

Farb- und Reflexionsmessungen

Radiometrie versus Photometrie

Die *Radiometrie* ist die Wissenschaft bzw. Technologie die sich mit dem Messen der elektromagnetischen Strahlung des gesamten elektromagnetischen Spektrums beschäftigt, wohingegen die *Photometrie* nur dessen sichtbaren Bereich abdeckt. Analog dazu messen die Spektroradiometrie und die Spektrophotometrie die spektrale Komposition der elektromagnetischen Wellen wobei die Spektrophotometrie wiederum nur den sichtbaren Bereich behandelt.

Farbmessung ist für viele Anwendungen wichtig, z.B. für die Textil-, Papier-, Leder-, Farb-, Grafikindustrie und viele mehr. Sie ist nicht einfach, nicht billig, aber standardisiert.

Spektroradiometrische Standards

Für genaue Messungen wird eine Referenz benötigt, diese kann eine definierte Lichtquelle, ein Detektor oder eine Oberfläche zum Kalibrieren sein. Wobei das Verhalten genau bekannt sein muss.

Schwarzkörper und Referenzlampen sind die zwei definierten Lichtquellen-Standards, d.h. die zwei Basistypen von Strahlungsstandards.

Schwarzkörper

Schwarzkörper-Standards besitzen den Vorteil, dass das ausgestrahlte Spektrum genau bekannt ist. Der Nachteil dagegen ist, die genaue Temperatur konstant halten zu müssen. Dazu wird zusätzliche Energie benötigt, um Materialien flüssig zu bekommen, (kann aber nicht heißer werden als der Schmelzpunkt); der umgekehrte Fall ist zwar leichter, dafür aber aufwendiger (mind. 2500°K). IR Geräte dieser Art existieren.

Referenzlampen

Referenzlampen sind praktischer als Schwarzkörper, da von diesen die spektrale Energieverteilung bekannt und standardisiert ist. Sie haben eine definierte Anzahl an Betriebsstunden und sind nach ganz genauen Kriterien gebaut, um sicher zu stellen, dass alle genau gleich sind.



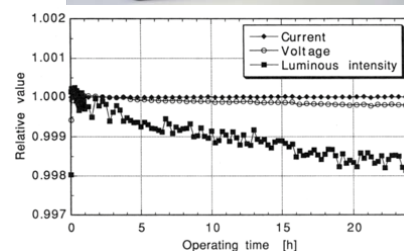
NIST FEL Standard Lampe

Die NIST FEL Lampe ist der Standard unter den Referenzlampen für Derivate. Sie ist sehr teuer und großteils aus Punktlichtquellen. Aus diesem Grund sind *Viewing Booths* nötig, um eine kontrollierte Seh-Umgebung herzustellen und das Licht einer Lampe (typischerweise D65, A, F, ...) gleichmäßig auf eine größere Fläche verteilen zu können.



Lampenalterung

Eine normale Glühlampe verliert während der ersten 10% der Lebensspanne 10% an Leuchtkraft. Diesen Unterschied erkennt man mit dem bloßen Auge kaum!



Reflexionsstandards

Es gibt zwei Arten an Reflexionsstandards für reflektierende Objekte, den **Transfer-Standard**, um die Kalibrierung mehrerer Geräte untereinander zu ermöglichen (eindeutig, was rauskommt) und den **Working-Standard**, um ein Gerät zu kalibrieren (Gerät immer in den selben Zustand bringen).

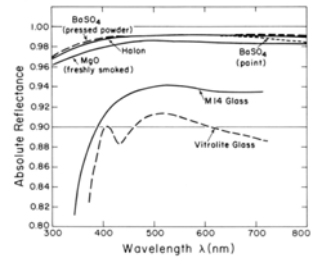
Die Anforderungen an reflektierende Objekte für die Kalibrierung von Instrumenten erfordert:

- mechanische Robustheit
- stabil gegenüber Umgebungsfarben
- uniforme und lichtundurchlässige Fläche
- leicht zu reinigen
- im sichtbaren Bereich eine gleichmäßige Qualität bzgl. der spektralen Reaktion
- funktioniert unter verschiedenen Umständen (Temperatur, Höhenmeter...)
- keine fluoreszierende Effekte

Weiß und Weiß-Standards

Weiß reflektiert 100% der Fläche, besitzt eine hohe Leuchtkraft und einen Reinheitsgrad von Null. Weiß hängt von den Beleuchtungsumständen und der Umgebung ab. Die theoretisch ideale Definition von Weiß ist, wenn Licht perfekt verbreitet wird und ein Reflektionsspektrum von 1 beträgt, doch dieses existiert in der Realität nicht.

Weiß-Standards wären Magnesiumoxid MgO, Bariumsulfate BaSO4, Polytetrafluoethylene (RTFE), Keramikfliesen uvm. Die CIE Weiße ist definiert mittels einer spezieller Formel $W=Y+800(0.3138-x)+1700(0.3310-y)$.



