# Schallpegel im Ultraschallbereich

Peter Holstein[1], Nicki Bader[1], Hans-Joachim Münch[1], Matthias Domke[2], Udo Wagner[2], Tino Hutschenreuther[3], Sebastian Uziel[3]

[1] *SONOTEC GmbH, 06112 Halle, E-Mail: peter.holstein@sonotec.de*
[3]*Microtech Gefell GmbH, 07926 Gefell*
[3]*IMMS gGmbH, 98693 Ilmenau*

## 1. Abstract

Um die Auswirkungen der Belastung durch Ultraschall bewerten zu können, braucht man verlässliche Messdaten und geeignete Messtechnik. Es ist sicher zunehmend von Bedeutung, belastbare Aussagen darüber erhalten zu können, welcher *Ultra*-Schallpegel mit bestimmten Ursachen in Verbindung gebracht werden kann oder welche Gesamtexposition damit verbunden ist. Geeignete Messtechnik, die auch vom betroffenen Personenkreis komfortabel genutzt werden kann, ist auch eine Voraussetzung dafür, dass eine ausreichende Menge von Daten zur Verfügung stehen kann.

Lärm in Umwelt und industrieller Umgebung enthält oft auch Ultraschallanteile. Diese können sowohl rauschartig sein als auch ausgeprägte tonale Komponenten enthalten. Der Anteil am gesamten Schallpegel kann erheblich sein. Aktiv erzeugter Leistungsultraschall ist in der Industrie nicht mehr wegzudenken. Druckluftlecks können sehr lauten Ultraschall erzeugen. Im Haushalt gibt es neue Ultraschallquellen, die u. U. ständig ungewollt präsent sind. Die Vertreibung von bestimmten ultraschallsensitiven Tieren ist inzwischen extrem verbreitet und belästigt möglicherweise die übrige Fauna. Natürlich gibt es noch jede Menge natürliche Ursachen für hochfrequenten Schall.

Im Beitrag wird ein diesbezüglicher Ansatz für die Messung des Ultra-Schallpegels mit mobiler Messtechnik vorgestellt.

## 2. Einleitung und Motivation

Auf Parkplätzen, an Straßenrändern oder in Gartenanlagen gibt es in manchen Gegenden regelrechte Konzerte vieler Arten von Abwehrmitteln (Abb.1) [1]. Diese sind für Menschen natürlich nicht hörbar (vielleicht manchmal (gewollt ?) für jüngere Leute)). Ob dieser oder der von anderen Ultraschallquellen erzeugte Lärm für den Menschen schädlich ist, ist nicht Gegenstand der Untersuchungen für diesen Artikel. Eine kürzlich erschienene Sonderausgabe des Journal the Acoustical Society of America [2] beschäftigt sich mit dem Zusammenhang zwischen zunehmender Exposition gegenüber (niederfrequentem) Ultraschall in Städten oder Arbeitsumgebungen und deren Auswirkungen auf den Menschen. In Arbeitsumgebungen hat die Ultraschallbelastung in den letzten Jahren stark zugenommen. Es gibt beeindruckende Listen von Maschinen und Anlagen, die hochfrequente Audiogeräusche und/oder niederfrequenten Ultraschall aussenden, Die Sammlung aus [3] verdeutlicht dies: „Ultraschallgeräte wie Waschmaschinen, Schweißer, Bohrer, Lötpistolen, Schneidemaschinen und Galvaniktöpfe, schnelllaufende Kompressoren, Brenner, Ventile, pneumatische Geräte, schnelllaufende Maschinen, einschließlich Hobeln, Mahlwerkzeuge, Schleifmaschinen, Kreissägen und bestimmte Textilmaschinen …“. Es gibt keine international gültigen Normen zur Bewertung der Ultraschallbelastung. Es gibt jedoch nationale Standards, die einige Informationen liefern (z. B. [4]). Es gibt einige Artikel und Rezensionen, die sich mit den möglichen gesundheitlichen Auswirkungen einer Ultraschallexposition befassen; auf weiterführende Literatur wird hier verwiesen [5]. Um die Schallbelastung durch Ultraschall vergleichbar erfassen zu können, müssen Normen, Messvorschriften und entsprechende Messtechnik entwickelt werden. Der Artikel konzentriert sich auf die Messaspekte.

