

Achtung: Laserstrahlung!

Die Möglichkeiten, optische Strahlungsempfänger wie Radiometer zu kalibrieren, sind direkt von den zur Verfügung stehenden Strahlungsquellen abhängig. Im sichtbaren Bereich wurden am METAS in der Vergangenheit hauptsächlich eine monochromatische Lichtquelle mit einer optischen Leistung von wenigen Mikrowatt und einzelne Laser bei diskreten Wellenlängen verwendet. Mit der durchstimmbaren Laserquelle SYLAC (*Système de lasers accordables*), die hier vorgestellt wird, eröffnet sich dem Labor Optik und seinen Kunden eine Vielzahl neuer Anwendungen.

PETER BLATTNER

Spektralmessungen von optischen Quellen und Empfängern sind für verschiedene Anwendungsbereiche von grosser Bedeutung:

- Die meisten photobiologischen und photochemischen Prozesse hängen sehr stark von den Wellenlängen ab: Beispielsweise ist das Risiko für einen Menschen, einen Sonnenbrand einzufangen, bei UV-Strahlen mit einer Wellenlänge von 300 nm rund tausendmal höher als mit einer Wellenlänge von 330 nm!
- Neuartige Lichtquellen wie Spar- oder LED-Lampen (*LED: Light Emitting Diode* bzw. *Lumineszenz emittierende Diode*) müssen nicht nur in Bezug auf ihre Effizienz, sondern auch auf weitere Qualitätsfaktoren geprüft und charakterisiert werden. Die Farbtemperatur, die Qualität der Farbwiedergabe und der Ultraviolett-Anteil werden aus der spektralen Verteilung der Lichtquelle errechnet.
- Strahlungsempfänger wie Photodioden, CCD-Kameras (*CCD: Charge Coupled Device*) und weitere besitzen eine Empfindlichkeit, die abhängig von Wellenlängen ist. Diese Messgeräte können nur mit einer spektral durchstimmbaren Lichtquelle sauber charakterisiert und kalibriert werden.

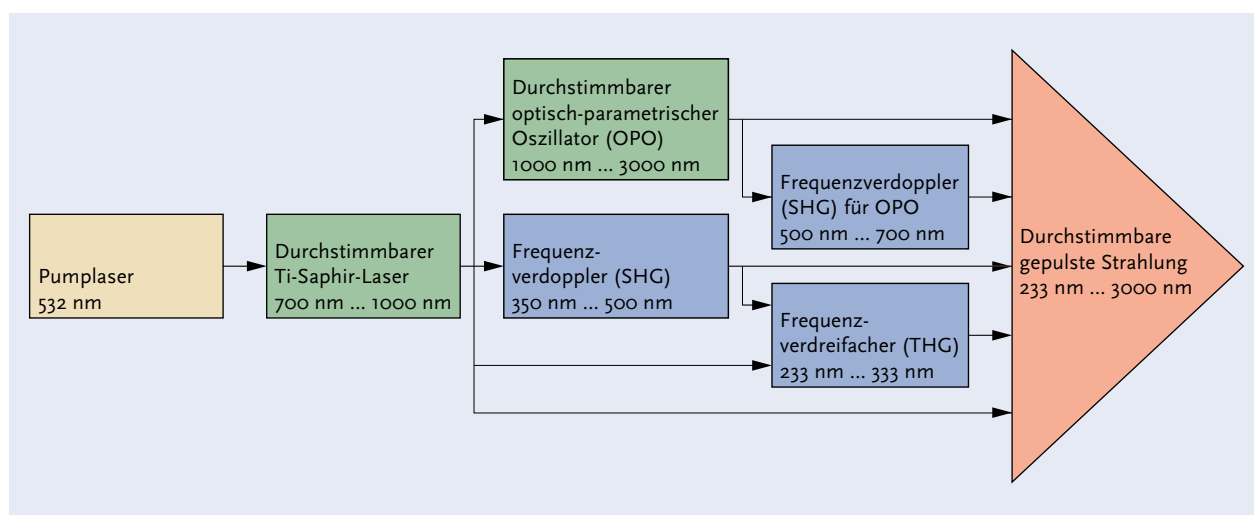
- Photometrische Messungen schmalbandiger Quellen (z. B. farbige LED) müssen auf Grund der nur beschränkt guten Anpassung der Photometer an die menschliche Hellempfindlichkeitskurve korrigiert werden. Grundlage für die Korrektur sind die gemessene spektrale Empfindlichkeit des Photometers und die gemessene spektrale Verteilung der Lichtquelle.

Um Spektralmessungen und -kalibrierungen, die auf das SI rückverfolgbar sind, durchführen zu können, ist eine spektral durchstimmbare Lichtquelle Voraussetzung. METAS hat kürzlich eine solche Lichtquelle in Betrieb genommen.

