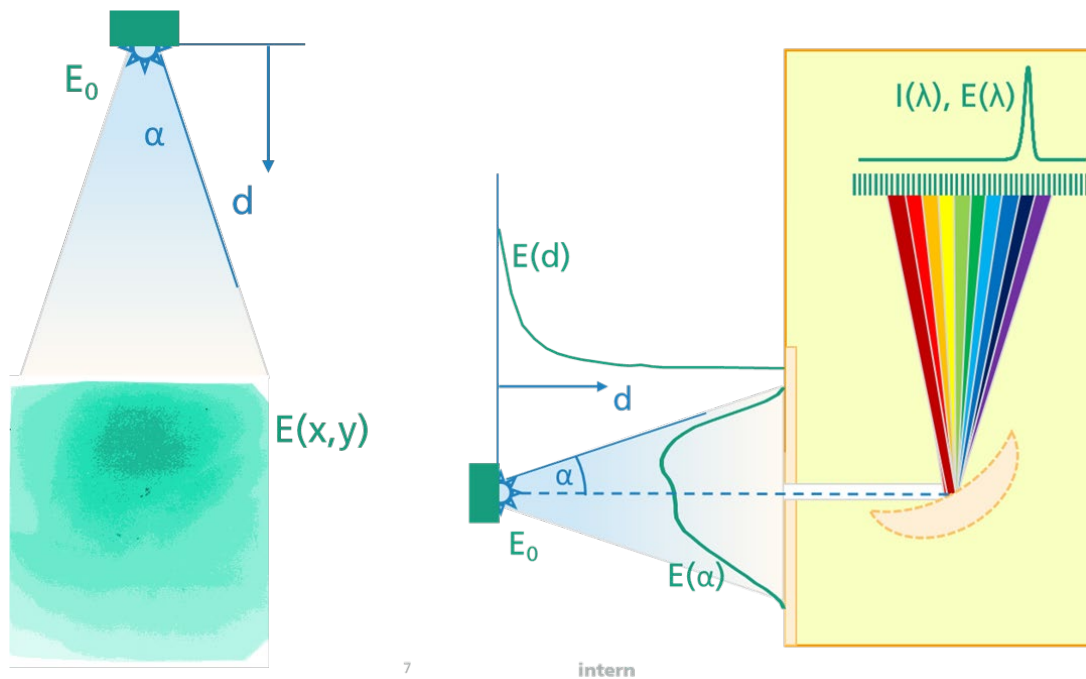


FACT SHEET CAMPUS UV-C, Nr. 3

Messtechnik für UV-C-Strahler

Ein Überblick



M.Eng. Jan-Hinnerk Henze, Dr. Jakob Barz
 Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB

Stuttgart, 09.02.2022

1 Aufgabenstellung

- Darstellung unterschiedlicher Messverfahren zur Bestimmung der Strahlungsparameter von UV-C-Leuchtkörpern.
- Aufzeigen von Einsatzbereichen, Vor- und Nachteilen, Genauigkeiten, Kalibrierungen, Automatisierung, Kosten.

2 Grundlagen

Die strahlungsphysikalischen Grundlagen sind ausführlich in der Literatur beschrieben. Für die einzelnen Messverfahren ergeben sich spezifische Eigenheiten, da eine direkte Messung des Photonenstroms zum jetzigen Stand der Technik nicht möglich ist. Es findet daher in der Regel eine Umformung in ein thermisches oder elektrisches Signal, einen chemischen oder biologischen Zustand statt, was in geeigneter Weise über Eichlampen und Referenzmessungen kalibriert werden kann.

3 Lösungsansatz

Zur Messung der strahlungsphysikalischen Größen stehen unterschiedliche Messtechniken zur Verfügung, die Stärken und Schwächen bezüglich der Datenerfassung zeigen. Eine sinnvolle Kategorisierung der Messverfahren kann in bildgebende und punktuelle Verfahren sein.

