

Streulichtkorrektur für Array-Spektralradiometer

Diese Applikationsschrift stellt die Möglichkeiten der Streulichtkorrektur für Array-Spektralradiometer der CAS 140-Serie vor und hebt die Vorteile der Anwendung der Streulichtmatrix bei verschiedenen Messungen hervor. Durch die Anwendung der Streulichtkorrekturmatrix wird das Streulicht um etwa eine Größenordnung auf bis zu 10^{-5} unterdrückt. Davon profitieren alle Nutzer, die eine insbesondere im UV-Bereich genauere Kalibrierung erhalten. Bei den UV-Quellen wird eine um 3-4% höhere radiometrische Genauigkeit erzielt und bei den sichtbaren LEDs eine um bis zu 0,0005 genauere Bestimmung der Farbkoordinaten erreicht.

APPLICATION
NOTE

\ \ 1. EINLEITUNG

Eine wichtige Einschränkung der Leistungsfähigkeit eines Array-Spektralradiometers in der Photometrie und Radiometrie ist das Auftreten von Streulicht im Gerät. Dies bedeutet, dass ein bestimmtes Element des Array-Detektors durch Strahlung von einem anderen Spektralbereich als des angegebenen kontaminiert wird. Der Grund für das Auftreten des Streulichts kann in verschiedenen Mechanismen liegen:

- » Streulicht vom Beugungsgitter wegen Fertigungsungenauigkeiten in der Form und dem Abstand der Linien oder der Rauigkeit der Oberfläche des Gitters,
- » höhere Beugungsordnungen, besonders für Detektoren mit einem weiten Spektralbereich,
- » Doppelbeugung des auf das Gitter rückreflektierten Lichtes,
- » Interreflexionen zwischen dem Detektor und anderen optischen Komponenten,
- » Reflexion und Streuung von Oberflächen, vor allem von der inneren Wand des Spektrographen,
- » Fluoreszenz von optischen Elementen,
- » und die Art und Weise, wie das Licht in das Spektralradiometer gekoppelt ist.

Die Gesamtmenge der gemessenen Strahlungsleistung beinhaltet also einen Anteil von Streulicht, der einen Fehler verursacht. Der Hauptansatz zur Verbesserung der radiometrischen Leistung der Spektralradiometer ist es das Streulicht durch designtechnische Maßnahmen zu vermeiden oder zumindest weitgehend zu unterdrücken. Danach noch verbleibendes Reststreulicht kann durch geeignete Mess- und Kalibrierverfahren effektiv korrigiert werden, z.B. nach der NIST Methode [1], die im Folgenden kurz skizziert wird.

\ \ 2. ERSTELLUNG UND ANWENDUNG DER STREULICHTMATRIX

Um Korrekturfunktionen zu berechnen ist eine genaue Kenntnis des Streulichtverhaltens des zur Messung eingesetzten Spektralradiometers über den kompletten detektierbaren Spektralbereich notwendig. Das komplexe Streulichtverhalten eines Array-Spektralradiometers kann nach [1] mit Hilfe von durchstimmbaren Laserquellen ermittelt werden. Die Idee ist, dass monochromatische 2 Strahlung im Wesentlichen einem bestimmten Pixel des Detektors zugeordnet werden kann. Das ganze Licht, das außerhalb der Bandpassfunktion für diese Wellenlänge gemessen wird, ist der Streulichtbeitrag des Pixels i , der von allen anderen Pixeln j im Detektor gesehen wird.

In praktischer Ausführung werden mit Hilfe eines OPO-Lasers Anregungswellenlängen innerhalb des Messbereichs des Spektralradiometers in 10 nm-Schritten durchgestimmt und dabei jeweils ein Spektrum aufgenommen. Die Gesamtheit aller detektierten Spektren über alle Anregungswellenlängen und geeignete Interpolation dazwischen ergeben eine gerätespezifische Matrix. Wird die Bandpassfunktion des echten Signals subtrahiert, erhält man eine Streulichtmatrix wie im Beispiel in der Abbildung 1 gezeigt. Diese wird bereits bei der Kalibrierung des Spektralradiometers mit dem Zubehör numerisch angewandt. Der Nutzer muss für die streulichtkorrigierten Messungen nur die entsprechende Kalibrierung laden und die Streulichtmatrix wird automatisch von der Software SpecWin Pro ab Version 3.1 auf die gemessenen Spektren angewandt. Für den Nutzer entstehen praktisch keine zusätzliche Messzeit und kein zusätzlicher Aufwand. Je nach Applikation, Lampenart und dem betrachteten Spektralbereich bringt eine Streulichtkorrektur von Array-Spektralradiometern kleinere oder größere Vorteile.

