

# Bestimmung optischer Eigenschaften von Werkstoffen zur Herstellung passiver und aktiver polymeroptischer Faserkomponenten

K.Kiedrowski\*, I.Balasa\*\*, D.Kracht\*\*, D.Ristau\*,\*\*

\*Institut für Quantenoptik, Leibniz Universität Hannover

\*\*Laser Zentrum Hannover e.V.

<mailto:kiedrowski@iqo.uni-hannover.de>

Zur Bestimmung möglicher Anwendungsgebiete polymeroptischer Fasern wird die Zerstörfestigkeit bezüglich Laserstrahlung mit einer Pulsdauer von 4.4 ns bei einer Wellenlänge von 532 nm untersucht. Hinsichtlich optischer Verluste werden die Anteile von Absorption und Streuung gegeneinander abgegrenzt und sowohl Beiträge der Oberflächen als auch des Volumens analysiert.

## 1 Einführung

Polymeroptische Fasern weisen gegenüber Glasfasern einerseits eine hohe mechanische Belastbarkeit und bessere Wirtschaftlichkeit, andererseits eine geringere optische Zerstörfestigkeit auf. Zur Bestimmung von potentiellen Arbeitsumgebungen ist die Charakterisierung der Fasern hinsichtlich der optischen Verlustkanäle, wie Streuung und Absorption, sowie die Bestimmung der Zerstörfestigkeit notwendig.

Die optische Qualität der polymeroptischen Fasern wird maßgeblich durch die Vorform bestimmt. Daher werden zunächst Vorformen aus Polymethylmethacrylat (PMMA) hinsichtlich der Streuverluste spektralphotometrisch vermessen und der Einfluss von Grenzflächen- und materialintrinsic Beiträgen untersucht. Anschließend werden die Absorptionsverluste mittels Laserkalorimetrie ermittelt. Schlussendlich wird die Zerstörfestigkeit von Vorform und Faser bezüglich intensiv gepulster Laserstrahlung im ns-Bereich betrachtet.

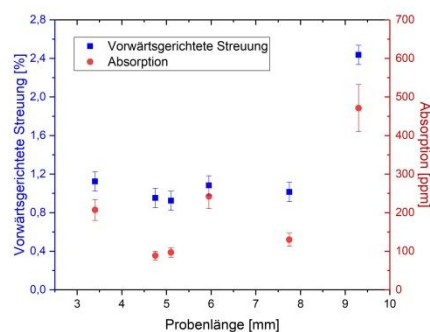
## 2 Vorwärtsstreuung und Absorption der PMMA Vorform

Die verwendeten Vorformen aus PMMA mit einem Durchmesser von 18 mm wurden von der TU Braunschweig hergestellt und auf Längen von 3.4 mm bis 9.3 mm vereinzelt. Zur Optimierung der Oberflächenqualität wurden diese mit Poliermittel einer Korngröße bis zu 0.05  $\mu\text{m}$  poliert.

Anschließend wurde die Vorwärtsstreuung in Abhängigkeit der Probenlänge mit einem kommerziellen Spektralphotometer der Firma PerkinElmer bestimmt. Hierfür wurde die im Normenentwurf ISO/CD-19962 vorgeschlagene Messprozedur verwendet. Die aus diesen Messdaten ermittelten Streuwerte sind in Abb. 1 dargestellt.

Die Bestimmung der Absorption wurde mittels Laserkalorimetrie nach ISO 11551 [2] durchgeführt. Dabei wurden bei besserer Oberflächenqualität Absorptionswerte bei einer Wellenlänge von

532nm von etwa 100 ppm erreicht (Abb. 1). Der qualitativ gleiche Verlauf von Vorwärtsstreuung und Absorption deutet auf eine Qualitätsschwankung des Materials hin, entweder im Materialvolumen oder an der Oberfläche.



**Abb. 1** Vorwärtsstreuung und Absorption in Abhängigkeit der Vorformlänge ( $\lambda=532$  nm).

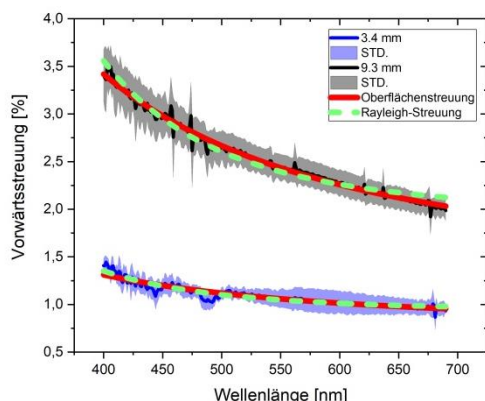
Zur weiteren Untersuchung wurden daher die spektralen Streulichtbeiträge in Abb. 2 näher analysiert. Den Proben mit geringer Streuung können weder Oberflächen- noch Rayleigh-Streuung eindeutig zugeordnet werden. Hingegen dominiert die Oberflächenstreuung bei der 9.3 mm langen Probe. Dies deutet stark auf eine Abhängigkeit der Verluste vom Polierprozess hin.

## 3 Zerstörfestigkeit der Vorform und Polymeroptischer Fasern

Die laserinduzierte Zerstörschwelle (LIDT) an den Vorformen wurde nach ISO 21254 [3] mit S-on-1 Messungen durchgeführt. Dabei wurde die Vorform mit gepulster Laserstrahlung eines Nd:YAG Lasers der Wellenlänge 532 nm bestrahlt. Die Pulsdauer betrug 8.8 ns, die Repetitionsrate 100 Hz bei einem effektiven Strahldurchmesser von 840  $\mu\text{m}$ .

