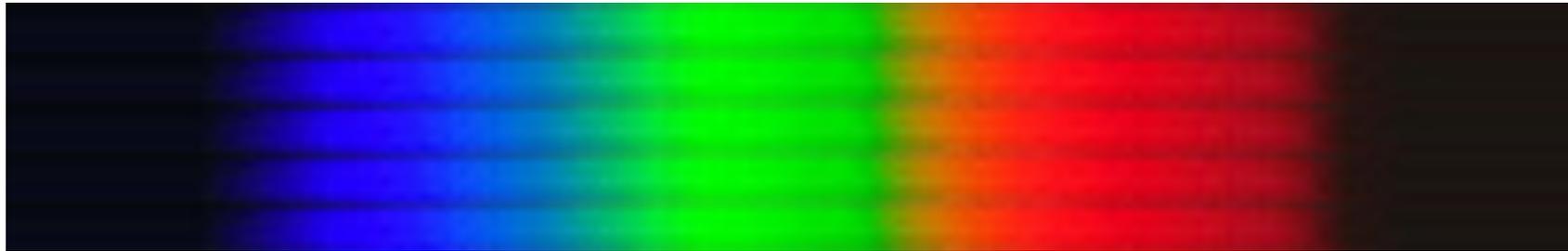


Regenbogen und Seifenblase

Licht und Farbe in der physikalischen

Optik



Martin Lieberherr

18. April 2007

Senioren-Akademie Berlingen

Inhalt

1. Was ist Licht?
2. Was ist Farbe?
3. Prisma und Regenbogen
4. Gitter und Seifenblasen
5. Schluss

1. Physikalische Theorien des Lichts

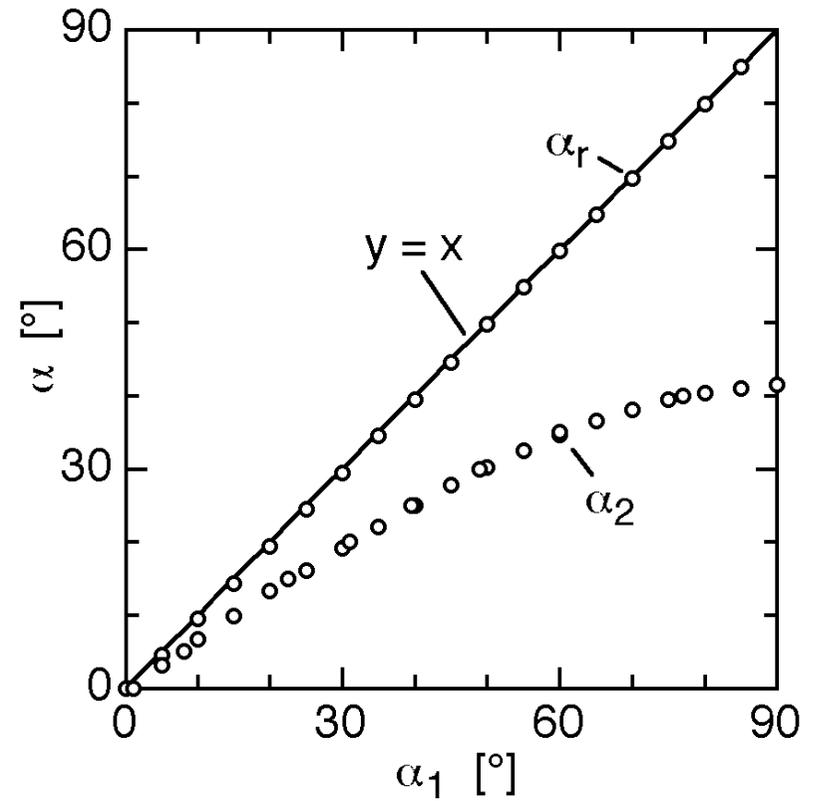
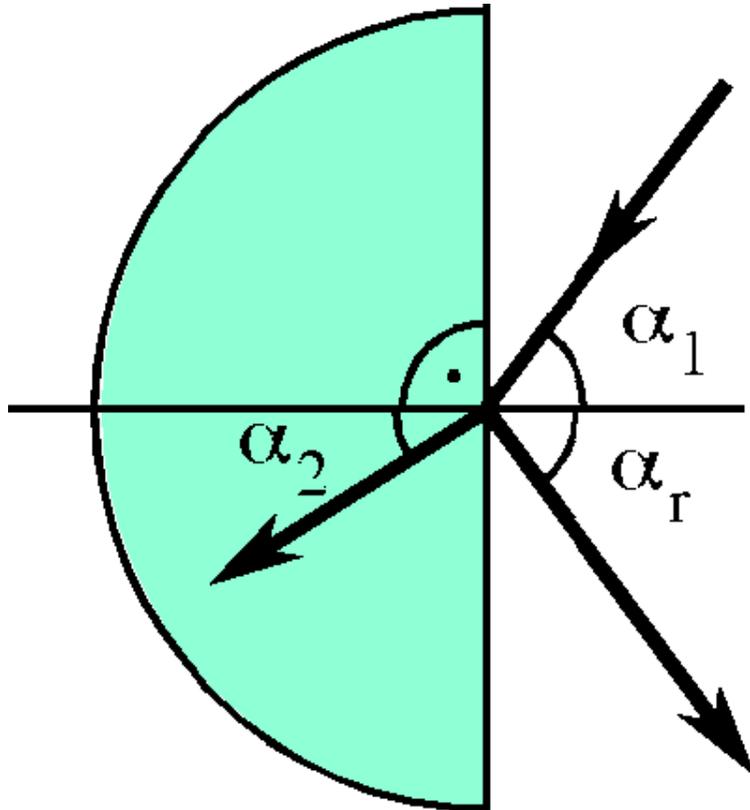
- a) Theorie der Lichtstrahlen
Reflexion und Brechung
Linsen und Spiegel
- b) Theorie der Lichtwellen
Interferenz und Beugung
Farben von CD und Seifenblase
- c) Theorie der Lichtquanten
Absorption und Emission
Laser und Kerzenlicht

a) Strahlenoptik

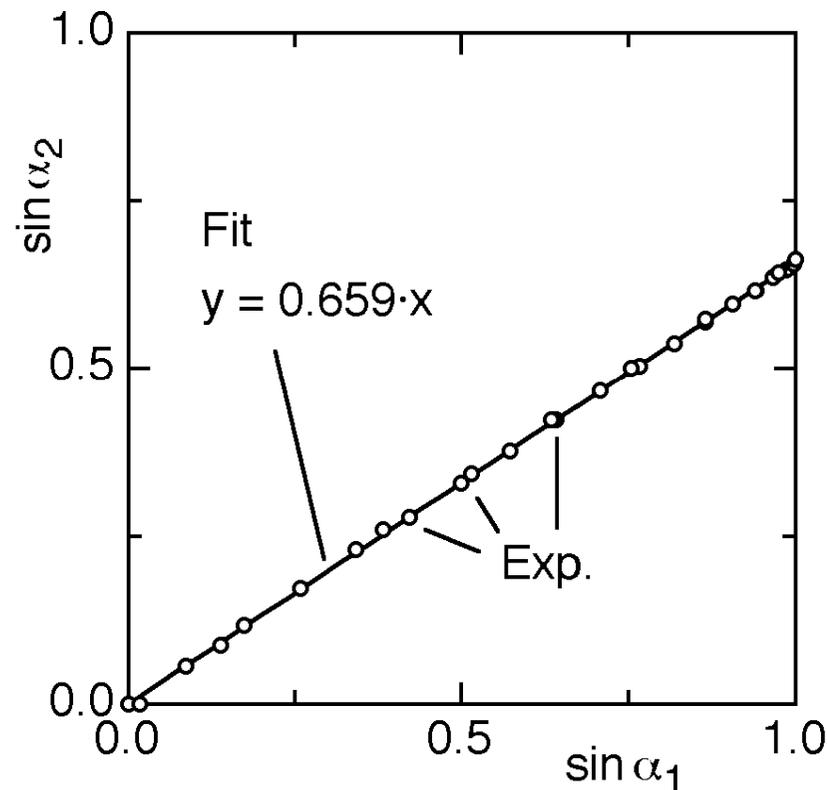


- Licht breitet sich geradlinig aus.
- Lichtstrahlen können sich kreuzen.
- Beispiel: Sonnentaler (Lochkamera)

Reflexion und Brechung



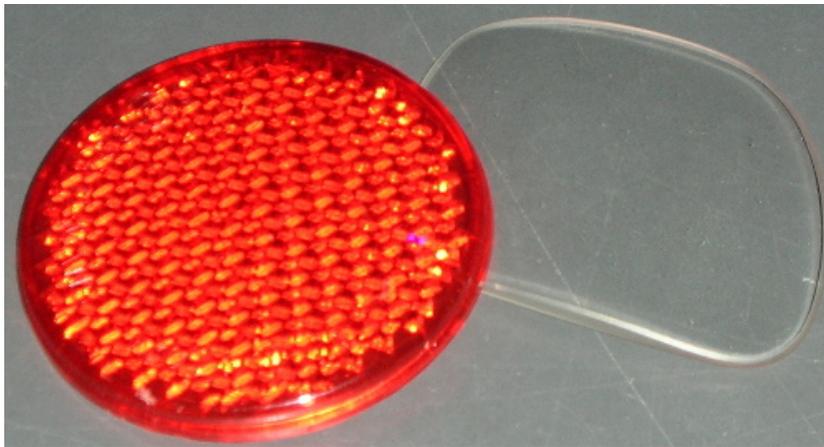
Reflexions- und Brechungsgesetz



- Reflexionsgesetz
 $\alpha_r = \alpha_1$
- Brechungsgesetz (Snellius)
 $n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$
 $n_{1,2}$: Brechungsindices
- n hängt leicht von der Farbe ab

