

Farben des Lichts

Ernst Reinwein

Die Sonne erscheint uns weiß, weil ihr Licht ein kontinuierliches Band aller Farben enthält, das uns im Regenbogen aufgefächert erscheint, von außen rot bis innen blau. *[Das Spektrum des Sonnenlichts ist nur fast kontinuierlich, es hat schmale Lücken, doch diese Fraunhoferschen Linien werden hier nicht weiter beachtet.]*

Newton (1643-1727) wusste durch seine Versuche mit Prismen aus Glas, dass Sonnenlicht aus allen Farben zusammengesetzt ist. Nur Goethe (1749-1832) konnte nicht glauben, dass das reine Weiß aus „schmutzigen Farben“ zusammengesetzt sein sollte. Seine Farbenlehre war psychologisch aber nicht physikalisch motiviert. *[Die Lichtgeschwindigkeit beträgt 300000km/s nur im leeren Raum. Im Glas wird sie in Abhängigkeit von der Lichtfrequenz herabgesetzt (Brechungsindex), wodurch die einzelnen Farben verschieden stark gebrochen werden. Im Glas hat Licht auch eine etwas kleinere Wellenlänge, die sich aus Geschwindigkeit durch Frequenz ergibt. Die Frequenz (Schwingungen pro Sekunde) des Lichts bleibt im Glas unverändert.]*

Im Sonnenlicht sieht eine Pflanze mit Photosynthese grün aus, weil sie zur Erzeugung von Sauerstoff und Zucker rotes und blaues Licht verwendet und grünes Licht vom Chlorophyll nicht absorbiert wird. Ein Objekt kann nur Farben reflektieren, die in der Beleuchtung vorhanden sind. Ein Enzian sieht unter rotem Licht schwarz aus.

Unsere Augen nehmen drei Farbbereiche wahr, mit den Schwerpunkten bei rot, grün und blau. Diese drei Farbbereiche werden auch von Digitalkameras aufgenommen und sie werden auch von den Halbleitern auf PC- und TV-Bildschirmen ausgesendet. Eine Beschränkung des ausgesendeten Lichts auf ein ganz schmales Band, nämlich auf eine einzige Wellenlänge, gelingt nur dem Laser. Blaue Laser z.B. werden mit 405nm oder 445nm oder 488nm und rote Laser mit 635nm oder 655nm oder 670nm angeboten.

Welche Wellenlänge ein Laser aussendet lässt sich einfach bestimmen. Entweder mit einem Glasprisma, dessen Brechungsindex bekannt ist, oder einem Beugungsgitter, dessen Gitterkonstante bekannt ist. Beim Glasprisma wird mit zunehmender Wellenlänge die Brechung immer kleiner, beim Durchlichtbeugungsgitter wird mit zunehmender Wellenlänge die Beugung immer größer.

Ein Laser in der Schublade

Man nehme eine alte Schublade, entferne den Griff, sodass in der Front ein Loch entsteht, befestige innen vor dem Loch ein Durchlichtbeugungsgitter und bringe auf der gegenüberliegenden Innenseite ein Maßband an. Ein Laserstrahl, der durch das Loch geschickt wird, wird in mehrere Teilstrahlen aufgespalten und erzeugt auf der Messskala drei

Leuchtpunkte, einen genau gegenüber dem Loch und je einen rechts und links davon. Nunmehr sind zwei Maße wichtig: die Tiefe a der Lade (Abstand Beugungsgitter-Maßband) und der Abstand B der äußeren Leuchtpunkte (siehe Bild). Bei einem Beugungsgitter mit 1000 Linien/mm (Gitterkonstante 1µm) erfolgt die Berechnung der Wellenlänge λ [nm] mit einer der Formeln:

