

Spielwiese

Katzenaugen und Sternsteine

CHRISTIAN UCKE | HANS-JOACHIM SCHLICHTING

Edelsteine sind ästhetisch ansprechend und bergen interessante physikalische Eigenschaften. So genannte Katzenaugen und allgemeiner noch die Sternsteine sind gefragt und teuer und werden deshalb auch künstlich nachgemacht – oder sogar gefälscht.

Schöne Edelsteine faszinieren nicht nur Frauen. Auch Gemmologen sammeln sie und Mineralogen untersuchen und klassifizieren sie. Eine besondere Art sind die so genannten Katzenaugen: Rund geschliffen und mit einer punktförmigen Lichtquelle beleuchtet, zieht sich ein Lichtband über diese Steine. Die Assoziation zur schlitzförmigen Pupille einer Katze ist naheliegend (Abbildung 1). Allgemein sprechen die Gemmologen von Chatoyance, was auf das französische Wort für Katze (chat) hindeutet. Rund geschliffene Edelsteine ohne Facettierung werden auch als Cabochon bezeichnet.

Es gibt viele Edelsteine mit dem Katzenaugeneffekt. Unter der Kurzbezeichnung Katzenauge ist immer ein Chrysoberyll-Katzenauge gemeint. Alle anderen Katzenaugen müssen durch einen Zusatz genauer kenntlich gemacht werden. Vorkommen finden sich in Sri Lanka, Brasilien, China und Simbabwe. Chrysoberyll ist ein Aluminium-Beryllium-Oxid mit einer Härte von 8,5. Damit zählt er zu den härtesten und teuersten Edelsteinen.

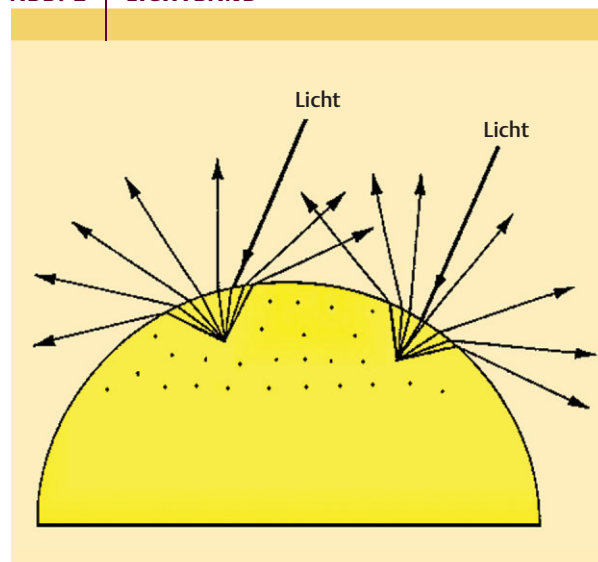
Im Chrysoberyll eingelagert sind feine, parallel angeordnete, metallisch glänzende Nadeln aus Rutil (Titan-dioxid). Auch Hohlkanäle und Risse durchziehen das Material. Fällt das Licht durch das mehr oder weniger transparente Oxid senkrecht auf diese Einlagerungen und Kanäle, wird es reflektiert und lässt auf diese Weise ein Lichtband entstehen (Abbildung 2). Dass es sich um einen Reflexionseffekt handelt, kann man bei Drehung des rund geschliffenen und polierten Steines senkrecht zu der Richtung der Einlagerungen deutlich erkennen: Das Lichtband wandert mit der doppelten Winkelgeschwindigkeit wie die Drehgeschwindigkeit des Steins. Wenn die Einlagerungen im Durchmesser kleiner als die Wellenlänge des einfallenden Lichts sind, kann man nicht mehr von direkter Reflexion sprechen. Dann wird das Licht gestreut und bildet einen Streukegel, der ebenfalls zum Katzenaugeneffekt führt [1].

Sind die Einlagerungen nicht alle parallel angeordnet, sondern beispielsweise in einem Winkel von 120 Grad zu-



Abb. 1 Ein Chrysoberyll mit dem charakteristischen Katzenaugeneffekt.

