

MORPHOLOGISCHE ABBILDUNG DER HAUT UND BLUTFLUßABBILDUNG IN KLEINEN GEFÄßEN MIT HOCHFREQUEMTEM (50/100 MHz) ULTRASCHALL

M. Vogt¹, H. Ermert¹, S. El Gammal², K. Hoffmann³, M. Stücker³, P. Altmeyer³

¹Lehrstuhl für Hochfrequenztechnik, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Deutschland

²Dermatologische Klinik, Krankenhaus Bethesda, 57258 Freudenberg, Deutschland

³Dermatologische Klinik, Ruhr-Universität Bochum, 44791 Bochum, Deutschland

^{1,3}Kompetenzzentrum Medizintechnik Ruhr (KMR), Bochum, Deutschland

Michael.Vogt@ruhr-uni-bochum.de

EINLEITUNG

In der dermatologischen Diagnostik hat sich die hochfrequente Sonographie im 20 MHz-Bereich als ein Werkzeug für die nicht invasive Abbildung der Haut etabliert. Hinsichtlich der Abbildung der obersten Hautschichten sowie einer ultraschallgestützten Tumordiagnostik ist das Auflösungsvermögen konventioneller 20 MHz-Ultraschallsysteme jedoch ungenügend. Ebenso ist das Ortsauflösungsvermögen konventioneller, niederfrequenter Ultraschall-Doppler-Systeme unzureichend, um beispielsweise Okklusionen der kleinen Arterien der Finger und Zehen im Zusammenhang mit Erkrankungen wie Diabetes mellitus oder systemischer Sklerodermie frühzeitig erkennen zu können. Im folgenden wird ein hochfrequentes Ultraschallsystem für die morphologische Abbildung der Haut im 100 MHz-Bereich und für die hochaufgelöste Blutflußabbildung im 50 MHz-Bereich vorgestellt.

HOCHFREQUENTE ULTRASCHALLABBILDUNG

Das Ortsauflösungsvermögen von Ultraschallabbildungssystemen verbessert sich mit steigender Mittenfrequenz und Bandbreite, wobei zu berücksichtigen ist, daß die akustische Dämpfung des Gewebes mit steigender Frequenz ansteigt. Für Anwendungen in der Dermatologie liefert Ultraschall im Frequenzbereich zwischen 50 MHz und 100 MHz einen guten Kompromiß zwischen einem guten Ortsauflösungsvermögen und einer hinreichend kleinen Dämpfung. Da für diesen Frequenzbereich zur Zeit lediglich Einzelementschallwandler zur Verfügung stehen, kann eine Bildgebung nur durch mechanisches Verfahren des Schallwandlers erfolgen. Zur Erzielung einer guten lateralen Auflösung und einer großen Empfindlichkeit werden stark sphärisch fokussierte Schallwandler eingesetzt, siehe Abb. 1 [1].

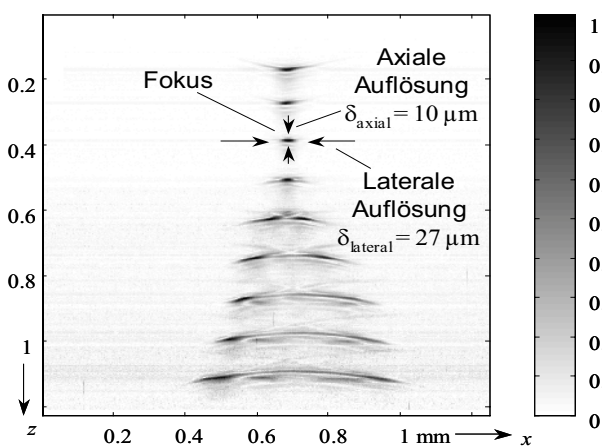


Abb. 1: Schallwandler 100 MHz-System, Echosignal von einem Wolframdraht (7 µm Durchmesser) in verschiedenen Tiefen

