

Strahlanalyse: Was bietet Ihr Lasersystem wirklich?

Kevin Kirkham, Senior Business Development Manager Ophir

Die Entwicklung laserbasierender Anwendungen hängt wesentlich mit der Verfügbarkeit geeigneter und genauer Messtechnik zusammen. Häufig werden technische Innovationen erst durch neue, präzisere Messverfahren ermöglicht. Umgekehrt steigen die Anforderungen an die Messtechnik mit neuen Prozessen. Der Artikel gibt einen Überblick über historische Ursprünge und aktuelle Entwicklungen der Laserstrahlanalyse.

Leistungsmessgeräte und Profilmessgeräte

Die meisten Laseranwender sind heute schon mit Leistungsmessgeräten vertraut. Um die Intensität von Lasern mit geringer Leistung zu messen, werden meist Halbleitersensoren oder thermische Sensoren verwendet. Laserintensitäten von einigen Femtowatt bis hin zu Hunderten von Kilowatt lassen sich mit einfach handhabbaren Systemen erfassen. Zur Messung von gepulsten Lasern mit hoher Energie werden meist pyroelektrische oder Halbleitersensoren verwendet. Sie messen die in jedem Puls enthaltene Energie. Kommerzielle Laserenergiesensoren, die für Mikrojoule- bis Kilojoule-Pulse geeignet sind, können ohne Unterbrechung Einzelschuss- bis Hunderte von Kilohertz-Pulsfrequenzen messen.

Die Intensitätsverteilung über den Strahlquerschnitt, auch Strahlprofil genannt, ist ein weiterer wichtiger Laserstrahlparameter, der häufig gemessen wird. Strahlprofile liefern Hinweise auf eine fehlerhafte Justage des Resonators oder der Strahlführung, nachlassende Qualität der Fokussierungsoptik sowie andere Fehlerquellen, die den Laserstrahl beeinflussen. Intensität, Größe, Position und radiale Symmetrie des Strahls oder die Gleichmäßigkeit eines Top Hat-Profiles lassen sich mit Strahlprofilmessgeräten numerisch analysieren. Die statistische Analyse der Daten kann zur Überwachung von Betriebsparametern, zur Suche von Fertigungsanomalien oder Trends sowie zur Dokumentation der Konsistenz der Prozessparameter verwendet werden.

Zur Analyse des Strahlprofils können schlitzbasierende Sensoren genutzt werden. Bei diesem Messverfahren wird eine sehr schmale Spaltöffnung durch den Strahl geführt und so das Strahlprofil entlang von Scanlinien erfasst. Die auf Aperturen-basierenden Sensoren profitieren davon, dass sie – wenn überhaupt - nur einen sehr kleinen optischen Abschwächung erfordern, da das Laserlicht nur für den Bruchteil einer Sekunde durch die Apertur auf den Detektor fällt.

Kamera-basierende Systeme hingegen erfordern ein Vielfaches an optischer Abschwächung, da die Kameras schon bei Strahlungsintensitäten von nur $1\mu\text{W}/\text{cm}^2$ in die Sättigung kommen. Optische Abschwächer für Strahlprofilmessungen können bis zu einer optischen Abschwächung von bis zu 16 Größenordnungen mit sehr geringer Verzerrung des einfallenden Strahls sicher liefern. Um die optische Abschwächung sicher durchzuführen, sind eine sorgfältige Konstruktion sowie die Materialauswahl entscheidend. Leistungsfähige Materialien wie Quarzglas in Laserqualität mit sehr geringer Verunreinigung, hoher Transparenz, hervorragender optischer Oberflächenqualität und Ebenheit erfüllen die hohen Anforderungen an Abschwächer für Lasersysteme im Multi-Kilowatt-Bereich.

Von Phosphorscheiben über Kameras bis hin zu schlitzbasierten Strahlprofilmessungen

Einige der ersten großformatigen CO₂-Laser für Schneid- oder Schweißanwendungen wurden mit UV-angeregten Phosphorscheiben gemessen. Durch die Laserenergie wurde die Fluoreszenz ausgelöscht, so dass ein inverses Strahlprofil entstand. Auch pyroelektrische und Silizium-Array-Detektoren, wie auch schlitzbasierende Produkte wurden schon von den ersten Entwicklern von Lasersystemen eingesetzt, um das Intensitätsprofil der unsichtbaren Laserstrahlen sichtbar zu machen. Erste Kamera-basierende Messgeräte bestanden aus analogen CID- oder CCD-Kameras sowie Bleisulfid-Vidicon-Kameras für den NIR-Bereich. Pyroelektrische Matrix-Arrays mit geringer Auflösung wurden zur Charakterisierung unsichtbarer SWIR-, MWIR- und LWIR-Laser verwendet, da sie die einzigen verfügbaren Geräte zur Erkennung dieser Wellenlängen waren.

