

Schallabstrahlung von Ultraschall-Skalpellen in Luft

M. Borys (1), T. Fedtke (1), U. Richter (1), B. Pöhl (2)

(1) Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Bundesallee 100, 38116 Braunschweig;
(2) Ethicon Endo-Surgery GmbH, Hummelsbütteler Steindamm 71, 22851 Norderstedt

1. Einleitung

Ultraschall-Skalpelle, auch Ultraschall-Dissektoren genannt, werden in der offenen und endoskopischen Chirurgie in unterschiedlichen Bauarten sowohl zum Schneiden von Gewebe mit geringem Blutverlust als auch zur Koagulation (Gefäßverschluss) eingesetzt. Hierbei wird das Operationsinstrument, meist verschieden geformte Klingen, zu longitudinalen Schwingungen mit Amplituden von bis zu 50 μm und Frequenzen im Bereich des Ultraschalls (55,5 kHz) angeregt. Über die Luftschallabstrahlung dieser Instrumente ist bislang wenig bekannt.

Während einer Operation sind sowohl der Patient als auch der Chirurg dem in Luft abgestrahlten Ultraschall ausgesetzt. Zur Abschätzung der hierbei auftretenden Schalldruckpegel wurden Messungen in unterschiedlichen Entfernungen zwischen der Schallquelle und dem Empfänger durchgeführt und die Richtcharakteristik bestimmt. Um die Belastung des menschlichen Ohres einschätzen zu können, erfolgten zusätzlich Messungen der Schalldruckpegel am Gehöreingang eines Kunstkopfes für verschiedene Positionen der Ultraschall-Dissektoren zum Kopf.

2. Bestimmung des Schalldruckpegels in Luft unter Freifeldbedingungen

2.1 Meßbedingungen und experimenteller Aufbau

Da die durchzuführenden Messungen Aussagen über den von der Schallquelle direkt in die umgebende Luft abgegebenen Schalldruckpegel ermöglichen sollen, ist eine Meßumgebung ohne das Meßergebnis verfälschende Reflexionen unter Freifeldbedingungen erforderlich. Aus diesem Grunde wurden die Messungen in einem reflexionsarmen Raum der PTB in Braunschweig durchgeführt. Dieser Raum ist durch seine Klimatisierung an Referenzumgebungsbedingungen angepaßt. Die Messungen wurden bei einer Lufttemperatur von $22,8^\circ\text{C} \pm 0,2^\circ\text{C}$, einer relativen Luftfeuchtigkeit von $49\% \pm 2\%$ und einem Luftdruck von $1004 \text{ hPa} \pm 20 \text{ hPa}$ durchgeführt. Der Abstand zu den Keilspitzen der Wandverkleidung betrug mehr als 2 m.

Die Messungen wurden mit Hilfe eines $\frac{1}{4}$ -Zoll-Mikrophons (Brüel & Kjær 4135), eines Vorverstärkers (Brüel & Kjær 2639) und eines Meßverstärkers (Brüel & Kjær 2636, Frequenzbewertung „Lin“, Zeitbewertung „Slow“) an den in Abb. 1 gezeigten Dissektor-Geometrien durchgeführt. Für die Messung der Richtcharakteristik wurde zusätzlich ein Drehtisch (Brüel & Kjær 3922) in Verbindung mit einem Pegelschreiber (Brüel & Kjær 2307) eingesetzt.

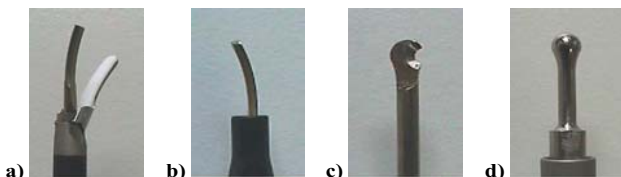


Abb. 1: Ultraschall-Dissektoren: a) Koagulationsschere, b) gebogene Klinge, c) Dissektionshaken, d) Ballkoagulator

Messungen unter Freifeldbedingungen erfordern die Kenntnis des Freifeld-Übertragungsmaßes des verwendeten Mikrophons. Zur Bestimmung des relativen Frequenzgangs des Meßmikrophons wurde eine Eichgittermessung durchgeführt. Aus den vom Hersteller angegebenen Frequenzgängen für Eichgitterkalibrierung, Druck- und Freifeld-Übertragungsmaß kann die typspezifische Freifeldkorrektur ermittelt werden [1]. Das relative Freifeld-Übertragungsmaß ergibt sich aus der Summe der gemessenen Eichgitterkurve und der Freifeldkorrektur an der Stelle der Meßfrequenz (55,5 kHz). Der Bezug zum absoluten Schalldruck erfolgte mit Hilfe einer Pistophon-Kalibrierung (Brüel & Kjær 4220).