Anwendungen

- Spiegeloptik
(Retroreflektor)
- Optische Linsen
(Brillenglas)

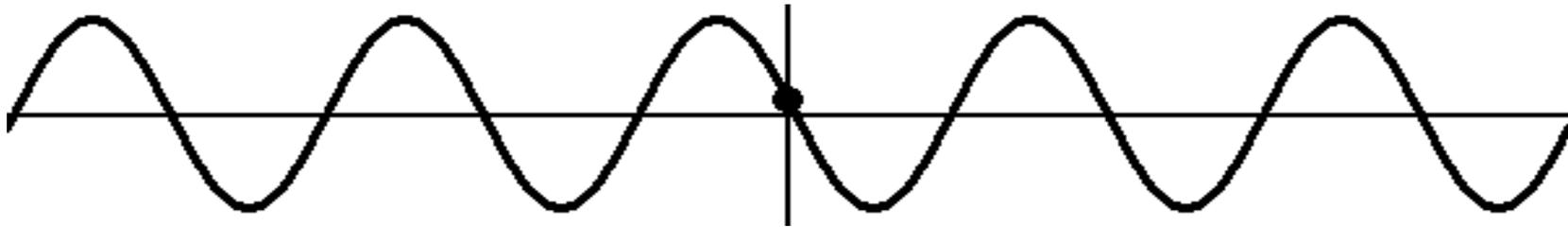


b) Wellenoptik



- Licht ist eine elektromagnetische Welle wie Radiowellen, Mikrowellen, Infrarot, sichtbares Licht, Ultraviolett, Röntgenstrahlen und Gammastrahlen
- alle elektromagnetischen Wellen haben Lichtgeschwindigkeit
 $c = 299\,792\,458$ m/s im Vakuum
- Wellen unterscheiden sich durch ihre Vakuum-Wellenlänge λ

Dispersion

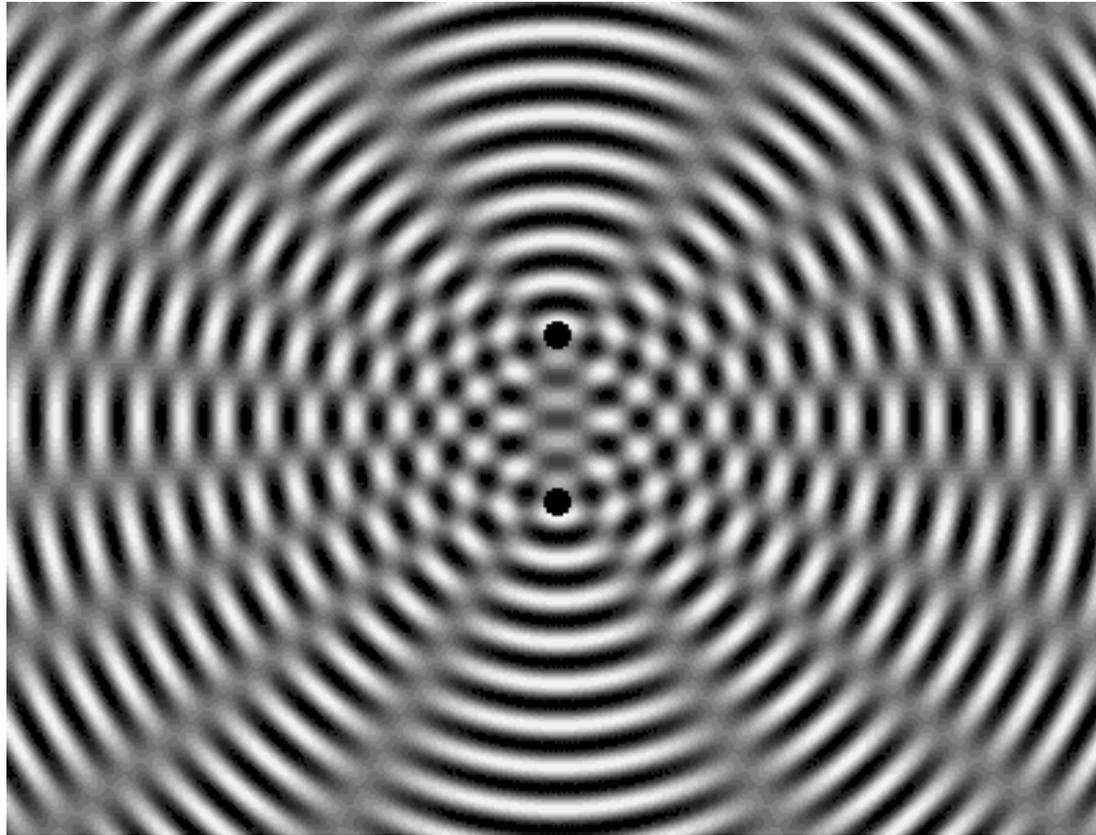


- Läuft Licht an einem Punkt vorbei, so oszilliert dort die elektrische und magnetische Feldstärke mit Schwingungsfrequenz f .
- $c = \lambda f$
- Die Frequenz ist in allen Medien (Luft, Glas, etc.) gleich.
- Licht bewegt sich in Materie langsamer als im Vakuum (Fizeau, 1850) $c = c_{\text{Vak}}/n$

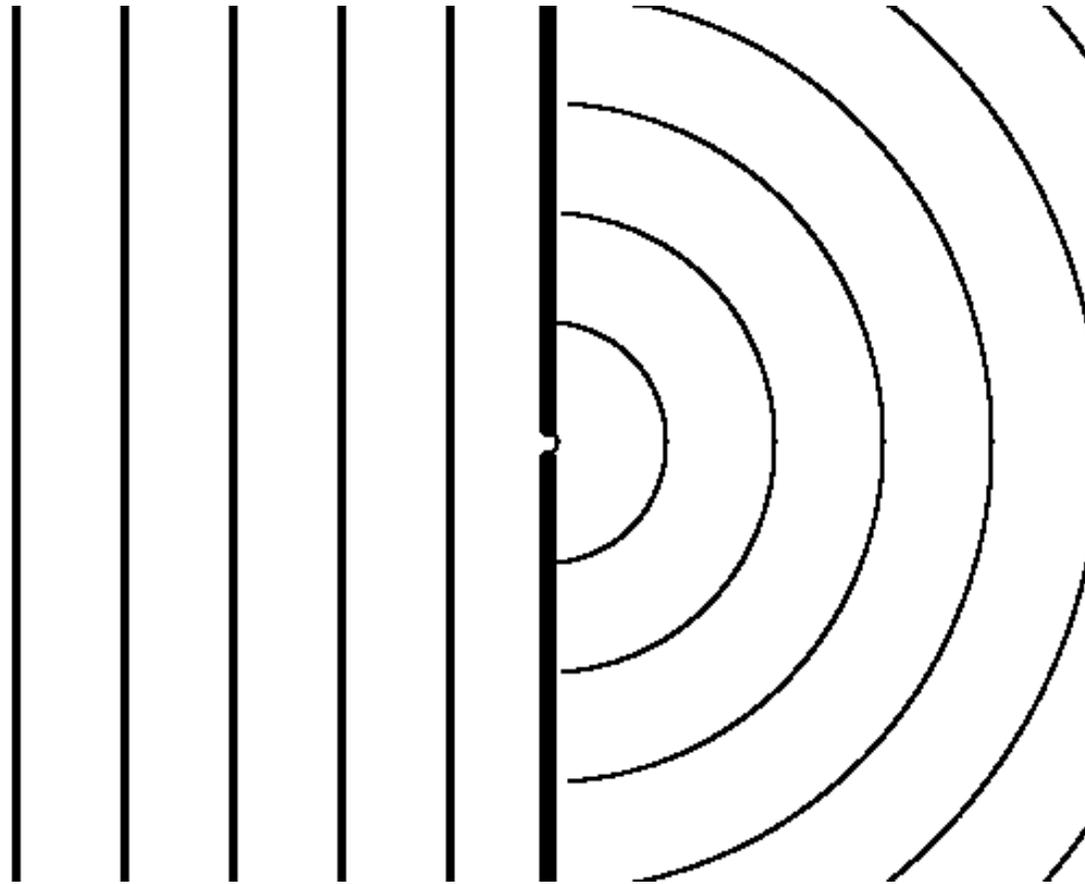
Prinzip der ungestörten Superposition (Überlagerung)



