

Untersuchungen zum Einsatz kurzkohärenter Lichtquellen bei der Digitalen Holographie

P. Langehanenberg, B. Kemper, G. von Bally

Labor für Biophysik, Universitätsklinikum Münster, Robert-Koch-Str. 45, 48149 Münster
<http://labbiophys.klinikum.uni-muenster.de>

[mailto: langehanenberg@uni-muenster.de](mailto:langehanenberg@uni-muenster.de)

Die Einsatzfähigkeit spektral verbreiteter kurzkohärenter Lichtquellen für die digitale „Off-Axis“-Holographie wird untersucht. Hierzu erfolgt zunächst die Charakterisierung der Eigenschaften einer kurzkohärenten Superlumineszenzdiode. Anschließend werden die selektive Aufnahme und die digitalholographische Rekonstruktion verschiedener Objektebenen am Beispiel eines USAF Testcharts demonstriert.

1 Motivation

Der Einsatz digitalholographischer Verfahren bei (mikroskopischen) Untersuchungen erlaubt eine berührungslose, nichtscannende Detektion von Änderungen der optischen Weglänge mit interferometrischer Genauigkeit, welche durch Form und Brechungsindex einer Probe bzw. deren Änderungen verursacht werden. Bei Auflichtbeleuchtung ermöglicht der Einsatz kurzkohärenter Lichtquellen die Erweiterung der digitalen Holographie zur tiefelektiven Analyse einzelner Objektebenen [1][2].

2 Experimentalaufbau

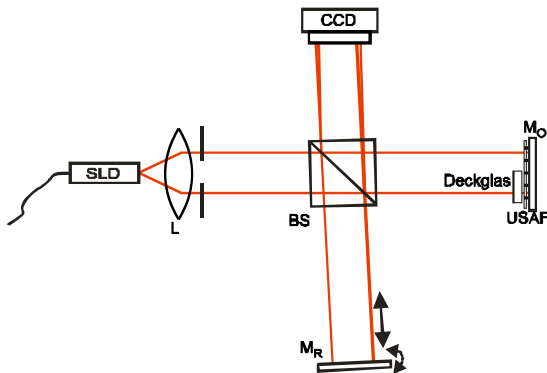


Abb. 1 Experimentalaufbau

Michelson-Interferometer in digitalholographischer „Off-Axis“-Geometrie; in einem Interferometerarm befindet sich ein teilweise durch ein Deckglas abgedecktes USAF 1951 Auflösungstestchart; SLD: Superlumineszenzdiode, L: Kollimationslinse, BS: Strahlteilerwürfel, M_R : Spiegel des Referenzarms, M_O : Spiegel des Objektarms, CCD: Kamerasensor

Abb. 1 zeigt das für die Experimente verwendete Michelson-Interferometer mit verkippbarem Referenzspiegel M_R („off-axis“-Geometrie). Zur Charakterisierung der verwendeten kurzkohärenten Lichtquelle kann die Verkipfung der beiden Teilstrahlen variiert werden (Abschn. 3.1). Bei der Untersu-

chung zur Selektion verschiedener Objektebenen befindet sich ein teiltransparentes USAF 1951 Auflösungstestchart im Objektarm, welches zur Phasenverzögerung partiell durch ein Deckglas bedeckt ist (Abschn. 3.2).

3 Ergebnisse

3.1 Charakterisierung der Lichtquelle

Aufgrund der partiellen Kohärenz des Lichtes, z. B. der hier verwendeten Superlumineszenzdiode, tritt in einem Interferometer eine Variation der Amplitude des Interferenzmusters in Abhängigkeit von der Differenz der optischen Weglängen in den beiden Interferometerarmen auf. Bei Abbildung auf einen CCD-Sensor wird somit die Anzahl der durch Strahlverkipfung erzeugbaren Streifen durch die Kohärenzlänge der Lichtquelle begrenzt. Aus den spektralen Daten der verwendeten kurzkohärenten Superlumineszenzdiode (zentrale Lichtwellenlänge $\lambda=685$ nm, Spektrale Breite $\Delta\lambda=8$ nm) lässt sich die Kohärenzlänge zu $l_c=58,6$ μ m berechnen. Hiermit ergibt sich eine maximal erzeugbare Streifenanzahl von $N=85$.

In Abb. 2a und 2b sind ein Interferogramm bei maximierter Streifenanzahl und ein horizontaler Schnitt durch dessen Intensitätsverlauf dargestellt. In Abb. 2c ist im Vergleich dazu der den Daten der Lichtquelle entsprechende simulierte Intensitätsverlauf dargestellt. Es zeigt sich eine Übereinstimmung zwischen Messung und Simulation.

3.2 Selektion verschiedener Objektebenen

Mit einer gemäß Abschn. 3.1 optimierten Verkipfung erfolgen mit dem in Abb. 1 dargestellten linsenlosen Michelson-Interferometer in „off-axis“-Geometrie digitalholographische Untersuchungen an einem teiltransparenten partiell abgedeckten USAF1951 Auflösungstestchart zur Selektion von Objektebenen. Durch Variation der Position des Spiegels M_R werden jeweils in beiden Hälften der

Testchartabbildung Interferenzstreifen erzeugt. Der Abstand der beiden Positionen des Referenzspiegels $d(M_R) = (1040 \pm 20)$ mm entspricht im Rahmen der Messunsicherheit der optischen Weglänge durch das Deckglas.

