

Bildwandler-basierte Strahlprofilmessung an CO₂-Lasern im mittleren Leistungsbereich

Andy Kaemling, Dirk Wandke, Cinogy GmbH, Duderstadt
 Manfred Hettwer, Oliver Schoeffmann, Carsten Fischer, Metrolux GmbH, Göttingen

Mit einem neu entwickelten Verfahren zur Laserstrahldetektion im IR-Bereich können erstmals CO₂-Laserstrahlprofile mit Leistungen von bis zu 500 W in Echtzeit ohne vorgeschalteten Abschwächer erfasst werden. Das patentierte Verfahren beruht auf einem Bildwandler, der die Laserstrahlung aus dem mittleren ins nahe Infrarot konvertiert.

Die Anwendung bildgebender Konverter ist in Wissenschaft, Technik, Industrie und Medizin weit verbreitet. Dabei steigt die Anzahl der eingesetzten Systeme mit deren preisgünstigeren Verfügbarkeit. Klassische photoelektrische Messgeräte zeigen jedoch eine für viele Anwendungen zu große Strahlungsempfindlichkeit. Hier liegt der wesentliche Vorteil des neuartigen Detektors, mit dem bei vergleichsweise geringem Aufwand Strahlungsintensitäten bis 2000 W/cm² mit einer Ortsauflösung von 100 µm erfasst werden können. Darüber hinaus kann der Detektor einfach kalibriert und zur absoluten Strahlungsmessung eingesetzt werden.

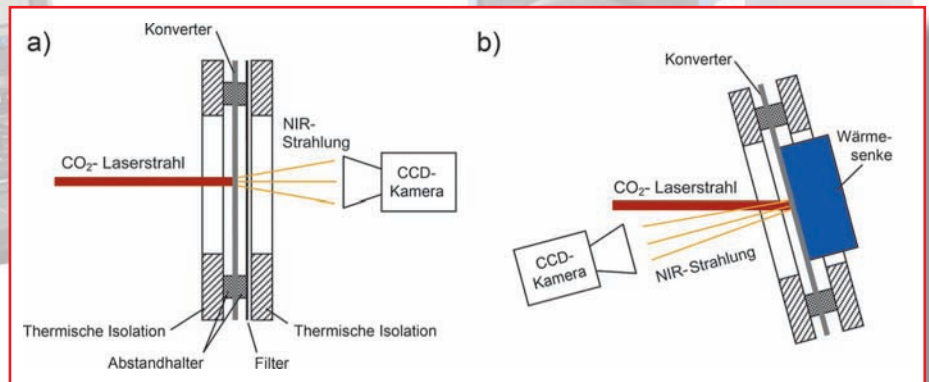


Bild 1: Schematische Zeichnung des Detektors, a) für niedrige Laserstrahlintensitäten ab 1 W/cm², b) für höhere Intensitäten bis 2000 W/cm²

1 Prinzip

Bild 1 veranschaulicht das technische Prinzip des Detektors und zeigt den schematischen Aufbau. Es sind zwei unterschiedliche Ausführungsformen mög-

lich. Für niedrige Laserstrahlintensitäten von 1–20 W/cm² kann in Transmission gemessen werden (Bild 1a). Technisch von größerer Bedeutung sind jedoch Laserstrahlintensitäten im Bereich von 20–2000 W/cm². Für diesen Bereich ist eine zweite Ausführungsform technisch umgesetzt (Bild 1b).

Beide Verfahren nutzen das Planck'sche Strahlungsgesetz, wonach sich das Emissionsspektrum eines Körpers mit steigender Temperatur zu kürzeren Wellenlängen hin verschiebt (**Bild 2**). Durch diesen Effekt ist mit herkömmlichen Kameras auf Siliziumbasis die thermische Emission heißer Körper ab einer Temperatur von ca. 600 K nachweisbar. Wird auf einen künstlich geheizten Körper mit einer Temperatur von 600 K elektromagnetische Strahlung eingebracht und diese absorbiert, so führt dies lokal zu einer Temperaturerhöhung. Die hieraus resultierende erhöhte Strahlungsleistung liefert in einem bildgebenden Verfahren das Leistungsprofil des eingebrachten Strahlungsfeldes. Die Temperatur von 600 K definiert aufgrund der Bandlücke von Silizium bei 1,2 eV, entsprechend einer Wellenlänge von 1100 nm, die Detektionsschwelle für siliziumbasierte Sensoren. Ab einer Temperatur von 600 K kann zusätzlich durch

