschutzmassnahmen» muss auch noch darauf hingewiesen werden, dass Ultraschallanlagen in separaten Räumen aufgestellt und betrieben werden sollten.



Bilder 37 a und 37 b
Raumakustische Massnahmen im Bereich einer Ultraschallanlage zur Reduktion der Schallübertragung in benachbarte Arbeitsbereiche.

- a Ohne Schallschutzmassnahmen. Der Lärm kann sich ungehindert von der Ultraschallanlage (1) zu den Montagearbeitsplätzen (2) ausbreiten.
- b Mit Schallschutzmassnahmen. Die Ausbreitung des Lärms [der Ultraschallanlage] wird durch die Stellwand (3) und die Akustikdecke (4) deutlich reduziert.

6.4 Persönliche Schallschutzmassnahmen

Persönliche Schallschutzmassnahmen sind erforderlich, wenn die Grenzwerte gemäss Ziffer 4.3.2 überschritten sind. Dabei spielt es keine Rolle, ob Gehörschutzwatte, -pfropfen oder -kapseln verwendet werden. Wichtig ist nur, dass die Schutzmittel getragen werden, wobei die Wahl aus praktischen Gründen in erster Linie von der Expositionszeit abhängt. (Beispiele: Bei ununterbrochenen Arbeiten während mehrerer Stunden ist es angezeigt, sich mit Gehörschutzwatte oder -pfropfen zu schützen. Bei kurzzeitigen Arbeiten in Intervallen sind Gehörschutzkapseln zu tragen.)

6.5 Organisatorische Schallschutzmassnahmen

Als organisatorische Schallschutzmassnahme bietet sich die Möglichkeit einer Reduktion der Lärmbelastungszeiten der betroffenen Beschäftigten an (Jobrotation).

6.6 Arbeitsplatzgestaltung

6.6.1 Arbeitsplätze an Ultraschallanlagen

Abgesehen von Primär- und Sekundärmassnahmen an der Anlage selbst besteht hier je nach Schallpegel nur die Möglichkeit des Einsatzes persönlicher Gehörschutzmittel, da mit baulichen Massnahmen keine Verminderung des Lärms am Arbeitsplatz zu erzielen ist. Aus der Sicht der Lärmbe-kämpfung können sonst keine weiteren Hinweise gegeben werden. Ausnahme: Bei mehreren, nebeneinanderstehenden Ultraschallmaschinen empfiehlt sich die Montage schallabsorbierender Wände, um die kumulierende Beeinträchtigung auf ein Mindestmass herabzusetzen.

6.6.2 Arbeitsplätze in der Umgebung von Ultraschallanlagen

Häufig werden verhältnismässig ruhige Arbeitsplätze (z. B. Montage) durch den Lärm von Ultraschallanlagen gestört. Ursache hierfür ist ausser den meist fehlenden Massnahmen an den Anlagen selbst die ungehinderte Schallausbreitung, und zwar auf direktem wie auch indirektem Weg (Decken- und Wandreflexionen). Hier kann mit raumakustischen Massnahmen vielfach ein beachtlicher Erfolg erzielt werden. Schon eine Abschirmung in Form einer schallabsorbierenden mobilen Stellwand kann unter Umständen eine wesentliche Verbesserung der Verhältnisse bewirken. Günstig wirkt sich die Tatsache aus, dass kurzweilige Ultraschallfrequenzen praktisch nicht gebeugt werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Ultraschallanlagen durch Stellwände abzuschirmen sind, falls sie nicht in separaten Räumen betrieben werden können.

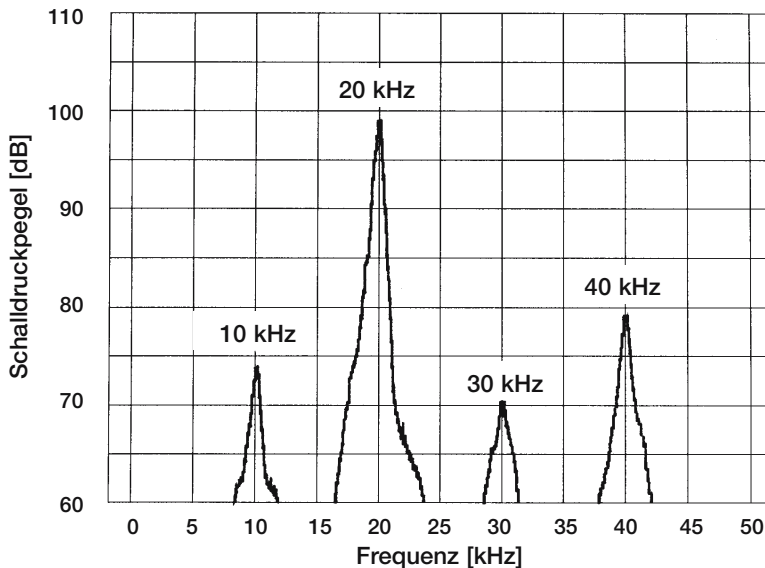
7 Lärm von Ultraschallanlagen: Beispiele

7.1 Ultraschallbäder

Bei einem Ultraschallbad von 120 l Inhalt wurde der Schalldruckpegel in 1,5 m Abstand (seitlich) gemessen. Die Arbeitsfrequenz beträgt 20 kHz. Die Schmalbandanalyse ist in Bild 38 dargestellt.

Bild 38 ➔
Schmalbandanalyse der Lärmimmissionen eines Ultraschallbads. Filter-Bandbreite 125 Hz.
 $L_m = 81 \text{ dB(A)}$ bzw. 83 dB(lin) , Spitzenwert 98 dB(lin) .

Interpretation:
Neben der eigentlichen Arbeitsfrequenz von 20 kHz sind zwei harmonische (30 und 40 kHz) sowie eine subharmonische Schwingung (10 kHz) sehr eindrücklich nachweisbar.



