

# Bewertung von gemessenen Ultraschallsignalen

E. Kühnicke<sup>1</sup>, H. G. Trier<sup>2</sup>, R. v. Hahn<sup>2</sup>, A. Lohfink<sup>2</sup>

<sup>1</sup> TU Dresden, Inst.f.Akustik u. Sprachkommunikation, <sup>2</sup>Univ. Bonn, MEB, Exper. Ultraschalldiagnostik u. TIMUG e.V. Bonn, wiss. Vereinigung

## 1. Einleitung

Das von einem Ultraschallwandler ausgesendete Schallfeld kann mit Hilfe unterschiedlicher Meßverfahren charakterisiert werden. Bei der Prüfung medizinischer Ultraschallsysteme werden dazu u.a. Kugelreflektoren, Hydrophone, Ultraschallprüfköpfe und Thermosensoren verwendet. Entsprechend dem verwendeten Meßsystem erfolgt eine völlig unterschiedliche Bewertung der Parameter des ausgesendeten Schallfeldes.

Basierend auf Simulationsrechnungen diskutiert der Beitrag die verschiedenen Meßverfahren, zeigt die Abhängigkeit der Meßergebnisse von der Empfängerart, von der Größe der Empfängerfläche und von dem detektierten Frequenzbereich.

## 2. Simulationsrechnungen

Abb.1 zeigt berechnete, harmonische Schallfelder (Verschiebung in z-Richtung, Längsschnitte in Symmetrieebene) in Wasser, die von einem fokussierendem Prüfkopf mit der Schwinggröße  $d=15$  mm (Tab.1, 2MHz-Schallkopf) mit einer sphärischen Linse  $R=30$  mm bei unterschiedlichen Frequenzen ausgesendet werden. Diese Schallfelder wurden mit Hilfe der Separationsmethode in Verbindung mit harmonischen GREENSchen Funktionen bestimmt /1, 2/. Der Vergleich der Schallfelder zeigt, daß die Fokusslage sehr stark von der Frequenz abhängig ist und daß sich der Fokus mit zunehmender Frequenz vom Sender entfernt und dem geometrischen Fokus ( $F_{\text{geom}}=65$  mm) annähert.

Frequenz: 1 MHz      2 MHz      5 MHz      10 MHz

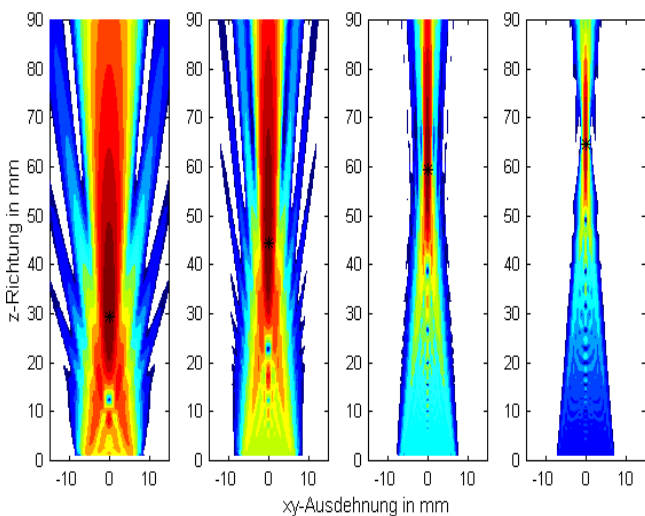


Abb. 1: Harmonische Schallfelder in Wasser  
Element:  $d=15$  mm, Linsenkrümmung  $R=30$  mm  
(Frequenzanteile für 2MHz-Schallkopf)

Das zeitabhängige Schallfeld ist eine Faltung zwischen der Impulsantwort des Systems und der Anregungsfunktion des Wandlers. Es läßt sich durch eine Überlagerung harmonischer Schallfelder (harmonische Synthese) entsprechend der Zeitanregung des Eingangssignals bestimmen. Abb.2 zeigt das transiente Schallfeld bei einer Mittenfrequenz von 2 MHz für Zeitanregungen mit einer Sinus-Schwingung von 0,5, 1 und 5 Perioden. Das transiente Schallfeld ist dem harmonischen Schallfeld bei der Mittenfrequenz sehr ähnlich (Vergleiche Abb.1, 2MHz), es zeigt die gleiche Nahfeldlänge und damit die gleiche Lage der empfindlichen Zone (den gleichen Fokusbereich). Bei kurzen Anregungen werden