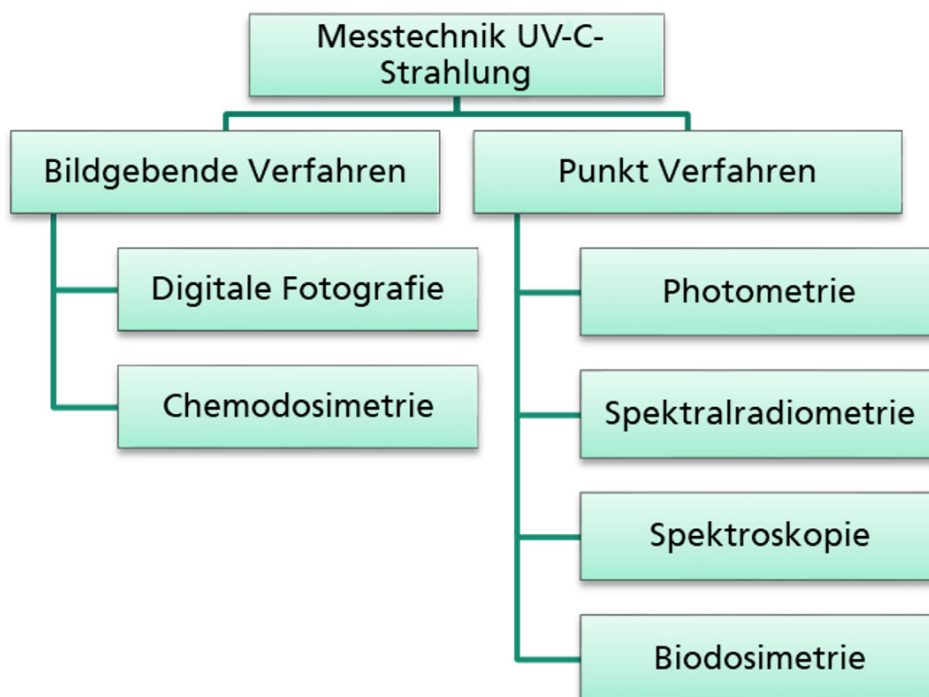


Bild 1: Übersicht der Messverfahren für UV-C-Strahlung.

Die Messtechniken ergänzen sich untereinander und können verschiedene Aspekte von UV-C-Strahlung erklären.

4 Ergebnisse

Zur Messung der optischen Parameter eines UV-C-Strahlers stehen verschiedene Messmethoden mit unterschiedlichen Qualitäten zur Verfügung. Eine Übersicht der Methoden geben die nachfolgenden Tabellen.

Tabelle 1: Eigenschaften bildgebender Verfahren.

	Digitale Fotografie	Chemodosimetrie
Einsatzbereiche	- Strahlungsprofile - Qualitätssicherung	- Strahlungsprofile - Bestrahlungsbestimmung - Qualitätssicherung
Sonden-Größe	mm bis dm	mm bis dm
Dynamik	10 ³	10 ²
Einheit / unterer Messbereich	($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) Emission	$\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Wellenlängenauflösung	-	-
Bildbereich	dm	dm
Ortsauflösung	μm	μm
Kalibrierung	Nur Ortsauflösung	Referenzlichtquellen
Vorteile	- Gute Ortsauflösung - Schnelle Messung	- Gute Ortsauflösung - Schnelle Messung - Messung an schwer zugänglichen Stellen
Nachteile	- Nur qualitative Aussagen - Teilweise Einsatz von Schirmen notwendig - Teilweise große Bauräume	- teure/aufwendige Bestrahlungskalibrierung - Verfallsdatum - geringer Dynamikbereich
Automatisierbarkeit	Mit Industriekameras gut automatisierbar	kaum automatisierbar
Kosten	500 € bis 10.000 €	> 2.500 €

Für nicht orts aufgelöste Methoden gibt es häufig die Möglichkeit, eine Ortsauflösung durch manuelle oder automatisierte Mappings, also strukturierte Sondenverschiebungen, durchzuführen. In der Praxis zeigt sich, dass Strahler sehr unterschiedlich sein können, so dass einheitliche Automatisierungslösungen schwer zu realisieren sind.

