

Low-Cost Speckle-Messtechnik mit Laserpointer, CCD-Modul und Notebook

Heinz Helmers, Bianca Schulte

Institut für Physik, Carl-von-Ossietzky Universität Oldenburg
Oldenburg

<mailto:heinz.helmerts@uni-oldenburg.de>

„Grüne Laserpointer“ enthalten Lasermodule mit diodengepumpten, frequenzverdoppelten Festkörperlaser, z.B. Nd:YVO₄ mit KTP. Wir demonstrieren, dass die optischen Eigenschaften dieser Module ausreichend sind für ihren Einsatz in einfachen Systemen zur quantitativen Speckle-Messtechnik einschließlich Speckle-Interferometrie.

1 Aufbau „grüner“ Laserpointer

„Grüne“ Laserpointer sind frequenzverdoppelte diodengepumpte Festkörperlaser (DPSS). Die auf dem deutschen Markt erhältlichen Produkte enthalten vielfach Lasermodule des Herstellers *Lasermate Group Inc.* (USA).

Abb. 1 zeigt die Komponenten eines Laserpointers LACO-532 (*Laser Components*, Leistung 0,8 mW). Die Laserdiode wird über einen Miniaturtreiber in SMD-Technik betrieben; die Laserleistung ist über den Diodenstrom einstellbar. Das Pumplicht der Laserdiode ($\lambda = 808$ nm) wird mit Hilfe der Linsen L1 und L2 ($f \approx 1$ mm) in den verspiegelten Nd:YVO₄-Kristall eingekoppelt, der direkt mit einem KTP-Kristall zur Frequenzverdopplung verbunden ist. Die Kristalle haben eine Querschnittsfläche von $A = (1,73 \pm 0,05)^2$ mm² und eine Länge von $L = (0,96 \pm 0,05)$ mm (Nd:YVO₄) bzw. $(2,53 \pm 0,05)$ mm (KTP). Hinter dem KTP-Kristall befinden sich zwei weitere Linsen L3 und L4 zur Strahlformung sowie ein IR-Sperrfilter für die nicht frequenzverdoppelten Anteile des Laserlichtes ($\lambda = 1064$ nm).

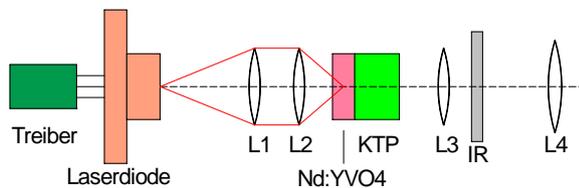


Abb. 1 Komponenten des Laserpointers Typ „1 mW“ (LACO-532, oben) und Prinzipskizze (unten). Das 2. Element v. l. (Foto) dient als Abstandshalter. Das 2. Element v. r. enthält neben dem IR-Filter noch eine Monitordiode mit zugehöriger Auskoppel-Glasscheibe.

2 Strahleigenschaften: Leistung, Polarisation, Form

Abb. 2 links zeigt den zeitlichen Verlauf der Lichtleistung P eines Laserpointers vom Typ „10 mW“. Die Fluktuationen in P können durch Aufsetzen eines Kühlkörpers nach ca. 90 min Betrieb auf unter $\pm 3\%$ reduziert werden. Beim Typ „1 mW“ (Abb. 2 rechts) sind die Fluktuationen auch ohne Kühlkörper nach ca. 10 min Betrieb $< \pm 2\%$.

Alle untersuchten Laserpointer (die vermutlich alle die gleichen Lasermodule nach Abb. 1 enthalten) emittieren linear polarisiertes Licht mit einem Polarisationsverhältnis von 4:1. Die Polarisation des Laserlichtes wird durch die Doppelbrechung von YVO₄ verursacht ($n_{ao} = n_c = 2,168$, $n_o = 1,958$ für $\lambda = 1064$ nm), die zu einer größeren Verstärkung für Licht führt, das in Richtung der c-Achse linear polarisiert ist.