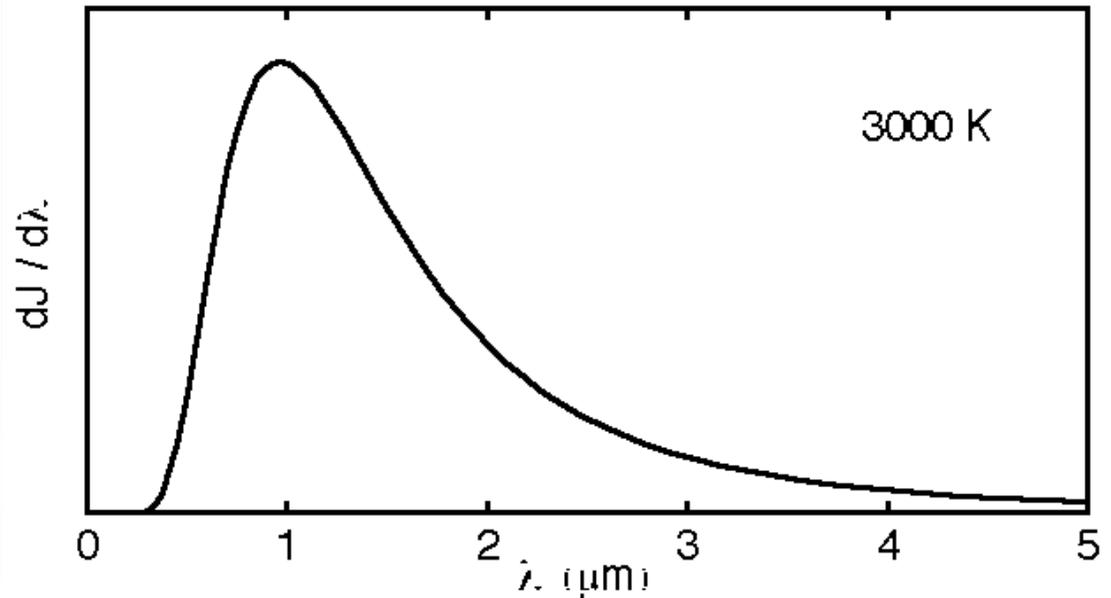
Konstruktive und destruktive Interferenz



Beugung



c) Quantenoptik



- Licht eines heissen Körpers hat bestimmte Eigenschaften
- Max Planck begründete 1900 die Formel für die Wärmestrahlung mit dem Trick, Licht zu quantisieren.

- Albert Einstein erklärte 1905 den Photoeffekt und 1916 die Wärmestrahlung: Licht besteht aus Photonen (Teilchen)
- Energie: $E = hf$
(h : Plancksches Wirkungsquantum)
- Impuls $p = h/\lambda$
- Vorhersage der stimulierten Emission

LASER



Light Amplification by Stimulated
Emission of Radiation

Einstein über Lichtquanten

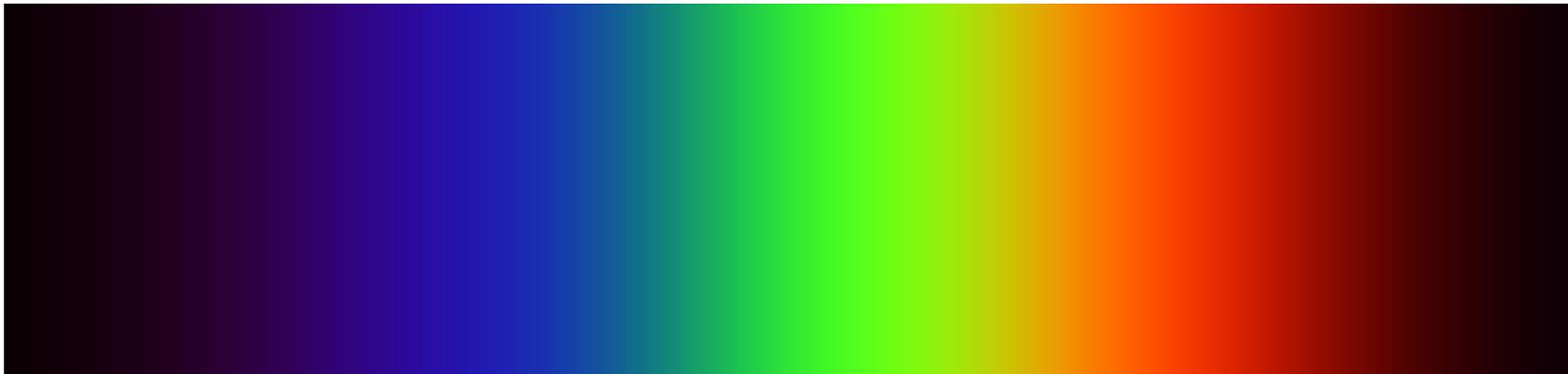
Die ganzen 50 Jahre bewusster Grübeleien haben mich der Antwort der Frage "Was sind Lichtquanten" nicht näher gebracht. Heute glaubt zwar jeder Lump, er wisse es, aber er täuscht sich...

(aus einem Brief Albert Einsteins
an Michele Besso, 1951)

2. Was ist Farbe?

- a) Farbe als Eigenschaft des Lichts
(Wellenlänge bestimmt Farbeindruck)
- b) Farbe als Eigenschaft eines Materials
(Selektive Absorption färbt das Licht)
- c) Farbe als Empfindung
(Es gibt Sehzellen für die drei Grundfarben)
- d) Farbbeschreibung und Farbmischung
(Mischungen aus drei Grundfarben)

a) Spektrum des Lichtes



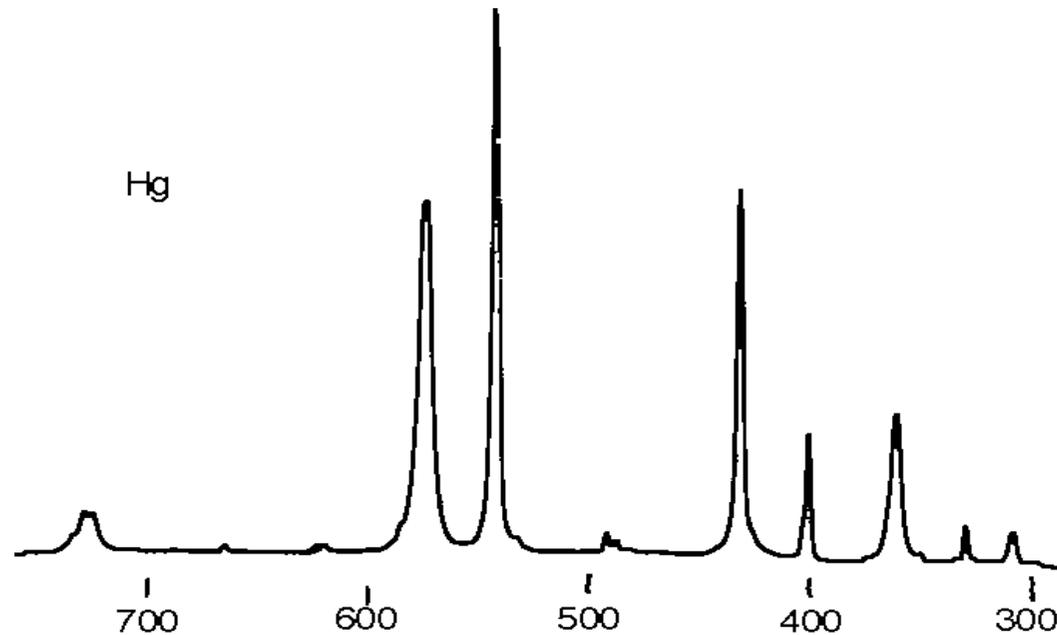
- Die Frequenz oder (Vakuum-)Wellenlänge bestimmt die Farbe
- Spektrum eines Wärmestrahlers
400 nm (Violett) bis 700 nm (Rot)

Linienpektrum



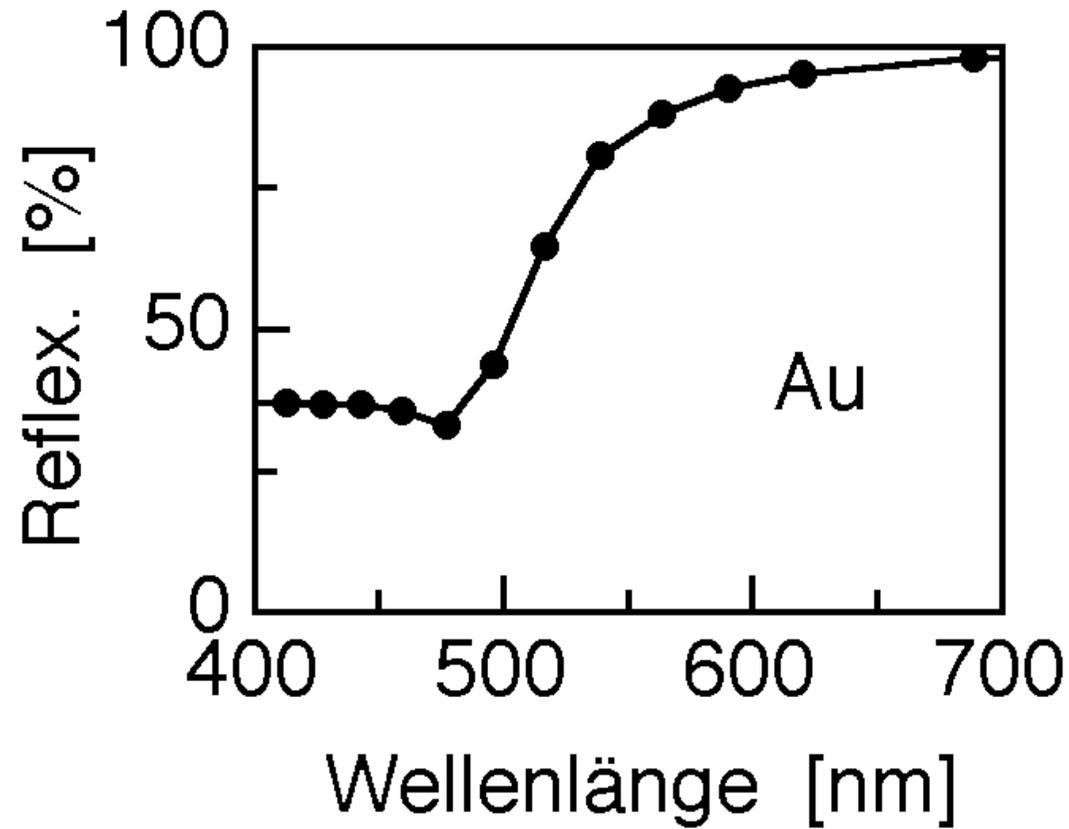
- Das Spektrum einer Wasserstofflampe enthält nicht alle Farben.
- Die Linien sind charakteristisch für die Lichtquelle (Spektroskopie).