Das durchstimmbare Lasersystem SYLAC

Eine optische Strahlung ist unter anderem durch ihre spektrale Verteilung charakterisiert. Strahlung mit einer Wellenlänge kleiner als 400 nm bezeichnet man als ultraviolette Strahlung (UV), solche mit einer Wellenlänge grösser als 780 nm als Infrarot-Strahlung (IR). Dazwischen liegt der für das menschliche Auge sichtbare Bereich.

Natürliche Lichtquellen geben Strahlung in einem grossen Wellenlängenbereich ab. Da die Empfindlichkeit von Messgeräten aber wellenlängenabhängig ist, braucht deren



¹ Das Lasersystem (SYLAC) besteht aus verschiedenen Komponenten, die es erlauben, Laserstrahlung in einem grossen Wellenlängenbereich zu generieren.

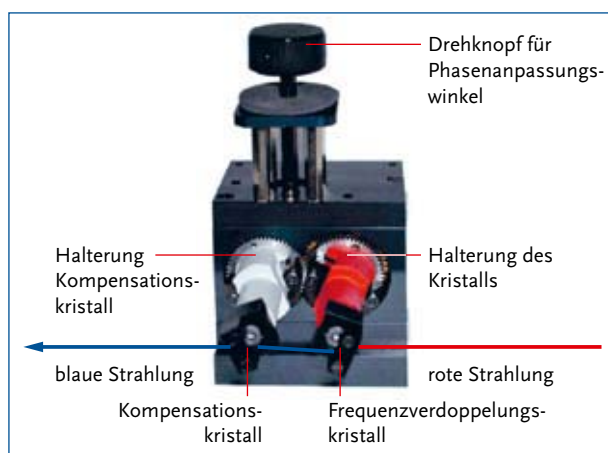
Charakterisierung und Kalibrierung schmalbandige Strahlungsquellen mit einstellbarer (durchstimmbarer) Wellenlänge. METAS hat, basierend auf kommerziellen Lasern, ein durchstimmbares System (Système de lasers accordables, SYLAC) aufgebaut, das eine Vielzahl neuer Anwendungen ermöglicht. Das System (Illustration 1) besteht aus verschiedenen Komponenten, die in der Folge beschrieben werden.

Ein Festkörperlaser macht aus grünem Licht rotes

Ausgangspunkt des Lasersystems SYLAC ist ein grüner, frequenzverdoppelter Neodym-Yttrium-Aluminium-Granat-Laser (Nd:YAG-Laser), der einen kontinuierlichen Strahl hoher optischer Leistung erzeugt (rund 10 W). Dieser «Pumplaser» speist einen Festkörperlaser des Typs Titan-Saphir. Dieser Laser weist viele Vorteile auf: Bedingt durch sein äusserst breites Verstärkungsprofil lässt sich Strahlung in einem Wellenlängenbereich von 700 nm (Rot) bis 1000 nm (nahes Infrarot) durchstimmbar generieren. Diese Strahlung kann bereits für bestimmte Anwendungen genützt werden.

Werden andere Wellenlängen benötigt, müssen nichtlineare Effekte wie die Frequenzverdoppelung oder nichtsymmetrische, parametrische Wechselwirkungen ausgenützt werden. Diese Effekte können nur durch genügend hohe optische Leistungen der einfallenden Strahlung erzeugt werden.

Zu diesem Zweck behilft man sich mit dem folgenden Verfahren: Durch eine feste und optimierte Phasenbeziehung zwischen den verschiedenen Moden, die im Laserresonator existieren, können sehr kurze Pulse mit entsprechend hoher Leistung generiert werden (Mode-lock). Die Pulslänge beträgt je nach Konfiguration wahlweise 1 bis 2 Pikosekunden oder 100 bis 200 Femtosekunden bei einer Repetitionsrate von rund 80 MHz. Solche Systeme können als «quasi kontinuierlich» bezeichnet werden. Durch die extrem kurze Pulsdauer erhöht sich die Spitzenleistung der Strahlung entsprechend. Der Titan-Saphir-Laser kann aber auch rein kontinuierlich betrieben werden.



2 Frequenzverdoppelungssystem: Die durch den gedrehten Kristall entstehende Ablenkung des optischen Strahls wird mit Hilfe eines zweiten Kristalls kompensiert.

Die Frequenzverdoppelung macht aus rotem Licht blaues

Der Prozess der Frequenzverdoppelung (*Second harmonic generation, SGH*) entsteht bei einer Wechselwirkung zwischen Licht mit hoher Leistungsdichte und speziellen, nichtlinearen Kristallen. Dabei gibt es einen zwingenden Zusammenhang zwischen der Wellenlänge (oder Frequenz) des einfallenden Lichts und der geometrischen Ausrichtung des nichtlinearen Kristalls (Phasenanpassung): Ändert die Wellenlänge, muss der Kristall entsprechend gedreht werden.

