

Künstlich erzeugte Halos

Demonstrationen mit rotierendem Plexiglas-Hexagon

von Michael Großmann, Große Brunnenstraße 18, 75236 Kämpfelbach

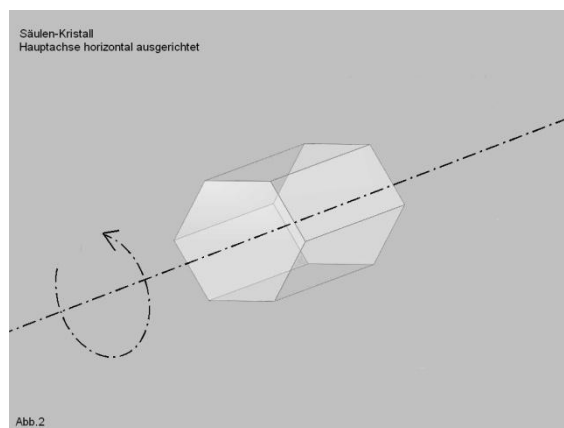
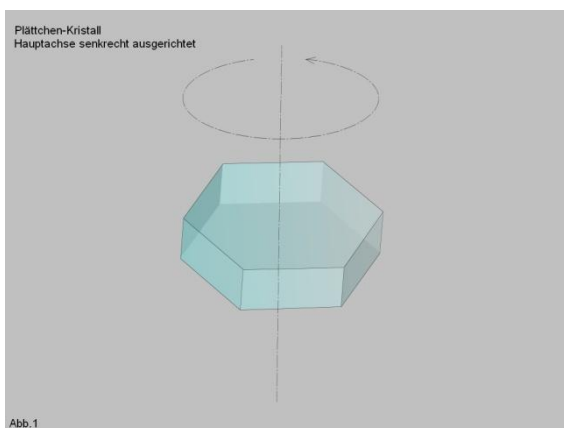
info@lightsearcher.de www.lightsearcher.de

1. Einleitung

Halos sind faszinierende Naturschauspiele am Himmel. Eine Vielzahl von Bögen, Kreisen, Säulen und Flecken machen deutlich, welche unterschiedlichen Bedingungen erfüllt sein müssen, um diese Lichtphänomene entstehen zu lassen.

Es müssen ausreichend Eiskristalle vorhanden sein, die zugleich eine entsprechende Qualität aufweisen müssen, um ein Halo überhaupt zu erzeugen. Säulen-Kristalle lassen andere Halos entstehen wie Plättchen-Kristalle, wobei es auch einige Halo-Arten gibt, die sowohl an Plättchen, wie auch an Säulen entstehen.

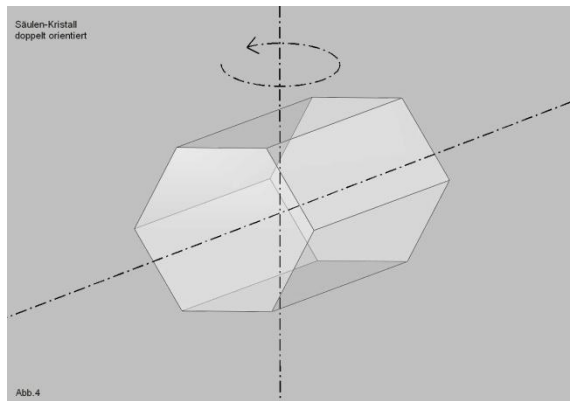
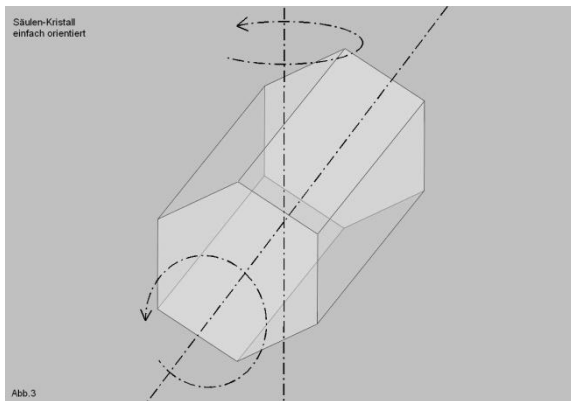
Ein Merkmal von unterschiedlichen Formen ist die Ausrichtung der Kristalle um ihre Hauptachse, die die Verbindungslinie der Mittelpunkte beider Basisflächen darstellt. Während Plättchen-Kristalle mit ihren Basisflächen überwiegend horizontal ausgerichtet sind (Hauptachse steht senkrecht, Abb.1), sind Säulen-Kristalle mit ihren Basisflächen senkrecht angeordnet, d.h. die Hauptachse ist horizontal ausgerichtet (Abb.2) Das liegt auch daran, dass die Säulen durch ihre Länge zum umkippen neigen.