7.2 Ultraschallschweissmaschinen

Bild 39 zeigt ein interessantes Beispiel einer Ultraschallschweissmaschine. Die Arbeitsfrequenz liegt hier bei 36 kHz. Durch den Schweissvorgang entsteht aber eine subharmonische Schwingung, deren Intensität grösser ist als diejenige bei der Arbeitsfrequenz. Dieser Sachverhalt ist keine abnorme Erscheinung, wenn man berücksichtigt, dass der Luftschall als «Nebenprodukt» eines Bearbeitungsprozesses entsteht. Je nach Hörvermögen sind Teile der subharmonischen Schwingungen (15 – 18 kHz) hörbar. Allerdings darf man diese Feststellung nicht verallgemeinern, da der Schallpegel stark von der Geometrie der zu verschweisenden Teile und der Sonotrode abhängt.

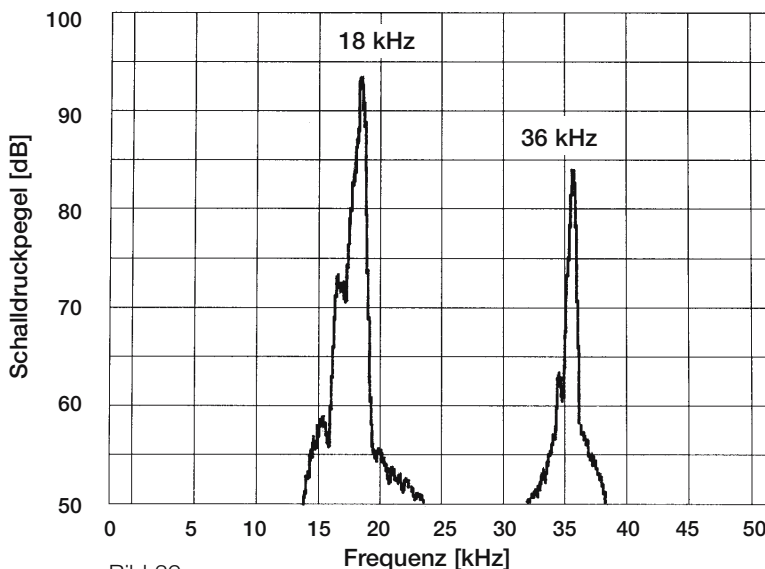


Bild 39
Ultraschallschweissmaschine. Schmalbandanalyse, Arbeitsfrequenz: 36 kHz.

Ein ähnliches Bild vermittelt die Schmalbandanalyse einer anderen Anwendung: Bild 40. Hier wird eine Messinghülse in Kunststoff eingebettet. Das hörbare Pfeifen (15–18 kHz) entsteht als subharmonische Schwingung der Arbeitsfrequenz von 37,1 kHz.

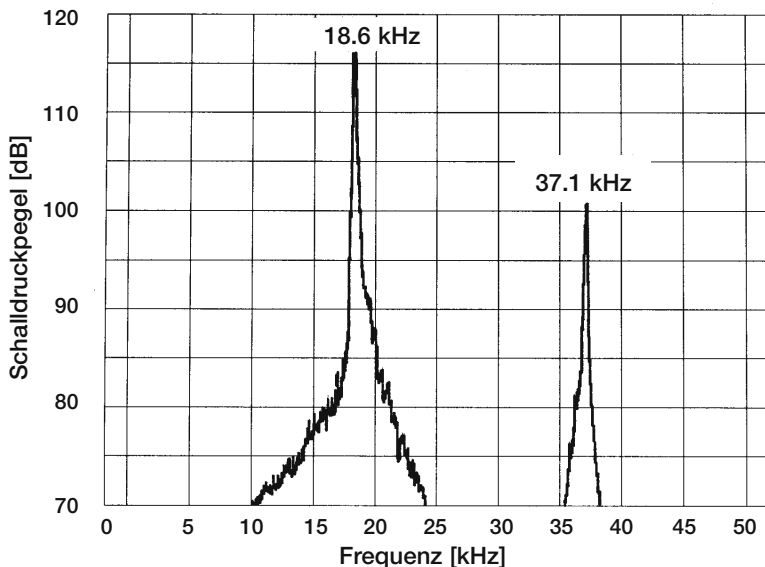


Bild 40 ➔
Ultraschallschweissmaschine. Einbetten, Schmalbandanalyse, Arbeitsfrequenz: 37,1 kHz.

7.3 Spezielle Maschinen und Anlagen

7.3.1 Läpp- und Poliermaschine

In Bild 41 ist das Messergebnis für eine handgeführte Läpp- und Poliermaschine dargestellt (mittelgrobe Feile bei höchster Stufe). Die Schalldruckpegel am Ohr der Bedienungsperson liegen, je nach Werkzeug, zwischen 80 und 95 dB(A) bzw. 91 und 107 dB(lin).

