

# Der scheinheilige Heiligenschein aus physikalischer Sicht

MARKUS UHLENBROCK, VOLKHARD NORDMEIER, H.-JOACHIM SCHLICHTING  
Lehrstuhl für Didaktik der Physik, Universität GH Essen

## Normale Heiligenscheine

Schon im Frühchristentum wurden in der Kunst Heilige durch den Nimbus, eine Form des Heiligenscheines, ausgezeichnet. Der Heiligenschein ist ein Lichtsymbol in Gestalt einer Scheibe, eines Kreises, Strahlenkranzes oder Scheines als Zeichen der göttlichen Verklärung oder der Heiligkeit. "Die allgemeinste Form des Heiligenscheines ist der Nimbus hinter dem Haupt. Er kommt schon in der späteren Antike, auch im Osten bei Göttern, Heroen, Herrschern vor" [1].

Allerdings sind Heiligenscheine nicht nur in der bildenden Kunst zu sehen. BENVENUTO CELLINI, der berühmte italienische Künstler des 16. Jahrhunderts, bemerkte um das Schattenbild seines Kopfes auf einer taubedeckten Wiese einen hellen Lichtglanz und hielt diesen für ein Zeichen seiner Genialität! Er schrieb in seiner Autobiographie:

*"Dann muß ich noch eine Sache nicht zurücklassen, die größer ist, als daß sie einem anderen Menschen begegnet wäre, ein Zeichen, daß Gott mich losgesprochen und mir seine Geheimnisse selbst offenbart hat. Denn seit der Zeit, daß ich jene himmlischen Gegenstände gesehen, ist mir ein Schein ums Haupt geblieben, den jedermann sehen konnte, ob ich ihn gleich nur wenigen gezeigt habe... Diesen Schein sieht man des Morgens über meinem Schatten, wenn die Sonne aufgeht, und etwa zwei Stunden danach. Am besten sieht man ihn, wenn ein leichter Tau auf dem Grase liegt ..."*

Doch nicht nur CELLINI ist die Erfahrung des eigenen Heiligenscheins vorbehalten: Wenn morgens die Sonne noch tief steht und der Schatten des Betrachters auf taubedecktes oder regenbenetztes Gras fällt, ist vor allem um den Schatten des eigenen Kopfes herum ein heller Nimbus zu sehen. Geht man ein paar Schritte weiter, so wandert der Lichtschein mit; Stellen, die vormals nicht besonders hell waren, werden beleuchtet, wenn der Schatten näherkommt. Schatten anderer Personen dagegen zeigen keinen auffälligen Lichtglanz.



Bild 1: Heiligenscheine in der bildenden Kunst



Bild 2 (a), (b): Heller Lichtschein um den Schatten des Kopfes des Betrachers  
(c) taubedeckte Pflanze, (d) deutlicher heller Schein um den Kopf des Betrachters

Eine der Ursachen des Phänomens ist in den Tau- bzw. Regentropfen auf den Halmen zu sehen. Nach MINNAERT [2] fokussiert jeder Wassertropfen das Sonnenlicht hinter dem Tropfen (vgl. Bild 3). Befindet sich die Blattoberfläche (L) im Brennpunkt des Halmes, wird der Strahlengang dort umgekehrt. Dabei gehen dem Betrachter Anteile verloren (A), andere Anteile strahlen in Einfallsrichtung zurück (B).

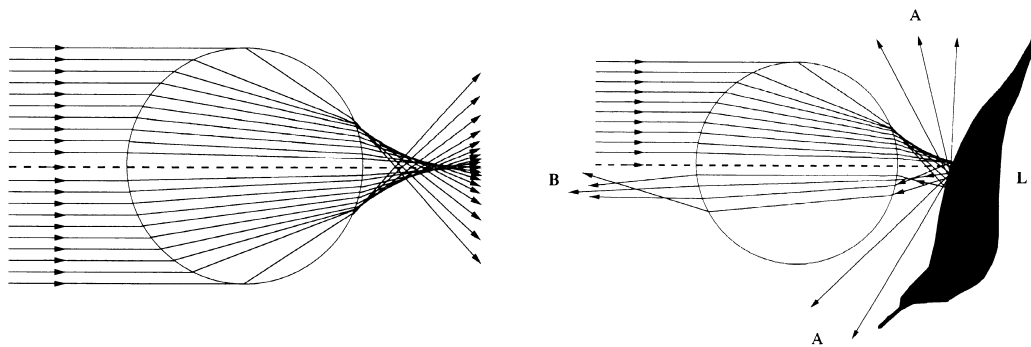


Bild 3: (a) Strahlengang durch einen Wassertropfen fokussierten Lichts  
(b) Reflexion des Lichtes an der Blattoberfläche im Brennpunkt

