

# Erzeugung telezentrischer Ringfoki mit variablem Durchmesser zur Lasermaterialbearbeitung

Matthias Kraus\*, Erik Förster\*, Patrick Bohnert\*, Roland Kilper\*\*, Ute Müller\*\*, Martin Buchmann\*\*,  
Robert Brunner\*,\*\*\*

\*Ernst-Abbe-Hochschule Jena, Jena

\*\*Aura Optik GmbH, Jena

\*\*\*Fraunhofer Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF, Jena

<mailto:Matthias.Kraus@eah-jena.de>

Dieser Beitrag präsentiert ein kombiniertes Gerät aus Beobachtungsmikroskop und CO<sub>2</sub>-Laserschneidsystem, mit dem ringförmige Proben aus forensischen Klebefolien ausgeschnitten werden können. Der Ringdurchmesser kann kontinuierlich zwischen 0,5 mm und 2 mm eingestellt werden, wobei in der Bearbeitungsebene stets telezentrische Strahlführung gewährleistet ist.

## 1 Einführung

Die Beobachtung von Proben mittels Mikroskop und die anschließende Extraktion ausgewählter Bereiche, die eingehend untersucht werden sollen, ist für verschiedenen Anwendungen von Interesse. So werden auf dem Gebiet der Forensik Spuren wie Hautpartikel oder Textilfasern mittels Spurensicherungsband an einem Tatort zunächst sichergestellt und im Anschluss im Labor mikroskopiert. Aus einer Vielzahl an Proben selektiert man relevante Spuren und schneidet sie anschließend aus, um sie weiteren Analysen (wie beispielsweise einer DNA-Analyse) zuzuführen. Bislang werden die Spuren mittels Skalpell manuell ausgeschnitten, was jedoch sehr langwierig und unpräzise sein kann. Ziel der vorgestellten Arbeit war es, ein kombiniertes Gerät aus Mikroskop und Laserschneidsystem zu entwickeln, das eine schnelle Probenselektion- und extraktion ermöglicht.

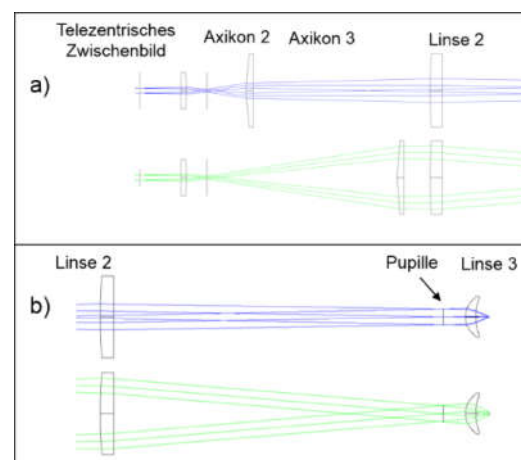
## 2 Anforderungen

Am Tatort werden die Oberflächen, auf denen die Spuren vermutet werden, mit Spurensicherungsband abgeklebt. Dabei handelt es sich um ein transparentes Klebeband aus Polyacetat mit einer Dicke von weniger als hundert Mikrometern, an dem die relevanten Partikel haften. Die Partikel sollen mit einem ringförmigen Strahlprofil in einem Schuss mit einem variablen Durchmesser im Bereich von 0,5 mm bis 2 mm ausgeschnitten werden. Als Laserquelle kommt ein CO<sub>2</sub>-Laser mit 10,6 µm Wellenlänge zum Einsatz (Coherent Diamond E-150). Dies erfordert in dem kombinierten Gerät einen getrennten Strahlengang von Beobachtungsmikroskop und Laserschneidsystem. Dennoch müssen Bearbeitungsebene des Laserschneidsystems und Beobachtungsebene des Mikroskops stets übereinstimmen, um einen sicheren Bearbeitungsprozess zu gewährleisten. Dies gilt insbesondere für alle einstellbaren Ringdurchmesser. Höhenvariationen der

Probe sind jedoch unvermeidbar, da das Spurensicherungsband samt aufgesammlter Spuren gehalten werden muss und prinzipiell nicht eben ist. Um dennoch einen konstanten Ringdurchmesser bei Höhenvariationen zu erzielen, wurde Telezentrie in der Bearbeitungsebene gefordert.

## 3 Optikdesign

Die Erzeugung eines variablen, ringförmigen Strahlprofils erfolgt meist durch eine Kombination von klassischen Sammellinsen mit Axikon [1,2]. So kann ein bekanntes System [3] aus zwei positiven Axikon und einer Sammellinse bereits so angeordnet werden, dass ein variabler Ringdurchmesser bei Telezentrie in einer feststehenden Bearbeitungsebene erzielt wird. Allerdings leidet das System an einem geringen Arbeitsabstand und erfordert zudem einen Kompromiss zwischen minimaler Ringgröße und numerischer Apertur (NA). Daher wurde ein komplexeres Startsystem nach [4] gewählt und hinsichtlich der Anforderungen, insbesondere der Forderung nach Telezentrie, optimiert [5].