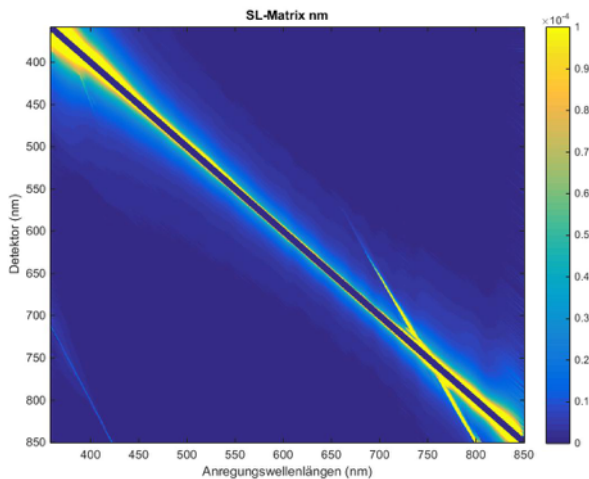


Abbildung 1: Typische Streulichtmatrix am Beispiel eines CAS 140CT (Modell VIS).

3. VORTEILE DER STREULICHTKORREKTUR BEI DER KALIBRIERUNG VON SPEKTRALRADIOMETERN

3.1 Genauere Vermessung von Spektrallinien

Um die Auswirkungen der Streulichtkorrektur auf eine Linienlampe zur Kalibrierung von Spektrometern zu untersuchen wurde eine HgAr-Lampe mit und ohne Streulichtkorrektur vermessen, wie in der logarithmischen Darstellung in der Abbildung 2 zu sehen. Insgesamt ist durch die Streulichtkorrektur ein niedrigeres Streulichtniveau festzustellen besonders um die Peaks im Bereich über 700 nm. Wie erwartet ist kein Einfluss der Streulichtkorrektur auf die Peak-Wellenlänge jeweiliger Spektrallinie zu erkennen. Bei einzelnen Linien wird die Schulter auf der linken Seite des Peaks durch die Korrektur eliminiert, wodurch sich die Schwerpunktwellenlänge um bis zu 0,1 nm verschiebt, insbesondere im roten Bereich des Spektrums. Durch die Streulichtkorrektur wird die Schwerpunktwellenlänge genauer bestimmt und wird fast identisch mit der Peak-Wellenlänge. Da die Linienlampen meistens für Wellenlängenkalibrierung von Spektralradiometern verwendet werden, erhöht sich die Wellenlängengenauigkeit entsprechend.

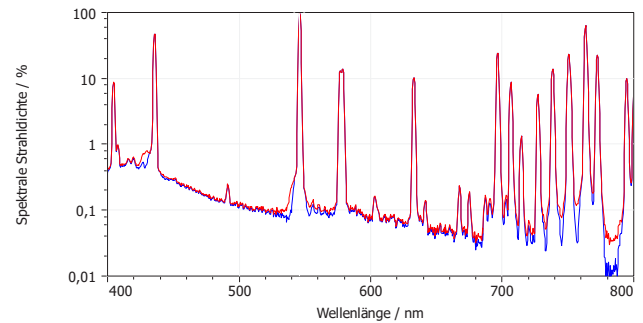


Abbildung 2: Spektrum einer HgAr-Linienlampe ohne (rot) und mit Streulichtkorrektur (blau).

3.2 Einfluss der Streulichtkorrektur auf Breitbandquellen zur spektralen Kalibrierung

Breitbandquellen wie Halogenlampen und Deuterium-Lampen werden üblicherweise für spektrale Kalibrierungen von Spektralradiometern verwendet. Der Einfluss der Streulichtkorrektur auf das Spektrum einer Breitbandquelle ist im UV- und IR-Spektralbereich besonders deutlich, weil der Detektor eines Array-Spektralradiometers an den Rändern nur noch eine sehr geringe Empfindlichkeit hat. Eine Streulichtkorrektur des für die Kalibrierung verwendeten Spektrums ist besonders sinnvoll, da sich durch das Teilen des Messspektrums durch das Referenzspektrum, insbesondere die Fehler in Bereichen geringerer Empfindlichkeit verstärken.