$$\lambda = 1000 \cdot \sin(\arctan(B/(2 \cdot a)))$$

oder

$$\lambda = 1000 \cdot (B/2) / (a^2 + B^2/4)^{0,5}$$

Beispiel: a=230,0 mm und B= 400,0 mm ergibt λ=656,2nm

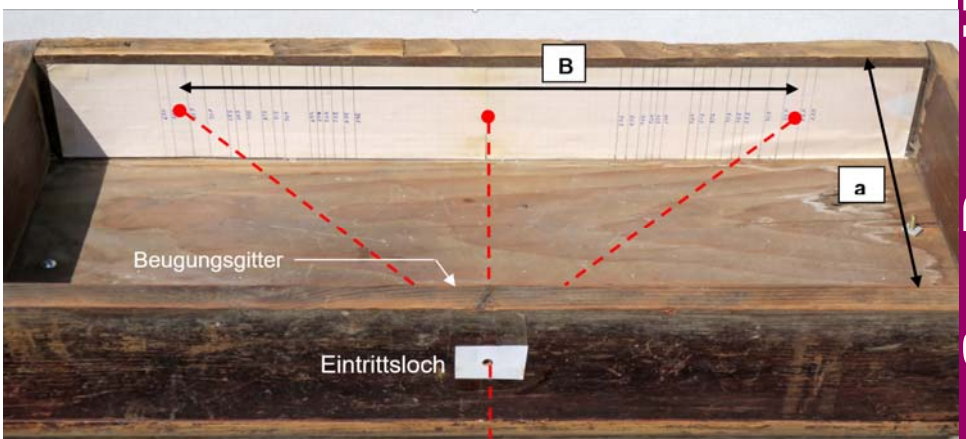
Alternativ kann anstelle des Durchlichtbeugungsgitters ein Teil einer Audio-CD zur Anwendung kommen. Dabei ist das Maßband innen neben dem Eintrittsloch anzubringen. Die CD wird so an der Rückwand platziert, dass der Strahl von jenen Spurrillen, die am äußeren Rand der CD liegen (diese haben die geringste Krümmung), zur Laserquelle und dem Maßband reflektiert wird. Dabei wird wieder der Strahl in mehrere Teilstrahlen aufgespalten und erzeugt neben dem geraden Leuchtpunkt (der nach der Reflexion über oder unter dem Eintrittsloch liegen kann) auch rechts und links davon je einen Leuchtpunkt. Aus der Entfernung a zwischen der CD und dem parallel dazu befindlichen Maßband und dem Abstand B zwischen den beiden rechts und links vom geraden Strahl projizierten Punkten kann die Wellenlänge λ [nm] berechnet werden. Da die Spurrillen normgemäß einen Abstand von 1,6µm (Mitte-Mitte) haben lautet die Rechnung

$$\lambda = 1600 \cdot \sin(\arctan(B/(2 \cdot a)))$$

oder

$$\lambda = 1600 \cdot (B/2) / (a^2 + B^2/4)^{0,5}$$

Das Maßband wurde hier nicht mit Millimetern sondern bereits mit Wellenlängen beschriftet. Wird nicht ein Laser sondern die Sonne als Lichtquelle benutzt, wird ein "Regenbogenband" sichtbar. Sein hellster Bereich liegt bei 440 - 660nm, ich kann das Licht etwa von 340 - 680nm sehen.



Durchlichtbeugungsgitter sind als Folie zum selbst montieren in beigegebene Diarähmchen in Wien und Linz oder im Internet bei <https://teleskop-austria.at/AM-407-NDI-DiffraktionsGitter-1000-Linien-mm-4-Stk-je-24x36mm> erhältlich

Farbmonitore

Nicht jeder Farbmonitor zeigt ein leeres Schreibblatt wirklich weiß. Was auch immer der Grund für eine Farbabweichung ins gelbliche oder bläuliche sein mag, man kann die Abweichung messen und zwar mit einem Foto des Bildschirms mit der Digitalkamera. Eine Weitwinkelaufnahme (Pixelstruktur soll nicht sichtbar sein) mit Spotbelichtungsmessung und statt der AWB die fixe Einstellung auf Tageslicht, ermöglicht in Photoshop-Elements (PSE) Farbwiedergaben zu vergleichen.

Die Messung der Farbe erfolgt bei PSE immer dort wo sich die Maus (der Cursor) befindet. Zur Anzeige der Farbwerte so vorgehen: Klicken auf „Fenster“, Häkchen

INFORMATIONEN			
R:	120	F:	64°
G:	121	S:	13%
B:	105	H:	47%
X: 3467		B: 1470	
Y: 1470		H: 1470	

INFORMATIONEN			
R:	130	F:	0°
G:	130	S:	0%
B:	130	H:	51%
X: 3130		B: 1470	
Y: 1470		H: 1470	

Links ein Monitor mit einem Gelbstich, rechts ein Monitor der farbkalibriert wurde.

bei „Informationen“, dann Maus im weißen Feld des Bildschirmfotos positionieren, jetzt zeigt das Feld Informationen mit den Zahlen RGB (und FSH) die Farbe an der Position der Maus. Wird die Maus innerhalb des weißen Feldes bewegt, werden die RGB-Werte nicht ganz gleich bleiben, aber die Tendenz ist gut erkennbar.