ABB. 2 | LICHTBAND



Senkrecht zu den Einlagerungen im Chrysoberyll einfallendes Licht führt zur Wahrnehmung eines Lichtbandes. Die Einlagerungen sind hier als Punkte angedeutet und sind senkrecht zur Papierebene orientiert (aus [1]).

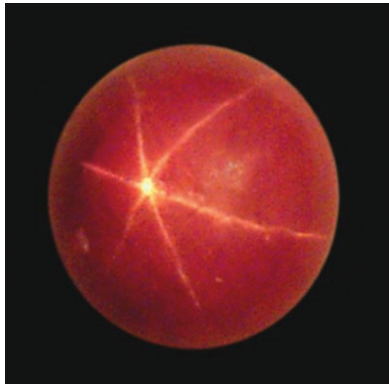


Abb. 3 Ein Rubin mit sechsstrahligem Stern.

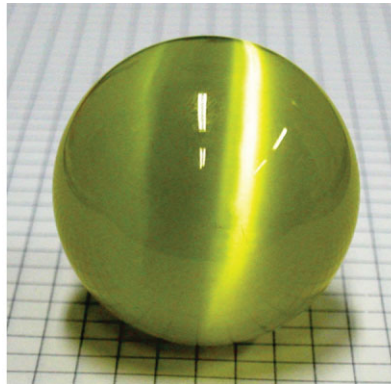
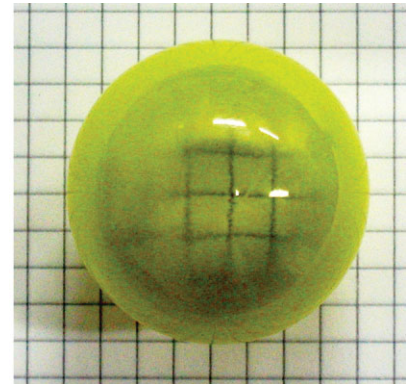


Abb. 4 Eine polierte Kugel mit etwa 4 cm Durchmesser aus Lichtleitfasern zeigt deutlich den Katzenaugeneffekt (links). In Richtung der Lichtleitfasern kann man durch die Kugel hindurchsehen (rechts).



BRECHUNG UND REFLEXION IM LICHTLEITER

Einfache Lichtleiter mit homogenem Kern weisen eine Apertur auf, die durch die verschiedenen Brechzahlen von Mantelmaterial (n_m) und Kernmaterial (n_k) des Lichtleiters definiert wird. Nur Lichtstrahlen, die den Grenzwinkel der Totalreflexion aus dem optisch dichteren Kernmaterial in das optisch dünnere Mantelmaterial nicht unterschreiten, können den Lichtleiter durchlaufen und am anderen Ende wieder austreten. In den Mantel eintretende Lichtstrahlen verlieren sich irgendwo im Material und werden letztendlich absorbiert. Für den maximalen Winkel, unter dem ein Lichtstrahl noch eintreten kann gilt:

$$\sin \alpha_0 = \sqrt{\frac{n_k^2 - n_m^2}{n_o^2}}$$

Besteht das Kernmaterial aus Kronglas ($n_k = 1,62$) und der Mantel aus Flintglas ($n_m = 1,52$) ergibt sich ein Grenzeintrittswinkel $\alpha_0 = 34^\circ$.

Blickt man von oben auf die in Abbildung 4 gezeigte Kugel, wird dieser Grenzwinkel auf Grund der Krümmung der Kugel irgendwann erreicht. Deswegen kann man durch den Rand der Kugel nicht mehr hindurchblicken. Die Kugel hat scheinbar ein Loch in der Mitte, durch das man durchsehen kann. Die Abbildung unten rechts deutet das stark vereinfacht an. Auch wenn die Dicke der Lichtleiter stark übertrieben ist, entsprechen die Winkel bezüglich Eintritt, Brechung und Totalreflexion den obigen Brechzahlen.