2.2 Meßergebnisse

Von den in Abb. 1 dargestellten Ultraschall-Dissektoren wurden die höchsten Schalldruckpegel für den Ballkoagulator gemessen. Aus diesem Grunde werden im folgenden nur Meßergebnisse für diese Dissektor-Geometrie ausführlich behandelt.

Die Richtcharakteristik des Ballkoagulators zeigt Abb. 2. Der Abstand zwischen Schallquelle und Mikrophon betrug hierbei 55 cm. In 0° -Richtung hat die in Richtung des Mikrophons weisende Fläche eine kugelförmige Gestalt (Abb. 3). Der maximale Schalldruckpegel wurde mit $119 \text{ dB (re } 20 \mu\text{Pa)}^1$ in dem Winkelbereich $0^\circ \pm 30^\circ$ gemessen. Die Ergebnisse der Schalldruckpegelmessung in Richtung maximaler Schalldruckabgabe (0°) als Funktion des Abstandes zum Mikrophon zeigt Abb. 4. In einer Entfernung von 5 cm wurde mit 141 dB der größte Schalldruckpegel gemessen. Der Vergleich mit dem $1/r$ -Gesetz zeigt, daß für Entfernungen $>0,2 \text{ m}$ die Dämpfung der Luft nicht mehr vernachlässigt werden kann. Eine Berechnung der zu erwartenden Luftdämpfung gemäß ISO 9613-1 [2] ergibt für die gegebenen Meßbedingungen einen Wert von $2,0 \text{ dB/m}$.

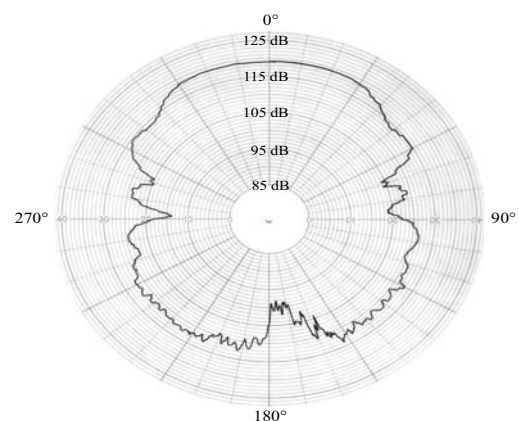


Abb. 2: Richtcharakteristik des Ballkoagulators (Abb. 1d) für eine Entfernung der Schallquelle zum Mikrophon von 55 cm

¹ Alle folgenden Schalldruckpegelangaben in dB beziehen sich auf einen Schalldruck von $20 \mu\text{Pa}$.

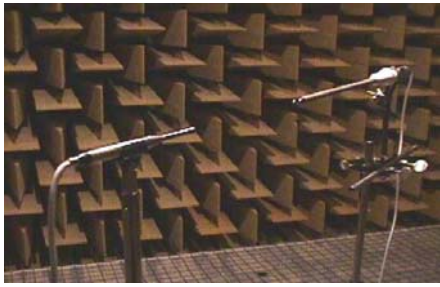


Abb. 3: Orientierung des Ballkoagulators für maximale Schalldruckabgabe in Richtung des Mikrophons (0°-Richtung)

Der aus dieser Dämpfung und dem $1/r$ -Gesetz berechnete theoretische Kurvenverlauf steht in guter Übereinstimmung mit den Meßwerten (vgl. Abb. 4). Dies kann als ein Hinweis gewertet werden, daß auch für eine Frequenz von 55,5 kHz in dem genutzten reflexionsarmen Raum der PTB Freifeldbedingungen vorliegen.

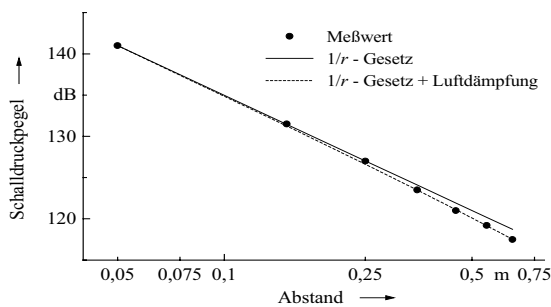


Abb. 4: Messung und theoretischer Verlauf des Schalldruckpegels in Abhängigkeit von der Entfernung zwischen Mikrophon und Schallquelle

3. Belastung des menschlichen Ohres

3.1 Experimenteller Aufbau

Für die Messungen zur Bestimmung der zu erwartenden Belastung des menschlichen Ohres wurde ein auf einem Drehtisch montierter Kunstkopf (KEMAR, [3, 4]) verwendet. Die Messung des Schalldruckpegels erfolgte am rechten Ohr des Kunstkopfes in unmittelbarer Nähe zum Gehöreingang. In der Abb. 5 ist die für die Messung als 0°-Richtung definierte Bezugsorientierung des Ballkoagulators dargestellt.