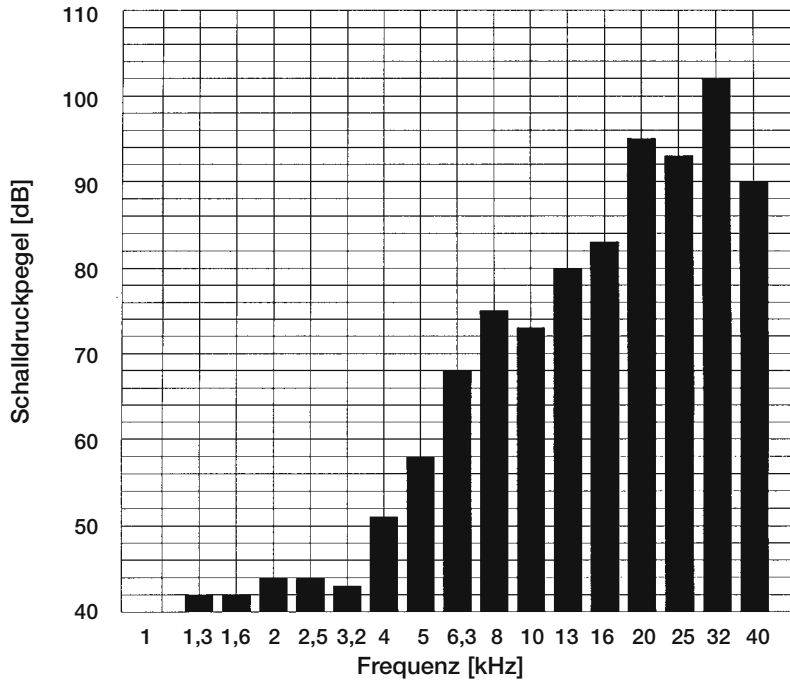


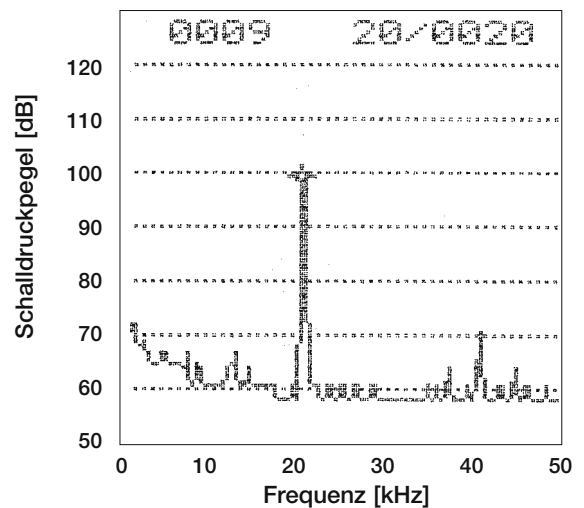
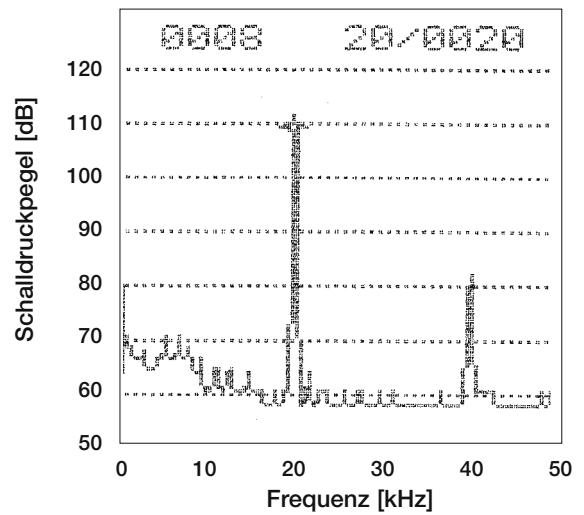
Bild 41
Terzbandanalyse einer Läpp- und Poliermaschine.

7.3.2 Bandschneidmaschine

An einer Bandschneidmaschine zum Schneiden von Etiketten, die mit einem Ultraschall-Schneidsystem bei 20 kHz betrieben wird, wurden Schallmessungen am Arbeitsplatz durchgeführt. Die Messwerte (L_m) liegen bei 108 – 111 dB(A) bzw. 117 – 120 dB(lin). Diese hohen Pegel überschreiten den zulässigen Grenzwert deutlich. Es sind persönliche Gehörschutzmittel zu tragen. Die Schmalbandanalyse ist in Bild 42 dargestellt.

7.3.3 Ultraschallgerät gegen Tauben

In einem grossen Bahnhof sind in etwa 16 m Höhe zwei Ultraschallgeräte im Einsatz, die Tauben vertreiben sollen. Diese Geräte streifen den ganzen Raumwinkel ab, wobei nur während kurzer Zeit die in Bild 43 dargestellten Schalldruckpegelspitzen in einem Winkel von 45° gemessen werden konnten. Ein Mittelwert L_m konnte infolge des hohen Störpegels gar nicht erfasst werden.



Bilder 42 a und 42 b
Schmalbandanalyse an einer Bandschneidmaschine.
a. mit geöffneter Schallschutzabdeckung
b. mit geschlossener Schallschutzabdeckung

Interpretation:

Die Arbeitsfrequenz (20 kHz) ist deutlich sichtbar, ebenso die erste harmonische Frequenz von 40 kHz.

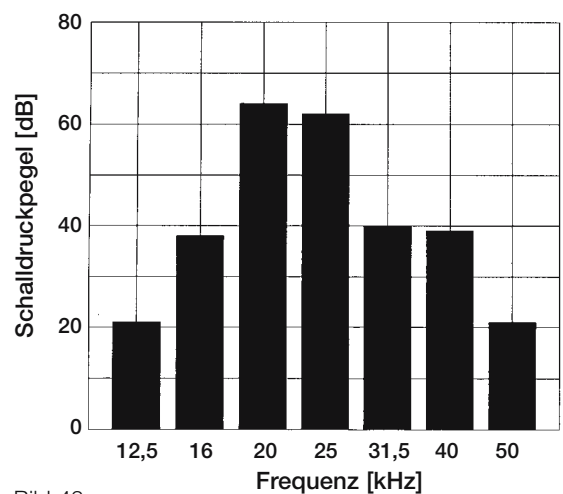


Bild 43
Terzbandanalyse eines Ultraschallgerätes gegen Tauben.