Die Datenblattangaben des Lasermodul-Herstellers zu Divergenz ($< 1,2$ mrad) und Strahldurchmesser ($1/e^2$) < 2 mm konnten bestätigt werden.

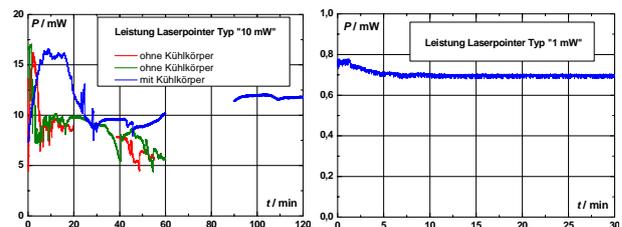


Abb. 2 Zeitlicher Verlauf der Laserleistung P für die Laserpointer vom Typ „10 mW“ und „1 mW“.

3 Kohärenz, Modenspektren, Stabilität der Modenstruktur

Abb. 3 links zeigt die Kontrastfunktion für den Laserpointer vom Typ „10 mW“ mit dem typischen Verlauf wie für einen 3-Moden-Laser. Ein Fit an die Messdaten mit $n_c = 2,168$ liefert in guter Übereinstimmung mit den unter Kap. 1 genannten Messdaten $L = (0,91 \pm 0,01)$ mm.

Die Kontrastfunktion für den Typ „1 mW“ zeigt einen ähnlichen Verlauf, allerdings mit anderer Ausprägung der Nebenmaxima. Das spricht für eine starke und zwei schwache Moden, wie bei kleinerer Verstärkung auch erwartet wird.

Bei beiden Typen ändert sich die Kontrastfunktion auch für Wegunterschiede im Bereich von einigen Metern nicht. Abb. 3 rechts zeigt ein Beispiel.

Die Langzeitstabilität der Modenstruktur wurde indirekt durch Langzeitmessungen des Kontrastes K in einem Michelson-Interferometer und des Korrelationskoeffizienten C von Specklemustern bestimmt. Über $t = 15$ min blieben beide Größen annähernd konstant: $K = 0,804 \pm 0,004$; $C = 0,993 \pm 0,004$.

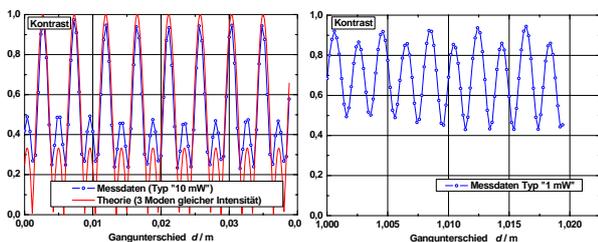


Abb. 3 Kontrastfunktionen. Der absolute Gangunterschied „0“ liegt bei $d = 0,0024$ m.

4 Anwendungen in der Specklesmesstechnik

Mit den Laserpointern Typ „1 mW“ (~100 €) und „10 mW“ (~80 €) und einem CCD-Modul (~290 €) mit FireWire-Schnittstelle wurden erste Experimente zur Low-Cost Specklesmesstechnik durchgeführt. Die an einem Notebook betriebene 8-Bit Monochrom-Kamera (DMK 21F04, *The Imaging Source*) enthält einen 1/4“ Interline-Transfer CCD-Chip (ICX098BL, *Sony*) mit 480×640 Pixeln der Größe $5,6 \times 5,6 \mu\text{m}^2$. Weitere Daten: Belichtungszeit (1/3.300 - 1/30) s, maximal 30 fps; Software zur Steuerung, Datenaufnahme und -speicherung ist kostenloses Zubehör.

Mit dem Typ „1 mW“ wurden zwei in-plane Verschiebungsmessungen durch Specklekorrelation durchgeführt. Abb. 4 zeigt die Verfolgung einer Langzeitdrift eines Objektes; Abb. 5 zeigt das Ergebnis der Messung einer Objektrotation.