Damit sich jedoch die Ausgangsrichtung des Strahls nicht verändert, wird die Ablenkung mittels eines typenähnlichen und entgegengesetzt drehenden Kristalls kompensiert (Bild 2). Mit Hilfe der Frequenzverdoppelung lässt sich die rote und infrarote Ausgangsstrahlung des Titan-Saphir-Lasers in ultraviolette und blaue Strahlung von 350 nm bis 500 nm Wellenlänge umwandeln. Durch Beimischung der Grundwellenlänge können im Frequenzverdreifacher Strahlungen mit Wellenlängen von 233 nm bis 333 nm generiert werden.

Das gleiche Prinzip der Frequenzverdoppelung wird zum Beispiel auch bei den grünen Laserpointern oder beim Pumplaser verwendet, die IR-Strahlung der Wellenlänge 1064 nm in grünes Licht der halben Wellenlänge (532 nm) umwandeln. Unter optimalen Bedingungen können Wirkungsgrade von rund 50 % erreicht werden.

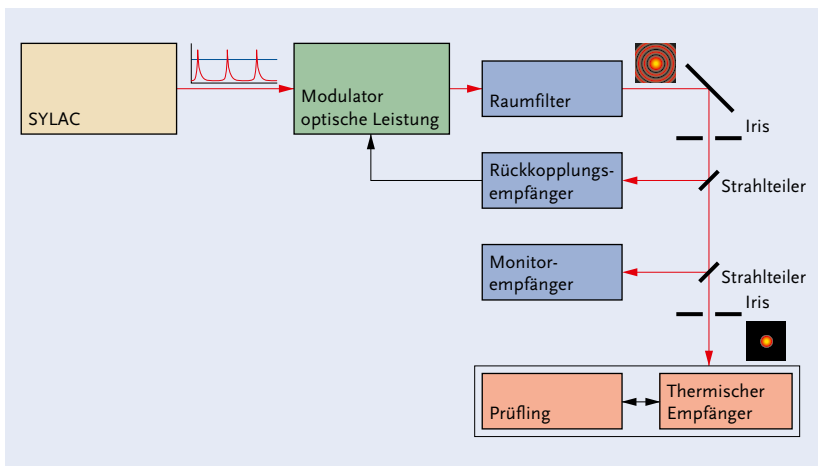
Komplizierter sind die weiteren, nichtsymmetrischen, parametrischen Wechselwirkungen, die genutzt werden, um zusätzliche Wellenlängen generieren zu können: Beim Einstrahlen einer intensiven Pumpwelle der Frequenz ω_p auf einen speziellen Lithium-Tripurat-Kristall (LBO) entstehen zwei Wellen der Frequenz ω_s (Signal) und ω_i («Idler»), wobei sowohl die Energie als auch der vektorielle Impuls erhalten bleiben. Daraus ergibt sich die folgende Frequenzbedingung:

$$\omega_p = \omega_s + \omega_i \quad \text{oder als Wellenlänge ausgedrückt: } \lambda_p^{-1} = \lambda_s^{-1} + \lambda_i^{-1}.$$

Zum Beispiel kann ein Pumplaserstrahl der Wellenlänge $\lambda_p = 775$ nm eine Signalwellenlänge von $\lambda_s = 1100$ nm und eine Idlerwellenlänge von $\lambda_i = 2623$ nm generieren.

Damit dieser Prozess möglichst effizient funktioniert, müssen wiederum hohe Leistungsdichten vorhanden sein. Diese sind nur erreichbar, wenn der Kristall in einen eigenen Resonator eingebaut wird. Durch entsprechende Weganpassung und Kompensation der Dispersion können die Pumpwelle und die Signalwelle im Resonator oszillieren, so dass die benötigte Leistungsdichte erreicht wird.

Dieses System wird als optisch-parametrischer Oszillator (OPO) bezeichnet. Mit Hilfe dieses OPO ist es möglich, Strahlung der Wellenlänge 1000 nm bis 3000 nm zu generieren. Verdoppelt man diese Ausgangsstrahlung, erhält man Licht ab 500 nm und kann damit die spektrale Lücke des Titan-Saphir-Lasers und des frequenzverdoppelten Titan-Saphir-Lasers schliessen.



3 Typische Anwendung des SYLAC: Der Laserstrahl wird durch verschiedene Elemente aufbereitet. Zusammen mit dem Rückkopplungs-empfänger dient der Modulator zur Stabilisierung der optischen Leistung; mit dem Raumfilter wird das räumliche Streulicht unterdrückt.

Vergleich von gepulster und kontinuierlicher Strahlung

Die durch das SYLAC generierte Strahlung ist gepulst und besitzt eine hohe Repetitionsrate. Werden bei der Messung Strahlungsintegrationszeiten verwendet, die viel grösser als die Repetitionszeiten sind, kann die Quelle als «quasi kontinuierlich» betrachtet werden.

In der klassischen Radiometrie wird hauptsächlich kontinuierliche Strahlung eingesetzt, um Messgeräte zu kalibrieren. Es ist daher offensichtlich, dass die Äquivalenz zwischen der Wirkung von quasi kontinuierlicher und kontinuierlicher Strahlung bei den zu prüfenden Messempfängern überprüft und validiert werden muss.