7.3.4 Ultraschall-Raumüberwachungsgerät

Für ein Ultraschall-Raumüberwachungsgerät wurden in verschiedenen Abständen die Schalldruckpegel gemessen. Die Arbeitsfrequenz lag bei 25 kHz, wobei keine harmonischen oder subharmonischen Frequenzen nachgewiesen werden konnten. Bei 25 kHz betrug der Terzband-Schalldruckpegel 110 dB(lin) in 0,3 m Abstand, 98 dB(lin) in 1 m Abstand und noch 93 dB(lin) in 2 m Abstand.

8 Literatur

- [1] Stevens, S. S. und Warshofsky, F.: Sound and Hearing, Time-Life-Books, Time Inc., New York, 1970.
- [2] Heckl, M. und Müller, H.A.: Taschenbuch der technischen Akustik, Springer-Verlag, Berlin, 1994.
- [3] Schmidt, H.: Schalltechnisches Taschenbuch, VDI-Verlag, 1989.
- [4] Lips, W.: Strömungsakustik in Theorie und Praxis, expert-verlag, Renningen-Malsheim, 1995.
- [5] Kuttruff, H.: Physik und Technik des Ultraschalls, S. Hirzel Verlag, Stuttgart, 1988.
- [6] Hill, C. R.: Manual on Aspects of Non-Ionizing Radiation, Chapter on Ultrasound, WHO Europa.
- [7] Edmonds, P. D.: Effects of Ultrasound on Biological Structures, 1979.
- [8] Veit, I.: Wirkung von Ultraschall auf das Gehör, BAU Dortmund, Forschungsbericht Nr. 231, 1980.
- [9] Suva-Publikation Nr. 44057 «Gehörgefährdender Lärm am Arbeitsplatz» (ersetzt SBA Nr. 146).
- [10] Suva-Publikation Nr. 66008 «Industrielle Raumakustik».
- [11] Suva-Publikation Nr. 66026 «Lärmbekämpfung durch Kapselungen».
- [12] Suva-Publikation Nr. 66027 «Schalleistung und Abnahmemessungen».
- [13] Rieländer, M. M.: Reallexikon der Akustik, Verlag Erwin Bochinsky, Frankfurt, 1982.
- [14] Brendel, K.; Stand und Entwicklungstendenzen der Ultraschallmesstechnik, PTB, Braunschweig, 1987.
- [15] Krautkrämer, J., Krautkrämer, H.: Werkstoffprüfung mit Ultraschall, 4. Aufl., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1980.

Dank

Wir danken

- ◆ Herrn Prof. Dr. Hans-Jörg Zweifel, Interstaatliche Ingenieurschule Neu-Technikum Buchs und
- ◆ Herrn Karl Frei, Telsonic AG, Bronschhofen/SG

für die Durchsicht der überarbeiteten Fassung sowie die vielen wertvollen Anregungen.

Internationale Normen und Normenentwürfe

Eine grosse Zahl von internationalen, aber auch nationalen Normen und Normenentwürfen behandelt das Thema Ultraschall. Wo das Schwergewicht liegt, veranschaulicht die folgende Zusammenstellung (Tabelle 1.1):

Fachgebiet	EN	IEC	ISO	DIN / VDI (zum Vergleich)
Materialprüfung	11	0	16	30
Medizin	6	11	0	10
Hydrophone, Flüssigkeitsschall	4	6	1	3
Ultraschallschweissmaschinen	0	0	0	2
Ultraschallreinigungsanlagen	0	2	0	6
Alarmsysteme	0	1	0	1
Ultraschall allgemein	0	3	1	2
Total	21	23	18	54

Tabelle 1.1
Anzahl internationale Normen verschiedener Ultraschall-Fachgebiete
(Stand: Juni 1995).

Zusammenstellung der Normen und Normenentwürfe

DIN 1910-2-1977, ISO/DIS 4063-1987
Schweissen; Schweissen von Metallen, Verfahren.

DIN 1910-3 1977, ISO 857-1990
Schweissen; Schweissen von Kunststoffen, Verfahren.

DIN 6856-1-1994
Betrachtungsgeräte und -bedingungen; Anforderungen für die Herstellung und den Betrieb von Betrachtungsgeräten zur Befundung von Durchsichtsbildern in der medizinischen Diagnostik.

DIN 6856-2-1995
Betrachtungsgeräte und -bedingungen - Teil 2: Qualitätssichernde Massnahmen in der medizinischen Diagnostik; Prüfverfahren, Messgeräte.

DIN 6879-1994
Begriffe und Benennungen der medizinischen Ultraschalldiagnostik.

DIN 16960-1-1974
Schweissen von thermoplastischen Kunststoffen; Grundsätze.

DIN 22261-3-1993
Bagger, Absetzer und Zusatzgeräte in Braunkohlentagebauen; Schweissverbindungen, Stossarten, Bewertungsgruppen, Prüfanweisungen.

DIN 25435-1-1987
Wiederkehrende Prüfungen der Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren; Mechanisierte Ultraschallprüfung.

DIN 25450-1990, ISO/DIS 10375-1993
Ultraschallprüfsysteme für die manuelle Prüfung.

DIN 54119-1981
Zerstörungsfreie Prüfung; Ultraschallprüfung; Begriffe.