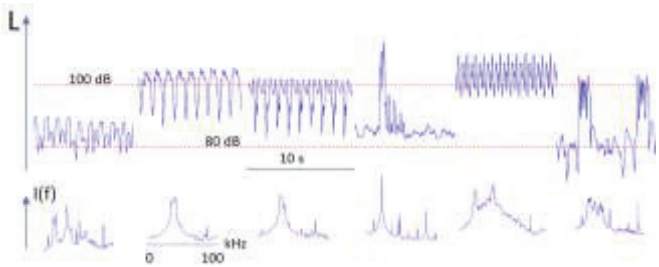


**Abbildung 1:** Zeitverlauf des Schallpegels und der (gemittelten) Spektren typischer Tierabwehrmittel. Diese emittieren modulierten und „lauten“ Dauer-Ultraschall

## 3. Messtechnik

Zur Messung des Ultraschallpegels wurden 24-Bit-Messdatenerfassungskarten von DataTranslation (DT9847) und SINUS Messtechnik (Apollo) mit IEPE-Eingang verwendet. Zur Aufzeichnung und Auswertung wurden Programme in MATLAB geschrieben. Es wurden sowohl Echtzeit- als auch Post-Processing-Module entwickelt, die vielfältige Nachbearbeitungen rund um Akustik und Ultraschall ermöglichen. Die datentechnische Seite der Programmierung orientierte sich an den aktuellen Normen IEC 61672 [6]. Dementsprechend können auch die zur Schallpegelmessung konfigurierten Messsysteme alle Daten des Hörbereichs messen und berechnen. Neben der direkten Schallpegelbestimmung können auch Zeitsignale aufgezeichnet werden. Spektren und 1/n Oktaven können bereitgestellt werden. Die Systeme sind hinsichtlich der Datenverarbeitung offen (Echtzeit, Nachbearbeitung, Datenvisualisierung). Auch spezielle und anwendungsspezifische Berechnungen können integriert werden. Aufgrund der Anforderungen an die Messung hohen Frequenz werden 1/4"-Mikrofone mit einem linearen Frequenzgang bis ca. 100 kHz verwendet. Bei den höheren Frequenzen müssen Richtungsabhängigkeiten berücksichtigt

werden. In ähnlicher Weise sind Ultraschallquellen normalerweise stark anisotrop. Darauf wird in der Veröffentlichung jedoch nicht eingegangen.
Aufbauend auf der Entwicklung der Plattform des digitalen Prüfgeräts SONAPHONE [7] (das hauptsächlich in der Instandhaltung eingesetzt wird), wurde ein experimenteller Prototyp eines mobilen Schallpegelmessers nach IEC 61672 [6] konzipiert und realisiert. Als Mikrofon wurde ein MK301 von Microtech Gefell eingesetzt. Alle Berechnungen werden von einem integrierten FPGA in Echtzeit durchgeführt. Die Rechenleistung ermöglicht die Verarbeitung und Speicherung hochfrequenter Ultraschalldaten über lange Zeiträume. Da die ursprünglichen Zeitdaten (Rohdaten) verwendet und gespeichert werden, können fast alle Berechnungen und Algorithmen implementiert werden. Bei der Berechnung der Schallpegel und deren Darstellung gibt es keine prinzipiellen Einschränkungen. Der in Abbildung 2 dargestellte Entwurf berücksichtigt das für die Ultraschallfrequenzen relevante Reflexionsverhalten. Eine Besonderheit des Systems ist die integrierte Transformation und Ausgabe der Ultraschallfrequenzen in den hörbaren Bereich. Es wird erwartet, dass die Messung des Ultraschallpegels besonders für die hohen Schallpegel wichtig ist, die in industriellen Umgebungen auftreten können. Die Echtzeitberechnungen werden auf einem FGA realisiert. Es werden verschiedene Filter und Bewertungen zur Verfügung gestellt. Für verschiedene Anwendungen ist können auch Filter mit frei wählbaren Bereichen eingestellt werden. Ebenso sind Zeitbewertungen integriert.