Minima und Maxima im Nahfeldbereich und Nebenstrukturen geringer, verschwinden aber im Gegensatz zum Feld eines ebenen, unfokussierten Schallkopfs nicht vollständig (/1/ S.222ff.). Das harmonische Feld bei der jeweiligen Mittenfrequenz ist eine gute Näherung für das transiente Schallfeld und sagt eventuell auftretende Nebenstrukturen bei längeren Anregungen gut voraus.

## 3. Vergleich der Messungen mit den Simulationsrechnungen

Ein 5MHz- sowie ein 2MHz-Schallkopf (Tab.1) eines pw-Doppler-Systems wurden mit Hilfe eines Thermosensors, eines 10MHz-Empfängerschallkopfes und teilweise auch mit Hilfe eines Kugelreflektors ausgemessen<sup>1</sup>. Die Thermosensormessungen dienen zur Leistungsmessung, um Schallfelder bzgl. eines möglichen Bioeffektpotentials bewerten zu können. Da der Meßvorgang in einem Feldpunkt ca. 3 Minuten dauert, wird zum Abtasten des gesamten Schallfeldes viel Zeit benötigt. Mit Hilfe von Reflektoren oder anderen Empfängerschallköpfen läßt sich der Schallfeldverlauf und die Lage von „hot spots“ wesentlich schneller bestimmen.

Schallkopf/Frequenz	2MHz	5MHz
Schwinggröße	$d=15$ mm	$d=25,4$ mm
Linsenkrümmung	$R=30$ mm	$R=30$ mm
Fokus	$F=50$ mm	$F=63,5$ mm

Tab.1: Verwendete Schallköpfe (Angaben des Herstellers)

Anregung: 0.5      1 Periode      5 Perioden

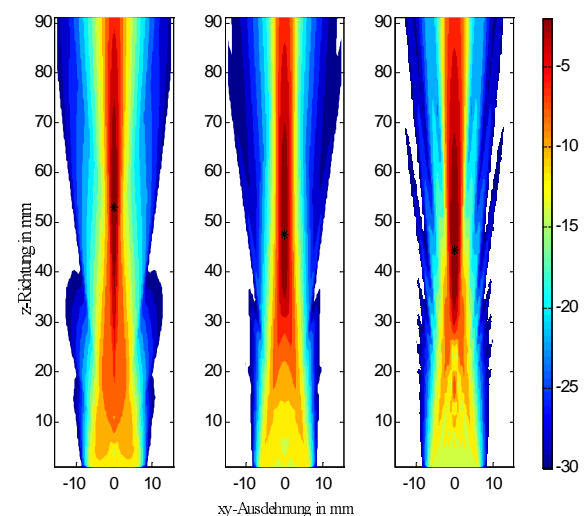


Abb. 2: Transientes Feld für 2MHz-Schallkopf in Wasser  
Element:  $d=15$  mm, Linsenkrümmung  $R=30$  mm  
Anregungsdauer: 0,5, 1 und 5 Perioden

## Reflektormessung

Abb.3 zeigt im Vergleich das mit Hilfe eines Kugelreflektors (Durchmesser  $d=1.1$  mm) vermessene Schallfeld des 5MHz-Schallkopfes<sup>2</sup> und das berechnete harmonische Schallfeld bei der Mittenfrequenz. Beide Schallfelder zeigen bezüglich der Fokusslage und der Breite der 3dB-Zone eine gute Übereinstimmung.

## Messung mit dem Thermosensor

Der auf dem Kalorimeterprinzip beruhende Thermosensor /3/ registriert die vom Sender abgestrahlte Leistung, wobei ein Frequenzbereich, bei dem verwendeten Typ ca. 2 bis 7 MHz, absorbiert wird,

<sup>1</sup> Die Messungen erfolgten in Kooperation Univ. Bonn mit TIMUG e.V. Bonn mit Hilfe einer mit der PTB Braunschweig (Mechanik u. Akustik, R. Reibold) entwickelten Meßeinrichtung; Bericht: H.G. Trier, A. Lohfink, R. v. Hahn, E. Kühnicke, TIMUG e.V., Bonn, Nov. 2000

<sup>2</sup> Der 2MHz-Schallkopf, als Teil eines pw-Doppler-Systems ohne B-mode, konnte nicht mit Reflektor vermessen werden.

