

Die Photometrie bezeichnet Messverfahren im Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichts.

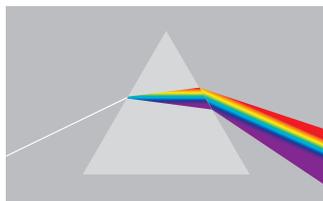
Ohne Grundkenntnisse über Licht und Farbe ist es daher schwierig, die Photometrie zu begreifen, und umgekehrt.

Dispersion und Brechung von Licht

Die Eigenschaften von Licht und Farbe haben schon immer den Menschen fasziniert.

Bereits im 17. Jahrhundert ordnete der niederländische Physiker Christiaan Huygens dem Licht eine Wellennatur zu. Im 19. Jahrhundert untermauerten die Theorien des Physikers James Clerk Maxwell die Annahme, dass sich Licht als elektromagnetische Welle fortbewegt.

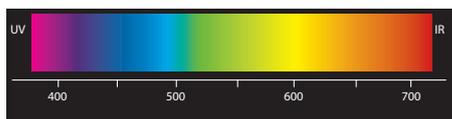
Isaac Newton beschrieb wiederum Anfang des 18. Jahrhunderts in seinem Buch "Optik" erstmals das Phänomen der Dispersion. Schickt man weißes Licht durch ein Prisma, werden die verschiedenen Lichtwellenanteile an den beiden Grenzflächen zweimal gebrochen. Kurzwelliges Licht wird generell stärker gebrochen als langwelliges, daher kann mithilfe eines Prismas weißes Licht in seine Wellenanteile zerlegt werden.



Kurzwelliges Licht (z.B. violett) bricht sich am Prisma stärker als langwelliges (z.B. rot) (Dispersion)

Albert Einstein behauptete 1905, dass Licht neben seiner Wellennatur auch Teilchencharakter besitzen muss. Für dieses Phänomen prägte Niels Bohr den Begriff der Komplementarität.

Heutzutage weiss man, dass die Wellenlänge des für uns sichtbaren Lichts zwischen 400 und 770 nm liegt. Man spricht vom optischen Spektrum. Das optische Spektrum selbst wiederum ist aus verschiedenen elektromagnetischen Wellen zusammengesetzt, die in unserem Auge unterschiedliche Wahrnehmungen erzeugen.



Das optische Spektrum

Farbwahrnehmung

Treffen Lichtwellen auf einen Gegenstand, so werden sie sowohl absorbiert als auch in alle Richtungen gestreut.

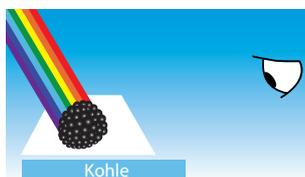
Unsere Farbwahrnehmung kommt durch das gestreute Licht zustande. So erscheint uns ein Gegenstand deshalb gelb, weil er in der Mitte gelbes, auf der einen Seite rot-oranges und auf der anderen Seite grünes Licht streut, während er bläuliches Licht absorbiert.



Der Apfel erscheint uns grün, weil er nur grüne Lichtwellen streut.



Die Orange erscheint uns orange, weil sie nur orange Lichtwellen streut.



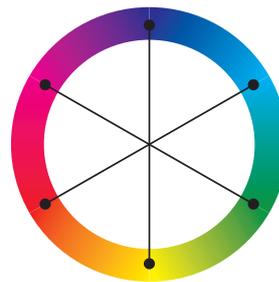
Ein schwarzer Gegenstand absorbiert alle Lichtwellen, streut jedoch kein Licht.



Ein weißer Gegenstand streut alle Lichtwellen.

Ein Gegenstand kann mehrere Lichtwellen absorbieren und nur eine Lichtwelle streuen. So erscheint ein Gegenstand, der gleichzeitig blaue und rote Lichtwellen absorbiert, grün, da er nur grüne Lichtwellen streut. Ein Gegenstand kann auch alle Lichtwellen streuen. Dies ist der Fall bei Gegenständen wie Glas, Wasser oder Quarz, die wir als transparent wahrnehmen.