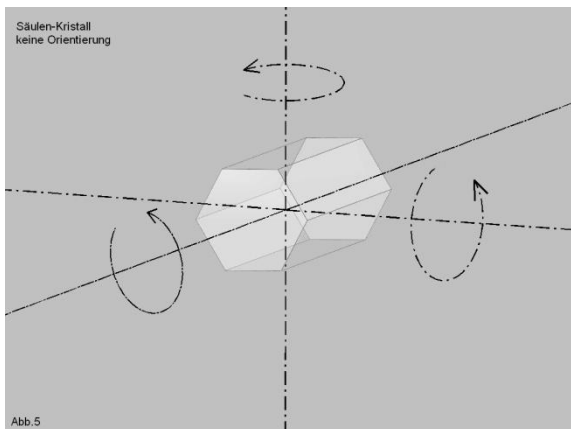
Bei den Säulen-Kristallen kann man noch zwischen einfach- und doppelt orientiert unterscheiden. Bei einfach orientierten Kristallen ist die Hauptachse

horizontal ausgerichtet, wie oben schon erwähnt. Um diese Achse können sie verschiedene Lagen einnehmen (Abb.3).

Bei doppelt orientierten Kristallen sind neben der Hauptachse auch zwei Seitenflächen horizontal ausgerichtet (Abb.4).



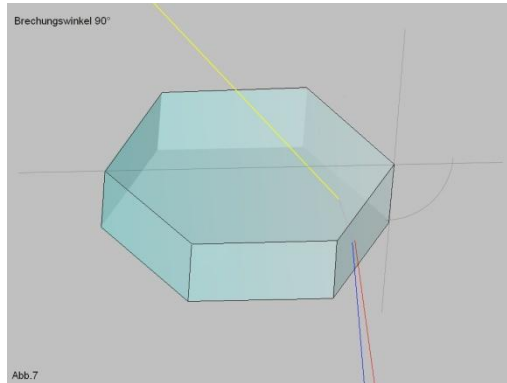
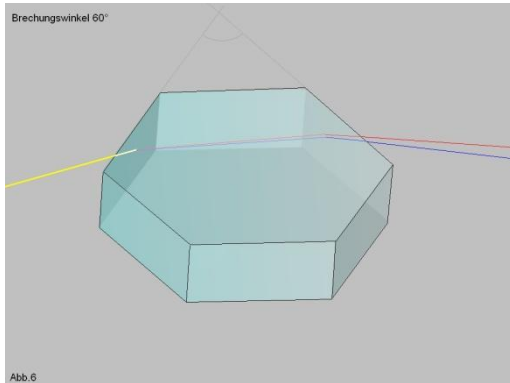
Ist die Atmosphäre durch Winde sehr unruhig und turbulent, nehmen die Kristalle keine bestimmte Orientierung ein, sodass ihre Hauptachse alle möglichen Positionen im Raum einnimmt (Abb.5).



Viele Halo-Arten ändern ihre Form mit steigendem oder sinkendem Sonnen- bzw. Mondstand.

Ein weiteres Merkmal unterschiedlicher Formen und Farben der Halos sind verschiedene Brechungswinkel in den Kristallen. Ein 60° Brechungswinkel entsteht wenn das einfallende Licht in eine Seitenfläche eintritt und an der übernächsten wieder aus (Abb.6).

