

Fotometrie 1

Herleitung des Absorptionsgesetzes

Der deutsche Ingenieur J.H. Lambert (1728-77) untersuchte, wie Licht beim Durchtreten von transparenten Körpern geschwächt wird.

Eine Strahlungsquelle mit der Strahlungsleistung $P_0 = 100\%$, durchstrahlt nacheinander 5 transparente Körper gleicher Art. Jeder Körper schwächt das Strahlenbündel mit der Ausgangsleistung von 100% um jeweils 25% .

Wie groß ist die verbleibende Strahlungsleistung des Strahlenbündels nach der Passage des 5. Körpers?

Es bestehen verschiedene mathematische Wege zur Lösung der Fragestellung.

A) Berechnung der verbleibenden Strahlungsleistung mit Hilfe der Gleichung für die Durchlässigkeit (D) bzw. Transmission.

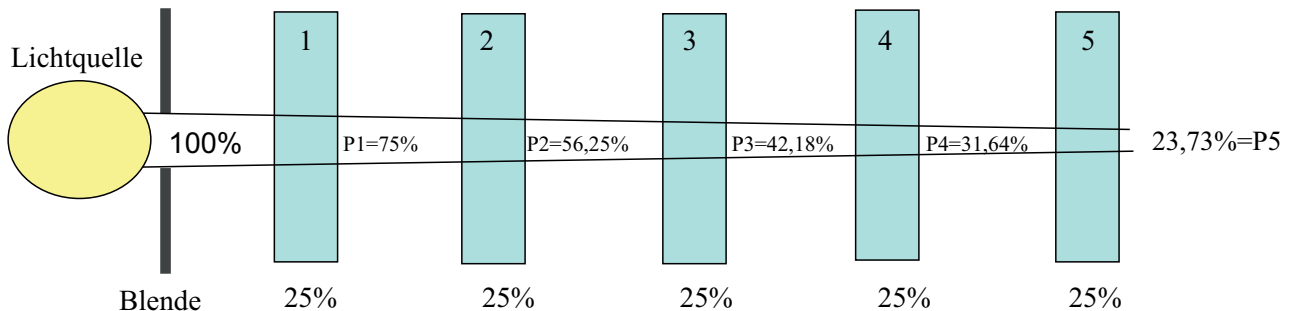
$$D = \frac{P}{P_0} 100\%$$

Da die verbleibende Strahlungsleistung (P) gesucht ist, muss die Gleichung für die Durchlässigkeit nach (P) umgestellt werden. $D = 75\%$

$$P = \frac{D \cdot P_0}{100\%}$$

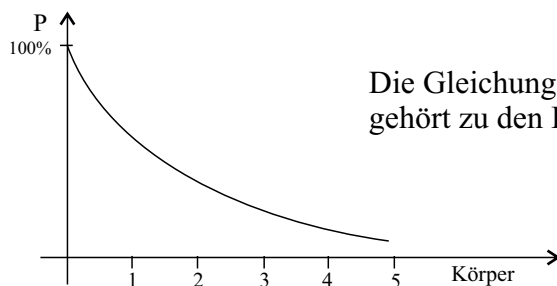
Die Grafik visualisiert den Verlauf der Lichtschwächung durch fünf transparente Körper

Die Durchlässigkeit (Transmission) beträgt stets 75% des einfallenden Lichtes. Die Absorption beträgt stets 25% .



Berechnung der verbleibenden Lichtstrahlung in Prozent

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{75\% \cdot 100\%}{100\%} & P_2 &= \frac{75\% \cdot 75\%}{100\%} & P_3 &= \frac{75\% \cdot 56,25\%}{100\%} & P_4 &= \frac{75\% \cdot 42,18\%}{100\%} & P_5 &= \frac{75\% \cdot 31,64\%}{100\%} \\ P_1 &= 75\% & P_2 &= 56,25\% & P_3 &= 42,18\% & P_4 &= 31,64\% & P_5 &= 23,73\% \end{aligned}$$



Die Gleichung, die das Absorptionsgesetz beschreibt, gehört zu den Exponentialfunktionen und lautet:

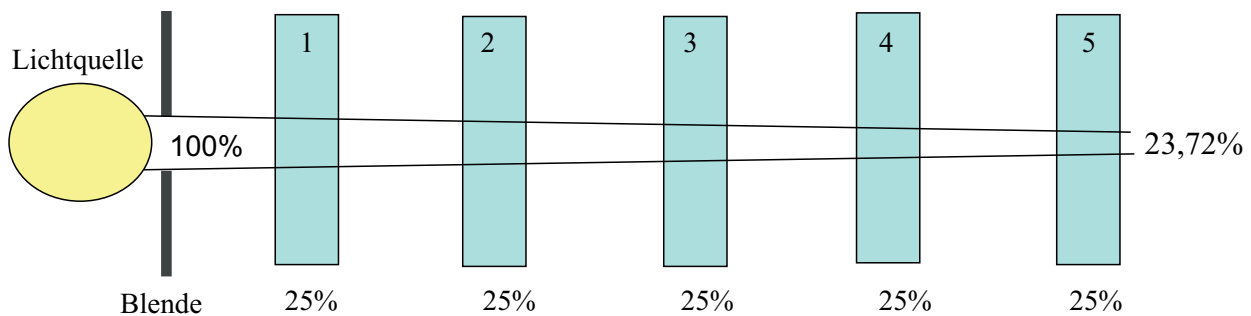
$$P(x) = P_0 e^{-kx}$$

Fotometrie 2

Messgröße für die Schwächung der Strahlungsleistung ist nicht der zurückgehaltene Teil der Strahlung, sondern der verbleibende Teil der Ausgangsstrahlung. Aus diesem Grunde wurde/wird die Messgröße als Extinktion (extinguere, lat. auslöschen) bezeichnet. Richtiger ist es jedoch, die Gleichung die das Absorptionsgesetz beschreibt, auch mit (A) für Absorption darzustellen.