Zu diesem Zweck wurde das in Illustration 3 dargestellte Messsystem aufgebaut: Der Ausgangsstrahl des SYLAC wird durch verschiedene Komponenten verbessert. Mit Hilfe eines optischen Leistungsmodulators (z. B. einem Flüssigkristallmodulator oder einem elektro-optischem Modulator) und einem Rückkopplungsempfänger wird sichergestellt, dass die Ausgangsleistung konstant bleibt.

In der Praxis ist es möglich, über mehrere Minuten eine relative Strahlleistungsstabilität von $2 \cdot 10^{-5}$ zu erreichen. Ein Raumfilter dient zur Unterdrückung des räumlichen Streulichts. Nach dem Durchgang des Strahls durch verschiedene Blendenöffnungen (Iris) bleibt ein geometrisch sauberer und zeitlich konstanter Strahl.

Ein Prüfling – beispielsweise eine Siliziumphotodiode – wird nun abwechselungsweise in den gleichen optischen Strahl gebracht wie ein thermischer Empfänger. Die Antwort des thermischen Empfängers ist a priori unabhängig von kurzen Pulsdauern: Dieser Empfänger integriert die Energie zeitlich über einen längeren Bereich.

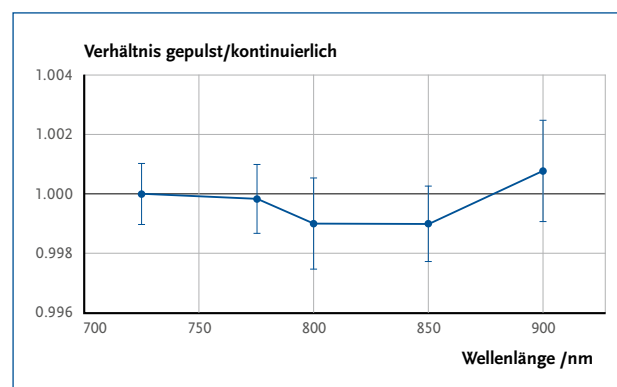
Das Verhältnis des Signals der Photodiode und des thermischen Empfängers sollte nun unabhängig der zeitlichen Variation sein (z. B. gleiches Verhältnis für kontinuierliche

Strahlung und für quasi kontinuierliche Strahlung). Das Diagramm 4 zeigt ein typisches Messergebnis. Den Fachleuten des Labors *Optik* ist es gelungen zu zeigen, dass für IR-Strahlung die Nichtäquivalenz für Pikosekundenpulse mit hoher Repetitionsrate und konstanter Leistung kleiner als 0.03 % ist, und das bei einer erweiterten Messunsicherheit von 0.07 %.

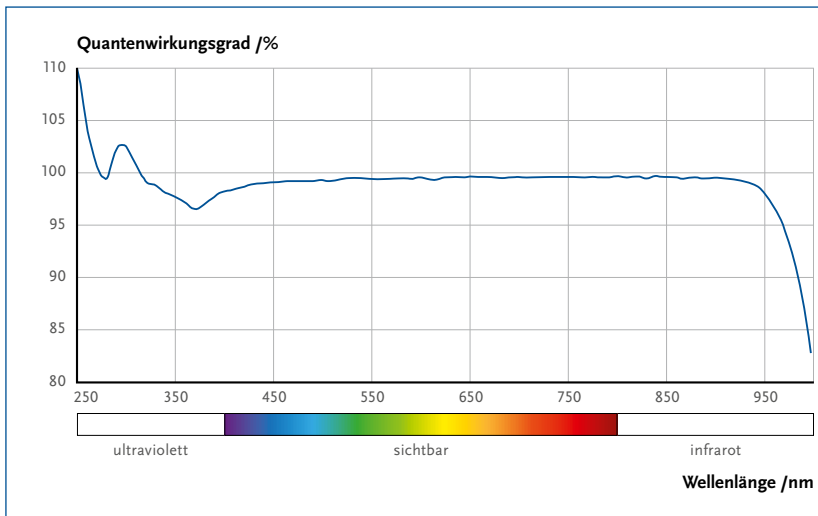
Direkte Anwendung in der Metrologie

Das neue Lasersystem SYLAC kommt direkt bei der Primärrealisierung der optischen Strahlungsmessung zum Einsatz: Am METAS basiert die optische Strahlungsmessung auf einem Tiefsttemperatur-Radiometer (Kryoradiometer [1]).