Spektrogramm



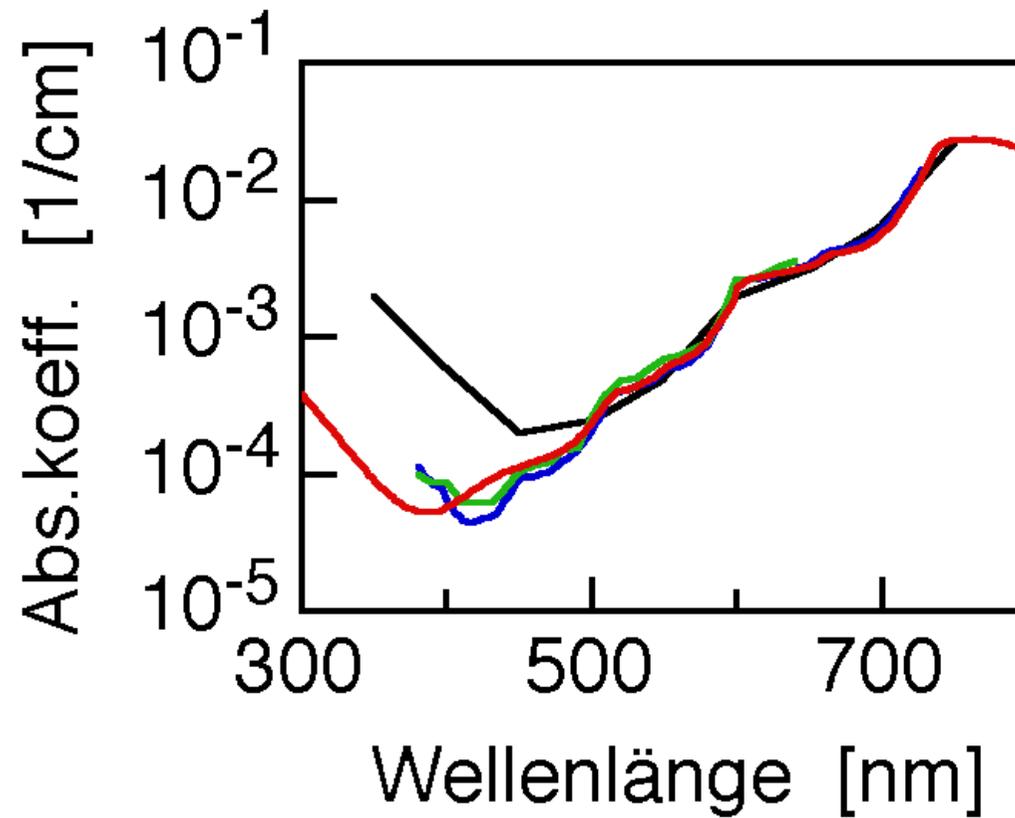
- Spektrogramm einer Quecksilberdampf-Flamme
- Ein Spektrograph zeichnet auf, wie viel Energie pro Wellenlängeneinheit ausgestrahlt wird.

b) Materialfarben



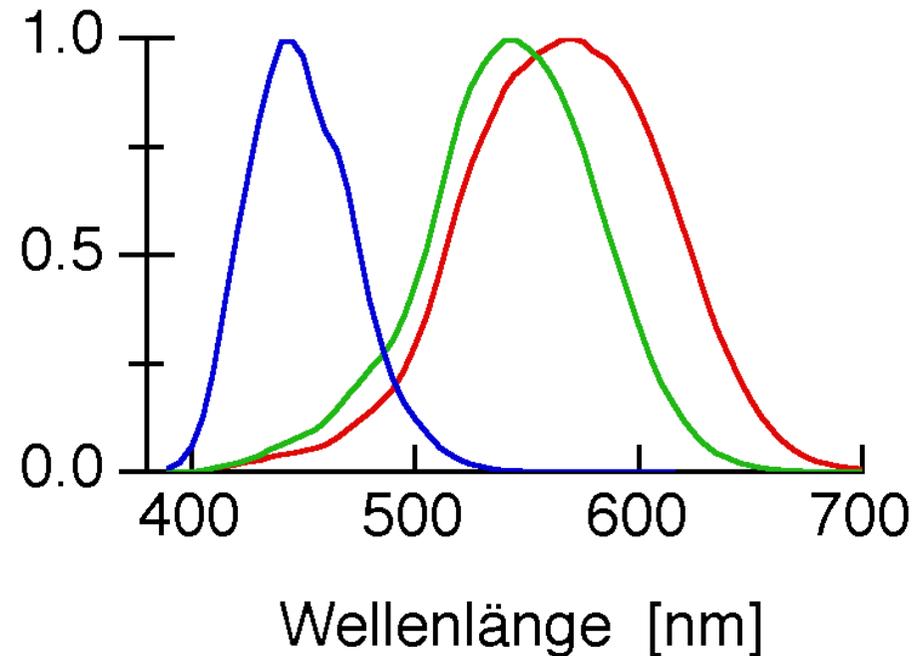
Gold reflektiert gelbes und rotes Licht besser.

Warum ist Wasser blau?



Wasser absorbiert blaues Licht am wenigsten.

c) Farbe als Empfindung



- Bei grosser Helligkeit sind die Zapfenzellen in der Netzhaut aktiv
- Es gibt drei Sorten von Zapfenzellen

Der Farbeindruck entsteht im Hirn!

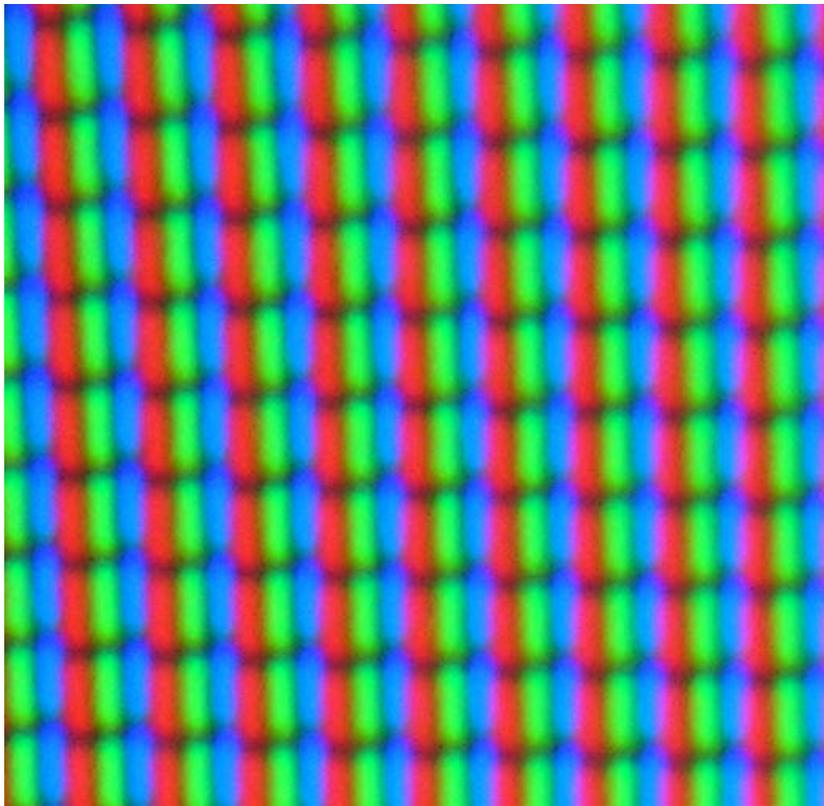
Oliver Sacks "An Anthropologist on Mars"
(Vintage Books, 1985, ISBN 0-679-43785-1)

Ein Kunstmaler wurde in der Folge eines Autounfalls
farbenblind. Die Augen waren aber intakt.

Die Farbenblindheit war eine des Gehirns
(cerebrale Achromatopsie).

