

Messung akustischer Parameter von therapeutischen Leistungs-Ultraschallwandlern zur Tumorthherapie

Klaus-V. Jenderka, Julian Haller, Stefanie Dencks, Christian Koch

Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig, Bundesallee 100, 38116 Braunschweig,

E-Mail: klaus-vitold.jenderka@ptb.de

Einleitung

Im Spektrum der Therapiemöglichkeiten zur Behandlung von Tumoren nimmt die Bedeutung der Ultraschallverfahren ständig zu. Hochintensiver therapeutischer Ultraschall (HITU) wird heute bereits regelmäßig in Kliniken für die Behandlung bestimmter Karzinome eingesetzt und weitere therapeutische Anwendungen werden erforscht.

Unter dem Aspekt der Patientensicherheit und Therapieplanung ist die Messung der akustischen Parameter und die Charakterisierung der HITU-Felder dringend erforderlich, kann aber mit den etablierten Messverfahren zur Zeit noch nicht vollständig geleistet werden. Nicht zuletzt deshalb wurde ein durch die Europäische Union unterstütztes Projekt [1][2] begonnen, in dem neun nationale metrologische Institute (NMI) zum Thema „Tumorthherapie mit externen Strahlen“ forschen. Innerhalb des Teilprojektes „HITU“ werden Fragestellungen zur Metrologie von hochintensiven, therapeutischen Ultraschallfeldern bearbeitet.

Aufgaben im Teilprojekt HITU

Unter Beteiligung der NMI aus Großbritannien, Italien, Türkei und Deutschland wird an der Lösung von vier Hauptaufgaben gearbeitet:

- (1) Messung der akustischen Ausgangsleistung und Effizienz,
- (2) Charakterisierung des Schallfeldes in Wasser,
- (3) Messung von Temperaturverteilungen (einschließlich der Kalibrierung eines Phantoms für die MR-Thermometrie) und
- (4) Detektion und Quantifizierung von Kavitation.

Aufgrund der in einem hochintensiven Ultraschallfeld vorherrschenden Bedingungen sind im Bereich des diagnostischen Ultraschalls etablierte Messverfahren hier nicht ohne Weiteres einsetzbar. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit zur Anpassung bestehender bzw. zum Einsatz alternativer Verfahren. Mit einer modifizierten Schallstrahlungskraftwaage konnte bereits gezeigt werden, dass Messungen in diesem Leistungsbereich praktikabel sind. Die akustische Ausgangsleistung eines HITU-Wandlers, der mit einer elektrischen Leistung von bis zu 500 W beaufschlagt wurde, konnte bereits mit einer erweiterten Unsicherheit ($k=2$) von 4,3 % gemessen werden [3].

Prinzipiell sind aber auch weitere auf der Schallstrahlungskraft basierende Messanordnungen geeignet [4] oder auch Verfahren, die andere Effekte zur Messung der akustischen Ausgangsleistung nutzen [5]. Aus diesem Grund ist die Durchführung eines Ringvergleiches zur Untersuchung und

Charakterisierung der verschiedenen Verfahren und Konfigurationen eine Teilaufgabe im Projekt.

Ringvergleich zur Untersuchung von Verfahren zur Messung der akustischen Ausgangsleistung

Die Aufgabe der beteiligten Labore bestand in der Messung der akustischen Strahlungsleitwerte G von jeweils zwei HITU-Wandlern bei insgesamt 3 Frequenzen (Wandler 1: SonicConcepts H-102 bei 1,1 und 3,3 MHz, Wandler 2: Imasonic 5706A bei 1,5 MHz) und 4 Leistungsstufen (5, 25, 75 und 150 W) in Wasser unter Freifeldbedingungen. Entsprechend

$$G = \frac{P_{out}}{U_{in}^2} \quad (1)$$

ist dazu die Bestimmung der akustischen Ausgangsleistung P_{out} in der Austrittsebene notwendig, die der Wandler bei Anlegen einer effektiven Eingangsspannung U_{in} abgibt.

