

Regenbogen – Brücke zwischen Physik und Poesie

«Ohne Tränen hätte die Seele keinen Regenbogen» (John Vance Cheney, 1848-1922). Der Regenbogen fasziniert Menschen, sowohl Poeten wie Wissenschaftler. Die meisten Eigenschaften dieser Lichterscheinung können heute auf einfache Weise berechnet und verstanden werden.

Aristoteles (384-322 v.Chr.) erklärte vermutlich als erster den Regenbogen als «unübliche Reflexion» von Sonnenlicht an Wolken. Das Licht wird seiner Meinung nach an Wassertröpfchen unter einem fixen Winkel reflektiert, wodurch für den Beobachter ein Kreisbogen entsteht. Rund 150 Jahre später beschrieb Alexander von Aphrodisias das nach ihm benannte dunklere Band zwischen dem primären und dem sekundären Regenbogen.

Erst René Descartes (1596-1650) fand die physikalisch korrekte Erklärung, indem er die bereits 1304 durch den deutschen Mönch Theodoric von Freiberg gemachten Experimente wiederholte. Er untersuchte Lichtstrahlen durch ein kugelförmiges, wassergefülltes Glasgefäß und fand heraus, dass diese nicht unter einem fixen Winkel reflektiert werden, wie Aristoteles glaubte. Er konnte parallel einfallende Lichtstrahlen verfolgen, welche die Oberfläche des Gefäßes an verschiedenen Stellen und somit unter verschiedenen Winkeln trafen und sah, dass ein Wassertropfen die Sonnenstrahlen in unendlich viele Richtungen reflektiert. Durch ein- oder zweimalige Spiegelung an der Rückseite des Gefäßes konnte er auch die Entstehung des primären und sekundären Regenbogens verstehen.

Fixer Winkel

Doch warum sehen wir den Regenbogen unter einem fixen Winkel? Zur Vereinfachung lassen wir die Farben vorerst beiseite und betrachten einen rein roten Regenbogen, wie er bei Abendrot entsteht. Ohne Rechnung sehen wir, dass ein genau ins Zentrum eines Tropfens treffender Lichtstrahl in sich selbst reflektiert wird, weil er senkrecht auf die Oberfläche des Tropfens trifft. Der Reflexionswinkel ist in diesem Spezialfall 0 Grad. Mit Hilfe eines Taschenrechners

bestimmen wir nun die Wege von 10 bis 20 Lichtstrahlen, die immer flacher auf die Tropfenoberfläche treffen, bis sie den Tropfen nur noch streifen. Für den Eintritt in den Tropfen verwenden wir das Brechungsgesetz, dann spiegeln wir den Lichtstrahl an der Rückseite des Tropfens und bestimmen schließlich den Austrittswinkel wiederum mit dem Brechungsgesetz. Dabei stellen wir wie Descartes fest, dass zwischen 0 und 42,5 Grad jeder beliebige Reflexionswinkel entsteht. Wir sehen also reflektiertes rotes Licht im ganzen Raum unterhalb eines Halbkreises mit einer Öffnung von 42,5 Grad; ausserhalb dieses Halbkreises ist es dunkler, denn es gibt mit nur einer Spiegelung keine Reflexionswinkel über 42,5 Grad.

Warum aber leuchtet der äusserste Rand des erhellten Raumes zwischen 41,7 und 42,5 Grad viel heller? Die Rechnung zeigt, dass 10 Prozent der Lichtenergie in dieses 0,8 Grad schmale Band konzentriert werden, während die übrigen 90 Prozent auf die restlichen 41,7 Grad verteilt werden.

Der sekundäre Regenbogen

Eine analoge Rechnung für den sekundären Regenbogen (zwei Spiegelungen im Tropfen) ergibt einen minimalen Winkel von 50,2 Grad. Ausserhalb dieses Kreisbogens sehen wir rotes Licht aus jeder Richtung bis gegen 90 Grad. Der sekundäre Regenbogen ist schwächer als der primäre, weil jede Spiegelung im Innern des Tropfens nur rund 10 Prozent des Lichtes weitergibt. Zwischen 42,5 und 50,2 Grad sehen wir kein Regenbogenlicht: Das sogenannte Alexander Band erscheint dunkler. An der Vorderseite der Tropfen gespiegeltes Licht bewirkt jedoch, dass das Alexander Band nur dunkler, aber nicht schwarz ist.

Wellenlänge ist Farbe

Wo ist nun das violette Licht bei weiss leuchtender Sonne? Der Brechungsindex hängt von der Wellenlänge des Lichtes ab. Durch den 0,9 Prozent grösseren Brechungsindex des violetten Lichtes wird der maximale Winkel des Primärbogens 1,8 Grad kleiner und der minimale Winkel des Sekundärbogens 3,1 Grad grösser als beim roten Licht. Wiederum geht kein Licht ins Alexander Band; die Zonen innerhalb



Primärer und sekundärer Regenbogen in Colorado, USA. Sehr schön ist der helle Bereich unterhalb des Primärbogens und das dunklere Alexander Band darüber zu sehen. Weiter sind knapp unterhalb des Primärbogens zwei indigo-violette Bänder zu erkennen, die aus Interferenzen stammen.

des Primärbogens und ausserhalb des Sekundärbogens werden jedoch ausgeleuchtet. Da sich dort das Licht aller Spektralfarben mischt, entspricht die Farbe dieser Zonen dem Sonnenlicht.

Das rote Band in den Regenbögen hat die reinste Farbe, alle anderen Bänder sind mit allen Farben grösserer Wellenlängen «verschmutzt», also gelb mit rot, grün mit rot und gelb, etc. Daher hat ein Regenbogen kein reines gelbes Band, wie man auf den ersten Blick meint, sondern einen nahtlosen Übergang von orangegelb nach grüngelb. Zudem hat die Sonnenscheibe einen Durchmesser von 0,5 Grad; ihre Strahlen sind nicht genau parallel, wie in unserer idealisierten Rechnung angenommen. Daher werden alle Farbbänder eines Regenbogens um 0,5 Grad «verschmiert» und die Breite des Primärbogens erscheint uns grösser als die obigen 1,8 Grad, nämlich etwa 2,3 Grad.

Beobachtet man den Regenbogen noch genauer, erkennt man bei sehr hellen Primärbögen unterhalb des violetten Bandes zusätzliche violett-

blaue Bänder, die nahe beieinander liegen. Diese weiteren Bänder entstehen durch Interferenzen und können nicht mit der obigen Näherung der Strahlenoptik berechnet werden. Die entsprechenden Rechnungen sind daher auch sehr viel aufwändiger. Da für Interferenzeffekte sowohl die Wellenlänge als auch die Länge der Lichtwege innerhalb des Tropfens wichtig sind, ist dieses Streifenmuster von der Grösse der Tropfen abhängig. Schliesslich kann man mit Hilfe einer Polaroid-Sonnenbrille auch noch feststellen, dass das Regenbogenlicht tangential zum Bogen polarisiert ist.

Fritz Gassmann

LITERATUR

Nussenzweig H. M. 1977. The Theory of the Rainbow. Sci. Am. 236 (4): 116–127.