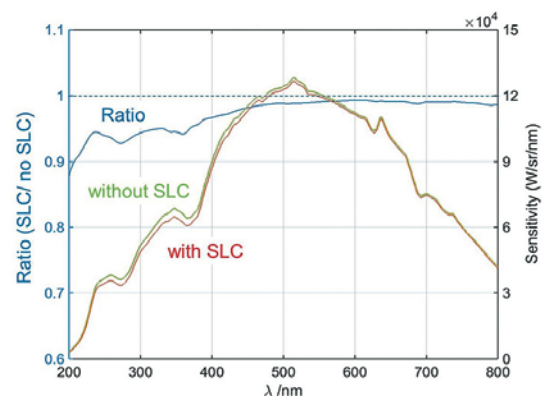


Abbildung 3: Sensitivitätskurven mit und ohne Streulichtkorrektur sowie das Verhältnis zwischen den beiden.

Wenn man das Verhältnis der Sensitivitäten mit und ohne Streulichtkorrektur nach der Kalibrierung vergleicht, erkennt man im Bereich unterhalb von 400 nm einen Streulichtanteil von etwa 10% (Abbildung 3). Eine Anhebung der Sensitivität um 10% in diesem Bereich der ohnehin geringen Sensitivität, wirkt sich direkt auf die absolute Genauigkeit aus. Von der Streulichtkorrektur profitieren also vor allem die Anwendungen, die auf der UV-Radiometrie basieren, wie z.B. Vermessung von UV-LEDs, Sonnensimulatoren oder Halogenlampen mit einem hohen UV-Anteil.

4. STREULICHTKORREKTUR IM UV-BEREICH

Der Ultraviolett-Bereich wird üblicherweise in UVA (320-400 nm), UVB (280-320 nm) und UVC (200-280 nm) aufgeteilt. UVA-Strahlung wird z.B. für die Härtung von Druckertinten, Klebstoffen und Beschichtungen verwendet. UVC-Strahlung wird beispielsweise für die Desinfektion und Wasserreinigung verwendet.

Abbildung 4 zeigt beispielhaft die Spektren einer UVA-LED ohne und mit Streulichtkorrektur in logarithmischer Darstellung. Die Unterdrückung des Streulichts im spektralen Verlauf um etwas mehr als eine Größenordnung im UV-Bereich auf fast 10^{-5} ist sehr deutlich zu erkennen. Darüber hinaus misst man bei Einsatz der Streulichtkorrektur in diesem Beispiel eine um etwa 3% genauere Strahlstärke. Der Einfluss der Streulichtkorrektur ist bei UVC-LEDs noch etwas größer, es wird fast das Streulichtniveau eines Doppelmonochromators erreicht und eine um etwa 4% genauere Strahlstärke (Abbildung 5). Während sich die Peak-Wellenlänge (257 nm) mit der Streulichtkorrektur gar nicht ändert, verschiebt sich die Schwerpunktswellenlänge um etwa 0,8 nm in Richtung der Peak-Wellenlänge.

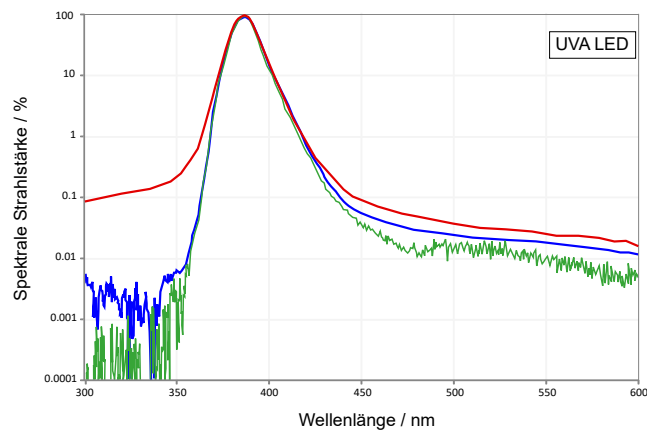


Abbildung 4: Logarithmische Darstellung der Spektren einer UVA-LED ohne (rot) und mit Streulichtkorrektur (blau) und gemessen mit einem Doppelmonochromator (grün).