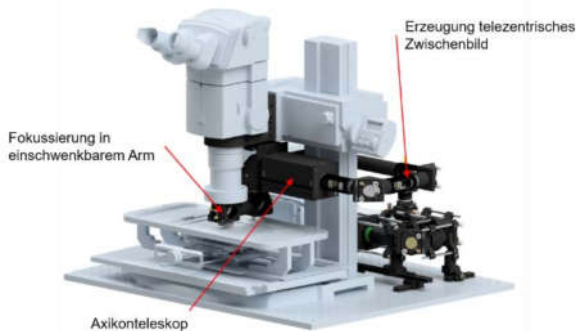


**Abb. 1** Ausschnitte des vorgestellten Optikdesigns: a) Axikonteleskop, welches die nachfolgende telezentrische Pupille und Fokussierlinse beleuchtet (b)

Das resultierende System besteht aus 3 Gruppen, von denen Ausschnitte in Abb. 1 gezeigt sind. Zunächst wird ein ringförmiges, telezentrisches Zwischenbild mit festem Ringdurchmesser erzeugt. Die zweite Gruppe ist ein Axikonteleoskop bestehend aus einer Sammellinse und zwei positiven Axikons, wobei das zweite Axikon axial verschoben werden kann (Abb.1a). Kollimierte Teilstrahlen verlassen diese Gruppe und schneiden sich in einer Pupillenebene, die als telezentrische Blende für die nachfolgende Fokussierlinse dient (Abb. 1b). Durch die axiale Verschiebung des Axikons kann der Winkel der kollimierten Strahlen in der Pupillenebene variiert werden. Daraus resultiert ein variabler Durchmesser des Ringfokus. Die Fokussierlinse erzielt bei einem Arbeitsabstand von ca. 6 mm eine numerische Apertur von 0,375. Dies entspricht einer Rayleighauflösung von 17,3  $\mu\text{m}$  bei 10,6  $\mu\text{m}$  Wellenlänge ( $d=0,61 \lambda/\text{NA}$ ).

#### 4 Umsetzung

Das kombinierte System aus Laserschneidsystem (schwarz) und Mikroskop (Zeiss Axiozoom.V16, grau) ist in Abb. 2 dargestellt. Für die Umsetzung des Optikdesigns war eine mehrfache Faltung des Strahlengangs notwendig. Zusätzlich zum vorgestellten Optikdesign wurde ein Pilotlaser als Justagehilfe und ein Beam Expander zur Anpassung des Strahldurchmessers implementiert. Weiterhin ist eine Spiegeltreppe notwendig, da der Laser fest auf der Grundplatte montiert ist, das Mikroskop und Laserschneidsystem hingegen zur Fokussierung auf verschiedene Probenhöhen in z-Richtung verfahren werden muss.

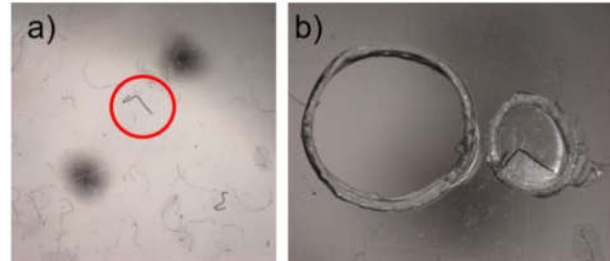


**Abb. 2** Frontansicht des realisierten Aufbaus: Das Laserschneidsystem (schwarz) ist an das Beobachtungsmikroskop (grau) adaptiert. Der CO<sub>2</sub>-Laser ist in dieser Darstellung durch das Mikroskop verdeckt.

Die Justage und der Nachweis grundlegender Eigenschaften des Aufbaus wurden zunächst mittels Thermopapier durchgeführt. Hierbei konnten insbesondere verschiedene Ringdurchmesser und die Einhaltung der Telezentriebedingung nachgewiesen werden.

#### 5 Experimentelle Resultate

Für den prinzipiellen Funktionsnachweis sind mit dem realisierten System verschiedene Proben auf Spurensicherungsband ausgeschnitten worden. Abb. 3 zeigt exemplarisch ein Stück Spurensicherungsband mit einer Textilfaser, das ausgewählt (Abb. 3a) und anschließend ausgeschnitten (Abb. 3b) wurde. Das erzeugte, kreisförmige Loch hat einen Durchmesser von ca. 1 mm.



**Abb. 3** Spurensicherungsband mit aufgeklebten Textilfasern: a) eine spezifische Faser wird selektiert und anschließend ausgeschnitten (b))

#### 6 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde ein kombiniertes System aus Beobachtungsmikroskop und Laserschneidsystem zur Beobachtung, Selektion und anschließenden Extraktion von kreisförmigen Proben präsentiert. Die hauptsächlich adressierte Anwendung ist das Ausschneiden von Hautpartikeln, Textilfasern oder ähnlichem, die auf Spurensicherungsband fixiert sind. Mithilfe des vorgestellten Optikdesigns wird die Strahlung des genutzten CO<sub>2</sub>-Laser auf einen Ring fokussiert, dessen Durchmesser im Bereich 0,5 mm bis 2 mm variabel eingestellt werden kann. Dadurch können die Proben mit einem Schuss ausgeschnitten werden. Dies wurde anhand exemplarischer Proben demonstriert.

#### Literatur

- [1] N. Rioux et al: „Linear annular and radial focusing with axicons and applications to laser machining“ in: *Appl. Optics* **17**, 1532-1536 (1978)
- [2] „Axicon Ring Generation Systems“ in: *Laser Beam Shaping: Theory and Techniques, Second Edition*, F.M. Dickey (Hrsg.) (CRC Press 2014), S. 441-463
- [3] F.M. Dickey et al: „ Annular ring zoom system using two positive axicons“ in: *Proc. SPIE* **8130**, 81300B (2011)
- [4] B. Shao et al: „High-Throughput sorting and analysis of human sperm with ring-shaped laser trap“ in: *Bio-med. Microdevices* **9**, 361-369 (2007)
- [5] E. Förster et al: „ Variable diameter CO<sub>2</sub> laser ring-cutting system adapted to a zoom microscope for applications on polymer tapes “ in: *Appl. Optics* **55**, 9370-9377 (2016)