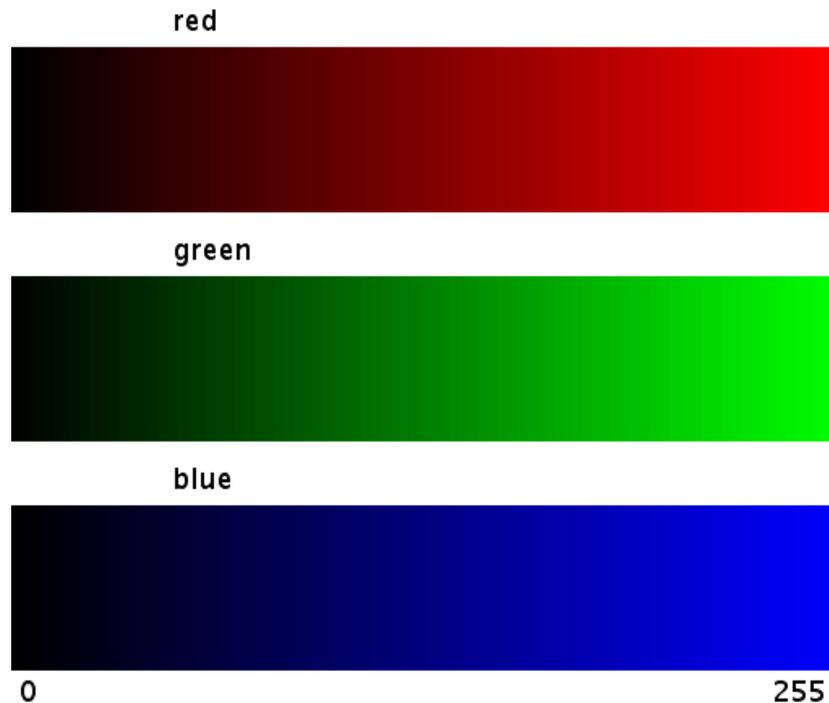
Mit der Fähigkeit, Farben zu empfinden,
sind auch die Farben aus dem Gedächtnis
und den Träumen verschwunden.

d) Farbbeschreibung und -Mischung



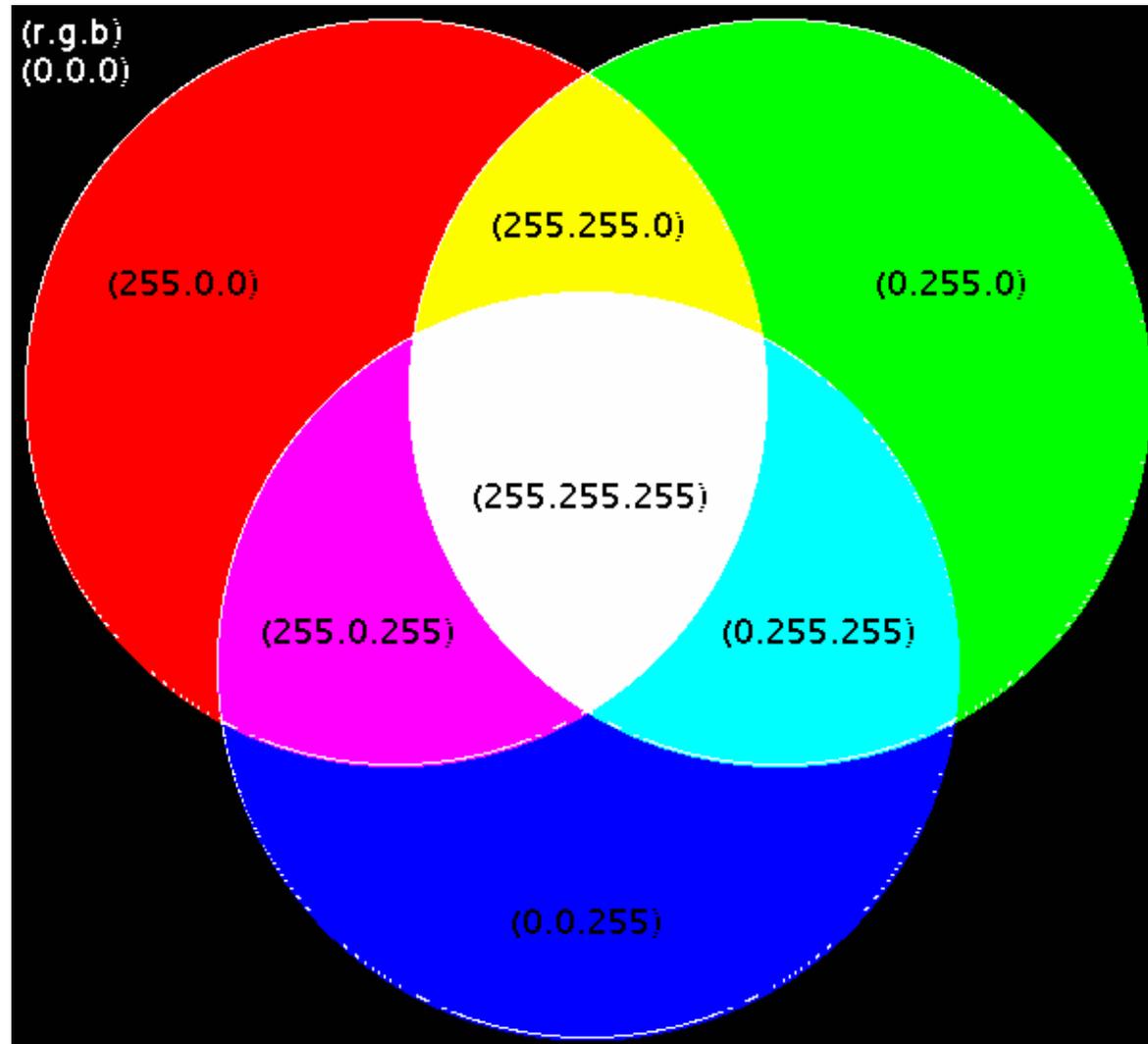
- Farbbeschreibungen sind notwendig für Farbhandel und elektronische Medien.
- Die wichtigsten Methoden beruhen auf Mischungen dreier Grundfarben.

Digitale Farben

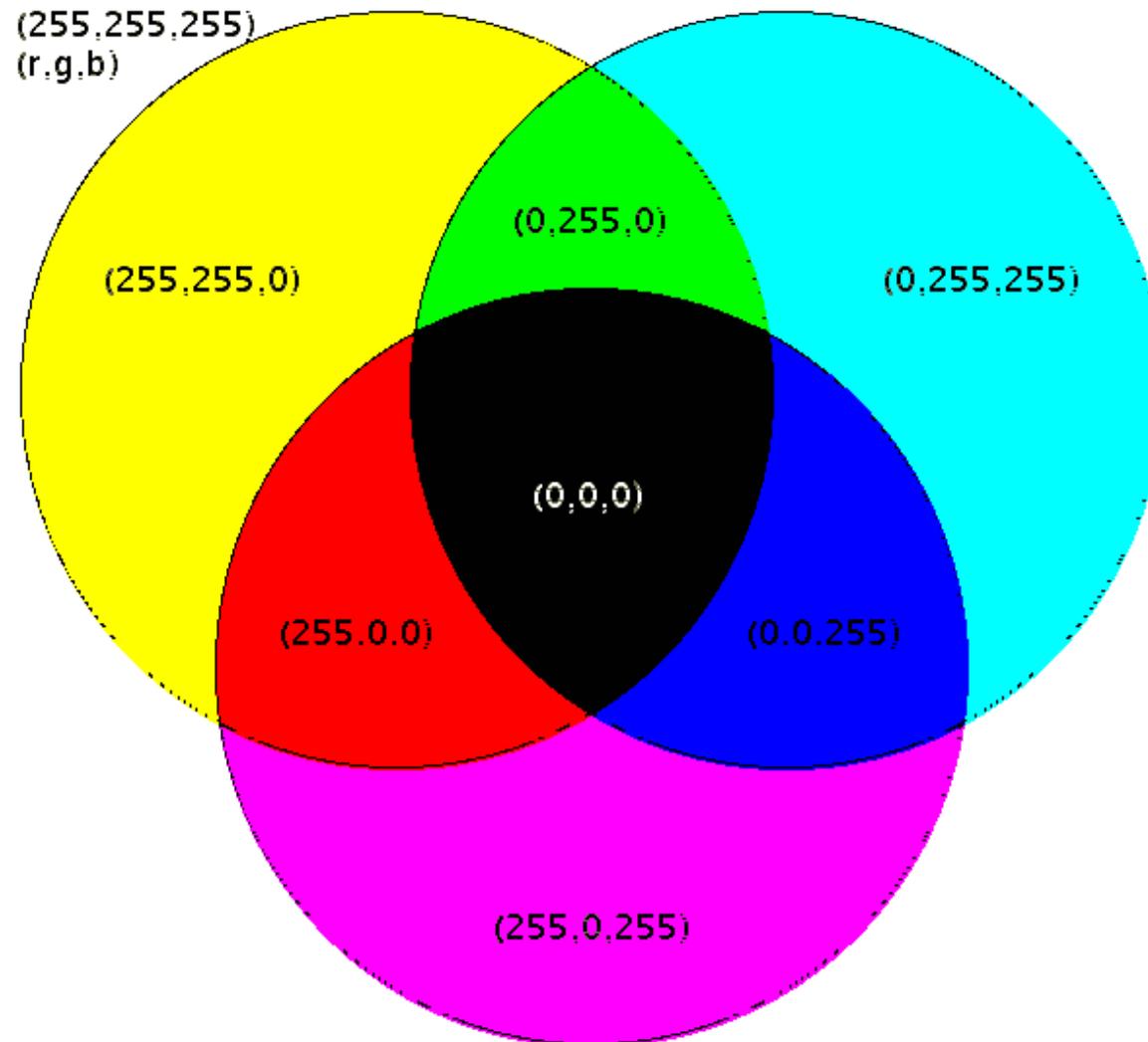


- Jedes Pixel hat von den drei Grundfarben Werte von 0 bis 255.
- $256 \times 256 \times 256$
= „16 Millionen“