Der Ringvergleich wurde im zweiten Halbjahr 2009 durchgeführt. Nach jeder Messreihe bei den Projektpartnern erfolgte eine wiederholte Messung im Pilotlabor (PTB) zur Überprüfung der Stabilität der im Umlauf befindlichen Wandler, die sich als ausreichend stabil erwiesen haben.

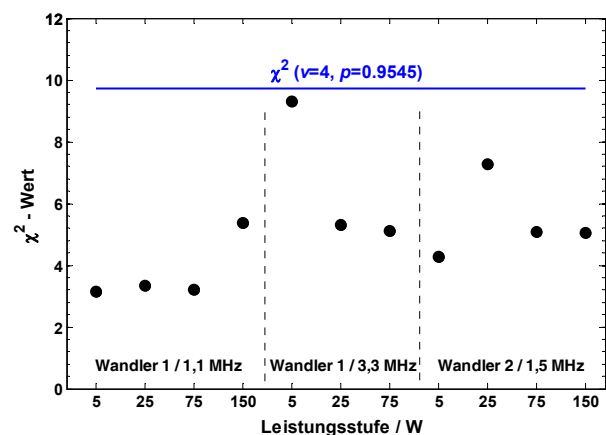


Abbildung 1: Konsistenzprüfung der Ergebnisse für den akustischen Strahlungsleitwert G .

In den beteiligten Laboren konnten fünf verschiedene Varianten von Verfahren zur Messung der Ultraschalleistung realisiert werden. Im Einzelnen kamen zum Einsatz: Schallstrahlungskraftverfahren mit Waagen und absorbierenden Targets (Labor 1 und 4), mit reflektierendem Target (Labor 2), mit Wägezelle und absorbierendem Target (Labor 3) und Auftriebsverfahren [5] (Labor 5).

Tabelle 1: Referenzwerte des akustischen Strahlungsleitwertes G_{ref} für alle Frequenz-Leistungsstufe-Kombinationen und deren relative Unsicherheiten ($k=2$).

Wandler und Frequenz	Leistungsstufe W	G_{ref} mS	$ku(G_{\text{ref}})$ %
Wandler 1 (1,1 MHz)	5 (very low)	18,93	3,6
	25 (low)	19,22	3,0
	75 (med)	19,16	3,0
	150 (high)	19,32	3,1
Wandler 1 (3,3 MHz)	5	13,66	3,5
	25	13,72	3,1
	75	14,08	3,2
Wandler 2 (1,5 MHz)	5	15,50	3,4
	25	15,70	3,0
	75	15,43	3,0
	150	15,19	3,0