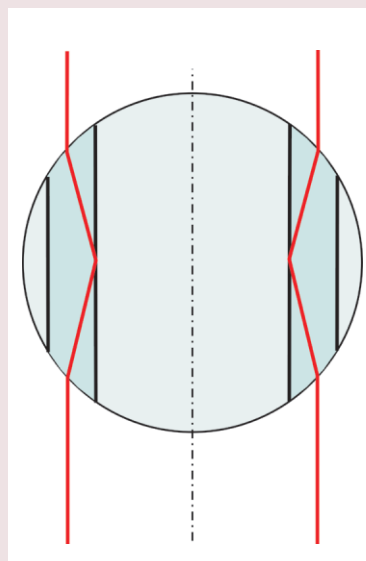
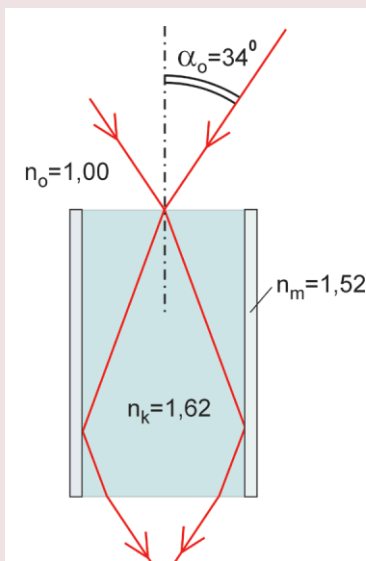
einander orientiert, erscheinen bei richtigem Schliff und Lichteinfall sternförmige, sechsstrahlige Erscheinungen (Abbildung 3). Das kommt bei einer ganzen Reihe von Edelsteinen vor. Daher rührt der Name Sternsteine. Unter dem Begriff Asterismus werden diese Erscheinungen zusammengefasst.

Da echte Katzenaugen teuer sind, hat man schon lange versucht, den optischen Schmuckeffekt künstlich nachzuahmen. Im einfachsten Fall wird aus einem massiven Stück parallel angeordneter Lichtleitfasern eine Kugel geschliffen (Abbildung 4 links). Der Katzenaugeneffekt ist deutlich zu erkennen. Abbildung 4 rechts zeigt den Blick auf die Kugel senkrecht zum Lichtband in der Richtung der Lichtleitfasern. Man kann dank der Lichtleitfasern durch die Mitte der Kugel hindurchsehen, am Rand aber nicht (siehe „Brechung und Reflexion im Lichtleiter“).

Die Qualität der Lichtleitfaserbündel ist ziemlich gering (Abbildung 5) verglichen mit derjenigen von geordneten Lichtleitfasern in hochwertigen optischen Geräten. Es reicht aber aus, um einen Durchblick zu erlauben, bei dem man darunter liegende Schrift noch lesen kann. Solche Kugeln sind für ein paar Euro als optische Spielereien erhältlich. Die hier abgebildeten Exemplare stammen aus China.

Viele weitere Verfahren sind vorgeschlagen worden [2]. In einem Patent von 1973 [3] wird die Herstellung derartiger künstlicher Edelsteine mit Hilfe von Lichtleitfasern detailliert beschrieben. Um einen sechsstrahligen Sternstein zu erhalten, werden sechs dreieckige Prismen aus Lichtleitfasern ausgeschnitten und an den Flächen miteinander verklebt oder verschmolzen, wobei die Fasern parallel zu einer Grundfläche angeordnet werden (Abbildung 6). Sodann wird eine ellipsoidische Form ausgeschnitten und poliert. Bei adäquater Beleuchtung von oben ergibt sich die sechsstrahlige Symmetrie. Auf diese Weise lässt sich fast jede beliebige andere Symmetrie erzielen.

Ein weiteres natürlich vorkommendes Mineral mit Lichtleitereffekt ist Ulexit, volkstümlich auch Fernsehstein genannt. Legt man ein senkrecht zu den Faserenden poliertes Exemplar auf eine mit Text bedruckte Unterlage, so schei-



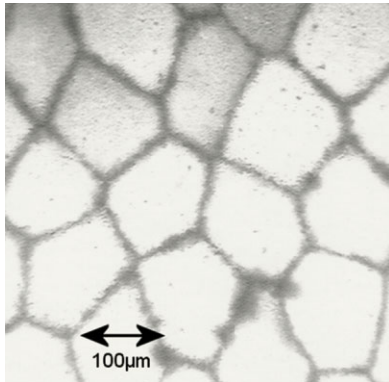


Abb. 5 Eine Mikroskopaufnahme zeigt die Lichtleitfasern mit einer Dicke von etwa 200 μm .