Der 90° Brechungswinkel tritt entweder an einer Seitenfläche ein und an einer Basisfläche wieder aus, oder er tritt an einer der Basisflächen ein und an einer Seitenfläche wieder aus (Abb.7)



Darüber hinaus gibt es noch eine Vielzahl von internen und externen Reflektionen in und an den Kristallen.

2. Versuchsaufbau mit Plättchen-Kristall

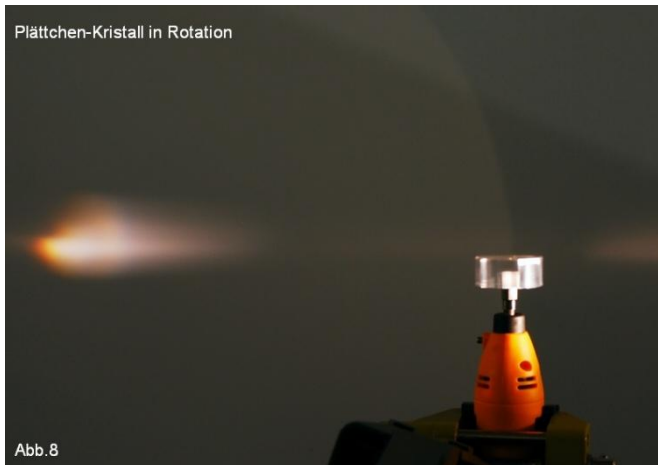
(Rotation um Hauptachse, Basis horizontal ausgerichtet)

Um die Entstehung der Halos besser zu verdeutlichen, machte ich mich an die Arbeit, einige Halo-Arten im Versuch zu erzeugen.

Durch die Vielzahl von Eiskristallen in der Atmosphäre, die unterschiedliche Ausrichtungen einnehmen und somit auch verschiedene Einfallswinkel aufweisen, evtl. auch um ihre eigene Achse rotieren, sind dementsprechende Voraussetzungen gegeben, um einen Halo entstehen zu lassen.

Für einen meiner Experimente benutze ich ein Plättchen-Kristall aus Plexiglas, der durch eine Vorrichtung um seine eigene Achse rotieren kann (Abb.8)

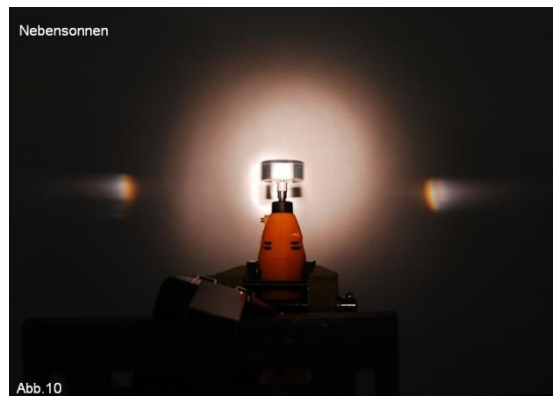
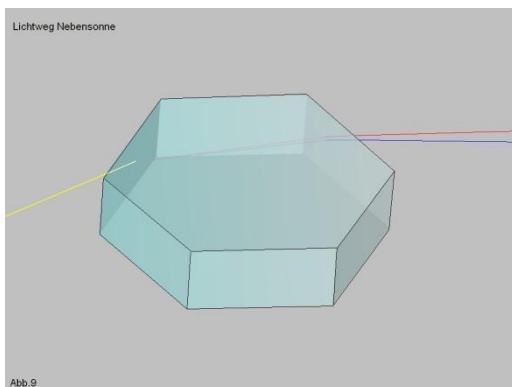
Durch diese Rotation lassen sich die unterschiedlichen Einfallswinkel zeitlich versetzt darstellen. Bei genügend schneller Drehzahl nimmt das Auge diesen Versatz nicht mehr wahr und die verschieden gebrochenen und reflektierten Lichtstrahlen „verschmelzen“ zu einem Halo.