Additive Farbmischung



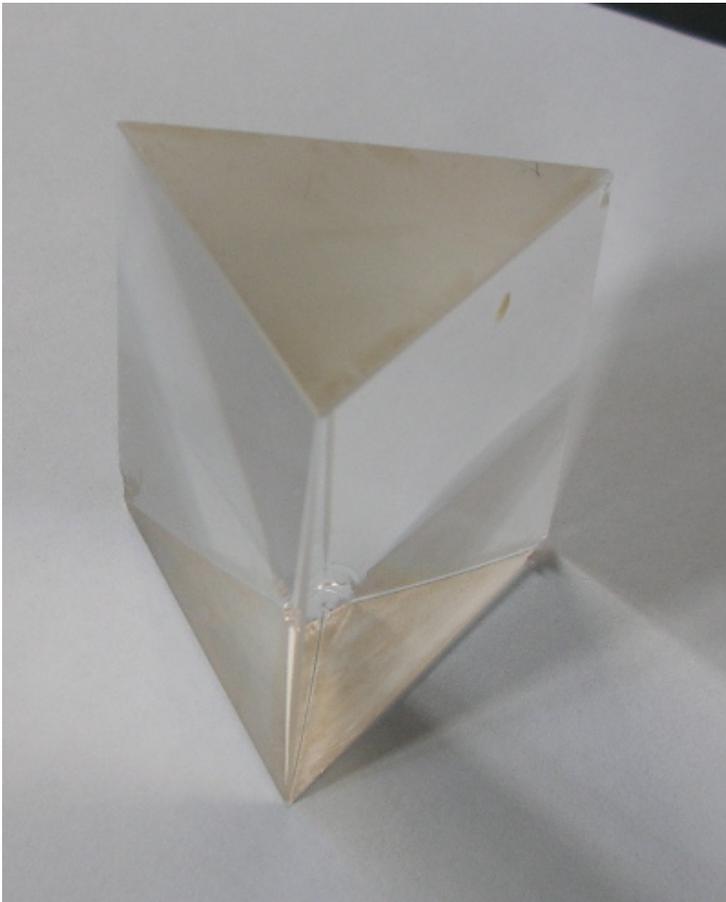
Subtraktive Farbmischung



3. Prisma und Regenbogen

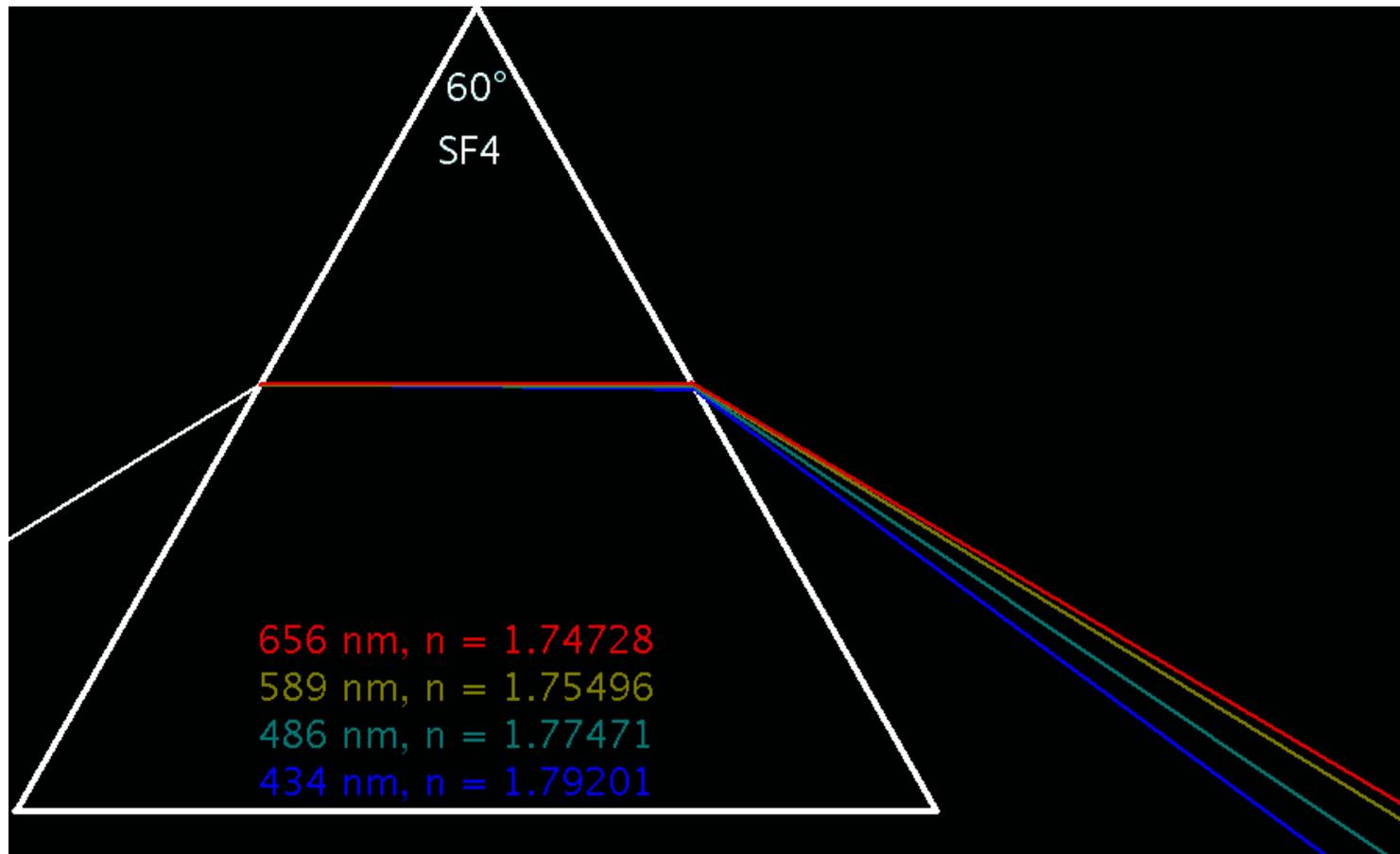
Dispersionsprisma und Regenbogen
lassen sich mit Strahlenoptik erklären.

a) Prismen

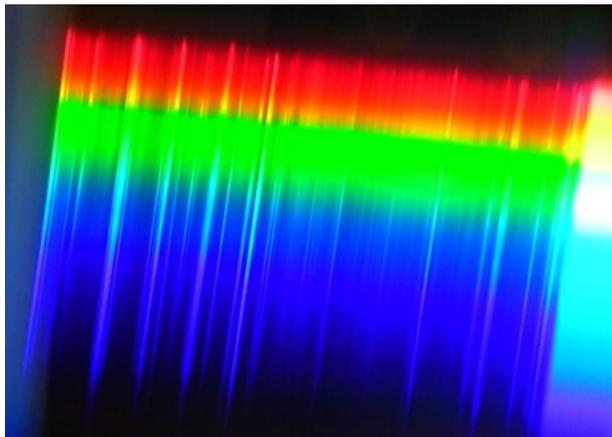


- Ein Dispersionsprisma besteht meist aus Glas
- Zwei Flächen sind optisch poliert und bilden einen Keil

Farbaufspaltung durch ein Prisma



Spektrum nach Newton



- Isaac Newton machte im Fensterladen einen Schlitz und liess das Licht durch ein Prisma fallen.
- Die Farben werden durch die Digitalkamera schlecht wiedergegeben.

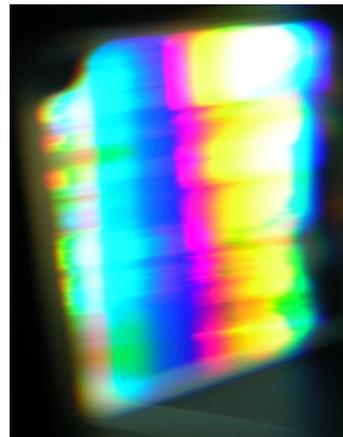
Farben nach Newton

(moderne Version)



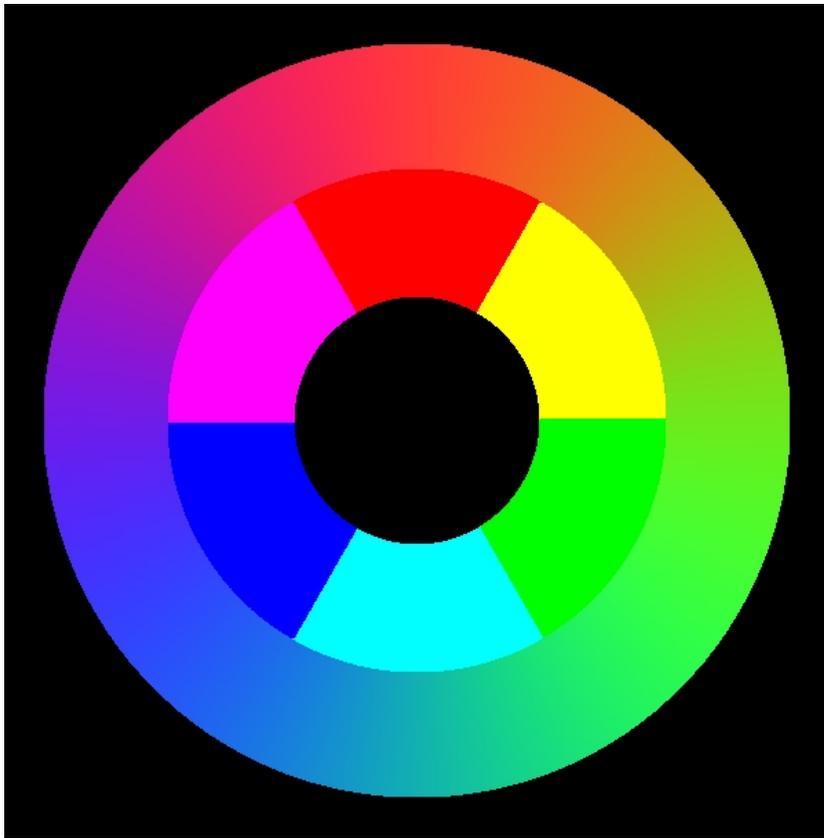
- Das Spektrum ist linear
- Weiss ist eine Mischung aller Farben
- Schwarz ist die Abwesenheit von Licht