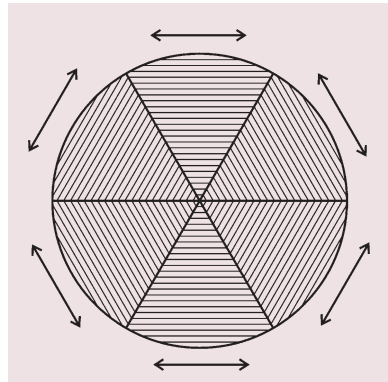


Abb. 6 Zur Erzielung eines Sternsteines mit sechsstrahliger Symmetrie werden sechs Prismen mit Lichtleitfasern ausgeschnitten, zu einem Block zusammengefügt und kugelförmig geschliffen. Die Pfeile deuten die Richtung der Lichtleitfasern an (aus [3]).

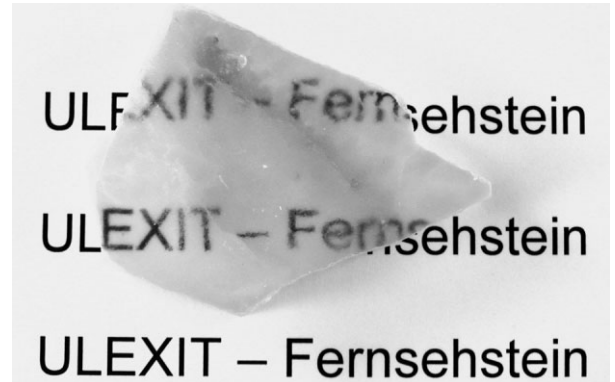


Abb. 7 Der Fernsehstein Ulexit in Aufsicht.

nen die Buchstaben angehoben (Abbildung 7). Die nadelig, faserigen Kristalle des Minerals leiten das Licht von der unteren bis zur oberen, polierten Oberfläche, ähnlich wie bei einer Platte mit künstlichen Lichtleitfasern, wobei die Qualität der optischen Fortleitung wesentlich schlechter ist.

Ulexit ist ein Boronatrocalcit mit der Formel $\text{NaCa}[\text{B}_5\text{O}_6(\text{OH})_6] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Es weist ein triklines Kristallsystem auf, das heißt alle drei Achsen des Achsenkreuzes sind verschieden lang und alle Winkel sind ungleich 90 Grad. Mit einer Härte von 1,5 ist Ulexit sehr weich. Es eignet sich deswegen nicht für Schmuck. Es entsteht durch Abscheidung infolge von Verdunstung in den Binnenseen der ariden Zonen bei Anwesenheit von Borax und Salpeter. Man findet es in den trockenen Wüstenzonen von Chile, Argentinien, Peru, USA, aber auch in Italien und der Türkei.

Zusammenfassung

Edelsteine vom Typ Chrysoberyll sind auch unter der Kurzbezeichnung Katzenauge bekannt. Im Chrysoberyll eingelagert sind feine, parallel angeordnete, metallisch glänzende Nadeln aus Rutil (Titandioxid). Auch Hohlkanäle und Risse durchziehen das Material. Lichtreflexion an diesen Einlagerungen und Kanälen erklärt das Lichtband, das dem Stein zu seinem Namen verhalf.

Stichworte

Chrysoberyll, Katzenaugen, Sternsteine, Lichtleitfasern, Reflexion.

Literatur

- [1] M. Weibel, Die Sternstein-Story, in: Katalog der 26. Mineralientage München 1989, 4.
- [2] K. Schmetzer, M. Glas, Lapis **2003**, 28, 22.
- [3] M.R. Phillips, J. H. Ludwig, Künstliche Edelsteine, Deutsche Offenlegungsschrift 2 328 947 (1973).

Autoren



Christian Ucke und Hans-Joachim Schlichting schreiben seit langem Artikel für unsere Rubrik Spielwiese.

Anschriften

Dr. Christian Ucke, Technische Universität München, FMI, Abt. Physik, Boltzmannstraße 3, 85748 Garching. ucke@tum.de.

Prof. Dr. Hans-Joachim Schlichting, Didaktik der Physik, Universität Münster, 48149 Münster. schlichting@uni-muenster.de