

**Anwendung: Wie entsteht ein Regenbogen?** (Abb. 3.69)

Ein guter Moment, einen Regenbogen zu sehen, ist, wenn sich die tiefstehende Sonne nach einem Regenguss wieder zeigt (Abb. 3.68). Warum? Wie entsteht überhaupt ein Regenbogen?

*Lösung:*

Das Spektrum des sichtbaren Lichtes umfasst Wellenlängen zwischen 380 und 780 Nanometer (also etwas weniger als ein Tausendstel Millimeter). Die einzelnen Spektralfarben werden umso weniger beim Übergang in ein optisch dichteres Medium gebrochen, je niedriger die Frequenz ist. Violett wird dadurch stärker gebrochen als Rot; jenseits von Rot haben wir die wärmenden Infrarot-Strahlen, jenseits von Violett die schädlichen Ultraviolett-Strahlen.



**Abb. 3.68** Zwei konzentrische Regenbögen (primär und sekundär)

Die Luft ist nun nach einem Regenguss voll von (kugelförmigen) Wassertröpfchen (Abb. 3.69). Diese sehen wir üblicherweise diffus als Nebel oder Wolken. Sei  $r$  die Richtung der einfallenden Lichtstrahlen. An jedem beliebigen Punkt der beleuchteten Kugelhälfte wird der Lichtstrahl teilweise an der Kugel reflektiert, teilweise ins Kugellinnere gebrochen ( $\rightarrow$  Strahl  $r_1$ ).

Der Strahl wird aber durch die leicht unterschiedlichen Brechungskoeffizienten in die Spektralfarben „aufgefächert“.  $r_1$  trifft auf die innere Kugelwand und wird teilweise gebrochen, teilweise reflektiert ( $\rightarrow$  Strahl  $r_2$ ).  $r_2$  trifft wieder auf die Kugelwand und wird teilweise gebrochen ( $\rightarrow$  Strahl  $r_3$ ), teilweise reflektiert, wobei die Auffächerung zwar „invertiert“, wohl aber erhalten bleibt. Der austretende Strahl  $r_3$  ist ein noch weiter aufgefächertes Strahlenbüschel, das reflektierte Restlicht „irrt weiter herum“, wobei dem Lichtstrahl bei jeder Brechung durch die Aufteilung in reflektiertes und gebrochenes Licht Intensität „entzogen“ wird.

Es zeigt sich nun, dass hauptsächlich  $r_3$  für den Regenbogen-Effekt verantwortlich ist. Genauer: Für den *primären Regenbogen*. Bei nochmaliger Spiegelung und darauffolgendem Austritt entsteht ein *sekundärer Regenbogen* (Abb. 3.68). Dies hat schon René *Descartes* (1596 – 1650) vor fast 400 Jahren gewusst!

Wenn wir nicht nur einen, sondern unendlich viele parallele Lichtstrahlen in die Kugel schicken (Abb. 3.69), werden die meisten Strahlen – in alle möglichen Richtungen gebrochen – das Wassertröpfchen auf der Rückseite verlassen. Jene Strahlen, die an der Tröpfchen-Rückwand nahe dem kritischen Totalreflexionswinkel eintreffen, werden in Richtung  $r_3$  relativ stark aufgefächert retour kommen. Abb. 3.69 illustriert, dass es bei einem gewissen Austrittswinkel ( $\alpha \approx 43^\circ$ ) ein ausgeprägtes Maximum an solchen Strahlen

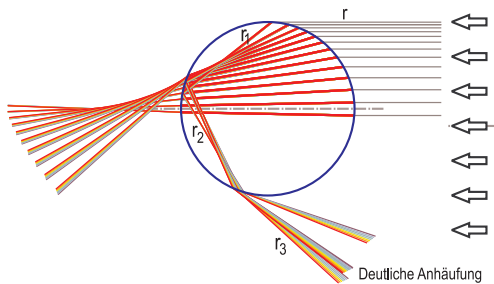


Abb. 3.69 Entstehung des Regenbogens

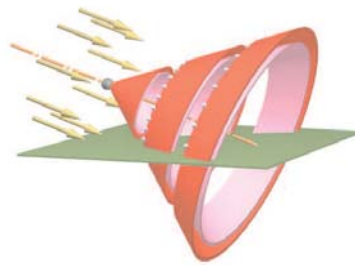


Abb. 3.70 Regenbogen als Drehkegel

$r_3$  gibt<sup>1</sup>. Für jedes Teilspektrum im gesamten Licht-Spektralspektrum – also jede Spektralfarbe – ist dieser Winkel leicht unterschiedlich (Violett...  $42^\circ$ , Rot...  $44^\circ$ ). Betrachtet man das Tröpfchen unter diesem Winkel, überwiegt dort dann der zugehörige Farbanteil.

Dadurch sieht der Beobachter alle Regentropfen, die den Strahl  $r_3$  unter dem Winkel  $\alpha$  „abschicken“, in der jeweiligen Spektralfarbe schillern. All diese Tröpfchen liegen verteilt auf einem Drehkegel, dessen Scheitel das Auge und dessen halber Öffnungswinkel  $\alpha$  ist. Dieser Drehkegel erscheint also „projizierend“ als Kreisbogen (Abb. 3.70). Das menschliche Auge unterscheidet sieben wesentlich verschiedene Farben, wobei Rot den *äußeren Rand* bildet. Beim sekundären Regenbogen – der sich übrigens für  $\alpha \approx 51^\circ$  einstellt – dreht sich die Reihenfolge wegen der zusätzlichen Spiegelung um!

Normalerweise sieht man je nach Sonnenstand maximal einen Halbkreisbogen. Beim Blick aus einem Flugzeug (über den Wolken) kann man jedoch bei hochstehender Sonne auch einen ganzen Bogen sehen. Weil der Kegel vom aktuellen Standplatz abhängig ist, sieht man beim Herumgehen stets einen neuen Regenbogen. Es hat also keinen Sinn, „nach dem Schatz zu suchen, der am Fuß des Regenbogens begraben liegt.“



### Anwendung: Warum ist die untergehende Sonne rot?

#### Lösung:

Wenn die Sonne knapp über dem Horizont steht, fallen die Lichtstrahlen, die ja eigentlich das gesamte sichtbare Spektrum umfassen (siehe Anwendung S. 125), sehr schräg in die zur Erdoberfläche immer dichter werdende Atmosphäre ein. Die Strahlen werden dabei zunehmend in die Einzelfarben aufgefächert, wobei Violett am stärksten zum Lot gebrochen wird, Rot am wenigsten. Theoretisch erreicht uns also der Blauanteil des Lichts länger als der Rotanteil (Abb. 3.71). Dieser Blauanteil wird jedoch wegen der kürzeren Wellenlänge in der Atmosphäre zerstreut (deswegen ist der Himmel blau).

<sup>1</sup>Starten Sie das Demo-Programm `rainbow.exe`, um sich die Sachlage animiert anzusehen. Mehr Theorie dazu gibt es u. a. auf der interessanten Webseite <http://www.geom.umn.edu/education/calc-init/rainbow/>  
Siehe auch Steven Janke: *Modules in Undergraduate Mathematics and its Applications*, 1992.