

# Konzepte zur rekonstruktiven Bildgebung mit hochfrequentem Ultraschall

Jörn Opretzka, Forschungsgruppe Hochfrequenztechnik, Ruhr-Universität Bochum

Die Ultraschallbildgebung zur Anwendung in der Dermatologie oder in der Kleintierforschung erfordert die Anwendung von hochfrequentem Ultraschall (HFUS) im Frequenzbereich oberhalb von 20 MHz, um eine hinreichende Ortsauflösung zur Abbildung kleinster Strukturen zu erzielen. Während zur Bildgebung in der Humanmedizin bei Frequenzen bis ca. 10 MHz fast ausschließlich Array-Ultraschallwandler eingesetzt werden, die mittels zeitgleicher Ansteuerung mehrerer Einzelelemente einen variablen Fokus und damit eine hohe Schärfentiefe ermöglichen, sind für HFUS verschiedene fertigungstechnische Probleme bei der Herstellung von Array-Ultraschallwandler noch ungelöst, und es kommen weiterhin fokussierende Einzelelement-Ultraschallwandler zum Einsatz. Ein Bildgebungssystem auf Basis des mechanischen Verfahrens eines solchen Wandlers ist technisch einfach und daher kostengünstig realisierbar, und es erlaubt die hochauflösende Ultraschallbildgebung mit hoher Qualität. Allerdings ist aufgrund der festen Fokussierung des Ultraschallwandlers der nutzbare Tiefenbereich sehr beschränkt. Zudem wird bei einem üblichen System mit unidirektionaler Bildgebung die Abbildungsqualität von Specklerauschen und Abbildungsartefakten wesentlich beeinträchtigt.

Zur Lösung der genannten Probleme wurden in dieser Arbeit die folgenden Konzepte zur Datenaufnahme und Signalverarbeitung für die rekonstruktive Bildgebung mit hochfrequentem Ultraschall entwickelt:

Durch Aufnahme und Mittelung unter verschiedenen Aspektwinkeln aufgenommener Ultraschall-B-Bilder lassen sich Specklerauschen und Abschattungsartefakte deutlich reduzieren. Gleichzeitig gelingt damit eine vollständigere Abbildung spiegelnd reflektierender Strukturen, wie z.B. Knochen. Dies wird hier für HFUS als Limited Angle Spatial Compounding (LASC) realisiert, indem ein mechanisch verfahrener Einzelelement-Schallwandler parallel zur Bildebene gekippt wird. Durch serielle Aufnahme von B-Bildern, d.h. Schnittbildern, in denen die Echoamplitude mit Grauwerten kodiert ist, unter verschiedenen Winkeln und anschließende Mittelung erhält man ein LASC-B-Bild, bei dem Specklerauschen und die o.g. Artefakte wesentlich reduziert sind. Abbildungsfehler, die dabei durch nicht berücksichtigte Inhomogenitäten der Schallgeschwindigkeit entstehen, wurden analysiert und konnten mittels eines iterativen Verfahrens korrigiert werden.

Synthetische-Apertur-Fokussierungstechniken (SAFT) ermöglichen es, die aufgenommenen Echosignale nachträglich derartig zu prozessieren, dass sich eine weitestgehend tiefenunabhängige Ortsauflösung ergibt. Bisherige Ansätze setzen voraus, dass nur das Fernfeld des Ultraschallwandlers für die Abbildung genutzt wird, oder erfordern, dass die resultierende Feldverteilung analytisch angegeben werden kann.

Da dies beides für die weitverbreiteten sphärisch fokussierenden Ultraschallwandler nicht zutreffend ist, wurde in dieser Arbeit ein neuartiges SAFT-Verfahren entwickelt, bei dem die Echosignale mit simulierten und spektral normierten Punktbildfunktionen des Ultraschallwandlers korreliert werden, genannt PBF-SAFT. Im Vergleich zu SAFT mittels lauffzeitgemäßer Verzögerung und Integration der Echosignale (Delay-and-Sum) ergibt sich bei PBF-SAFT bei vergleichbarer lateraler Auflösung eine größere axiale Auflösung und eine größere Nebenkeulendämpfung, was anhand von Simulationen und Messdaten gezeigt werden konnte.

Zur Kombination von LASC und PBF-SAFT wurde unter Verwendung von sphärisch fokussierenden 20-MHz- und 38-MHz-Ultraschallwandlern ein HFUS-System entwickelt, das die Aufnahme von Datensätzen für Einfallswinkel in einem Bereich bis  $\pm 30^\circ$  erlaubt. Nach Aufnahme von Datensätzen für verschiedene Winkel werden diese einzeln PBF-SAFT-prozessiert und anschließend gemäß dem Prinzip des LASC überlagert.

Zur Evaluation des Systems und der entwickelten Bildgebungskonzepte wurden Post-mortem-Messungen an Ratten-Jungtieren und an Tumoren von Nacktmäusen bei Mittenfrequenzen von 20 MHz und von 38 MHz durchgeführt und die LASC/PBF-SAFT-B-Bilder dem unfokussierten LASC-B-Bild und dem unidirektionalen B-Bild gegenübergestellt. Der Vergleich zeigt die Vorteile der erstgenannten Modalität gegenüber den beiden anderen: Der hier neu vorgestellte Ansatz ermöglicht eine vollständigere Abbildung spiegelnd reflektierender Strukturen, die Unterdrückung von Specklerauschen und Abschattungsartefakten bei weitestgehend tiefenunabhängiger räumlicher Auflösung, eine starke Reduktion des Hintergrundrauschens und die Vergrößerung des nutzbaren Tiefenbereichs. Dementsprechend konnte der diagnostische Nutzen der Bildgebung mit hochfrequentem Ultraschall im Vergleich zu den anderen Modalitäten deutlich gesteigert werden.