Abb. 5: Messung des Schalldruckpegels am Gehöreingang des Kunstkopfes (KEMAR): Orientierung des Ballkoagulators in 0°-Richtung

3.2 Meßergebnisse

Eine graphische Darstellung der Ergebnisse der Schalldruckpegelmessung am Gehöreingang als Funktion der Orientierung des Kunstkopfes zeigt Abb. 6. Der Abstand zwischen der Rotationsachse des Kunstkopfes und

der Schallquelle betrug hierbei 27 cm (kleinster Abstand zwischen Schallquelle und Mikrophon 20 cm). Die Richtwirkung des Kunstkopfes, insbesondere dessen Abschattungswirkung im Winkelbereich zwischen 0° und 180°, ist deutlich erkennbar. Mit 132 dB wurde der höchste Schalldruckpegel zwischen 250° und 260° gemessen. Dies entspricht einer Überhöhung von etwa 3 dB gegenüber den Ergebnissen der Freifeldmessungen (Abb. 4).

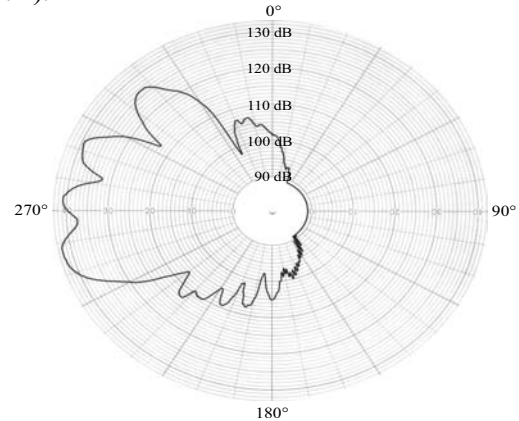


Abb. 6: Richtcharakteristik des Schalldruckpegels am rechten Gehöreingang des Kunstkopfes (Abstand der Schallquelle zur Rotationsachse 27 cm, kleinster Abstand zum Mikrophon 20 cm)

4. Zusammenfassung

Die unter Freifeldbedingungen und am Gehöreingang eines Kunstkopfes gemessenen Schalldruckpegel sind sehr stark von der Orientierung und der Entfernung der Schallquelle abhängig. Die höchsten Schalldruckpegel konnten für einen Ballkoagulator gemessen werden. In Richtung der höchsten Schallabstrahlung und für eine sehr kurze Entfernung von 5 cm wurde ein Maximalwert von 141 dB ermittelt. Die gemessene Abnahme des Schalldruckpegels mit der Entfernung zwischen Schallquelle und Mikrophon steht bei Berücksichtigung der Luftdämpfung in Übereinstimmung mit dem theoretischen Verlauf. Der am Gehöreingang eines Kunstkopfes gemessene Schalldruckpegel hat für eine Entfernung von 20 cm zwischen Schallquelle und Mikrophon einen maximalen Wert von 132 dB. Damit ergibt sich eine Überhöhung von etwa 3 dB gegenüber Messungen im Freifeld. Die angegebenen Meßwerte haben eine gemäß [5] abgeschätzte erweiterte Meßunsicherheit ($k = 2$) von $U = 2$ dB. Für die Aufnahme der Richtcharakteristik erhöht sich durch die Verwendung eines Pegelschreibers die erweiterte Meßunsicherheit auf $U = 2,5$ dB. Die Berechnung der Meßunsicherheiten basiert auf einer Schallausbreitung im Freifeld und Freifeldkalibrierung des Meßmikrophons.

5. Literatur

- [1] Quarter-inch Condenser Microphones Type 4135/36 – Instructions and Applications. Brüel & Kjær, Nærum (Denmark), 1971
- [2] ISO 9613-1 (1993): Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere.
- [3] Burkhard, M. D.; Sachs, R. M.: Anthropometric Manikin for Acoustic Research. J. Acoust. Soc. Am., Vol. 58, 1975, pp. 214–222
- [4] IEC 959 (1990): Provisional head and torso simulator for acoustic measurements on air conduction hearing aids.
- [5] Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM). International Organization for Standardization, Genf (Schweiz), 1. Auflage 1993, Überarbeitung und Nachdruck 1995