Bei Photometern handelt es sich um elektronische Geräte, die mit geeigneten Detektoren, meist Halbleiterdetektoren, ausgestattet sind.

Tabelle 2: Eigenschaften punktueller Messverfahren.

	Photometrie	Spektralradiometrie	Spektroskopie	Biodosimetrie
Einsatzbereiche	- Bestrahlstärkemessung	- Spektrale Bestrahlstärkemessung	- Bestimmung der Emissionswellenlängen und spektralen Eigenschaften	- Mikrobielle Wirksamkeit - Strahlungsindikator
Sondengröße	> cm	dm	mm	mm bis cm
Dynamik	10 ⁵	10 ⁵	10 ⁵	10 ⁶
Einheit / unterer Messbereich	pW/cm ² bis mW/cm ²	μW/cm ²	counts	LRF
Wellenlängenauflösung	-	nm	nm	-
Ortsauflösung	mm	mm	μm	cm
Kalibrierung	Eichlichtquellen	Eichlichtquellen	Eichlichtquellen	Referenzkeime
Vorteile	- Hohe Genauigkeit - Absolute Messwerte - Lange Lebensdauer der Sensorik	- Absolute spektral aufgelöste Bestrahlstärkemessungen	- Flexible Sondenführung - Spektrale Daten	- Ermittlung der biologischen Wirksamkeit
Nachteile	- Großer Detektorkopf - Geringe Ortsauflösung - Teure Kalibrierung	- Sondengröße - Geringe Ortsauflösung	- Schnell übersteuert - keine absolute Intensitätskalibrierung	- Aufwändige Kalibrierung - Geringe Haltbarkeit - Geringe Ortsauflösung
Automatisierbarkeit	Gut mit Verfahrenseinheiten automatisierbar	Bei vorhandenen Schnittstellen gut automatisierbar	Gut mit Verfahrenseinheiten automatisierbar	Prinzipiell automatisierbar, aber häufig nicht wirtschaftlich
Kosten	> 5.000 €	> 5.000 €	> 1.000 €	> 10.000 €

Es stehen eine Vielzahl an Filtern und Eingangsoptiken für Photometer zur Verfügung, um die Messung dem Emissionswellenlängenbereich, der erwarteten Bestrahlstärke oder geometrischen Randbedingungen des Strahlers anzupassen. Die Empfindlichkeit dieser Geräte ist sehr hoch. Photometer unterliegen wie alle anderen elektronischen Geräte einer gewissen Alterung, so dass diese durch zertifizierte Prüfstellen in regelmäßigen Abständen für die spezifizierten Wellenlängenbereiche und Bestrahlstärkeintervalle kalibriert werden müssen. Die Kalibrierung kann häufig durch die Prüflaboratorien der Gerätehersteller oder andere akkreditierte Prüflaboratorien erfolgen.

Die Messung mit Photometern sollte immer so erfolgen, dass die Sonde auf die Strahlquelle ausgerichtet ist. Für dreidimensionale Vermessungen führt dies automatisch dazu, dass die Winkelkoordinaten der Sonde oder des Strahlers miterfasst werden müssen, was die Komplexität des Systems stark steigern kann. Photometer sind Standardmessgeräte, wenn es darum geht, nachverfolgbare Messwerte zu generieren.

Bei Spektralradiometern handelt es sich um Spektrometer, welche wellenlängenabhängig intensitätskalibriert sind. Die Kalibration erfolgt entweder durch den Hersteller oder durch den Anwender mit entsprechenden Kalibrationslampen (Deuterium-Lampen bzw. Halogenstrahler).