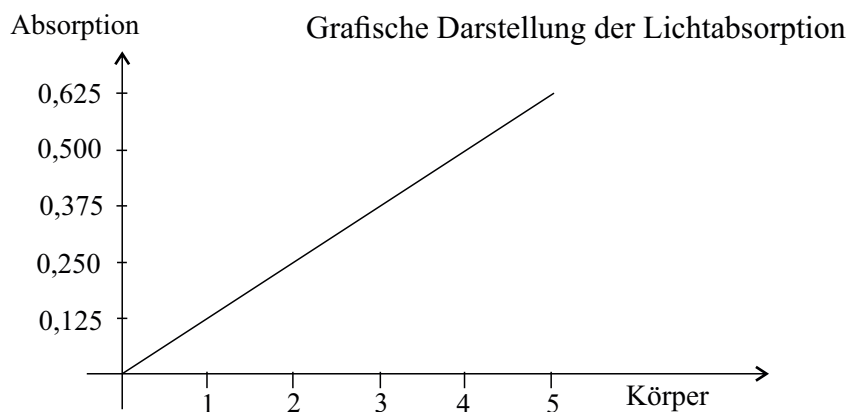
Der deutsche Mathematiker A. Beer (1825-63) entwickelte aus den von Lambert erkannten Gesetzmäßigkeiten der Lichtabsorption des Lambert- Beer-Gesetz.

Die Absorption der Lichtstrahlung kann nach folgender Gleichung berechnet werden: $A = \lg \frac{P_0}{P}$

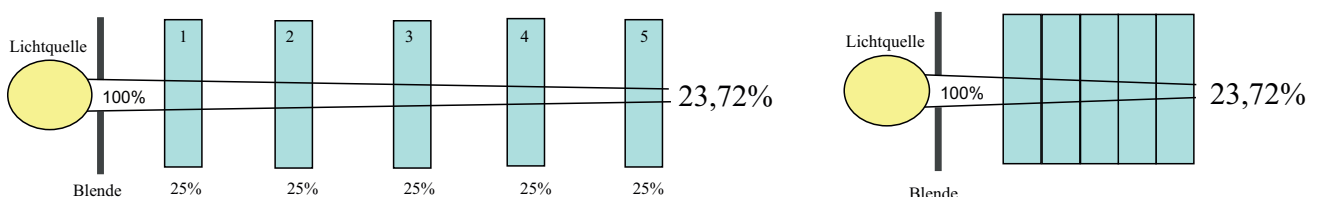


P_0 ist immer die Strahlungsleistung, die auf den zu durch strahlenden Körper trifft. Diese Ausgangsstrahlungen wurden mit der Durchlässigkeit errechnet und betragen 75%, 56,25%, 42,18%, 31,63% und 23,72%.

$A_1 = \lg \frac{100\%}{75\%}$	$A_2 = \lg \frac{75\%}{56,25\%}$	$A_3 = \lg \frac{56,25\%}{42,18\%}$	$A_4 = \lg \frac{42,18\%}{31,63\%}$	$A_5 = \lg \frac{31,63\%}{23,72\%}$
$A_1 = \lg 1,33$	$A_2 = \lg 1,33$	$A_3 = \lg 1,33$	$A_4 = \lg 1,33$	$A_5 = \lg 1,33$
$A_1 = 0,125$	$A_2 = 0,125$	$A_3 = 0,125$	$A_4 = 0,125$	$A_5 = 0,125$



Mit seinen Experimenten konnte Lambert beweisen, dass 5 transparente Körper dieselbe Schwächung des Lichtes erzeugen, wie ein Körper mit der selben Beschaffenheit von 5facher Größe.

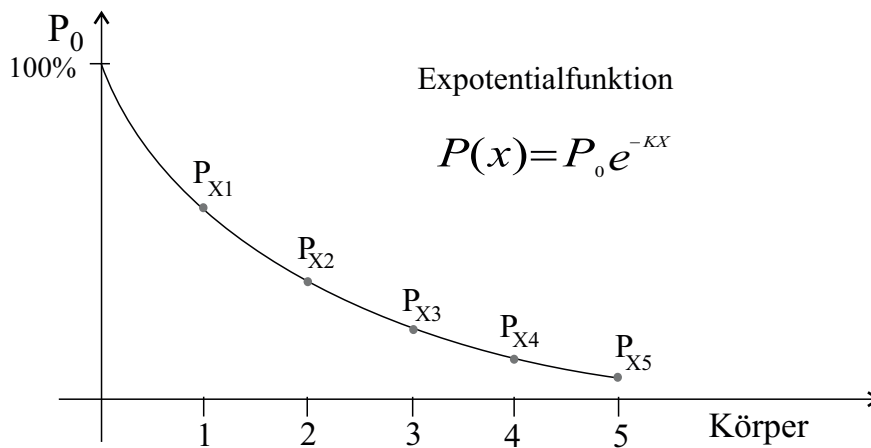


Lambert konnte beweisen, dass die Schwächung des Lichts mit der Schichtdicke (d) korreliert.

Fotometrie 3

Das Lamert-Beer-Gesetz

Darstellung der exponentiellen Schwächung der Leistung (P) des Lichtes beim Durchtreten von 5 transparenten Körpern des selben Typs.



Mit der dem Gesetz der Lichtabsorption zugrundeliegenden Funktionsgleichung kann die Schwächung der Lichtleistung (Absorption) am Ort (x) berechnet werden. Die Schwächung der Leistung (P) am Ort (x) ist gleich der Ausgangsleistung (P_0) multipliziert mit der Eulerschen Zahl (e) mit dem Exponent (-kx). In Bezug zum Begriff der Schichtdicke (d), in der die Lichtschwächung erfolgt, werden (d) und (x) gleichgesetzt ($d=x$) und in der Gleichung das (x) durch (d) ersetzt.

Herleitung der Differenzialgleichung

$$dP = -kP(x) \cdot dx$$

aus der Exponentialfunktion

$$dP = P_0 e^{-kd}$$

$$P(x) = P_0 e^{-kd}$$

/ 1. Ableitung der Funktion

$$P'(x) = \frac{dP}{dx} = P_0 e^{-kd} \cdot (-k) \quad / \quad \text{Differentiation nach Produkt- und Kettenregel}$$

$$\frac{dP}{dx} = P(x) \cdot (-k) \quad / \quad P_0 e^{-kd} \text{ durch } P(x) \text{ ersetzt}$$

$$\frac{dP}{dx} = P(x) \cdot (-k) \quad / \quad \cdot dx$$

$$dP = P(x) \cdot (-k) \cdot dx$$

$$dP = -kP(x) \cdot dx$$

Die Änderung der Strahlungsleistung (dP) ist gleich dem Produkt aus der Lichtschwächung -kP(x) durch die Stoffkonstante und der Änderung der Schichtdicke (dx).