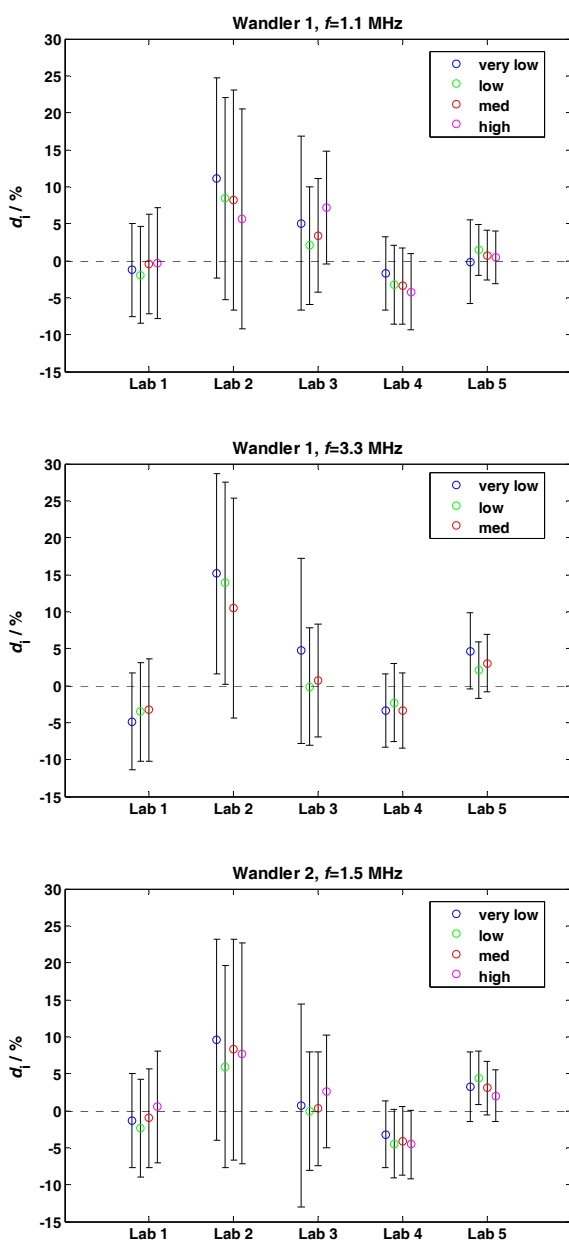


Abbildung 2: Abweichung d_i der Einzelergebnisse vom Referenzwert G_{ref} für die untersuchten Wandler und Frequenzen bei den jeweiligen Leistungsstufen.

Nach Abschluss der Messungen und Eingang der Berichte der Partnerlabore wurden die Ergebnisse zunächst auf Konsistenz geprüft (Abbildung 1). Da für alle Frequenz-Leistungsstufe-Kombinationen Konsistenz festgestellt werden konnte, wurden die Referenzwerte als gewichtete Mittelwerte aus den Einzelergebnissen der Teilnehmer berechnet [6] (Tabelle 1).

Die erweiterten Messunsicherheiten ($k=2$) der einzelnen Labore lagen im Bereich von 4,5 bis 15,2 %, wobei die größten Unsicherheitsbeiträge für die Messungen der akustischen Ausgangsleistung mit Hilfe der Schallstrahlungskraftwaage und reflektierendem Target zu verzeichnen waren.

Die Problematik der Leistungsmessung mit reflektierenden Targets in stark fokussierten Feldern spiegelt sich auch im Grad der Übereinstimmung mit dem Referenzwert der mit verschiedenen Verfahren ermittelten Ergebnisse (Abbildung 2) wider. Hier wurden mit 15 % die höchsten Abweichungen für das reflektierende Target festgestellt – für die anderen Verfahren liegen die Abweichungen zum Referenzwert hingegen unter 5 %.

Zusammenfassung

Der erste Ringvergleich zur Messung der akustischen Ausgangsleistung in HITU-Feldern zeigte eine zufriedenstellende Übereinstimmung der Ergebnisse mit dem Referenzwert. Ausgehend von den gewonnenen Erfahrungen, sollte der Vergleich mit einer größeren Teilnehmerzahl wiederholt werden. Die jetzigen und zu erwartenden Ergebnisse sind von Bedeutung für die internationale Normung, die Geräteentwicklung und nicht zuletzt für Therapieplanung und Patientensicherheit.

Danksagung

Die Autoren danken den beteiligten Projektpartnern aus den NMI Großbritanniens (NPL), Italiens (INRiM) und der Türkei (UME) für die gute Zusammenarbeit und der EU für die Förderung des Projektes.

Literatur

- [1] URL: <http://www.ptb.de/EURAMET-JRP7>
- [2] Kramer, H.M. et al.: Metrology in external beam cancer therapy. 14th International Metrology Congress, Paris (2009)
- [3] Jenderka, K.V, Beissner, K., Haller, J.: Metrology of HITU fields. Proceedings of NAG/DAGA 2009 - International Conference on Acoustics, Rotterdam (2009), 325-327
- [4] IEC 61161 Ed. 2 (2006). International Electrotechnical Commission, Geneva
- [5] A. Shaw: A buoyancy method for the measurement of total ultrasound power generated by HIFU transducers. *Ultrasound in Med. & Biol.* 34 (2008), 1327-1342
- [6] Cox, A.G.: The evaluation of key comparison data. *Metrologia* 39 (2002), 589-595