Spektrum nach Goethe



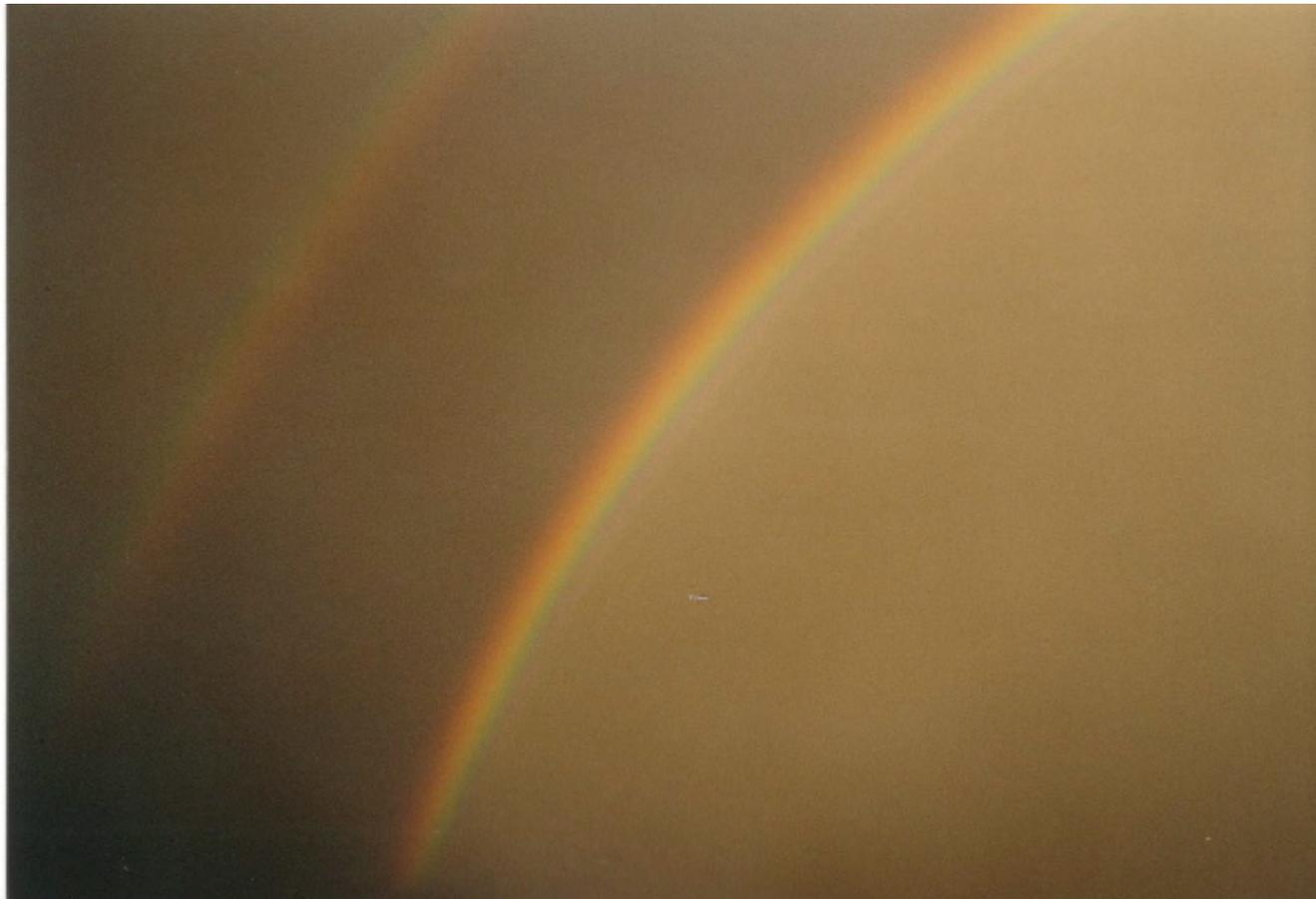
- Goethe betrachtete das Fensterkreuz durch ein Prisma
- Farben und Gegenfarben werden sichtbar
(Vorsicht: Bild mit Digitalkamera)

Farben nach Goethe

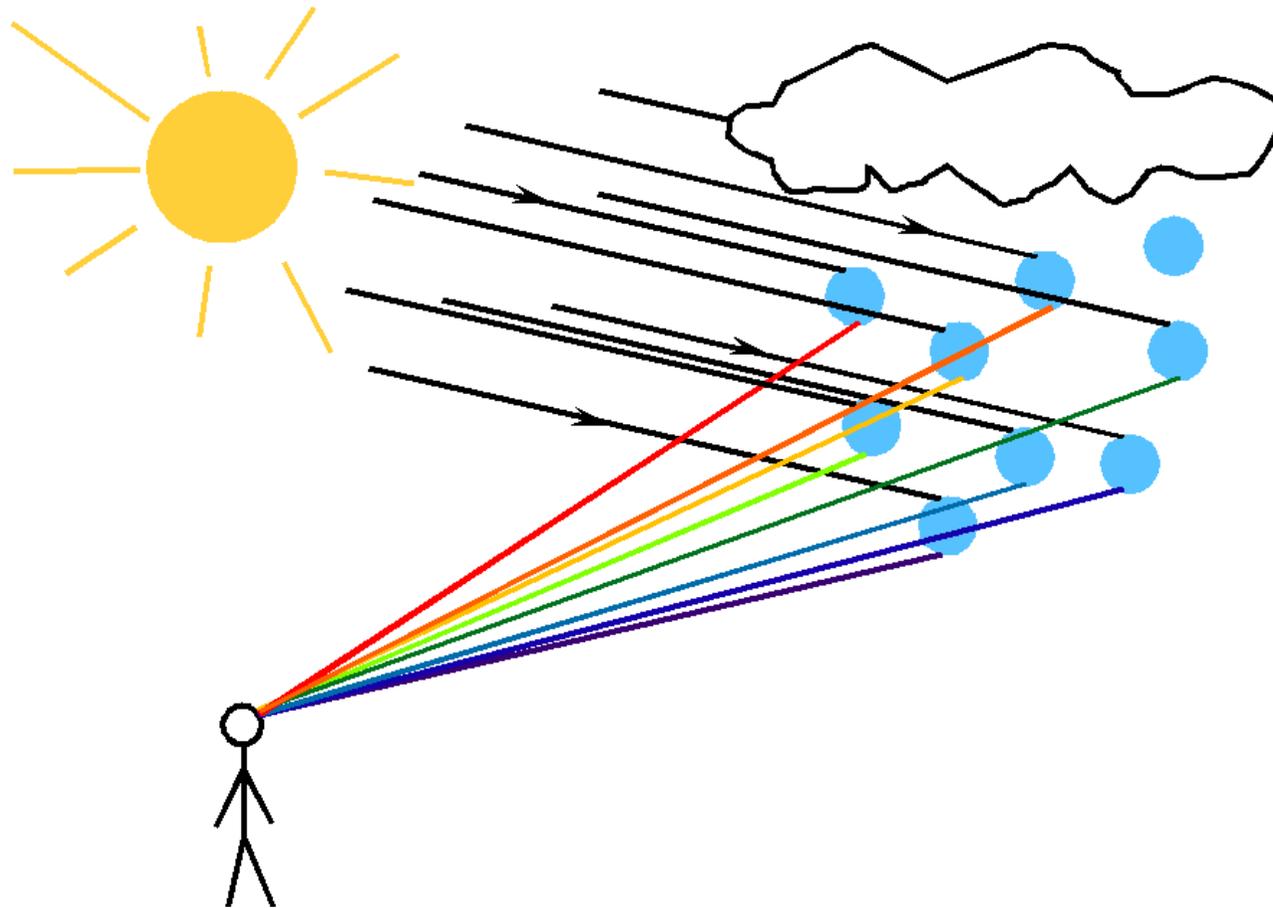


- Farben lassen sich im Kreis anordnen
- Farben sind Mischungen aus Helle und Trübe.
- Goethes Lehre wird in Künstlerkreisen immer noch verwendet.