Wenn jedoch Heiligenscheine mittels Wassertropfen durch an der Blattoberfläche von Halmen reflektiertes Licht entstehen, so stellt sich die Frage: *Warum ist der Heiligenschein dann nicht grün?*

Man erkennt, daß nicht nur der gerade vorgestellte Effekt an den Heiligenscheinen beteiligt ist. MINNAERT führt neben diesem in Bild 3 (b) und 4 (a) dargestellten Fall noch drei andere Effekte an:

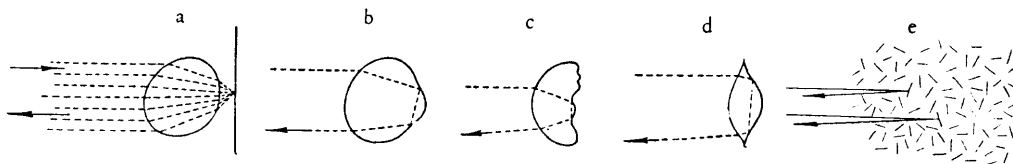


Bild 4: Die Entstehung des Heiligenscheins auf taubenetztem Gras

Zum einen tritt Reflexion an der Vorderseite der Tropfen auf. Zum anderen sind die Wassertropfen ungleichmäßig deformiert, insbesondere auf weiß behaarten, pelzigen Pflanzen. Hier kommt es zu Totalreflexion an der Rückseite der Wassertropfen, wie in den Bildern 4 (b)–(d) dargestellt. Zusätzlich moduliert der dritte Effekt die Helligkeit: Schaut man aus der Richtung, aus der die Sonne die Wiese bescheint, so sind nur sonnenbeschienene Grashalme zu sehen, kein Halm wird in Richtung Sonne bzw. Betrachter von anderen verdeckt (vgl. Bild 4 (e)). Blickt man zur Seite, so unterscheiden sich Beleuchtungs- und Betrachtungsrichtung zunehmend, d.h. neben sonnenbeschienenen Halmen sind auch Halme, die von vor ihnen liegenden Halmen beschattet werden, zu sehen.

Heiligenscheine entstehen durch Überlagerung dieser Effekte; die Wassertropfen auf der Wiese reflektieren das Sonnenlicht vornehmlich in Einstrahlungsrichtung. Dabei trägt die Reflexion an der Blattoberfläche zu grünem Licht, die Reflexionen an den Tropfenvorder- bzw. -rückseiten zu weißen Reflexen bei, wobei insgesamt das weiße Licht überwiegt.

Zusammengenommen ergibt sich ein Bereich innerhalb eines engen Beobachtungswinkels, in dem das Licht besonders stark in Richtung der Sonne zurückgeworfen wird. Betrachtet man seinen Schatten, so fallen Einstrahlungs- und Reflexionsrichtung mit der Beobachtungsrichtung zusammen, man sieht einen hellen Schein um seinen Kopf. Die Heiligenscheine entstehen also durch eine unvollkommene Abbildung der Lichtquelle in

sich selbst. Die Eigenschaft, Licht unabhängig vom Einfallswinkel in Einstrahlungsrichtung zurückzuwerfen, nennt man *Retroreflexion*.

### Künstliche Heiligenscheine

Der aufmerksame Beobachter trifft Heiligenscheine nicht nur in der natürlichen, sondern auch in der wissenschaftlich-technischen Umwelt an. Der auf ein Verkehrsschild geworfene Schatten des eigenen Kopfes ist oft ebenfalls von einem hellen Schein umgeben, ohne daß die Schilder mit Wassertropfen benetzt wären. Auch diese Scheine wandern mit dem Betrachter mit und sind nur für ihn an seinem Kopf zu sehen.