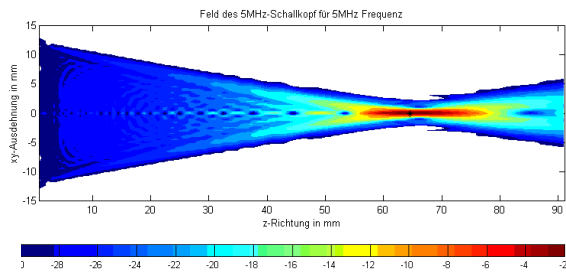


Abb.3: Feld des 5MHz-Schallkopfes  
Oben: berechnet harmonisches Feld  
Unten: Messung mit Kugelreflektor d=1.1 mm

ohne Selektion bestimmter Frequenzen. Abb.4 zeigt mit dem Thermosensor bei einer Sensorfläche von ca. 5 mm entlang der Achse aufgenommenen Leistungskurven als Funktion des Abstandes zwischen Sender und Sensor für den 2MHz- und den 5MHz-Schallkopf als Sender. Der Vergleich mit den berechneten Schallfeldern (Abb.2, Abb.3) zeigt, daß das Maximum der Leistungsmessung und der Fokusbereich übereinstimmen. Beim 2MHz-Schallkopf sieht man sehr deutlich, daß die Intensität nach dem Fokus bei z=50 mm kontinuierlich abnimmt. Da Abb.3 nur das harmonische Schallfeld des 5MHz-Schallkopf zeigt und da beim transienten Schallfeld durch die Überlagerung der verschiedenen Frequenzanteile die Intensität

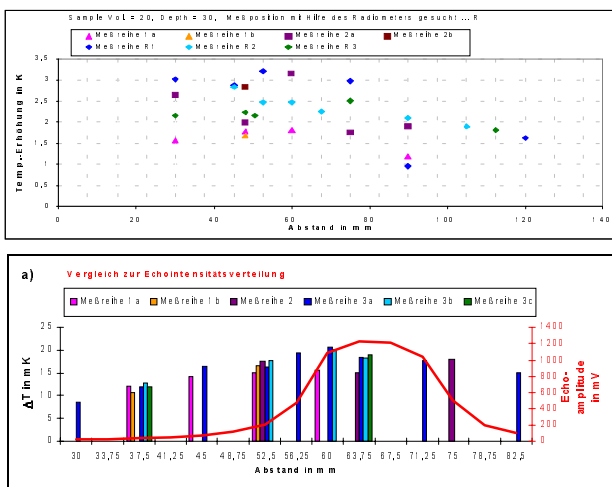


Abb.4: Vermessung des Schallfeldes mit dem Thermosensor (d=5 mm); Oben: 2MHz- Schallkopf  
Unten: 5MHz- Schallkopf (mit eingezeichneter Echoamplitude - Reflektormessung)

im Nahfeld angehoben wird, erklärt sich, daß die Leistungsmessung bei diesem Fall im Nahfeld wesentlich höhere Werte ergibt als Abb.3 vermuten läßt. Es sei noch bemerkt, daß bei sehr kleinen Fokusquerschnitten und dazu verhältnismäßig großen Sensorflächen der Ort des registrierten Leistungsmaximums vor oder nach dem Fokus liegen kann.

### HF-Leistungs-Radiometer-Schallkopf

Ein nur als Empfänger betriebener Schallkopf, der das HF-Empfangssignal als zeitlichen Mittelwert erfaßt, wird hier als Radiometer-Schallkopf bezeichnet. Das registrierte Signal hängt neben der Frequenz, Bandbreite und Geometrie des Senders auch von diesen Parametern des Empfängers ab. Die Spannung oder die Verschiebung, die das ausgesendete Schallfeld nach dem Passieren der Schallkopflinse, der Wasserstecke und z.B. auch einer Linse des Radiometer-Schallkopfes, auf dem Empfänger element des

