

## ATMOSPHERISCHE OPTIK

## Das farbenprächtige Glitzern frischen Schnees

Regenbögen, Halos, Koronen, Himmelsfarben – es gibt eine Vielzahl farbenprächtiger Phänomene in der Natur, verursacht durch Reflexion, Brechung oder allgemein gesprochen durch Streuung des Lichts an Wassertropfen, Eiskristallen oder Aerosolen [1]. Das farbige Glitzern einer Schneeschicht scheint zunächst anderer Natur zu sein, lässt sich aber auf analoge Weise erklären.

Farbige Nebensonnen (Abbildung 1) sind häufig beobachtbar. Sie entstehen durch zweimalige Brechung des Sonnen- oder Mondlichts in mikroskopischen hexagonalen Eiskristallen (Abbildung 2). Sie treten zumeist in hohen Zirruswolken, gelegentlich aber auch in Bodennähe auf. Entscheidend ist eine einheitlich vertikal orientierte Symmetrieachse. Ohne diese Vorzugsorientierung können Ringhalos entstehen.

Die Bedingungen für das Entstehen von Halos hängen empfindlich von der Art der Kristalle und den meteorologischen Bedingungen ab. Gibt es statt hexagonaler Kristalle mehr Schneeflocken mit dendritischer Struktur [2], so wird das Licht überwiegend diffus gestreut, und es sind keine Farbeffekte beobachtbar. Das kennen wir auch aus dem Winter: Wenn es schneit, sind keine Halos beobachtbar, und auch später, ohne weiteren Niederschlag erscheinen Schneedecken im Allgemeinen weiß.

Die weiße Farbe von Schnee und Eis beruht auf dem Zusammenspiel

von Absorption des Lichts in den Eiskristallen und Streuung [3]. Im Schnee dominiert die im Wesentlichen wellenlängenunabhängige Vorwärtsstreuung an dendritischen Eiskristallen, die groß gegen die Wellenlänge sind. Genau genommen wird von oben auf eine Schneeschicht einfallendes Licht mehrfach gestreut, so dass ein gewisser Bruchteil nach vielen Streuprozessen wieder nach oben austreten kann und als weiß wahrgenommen wird.

Schon eine Schneeschicht von wenigen Zentimetern Dicke erscheint weiß: Absorption ist auf diesen kleinen Wegstrecken im Schnee vernachlässigbar. Schaut man auf eine Schneedecke, so sieht man optische Effekte, die auf Streuung in den oberen Schneeschichten zurückzuführen sind.

### Brillante Farbreflexe von schneebedeckten Oberflächen

Hin und wieder lassen sich jedoch auch farbenprächtige Erscheinungen beobachten – wenn man denn zur

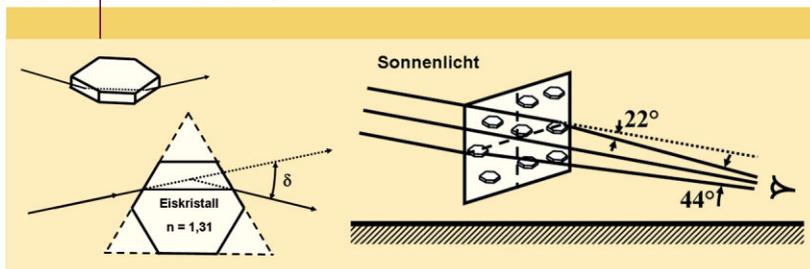


**Abb. 1** Winternebensonne über einer Schneelandschaft bei einer Sonnenhöhe von  $14,6^\circ$  (Foto: J. Shaw [4]). Die Farbaufspaltung mit innerem roten Rand ergibt sich, da der (minimale) Ablenkwinkel  $21,7^\circ$  für rotes, aber  $22,5^\circ$  für blaues Licht beträgt.

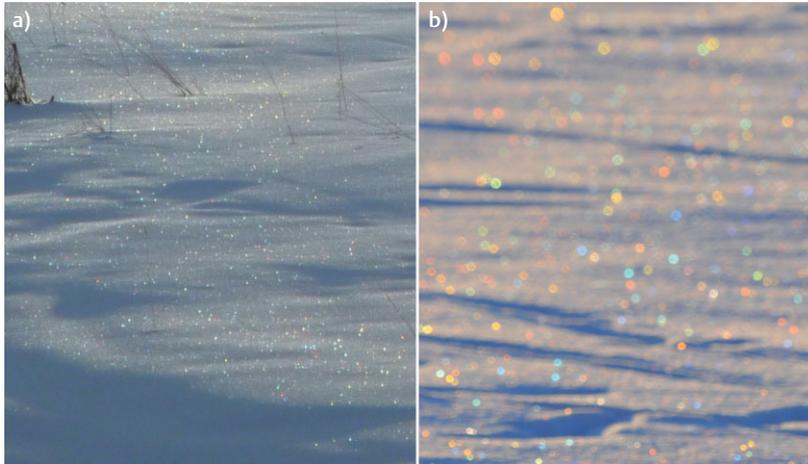
richtigen Zeit und auf die richtige Art und Weise genau hinsieht [4]. Abbildung 3a zeigt einen vergrößerten Ausschnitt des Vordergrunds von Abbildung 1. Man erkennt einerseits ein Glitzern auf der Schneeoberfläche, andererseits zeigt ein genaueres Hinsehen kleine farbige Kreise. Derart farbenprächtige Reflexe sind mit dem bloßen Auge sehr einfach zu sehen. Das liegt daran, dass das Auge schon bei wenigen Metern Entfernung bei einer strukturlosen Oberfläche auf nahezu unendlich akkommodiert. Analog kann man beim Fotografieren manuell auf unendlich fokussieren. Ein Beispiel hierfür zeigt Abbildung 3b.