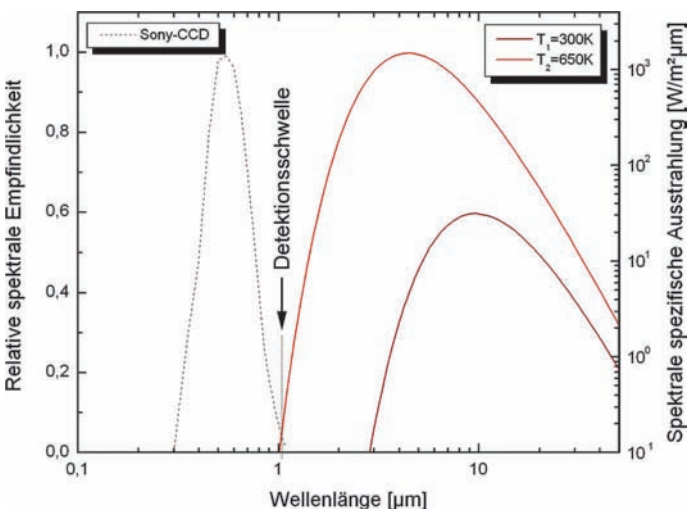


Bild 2: Planck'sche Strahlungsspektren für verschiedene Temperaturen und spektrale Empfindlichkeit eines CCD-Sensors

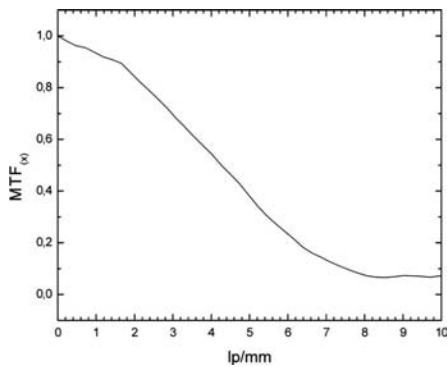


Bild 3: Modulationstransferfunktion $MTF(x)$

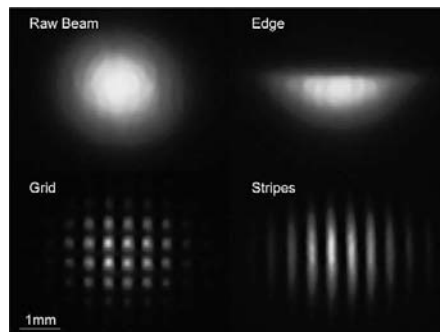


Bild 4: CO_2 -Laserstrahlprofil mit verschiedenen Blenden

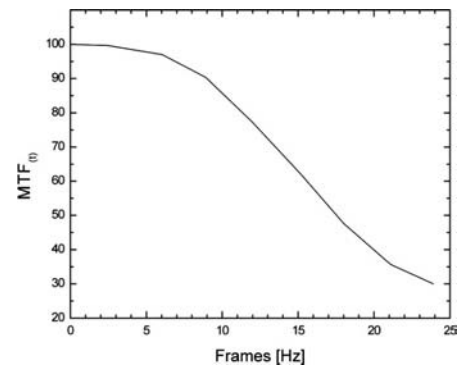


Bild 5: Zeitauflösung in Form der $MTF(t)$

elektromagnetische Strahlung eingebrachte Wärme indirekt durch ein Konvertermaterial erfasst werden. Voraussetzung dafür ist, dass die Strahlung ausreichend im Konvertermaterial absorbiert wird und somit einen lokalen Temperaturanstieg bewirkt.

Eine Temperaturregelung sorgt dafür, dass das Trägersubstrat des Converters konstant auf Solltemperatur gehalten wird. Schwankungen in der absorbierten Strahlungsleistung haben somit keinen Einfluss auf die Substrattemperatur. Die absorbierte Strahlungsleistung wird über ein Kühlsystem abgeführt. Dieses ist so ausgelegt, dass der Detektor mit bis zu 500 W Laserleistung beaufschlagt werden kann.

Durch dieses Prinzip eines geheizten Bildwandlers, dessen Temperatur auf die spektrale Empfindlichkeit des verwendeten Sensors abgestimmt ist, kann CO_2 -Laserstrahlung aus dem mittleren Infrarot (MIR, $10,6 \mu m$) ins nahe Infrarot (NIR, um $1 \mu m$) konvertiert und mit einer Ortsauflösung von $100 \mu m$ hochempfindlich detektiert werden. Generell wird hiermit sogar eine spektrale Empfindlichkeit von $8-30 \mu m$ erreicht, so dass auch andere Strahlquellen in Betracht kämen.