Weiß kann verschiedene Ursachen haben

Wenn wir Weiß wahrnehmen, kann das durch unterschiedliche Kombinationen farbiger Lichter verursacht sein: gleichzeitig alle Farben des Sonnenspektrums oder nur drei Farblichter wie Rot+Grün+Blau (RGB) oder lediglich zwei Farblichter, sogenannte Komplementärfarben wie z.B. Blau und Gelb. Der letzte Fall ist tückisch, weil dabei zwar ein weißes Blatt Papier weiß aussieht, aber ein rotes Objekt schwarz (bzw. grau) erscheint, da es keine der beiden Lichter reflektiert. In der Digitalfotografie wird jede Farbe durch die Kombination der Farben RGB mit 3x8bit festgelegt, sodass jede der drei Grundfarben 256 Intensitätsstufen haben kann. Gleiche Anteile von RGB 255/255/255 ergibt helles Weiß, werden alle drei Anteile gleich verringert, ergibt das ein mehr oder weniger helles Weiß bzw. Grau (z.B. 130 wie oben beim rechten Farbmonitor).

Interessant ist nun die Umwandlung eines Farbbildes in ein s/w-Bild, eigentlich Graustufenbild, weil es mehrere Ansätze gibt Farben in Helligkeitswerte umzuwandeln. So führen in PSE die Funktionen „Überarbeiten / in Schwarzweiß konvertieren“ und die Funktionen „Überarbeiten / Farbe anpassen / Farbe

entfernen“ zu unterschiedlichen Ergebnissen. Beide Methoden zur Umwandlung von Farben in Grauwerte wurden auf die Regenbogenfarben angewendet und in den zwei folgenden Bildern jeweils im mittleren Streifen dargestellt.

Im ersten Spektrum wurden die Grauwerte im Mittenstreifen aus den Farbwerten mit $R/3+G/3+B/3$ gebildet, wobei in PSE noch die Möglichkeit besteht, die einzelnen Anteile durch Regler zu verändern. So wird z.B. für die Umwandlung von Farbfernsehen in Schwarzweißfernsehen die augenangepasste Bewertung $0,30R + 0,59G + 0,11B$ verwendet.

Im zweiten Spektrum wurden die Grauwerte nach der Methode gebildet, dass von den drei Farbwerten der größte und der kleinste Wert addiert und die Summe halbiert wird, wodurch hier über das ganze Spektrum der gleiche Grauwert (hier 127) entsteht.

Wie im Spektrum die Farbanteile RGB verlaufen zeigt das Diagramm im Bild auf der nächsten Seite.

Im Diagramm ist der Verlauf der Farbanteile (y-Achse 0-255) dargestellt. Links beginnend mit vollem Blauanteil und nach rechts schwächer werdendem Rotanteil. Wo Rot auf Null geht beginnt der Grünanteil zu steigen usw. Z.B. Gelb wird aus RGB 255/255/0 (also Rot und Grün ohne Blau) gebildet. Als Beweis Farben am Monitor mit einer Lupe ansehen!

Lichtspektren sichtbar machen

Wenn Licht schräg auf das Durchlichtbeugungsgitter fällt, werden die Spektralfarben sichtbar. Bei glühenden Körpern ist es ein kontinuierlich helles Band, dessen Farbverteilung von der Temperatur abhängt. Die Sonnenoberfläche mit 6000K hat mehr Blauanteil, die nicht so heiße Glühlampe mit 3000K hat mehr Rotanteil. Leuchtstofflampen haben kein kontinuierliches Spektrum, sondern aufgrund der chemischen Zusammensetzung der Leuchtstoffschicht (die durch die in der Lampe erzeugte UV-Strahlung zum Leuchten angeregt wird) werden einzelne Farben besonders stark abgestrahlt.