Die wahrgenommene Farbe eines Gegenstandes entsteht folglich durch die Mischung nicht absorbierter Farben bzw. Lichtwellen. Zu jeder wahrgenommenen Farbe gibt es komplementär eine absorbierte Farbe bzw. Lichtwelle. Stellt man die wahrgenommenen Farben in einem Farbkreis dar, so stellt man fest, dass sie ihrer Komplementärfarbe gegenüberstehen.



Farbe - Komplementärfarbe

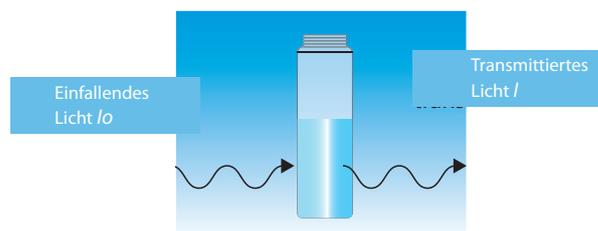
Wellenlänge (nm)	Farbe	Komplementärfarbe
400-435	Violett	Grün-gelb
435-480	Blau	Gelb
480-490	Blau-grün	Orange
490-500	Grün-blau	Rot
510-560	Grün	Purpur
560-580	Grün-gelb	Violett
580-595	Gelb	Blau
595-610	Orange	Blau-grün
610-750	Rot	Grün-blau

Die Photometrie

Die Photometrie wird vor allem bei der Analyse von Trink- und Abwasser angewandt. Sie basiert auf dem zuvor beschriebenen Prinzip: die Farbe einer Substanz entsteht durch Absorption und Streuung elektromagnetischer Lichtwellen.

Das im Wasser enthaltene zu messende Ion reagiert mit einem Reagenz durch Bildung eines Farbkomplexes. Die Intensität dieser Färbung steht in direktem Zusammenhang mit der Ionen-Konzentration.

Fällt ein Lichtstrahl einer bestimmten Wellenlänge (der der Komplementärfarbe) und einer Intensität I_0 auf eine farbige Messprobe, wird ein Teil der Strahlung durch die Moleküle der Messprobe absorbiert, und eine Strahlung einer Intensität I (niedriger als I_0) transmittiert.



Photometrie

Das Lambert-Beer'sche Gesetz gibt die absorbierte Strahlung (Absorption) wie folgt wider:

$$\text{Absorption } A = -\log I_0/I$$

wobei

I_0 = Intensität des einfallenden Lichts

I = Intensität des transmittierten Lichts (nach Absorption)

Die Absorption definiert sich folglich:

$$A = \epsilon \lambda \cdot c \cdot d$$

wobei

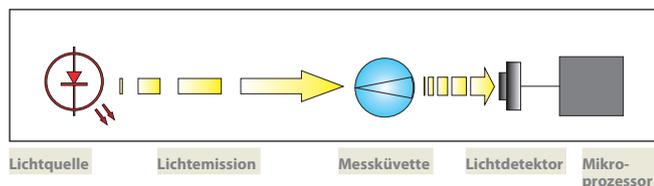
$\epsilon \lambda$ = Molarer Extinktionskoeffizient der Substanz bei der Wellenlänge λ

c = Molarkonzentration der Substanz

d = Schichtdicke der Küvette

Da $\epsilon \lambda$ und d bekannt sind, kann die Konzentration "c" anhand der Lichtintensität I der transmittierten Strahlung der Messprobe bestimmt werden.

Das Photometer misst die Lichtintensität des Lichtstrahls nach Durchqueren der Messküvette.



Eine monochromatische Leuchtdiode oder eine Wolfram-Lampe (Weißlicht) mit Engband-Interferenzfilter erzeugen einen Lichtstrahl mit bekannter Wellenlänge und bilden die Lichtquelle des Messsystems mit einer Lichtintensität I_0 . Da eine Substanz immer die Komplementärfarbe der emittierten Farbe absorbiert, gibt das Gerät Licht ab, dessen Farbe komplementär zur Färbung der Messprobe ist.

Die Photozelle misst die Intensität I der transmittierten Strahlung nach Absorption und konvertiert diese in ein elektrisches Signal in mV. Der Mikroprozessor berechnet mithilfe eines Algorithmus die dem Potential entsprechende Ionenkonzentration und zeigt das Ergebnis in mg/l oder $\mu\text{g/l}$ an.