- DIN 54120-1973
Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung;
Kontrollkörper 1 und seine Verwendung zur
Justierung und Kontrolle von Ultraschall-
Impulsecho-Geräten.
- DIN 54123-1980
Zerstörungsfreie Prüfung;
Ultraschallverfahren zur Prüfung von
Schweiss-, Walz- und Sprengplattierungen.
- DIN 54124-1-1983
Zerstörungsfreie Prüfung; Kontrolle der
Eigenschaften von Ultraschall-Prüfsystemen;
Einfache Kontrollen.
- DIN 54125-1989
Zerstörungsfreie Prüfung; Manuelle Prüfung
von Schweissverbindungen mit Ultraschall.
- DIN 54126-1-1982
Zerstörungsfreie Prüfung; Regeln zur Prüfung
mit Ultraschall; Anforderungen an Prüfsysteme
und Prüfgegenstände.
- DIN 54126-2-1982
Zerstörungsfreie Prüfung; Regeln zur Prüfung
mit Ultraschall; Durchführung der Prüfung.
- DIN 54127-1-1989
Zerstörungsfreie Prüfung; Justierung von
Ultraschallprüfsystemen und Echohöhen-
bewertung.
- DIN 58747-1-1982
Optikfertigung; Ultraschallreinigungsanlagen;
Flächenmasse für Wannen.
- DIN 58747-2-1982
Optikfertigung; Ultraschallreinigungsanlagen;
Reinigungsgestelle, starre Form.
- DIN 58747-3-1983
Optikfertigung; Ultraschallreinigungsanlagen;
Reinigungsgestelle, verstellbare Form.
- DIN 58747-4-1982
Optikfertigung; Ultraschallreinigungsanlagen;
Griff für Reinigungsgestelle.
- DIN 65455-1990
Luft- und Raumfahrt; Nahtlose Rohre aus
Stahl-, Nickel- und Titanlegierungen;
Ultraschallprüfung.
- DIN 65455-1992
Luft- und Raumfahrt; Nahtlose Rohre aus
Stahl-, Nickel- und Titanlegierungen;
Ultraschallprüfung.
- DIN 75031-1995, ISO/TR 12155-1994
Nutzkraftwagen und Anhängfahrzeuge;
Rangier-Warneinrichtungen – Anforderungen
und Prüfung.
- DIN EN 583-1-1992, prEN 583-1-1991
Ultraschallprüfung; Teil 1: Allgemeine
Grundsätze.
- 1994 DIN-1994, EN 583-3 prEN 583-3-1994
Zerstörungsfreie Prüfung – Ultraschallprüfung –
Teil 3: Durchschallungstechnik.
- DIN EN 1330-4-1995, prEN 1330-4-1994
Zerstörungsfreie Prüfung Terminologie –
Teil 4: Begriffe der Ultraschallprüfung.
- DIN EN 1712-1995, prEN 1712-1994
Zerstörungsfreie Prüfung von Schweissver-
bindungen – Zulässigkeitsgrenzen für die
Ultraschallprüfung von Schweissverbindungen.
- DIN EN 1713-1995, prEN 1713-1994
Zerstörungsfreie Prüfung von Schweissver-
bindungen Ultraschallprüfung – Charakte-
risierung von Fehlern in Schweissnähten.
- DIN EN 1714-1995, prEN 1714-1994
Zerstörungsfreie Prüfung von Schweissver-
bindungen – Ultraschallprüfung von Schweiss-
verbindungen.
- DIN EN 1802-1995, prEN 1802-1995
Wiederkehrende Prüfung und Prüfen von
nahtlosen Gasflaschen aus Aluminium.
- DIN EN 10228-3-1995, prEN 10228-3-1994
Zerstörungsfreie Prüfung von Schmiedestü-
cken aus Stahl – Teil 3: Ultraschallprüfung von
Schmiedestücken aus ferritischem oder
martensitischem Stahl.
- DIN EN 10246-6-1995, prEN 10246-6-1994
Zerstörungsfreie Prüfung von Stahlrohren,
Teil 6: Automatische Ultraschallprüfung naht-
loser Stahlrohre über den gesamten Rohr-
umfang zum Nachweis von Querfehlern.
- DIN EN 10246-8-1995, prEN 10246-8-1994
Zerstörungsfreie Prüfung von Stahlrohren,
Teil 8: Automatische Ultraschallprüfung der
Schweissnaht elektrisch widerstands- und
induktionsgeschweisster Stahlrohre zum
Nachweis von Längsfehlern.
- DIN EN 27963-1992, ISO 7963-1985
Schweissverbindungen in Stahl; Kalibrier-
körper Nr. 2 zur Ultraschallprüfung von
Schweissverbindungen.