Für die praktische Anwendung ist Heimwerken angesagt. Ein geschlossenes Rohr hält Fremdlicht ab. Im Knick des Rohres steht das Beugungsgitter. Für den Lichteintritt ist im Muffenstopfen in ca 33° vor dem Gitter ein Schlitz parallel zur Gitterausrichtung am zweckmäßigsten. Je größer dessen Fläche, desto heller ist das Bild, aber breite Schlitze verfälschen Farbübergänge durch Überlappung. Mittels Versuchen kann ein brauchbarer Kompromiss gefunden werden. Saubere Kanten beim Schlitz vermeiden Streifen im Bild. Eine Auskleidung des Rohres mit schwarzem Papier vermeidet Doppelbilder. Wird das Rohr auf eine Lichtquelle zum Beispiel den Himmel gerichtet, wird das spektrale Farbband sichtbar.

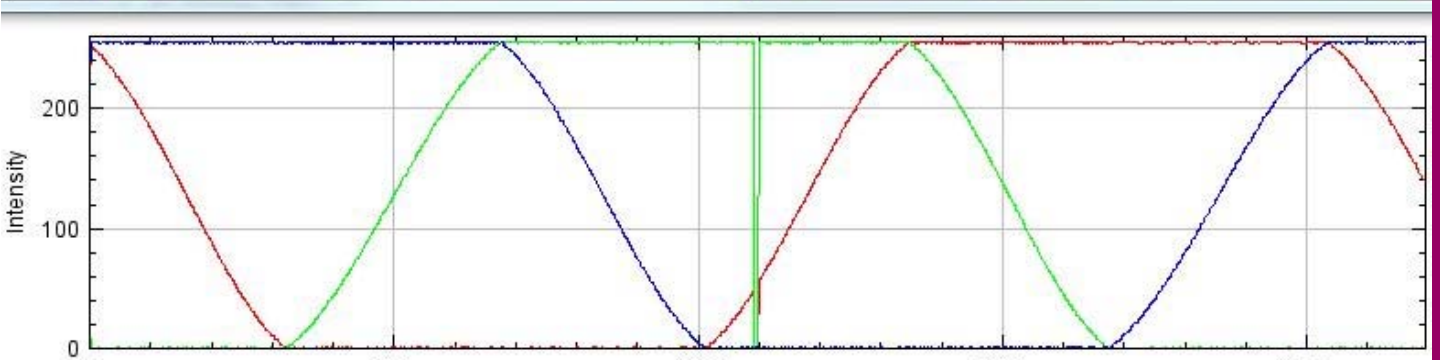
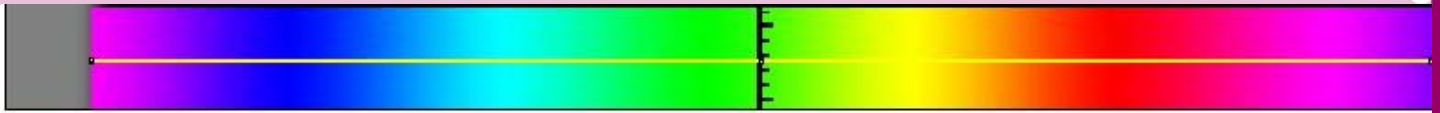
Im Bild ist das Kunststoffrohr (Nennweite 50mm) kombiniert mit einer Kompaktkamera zu sehen. Das Durchlichtbeugungsgitter g befindet sich im Rohrknick parallel zur Kamera. Im Muffenstopfen