Das negative Vorzeichen steht für die Abnahme der Leistung. (k) steht für die Konstante des transparenten Körpers.

Fotometrie 4

Herleitung der Gleichung $\ln \frac{P_0}{P} = k \cdot d$

$$dP = P_0 e^{-kd} \quad / \quad \text{Gleichung logarithmieren}$$

$$\ln P = \ln(P_0 e^{-kd}) \quad \ln P = \ln P_0 + \ln e^{-kd} \quad / \quad -\ln P_0$$

$$\ln P - \ln P_0 = -kd \ln e \quad / \quad \ln e = 1, \text{ weil } e^1 = e$$

$$\ln P - \ln P_0 = -kd \quad / \quad (-1)$$

$$\ln P_0 - \ln P = k \cdot d \quad / \quad 2. \text{ Logarithmengesetz}$$

$$\ln \frac{P_0}{P} = k \cdot d$$

In der Praxis wird statt des natürlichen Logarithmus der dekadische verwendet. Der Wert für die Umrechnung beträgt rund 0,434 und kann unter Verwendung eines Taschenrechners schnell bestimmt werden. Für eine beliebige Zahl, in dem Beispiel (5) wird der natürliche und der dekadische Logarithmus gezogen. $\ln 5 = 1,6094$ und $\lg = 0,6989$

Der Quotient aus $\ln$ und $\lg$ ($\ln : \lg$) beträgt rund 0,434

$$\lg \frac{P_0}{P} = 0,434 k \cdot d$$

$$\lg \frac{P_0}{P} = 0,434 k \cdot d$$

Der Umrechnungswert (0,4334) findet sich im molaren dekadischen Extinktionskoeffizienten (Epsilon) wieder. Der Extinktionskoeffizient wird durch die spezifische Wellenlänge des monochromatischen Lichts und die Stoffkonstante (k) bestimmt. Die molare Konzentration des Stoffs wird mit (c) angegeben.

$$\lg \frac{P_0}{P} = \epsilon \cdot c \cdot d$$

Absorption und Extinktion

Absorption ist die Schwächung der Strahlungsleistung (P_0). Der Messwert ist die verbleibende Restlichtmenge (P). Die am Messgerät angezeigte Differenz zwischen der Ausgangsleistung (P_0) und der verbleibenden Strahlungsleistung wird als Extinktion bezeichnet.

$$\lg \frac{P_0}{P} = \epsilon \cdot c \cdot d$$

$$\text{Absorption (A)} = \lg \frac{P_0}{P}$$

$$(A) = \epsilon \cdot c \cdot d$$

$$(A) \sim c$$

$$(A) \sim d$$

Das Lambert-Beer-Gesetz beschreibt den Zusammenhang, dass die Konzentration eines Stoffes (c) proportional zum Logarithmus der Absorption ($P_0 : P$) ist.

$$\lg \frac{P_0}{P} \sim c$$

Die Absorption ist proportional der Konzentration (c) und der Schichtdicke (d). Werden (c) und (d) mit Epsilon multipliziert, so entsteht die Absorptionsgleichung $A = \epsilon \cdot c \cdot d$.

Fotometrie 5

Der molare dekadische Exktinktionskoeffizient

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

$$\frac{A}{c \cdot d} = \epsilon$$

Wenn (c) ein Mol/Liter beträgt und die Schichtdicke (d) ein Zentimeter, dann ist $A = \epsilon$

$$\frac{A}{1 \cdot 1} = \epsilon$$

$$A = \epsilon$$

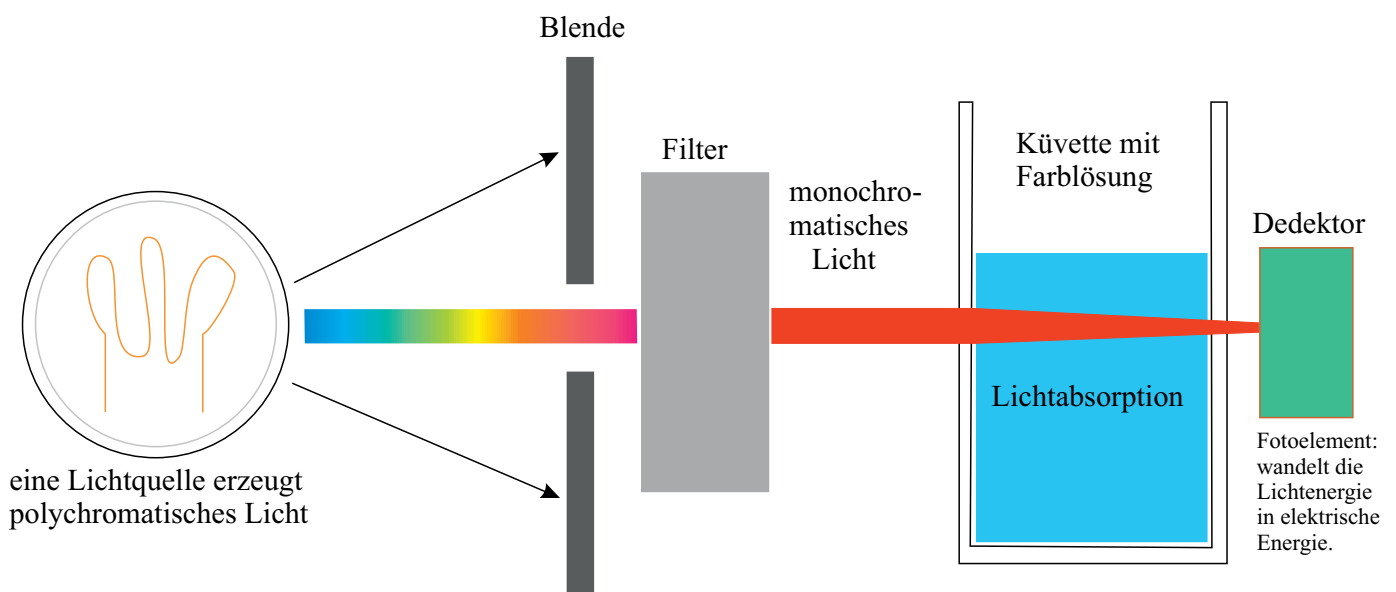
Die am Messinstrument abgelesene Lichtabsorption wurde/wird mit Extinktion bezeichnet. Statt des Absorptionskoeffizienten hat sich in der Praxis der Begriff des Extinktionskoeffizienten durchgesetzt. Das Lambert-Beer-Gesetz beschreibt die Gesetzmäßigkeiten der Lichtabsorption. Die nachstehende Gleichung findet in der analytischen Chemie Anwendung.

$$\frac{A \text{ (Extinktion)}}{\epsilon \cdot d} = c$$

Mit der Gleichung wird bei einer fotometrischen Messung die Konzentration des gesuchten Stoffes berechnet. Die Fotometrie gehört zu der vergleichenden Analytik. Deshalb ist für das Bestimmen der Konzentration ein Vergleichsansatz (Standardansatz) notwendig. Der Vergleichsansatz enthält den gesuchten Stoff in einer definierten Konzentration. Mit dem Vergleichsansatz wird dessen lichtabsorbierende Eigenschaft als Extinktion gemessen und ins Verhältnis zur Lichtschwächung der Probe gesetzt (Dreisatz).

