

# Heiligenscheine in der wissenschaftlich technischen Welt

H. Joachim Schlichting, Markus Uhlenbrock

*Man sieht oft etwas hundert Mal, tausend Mal, ehe man es zum allerersten Mal wirklich SIEHT.*

Christian Morgenstern

*Heiligenscheine, die auf Verkehrsschildern, KFZ- Kennzeichen u.ä. erscheinen, bedeuten physikalisch gesehen, daß das Licht ungefähr in Richtung der Lichtquelle zurückgestrahlt wird. Die praktische Seite dieses Phänomens besteht darin, daß diese Retroreflektoren beispielsweise für Autofahrer gut zu erkennen sind, die sich im Lichte der Scheinwerfer orientieren möchten.*

Wer die Sonne oder auch eine künstliche Lichtquelle im Rücken, den eigenen Schatten vor sich herschiebend auf ein Verkehrsschild oder KFZ- Kennzeichen zugeht, kann eine deutliche Aufhellung des Schildes beobachten, bevor der Schattenkopf darauf erscheint. Schaut man genauer hin, so stellt man fest, daß der Kopfschatten auf dem Schild von einem ähnlichen Lichtschein umgeben ist, wie auf einer feuchten Wiese im Lichte der aufgehenden Sonne (Bild 1). Obwohl dieser technische Heiligenschein in jeden Fall auftritt, während der natürliche Heiligenschein sehr stark von den äußeren Bedingungen, insbesondere dem Vorhandensein geeigneter Wassertröpfchen auf dem Gras abhängt, fällt er nur wenigen Menschen auf. Offenbar ist man in einer durch die wissenschaftliche



Bild 1: Der Schatten einer von hinten angestrahlten Person ist von einem hellen Schein umgeben.



Bild 2: Nur der "eigene" Schatten, hier der einer Kamera ist vom Heiligenschein umgeben

Technik geprägten Umwelt noch unaufmerksamer für Naturphänomene als in der freien Natur.

In den Augen der meisten Menschen sind Naturphänomene einfach nur schön und sonst nichts. Wer würde schon an einen Nutzeffekt eines Naturphänomens denken? „Am Regenbogen muß man nicht die Wäsche aufhängen wollen“ (Friedrich Hebbel). Daher ist man meist erstaunt, wenn man die technische Spielform des Heiligenscheins erlebt. Die Frage, ob es sich hier um einen zufälligen „Nebeneffekt“ eines technischen Objekts handelt, oder ob das Phänomen einen bestimmten Zweck erfüllt, drängt sich geradezu auf. Wenn man davon ausgeht, daß der künstliche Heiligenschein ebenso wie der natürliche (siehe: Physik in unserer Zeit 30/4, 173-175 (1999)) dadurch zustande kommt, daß das Licht von der reflektierenden Fläche hauptsächlich in Richtung der Lichtquelle zurückgeworfen wird, dürfte eine Antwort nicht allzu schwierig sein. Dazu muß man die Konstellation von Lichtquelle, Beobachter und Retroreflektor nur etwas variieren. Anders als beim (solaren oder lunaren) natürlichen Heiligenschein ist es in diesem Fall möglich, die Lichtquelle zwischen Beobachter und Reflektor zu stellen. Dann tritt zwar kein Schatten auf, aber der Beobachter, der sich beispielsweise in einem Auto mit eingeschaltetem Licht befindet, blickt näherungsweise in Richtung des Scheinwerferlichts und sieht einen großen Teil des vom Verkehrsschild reflektierten Lichts. Man erkennt sofort, was durch dieses Phänomen bezweckt wird: Das von den Scheinwerfern beleuchtete Verkehrsschild kann besonders deutlich gesehen werden und zwar unabhängig davon, aus welcher Richtung das Licht kommt. Wem wäre nicht schon aufgefallen, daß Schilder geradezu aus sich heraus „aufzuflammen“ scheinen, wenn sie vom Lichtkegel des Scheinwerfers erfaßt werden, während ihre

Sichtbarkeit von der Seite betrachtet durch die Beleuchtung nicht nennenswert zunimmt. Normalerweise würde das Licht größtenteils nur in die sich aus dem Reflexionsgesetz ergebende Richtung zurückgestrahlt. Nur wenig Streulicht gelangte zum Fahrzeug zurück. Mit dem Einsatz von Retroreflektoren spart man beispielsweise den finanziellen und logistischen Aufwand innenbeleuchteter Autobahnwegweiser ein.