Mittlerer Streifen in Schwarzweiß konvertiert

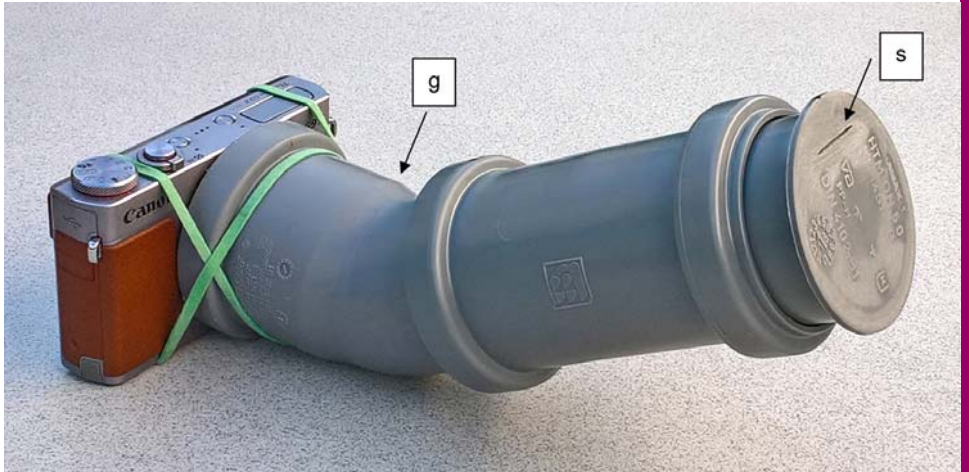


Im mittleren Streifen Farbe entfernt



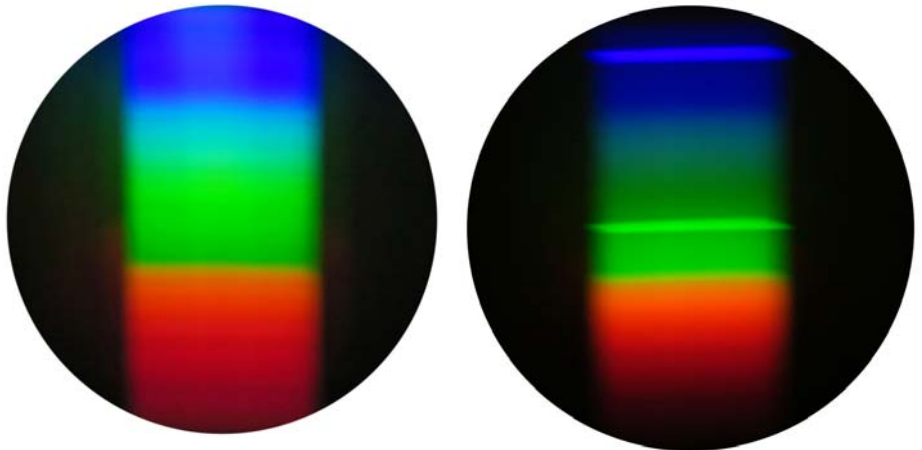
befindet sich der Schlitz s mit etwa 20x0,5mm.

Damit wurde das Spektrum des Himmels und einer weißen Leuchtstoffröhre fotografiert. Der Himmel zeigt ein gleichmäßiges Farbband, der Leuchtstoff strahlt einige Farben stärker und andere schwächer ab.



„Schwarzlicht“

Weiter oben habe ich angegeben, dass ich die Regenbogenfarben von 340nm – 680nm gesehen hätte. Zwar habe ich das Lichtspektrum über diesen Bereich auf dem Maßband gesehen, wie jedoch weitere Versuche zeigten erfassen meine Augen nur Licht im Wellenlängenbereich 410nm – 680nm. Die Wellenlängen 340nm – 410nm sind im Ultraviolettbereich, der für mich nicht direkt sichtbar ist. Dieses unsichtbare Licht wurde erst durch die Eigenschaften des verwendeten Papier-Maßbandes sichtbar.



In manchen Materialien sind Stoffe eingelagert, die das nicht sichtbare UV-Licht in sichtbares Licht umwandeln können. Dazu zählt nicht nur die Innenbeschichtung von Leuchtstofflampen, sondern auch weiße Papiersorten, einige Waschmittel (die angeblich weißer als weiß waschen), manche Kunststoffe, Urin, der Körper von Skorpionen, UV-Markerstifte wie Edding 8280, Sicherheitsmerkmale auf Geldscheinen, Vanillepudding der das Vitamin B2 (Riboflavin) enthält etc.

Bei UV gibt es keinen Lidschlussreflex, daher nicht in die Augen leuchten!



Bei Sonnenlicht fällt diese Eigenschaft nicht auf, da das vorhandene sichtbare Licht so hell ist, dass das zusätzliche kaum bemerkt wird. Doch bei Dunkelheit wird das durch ein vorhandenes UV-Licht in den Materialien erzeugte und ausgesendete Licht auffällig sichtbar.

Dokumentenprüfung: Reisepass bei weißem Licht, bei UV 395 nm, bei UV 365 nm.



Die Fotos rechts zeigen zwei Küchenschneidbretter aus weißem Kunststoff, einmal bei Sonne und einmal in dunkler Nacht beleuchtet mit einer „Schwarzlichtlampe“, die ihr Leuchtmaximum im Bereich 350-370nm hat. Auch UV-LEDs zeigen dieses Ergebnis. Darunter: Dokumentenprüfung bei einem Reisepass.