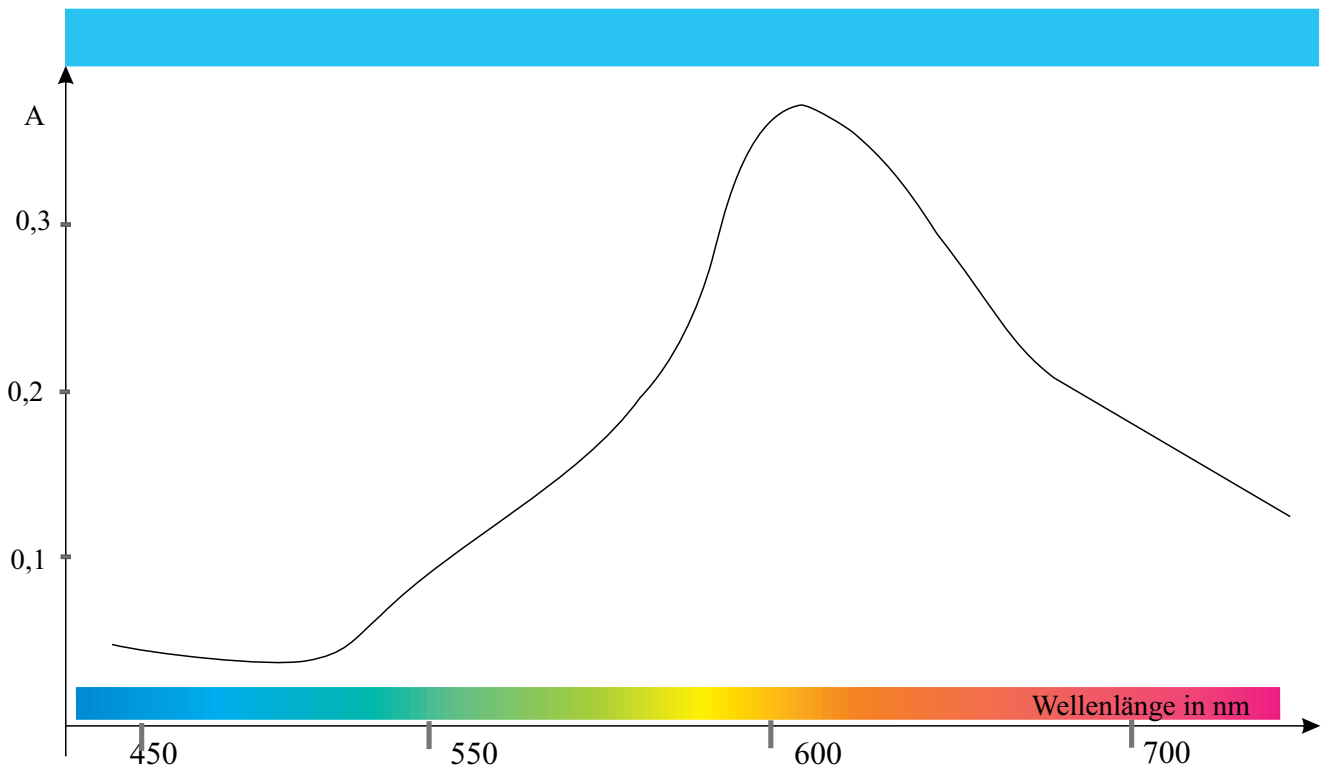
Bau und Funktion eines Fotometers

Die Grafik zeigt eine schematische Darstellung des Fotometers



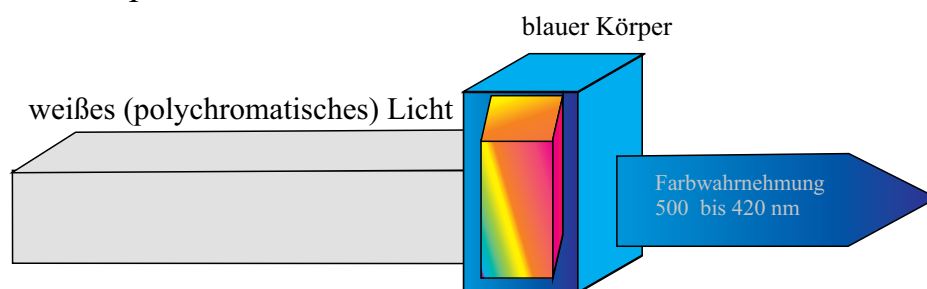
Fotometrie 6

Absorptionsverhalten einer blauen Farblösung

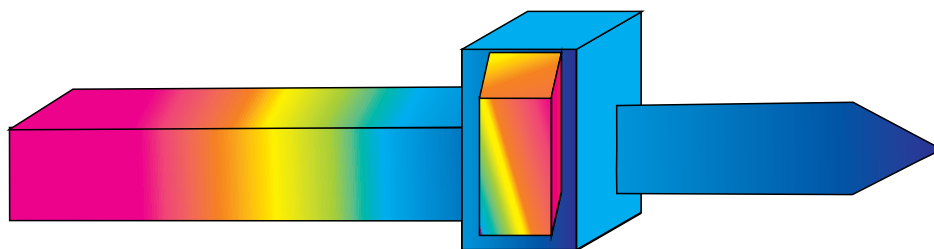


Die Stoffkonstante (k) ist dafür verantwortlich, dass es ein spezifisches Maximum für die Absorption gibt.