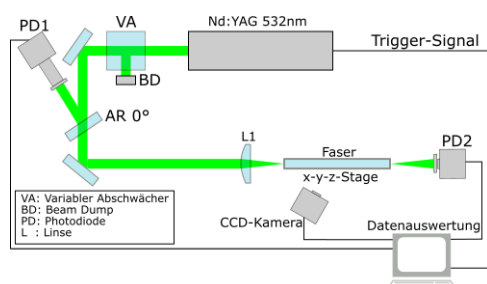
Dabei konnte nachgewiesen werden, dass die Zerstörung im Volumen erzeugt wurde. Der so ermittelte LIDT-Wert von 0.57 J/cm<sup>2</sup> liegt im Rahmen der Messgenauigkeit in guter Übereinstim-

mung mit vorherigen Untersuchungen einer Zerstörschwelle von  $0.46 \text{ J/cm}^2$  [1].



**Abb. 2** Vorwärtsgerichtete Streuung in Abhängigkeit der Wellenlänge zweier PMMA Vorformen und das theoretische Verhalten für Oberflächen- und Rayleigh-Streuung.

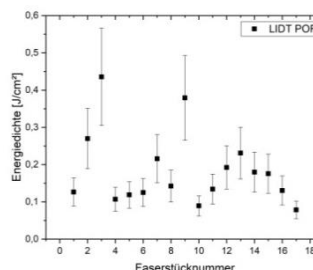
Für die Bestimmung der Zerstörfestigkeit von kommerziell erhältlichen Fasern wurde Laserstrahlung eines Nd:YAG-Systems mit einer Pulsdauer von 4.4 ns, einer Repetitionsrate von 10 Hz und einem effektiven Strahldurchmesser von  $173 \mu\text{m}$  zum Einkoppeln in die Polymerfaser genutzt. Für die Messreihe wurde die Faser in etwa 15-20 cm lange Faserstücke geteilt. Die Numerische Apertur der Faser betrug 0.5, der Brechwert des Kernmaterials 1.492 und der Kerndurchmesser  $486 \mu\text{m}$ . Die in-situ Defekterkennung wurde mit einer referenzierten Transmissionsmessung, sowie dem Streusignal entlang der Faser mittels einer CCD-Kamera realisiert (Abb. 3).



**Abb. 3** Aufbau zur Messung der laserinduzierten Zerstörschwelle von Polymerfasern.

Zur Induzierung einer Zerstörung wurden Pulszüge von 1000 Pulsen in die Faser eingekoppelt. Nach jedem Pulszug wurde die Energie um etwa 5 % erhöht bis bei einer zu hohen Energiedichte eine Transmissionsabnahme und Streuzentren während der Messung detektiert wurden. Dabei ergab sich im Mittel infolge einer Zerstörung eine Transmissionsabnahme von 2.4 %. Typischerweise bildeten sich dabei im Abstand von 1-3 cm von der Eintrittsfläche Streuzentren aus. Daher trat der Defekt analog zur Vorform im Volumen auf. Die ermittelten Zerstörschwellen der einzelnen Fasern sind in Abb. 4 dargestellt. Der Faser konnte an-

schließend eine Zerstörschwelle von  $(0.18 \pm 0.1) \text{ J/cm}^2$  zugeordnet werden, welche somit um einen Faktor 3.2 geringer als die der Vorform ist.



**Abb. 4** Messung der laserinduzierten Zerstörschwelle einer polymeroptischen Faser bei 532 nm, 4.4 ns Pulsdauer und 10 Hz Repetitionsrate.

Ursachen für die reduzierte LIDT der kommerziellen Fasern im Vergleich zu den Vorformen könnten durch die Pulsdauer und eine defektinduzierte Zerstörung am Kern-Mantel-Übergang oder im Volumen begründet sein. Zudem ist die tatsächliche Energiedichte am Ort der Schädigung nicht bekannt, da diese deutlich hinter der Fokusebene auftritt und sich die bestrahlte Fläche bis auf die Querschnittsfläche des Faserkerns erhöhen kann. Dies könnte die angegebene Zerstörschwelle um das 7.9-fache verringern.

#### 4 Zusammenfassung

Eine Längenserie von PMMA Vorformen wurde hinsichtlich der Vorwärtsstreuung und Absorption untersucht. Dabei wurde deutlich, dass die Oberflächenqualität sich stark auf die optischen Verluste auswirkt. Es wurden in Abhängigkeit der Polierqualität Absorptionswerte bis zu 100 ppm erreicht. Dennoch zeigte sich in guter Übereinstimmung mit Literaturwerten eine laserinduzierte Zerstörung sowohl einer PMMA Vorform als auch einer Faser im Materialvolumen, also unabhängig von der Oberflächenqualität. Jedoch wiesen die Fasern eine reduzierte Zerstörschwelle im Vergleich zu den Vorformen auf. Dies kann möglicherweise auf eine defektinduzierte Zerstörung im Volumen oder am Kern-Mantel-Übergang, sowie einer Abweichung der Energiedichte in der Faser zurückgeführt werden.

#### Literatur

- [1] Melninkaitis, A.; Mikšys, D.; Maciulevičius, M.; Sirutkaitis, V.; Šlekys, G.; Samoylov, A. V., Laser-induced damage thresholds of starched PMMA waveplates, (Proc. SPIE 6403, Laser-Induced Damage in Optical Materials: 2006)
- [2] ISO 11551: 2003, Lasers and laser-related equipment – Test methods for laser absorptance of optical components
- [3] ISO 21254: 2011, Lasers and laser-related equipment – Test methods for laser-induced damage threshold