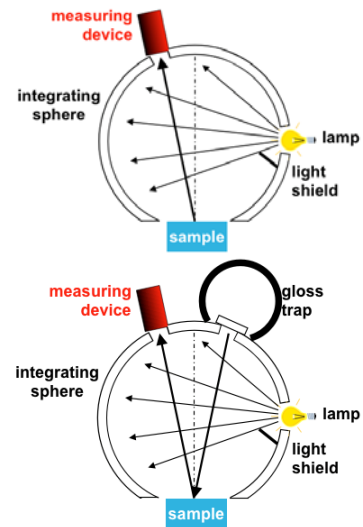
Farbreflexionsstandards

Farbreflexionsstandards dienen der absoluten Kalibrierung von neuen Geräte. Ein alter Standard sind die NPL Keramikfliesen. Die Gretag-Macbeth Color Checker Farbtafel mit 24 Feldern (18 Farben, 6 Grau) ist der neue Farbreflexionsstandard.



Der Versuchsaufbau zur Konfiguration einer Farbmessung erfolgt in einer Kugel, die mit weiß-diffusem Material ausgekleidet ist. Eine Lichtquelle strahlt gleichmäßig in alle Richtungen und nicht direkt auf das Messobjekt, welches das eintreffende Licht misst. Das Problem ist, dass die meisten Objekte (außer Kreide) zumindest geringfügig spiegeln, deshalb muss die Spiegelung über ein Loch absorbiert werden. So wird der Aufbau einmal mit Spiegelung $P_1(\lambda)$ und einmal ohne Spiegelung $P_2(\lambda)$ durchgeführt. Der Glanz wird dann aus folgendem berechnet:

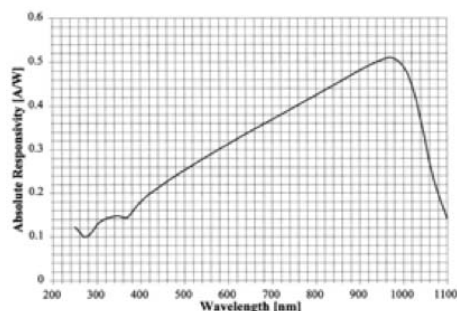
$$gloss(\lambda) = \frac{P_1(\lambda) - P_2(\lambda)}{P_1(\lambda)}$$



Die benötigten Hauptkomponenten für das Design für Spektroradiometer sind zuverlässige Lichtquellen und Sensoren, die hinstrahlende Intensität der Wellenlängen misst.

Silizium-Photodioden

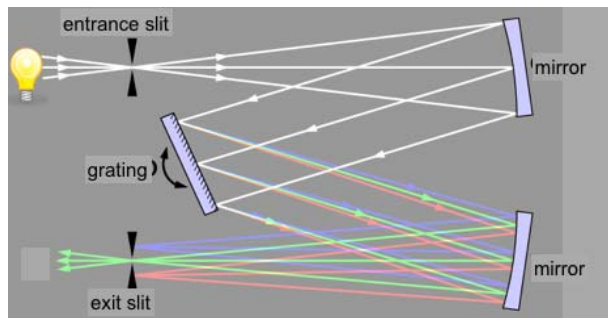
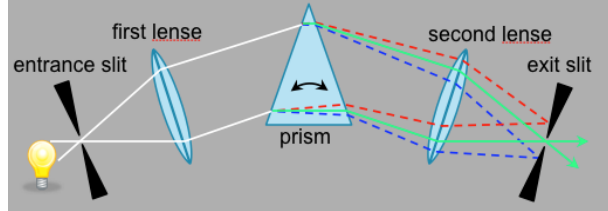
Photorezeptoren auf Silizium-Basis (Photodioden) sind die meist-verwendeten lichtsensiblen Elemente in radiometrischen und photometrischen Instrumenten. Bestimmte Wellenlängen erzeugen beim Auftreffen einen gewissen Strom, d.h. für jede Wellenlänge schlägt eine bestimmte Strommenge aus und wird einer Farbe zugewiesen (Ampere/Watt als absoluter Wert).



Monochromatoren

Monochromatoren erzeugen monochromes Licht, dazu zählen:

- **Filter** lassen nur eine bestimmte Wellenlängen durch und sind unflexibel.
- **Laser** verhalten sich ähnlich wie Filter und sind ebenfalls unflexibel und teuer.
- **Prismen** Monochromatoren spalten das Licht in Spektralfarben (Regenbogen) auf und lassen nur gewisse Wellenlängen durch ein winziges Loch. Jede Wellenlänge wird auf eine andere Position am Ausgangspalt fokussiert. Die durchgegangenen Wellenlängen sind vom Rotationswinkel des Prismas abhängig.
- **Beugungsgitter** (Grating Monochromator) verhalten sich ähnlich wie Prismen. Jede Wellenlänge wird auf eine andere Position am Ausgangspalt fokussiert. Die durchgegangenen Wellenlängen sind vom Rotationswinkel des Gitters abhängig.



Spektrophotometer bzw. Spektroradiometer



Spektrophotometer bzw. Spektroradiometer erzeugt zuerst Licht, darauf folgt die Monochromatisierung und dann die Messung. Professionelle Spektrophotometer schaffen einen Bereich von 380nm bis 780 nm mit einem Durchschnitt von 10nm Auflösung und besitzen zwei Beugungsgitter. Solche Geräte schaffen es, fluoreszierende Effekte zu eliminieren.



Ein Chromameter dagegen schickt mit einem Diffusor Licht über drei Photozellen, die mit CIE XYZ-verwandten Filtern bedeckt sind und misst im wesentlichen die XYZ Werte. In Gebrauch für die industrielle Qualitätskontrolle, um Farbunterschiede zu finden, obwohl das Gerät Farben nicht absolut und komplett beschreiben kann.