Stand der Technik für die Vermessung der Abstrahlcharakteristik von LEDs bzw. LED-enthaltende Baugruppen sind Goniophotometer, die teilweise automatische Vermessung in einer Drehachse erlauben. Goniophotometer mit erweiterten Translationsachsen bieten zusätzlich eine flexible Alternative für komplexe Strahlungsgeometrien.

Bildgebende Verfahren können einen schnellen Überblick über das Strahlprofil von komplexen Strahlern oder deren Reflexionen liefern. Für die äußere Betrachtung können dabei UV-empfindliche Kameras eingesetzt werden. Die Chemodosimetrie bietet sich hingegen insbesondere für Messbereiche an, in denen optische oder elektronische Sonden aufgrund ihrer Bauart nur schwer oder gar nicht positioniert werden können. Die Chemodosimetrie greift hauptsächlich auf UV-induzierte Farbstoffreaktionen zurück, die im Anschluss quantifiziert werden.

Biodosimetrie ist ein Verfahren, das quantitative Aussagen über die biologische Wirksamkeit zulässt, was sonst kein anderes Verfahren liefert. Die Biodosimetrie ist eher als Überbegriff zu verstehen, da sich hier unterschiedlichste Mikroorganismen mit eigenen Wirkungskurven verbergen, die mit oder ohne festen Träger in das System eingebracht werden können.

In den Fraunhofer-Instituten des UV-C-Campus werden folgende Messgeräte für die UV-C-Aufklärung verwendet:

Tabelle 3: Übersicht der vorhandenen Messmethoden am UV-C-Campus.

Photometer:

- ILT 1700 Research Radiometer mit SED 240 UV-Messkopf(International Light Technologies)
- Optometer X1 mit UV-C Messkopf (Gigahertz Optik GmbH)
- UV-Meter mit UV-A, UV-B, UV-C Messkopf (Dr. Hönle Ag)
- Peaktech 5085 mit UV-A, UV-B Messkopf (PEWA Messtechnik GmbH)

Spektrometer:

- USB 2000 UV bis NIR Spektrometer (früher: OceanOptics Inc., heute: Ocean Insight Inc.)

Spektroradiometer:

- Goniospektroradiometer GL SPECTIS 4.0 (GL Optic)
- UlbrichtKugel mit Spektroradiometer SR3501 (Spectral Evolution Inc.)

Chemodosimetrie:

- UVSCALE mit Auswertungszubehör (Fujifilm Inc.)
- Chemische Aktinometrie

Biodosimetrie:

- Reduktionsversuche mit Bakterien & Pilze bis L2 / (S2) = Risikogruppe 2
- Prüfung photokatalytischer Oberflächen mit Bakterien / Pilze
- Mikroskopische Untersuchungen von Mikroorganismen (in Kombination mit Färbungen)
- Biofilm-Untersuchungen (Biofilm-Coupons, CDC-Bioreactor, Flow-Cell)

5 Referenzen

1	DIN EN 13032-1: Licht und Beleuchtung – Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten – Teil 1: Messung und Datenformat; Deutsche Fassung EN 13032-1:2004+A1:2012.
2	Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung. GMBI. 2013, S. 1325 [Nr. 65–67]. korrigiert: GMBI 2014, S. 630 [Nr. 28/29].
3	DIN EN 5031-11: Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik – Teil 11: Radiometer zur Messung aktinischer Strahlungsgrößen – Begriffe, Eigenschaften und deren Kennzeichnung.
4	DIN/TS 67506:2022-02; Entkeimung von Raumluft mit UV-Strahlung – UV-C-Sekundärluftgeräte.
5	DIN 5032-9; Lichtmessung – Teil 9: Messung der lichttechnischen Größen von inkohärent strahlenden Halbleiterlichtquellen.

6 Bearbeiter, Ansprechpartner

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen und
Bioverfahrenstechnik IGB

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Kontakt:
Dr. Jakob Barz

jakob.barz@igb.fraunhofer.de