.

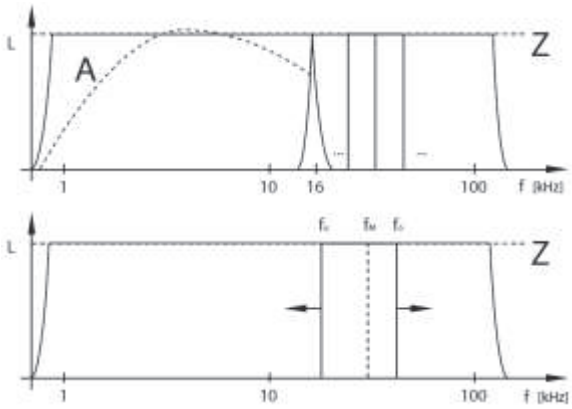


**Abbildung 2:** oben - Prototyp eines Ultraschall-Pegelmessers , unten - symbolische Andeutung verschiedener Filter zur frequenzabhängigen Bewertung (A-Bewertung in Hörbereich, Z-Bewertung, AU-Bewertung, Terzen oder auch beliebig einstellbare Filterbänder.

Daher wird es neben der bisher favorisierten Mikrofonkapsel MK301 weitere geeignete Mikrofone geben, die deutlich höhere Schalldrücke linear erfassen können. Eine aktuelle Entwicklung von Microtech Gefell ist die Elektret-Mikrofonkapsel MKS 342 E, mit der Schalldrücke bis 186 dB in Verbindung mit Messsystemen mit IEP-Versorgung (+/- 1 dB: 20 Hz ... 20 kHz und +/- 2 dB: 4 Hz ... 70kHz) gemessen werden können. Mit den Messsystemen können auch dosimetrische Daten aufgezeichnet und berechnet werden.

## 4. Messungen in industrieller Umgebung

In industriellen Umgebungen und anderen Bereichen der Arbeitswelt gibt es viele Schallquellen, die auch im Ultraschallbereich aktiv sind. Allerdings konnten aufgrund der Pandemiesituation nicht alle geplanten Messungen in industriellen Prozessen realisiert werden. Es werden deshalb exemplarisch zwei Beispiele vorgestellt.
Ultraschall wird in vielen Produktionsprozessen als aktives Werkzeug eingesetzt. Schweißen, Bohren, ultraschallunterstütztes Fräsen und Schleifen nutzen hohe Ultraschallleistungen zur Bearbeitung von Werkstücken. Dies gilt auch für industrielle Reinigungsbäder. Bei diesen Prozessen wird auch Ultraschall über die Luft abgegeben. Die resultierenden Schallpegel sind beträchtlich. Für diese Anwendungen sollte es sinnvoll sein, den Ultraschallpegel mit entsprechender Messtechnik zu messen. Als Beispiel für einen industriellen Bearbeitungsprozess wurde ein Ultraschallschweißverfahren („kleinflächige Quelle“) gewählt. Der eigentliche Schweißvorgang dauert nur wenige Sekunden und ist mit starker Ultraschallstrahlung in der Luft verbunden. Bedienpersonal wäre dem Ultraschall (im Beispiel 20 kHz) stark ausgesetzt. Die meisten Ultraschallquellen sind offensichtlich direkt mit der Anregungsfrequenz in den Geräten und Komponenten verknüpft. Für den Frequenzgang bedeutet dies, dass es keine breite Verteilung, sondern eher starke tonale Komponenten gibt (siehe Abb. 3).