2.1. Nebensonnen und Horizontalkreis

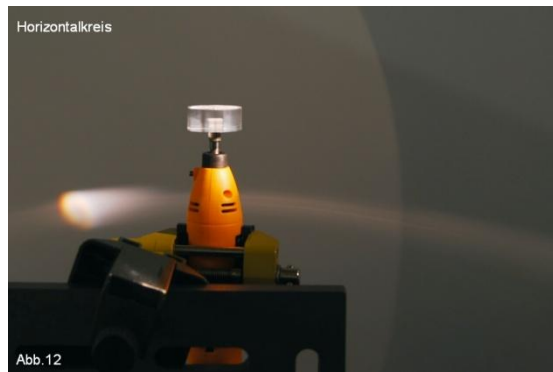
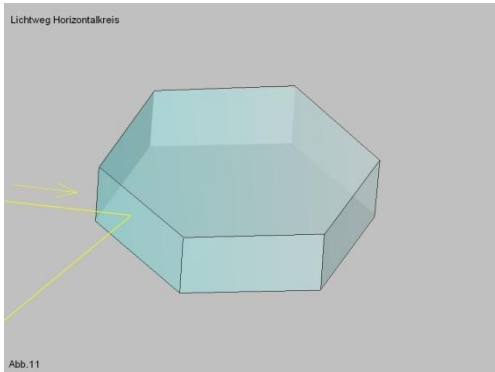
Wie oben schon beschrieben wird ein Plättchen-Kristall in Rotation versetzt und mit einer Lichtquelle (Taschenlampe) angestrahlt. Das Licht tritt in eine Seitenfläche ein und an der übernächsten wieder aus (Abb.9).

Durch den breiten Lichtkegel der Taschenlampe und die daraus resultierende komplette Beleuchtung des Kristalles, ergeben sich von außen bis hin zum minimalen Ablenkungsbereich Lichtflecken, die in diesem Bereich besonders hell und farbig erscheinen; die Nebensonnen (Abb.10).



Die Bewegung dieser Lichtflecken lässt sich noch besser darstellen. Dazu wird der Kristall nicht durch die Vorrichtung, sondern von Hand bewegt. Allerdings immer nur um ein paar Grad, um dann ein Bild zu machen. Wiederholt man diesen Schritt einige Male (10-12 mal), und erstellt aus den Bildern eine GIF-Animation, wird aus den unterschiedlichen Eintrittswinkeln sehr schön deutlich, wie die Lichtflecken bis hin zum minimalen Ablenkungswinkel wandern. Dies ist natürlich auch mit allen nachfolgenden Halos durchführbar.

Das einfallende Licht, welches nicht durch den Kristall gelangt, sondern an den Seitenflächen reflektiert wird, lässt den Horizontalkreis entstehen (Abb.11 +12). Da es sich um ein Spiegelungshalo handelt, hat diese Haloart eine weiße Färbung.



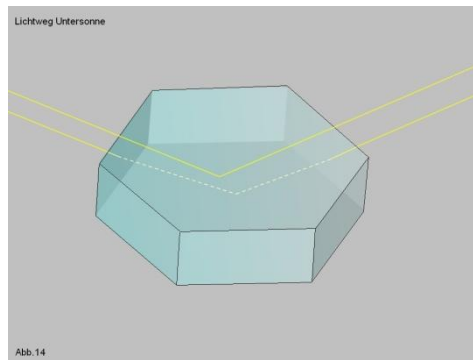
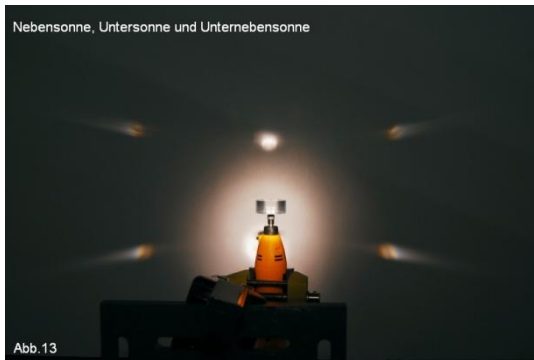
Ohne die schnelle Rotationsbewegung des Kristalls und die daraus entstehende Verschmierung, würde man den Horizontalkreis nicht wahrnehmen. Bei diesem Versuch wird deutlich, wie viele Kristalle für eine Entstehung eines Halos tatsächlich notwendig sind. Gerade der Horizontalkreis nimmt bei niedriger Sonnenhöhe weite Teile des Himmels in Anspruch, Nebensonnen hingegen benötigen nur an den entsprechenden Winkelpositionen links und rechts der Sonne Eiskristalle.