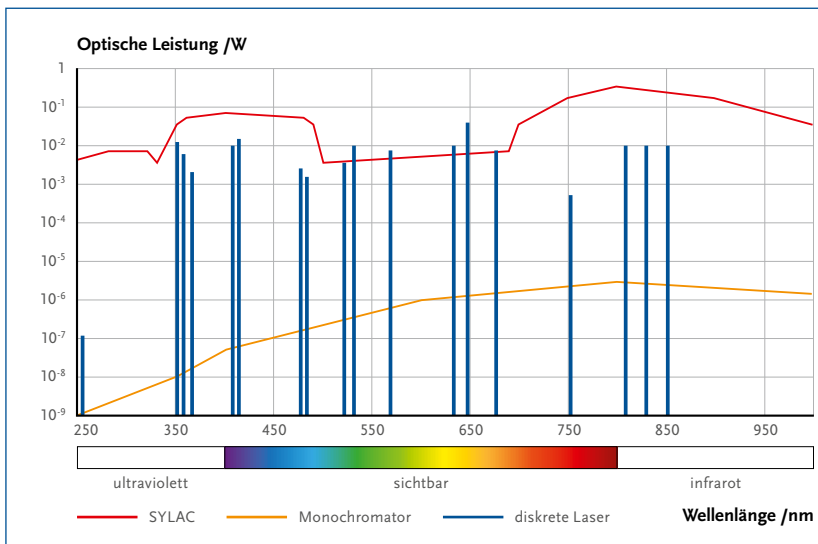
Das Kryoradiometer besteht im Wesentlichen aus einem schwarzen Empfängerhohlraum (Kavität). Diese Kavität wandelt die einfallende Strahlung in Wärme um, die über eine Wärmebrücke abgeleitet wird. Die Arbeitstemperatur beträgt wenige Kelvin und wird mit Hilfe von flüssigem Helium erreicht. Das Kryoradiometer erlaubt die Bestimmung der optischen Strahlungsleistung in höchster Genauigkeit. Diese gemessene Leistung muss nun auf geeignete Empfänger transferiert werden.



4 Vergleich des Signals einer quasi kontinuierlichen Strahlung im Verhältnis zu einer kontinuierlichen Strahlung für eine Silizium-Photodiode. Die Nichtäquivalenz ist kleiner als 0.03 %.



5 Externer Quantenwirkungsgrad eines Transferempfängers (Si-Trap-Empfänger): Im sichtbaren Bereich beträgt er rund 99,7 %, das heisst, dass fast alle Photonen in Elektronen umgewandelt werden. Mit Hilfe des SYLAC lassen sich besonders die spektralen Randbereiche genauer analysieren.



6 Die bisherigen Mess- und Kalibriermöglichkeiten beschränkten sich auf wenig diskrete Laserwellenlängen sowie einen durchstimmbaren Monochromator mit kleinen Leistungen. Das neue Laserquellensystem SYLAC erlaubt höhere Leistungen und deckt einen grösseren Wellenlängenbereich ab, theoretisch bis 3000 nm.

Für Strahlung im nahen UV-, im sichtbaren und im nahen IR-Bereich werden typischerweise Empfängersysteme verwendet, die aus mehreren Silizium-Photodioden bestehen (Si-Trap-Empfänger). Bei der Absorption eines Photons wird im sichtbaren Wellenlängenbereich pro Photon ungefähr ein Elektron-Lochpaar erzeugt. Die Quantenausbeute ist nahezu eins (0.997).

Im UV kann der Quantenwirkungsgrad grösser als 100 % sein, da die energiereichen Photonen mehr als ein Elektron generieren können (Diagramm 5). Damit diese Effekte untersucht und die Transferempfänger kalibriert werden können, muss eine durchstimmbare Quelle von genügender Qualität und Leistung eingesetzt werden.

Erweiterung der Kalibrier- und Messmöglichkeiten

Die mit dem SYLAC zur Verfügung stehenden Wellenlängen und Leistungen sind in Diagramm 6 dargestellt. Die effektiv eingesetzten Leistungen werden aber meistens tiefer sein, da

der Ausgangsstrahl noch entsprechend aufbereitet werden muss. Je nach Anforderung der Anwendung muss die Strahlleistung stabilisiert und das Strahlprofil geometrisch «gesäubert» werden.

Innerhalb des Wellenlängenbereichs der verschiedenen Systemkomponenten ist die Durchstimmbarkeit relativ einfach zu bewerkstelligen. Müssen verschiedene Systemkomponenten verwendet werden, muss unter Umständen der Messaufbau angepasst und der Strahl neu justiert werden.

Mit der nun vorhandenen höheren Leistung können im METAS Messgeräte mit kleineren Empfindlichkeiten kalibriert werden, z. B. Thermosäulen oder pyro-elektrische Empfänger. Da die Wellenlänge durchstimmbar ist, können auch Empfänger charakterisiert werden, die eine starke spektrale Abhängigkeit haben wie der spektrale Durchlassgrad Ulbrichtscher Kugeln (Bild 7) oder die spektrale Empfindlichkeit grossflächiger Photometer.



7 Mit Hilfe des SYLAC lassen sich eine Vielzahl unterschiedlicher optischer Empfänger charakterisieren und kalibrieren: Im Bild eine Ulbrichtsche Kugel.