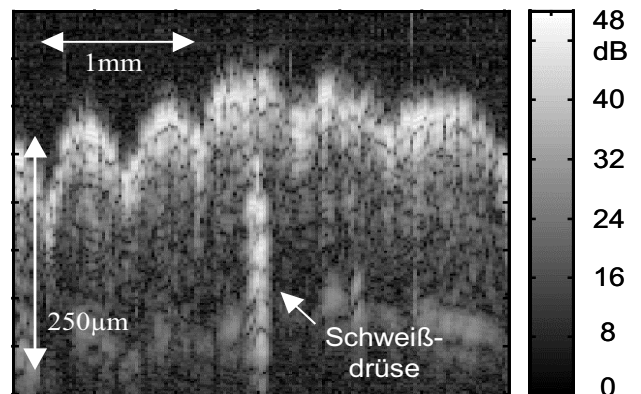


Abb. 2: 100 MHz-Ultraschall: Haut am Finger, Schweißdrüse

sichtigen ist, daß die akustische Dämpfung des Gewebes mit steigender Frequenz ansteigt. Für Anwendungen in der Dermatologie liefert Ultraschall im Frequenzbereich zwischen 50 MHz und 100 MHz einen guten Kompromiß zwischen einem guten Ortsauflösungsvermögen und einer hinreichend kleinen Dämpfung. Da für diesen Frequenzbereich zur Zeit lediglich Einzelementschallwandler zur Verfügung stehen, kann eine Bildgebung nur durch mechanisches Verfahren des Schallwandlers erfolgen. Zur Erzielung einer guten lateralen Auflösung und einer großen Empfindlichkeit werden stark sphärisch fokussierte Schallwandler eingesetzt, siehe Abb. 1 [1].

MORPHOLOGISCHE ABBILDUNG DER HAUT

Für die morphologische Abbildung der Haut wird in dem realisierten System ein Schallwandler mit einer Mittenfrequenz von 100 MHz und einer -6 dB-Bandbreite von 90 MHz eingesetzt, womit eine minimale axiale Auflösung von 10 µm und eine minimale laterale Auflösung von 27 µm (-6 dB-Auflösungen) erzielt wird, vgl. Abb. 1. Für eine homogene morphologische Bildgebung über große Tiefenbereiche werden fokussierte B-Bilder in unterschiedlichen Tiefen aufgenommen und anschließend zusammengesetzt, wozu der Schall-

wandler und damit der Fokus zwischen aufeinanderfolgenden Scans in Tiefenrichtung verfahren wird (B/D-Scan-Technik) [1]. Mit dem günstigen Auflösungsvermögen ist das realisierte System insbesondere hinsichtlich der Abbildung der diagnostisch sehr relevanten obersten Hautschichten interessant, siehe Abb. 2.

HOCHAUFLÖSENDE BLUTFLUSSABBILDUNG

Im Betrieb als Puls-Doppler-System wird ein sphärisch fokussierter 50 MHz-Schallwandler mit einer -6 dB-Bandbreite von 40 MHz, einer minimalen axialen Auflösung von $17 \mu\text{m}$ und einer minimalen lateralen Auflösung von $54 \mu\text{m}$ (-6 dB-Auflösungen) eingesetzt. Dem fließenden Blut kann dabei bezogen auf den Schallwandler eine axiale Flußgeschwindigkeitskomponente v_{axial} und eine transversale Flußgeschwindigkeitskomponente v_{trans} zugeordnet werden [2]. Bei der Abtastung in lateraler Richtung wird der Schallwandler an diskreten Positionen gestoppt, und es wird jeweils eine Folge von Pulssignalen ausgesendet und die resultierenden Echosignale werden nach Abtastung in diskreten axialen Meßtoren analysiert, siehe Abb. 3.

Es sind Verfahren zur Schätzung der axialen Flußgeschwindigkeitskomponente über eine kombinierte Zeit- und Frequenzbereichsauswertung des quadraturdemodulierten Echosignals sowie zur Schätzung der transversalen Flußgeschwindigkeitskomponente aus der Modulation der Echosignalfolge durch die transversale Richtcharakteristik des Schallwandlers implementiert worden [2]. Das System ist mit Hilfe von Messungen an Flußphantomen unter definierten Bedingungen erprobt und evaluiert worden [3].