Bild 5: Heiligenschein auf einem Wegweiser.  
(a) aus Sicht des Betrachters, (b) aus der Kameraperspektive

So kann der Photoapparat in Bild 5 (b) nur seinen eigenen Heiligenschein erkennen, den des danebenstehenden Betrachters sieht er nicht. Diesem ergeht es entsprechend. Hat man zwei Lichtquellen, so ergeben sich zwei Schattenwürfe und folglich zwei Heiligenscheine:



Bild 6: Mehrfache Heiligenscheine. (a) des Betrachters, (b) der Kamera

Tagsüber fallen die Verschmutzungen des Wegweisers in Bild 6 (b) kaum auf, sie sind eher heller als das vorherrschende Orange. Nachts jedoch treten sie deutlich dunkel durch ihre schlechten Reflexionseigenschaften hervor.

Wie kommt es zu diesen Phänomenen? Natürlich sind Verkehrsschilder nicht konzipiert worden, um Heiligenscheine zu produzieren. Vielmehr geht es im Straßenverkehr darum, möglichst viel Licht in Richtung der Lichtquelle zu reflektieren.

Fährt man beispielsweise nachts Auto und beleuchtet ein Verkehrszeichen alten Typs am Straßenrand, so streut es das Licht größtenteils in die sich aus dem Reflexionsgesetz ergebende Richtung, nur wenig Licht gelangt zum Fahrzeug zurück. Damit das Licht zum Betrachter zurückfällt, werden Retroreflektoren in Form von Folien eingesetzt. Diese werfen das Scheinwerferlicht in sich selbst zurück; zum Glück nicht perfekt, sonst sähe man im Auto nichts, sondern nur aus der Sicht der Scheinwerfer. Diese Retroreflektoren sind so gut einzusetzen, daß man auf Autobahnen seit einiger Zeit innenbeleuchtete Wegweiser mit ihrem logistischen Aufwand vermeiden kann. Ferner finden diese Retroreflektionsfolien Verwendung bei Auto- und Motorradkennzeichen, auf Dienstkleidung von Polizei und Feuerwehr sowie Warnwesten von Straßenbauarbeitern u.v.m.

### Experimentelle Untersuchung

Den Ursachen für Heiligenscheine und die retroreflektierenden Eigenschaften der verwendeten Folien kommt man durch eine mikroskopische Untersuchung näher. Es zeigt sich, daß das Material aus durchsichtigen Kugeln von etwa 0,05 mm Durchmesser besteht, die in eine reflektierende Schicht eingebettet sind. Die einfache Geometrie ermöglicht den Kugeln, das Licht so zu brechen und zu reflektieren, daß es vorzugsweise in Einstrahlungsrichtung zurückfällt.

Eine eingehendere Untersuchung der Reflexionseigenschaften solcher Kugeln zeigt, daß der Winkel  $\delta$ , um den der zurückgeworfene Strahl von der Parallelität zum einfallenden Strahl abweicht, vom Einfallswinkel  $\alpha$  und dem Brechungsindex  $n_K$  der Kugel abhängt:

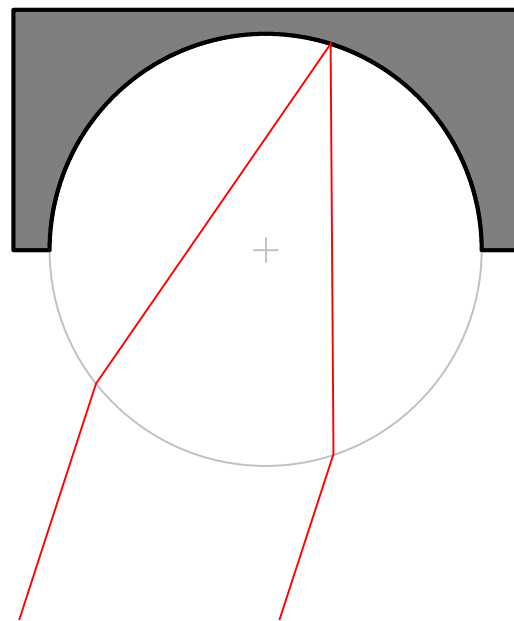


Bild 7: Strahlengang an der Kugel

$$d_{n_K}(\alpha) = 2a - \arcsin\left(\frac{\sin \alpha}{n_K}\right)$$

Es ergeben sich insbesondere für  $1,7 \leq n_K \leq 2,0$  niedrige Abweichungswinkel. Gerade im Vorhandensein solcher kleiner Abweichungen liegt nun die Erklärung für das Phänomen der Heiligenscheine. Sowohl bei der Wiese als auch bei den angeführten Kunststoffolien werden die Lichtquellen unvollkommen in sich selbst abgebildet. Dem im Strahlengang befindlichen Betrachter zeigt sich diese Unvollkommenheit als heller Schein um den Schatten seines Kopfes.

