

Kalibrierung photometrischer und radiometrischer Empfänger mittels durchstimmbarer Kurzpuls-Laser

Michaela Schuster*, Saulius Nevas*, Armin Sperling*

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

<mailto:michaela.schuster@ptb.de>

Die Entwicklung neuer Messgeräte stellt neue Anforderungen an die moderne Photometrie. Durch die Verwendung eines durchstimmbaren Kurzpuls-Lasersystems kann eine hohe Leistung bei geringer Bandbreite über einen weiten Spektralbereich erreicht werden. Die einstellbare Bandbreite ermöglicht zudem die Reduzierung von Interferenzeffekten.

1 Einführung

In der Photometrie und Radiometrie ist die Bestimmung der spektralen Empfindlichkeit verwendeter Empfänger, rückführbar auf das internationale Einheitensystem SI, von sehr großer Bedeutung. Die Empfindlichkeit als Funktion der spektralen Bestrahlungsstärke oder der spektralen Strahldichte einer Strahlungsquelle ist von besonderem Interesse, wobei die Eigenschaften von Quelle und Empfänger, sowie deren Wechselwirkung wesentlich in die Messunsicherheit und die Interpretation der Ergebnisse eingehen.

Grundlage solcher Messungen ist der Vergleich des zu kalibrierenden Empfängers mit einem Referenzempfänger unter Berücksichtigung der Strahlgeometrie, also der Größe, Kollimation und Ausrichtung des Strahlungsfeldes usw., denn die Rückführung des Referenzempfängers ist in der Regel über dessen Strahlungsleistungsempfindlichkeit im Vergleich zu einem Kryoradiometer, dem radiometrischen Primärnormal, realisiert. Neben diesen geometrischen Aspekten sind aber auch die spektralen Randbedingungen bei einer Kalibrierung von Bedeutung. Während die Rückführung mit Hilfe von ungefilterten und damit breitbandigen Empfängern mit geringer spektraler Steigung geschieht, weisen insbesondere gefilterte Empfänger einen hohen Dynamikumfang mit starken Gradienten auf.

Zu den Forschungsschwerpunkten im Bereich Photometrie und angewandte Radiometrie zählen die Kalibrierung von klassischen Empfängern hinsichtlich spektraler Bestrahlungsstärke- und Strahldichteempfindlichkeit vom Ultraviolett- über den sichtbaren bis hin zum Infrarotbereich. Auch die Kalibrierung und Charakterisierung von Spektroradiometern erfordert einen weiten Spektralbereich und eine schmalbandige Strahlungsquelle. Hinzu kommen die gestiegenen Anwendungsmöglichkeiten von spektral- oder ortsauflösenden Messgeräten. Die damit verbundene Entwicklung vielfältiger Messgeräte stellt neue Anforderungen an die Rückführung, an die Messunsicherheit über

einen breiten Spektralbereich und an das Kalibrieringebot der PTB.

2 Messprinzip

Um diesen neuen Anforderungen gerecht zu werden, hat die PTB den laserbasierten Messplatz TULIP (Tunable Lasers In Photometry) (Abb. 1) [1] aufgebaut und mit einem Kurzpuls-Lasersystem erweitert. Hier können großflächige, gefilterte Empfänger hinsichtlich ihrer spektralen Bestrahlungsstärke- und Strahldichteempfindlichkeit mit kleinsten Messunsicherheiten charakterisiert und kalibriert werden.

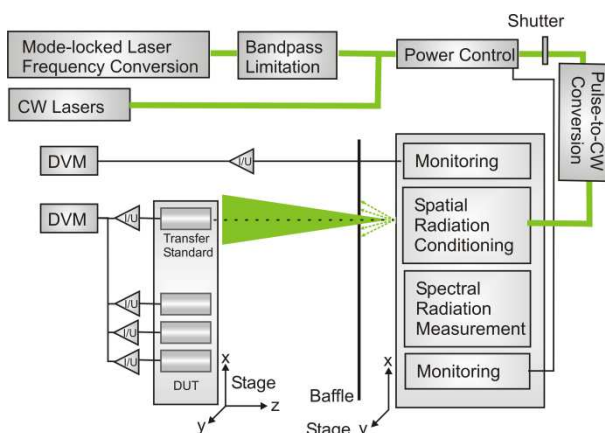


Abb. 1 Lasermessplatz TULIP für die spektrale Kalibrierung und Charakterisierung großflächiger Empfänger.

Als Strahlungsquelle dient ein Kurzpuls-Lasersystem. Es generiert Lichtpulse mit einer Pulsdauer von 120 fs bis 300 fs und einer Wiederholfrequenz von 80 MHz. Die Repetitionsrate ist so hoch, dass sie auf viele Empfänger fast wie kontinuierliche Strahlung wirkt. Zusätzlich wird eine an der PTB entwickelte Wandlerfaser [2] eingesetzt, mit der die gepulste Strahlung näherungsweise in kontinuierliche Strahlung umgewandelt werden kann. Mit dem Lasersystem kann eine lückenlose Durchstimmbarkeit der optischen Strahlung im Wellenlängenbereich von ca. 230 nm bis 3000 nm erreicht werden. Die Strahlungsleistung des Lasers

ist dabei so hoch, dass durch geeignete Strahlkonditionierung und Umformung die geometrischen und spektralen Randbedingungen der jeweiligen Anwendung erfüllt werden können.