2.2. Untersonne, Unternebensonne und Unterhorizontalkreis

Während bei einer nahezu horizontalen Beleuchtung des Kristalls nur die Nebensonnen sichtbar werden, erscheinen bei entsprechendem Anstellwinkel der Taschenlampe die Untersonne und die Unternebensonne (Abb.13).

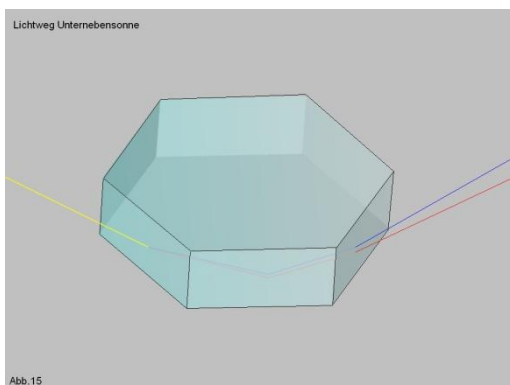
Bei der Untersonne fällt das Licht auf die obere Basisfläche und wird reflektiert und zum Beobachter gelenkt (Abb.14).

Da es sich um ein Spiegelungshalo handelt, erscheint er nahezu weiß.



Die Unternebensonne dagegen erscheint farbig, da das Licht an einer Seitenfläche eintritt, an der Bodenfläche der unteren Basis reflektiert und an der übernächsten Seitenfläche wieder austritt (Abb.15)

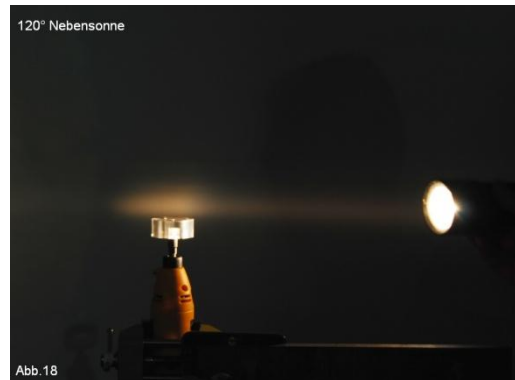
Da auch bei einer Beleuchtung von oben auf den Kristall das einfallende Licht an den Seitenflächen reflektiert werden kann, entsteht demnach der Unterhorizontalkreis, welcher als reiner Spiegelungshalo weiß erscheint (Abb.16)



2.3. 120° Nebensonne

Tatsächlich ist es möglich mit diesem Versuchsaufbau eine 120° Nebensonne zu realisieren. Allerdings wird sie bei direktem Sonnenlicht wesentlich besser abgebildet, als mit der Taschenlampenbeleuchtung (Abb.17 + 18).

Die Projektion erfordert im Gegensatz zu einer Nebensonne, wesentlich mehr Fingerspitzengefühl, da sich die 120° Nebensonne etwas schwerer vom Horizontalkreis abhebt. Dies ist selbst bei realen Bedingungen am Himmel nicht immer zu unterscheiden.