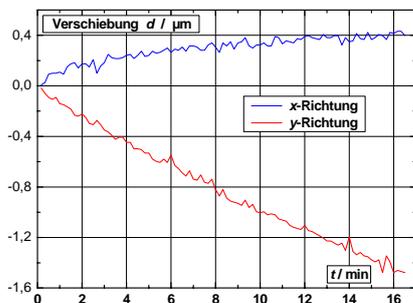


Abb. 4 Ergebnis der Messung der Langzeitdrift eines Objektes mit Specklekorrelation (Lichtquelle: Laserpointer Typ „1 mW“).

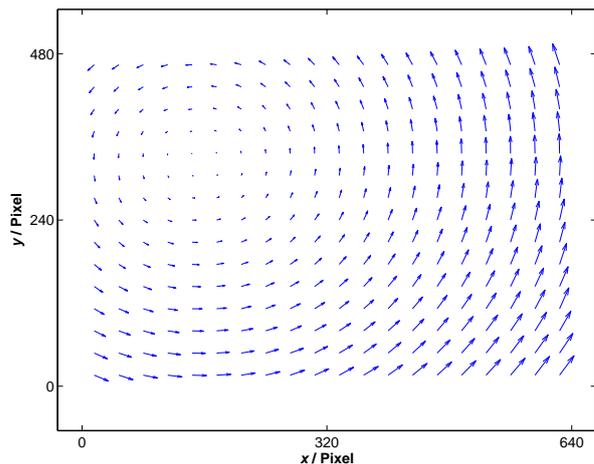


Abb. 5 Ergebnis der Messung einer Objektrotation mit Specklekorrelation (Lichtquelle: Laserpointer Typ „1 mW“).

In Abb. 6 ist das Ergebnis einer Verformungsmessung (hier: Objektverkipfung) mit elektronischer Specklemuster-Interferometrie (ESPI) unter Einsatz des Laserpointers vom Typ „10 mW“ dargestellt (Objektgröße $36 \times 24 \text{ mm}^2$). Der unterschiedliche Streifenkontrast ist Folge der Kohärenzeigenschaften (s. Abb. 3) des Lasermoduls.

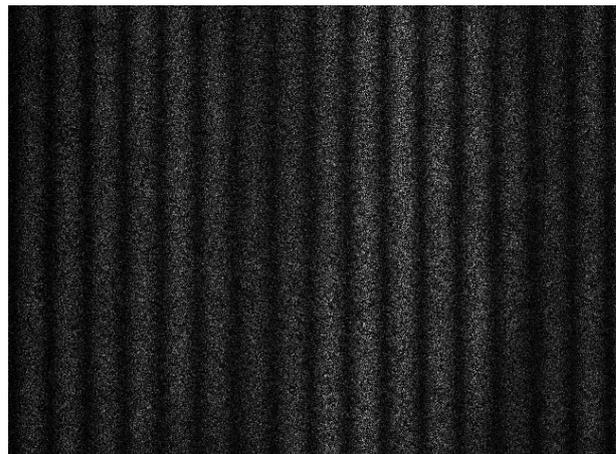


Abb. 6 Ergebnis einer ESPI-Verformungsmessung (Lichtquelle: Laserpointer Typ „10 mW“).

5 Fazit und Ausblick

Mit „grünen“ Laserpointern und einfachen CCD-Modulen können Low-Cost Systeme zur Interferometrie, Speckle-Messtechnik und Speckle-Interferometrie aufgebaut werden. Für eine Reihe von Demonstrations- oder Überblicksmessungen in der Interferometrie sind die eingeschränkten Kohärenzeigenschaften akzeptabel, zumal die Kontrastfunktion über große Wegunterschiede ein stabiles periodisches Verhalten zeigt. Weitere Untersuchungen sollen an den OEM-Lasermodulen erfolgen, die in den Laserpointern integriert sind. Dadurch können Betriebsparameter direkter beeinflusst werden (z.B. Kühlung, Leistungssteuerung, Strahlformung, Modenselektion).