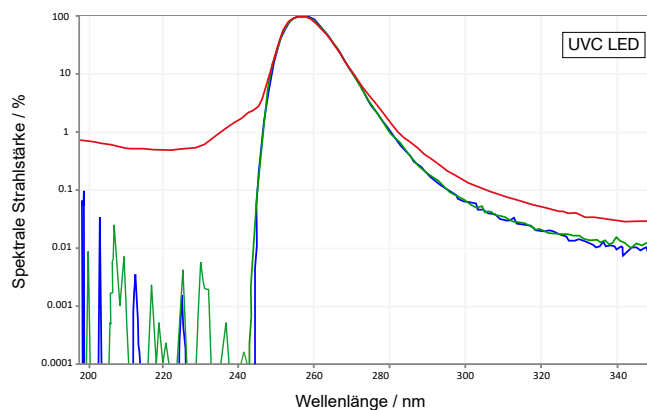


Abbildung 5: Logarithmische Darstellung der Spektren einer UVC-LED ohne (rot) und mit Streulichtkorrektur (blau) und gemessen mit einem Doppelmonochromator (grün).

Bei der Messung von UV-LEDs werden alleine schon aufgrund der streulichtkontaminierten Kalibrierung erhebliche Fehler bei der Bestimmung des absoluten Wertes gemacht. Die Streulichtkorrektur hat also als direkte Folge auch eine höhere Genauigkeit in der radiometrischen Bewertung. Davon profitieren alle Anwendungen, die auf UV-LEDs basieren, wie z.B. Härtung von Klebstoffen und Beschichtungen, Lithographie, Abtastköpfe, Gartenbauleuchtung, biomedizinische Geräte, Bekämpfung von Krankenhausinfektion, etc.

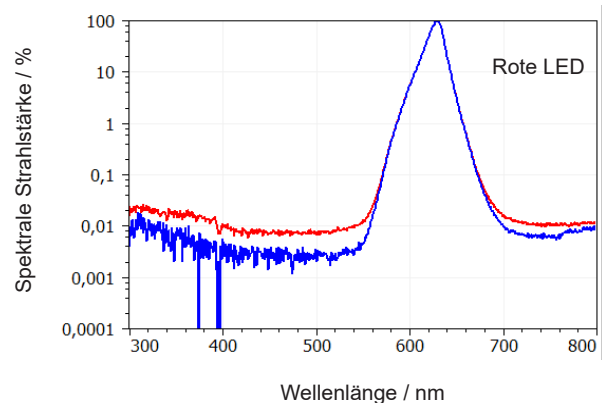
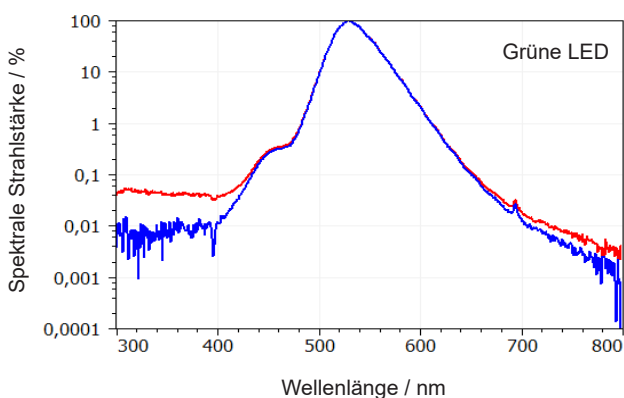
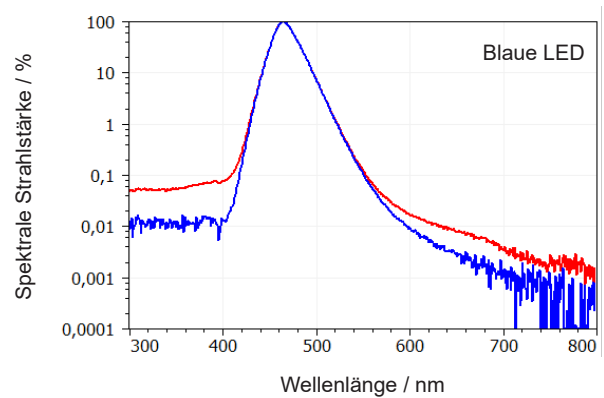
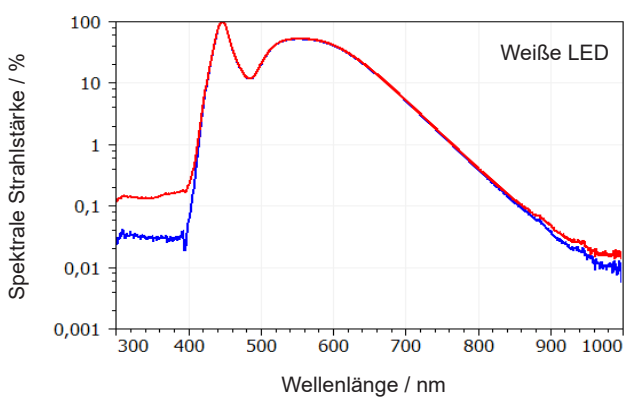
\ \ 5. EINFLUSS DER STREULICHT-KORREKTUR AUF DIE LED-MESSUNGEN