Um eine thermische „Verschmierung“ und

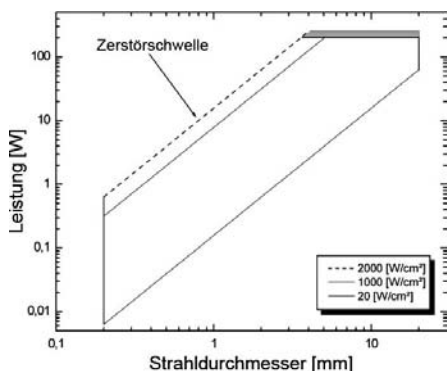


Bild 6: Arbeitsbereich des Standardkonverters (200 W)

ein zeitliches Nachleuchten des Converters zu unterdrücken, sind besondere Anforderungen an das Material und an dessen Form gestellt. Dies kann durch neuartige Materialien und besondere Geometrien gelöst werden. In einem speziellen Fertigungsprozess werden unterschiedliche Convertertypen hergestellt, die an die Strahlungsleistung des Lasers angepasst werden können. Störendes Umgebungslicht wird mittels Filter eliminiert.

2 Eigenschaften

2.1 Ortsauflösung

Das neue Verfahren zur CO_2 -Laserstrahlprofilometrie ermöglicht durch den Einsatz geeigneter Convertermaterialien sehr hohe Ortsauflösungen. **Bild 3** zeigt das Auflösungsvermögen in Form der Modulationstransferfunktion $MTF(x)$. Die unterschiedlichen Laserstrahlprofile gemäß **Bild 4** entstanden durch die Abbildung von Blenden im Strahlengang. Die $MTF(x)$ wurde anhand der Kantenmethode ermittelt: Zur Bestimmung der Ortsauflösung wird hierbei der auf der Detektorfläche gemessene Intensitätsabfall genutzt, der durch eine im Strahlengang befindliche Kante wie in **Bild 4** oben rechts hervorgehoben wird. Eine Differentiation des Intensitätsverlaufes mit anschließender Fouriertransformation liefert direkt die $MTF(x)$. Aus dieser Darstellung ist eine Ortsauflösung von ca. 5 lp/mm oder $100 \mu m$ bei 50% Kontrast ablesbar.

2.2 Zeitauflösung

Die Zeitauflösung des Detektors ist abhängig von verschiedenen Parametern des Convertermaterials, so dass hierüber unterschiedliche Charakteristiken realisiert werden können. Das in **Bild 5** dargestellte Diagramm zeigt das zeitliche Verhalten eines Standardkonverters. Ermittelt wurde die Zeitauflösung mit Hilfe einer einfachen Strahlunterbrecher-

scheibe (Chopper). Dazu wurden mehrere Sequenzen bei unterschiedlichen Rotationsfrequenzen aufgenommen und ausgewertet. Aufgetragen bilden sie, ähnlich wie bei der Ortsauflösung, eine $MTF(t)$ für die zeitliche Auflösung. Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass bei einer Bildrate von 15 Hz ein Kontrast von 50% erreicht wird.

2.3 Sensordynamik

Zur Bestimmung der Dynamik wurden die minimal und maximal mit dem Detektor messbaren bzw. zulässigen Intensitäten ermittelt. In **Bild 6** ist der mögliche Arbeitsbereich für die 200 W-Variante dargestellt. Für die minimal detektierbare Intensität von 20 W/cm^2 sowie für die maximal zulässige Intensität von 1000 W/cm^2 können die möglichen Strahldurchmesser in Bezug zur Laserstrahlleistung abgelesen werden. Für den angegebenen Bereich ergibt sich ein Dynamikumfang von 50:1. Die Zerstörungsschwelle liegt bei 2000 W/cm^2 .

Der Dynamikbereich wird durch die Verwendung einer CCD-Kamera begrenzt. Ein CCD-Detektor kann üblicherweise 2-3 Helligkeitsdekaden detektieren. Durch die Verwendung einer CMOS-Kamera mit logarithmischer Kennlinie sind 6-7 Helligkeitsdekaden messbar. Damit kann der Dynamikbereich des Gesamtsystems deutlich erhöht werden. Die Verwendung einer CMOS-Kamera ist jedoch nur für Spezialanwendungen sinnvoll, da diese gegenüber der CCD-Technologie immer noch Nachteile aufweist, insbesondere in Bezug auf die spektrale Empfindlichkeit und das Sensorrauschen.