Die Auswertung der tiefenselektiv aufgenommenen Hologramme erfolgt mittels Methoden der digitalen Holographie. Hierzu wird die aufgrund der linsenlosen Abbildung unscharf abgebildete Objektwelle nach Rekonstruktion in der Hologrammebene [3] durch Anwendung von Faltungsalgorithmen in die Objektebene propagiert (siehe Abb. 3) [4]. An beiden Positionen erfolgt jeweils eine scharfe Rekonstruktion der Amplituden- und Phasenverteilungen.

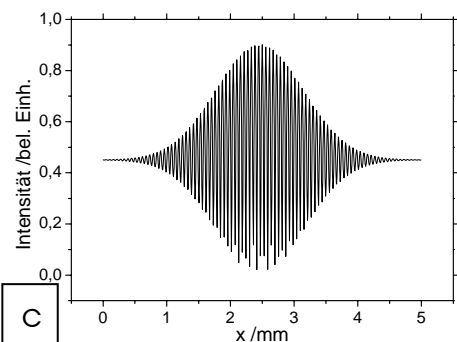
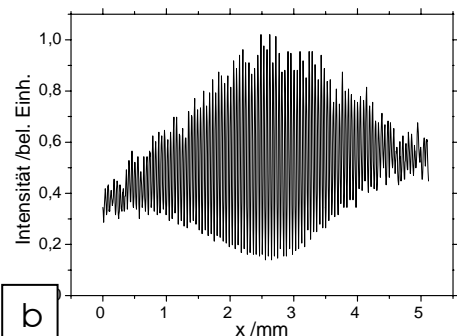
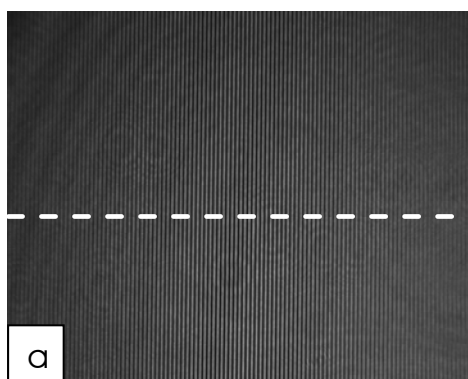


Abb. 2 Hologrammaufnahme in „Off-Axis“-Geometrie

a) „Off-Axis“-Hologramm bei Verwendung einer kurzkohärenten SLD ($l_c = 58,6 \mu\text{m}$), b) Schnitt durch die Intensitätsverteilung des „off-axis“-Hologramms in a) entlang der gestrichelten Linie; c) Schnitt durch eine Hologrammsimulation unter Berücksichtigung der spektralen Eigenschaften der Lichtquelle

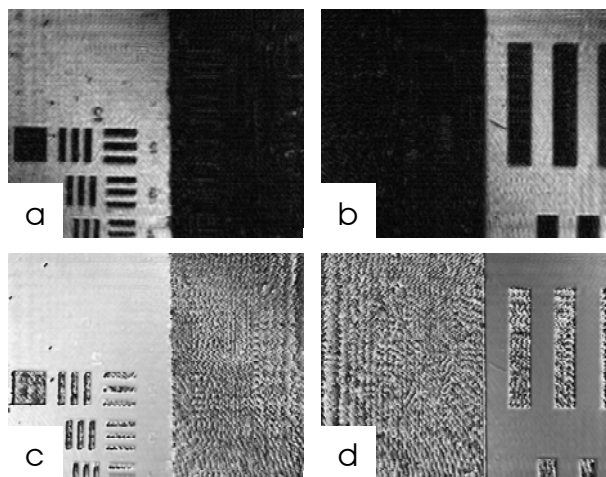


Abb. 3 Selektion von Objektebenen

Rekonstruktion selektierter Objektebenen eines USAF-Testcharts durch Variation der Referenzspiegelposition, die rechte Hälfte des Testcharts wird durch ein Deckglas abgedeckt

a-b) holographisch rekonstruierte Amplitudenverteilungen der beiden Ebenen des Testcharts,

c-d) holographisch rekonstruierte Phasenverteilungen der beiden Ebenen des Testcharts

4 Zusammenfassung

Die Ergebnisse zeigen, dass kurzkohärentes Licht einer spektral verbreiterten Lichtquelle zur Anwendung in der digitalen Holographie bei „Off-Axis“-Geometrie in einem hierfür optimierten Interferometer eingesetzt werden kann.

Weiterhin wurde demonstriert, dass durch Abgleich der optischen Weglängen in Objekt- und Referenzarm im Interferometer die digitalholographische Analyse definierter Objektebenen einer untersuchten Probe ermöglicht wird.

Literatur

- [1] L. Martínez-León, G. Pedrini, and W. Osten, "Applications of short-coherence digital holography in microscopy," *Appl. Opt.* 44, 3977-3984 (2005)
- [2] P. Massatsch, F. Charrière, E. Cuhe, P. Marquet, and C. D. Depeursinge, "Time-domain optical coherence tomography with digital holographic microscopy," *Appl. Opt.* 44, 1806-1812 (2005)
- [3] D. Carl, B. Kemper, G. Wernicke, and G. von Bally, "Parameter-Optimized Digital Holographic Microscope for High-Resolution Living-Cell Analysis," *Appl. Opt.* 43, 6536-6544 (2004)
- [4] B. Kemper, D. Carl, J. Schnekenburger, I. Bredebusch, M. Schäfer, W. Domschke, and G. von Bally, "Investigation of living pancreas tumor cells by digital holographic microscopy," *J. Biomed. Opt.* 11, 034005 (2006)

Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und von der Europäischen Union im Rahmen des Programms INTERREG III A