Tipps für genaue Messungen

Messvorgang

Der Messvorgang erfolgt in zwei Etappen. In einer ersten Etappe ist ein Nullabgleich durchzuführen, in einer zweiten Etappe erfolgt die eigentliche Messung.

Zur Durchführung des Nullabgleichs Messküvette mit Messprobe füllen und in den Messschacht des Photometers setzen, anschließend die ZERO-Taste drücken. Der Nullabgleich stellt sicher, dass nur die Extinktion des gebildeten Farbkomplexes und nicht die Grundextinktion der ungefärbten Probe und des Küvettenmaterials gemessen wird.



Prüf- und Kalibrierfunktion

Viele Photometer von HANNA instruments verfügen über eine Prüf- und Kalibrierfunktion. Diese ermöglicht dem Anwender, die interne Elektronik des Gerätes zu überprüfen und gegebenenfalls eine Neukalibrierung vorzunehmen. Prüfung und Kalibrierung des Gerätes erfolgen mithilfe von NIST*-Standards. Für genaue und reproduzierbare Messwerte wird eine monatliche Kalibrierung empfohlen.

* NIST: National Institute of Standardisation

Vorbereitung der Messprobe

Um genaue Messungen zu gewährleisten ist die Entnahme einer aussagekräftigen Probe erforderlich. Desweiteren ist die Messung schnell bzw. direkt nach der Probenentnahme durchzuführen, um eine Kontamination oder Reaktion der Probe zu vermeiden.

Suspendierte Partikel können zu Interferenzen führen. Sie sind durch Filtrierung oder Behandlung mit Aktivkohle zu entfernen.

Luftbläschen können die Messergebnisse fälschen. Sie wirken wie kleine Linsen auf das einfallende Licht und sind daher zu entfernen durch sorgfältiges Hin- und Herkippen der Küvette oder leichtes Klopfen auf die Küvette.

Für reproduzierbare und vergleichbare

Messergebnisse ist letztendlich eine genaue

Dosierung der Messprobe entscheidend. Hierbei muss

der Meniskus der Probe genau an der Füllmarkierung

der Messküvette liegen (siehe Abbildung).



Die Messküvette

Bei der Messung spielt die Messküvette aus Glas eine entscheidende Rolle, da in der Photometrie die Intensität des Lichtstrahls nach Durchqueren der Messküvette gemessen wird.

Infolgedessen ist die Messküvette stets sauber zu halten, ohne Fingerabdrücke und Kratzer. Eine verschmutzte Messküvette kann unerwünschte Lichtreflexionen oder -absorptionen herbeiführen, die Messungen beeinträchtigen.

Die optische Qualität von Mess- und Blindprobenküvette muss identisch sein.

Es wird empfohlen, die Messküvette stets mit ihrem Deckel zu schliessen, um jegliche Kontamination oder Evaporation von Substanzen zu vermeiden. Der Küvettendeckel verhindert auch das Eindringen von externem Licht während des Messvorgangs. Letztendlich sollte der Küvettendeckel stets gleich fest aufgeschraubt werden.

Die Temperatur

Die Temperatur von Messprobe und Reagenzien kann die Färbung und somit die Messergebnisse beeinträchtigen. Liegt die Temperatur der Messprobe unter 15°C, sind die Messergebnisse meist zu niedrig. Liegt die Temperatur der Messprobe über 30°C, ist die Färbung nicht stabil. Die ideale Temperatur von Messprobe und Reagenzien entnehmen Sie bitte der jeweiligen Bedienungsanleitung.

Die Reaktionszeit

Die Reaktionszeit unterscheidet sich je nach Parameter oder Testart. Grundsätzlich sollte nach Zugabe des Reagenz eine Dauer von 60 Minuten nicht überschritten werden. Die genaue Reaktionszeit eines Tests ist aus der jeweiligen Bedienungsanleitung zu entnehmen. Viele Geräte verfügen über einen integrierten Timer, der je nach Test automatisch die bis zur Reaktion erforderliche Zeit anzeigt.