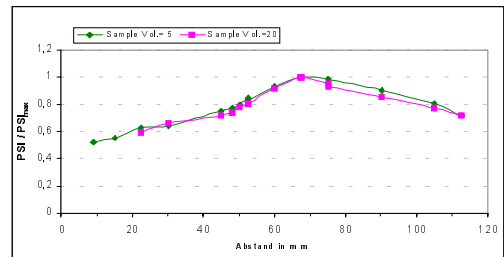


Abb.5: Vermessung des Schallfeldes des 2MHz-Schallkopfes mit dem Radiometer (10 MHz)

Radiometers erzeugt, lassen sich auch mit Hilfe der Separationsmethode berechnen, indem schrittweise die Spannungen auf nacheinanderfolgenden Grenzflächen bestimmt werden. Dabei sind die Krümmungen und die Aperturen zu berücksichtigen. Zur Erfassung der frequenzselektiven Wirkung der Empfangseinrichtung ist neben der Zeitfunktion des Senders zusätzlich mit der Zeitfunktion des Empfängers zu fällen.

Betrachten wir hier nur das Zeitverhalten des Empfängers und lassen seine Fokussierungseigenschaften und Aperturen außer Betracht. Abb.5 zeigt das mit einem schmalbandigen 10MHz-Radiometer-Schallkopf vermessene Schallfeld des 2MHz-Sende-Schallkopfes. Dabei wurde ähnlich wie bei Intensitätsmessungen mit einem Meßhydrophon nach IEC 1102 vorgegangen und mit einem digitalen Speicher-Oszilloskope der zeitliche Mittelwert für das Pulsintegral des quadrierten Signals (PSI) aufgenommen. Das Maximum der PSI-Werte befindet sich in einem Abstand z=65 mm vom Sender entfernt, und nicht im Fokus des Senders bei z=50 mm (siehe Abb.2).

Zur Erklärung dieser Tatsache betrachten wir die berechneten Schallfelder für die verschiedenen Frequenzanteile, die vom 2MHz-Schallkopf ins Wasser abgestrahlt werden (Abb. 1) und stellen fest, daß der 10MHz-Anteil des ausgesendeten Schallfeldes seinen Fokusbereich bei z=64 mm hat. Da ein schmalbandiger Empfänger besonders bei seiner Mittenfrequenz empfindlich ist, also besonders diesen 10MHz-Anteil des Feldes registriert, wird mit dem Radiometer an dieser Stelle der maximale PSI-Wert gemessen. D.h., daß mit einem Radiometerschallkopf, der nicht die gleiche Mittenfrequenz wie der Sendeschallkopf besitzt, die Fokussage falsch bestimmt werden kann.

### 4. Schlußfolgerungen

Erfolgt die Abtastung des Schallfeldes mit einem Sensor, dessen Frequenzspektrum keine gute Übereinstimmung mit dem des Senders besitzt, so wird die Fokussage falsch bestimmt. Das gilt für sog. Radiometerschallköpfe, Hydrophone und auch für Thermosensortypen, die eine frequenzabhängige Absorption besitzen. Wird ein solcher Sensor zum Auffinden der Lage von „hot spots“ verwendet und erfolgen an diesen ausgewählten Stellen Leistungsmessungen, so werden die auftretenden Schalleistungen unterbewertet. Falls die Sendefrequenz nicht bekannt oder variabel ist, wie bei einigen Arbeitsmoden in der medizinischen Diagnostik, sollte, um Meßfehler zu vermeiden, mit sehr breitbandigen Empfängern abgetastet werden.

### 5. Literatur

- /1/ E. Kühncke: Elastische Wellen in geschichteten Festkörpersternen; Modellierungen mit Hilfe von Integraltransformationmethoden; Simulationsrechnungen für Ultraschallanwendungen, Bonn 2001, ISBN 3-934244-01-7.
- /2/ E. Kühncke: Simulationsrechnungen - Ein Werkzeug zur Entwicklung angepaßter Ultraschallprüfsysteme, Dresdner Beiträge zur Sensorik Bd. 14, Hrg. G. Gerlach, G. Pfeifer, w.e.b. Universitätsverlag, Dresden, 2000, S. 47-62.
- /3/ B. Fay, M. Rinker: The thermoacoustic effect and its use in ultrasonic power determination, Ultrasonics 34 (1996) 563-566.