Die Farbe eines Körpers



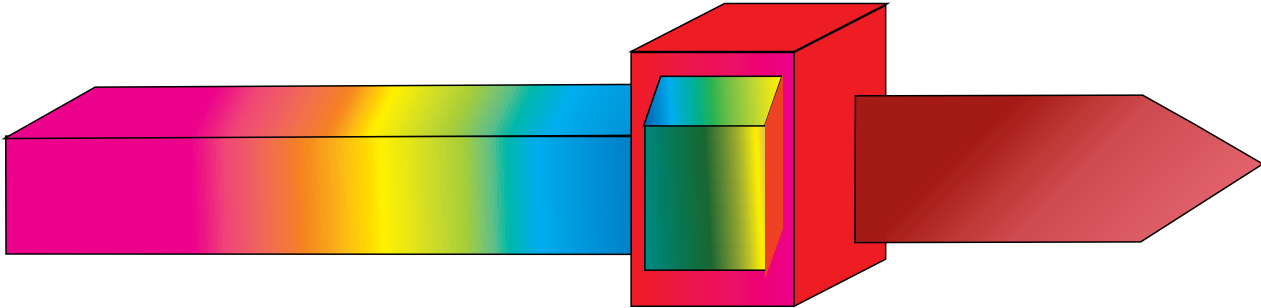
In der nachstehenden Grafik sind die im weißen Licht enthaltenen Regenbogenfarben visualisiert.



Der Körper erscheint im blauen Farbton, weil er besonders stark das orange Licht absorbiert und das blaue Licht emittiert. Auch die Wellenlängen des grünen, gelben und roten Lichts werden absorbiert: Unterschiede in der Absorption dieser Wellenlängen sind die Ursache für die Wahrnehmung verschiedener blauer Farbtöne.

Fotometrie 7

In der nachstehenden Grafik ist das Absorptionsverhalten eines roten Körpers dargestellt



Ein roter Körper absorbiert besonders stark das Licht der komplementären grünen Farbe und sendet die Wellenlängen des roten Spektralbereichs aus. Auch die Wellenlängen des blauen, gelben und roten Lichts werden absorbiert. Unterschiede in der Absorption dieser Wellenlängen sind die Ursache für die Wahrnehmung der sich unterscheidenden roten Farbtöne.

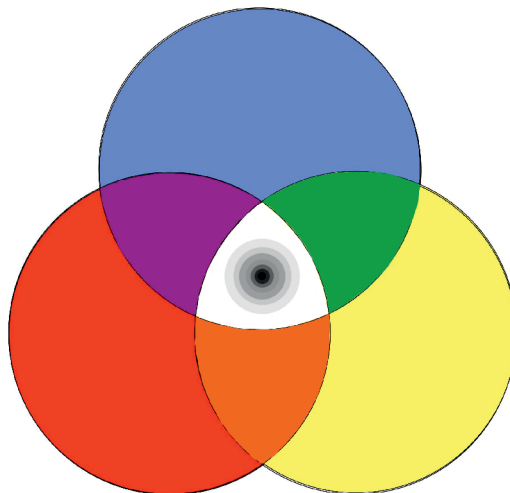
Physikalisch gesehen sind schwarz und weiß keine Farben

Im Regenbogen werden die Farben durch ihre Wellenlänge bestimmt. Schwarz und weiß gibt es hier nicht. Die Wahrnehmung des schwarzen Farbtons erfolgt, wenn alle vorhandenen Farben gemischt sind und die Mischung das Licht vollständig absorbiert. Eine gleichmäßige schwache Absorption aller Farbtöne wird als weißer Farbtönung wahrgenommen.

Die drei Grundfarben sind uns vom Farbdrucker bekannt. Durch das Mischen der Grundfarben lassen sich alle anderen Farbtöne erzeugen.

Im Licht sind alle Farben enthalten, doch sind diese nicht ohne Hilfsmittel sichtbar. Farbige Körper emittieren die entsprechende Wellenlänge und unser Gehirn kann dies als Farbreiz wahrnehmen. Die Farben des Lichts lassen sich additiv mischen und ergeben weißes Licht. Die Farben der Körper löschen sich gegenseitig aus (substraktive Mischung) und ergeben durch unvollständige Absorption grau und durch vollständige Absorption schwarz.

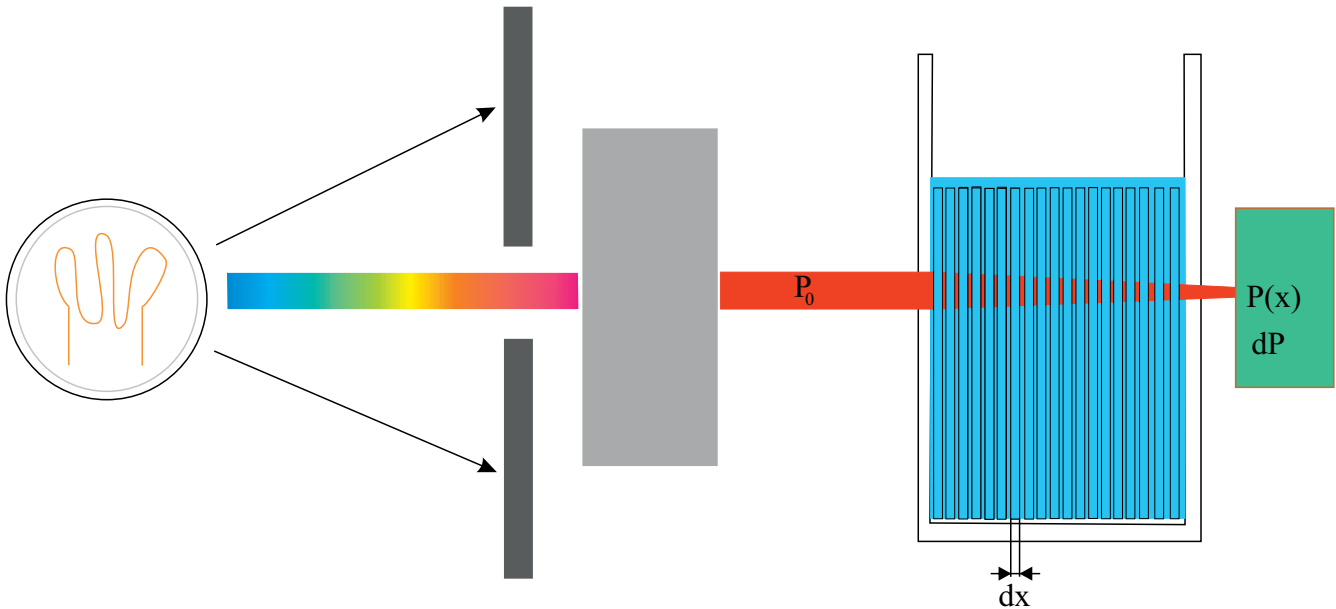
In der Grafik ist die Farbmischung von komplementären Licht- und Körperfarben dargestellt. Es ist zu beachten, dass das Mischen der Lichtfarben zum Weiß und das der Körperfarben zum Schwarz führt.