Streulichtmessungen an Spektroradiometern

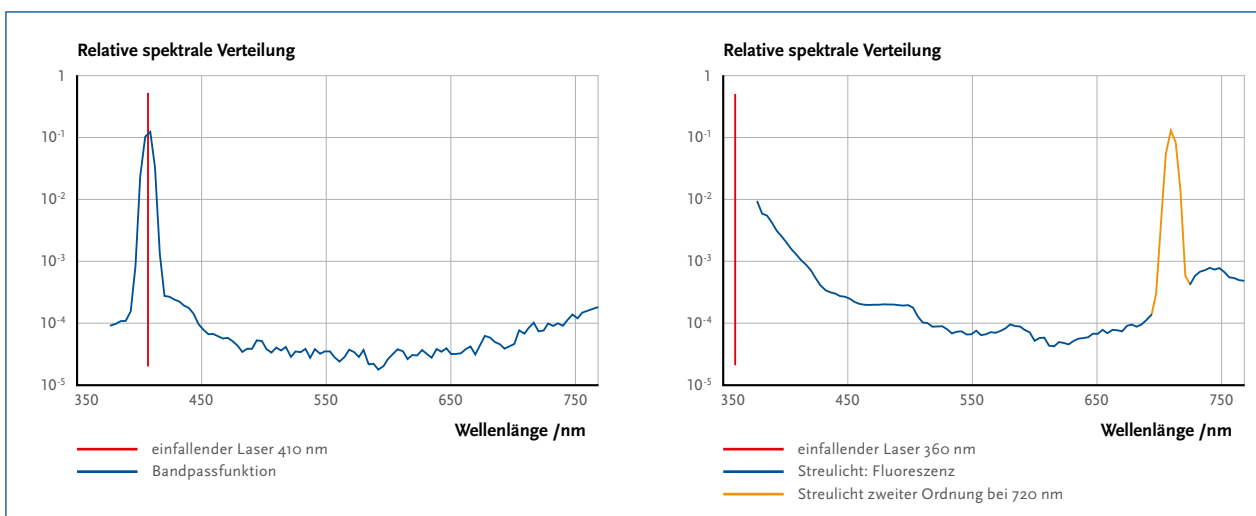
Kompakte Spektroradiometer erfreuen sich zunehmender Beliebtheit. Mit Hilfe dieser Messgeräte lassen sich Spektren von Lichtquellen relativ einfach bestimmen und daraus Kenngrößen wie Farbkoordinaten oder der UV-Anteil ableiten. Sie bestehen im Wesentlichen aus einem dispersiven Element, einem Beugungsgitter, das die einfallende Strahlung spektralgeometrisch aufteilt und mit Hilfe eines Empfängerarrays – z. B. einem *Charge Coupled Device (CCD)* – dessen Anteile bestimmt.

Ein Hauptproblem dieser Messgeräte ist das relativ grosse spektrale Streulicht. Als spektrales Streulicht wird die Strahlung bezeichnet, die physikalisch nicht vorhanden ist, die das Messgerät aber wegen seiner Konstruktion trotzdem als Signal generiert. Mit Hilfe des SYLAC lässt sich das Streulichtverhalten von Spektroradiometern einfach untersuchen und quantifizieren.

Die Diagramm 8 links zeigt die Messung eines Laserstrahls der Wellenlänge 410 nm. Das Messgerät zeigt ein typisches Verhalten: Bedingt durch das beschränkt Auflösungsvermögen, wird die Laserlinie nicht als einzelne Linie, sondern als verbreitete Funktion (Bandpassfunktion) dargestellt. Wird nun eine einfallende Strahlung der Wellenlänge 360 nm verwendet (Diagramm 8 rechts), verändert sich die Antwort des Messgerätes wesentlich.

Klar ersichtlich ist das Streulicht, das durch die zweite Beugungsordnung des Messgerätes hervorgerufen wird (bei 720 nm). Zusätzlich sind im blauen Spektralbereich weitere dominante Streulichtanteile vorhanden. Diese sind wahrscheinlich durch Fluoreszenzeffekte der Eingangsstreuscheibe (Diffusor) des Messgerätes generiert worden. Wird dieses Messgerät verwendet, um Spektralmessungen von Quellen durchzuführen, die einen gewissen UV-Anteil haben (z. B. Sparlampen oder Leuchtstoffröhren), könnten grössere Messfehler entstehen. Auch könnte ein solches Messgerät für die Messungen der sonnenbrandwirksamen Bestrahlungsstärke nicht eingesetzt werden (z. B. in Solarien), da die Unterdrückung des spektralen Streulichts zu klein ist. Für solche Anwendungen müssen komplexere Messsysteme verwendet werden (z. B. Doppelmonochromator-Spektroradiometer).

