

Halo

Lie.

Ein Halo ist ein heller Ring um die Sonne, der durch Brechung von Licht an Eiskristallen entsteht (E. Mariotte, um 1680). Der häufigste Halo hat einen halben Öffnungswinkel von 22° . Wir werden zeigen, dass durch den in Abbildung 1 gezeigten Strahlengang besonders viel Licht ins Auge des Betrachters gelenkt wird.

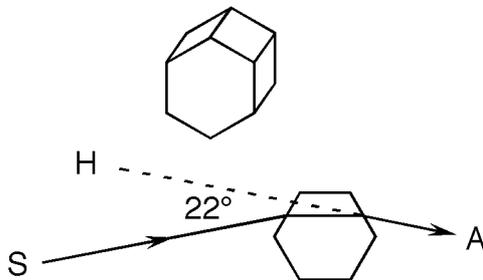


Abb. 1: Ein 22° -Halo entsteht, wenn eine Schleierwolke vor der Sonne aus sechseckigen Eisprismen besteht, die etwa gleichlang wie breit sind. Dadurch haben die Eiskristalle keine Vorzugsorientierung. (Platten oder Stäbchen wären horizontal orientiert.)
S: Sonne, H: Halo, A: Auge

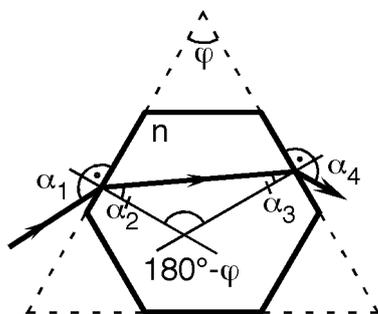


Abbildung 2: Ein Lichtstrahl trifft unter dem Winkel α_1 auf das Eisprisma, das wir uns als Ausschnitt aus einem $\varphi = 60^\circ$ Prisma denken können. Der Ablenkwinkel ϑ ist:
 $\vartheta = (\alpha_1 - \alpha_2) + (\alpha_4 - \alpha_3)$ wobei $\sin \alpha_1 = n \sin \alpha_2$ und $n \sin \alpha_3 = \sin \alpha_4$ sowie $\varphi = \alpha_2 + \alpha_3$ ist. Es folgt $\vartheta = \alpha_1 + \alpha_4 - \varphi$
 $\vartheta = \alpha_1 + \arcsin(n \sin(\varphi - \arcsin(\sin(\alpha_1)/n))) - \varphi$

Eis ist ein doppelbrechender Kristall. Der ordentliche Brechungsindex von Eis bei 0°C beträgt 1.3091, der ausserordentliche 1.3105; beide Werte gelten für gelbes Licht (Na-D-Linie) relativ zu Luft von 20°C und 10 Torr H_2O Partialdruck (Kohlrausch 1968). Wir werden mit dem Mittelwert $n = 1.310$ weiterrechnen.

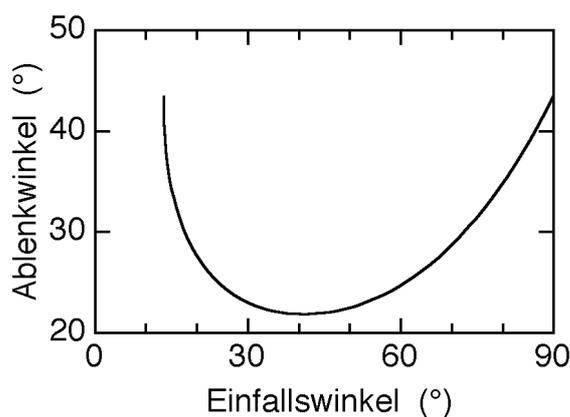


Abbildung 3: Ablenkwinkel ϑ als Funktion des Einfallswinkels α_1 berechnet für einen Prismenwinkel $\varphi = 60^\circ$ und eine Brechzahl $n = 1.310$. Man sieht, dass es ein Minimum $\vartheta \approx 22^\circ$ gibt. In die Richtung des entsprechenden Strahlengangs wird besonders viel Licht abgelenkt. Licht in der Nähe von anderen Einfallswinkeln wird über einen breiten Bereich zerstreut.