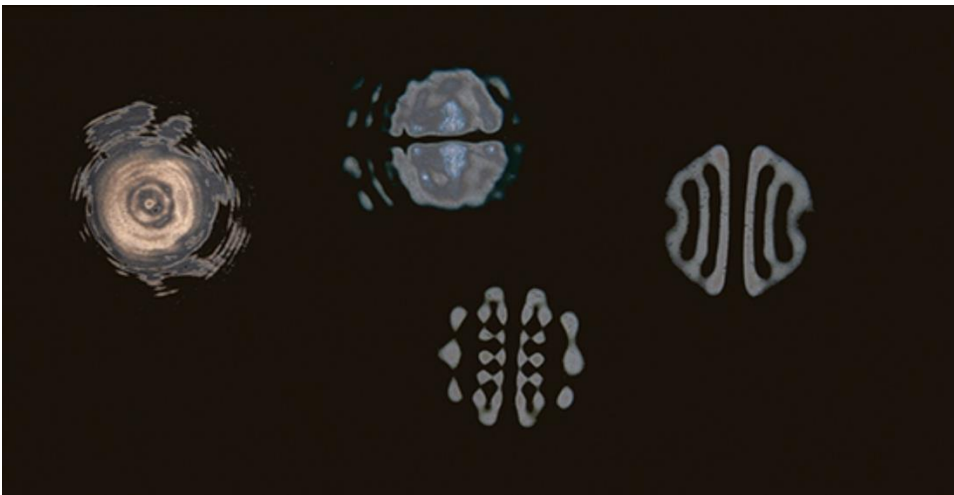


Figure 1. Zu den ersten Verfahren zur Messung von Laserstrahlen zählt auch die Anwendung von Brennpapier (burn paper). Damit lässt sich zwar ungefähr die Größenordnung der Strahlgröße angeben, quantitative Daten und Details zu Leistungsspitzen oder Löchern im Strahl durch fehlerhafte Ausrichtungen bleiben jedoch häufig unentdeckt, da der Dynamikbereich nicht ausreichend groß ist. [Quelle: Kentek]

Heute sind die analogen 8-Bit-Kameras der 70er und 80er Jahre durch 12- und 14-Bit-Megapixel-Kameras ersetzt worden, die einen enormen Dynamikbereich und eine hohe räumliche Auflösung aufweisen. Hochauflösende InGaAs-Kameras für das SWIR-Spektrum sowie pyroelektrische und Mikrobolometer-Kameras für MWIR- und LWIR-Laser werden häufig eingesetzt, um den Zustand des Lasersystems zu überprüfen. Zusätzlich verbesserte sich die Konnektivität signifikant, da die analogen Schnittstellen abgelöst wurden: Hochauflösende Bilder werden in der Kamera digitalisiert und über Hochgeschwindigkeits-USB 3.0- oder Gigabit-Ethernet-Kabel an die auf einem Laptop, PC oder Smartphone installierte Analyseanwendung gesendet.

Schlitzbasierende Sensoren der zweiten Generation sind mit einer Vielzahl von Optionen ausgestattet, so dass sie das gesamte Laserspektrums von UV bis FWIR abdecken. Das Scanning-Slot- und das Scanning-Pinhole-System erfordern, wenn überhaupt, nur eine geringe optische Abschwächung des Laserstrahls, wodurch sie sich sehr gut für industrielle Anwendungen eignen, bei denen hohe Laserstrahlungsstärken üblich sind. Dank spezieller Materialien können Scanblende- und kamerabasierte Strahlprofilierungsprodukte jetzt den fokussierten Bereich von Faser- und Scheibenlasern mit mehreren Kilowatt Leistung überwachen, ohne dass die Gefahr besteht, dass der Sensor oder die Strahlabtastoptik beschädigt wird.

Leistungsmessung heute

Dank der Entwicklung kompakter und robuster Messgeräte, die keine Wasserkühlung erfordern, lassen sich Dauerstrich- und gepulste Laser heute direkt in der Fertigung messen. Das Ophir Ariel Messgerät deckt dabei den Bereich von Milliwatt bis hin zu 8 kW ab. Über Bluetooth oder USB-Schnittstelle lassen sich externe Ablesegeräte oder Mobiltelefone anschließen, um die Messdaten direkt zu übertragen. Das kompakte Gerät misst unfokussierte Strahlen bei typischen Leistungsdichten in der Fertigung und eignet sich damit für vielfältige Anwendungen wie in der Additiven Fertigung, Materialbearbeitung, dem Laserschneiden und -schweißen sowie der Wärmebehandlung. Das Ophir Ariel Messgerät ist eines von mehreren Produkten, die Messtechnik in Laborqualität in die Fertigungslinie bringen. Deren einfache und robuste Handhabung sind dabei Schlüsselfaktoren, die eine bessere Steuerung laserbasierender industrieller Prozesse vorantreiben.