Bei den Abb. 4 zugrundeliegenden Messungen ist eine Vene auf dem Handrücken eines Probanden abgetastet worden. In Abb. 4 sind als Ergebnis der Auswertung die axiale und die transversale Blutflußgeschwindigkeitsverteilung in der Color-Flow-Darstellung überlagert

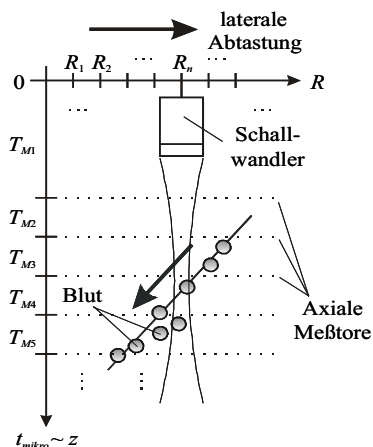


Abb. 3: Blutflußabbildung mit Einzelschallwandler: Mechanischer Scan, diskrete laterale Positionen, axiale Meßtoren, Schallaufzeit t_{mikro}

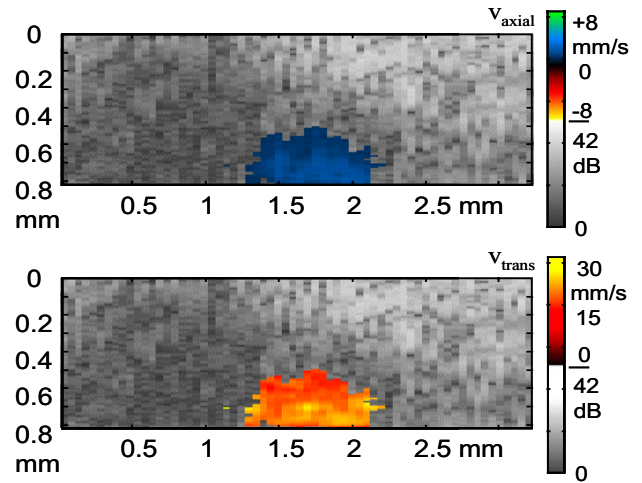


Abb. 4: Color-Flow-Imaging: Axiale (oben) bzw. transversale (unten) Blutflußgeschwindigkeit

zum morphologischen Gewebebild dargestellt. Innerhalb des Blutgefäßes mit einem Durchmesser von etwa $500 \mu\text{m}$ wird eine maximale axiale Blutflußgeschwindigkeit von 4 mm/s und eine maximale transversale Flußgeschwindigkeit von 20 mm/s gemessen.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Einsatz hochfrequenten Ultraschalls im 100 MHz-Bereich ermöglicht die hochauflösende morphologische Abbildung der Haut mit einer minimalen Auflösung in der Größenordnung von $10 \mu\text{m}$.

Das realisierte, im 50 MHz-Bereich arbeitende Ultraschall-Doppler-System ermöglicht die hochauflösende Blutflußabbildung in kleinen Gefäßen mit Durchmessern von weniger hundert Mikrometern und Blutflußgeschwindigkeiten von wenigen mm/s .

LITERATUR

- [1] M. Vogt, K. Kaspar, P. Altmeyer, K. Hoffmann, S. el Gammal, „High Frequency Ultrasound for High Resolution Skin Imaging“, Frequenz, Band 55, 1-2/2001, S. 12-20
- [2] M. Vogt, C. Curio, H. Ermert, S. el Gammal, K. Kaspar, K. Hoffmann, M. Stücker, P. Altmeyer, „Kombinierte Erfassung von axialem und transversalem Blutfluß mit einem 50 MHz-Ultraschall-B-Bild System für die Dermatologie“, Zeitschr. Med. Phys. 9, p. 30-36, 1999
- [3] M. Vogt, H. Ermert, S. El Gammal, K. Hoffmann, M. Stücker, P. Altmeyer, „Konzepte für die hochauflösende Blutflußabbildung mit hochfrequentem Ultraschall (50 MHz) in der Dermatologie“, Biomedizinische Technik, Band 46, Ergänzungsband 1, S. 84-85, 2001

Ein Beitrag aus dem Kompetenzzentrum Medizintechnik Ruhr (KMR) Bochum, gefördert vom BMBF, Aktenzeichen 13N8079.