Die technische Retroreflexion wird mit Folien erreicht, mit denen die sichtbar zu machenden Gegenstände (neben den Verkehrsschildern und KFZ- Kennzeichen, beispielsweise auch die Kleidung von Polizisten und Feuerwehrleuten) versehen werden.

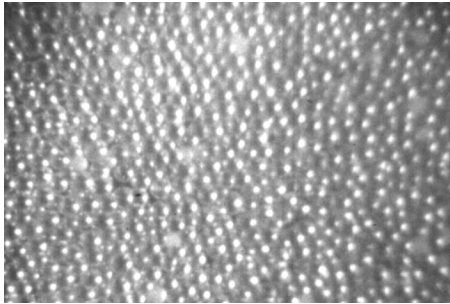


Bild 3: Mikroskopaufnahme der Oberfläche eines D - Schildes (Nationalitätenkennzeichen). Deutlich zu erkennen sind die in der Folie eingelagerten Plastikkügelchen.

Wie sehen diese Folien aus? Unter dem Mikroskop erkennt man, daß sie aus einer reflektierende Schicht bestehen, in die durchsichtige Kugeln von etwa 0,05 mm Durchmesser eingebettet sind (Bild 3). Die einfache Geometrie ermöglicht den Kugeln, das Licht so zu brechen und zu reflektieren, daß es ungefähr in Einstrahlungsrichtung zurückfällt. Dieses "ungefähr" hat es in sich, weil das Phänomen gerade darauf beruht, daß das Licht nicht exakt zur Lichtquelle zurückgestrahlt wird, aber auch nicht wesentlich von der Einstrahlrichtung abweicht. Hier gilt ein Wort Gerhard Domaghs: "Die kleinsten Dinge beobachten, vor allem die kleinste Abweichung vom Normalen!"

Eine eingehendere Untersuchung der Reflexionseigenschaften solcher Kugeln zeigt, daß der Winkel  $\delta$ , um den der zurückgeworfene Strahl von der Einfallsrichtung abweicht, vom Einfallswinkel  $\alpha$  und vom Brechungsindex  $n_K$  der Kugeln abhängt

(siehe: Auf die Abweichung kommt es an).

Ebenso wie beim Heiligenschein auf der feuchten Wiese kommt es auch in der technischen Variante auf diese kleine Abweichung an. Einerseits darf das Licht nicht genau zur den Lichtquelle zurückgestrahlt werden, dann hätte der Autofahrer nichts davon. Andererseits darf die Abweichung auch nicht zu groß sein, weil damit die Intensität des zurückgestrahlten Lichtes zu stark abnehmen würde.

Beim natürlichen Heiligenschein dominiert die Totalreflexion des Lichtes. Deshalb erstrahlt er auch nicht in der Farbe des grünen Grases, sondern eher im weißen Licht. Das ist auch bei den Retroreflektoren der Fall. Der Unterschied besteht jedoch darin, daß die Totalreflexion nicht durch die Deformation der Kugeln bedingt wird, sondern bei perfekt sphärischen Kugeln aufgrund eines reflektierenden Hintergrund erfolgt, in den die Kugeln eingebettet sind. Die unterschiedliche Farbgebung der Schilder wird durch eine transparente Folie in der gewünschten Farbe erreicht, mit der die Retroreflektorschicht überzogen ist.

Die Retroreflektoren sind eines von vielen schönen Beispielen dafür, daß Naturphänomene nicht nur in der Natur, sondern auch in der wissenschaftlich technischen Welt, die ja unter anderem auf einer Nutzung der Naturphänomene im weitesten Sinne des Wortes beruht, aufgefunden werden können. Wie die Ausführungen gezeigt haben, erschließen sich die Phänomene nicht von selbst. Man muß sie sich erarbeiten, man muß sie zu sehen lernen. Aber dafür wird man reichlich belohnt:

*Was ist das Schwerste von allem?*

*Was dir das Leichteste dünket:*

*Mit Augen zu sehen,*

*was vor den Augen dir liegt.:*

(Johann Wolfgang von Goethe)