Abb. 2. Leistungsmessgeräte ohne zusätzliche Wasserkühlung ermöglichen die einfache und schnelle Messung der Laserintensität direkt in der Produktion und das selbst in räumlich begrenzten Anwendungen wie Baukammern der Additiven Fertigung.

Berührungslose Strahlprofilmessung

Faser- und Scheibenlaser mit mehreren Kilowatt Leistung, wie sie bei der Zellkontaktierung von Batterien oder dem Zusammenbau von Brennstoffzellen eingesetzt werden, lassen sich optimal mit berührungslosen Strahlprofilierungssystemen überwachen. Diese integrierten Systeme ermitteln die Fokusebene, d. h. den Ort entlang der Ausbreitungsachse mit der kleinsten Strahlgröße. In Kombination mit den Informationen zur Gesamtleistung des Strahls ermitteln sie die Intensitätsverteilung auf der Arbeitsebene. Kritische Betriebsparameter wie Fokusverschiebung oder Änderungen der Lage der Strahltaile, Fokustiefe, Strahlgröße, Leistung und Leistungsdichte bzw. Bestrahlungsstärke auf der Arbeitsebene liefern entscheidende Hinweise auf den Zustand des Lasersystems. Durch einen Vergleich der aktuellen Laserperformance mit den Soll-Daten lassen sich Rückschlüsse auf die zu erwartende Bearbeitungsqualität des Lasersystems ziehen. Bei einer Verschlechterung der Messwerte können sofort entsprechende Maßnahmen ergriffen werden.



Abb. 3: Das integrierte Messgerät Ophir BeamWatch Integrated 500 misst Singlemode-Faserlaser mit Fokusslängen bis 500 mm wie sie in der Kontaktierung von Batteriezellen häufig eingesetzt werden.

Das integrierte Messgerät Ophir BeamWatch Integrated kombiniert die Messung der Laserleistung und des Laserprofils von Multikilowatt-Faser-, Dioden- oder Scheibenlasern. Über entsprechende Schnittstellen lässt sich das System direkt in automatisierte Fertigungslinien integrieren. Die Messung der Laserparameter erfolgt so schnell, dass sie sogar taktzeitneutral zwischen den einzelnen Schweißprozessen durchgeführt werden kann. Die regelmäßige Messung der zentralen Laserparameter wie Laserleistung, Fokusschift und Leistungsdichte (Leistung pro Flächeneinheit) gewährleistet die hohe Qualität der Kontaktschweißungen und vermeidet Ausschuss.

Ausblick

Seit den ersten Entwicklungen ist die Lasertechnologie untrennbar mit den passenden Messgeräten verbunden. Die Messungen boten die Voraussetzungen, die Laser selbst zu optimieren und die Zahl der Anwendungen zu vervielfachen. Heute bieten neue Messtechnologien die Chance, Lasersysteme in der industriellen Fertigung zu optimieren und die Qualität der produzierten Teile zu erhöhen. Stabile und wiederholbare Prozesse lassen sich damit deutlich einfacher erzielen als noch vor einigen Jahren.

Zweifelsohne werden in den kommenden Jahren weitere neue Technologien und Messverfahren entwickelt, die die nächsten Revolutionen in der Laserbearbeitung und entscheidende neue Anwendungen von Licht ermöglichen. Was kommt als Nächstes? Nicht einmal die kühnsten Vorhersagen aus der Science-Fiction können einige der unglaublichen lichtbasierten Innovationen erahnen, die vielleicht "gleich um die Ecke" liegen.

Entscheidend ist aber, dass wir schon heute eine Vielzahl von Messoptionen an der Hand haben, um die Qualität von laserbasierenden Fertigungsprozessen signifikant zu erhöhen. Welche Technologie sich für die jeweilige Anwendung eignet, ist nicht immer direkt ersichtlich. Hier lohnt sich in jedem Fall der direkte Kontakt zu unserem [Ophir Sales-Team](#). Unsere Laserexperten stehen Ihnen für eine unverbindliche Beratung gerne zur Verfügung. Erste Informationen zu unserem Produktportfolio finden Sie auf unserer Webseite zu [Leistungs- und Energiemessgeräten](#) ebenso wie zu [Strahlprofilmessgeräten](#).