- DIN EN 29303-1991, prEN 29303-1991
Nahtlose und geschweisste (ausgenommen unterpulvergeschweisste) Stahlrohre für Innendruckbeanspruchung; Ganzkörper-Ultraschallprüfung zum Nachweis von Längsfehlern.
- DIN EN 61010-1-1994, IEC 1010-1-1990
Sicherheitsbestimmungen für elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte; Teil 1: Allgemeine Anforderungen.
- DIN EN 61010-2-031-1995,
IEC 1010-2-031-1993
Sicherheitsbestimmungen für elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte – Teil 2-031: Besondere Anforderungen an handgehaltene Mess-, Prüf- und Verbindungsleitungen (Messzubehör) zum elektrischen Messen Prüfen und Experimentieren.
- DIN EN 61101-1994, IEC 1101-1991
Die absolute Kalibrierung von Hydrophonen nach Planar-Scanning-Verfahren im Frequenzbereich von 0,5 MHz bis 15 MHz.
- DIN EN 61102-1994, IEC 1102-1991
Messung und Charakterisierung von Ultraschallfeldern mit Hydrophonen im Frequenzbereich von 0,5 MHz bis 15 MHz.
- DIN EN 61205-1995, IEC 1205-1993
Ultraschall-Zahnreinigersysteme - Messung und Deklaration der Ausgangskennwerte.
- DIN EN 61266-1994, IEC/DIS 87
(Central Office) 34-1994
Ultraschall - Handgehaltene Doppler-Herzschlagdetektoren für Föten – Leistungsanforderungen sowie Mess- und Angabeverfahren.
- DIN IEC 62B(CO)105-1994, IEC/DIS 62B
(Central Office) 105-1993
Beurteilung und routinemässige Überprüfung in medizinischen bildgebenden Abteilungen; Konstanzprüfungen; Bilddokumentationssysteme.
- DIN IEC 62B(CO)106-1994, IEC/DIS 62B
(Central Office) 106-1993
Beurteilung und routinemässige Überprüfung in medizinischen bildgebenden Abteilungen; Konstanzprüfungen; Bildwiedergabegeräte (Monitore).
- DIN IEC 68-1985 Beiblatt 10, IEC 653-1979
Elektrotechnik; Grundlegende Umweltprüfverfahren; Allgemeine Betrachtungen über das Reinigen mit Ultraschall.
- DIN IEC 91(Sec) 26-1993,
IEC 91 (Secretariat) 26-1993
Prüfverfahren zur Ultraschallreinigung; Reinigung von oberflächenmontierbaren Bauelementen.
- DIN IEC 854-1993, IEC 854-1986
Medizinische Ultraschallgeräte; Verfahren zur Messung der Leistungsfähigkeit von Impulsecho-Ultraschalldiagnostikgeräten.
- DIN IEC 1012-1995, IEC 1012-1990
Filter für die Messung von hörbarem Schall im Beisein von Ultraschall.
- DIN IEC 1157-1993, IEC 1157-1992
Festlegungen für die Deklaration der akustischen Ausgangsgrößen von medizinischen Ultraschalldiagnostikgeräten.
- DIN IEC 1161-1993, IEC 1161-1992
Ultraschall-Leistungsmessung in Flüssigkeiten im Frequenzbereich 0,5 MHz bis 25 MHz.
- DIN ISO 4386-1-1992, ISO 4386-1-1992
Gleitlager; Metallische Verbundgleitlager; Zerstörungsfreie Ultraschall-Prüfung der Bindung.
- DIN ISO 8047-1989, ISO/DIS 8047-1982
Festbeton; Bestimmung der Ultraschallgeschwindigkeit.
- DIN VDE 0446-1-1982, IEC 383-1983
Isolatoren für Freileitungen, Fahrleitungen und Fernmeldeleitungen; Prüfungen für Isolatoren aus keramischem Material oder Glas für Freileitungen mit Betriebsspannungen über 1 kV (VDE-Bestimmung).
- DIN VDE 0750-208-1985, IEC 601-2-5-1984
Medizinische elektrische Geräte; Ultraschall-Therapiegeräte; Besondere Festlegungen für die Sicherheit.
- DIN VDE 0830-223-1990,
prEN 60839-2-4-1989
Alarmanlagen; Festlegungen für Einbruchmeldeanlagen; Ultraschallmelder nach Dopplerprinzip für Einbruchmeldeanlagen in Gebäuden.
- VDI/VDE 2420 Blatt 2-1980
Metalloberflächenbehandlung in der Feinwerktechnik; Vorbehandlung durch Reinigen und Entfetten.
- VDI/VDE 2642-1994
Ultraschall-Durchflussmessung von Fluiden in voll durchströmten Rohrleitungen.

- VDI/VDE 2643-1993
Wirbelzähler zur Volumen- und Durchflussmessung.
- VDI 3491 Blatt 11-1990
Messen von Partikeln; Herstellung von Prüf-aerosolen unter Verwendung von Ultraschallzerstäubern.
- VDI 3491 Blatt 14-1988
Messen von Partikeln; Herstellen von Prüf-aerosolen unter Verwendung eines Kapillarwellengenerators.
- VDI/VDE 3519 Blatt 2-1994
Füllstandmessung von Flüssigkeiten und Feststoffen (Schüttgütern).
- VDI 3786 Blatt 12-1994
Meteorologische Messungen – Turbulenzmessung mit Ultraschall-Anemometern.
- ÖNORM EN 473-1993, EN 473-1993
Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung – Allgemeine Grundlagen.
- ÖNORM EN 583 Teil 1-1992,
EN 583-1-1991
Ultraschallprüfung – Allgemeine Grundsätze.
- ÖNORM EN 583 Teil 3-1994,
EN 583-3-1994
Ultraschallprüfung – Teil 3: Durchschallungstechniken.
- ÖNORM EN 1330 Teil 4-1995,
EN 1330-4-1994
Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 4: Begriffe der Ultraschallprüfung.
- ÖNORM EN 1712-1995, EN 1712-1994
Zerstörungsfreie Prüfung von Schweissverbindungen – Zulässigkeitsgrenzen für die Ultraschallprüfung von Schweissverbindungen.
- ÖNORM EN 1713-1995, EN 1713-1994
Zerstörungsfreie Prüfung von Schweissverbindungen Ultraschallprüfung – Charakterisierung von Fehlern in Schweissnähten.
- ÖNORM EN 1714-1995, EN 1714-1994
Zerstörungsfreie Prüfung von Schweissverbindungen – Ultraschallprüfung von Schweissverbindungen.
- ÖNORM EN 10228 Teil 3-1995,
EN 10228-3-1994
Zerstörungsfreie Prüfung von Schmiedestücken aus Stahl – Teil 3: Ultraschallprüfung von Schmiedestücken aus ferritischem oder martensitischem Stahl.
- ÖNORM EN 27963-1992, EN 27963-1992
Schweissverbindungen in Stahl – Kalibrierkörper Nr. 2 zur Ultraschallprüfung von Schweissverbindungen.
- ÖNORM EN 29303-1991, EN 29303
Nahtlose und geschweisste (ausgenommen unterpulvergeschweisste) Stahlrohre für Innendruckbeanspruchung Ganzkörper-Ultraschallprüfung zum Nachweis Dichtheit.
- ÖNORM ISO 6416-1995, ISO 6416-1992
Durchflussmessung in offenen Gerinnen – Messung des Abflusses mit der Ultraschall-(akustischen) Methode.
- ÖNORM M 3001-1985
Ultraschallprüfung von Schmelzschweissnähten ferritischer Stähle.
- ÖNORM M 3002-1994
Ultraschallprüfung von Schmiedestücken aus Stahl - Durchführung, Prüfumfang, Güteklassen.
- ÖNORM S 5240 Teil 2-1987
Sicherung der Bildqualität in röntgendiagnostischen Betrieben; Fimverarbeitung; Konstanzprüfung der visuellen optischen Dichte.
- EURONORM 160-1985
Ultraschallprüfung von Stahl-Blechen mit Dicken grösser oder gleich 6 mm (Reflexionsverfahren).
- EURONORM 186-1987
Ultraschallprüfung von I-Profilen mit breiten (HE) und mittelbreiten (IPE) parallelen Flanschen.
- prEN 583-1-1991, DIN EN 583-1-1992
Ultraschallprüfung; Teil 1: Allgemeine Grundsätze.
- prEN 583-3-1994, DIN EN 583-3-1994
Ultraschallprüfung – Teil 3: Durchschallungstechniken.
- prEN 1712-1994, DIN EN 1712-1995
Zerstörungsfreie Prüfung von Schweissverbindungen Zulässigkeitsgrenzen für die Ultraschallprüfung von Schweissverbindungen.