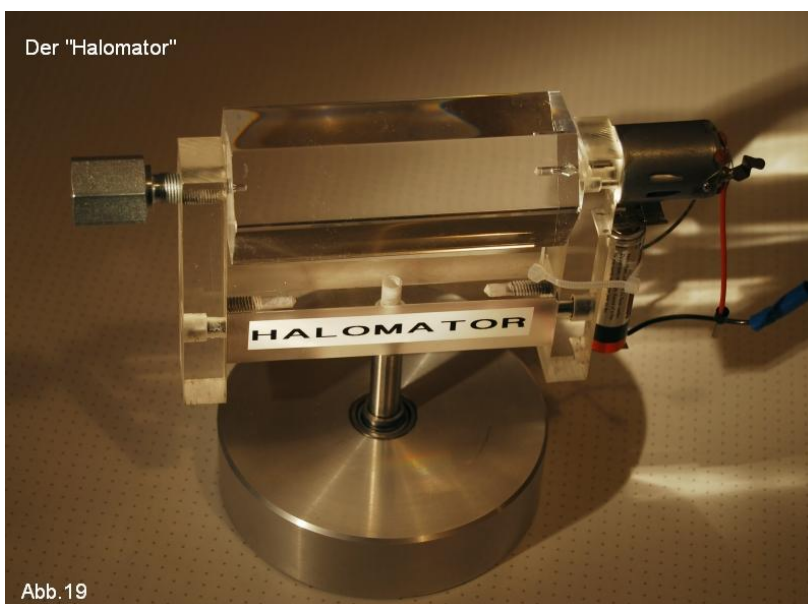
3. Versuchsaufbau mit Säulen-Kristall I

(Rotation um horizontal ausgerichtete und drehbare Hauptachse)

Einfach orientierte Säulenkristalle erzeugen viele Haloarten. Dazu gehören u.a. auch die Berührungsbögen, der umschriebene Halo und einige Spiegelungshalos im Gegen Sonnenbereich.

Für meinen Versuch baute ich mir eine Vorrichtung, die einen Säulen-Kristall aus Plexiglas sowohl um die Hauptachse rotieren lässt und zudem die Hauptachse selbst in eine horizontale Drehbewegung versetzt (Abb.19).

Dieser Bewegungsablauf soll die einfach orientierte Ausrichtung der Hauptachse der Säulen-Kristalle in der Atmosphäre simulieren, welche unterschiedliche Positionen im Raum einnehmen.

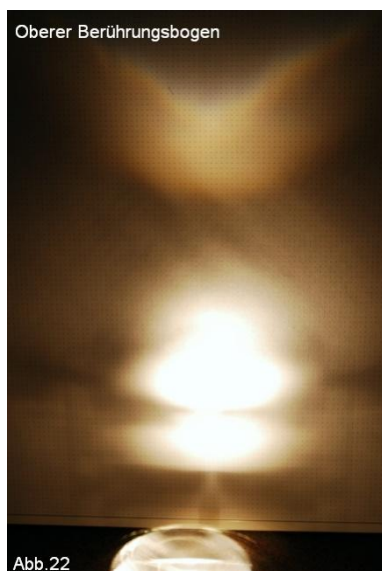
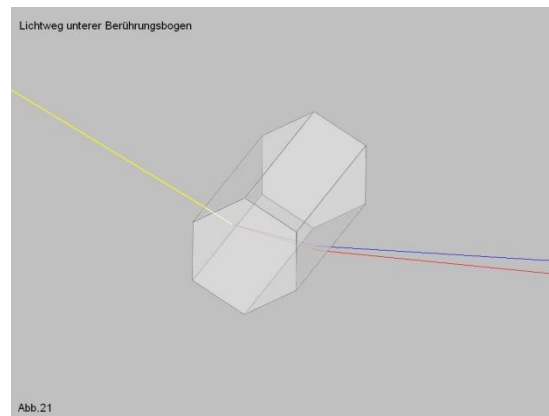
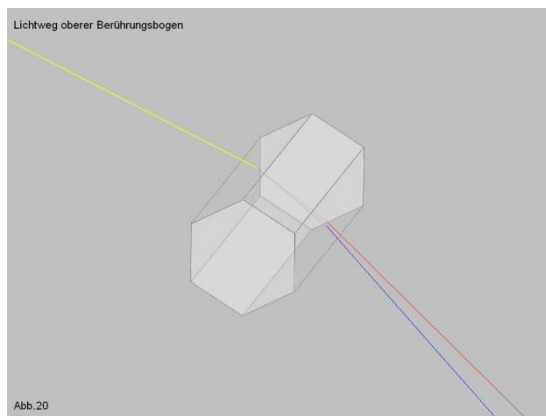