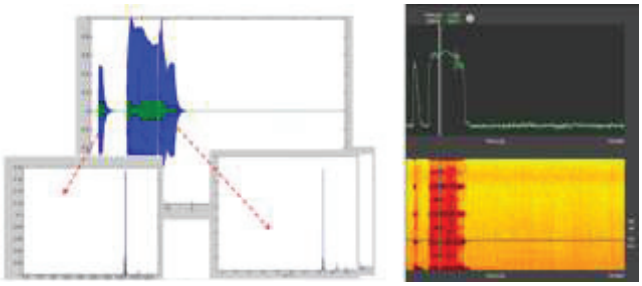

**Abbildung 3:** Ultraschallemission einer Sonotrode beim Ultraschallschweißen. Die hohe Intensität kann um die gesamte Anlage gemessen werden.

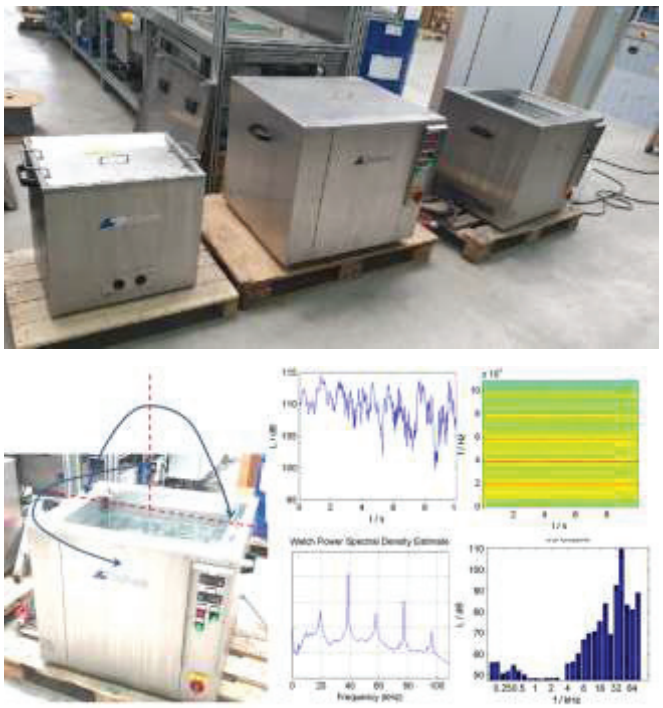

**Abbildung 4:** Industrielle Reinigungsbäder (DeSonic GmbH): UCS PL 120 (el. 5,5 kW, 40 kHz, Ultraschall 1,5 kW) und UCS UL 60 (el-1,79 kW, 40 kHz, Ultraschall 440 W)

Es wurde Messungen sowohl im geschlossenen Zustand als auch mit offenen Deckel gemacht. Weiterhin wurde die Anisotropie der Abstrahlung bewertet. Die Auswertung in Abbildung 4 zeigen neben den Pegeln, Spektren und 1/n- Oktaven auch die Fluktuation der Zahlenwerte entsprechend der links unten angedeuteten Variationen der Messposition. Dies wird unter anderen von der Schallfeldverteilung bei den hohen Frequenzen aber auch von zeitlichen Fluktuationen der Pegel beeinflusst. Es kann an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen werden, dass hier neben der Messtechnik auch das Messverfahren geeignet modifiziert werden muss, um vergleichbare und der Problemstellung angepasste Pegelwerte bereitzustellen. Ein hochgenaues Abtasten erscheint nicht zielführend auch wenn dies technisch möglich wäre. Geeignete Mittelungsprozeduren sind geeignet, dem Nutzer Informationen über die Ultraschallbelastung bereitzustellen.

