

Zeitaufgelöste Holographie für biomedizinische Bildgebung

M.Breede*, M.Breede*, M.Hofmann*, M.Salvador**, S.Köber**, K.Meerholz**

**Optoelektronische Bauelemente und Werkstoffe, Ruhr-Universität Bochum*

***Institut für Physikalische Chemie, Universität zu Köln*

<mailto:michael.breede@rub.de>

Wir untersuchen das Potential zeitaufgelöster Holographie für die biomedizinische Bildgebung und demonstrieren ein erfolgreiches Konzept zur Dispersionskompensation. Die Holographie mit breitbandigem Licht wird analysiert und mittels schnell spektral abstimmbarer Lichtquellen optimiert.

1 Einführung

Konventionelle bildgebende Verfahren in der Medizintechnik umfassen Ultraschall (US), Röntgen bzw. Mikro-Computertomographie (μ CT) sowie Magnetresonanztomographie (MRT). Seit Anfang der Neunziger Jahre werden vermehrt optische Verfahren wie die Optische Kohärenztomographie (engl. *Optical Coherence Tomography*, OCT) eingesetzt. Vorteil der OCT ist eine bessere Auflösung als bei den oben genannten Verfahren. Nachteile sind geringe Eindringtiefen aufgrund der starken Lichtstreuung im Gewebe und vor allem zu lange Bildaufnahmezeiten.

2 Vorteile der Holographie

Grundlage der OCT ist Interferometrie mit kurzkohärentem Licht. Ebenso lässt sich auch Holographie mit kurzkohärenten Lichtquellen, bspw. Kurzpulslasern, realisieren [1, 2]. Die Tiefenadressierung bei der zeitaufgelösten Holographie erfolgt wie bei der OCT. Wesentlicher Vorteil gegenüber der OCT ist jedoch, dass man für ein dreidimensionales Volumenabbild der Probe auf das Scannen in der Ebene verzichten kann, wie Abb.1 verdeutlicht. Dies ermöglicht prinzipiell eine wesentliche Zeitersparnis.

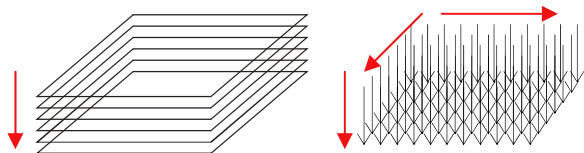


Abb. 1 Gegenüberstellung des Scan-Aufwands der zeitaufgelösten Holographie (links: nur z-scan) gegenüber der Standard-OCT (rechts: x-, y- und z-scan).

3 Aufbau

In unserem Aufbau setzen wir als Lichtquelle einen Titan:Saphir Kurzpulslaser ein. Das holographische Medium ist ein wiederbeschreibbares photo-refraktives Polymer. Ausgelesen wird das Hologramm in Rückwärtsrichtung mit zu den Schreibstrahlen orthogonal polarisiertem Licht, wie in Abb.2 zu sehen ist.

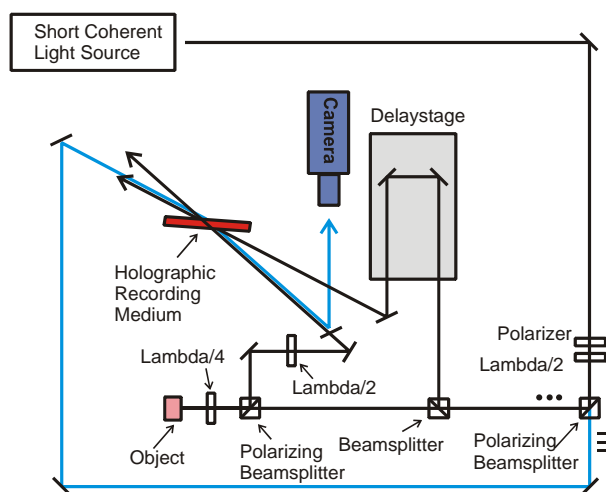


Abb. 2 Aufbau für die zeitaufgelöste Holographie.

4 Dispersionskompensation

Für die Tiefenauflösung problematisch ist die dem spektral breiten Lichtpuls bei Durchlaufen des Gewebes aufgezwungene Dispersion. Den Einfluss der Dispersion verdeutlichen die in Abb.3 dargestellten Messungen. In Abb.3 ist die in unserem System gemessene Autokorrelationsfunktion (ermittelt anhand der aufintegrierten Beugungsintensität am Hologramm) für drei Fälle verglichen: einmal ohne Dispersion im Interferometer, einmal mit Dispersion (20 mm Glas) nur im Probenarm und einmal mit gleicher Dispersion in beiden Armen. Die Halbwertsbreite der Autokorrelation entspricht in letzterem Fall mit 0,118ps wieder der Autokorrelation im Fall ohne zusätzliche Dispersion (0,111ps), wohingegen sie sich im Fall der unbalancierten Dispersion in nur einem Arm sich nachweislich vergrößert (0,245ps). Folglich lässt sich die Verbreiterung der Autokorrelationsfunktion durch Dispersion der Probe und die damit verbundene Verschlechterung der Tiefenauflösung nahezu kompensieren, wenn im Referenzarm vergleichbare Dispersion eingebracht wird. Im Fall von biologischem Gewebe könnte diese Kompensation z.B. mit Wasser erfolgen.