In der Abbildung 6 sind beispielhaft die Spektren von LED-Standards in Farben Weiß, Blau, Grün und Rot jeweils ohne und mit Streulichtkorrektur dargestellt. Bei den LED-Standards handelt es sich um stabilisierte und temperaturkontrollierte LEDs. Diese wurden in einem Lichtstärke-Messadapter in der I-LED-B Konfiguration mit einem Array-Spektralradiometer CAS 140 CT (UV-VIS-NIR) ohne und mit Anwendung der Streulichtkorrekturmatrix gemessen.

Durch die logarithmische Darstellung der Spektren wird der Einfluss der Streulichtkorrektur im Bereich der Flanken und des Signals um Null deutlich. In Bereichen

mit einem allgemein niedrigen Signal, besonders im blauen und UV-Bereich, wird das Streulichtniveau um bis zu eine Größenordnung korrigiert und erreicht ein Niveau von 10^{-4} bis $5 \cdot 10^{-5}$.

Der Einfluss der Streulichtkorrektur auf die x-, y-Farbkoordinaten mit bis zu 0,0005 ist nicht zu vernachlässigen, wenn man bedenkt, dass hochwertige Array-Spektralradiometer Messunsicherheiten von $\pm 0,002$ – $\pm 0,0015$ aufweisen und die LED-Industrie eine herausfordernde Toleranz von $\pm 0,001$ anstrebt. Daher ist jede Reduzierung der Messunsicherheit sehr willkommen.



▲
Abbildung 6: Logarithmische Darstellung der Spektren von weißer, blauer, grüner und roter LED ohne (rot) und mit Streulichtkorrektur (blau).

\ \ 6. PHOTOBIOLOGISCHE SICHERHEIT

Eine Anwendung, die besonders von der Streulichtkorrektur profitieren könnte, ist die Beurteilung der photobiologischen Gefährdung durch optische Strahlung, insbesondere die Betrachtung der Blaulichtgefährdung des menschlichen Auges. Unter Blaulichtgefährdung versteht man das potentielle Risiko einer photochemischen Schädigung der Netzhaut, ausgelöst durch Strahlung im Wellenlängenbereich 300-700 nm, mit größter Wirkung im Bereich zwischen 400 nm und 500 nm. Bisher wurden von der Norm EN 62471 komplexe und teure Doppelmonochromatoren als Messgeräte empfohlen, vor allem wegen des sehr niedrigen Streulichtniveaus. Das höhere Streulichtniveau im Bereich der größeren Wirkung im blauen und UV-Bereich kann eine nicht vorhandene Gefährdung vortäuschen. Mit der Korrektur des Streulichts kann man höhere Messgenauigkeit und Messdynamik in diesem Bereich erreichen. Durch die Streulichtkorrektur könnten die Array-Spektralradiometer eine bequemere und günstigere Alternative zu den Monochromatoren bei der Bestimmung der Blaulichtgefährdung werden.

\ \ BIBLIOGRAPHY

- [1] Yuqin Zong et al., *Simple spectral stray light correction method for array spectroradiometers*, *Appl. Opt.* 45, 1111-1119 (2006).



KONICA MINOLTA Group

Instrument Systems GmbH

Kastenbauerstr. 2

81677 Munich, Germany

ph: +49 (0)89 45 49 43-58

fax: +49 (0)89 45 49 43-11

info@instrumentsystems.com

www.instrumentsystems.com

We bring quality to light.