- prEN 1713-1994, DIN EN 1713-1995
Zerstörungsfreie Prüfung von Schweissverbindungen – Ultraschallprüfung – Charakterisierung von Fehlern in Schweissnähten.
- prEN 1714-1994, DIN EN 1714-1995
Zerstörungsfreie Prüfung von Schweissverbindungen – Ultraschallprüfung von Schweissverbindungen.
- prEN 2004-2-1976
Prüfmethoden für Erzeugnisse aus Aluminium und Aluminiumlegierungen; Teil 2: Ultraschallprüfung von Platten, Schmiedestücken und Strangpresserzeugnissen; Luft- und Raumfahrt-Reihe.
- prEN 10228-3-1994, DIN EN 10228-3-1995
Zerstörungsfreie Prüfung von Schmiedestücken aus Stahl; Teil 3: Ultraschallprüfung von Schmiedestücken aus ferritischem oder martensitischem Stahl.
- prEN 29303-1991, ISO 9302-1989
Nahtlose und geschweisste (ausgenommen unterpulvergeschweisste) Stahlrohre für Innendruckbeanspruchung; Ganzkörper-Ultraschallprüfung zum Nachweis von Längsfehlern.
- prEN 61025-1993, IEC/DIS 87
(Central Office) 26-1993
Ultraschall; Zahnsteinentfernungssysteme; Messung und Angabe des Ausgangs.
- EN 61101-1993, IEC 1101-1991
Die absolute Kalibrierung von Hydrophonen nach Planar-Scanning-Verfahren im Frequenzbereich von 0,5 MHz bis 15 MHz.
- EN 61102-1993, IEC 1102-1991
Messung und Beschreibung von Ultraschallfeldern mit Hydrophonen im Frequenzbereich von 0,5 MHz bis 15 MHz.
- EN 61102/A1-1994, IEC 1102
Messung und Beschreibung von Ultraschallfeldern mit Hydrophonen im Frequenzbereich von 0,5 MHz bis 15 MHz.
- EN 61157-1994, IEC 1157-1992
Anforderungen für die Deklaration der akustischen Ausgangsgrößen von medizinisch-diagnostischen Ultraschallgeräten.
- EN 61161-1994, IEC 1161-1992
Ultraschall-Leistungsmessung in Flüssigkeiten im Frequenzbereich 0,5 MHz bis 25 MHz.
- EN 61205-1994, IEC 1205-1993
Ultraschall; Zahnreinigersysteme; Messung und Deklaration der Ausgangskennwerte.
- EN 61206-1995, IEC 1206-1993
Ultraschall Dauerschall Doppler System – Prüfverfahren.
- EN 61220-1995, IEC 1220-1993
Ultraschall – Felder – Anleitung für die Messung und Kennzeichnung der durch medizinische Ultraschallgeräte erzeugten Ultraschallfelder mittels Hydrophonen im Frequenzbereich 0,5 MHz bis 15 MHz.
- prEN 61266-1994, IEC/DIS 87
(Central Office) 34-1994
Ultraschall – Handgeführte Fötus-Herzschlagdetektoren mit Dopplereffekt – Anforderungen an Arbeitsweise, Messverfahren und Anzeige.
- IEC/DIS 87 (Central Office) -1991
Normal-Mess- und -Kennzeichnungsverfahren für Ultraschall-Doppler-Fetalherzschlagdetektor.
- IEC 150-1963
Prüfung und Eichung medizinischer Ultraschallgeräte.
- IEC 500-1974
IEC-Standardhydrophon.
- IEC 565-1977
Kalibrierung von Hydrophonen.
- IEC 565A-1980
Kalibrierung von Hydrophonen;
1. Ergänzung.
- IEC 601-2-5-1984
Sicherheit elektromedizinischer Geräte; Teil 2: Sonderforderungen an medizinische Elektronenbeschleuniger im Bereich 1 MeV bis 50 MeV ; Sonderforderungen an die Sicherheit von Ultraschall-Therapiegeräten.
- IEC/TR 653-1979
Allgemeine Betrachtungen über Ultraschallreinigung (Bericht).
- IEC/TR 782-1984
Messung von magnetostriktiven Ultraschallwandlern/Arbeitstitel.
- IEC 839-2-4-1990
Alarmsysteme; Teil 2: Anforderungen an Einbruchalarmsysteme; Hauptabschnitt 4: Ultraschall-Doppler-Detektoren zum Einsatz in Gebäuden.