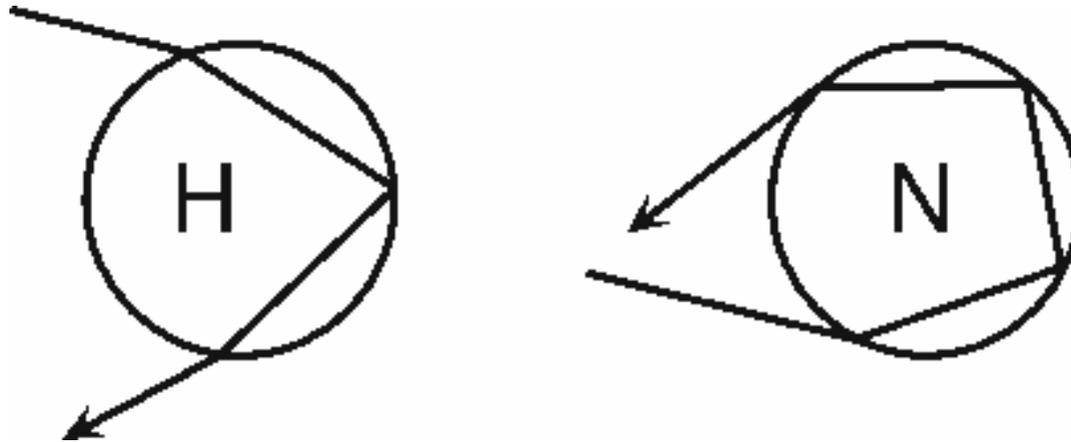
b) Regenbogen



Entstehung des Regenbogens

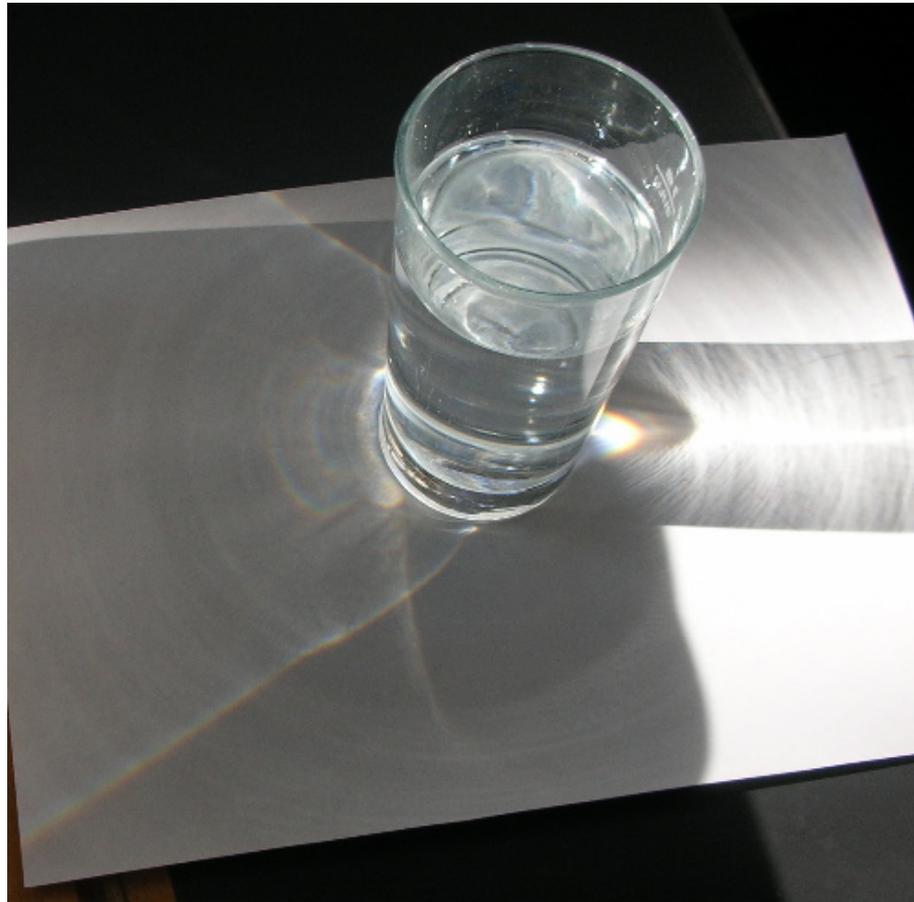


Strahlengang im Wassertropfen

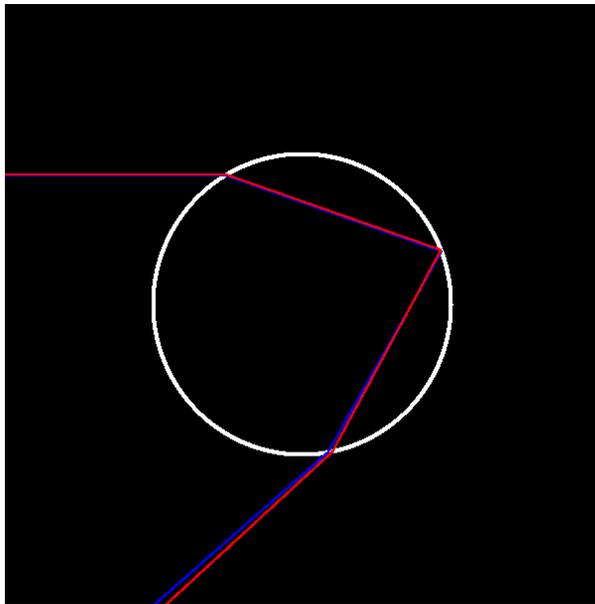
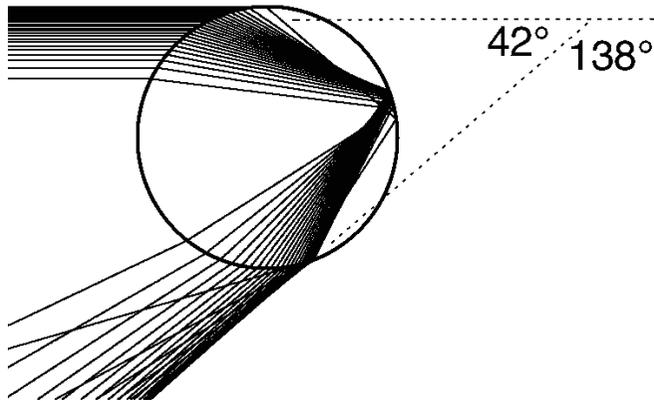


- Experimentelles Resultat
- Dietrich von Freiberg um 1300

Regenbogen im Wasserglas



Regenbogenwinkel

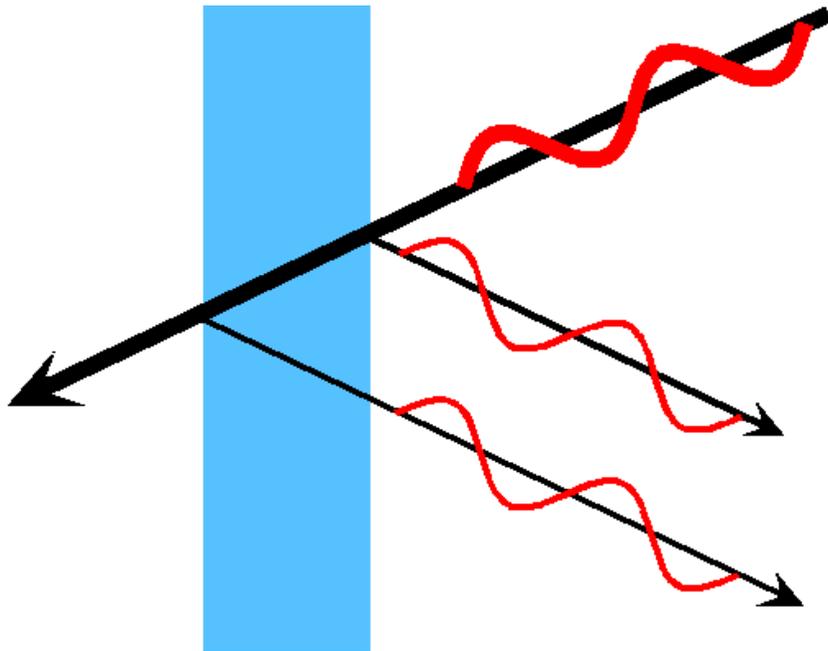


- René Descartes zeigte, dass Licht bevorzugt in bestimmte Richtungen abgelenkt wird.
- Wegen der Dispersion hängt der Winkel von der Farbe ab.

4. Gitter und Seifenblasen

Farben der Seifenblasen und Beugungsgitter
werde mit der Wellentheorie erklärt.

a) Seifenblasen



- Licht wird an der Vorder- und Rückseite einer Seifenhaut reflektiert.
- Die Reflexe interferieren
- Gewissen Farben verschwinden oder werden verstärkt

Interferenzfarben an dünnen Schichten

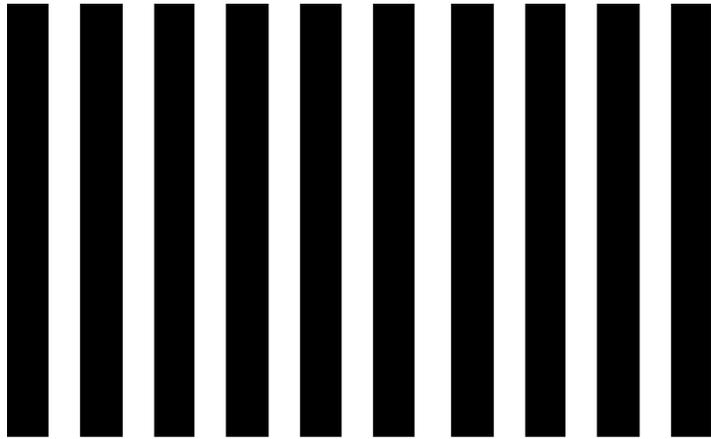


b) Beugungsgitter



- Die Farben einer Compact Disc entstehen durch Beugung von Licht an einem Gitter
- Beugung kann Licht in seine Farben aufspalten

Strichgitter



- Ein Strichgitter besteht aus transparenten und opaken Streifen
- Licht wird gebeugt und interferiert in gewisse Richtungen konstruktiv
- $d \cdot \sin \alpha_m = m \lambda$



Laserstrahl mit und ohne Strichgitter im Strahlengang.

Schluss

Danke für die Aufmerksamkeit



www.physik.li