## 5. Ein Ultraschall-Gang durch ein Homeoffice

Aufgrund der Pandemie-Situation war der Zugang zu industriellen Beispielen sehr beschränkt. Beim "Ausweichen" in die Home-Office-Umgebung zeigte sich, dass – vor allem durch Quellen, die neuerdings in jedem Haushalt vorhanden sein können – eine durchaus bemerkenswerte Ultraschallbelastung" vorhanden ist.
In Zeiten wie diesen mag es legitim erscheinen, sich die akustischen Bedingungen in der eigenen Umgebung anzusehen. Was liegt da näher, als sich umzusehen, wie viele Ultraschallquellen es gibt und wie laut sie im Homeoffice sind. Wir hoffen, dass die Versuchsumgebung „Homeoffice" ein nicht ganz uninteressanter Versuch ist, das Problem der zunehmenden Ultraschallbelastung zu veranschaulichen. Hätten wir diesen „Spaziergang" vor ein oder zwei Jahrzehnten gemacht, wäre das Ergebnis sicherlich ein anderes. Ein einfaches Ultraschall-Reinigungsbad, wie es in Privathaushalten verwendet wird, hat sowohl im offenen als auch im geschlossenen Betrieb einen Schallpegel von bis zu 120 dB bei einer Arbeitsfrequenz von 20 kHz. Aus aktuellen Gründen mussten die Messungen zunächst an einem Haushaltsreinigungsgerät („ausgedehnte Schallquelle") durchgeführt werden. Selbst bei diesen relativ kleinen Geräten gibt es erhebliche Geräuschpegel (siehe Anzeige in Abb. 5). Der Geräuschpegel war auch bei geschlossenem Gerät sehr hoch. Offensichtlich wurde nicht versucht, die Schallabstrahlung konstruktiv zu reduzieren. Insbesondere neue elektronische Komponenten haben zu einer Reihe leistungsstarker Ultraschallquellen geführt, die es vorher nicht gab. Hervorzuheben sind hier überraschend „laute" LED-Lichtquellen sowie computertechnische Komponenten (insbesondere die Bildschirme). Als Hauptquellen werden hier Wechselrichter und Gleichspannungswandler angenommen.

.

**Abbildung 5:** Messung des Ultraschallpegels eines Reinigungsbades (Haushaltsgerät)
Es wurde Messungen sowohl im geschlossenen Zustand als auch mit offenen Deckel gemacht. Sogar im geschlossenen Zustand kann man über 110 dB nachweisen 60 (el-1,79 kW, 40 kHz, Ultraschall 440 W). Weiterhin wurde die Anisotropie der Abstrahlung bewertet.

Interessant ist in diesem Zusammenhang auch, welche „Klangumgebung" entsteht, wenn man die Möglichkeiten nutzt, das vorbildgerechte Ultraschall-Messsystem bei einem Rundgang durch das Homeoffice hörbar zu machen.

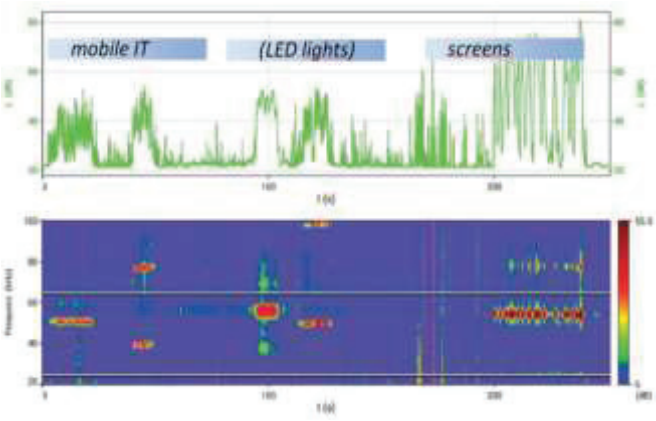

**Abbildung 6:** Suche nach Ultraschallquellen im Home Office. Der Pegel kann teilweise über 80 dB liegen.

## 6. Hörbarmachung

Hörbarmachung von Ultraschall ist für einige Anwendungen unverzichtbar [8]. Besonders im Bereich der Instandhaltung ist dies notwendig, um einerseits US-Quellen zu finden und zum anderen als Warnfunktion für die Sicherheit (unabhängig von der eigentlichen Messung) zu dienen. Für das Handling bei der Messung dürfte die Hörbarmachung ebenfalls interessant sein, da damit in gewisser Weise das Abtasten“ des Schallfeld geeignet unterstützt werden kann.