3.1. oberer und unterer Berührungsbogen

Beim oberen Berührungsbogen fällt das Licht in eine Seitenfläche oberhalb der Achsmittle ein und an der übernächsten wieder aus (Abb.20)

Umgekehrt beim unteren Berührungsbogen. Hier fällt das Licht in eine Seitenfläche unterhalb der Achsmittle ein und an der übernächsten wieder aus (Abb.21).

Die Rotation um die Hauptachse sowie die Drehung des Kristalles um diese, verdeutlicht bei unterschiedlichen Beleuchtungswinkeln die Formänderung der „Hörner“ (Abb.22 + 23).



4. Versuchsaufbau mit Säulen-Kristall II

(zwei Seitenflächen sowie Hauptachse horizontal ausgerichtet und drehbar)

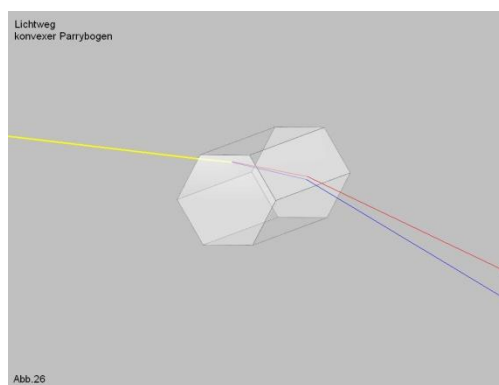
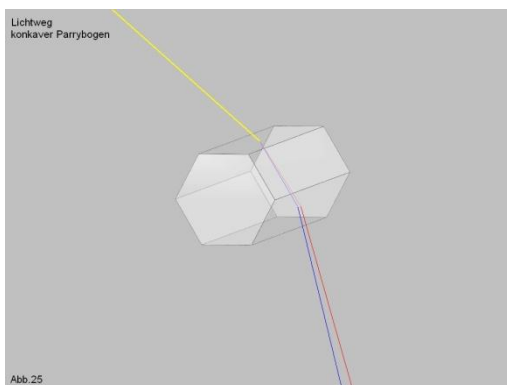
Sind neben der Hauptachse, auch zwei Seitenflächen eines Säulen-Kristalles horizontal ausgerichtet, spricht man von doppelt orientierten Kristallen. Diese Ausrichtung erzeugt 2 Haloarten. Den Parrybogen und den Sonnenbogen.

4.1 konvexer und konkaver Parrybogen

Der Parrybogen ändert seine Form mit unterschiedlichem Sonnenstand. Während er bis zu einem Sonnenstand von 15° als konvexer Bogen zu sehen ist, ändert sich diese Form danach in einen konkaven Bogen. Mit dem rotierenden Plexiglas-Kristall lässt sich dieser Grenzbereich schön verdeutlichen, sodass man beide Parrybögen darstellen kann (Abb.24).



Bei den Parrybogen fällt das Licht in eine Seitenfläche ein und an der übernächsten wieder aus (Abb.25 + 26).



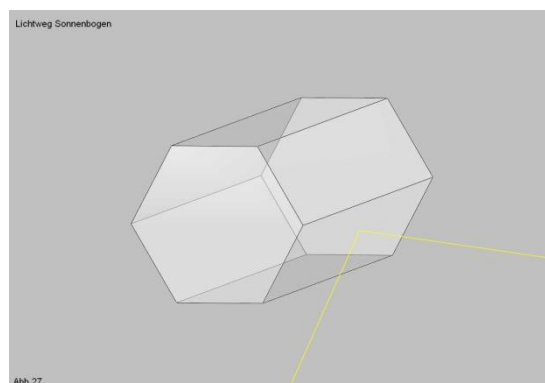
Es gibt vier mögliche Lichtwege für diese Haloart, somit auch vier verschiedene Parrybögen. Den bereits oben erwähnten konkaven und konvexen oberhalb der Sonne und den konvexen und konkaven unteren Parrybogen unterhalb der Sonne.