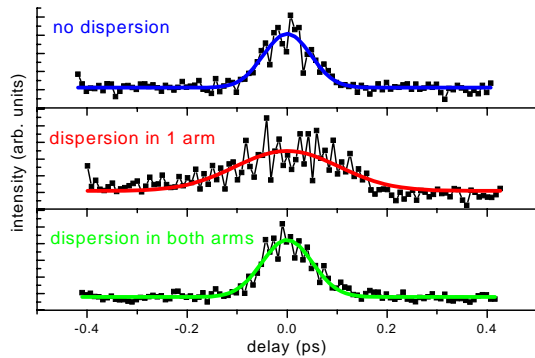


Abb. 3 Gemessene Autokorrelation der Lichtquelle. Oben: ohne Dispersion, Mitte: Dispersion in nur einem Arm, Unten: Dispersion in beiden Armen des Interferometers.

5 Hybride Holographie

Die spektrale Breitbandigkeit kurzer Pulse bzw. kurzkohärenter Lichtquellen ergibt eine weitere Problematik, die in Abb.4 analysiert wird. Liest man das breitbandig geschriebene Hologramm auch mit breitbandigem Licht aus, werden die verschiedenen Wellenlängen an dem eingeschriebenen Hologramm unter leicht variierenden Winkeln gebeugt und verschmieren das holographische Bild, wie Abb.4 c) zeigt. Das breite Spektrum benötigt man zwingend für eine möglichst gute Tiefenaufklärung, jedoch nur beim Schreiben des Hologramms. Ein schmalbandiges Auslesen wirkt sich auf die axiale Auflösung hingegen nicht mehr negativ aus, reduziert aber, wie Abb.4d) zeigt drastisch die Verwaschung des Bildes. Diese hybride Holographie ermöglicht also die Aufnahme von Bildern mit gleichzeitig guter lateraler und Tiefenaufklärung.

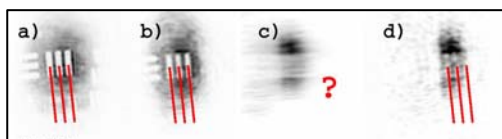


Abb. 4 Holographie mit breitbandigem Licht a) Foto des Testobjekts, b) Hologramm schmalbandig geschrieben, schmalbandig ausgelesen, c) breitbandig geschrieben, breitbandig ausgelesen, d) breitbandig geschrieben, schmalbandig ausgelesen.

6 Spektral durchstimmbare Lichtquellen

Die beschriebene Anforderung, mit breitbandigem Licht zu schreiben, aber mit schmalbandigem Licht auszulesen, um gute Tiefenaufklärung mit guter lateraler Auflösung zu kombinieren, erfordert Lichtquellen, die sich zwischen diesen beiden Zuständen umstellen lassen. Möglich ist dies bei Verwendung von schnell spektral durchstimmbaren Lasern. Hierbei ergibt sich, wenn die Durchstimmgeschwindigkeit schneller ist als die Schreibzeit des Hologramms, ein breites Spektrum aus sukzessi-

ver Überlagerung schmaler Laserlinien. Wir verwendeten als Lichtquelle einen durchstimmbaren Fourier-transform external-cavity laser (FTECAL, vgl. [4], [5]). Abb.5 zeigt für eine solche Anordnung die gemessene Autokorrelationsfunktion auf Grundlage der Beugungsintensität. Es ist ersichtlich, dass sich auch bei einer solchen sukzessive durchgestimmten Lichtquelle eine zeitlich kurze Autokorrelation von in diesem Fall 80fs Halbwertsbreite ergibt. Dies entspricht einer Tiefenaufklärung von 24 μ m. Obwohl dieser Wert durch Optimierung des Lasers noch weiter verbessert werden kann ist er bereits kleiner als unsere besten mit Kurzpulslasern erzielten Tiefenaufklärungen.

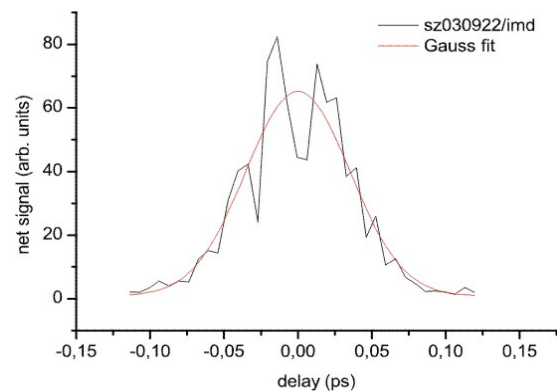


Abb. 5 Autokorrelationsfunktion auf Grundlage der Beugungsintensität bei Verwendung eines spektral durchstimmbaren Lasers als Lichtquelle. Das Delay ergibt sich durch Verzögerung des Lichts in einem der Interferometerarme.

7 Zusammenfassung

Unsere Vorexperimente demonstrieren die Eignung der zeitaufgelösten Holographie für die biomedizinische Bildgebung. Die besten Ergebnisse bzgl. lateraler und Tiefenaufklärung liefert hybride Holographie mit schnell spektral abstimmbaren Halbleiterlasern.

Diese Arbeit wurde gefördert durch die ESA und das BMBF über die DLR.

Literatur

- [1] A.Rebane, J.Feinberg, *Time-resolved Holography* Nature **351** S.378-380 (1991)
- [2] S.C.W.Hyde et al., *High resolution depth resolved imaging through scattering media using time resolved holography*, Optics Communications **122** S.111-116 (1995)
- [3] M.Breede et al., *Fourier-transform external cavity lasers*, Optics Communications **207**, S.261-271 (2002)
- [4] J.Struckmeier et al., *Electronically tunable external-cavity laserdiode*, Optics Letters **24**, S.1573-1574 (1999)