Insbesondere müssen zusätzliche Maßnahmen zur Einstellung und Begrenzung der Bandbreite getroffen werden, da die Bandbreite des gepulsten Lasersystems physikalisch bedingt für viele Empfänger zu hoch ist. Durch die einstellbare Bandbreite der Apparatur kann zusätzlich der Einfluss von Interferenzeffekten bei Empfängern untersucht werden. Gleichzeitig kann damit eine optimale Bandbreite für den jeweiligen Empfänger eingestellt werden. Optimal bedeutet breitbandig genug, um eine ausreichende Mittelung über die Interferenzoszillation sicherzustellen und gering genug, um die Flanken des Filters ausreichend genau abzutasten.

Für die Bestimmung der Bestrahlungsstärke- bzw. der Strahldichteempfindlichkeit müssen die Empfänger überstrahlt werden. Dafür muss der Laserstrahl aufgeweitet und das so erzeugte Strahlungsfeld homogenisiert werden. Für diese Strahlkonditionierung werden, je nach Anwendungsfall, verschiedene Methoden eingesetzt. Flüssigwellenleiter oder Fasern mit sich verjüngendem Querschnitt werden zur Strahlweiterleitung verwendet. Durch den relativ hohen Eintrittsquerschnitt können Einkoppelverluste verringert werden. Durch das Anregen der Fasern mit mechanischen Schwingungen können störende Kohärenzeffekte verringert werden. Dieses Verfahren verringert Speckle Effekte und damit eine Inhomogenität in der Empfängerebene bei Empfängern mit einer Integrationszeit größer der Schwingungsfrequenz. Ein sehr homogenes Strahlungsfeld kann durch den Einsatz einer sog. Ulbricht'schen Kugel erzeugt werden. Diese eliminieren auch die Polarisation der Laserstrahlung. Je nach Anwendungsfall stehen unterschiedliche Größen zur Verfügung. Unterhalb von 500 nm erfolgt wegen nicht mehr zu vernachlässigbarer Fluoreszenzeffekte in solchen Kugeln der Übergang zu Mikrolinsenarrays in Verbindung mit Depolarisatoren zur Strahlkonditionierung.

Die Konstanz der Apparatur wird über Monitor-technik erreicht, indem über eine Monitorphotodiode zusammen mit einem Laserleistungsstabilisator die Bestrahlungsstärke bzw. Strahldichte am Ort der Messung stabilisiert wird. Eine weitere Monitorphotodiode wird verwendet, um verbleibende Drifts korrigieren zu können. Die Wellenlänge und die spektrale Verteilung der Strahlung werden kontinuierlich während der Messung mit einem Wavemeter rückgeführt gemessen und mit verschiedenen Spektrometern überwacht.

Der zu kalibrierende Empfänger und der Referenzempfänger sind auf einem drei-Achsen Positioniersystem montiert, welches sich in einer lichtdicht abgeschirmten Messkammer befindet. Als

Referenzempfänger werden temperaturstabilisierte Trap-Empfänger mit einer Präzisionsblende verwendet.

3 Zusammenfassung

Durch die Verwendung eines KurzpulsLasersystems als Strahlungsquelle können die Vorteile klassischer Lampe-Monochromator-Messverfahren mit denen von Messverfahren mit cw Lasern verbunden werden wobei die Nachteile dieser Verfahren deutlich reduziert werden können. Man erreicht einen durchstimmbaren Spektralbereich von 230 nm bis 3000 nm bei gleichzeitig einstellbarer Bandbreite und hoher Leistung. Die Interferenzen, die bei der Kalibrierung von gefilterten Empfängern ohne Diffusoren mit kohärenter Strahlung entstehen, können durch die Wahl der optimalen Bandbreite reduziert bzw. eliminiert werden.

Dieses neue Messverfahren ermöglicht es, klassische Photometrische und Radiometrische Empfänger für die Bestimmung von Bestrahlungsstärke und Strahldichte in einem breiteren Spektralbereich zu kalibrieren. Weiterhin können Spektroradiometer umfangreich charakterisiert und kalibriert werden. Aber auch neuartige Messgeräte wie spektral- und ortsauflösende Messkameras können mit diesem Verfahren charakterisiert und kalibriert werden.

Neben der verbesserten Rückführung der SI Einheit Candela wird dieser Messplatz insbesondere auch im Rahmen des European Research Programme (EMRP) [3] in einer Vielzahl von Forschungsprojekten eingesetzt. In verschiedenen nationalen und europäischen Projekten wurden Messaufgaben hinsichtlich spektraler Bestrahlungsstärke- und Strahldichteempfindlichkeit von integrierenden und orts aufgelösten Empfängern in verschiedenen Spektralbereichen bearbeitet und Korrekturalgorithmen für die Bewertung von Interferenzerscheinungen [1] entwickelt.

Literatur

- [1] M. Schuster, S. Nevas, A. Sperling, "Spectral calibration of radiometric detectors using tunable laser sources", Appl. Opt. Vol. 51, No. 11 (2012).
- [2] DE102010011615B4 Kalibrieren eines optischen Sensors und Verfahren zum Herstellen einer Pulsformvorrichtung, Anmeldetag 16.03.2010
- [3] www.emrponline.eu/