Fotometrie 8

Anwendung des Differenzialquotienten auf die Exponentialfunktion

Die Schichtdicke wird in unendlich viel kleine Schichten (dx) aufgeteilt.



Die Strahlungsleistung nimmt exponential mit zunehmender Schichtdicke ab, dabei ist die Absorption in jeder Schicht (dx) dieselbe, nämlich $-kdx$.

$$P(x) = P_0 e^{-kd} \quad / \quad 1. \text{ Ableitung der Funktion}$$

$$P(x) = \frac{dP}{dx} = P_0 e^{-kd} \cdot (-k) \quad / \quad \text{Differentiation nach Produkt- und Kettenregel}$$

$$\frac{dP}{dx} = P(x) \cdot (-k) \quad / \quad P_0 e^{-kd} \text{ durch } P(x) \text{ ersetzt}$$

$$\frac{dP}{dx} = P(x) \cdot (-k) \quad / \quad \cdot dx$$

$$dP = P(x) \cdot (-k) \cdot dx$$

$$dP = -kP(x) \cdot dx$$

$$P(x) = dP$$

$$P_0 e^{-kd} = -kP(x) \cdot dx$$

Fotometrie 9

Rechenbeispiele

Ein Körper schwächt das einfallende Licht um 10%. Entsprechend der Durchlässigkeit ergeben sich für fünf Körper folgende Ergebnisse: 90%, 81,%, 72,9%, 65,6 % und 59%

Die verbleibende Restlichtmenge (Durchlässigkeit) in Prozent kann wie folgt berechnet werden:

$$100\% \cdot 0,9^1 = 90 \%$$

$$100\% \cdot 0,9^2 = 81 \%$$

$$100\% \cdot 0,9^3 = 72,9\%$$

$$100\% \cdot 0,9^4 = 65,5\%$$

$$100\% \cdot 0,9^5 = 59 \% \quad \text{oder} \quad 100\% \cdot (0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9) = 59\%$$

Der vorgestellte Rechenweg bietet den Vorteil, schnell die Durchlässigkeit für einen 12. oder 15. Körper zu berechnen.

Berechnung der verbleibenden Restlichtmenge mit der Exponentialgleichung

Berechnung von (k) bei d=1	$\ln \frac{P_0}{P} = k$	$\ln \frac{100\%}{90\%} = k$	$\ln 1,111 = k$	$0,105 = k$
----------------------------	-------------------------	------------------------------	-----------------	-------------

$$P(x) = P_0 e^{-kd}$$

$$P(x_1) = 100 \cdot e^{-0,105 \cdot 1} \quad P(x_1) = 100 \cdot 0,9 \quad = 90\%$$

$$P(x_2) = 100 \cdot e^{-0,105 \cdot 2} \quad P(x_2) = 100 \cdot e^{-0,21} \quad P(x_2) = 100 \cdot 0,81 = 81\%$$

$$P(x_3) = 100 \cdot e^{-0,105 \cdot 3} \quad P(x_3) = 100 \cdot e^{-0,315} \quad P(x_3) = 100 \cdot 0,73 = 73\%$$

Berechnung der verbleibenden Restlichtmenge in Prozent bei einer Absorption von 70% nach der Passage des ersten Körpers mit der Exponentialgleichung.

Berechnung von (k) bei d=1	$\ln \frac{100\%}{70\%} = k$	$\ln 1,428 = k$	$0,357 = k$
----------------------------	------------------------------	-----------------	-------------

$$P(x_1) = 100 \cdot e^{-0,357 \cdot 1} \quad P(x_1) = 100 \cdot 0,7 \quad P(x_1) = 70\%$$

$$P(x_2) = 100 \cdot e^{-0,357 \cdot 2} \quad P(x_2) = 100 \cdot e^{-0,713} \quad P(x_2) = 100 \cdot 0,49 = 49\%$$

$$P(x_3) = 100 \cdot e^{-0,357 \cdot 3} \quad P(x_3) = 100 \cdot e^{-1,07} \quad P(x_3) = 100 \cdot 0,34 = 34\%$$

Berechnung der Restlichtmenge nach Passage des 11. Körpers

$$P(x_{11}) = 100 \cdot e^{-0,357 \cdot 11} \quad P(x_{11}) = 100 \cdot e^{-3,927} \quad P(x_{11}) = 100 \cdot 0,02 = 2\%$$

Fotometrie 10

Rechenbeispiel unter Verwendung des dekadischen Logarithmus

Ein Körper schwächt das Licht um 30%. Es verbleibt eine Restlichtmenge von 70%.

Berechnung der Lichtabsorption (Extinktion)

$$A = \lg \frac{P_0}{P} \quad A = \lg \frac{100\%}{70\%} \quad A = \lg 1,428 \quad A = 0,155$$

Jeder weitere Körper schwächt das Licht um den selben Betrag. Somit ist die Absorption des ersten Körpers entsprechend zu multiplizieren. Beim Durchstrahlen von sechs Körpern beträgt die Absorption 6mal 0,155 (0,929) und nach dem 12. Körper 1,86. Würde ein 14. Körper das Licht schwächen, so würde die Absorption theoretisch ($14 \times 0,155 = 2,17$) betragen. Der Hinweis auf „theoretisch“ wurde gewählt, weil der gültige Messbereich für das Lambert-Beer-Gesetz nicht mehr eingehalten wird. Bei der praktischen Arbeit soll die Lichtabsorption nur bis zum Wert von 0,8 verwendet werden, um den Messfehler so klein wie möglich zu halten.