Vor Kurzem wurde in der einschlägigen Literatur eine Methode zur Verkleinerung des Streulichts in Mikrospektrometern vorgestellt. Voraussetzung ist die Verwendung einer durchstimmbaren, schmalbandigen Lichtquelle mit genügender Leistung. Es wird die «Punkteantwort» des Spektrometers für jede Wellenlänge bestimmt. In gemessenen Spektren können dann über eine «Entfaltung» das Streulicht und die Spaltfunktion numerisch unterdrückt werden. Mit der neuen Quelle hat METAS die Möglichkeit, diese neue Streulichtkorrekturmethode interessierten Kreisen anzubieten.

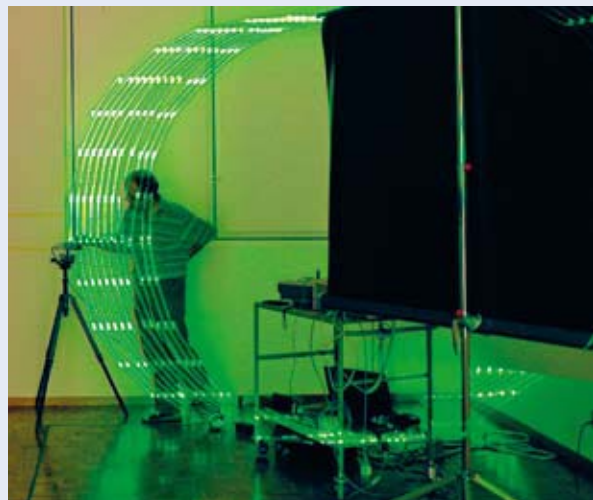


8 Mit Hilfe des SYLAC lässt sich unter anderem das Streulichtverhalten von Spektroradiometern untersuchen.

Seit 1. Mai 2007 ist die neue Schall- und Laserverordnung (SR 814.49, www.admin.ch/ch/d/sr/c814_49) in Kraft. Wer Veranstaltungen mit Laseranlagen durchführt (Showlaser, Skylaser...), muss diese so einrichten und betreiben, dass sie beim Publikum keine schädlichen Immissionen erzeugen. Der Einsatz von Lasern bei Veranstaltungen unterliegt der Meldepflicht. Die Vollzugsbehörden (Kantone) sind angehalten, bei Veranstaltungen stichprobenweise zu kontrollieren, ob die Grenzwerte der Laseranlagen eingehalten werden.

Die Analyse des Gefährdungspotentials eines Showlasers ist komplex. Die Grenzwerte sind abhängig von der Einwirkzeit, der Wiederholfrequenz, der Wellenlänge und der Strahlgeometrie. Als Beispiel beträgt der Grenzwert für einen kontinuierlich strahlenden, sichtbaren Laser mit kleinem Durchmesser und kleiner Strahldivergenz (z. B. Laserpointer) 1 mW. Bei gescannten oder gepulsten Systemen beträgt der Grenzwert 190 nJ für einen Einzelpuls. Falls mehrere Pulse innert einer gewissen Zeit einfallen, verringert sich der Grenzwert entsprechend.

Im Showbereich werden Laser mit über 10 W Leistung eingesetzt. Die Grenzwerte bei Bestrahlung direkt ins Publikum



können nur eingehalten werden, wenn die Strahlung entsprechend abgeschwächt wird (z. B. durch Strahldivergenz, scannen, usw.). METAS unterstützt die Kantone bei der Analyse des Gefährdungspotentials und die Industrie bei der Klassifizierung und Konformitätsbewertung einfacher Lasersysteme.

9 Beurteilung der Sicherheit von Lasern und Lasershows.

Weitere Anwendungen in Faseroptik und Thermometrie

Das SYLAC erlaubt aber auch Anwendungen auf anderen metrologischen Gebieten: Die Kalibrierung der Spektralempfindlichkeit faseroptischer Leistungsmessgeräte im Wellenlängenbereich von 700 nm bis 1700 nm und bei Leistungen von einigen mW bis 100 mW gehört zu den Dienstleistungen, die immer mehr gefragt sind.

Da diese Leistungsmessgeräte für einen Einsatz mit Glasfasern (divergenter Strahl) und mit schmalbandigen Laserquellen (grosse Kohärenzlänge) konzipiert sind, ist eine Kalibrierung mit klassischen Freistrahlsystemen, die auf Monochromatoren und Weisslichtquellen basieren, nicht geeignet. Das SYLAC ist das ideale Instrument zur Realisierung dieser Kalibrierung in der bestmöglichen Geometrie, wo die Einflüsse divergierender Strahlgeometrien und Interferenzeffekte sehr genau kontrolliert werden können.

Im Bereich der Thermometrie werden vermehrt berührungslose Messempfänger (Infrarot-Pyrometer) eingesetzt. Diese bestehen im Wesentlichen aus einem oder mehreren gefilterten IR-Empfängern. Mit Hilfe des SYLAC können die spektralen und optischen Eigenschaften von Pyrometern quantifiziert und allfällige Korrekturfaktoren bestimmt werden.