- IEC/TR 854-1986
Messmethoden für die Gebrauchseigenschaften von Ultraschall-Impulsechogeräten für die Diagnostik.
- IEC 866-1987
Kenngrößen und Eichung von Hydrophonen für den Einsatz im Frequenzbereich von 0,5 MHz bis 15 MHz.
- IEC/TR 886-1987
Untersuchungen von Prüfverfahren für Ultraschallreiniger.
- IEC 1012-1990
Filter zur Messung von Hörschall bei gleichzeitig vorhandenem Ultraschall.
- IEC/TR 1088-1991
Kenndaten und Messungen keramischer Ultraschallgeber.
- IEC 1101-1991
Die absolute Kalibrierung von Hydrophonen nach Planar-Scanning-Verfahren im Frequenzbereich von 0,5 MHz bis 15 MHz.
- IEC 1102-1991
Messung und Charakterisierung von Ultraschallfeldern unter Verwendung von Hydrophonen im Frequenzbereich von 0,5 MHz bis 15 MHz.
- IEC 1102-1993
Messung und Charakterisierung von Ultraschallfeldern mit Hydrophonen im Frequenzbereich 0,5 MHz bis 15 MHz; Änderung 1.
- IEC 1157-1992
Anforderung für die Deklaration der akustischen Ausgangsgrößen von medizinisch-diagnostischen Ultraschallgeräten.
- IEC 1161-1992
Ultraschall-Leistungsmessung in Flüssigkeiten im Frequenzbereich 0,5 MHz bis 25 MHz.
- IEC 1205-1993
Ultraschall; Zahnreinigersysteme; Messung und Deklaration der Ausgangskennwerte.
- IEC/TR 1206-1993
Ultraschall; Continuous-wave Doppler Systems; Prüfverfahren.
- IEC/TR 1220-1993
Ultraschall-Felder; Anleitung für die Messung und Kennzeichnung der durch medizinische Ultraschallgeräte erzeugten Ultraschallfelder mittels Hydrophonen im Frequenzbereich 0,5 MHz bis 15 MHz.
- IEC 1266-1994
Ultraschall, Handgehaltene Doppler-Herzschlagdetektoren für Föten, Leistungsanforderungen sowie Mess- und Angabeverfahren.
- ISO 2400-1972
Schweissnähte an Stahl; Eichblock für die Kalibrierung von Ultraschallprüfgeräten.
- ISO 4386-1-1992
Gleitlager; Metallische Verbundgleitlager; Teil 1: Zerstörungsfreie Ultraschallprüfung der Bindung.
- ISO/DIS 4992-1991, DIN 1690-2-1985
Stahlguss; Ultraschallprüfung.
- ISO 5948-1994
Rollendes Eisenbahnzeug, Ultraschallabnahmeprüfung.
- ISO 6416-1992
FlieBmessung in offenen Gerinnen; Abflussmessung mit der Ultraschall-Methode (akustisch).
- ISO 7963-1985, DIN 54122-1973
Stahlschweissen; Abgleichblock Nr. 2 für Ultraschalluntersuchung von Schweissstellen.
- ISO/DIS 8047-1982, DIN ISO 8047-1989
Festbeton; Bestimmung der Ultraschall-Ausbreitungsgeschwindigkeit.
- ISO 9303-1989, DIN EN 29303-1991
Nahtlose und geschweisste Stahlrohre für Druckzwecke (UP-geschweisste Rohre ausgenommen); Ultraschall-Umfangsprüfung zum Nachweis von Längsfehlern.
- ISO 9305-1989
Nahtlose Stahlrohre für Druckzwecke; Ultraschall-Umfangsprüfung zum Nachweis von Querfehlern.
- ISO 9764-1989
Widerstands- und induktionsgeschweisste Stahlrohre für Druckzwecke; Ultraschallprüfung der Schweissnaht zum Nachweis von Längsfehlern.

ISO 9765-1990

Unterpulvergeschweisste, auf Innendruck beanspruchte Stahlrohre; Ultraschallprüfung der Schweißnaht zur Ermittlung von Längs- und/oder Querfehlern.

ISO 10124-1994

Nahtlose und geschweisste (ausgenommen unterpulvergeschweisste) Stahlrohre für Druckbeanspruchungen Ultraschallprüfung zum Nachweis von Dopplungen.

ISO 10332-1994

Nahtlose und geschweisste (ausgenommen unterpulvergeschweisste) Stahlrohre für Druckbeanspruchungen; Ultraschallprüfung zum Nachweis der Dichtheit.

ISO/DIS 10375-1993, DIN 25450-1990

Zerstörungsfreie Prüfung; Ultraschallprüfung; Charakterisierung von Prüfköpfen und Schallfeld.

ISO 10543-1993

Nahtlose und warm-streckreduzierte geschweisste Stahlrohre für Druckbeanspruchungen – Ultraschall-Wanddickenprüfung über den gesamten Rohrumfang.

ISO 11496-1993

Nahtlose und geschweisste Stahlrohre für Druckbeanspruchung; Ultraschallprüfung der Rohrenden zum Nachweis von Dopplungen.

ISO 12094-1994

Geschweisste Stahlrohre für Druckbeanspruchungen; Ultraschallprüfung von Band/Blech, das für die Herstellung geschweisster Rohre eingesetzt wird (zum Nachweis von Dopplungen).

ISO/DIS 13663-1994

Geschweisste Stahlrohre für Druckbeanspruchungen; Ultraschallprüfung des an die Schweißnaht angrenzenden Bereiches zum Nachweis von Dopplungen.

prEN 61101-1993, IEC 1101-1991

Die absolute Kalibrierung von Hydrophonen nach Planar-Scanning-Verfahren im Frequenzbereich von 0,5 MHz bis 15 MHz.

Suva

Postfach, 6002 Luzern
Tel. 041 419 58 51
www.suva.ch

Ausgabe März 1997

Bestellnummer

66077.d