4.2 Sonnenbogen und Untersonnenbogen

Der Sonnenbogen ist ein Spiegelungshalo und daher weiß. Von der Sonne ausgehend umschreibt er eine Schleife die bei höherem Sonnenstand immer kleiner wird (Abb.27)

Das einfallende Licht wird an den beiden Seitenflächen unterhalb der Achsmitte reflektiert und zum Beobachter gelenkt (Abb.28).

Bei langsam rotierendem Kristall kann man diese Reflektion deutlich an den Seitenflächen erkennen. Ändert man auch hier den Lichteinfallswinkel, zeigt sich dementsprechend auch der Untersonnenbogen.



5. Problematik: Brechungsindex

Es fällt sicherlich auf, dass einige Haloarten nicht dargestellt wurden, gerade der farbenprächtige Zirkumzenitalbogen wäre sicherlich ein absolutes Highlight bei einer solchen Simulation.

Verantwortlich dafür ist der höhere Brechungsindex von Plexiglas ($n=1,49$), im Gegensatz zu Eis ($n=1,31$).

Das ist auch der Grund dafür, dass die erzeugten Nebensonnen beispielsweise nicht bei 22° liegen, sondern weiter außen.

Warum aber lassen sich einige Haloarten darstellen und andere nicht?

Der Grund liegt an den beiden unterschiedlichen Brechungswinkeln die es am Plexiglas-Kristall gibt. Die Haloarten die unter einem Brechungswinkel von 60° (Seitenfläche-übernächste Seitenfläche) entstehen, lassen sich ohne Probleme realisieren, wenn auch mit unterschiedlichen Austrittswinkeln. Das gleiche gilt für Spiegelungshalos.

Bei Brechungswinkeln von 90° (Basisfläche-Seitenfläche) entsteht durch den höheren Brechungsindex an der zu erwartenden Austrittsfläche eine Totalreflexion, durch die der entsprechende Halo nicht entstehen kann. Hierzu gehören folgende Haloarten:

- Zirkumzenitalbogen
- Zirkumhorizontalbogen
- Infralateralbogen
- Supralateralbogen
- 46° Ring

6. Zukünftige Projekte

Die Tatsache, einige Haloarten nicht darstellen zu können, regt natürlich die Phantasie und den Ehrgeiz sehr an, dies irgendwann zu realisieren.

Sei es durch ein mit Wasser gefülltes Behältnis, oder die Herstellung von Eiswürfeln in Prismenform, die dann zum rotieren gebracht werden.

Ein ganz großer Wunsch von mir ist es allerdings, einen 22° Ring zu demonstrieren, die Planung und Konstruktion einer dritten Rotationsachse ist schon im Gange!

Ein weiteres Projekt sind Pyramidal-Kristalle aus Plexiglas und deren Halos.

7. Schlusswort

Kaum zu glauben wie viele „Parameter“ erforderlich sind, um diese Phänomene am Himmel zu erzeugen.

Es ist nicht ganz einfach die verschiedenen geometrischen Formen, sowie die Farbintensität und Helligkeit der Halos ohne grundlegende Kenntnisse zu verstehen bzw. sie zu erklären. Mit meinen rotierenden Kristallen habe ich zumindest ansatzweise versucht, einige Fragen zu klären. Es wird noch viel Zeit in Anspruch nehmen, die Entstehung der Halos an einzelnen (künstlichen) Kristallen genauer zu untersuchen.

Diese Zeit werde ich mir allerdings nehmen, denn auf diese Art und Weise konnte ich mir ein besseres Bild über die Entstehung eines der schönsten Naturphänomene machen....

Michael Großmann

(Quellen: alle gezeigten Bilder und Grafiken sind Eigentum des Verfassers und wurden selbst fotografiert bzw. gezeichnet)