Die neue Strahlungsquelle erweitert die bestehende Grundausrüstung des Labors *Optik* entscheidend. Sie entspricht den Anforderungen der Kundschaft und erlaubt es dem Labor, die bereits breite Palette von Dienstleistungen weiter auszubauen. Das SYLAC erlaubt es aber auch, wissenschaftliche Untersuchungen durchzuführen, welche beispielsweise die Äquivalenz quasi kontinuierlicher und kontinuierlicher Strahlung, das Fluoreszenzverhalten von Materialien oder andere, neue Methoden der Radiometrie und Photometrie betreffen.

Referenz

- [1] Peter Blattner: Neue optische Strahlungsmessbasis am METAS, *metINFO*, Vol. 12, Nr. 2, 2005.



Dr. Peter Blattner, Laborleiter *Optik*,
Direktwahl 031 32 33 340, peter.blattner@metas.ch.

Attention : rayonnement laser !

Les possibilités d'étalonner des récepteurs de rayonnement optique, comme les radiomètres, dépendent directement des sources de rayonnement disponibles. La source laser à fréquence variable (**Système de Lasers accordables, SYLAC**) offre au laboratoire Optique une multitude de nouvelles applications et prestations possibles.

Le point de départ du SYLAC est un laser Néodyme YAG vert à fréquence doublée, qui produit un rayon continu de forte puissance optique (env. 10 W). Ce «laser de pompe» alimente un laser solide titane-saphir capable de générer un rayonnement dans un domaine spectral variable allant du rouge (700 nm) à l'infrarouge proche (1000 nm). Avec l'utilisation additionnelle du doubleur de fréquence non linéaire, du tripleur de fréquence et d'un oscillateur paramétrique optique, le domaine spectral peut être étendu en mode impulsionnel à l'ultraviolet (250 nm), ainsi qu'à l'infrarouge éloigné (3000 nm).

La nouvelle source de rayonnement élargit considérablement l'équipement de base du laboratoire Optique. Elle permet de continuer à développer la gamme de prestations déjà existante. Le SYLAC peut être également utilisé pour l'étalonnage de wattmètres à fibres optiques dans le domaine de la télécommunication, pour la caractérisation de pyromètres permettant de mesurer la température sans contact, mais aussi dans le domaine de la recherche scientifique, par exemple pour étudier le comportement fluorescent des matériaux.

Attenzione: radiazione laser!

Le possibilità di tarare dei ricevitori ottici, quali ad esempio i radiometri, dipendono direttamente dalle fonti di radiazione disponibili. Con la fonte laser sintonizzabile SYLAC (**Système de Lasers accordables**) per il laboratorio di ottica si aprono numerose nuove applicazioni e possibilità di servizi.

Punto di partenza del SYLAC è un laser verde YAG al neodimio, a frequenza raddoppiata, che produce un raggio continuo di elevata potenza ottica (circa 10 W). Questo «laser pompa» alimenta un laser a stato solido in zaffiro-titanio, con cui è possibile generare radiazioni sintonizzabili in una gamma di lunghezze d'onda che vanno dal rosso (700 nm) al vicino infrarosso (1000 nm). Utilizzando inoltre duplicatori e triplicatori non lineari di frequenza, e un oscillatore parametrico ottico, nell'emissione impulsiva si può estendere la gamma di lunghezze d'onda fino all'ultravioletto (250 nm) e in seguito anche fino all'infrarosso lontano (3000 nm).

La nuova fonte di radiazione potenzia in modo determinante l'esistente equipaggiamento di base del laboratorio di ottica, consentendogli di ampliare ulteriormente la sua già vasta gamma di servizi. Il SYLAC trova impiego anche nella taratura di wattmetri a fibre ottiche per le telecomunicazioni, nella caratterizzazione di pirometri per la misurazione senza contatto di temperatura, ma anche per studi scientifici ad esempio quelli sul comportamento di materiali a livello di fluorescenza.

Caution: Laser Radiation!

The ability to calibrate optical radiation detectors such as radiometers is a direct function of the available radiation sources. SYLAC (**Système de Lasers accordables**) is a tunable laser source that is opening up a multitude of new applications and potential services for the Optics laboratory.

SYLAC's starting point is a green, frequency-doubled Nd:YAG laser that generates a continuous beam with high optical power (about 10 W). This «pump laser» feeds a titanium-sapphire solid-state laser which can be used to tunably generate radiation in the wavelength range from red (700 nm) to near infrared (1000 nm). By additionally using nonlinear frequency doublers, frequency triplers and an optical parametric oscillator, the wavelength range can be extended for pulsed operation deep into the ultraviolet range (250 nm) and later also into the far infrared range (3000 nm).

The new radiation source represents a significant expansion of the Optics laboratory's existing test hardware. This source is allowing the laboratory to further extend its already wide range of services. SYLAC also has applications in the calibration of fibre optical power meters for telecommunications, characterisation of pyrometers for contact-free temperature measurements and for scientific investigations in areas such as fluorescence properties of materials.