Aus der Theorie des Dispersionsprismas folgt das Minimum

$$\vartheta = 2 \cdot \arcsin(n \sin(\varphi/2)) - \varphi = 2 \cdot \arcsin(1.310 \cdot \sin(60^\circ/2)) - 60^\circ = \underline{21^\circ 50'}$$

$$\alpha_1 = 40^\circ 55'$$

Die Überlegung ist ganz ähnlich wie jene beim Regenbogen.

Ein zweiter Halo, der 46°-Halo, entsteht durch den Strahlengang in Abbildung 4.

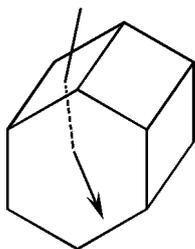


Abbildung 4: Strahlengang für den 46°-Halo. Das Licht wird an der 90°-Kante gebrochen. Auch bei diesem Halo dürfen die Eiskristalle keine Vorzugsrichtung haben, d.h. sie müssen zufällig ausgerichtet sein resp. um alle möglichen Achsen rotieren. Der 46°-Halo ist seltener als der 22°-Halo.

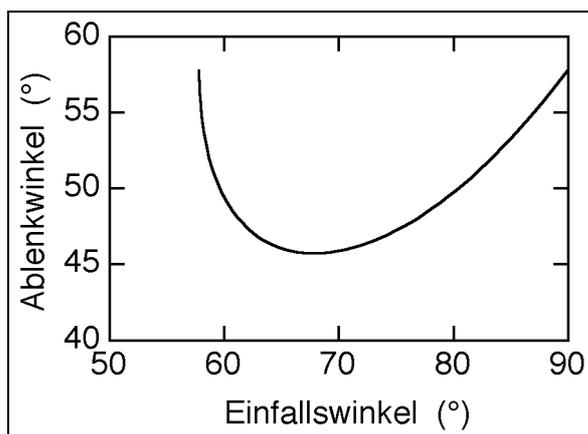


Abbildung 5: Ablenkwinkel α als Funktion des Einfallswinkels α_1 für die 90°-Kante eines Einkristalls. Besonders viele Lichtstrahlen werden um 46° abgelenkt.

Der minimale Ablenkwinkel ist genauer:

$$\alpha = 45^{\circ}44' \quad (\text{für } n = 1.310)$$

beim Einfallswinkel

$$\alpha_1 = 67^{\circ}00'$$

Nebensonnen sind Aufhellungen auf dem 22°-Halo waagrecht links und rechts von der Sonne. Häufig sind die Nebensonnen als erstes sichtbar. Bei ihnen ist auch eine Aufspaltung der Farben zu erkennen (innen rot und aussen blau). Nebensonnen entstehen durch Brechung wie der 22°-Halo, aber diesmal sind die Eiskristalle flache hexagonale Platten von 0.2 bis 5 mm Grösse, die sich wegen dem Luftwiderstand im freien Fall horizontal ausrichten und nur um die vertikale Achse zufällig gedreht sind. Die Lichtablenkung erfolgt deshalb vor allem in der horizontalen Ebene.

Dieselben horizontal orientierten Platten verursachen durch Brechung an der 90°-Kante (Abb. 4) den Zirkumzenitalbogen. Der Zirkumzenitalbogen verläuft oberhalb des 46°-Halos und berührt diesen gelegentlich. Wie der Name sagt läuft er (ungefähr) um den Zenit, meist ist aber nur das Stück über dem 46°-Halo sichtbar. Die Rechnung ist aufwändiger. Der Zirkumzenitalbogen ist wegen der grossen Ablenkung sehr farbenprächtig.

Durch Reflexion an den horizontalen Platten entstehen die vertikalen Säulen ober- und unterhalb der Sonne.

Bestehen die Eiskristalle aus prismatischen Nadeln, so werde auch diese bei Windstille durch den Luftwiderstand horizontal ausgerichtet, sind sonst aber beliebig orientiert. Lichtablenkung nach der Art von Abb. 1 verursacht den Berührungsbogen, der den 22°-Halo oben (und unten) berührt und sonst ausserhalb des 22°-Halos verläuft. Die Rechnung ist auch hier aufwändiger.