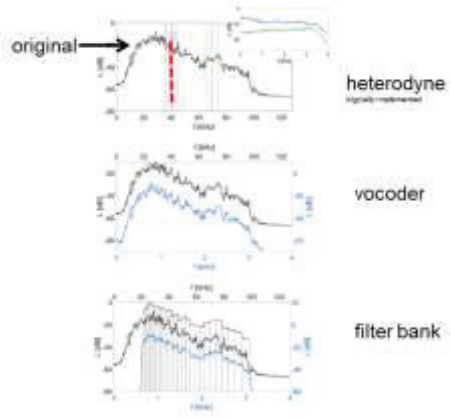


**Abbildung 7:** Verschiedene Verfahren der Hörbarmachung.

Die Transformation in den Hörbereich geht mit einer Datenreduktion einher, die bei Bedarf auch für Langzeitaufzeichnungen geeignet sein kann. Die Abweichung von den Pegelwerten, die aus den hochfrequenten Signalen berechnet werden, hängt von Verfahren ab. Allerdings spielt dies in einigen praktischen Fällen nur eine untergeordnete Rolle (beispielsweise bei der Bestimmung des Pegels von Quellen mit nur einer dominanten Frequenz)

## Zusammenfassung und Ausblick

Die Messung und Bewertung von Ultraschall nimmt in Industrie und Umwelt – auch aufgrund neuer Entwicklungen – stetig zu. Methodologie, Messtechnik und Normung sollten sich deshalb parallel zu einander entwickeln.
Mit dem vorgestellten prototypischen Pegelmesser können Anforderungen flexibel entwickelt und überprüft werden.

## Danksagung

Wir danken Prof. J.-P. Bergmann von der TU Ilmenau für die Möglichkeit, in seinem Labor zu messen. Herrn Pöthig wird für seine Unterstützung bei den Versuchen gedankt. Wir danken A. Tharandt vom Steinbeis-Transferzentrum "Technische Akustik und Angewandte Numerik" für die Programmierung von MATLAB-Komponenten.

## Literatur

1 Paxton, B., Harvie-Clark, J., Albert, M., *Measurements of ultrasound from public address and voice alarm systems in public places*, The Journal of the Acoustical Society of America 144, 2548 (2018); doi: 10.1121/1.5063811

2 JASA18 Special Issue on *Ultrasound in Air*, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 144, Issue 4 (2018)

3 Radosza, J., D. Pleban, D., *Ultrasonic noise measurements in the work environment*, J. Acoust. Soc. Am. 144 (4), October 2018, https://doi.org/10.1121/1.5063812

4 VDI 3766:2012-09, *Ultrasound—Workplace—Measurement, Assessment, Judgment and Reduction* (The Association of German Engineers, Berlin).

5 Howard, C., Hansen, C., and Zander, A. (2005). *A review of current airborne ultrasound exposure limits*, J. Occup. Health Saf.—Aust. N. Z. 21, 253–257

6 IEC 61672, *Electroacoustics—Sound Level Meters—Part 1: Specifications*, International Electrotechnical Commission (2013a). IEC 61672-1:2013, (International Electrotechnical Commission, Geneva).

7 Probst, C., Holstein, P., Application of Ultrasound Technology in Condition Monitoring, Condition Monitor, 372(2018)5-10

8 Bader, N., Holstein, P.. Münch, H.-J. Uziel, S., Hutschenreuther, T., Seitz, S., *The Sound of Ultrasound,* 6th International Congress on Sound and Vibration (ICSV26), 7 - 11 July 2019, Montréal, Canada, ISBN: 9781510892699.