Berechnung der Restlichtmengen in % für die genannten Absorptionen (genannten Extinktionen):
0,929 / 1,86 und 2,17

$$\begin{aligned} 0,929 &= \lg \frac{100\%}{x\%} & 0,929 &= \lg 100 - \lg x & / +\lg x \text{ und } -0,929 \\ \lg x &= \lg 100 - 0,929 \\ \lg x &= 2 - 0,929 & \lg x &= 1,07 \\ \lg_{10} x &= 1,07 & x &= 10^{1,07} & x = 11,75\% & \text{Die Restlichtmenge beträgt } 11,75\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1,86 &= \lg 100 - \lg x & / \lg x \text{ und } -1,86 \\ \lg x &= 2 - 1,86 & \lg x &= 0,14 \\ \lg_{10} x &= 0,14 & x &= 10^{0,14} & x = 1,38\% & \text{Die Restlichtmenge beträgt } 1,38\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2,17 &= \lg 100 - \lg x & / \lg x \text{ und } -2,17 \\ \lg x &= 2 - 2,17 & \lg x &= -0,17 \\ \lg_{10} x &= -0,17 & x &= 10^{-0,17} & x = 0,68\% & \text{Die Restlichtmenge beträgt } 0,68\% \end{aligned}$$

Beachte: Die für die Berechnungen gewählten Beispiele sind rein theoretischer Natur. Es soll erkannt werden, dass die Absorption größer als zwei sein kann und bis ins Unendliche erfolgt. Bei einer Absorption (Extinktion) oberhalb von 2 fällt die Restlichtmenge unter 1%.

Bei einer Absorption von 0,8 beträgt die Restlichtmenge $10^{-0,8}$ ($10^{1,2}$) und somit 15,85%. Diese Restlichtmenge kann von der empfangenden Fotozelle in ein ausreichend starkes elektrisches Messsignal gewandelt werden. Bei Messwerten oberhalb von 0,8 ist die Probe zu verdünnen oder eine geringere Schichtdicke zu verwenden. Das Ergebnis ist dann durch Multiplikation zu berichtigen.

Fotometrie 14

Farbe und Licht

Der Farbreiz ist eine Sinneswahrnehmung des Individuums und somit nicht ausschließlich physikalisch definierbar. Gleichfalls wie Geschmack und Geruch spielen Sinnesorgan und Nervensystem eine entscheidende Rolle. Zur Erklärung und Beschreibung eines Farbreizes werden die drei Kriterien Farbton, Helligkeit und Sättigung genutzt.

Der Farbton wird durch die Wellenlänge des sichtbaren Bereichs des Lichtes bestimmt. Schwarz und Weiß nehmen dabei eine Sonderform ein. Da sie im Alltag als Farben behandelt werden erhalten sie in der Optik den Zusatz - unbunte Farbe. Absorbiert ein Körper alle Spektralbereiche gleichmäßig stark, so erscheint er schwarz. Wird die Absorption schwächer, so erscheint er grau und schließlich weiß.

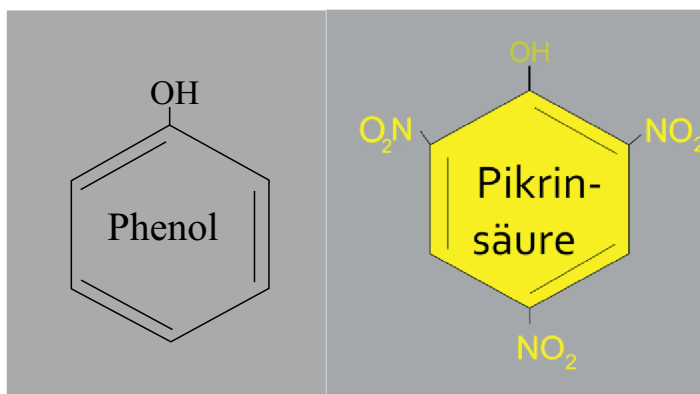


Das farbige Haus wurde in Graustufen überführt. Der blaue Farbton für die Fenster ist dabei unverändert. Der Farbton wurde lediglich „verdünnt“. Von links nach rechts nimmt die Sättigung ab und die Helligkeit steigt an.

Der Farbton ist eine dingliche Eigenschaft der chemischen Struktur des Objekts. Dabei kann es sich um reine Stoffe wie Schwefel oder Kohlenstoff handeln oder um Moleküle.

Die in den chemischen Bindungen enthaltenen Elektronen halten das Molekül zusammen. Weniger fest gebundene Elektronen haben eine stärkere Beweglichkeit und können mit den Wellenlängen des Lichts interagieren. Sie können einen Teil der Lichtenergie aufnehmen (absorbieren), dabei ist die Resonanzabsorption die Ursache für die Farbigkeit des Moleküls.

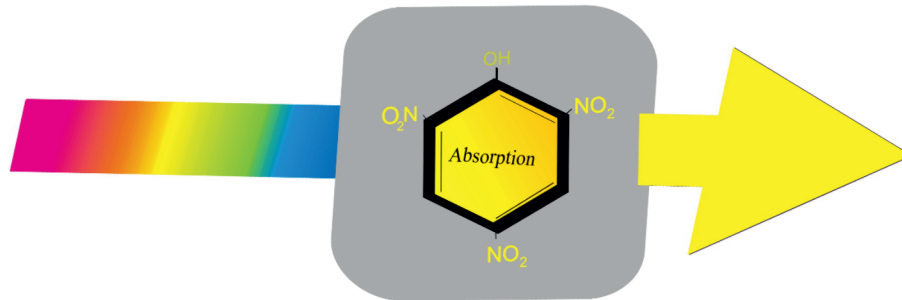
Ein gutes Beispiel für das Erklären von farblosen und farbigen Molekülen sind Phenol und Pikrinsäure. Das fast farblose Phenol kann aus dem Spektrum des sichtbaren Lichts keine spezifischen Wellenlängen absorbieren. Dagegen kann das mit drei Nitrogruppen besetzte Molekül der Pikrinsäure die komplimentären Wellenlängen des Gelb durch Resonanz absorbieren und somit selbst im gelben Farbton wahrgenommen werden.



2,4,6-Trinitrobenzen-1-ol

Fotometrie 15

Das Absorptionsverhalten der Pikrinsäure



Das auf das Pikrinsäuremoleküle treffende Licht ist in den Spektralfarben dargestellt. Insbesondere die Wellenlängen des blauen Lichts erzeugen die Resonanzabsorption. Der Energiegehalt der Elektronen in den chemischen Bindungen ist dem der Wellenlängen des blauen Lichts sehr ähnlich und führt zur Resonanz (Schwingungsanregung der Elektronen), die mit der Absorption von Energie einher geht. Die Anregungsenergie ist nicht so stark, dass die chemischen Bindungen der Nitrogruppen instabil werden. Die Eigenschwingung der Elektronen wird jedoch verstärkt (Modell des Elektrons als stehende Welle).