3 Beispiele

Zur Validierung des Verfahrens wurden Profile von CO_2 -Laserstrahlen bei unterschiedlicher Fokussierung und somit Leistungsdichte aufgenommen. Bei den in

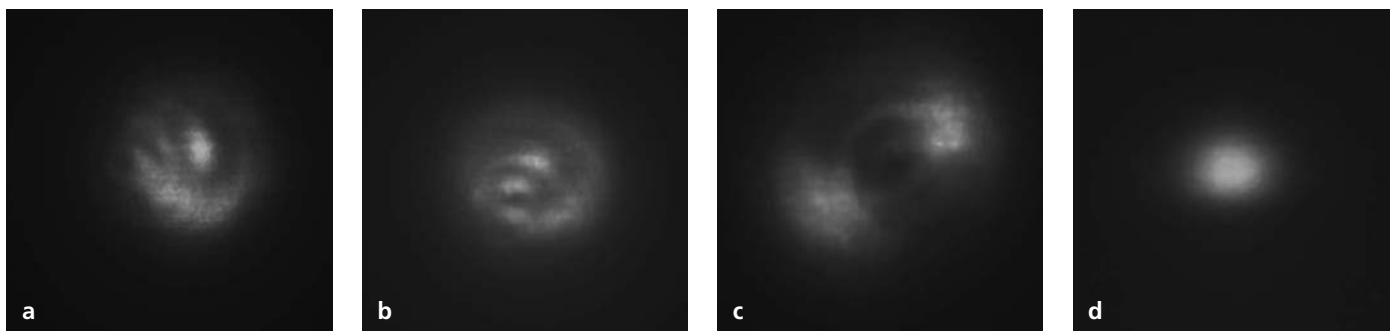


Bild 7: Unterschiedliche Intensitätsverteilungen eines CO₂-Lasers während der Justage;
 (a): $P_L = 190 \text{ W}$, $I_L = 850 \text{ W/cm}^2$, (b): $P_L = 250 \text{ W}$, $I_L = 1050 \text{ W/cm}^2$, (c): $P_L = 140 \text{ W}$, $I_L = 420 \text{ W/cm}^2$, (d): $P_L = 30 \text{ W}$, $I_L = 150 \text{ W/cm}^2$

Bild 7 gezeigten Beispielen während einer Strahloptimierung wurden Störungen und Inhomogenitäten im Strahl sichtbar. Mit Hilfe des Detektors konnte eine Strahloptimierung in kürzester Zeit durchgeführt werden. Die gewonnenen Daten können außerdem auch zur umfangreichen Strahlcharakterisierung verwendet werden (**Bild 8**), so z.B. bei der Bestimmung von

Laserstrahlmessungen oder der Strahlrichtungsstabilität.

4 Fazit und Ausblick

Das hier vorgestellte neue Verfahren ermöglicht Echtzeitmessungen an CO₂-Laserstrahlen im mittleren Leistungsbe- reich. Es bietet hohe Orts- und Zeitauf- lösung und kann an verschiedene Laser- strahlparameter angepasst werden. Eine Erweiterung auf höhere Laser- leistungen im kW- Bereich ist geplant.

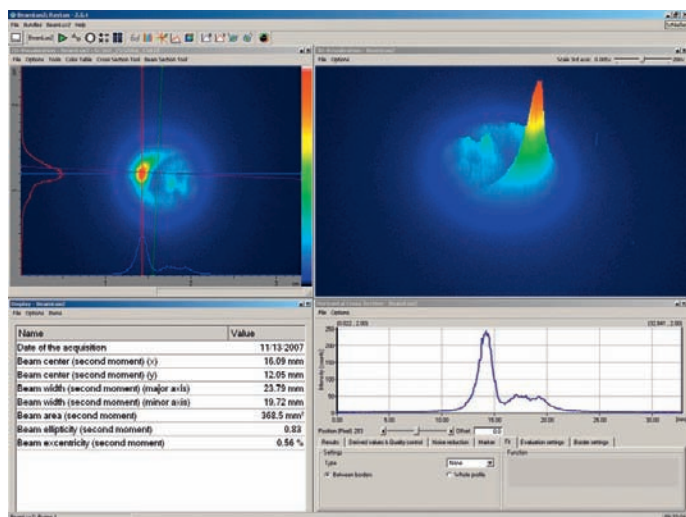


Bild 8: Verschiedene Darstellungs- und Auswerteooptionen von Messergebnissen des Detektors

Literaturhinweise:

- [1] C. Schneeberg et. al., *Optical properties of a new IR converter for laser beam analysis*, Laser Physics, Vol.17, 1249-1254, 2007
- [2] Patent DE 10 205 018 965, *Bildwandler mit einer beheizbaren Wandlerschicht*

Ansprechpartner:

Andy Kaemling
 Cinogy GmbH
 Max-Näder-Str.15
 D-37115 Duderstadt
 Tel. 05527/8483770
 Fax 05527/8483773
 andy.kaemling@cinogy.com
 www.cinogy.com



Dr. Manfred Hettwer
 Metrolox GmbH
 Bertha-von-Suttner-Str. 5
 D-37085 Göttingen
 Tel. 0551/79767-13
 Fax 0551/79767-24
 m.hettwer@metrolox.de
 www.metrolox.de



OPTATEC 2008: Stand F44

www.photonik.de ▶ Webcode 3006