Die Farbreflexe sind im selben Winkelbereich von  $22^\circ$  um die Sonnenrichtung beobachtbar wie Nebensonnen in der Atmosphäre. Sie entstehen auch auf dieselbe Weise: Das Sonnenlicht wird zweimal beim Durchgang durch einen Kristall gebrochen und tritt spektral aufgespalten aus. Die Nahaufnahme der Schneeoberfläche (Abbildung 4) bei einer der Farbreflexbeobachtungen zeigt in der Tat, dass gelegentlich hexagonale Kristalle in der obersten Schneeschicht vorliegen. Sie stammen aus der Luft, wo sie unzerstört

### ABB. 2 | LICHTBRECHUNG



**a)** Zweimalige Brechung des Lichts an hexagonalen Eiskristallen mit Größen zwischen  $10 \mu\text{m}$  und  $100 \mu\text{m}$  führt zu einem bevorzugten minimalen Ablenkwinkel  $\delta = 22^\circ$ ; **b)** Bei orientierten Kristallen wird Sonnenlicht seitlich abgelenkt, und es entstehen rechts und links der Sonne Nebensonnen.



**Abb. 3** a) Ausschnittsvergrößerung von Abbildung 1 im verlängerten Winkelbereich der Nebensonne: man erkennt farbige Reflexe; b) Farbreflexe auf Schnee fokussiert auf unendlich.



**Abb. 4** Vergrößerter Ausschnitt aus einer Nahaufnahme der Schneedecke, die zur Beobachtung der Farbreflexe führte. Deutlich sind hexagonale Kristalle erkennbar.

auf die oberste Schneesicht absinken.

Ein auf der Schneedecke befindlicher Beobachter wird bei passender Orientierung Sonne-Kristall-Beobachter von etwa  $22^\circ$  auf der Oberfläche diese Farbreflexe in einigen Metern Entfernung wahrnehmen. Nun beträgt der minimale Ablenkwinkel für rotes Licht  $21,7^\circ$  und für blaues  $22,5^\circ$ . Diese Differenz von  $0,8^\circ$  hat zur Folge, dass am Ort des Beobachters der rote Reflex einige Zentimeter vom blauen Reflex entfernt ist.

Das Auge sieht deshalb nur eine Farbe. Je nach Orientierung der Eiskristalle auf dem Schnee kann man aus unterschiedlichen Richtungen verschiedenfarbige Reflexe sehen, die noch dazu beim Wandern ihre Farbe ändern – ein faszinierender Anblick.

Das einfallende Sonnenlicht ist nach zweimaliger Brechung immer noch nahezu parallel, weshalb sich die beste Beobachtung bei Akkommodation des Auges beziehungsweise Fokuseinstellung der Kamera auf unendlich ergibt.

Während sich Halos und Nebensonnen recht häufig beobachten

lassen, sind die Farbreflexe von weißen Schneeflächen wesentlich seltener. Eine Analyse von vielen Beobachtungen zeigt, dass das Phänomen üblich nur kurze Zeit nach Schneefällen auftritt. Die mögliche Beobachtungsdauer hängt danach von den Wetterbedingungen ab, da Veränderungen der Struktur der Schneeoberflächen, beispielsweise durch Temperaturgradienten, zu einer Veränderung der Struktur der Kristallite führt. Dadurch werden die Oberflächen hexagonaler Kristalle mit anfangs recht guter optischer Qualität zerstört [4].

Man kann aber die Beobachtungsdauer des Phänomens über den Sonnenuntergang hinaus erhöhen: Als Lichtquelle eignen sich nämlich durchaus auch entfernte Laternen in der Nacht.

### Literatur

- [1] M. Vollmer, Lichtspiele in der Luft: atmosphärische Optik für Einsteiger, Spektrum Verlag, Heidelberg 2006.
- [2] K. G. Libbrecht, P. Rasmussen, The Snowflake – Winter's Secret Beauty, Voyageur Press, MBI Publ., St. Paul 2003.
- [3] C. F. Bohren, J. Opt. Soc. Am. **1983**, 73(12), 1646.
- [4] M. Vollmer, J. A. Shaw, Physics Ed. **2013**, 48(3), 322.

Michael Vollmer, FH Brandenburg,  
Joseph A. Shaw, Montana State  
University, USA

**WIS** wissenschaft  
in die schulen!

## PHYSIKDIDAKTIK

### Supraleitung in die Schulen!

Auf der Online-Plattform *Wissenschaft in die Schulen!* (WiS) steht Lehrenden sowie Schülerinnen und Schülern neues Unterrichtsmaterial zum Thema *Supraleitung* zur Verfügung.

Das Material lässt sich direkt im Unterricht einsetzen, die ausgewählten Originalartikel aus Physik in unserer Zeit ermöglichen es den Lehrern, sich über den aktuellen Stand der Forschung zu informieren und Schülerinnen und Schülern die Faszination moderner Physik nahe zu bringen.

Das Angebot an Unterrichtsmaterialien wird ständig erneuert, sie lassen sich kostenlos und unverbindlich von der Seite runterladen.

[www.wissenschaft-schulen.de](http://www.wissenschaft-schulen.de)

[www.wissenschaft-schulen.de/alias/physik-in-unserer-zeit/1161208](http://www.wissenschaft-schulen.de/alias/physik-in-unserer-zeit/1161208)

TB