Das Dualismus-Modell des Lichts

Licht hat gleichzeitig Welleneigenschaften (elektromagnetische Welle) und Teilcheneigenschaften (Photon).

Teilcheneigenschaft (Photon)

Ein Beispiele für den Teilchencharakter des Lichts ist Erzeugung elektrischer Energie durch Photovoltaik.

Welleneigenschaft

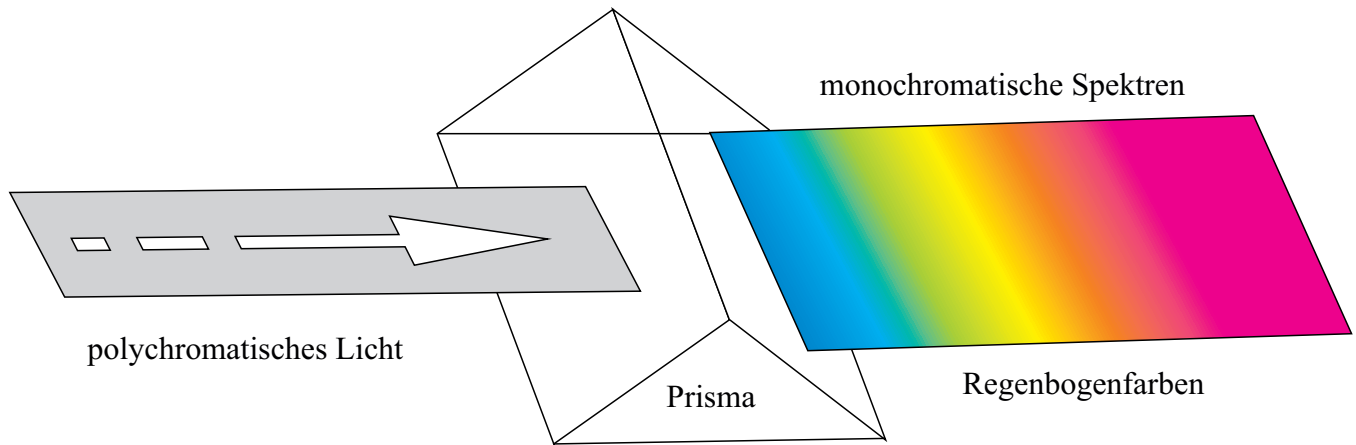
Die optischen Eigenschaften des Lichts werden durch den Wellencharakter bestimmt. In der Fotometrie finden folgende Verwendung:

Brechung, Beugung, Reflexion, Absorption, Interferenz, Depolarisation, Resonanzabsorption, Lichtemission

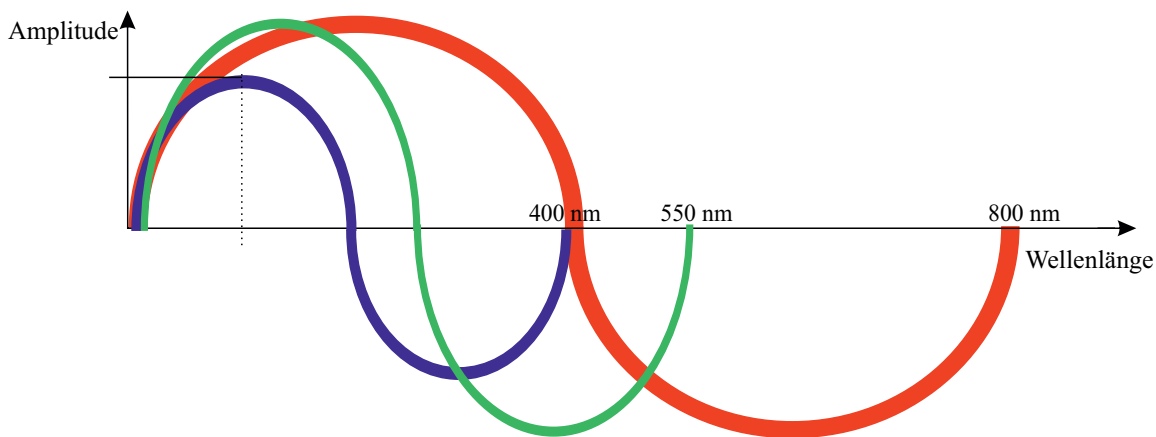
Beachte:

Die Streuung des Lichts ist ein Summeneffekt und beinhaltet verschiedene Eigenschaften mit unterschiedlicher Intensität. Am stärksten sind daran Brechung, Beugung, Reflexion und Depolarisation beteiligt.

Fotometrie 16



Darstellung von drei Wellenlängen des Lichts und deren Farbton



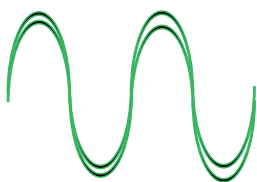
Die kürzeste Wellenlänge mit 400 nm wird vom menschlichen Auge als blauer Farbton wahrgenommen. Wellenlängen mit 550 nm erzeugen einen grünen Lichtreiz. Spezielle Lichtrezeptoren der Netzhaut können den roten Farbton der Wellenlänge von 800 nm erkennen. Das Wahrnehmen von Farbe ist abhängig von einem optischen Apparat im Auge und der neuronalen Verarbeitung. Gleich dem Geruch und Geschmack ist auch das Wahrnehmen von Farben nicht allein physikalisch erklärbar.

Die Amplitude ist der Maximalwert oder Scheitelwert einer Schwingung bzw. Welle.

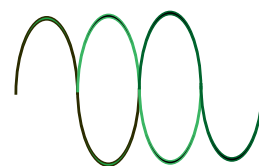
Für die Frequenz gilt, dass Lichtwellen mit hoher Frequenz energiereich sind.

Interferenz

Durch Überlagerung von Wellen/Wellenfeldern kommt es zur Verstärkung oder Auslöschung von Wellen und damit einhergehenden Interferenzmustern wie beispielsweise den Interferenzfarben (Newtonsche Ringe).



verstärkende Überlagerung



Überlagern sich Wellenberg und Wellental, dann kommt es zur Auslöschung.