Die Eigenschaft von Retroreflektoren, Lichtquellen in sich selbst abzubilden, lässt sich in einem Experiment nach JOHN S. PRESTON [3] verifizieren.

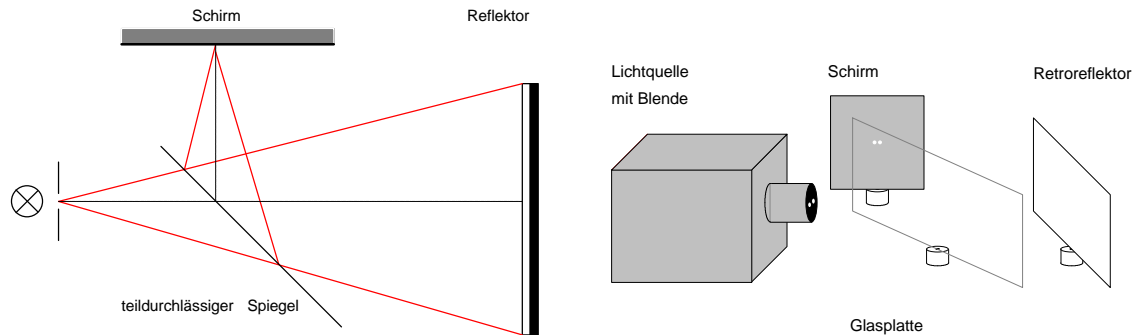


Bild 8: (a) Abbildung einer Punktlichtquelle durch einen Retroreflektor, (b) schematischer Aufbau

Hierzu bildet man eine Lichtquelle auf eine Blende ab und beleuchtet dann einen Retroreflektor, beispielsweise ein reflektierendes Nationalitätenkennzeichen (D-Schild). Da sich das Bild der Blende nicht auf ihr selbst auffangen lässt, koppelt man zurückgeworfenes Licht mit einem teildurchlässigen Spiegel, etwa einer Glasplatte, aus. Aufgrund der Reflexionseigenschaften des Retroreflektors zeigt sich, daß auf dem Schirm genau dann ein scharfes Bild der Blende entsteht, wenn Schirm und Blende den selben Abstand zum Spiegel haben. Nun kann man den Retroreflektor verkippen, seinen Abstand zur Glasplatte variieren oder vor ihn Linsen oder andere Glaswaren stellen, was weder Lage noch Schärfe des Bildes auf dem Schirm beeinflusst; der Retroreflektor kehrt den Strahlengang weitgehend unabhängig vom Einfallswinkel um und bildet die Lichtquelle in sich selbst ab. Da dies nicht vollkommen geschieht, ist uns mit den Heiligenscheinen in Natur und Straßenverkehr ein faszinierender, ständiger Begleiter beschert.

#### Literatur:

- [1] *Der große Brockhaus. Band 5. 16. Auflage. Wiesbaden 1954. S. 345*
- [2] *Marcel Minnaert: Licht und Farbe in der Natur. Basel; Boston; Berlin: Birkhäuser Verlag 1992. S. 311f*
- [3] *John S. Preston. Nature, 213, 1007 (1967).*

#### Bildnachweis:

- (1) *"Die heilige Anna Selbtritt und fünf Engel" aus: E. und H. Melchers: Das große Buch der Heiligen. Südwest Verlag. München 1984.*
- (2) (a), (c), (d) *Hans-Joachim Schlichting*
- (2) (b) *Jochim Lichtenberger*
- (3) *David K. Lynch, William Livingston: Color and Light in Nature. Cambridge University Press 1995. S. 123.*
- (4) *Marcel Minnaert: Licht und Farbe in der Natur. Basel; Boston; Berlin: Birkhäuser Verlag 1992. S. 313.*
- (5)-(8) *Markus Uhlenbrock*