## Auf die Abweichung kommt es an

Da die Kügelchen in eine reflektierende Schicht eingebettet sind, werden die Lichtstrahlen an der Grenzfläche zwischen Kügelchen und Folie reflektiert. Die Geometrie der Reflexion eines beliebigen Lichtstrahls ist in Bild 4 skizziert. Demnach wird der unter dem Winkel  $\alpha$  auf der Kugel auftreffende Lichtstrahl nach dem Snelliusschen Brechungsgesetz unter dem Winkel  $\beta$  gebrochen:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_K$$

Wie man sich leicht klarmacht, gilt:

$$\gamma = 4\beta - \alpha$$

$$\delta = \alpha - \gamma$$

$$\delta = 2\alpha - 4\beta.$$

Wenn das eingestrahlte Licht in  $180^\circ$ - Richtung reflektiert wird, gilt:

$$\delta = 0.$$

Daraus folgt:

$$4\beta - 2\alpha = 0 \text{ oder: } \alpha = 2\beta,$$

d.h. der Einfallswinkel ist gerade doppelt so groß wie der Brechungswinkel. Die Retroreflexion erfolgt also entgegen der Einfallsrichtung ( $180^\circ$ - Richtung). Für alle davon abweichenden Einfallsrichtungen, wovon in der Regel auszugehen ist, ergibt sich eine Ablenkung  $\delta$  von der  $180^\circ$ - Richtung:

$$\delta_{n_K}(\alpha) = 2\alpha - 4 \arcsin\left(\frac{\sin \alpha}{n_K}\right)$$

Wie man Bild 5 entnimmt, variiert die Lichtablenkung  $\delta$  nur wenig mit dem Einfallswinkel  $\alpha$ . Für Brechungsindizes  $1,7 \leq n_K \leq 2,0$  ist die Ablenkung minimal.

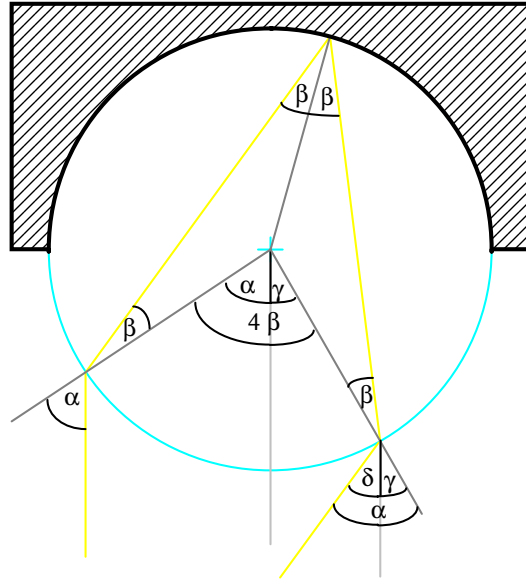


Bild 4: Strahlengang eines an der Rückwand der Kugel reflektierten Lichtstrahls. (Die Abweichung von der  $180^\circ$ - Richtung wurde übertrieben gezeichnet.)

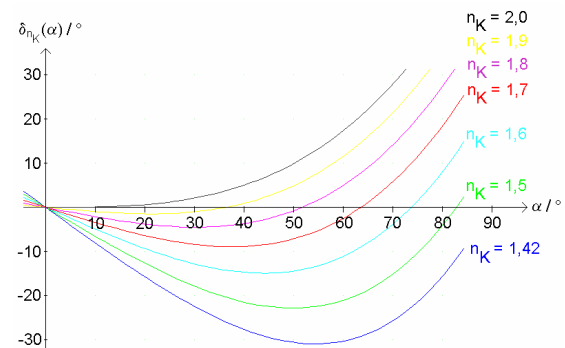


Bild 5: Abhängigkeit der Lichtablenkung  $\delta$  vom Einfallswinkel  $\alpha$  für verschiedene Brechungsindizes.

## Literatur

- [1] Schlichting, H. Joachim, Uhlenbrock, Markus: Der Heiligenschein als NaturerSCHEINung. PhiuZ
- [2] Walker, Jearl: Spektrum der Wissenschaft (Juni 1986), S. 154, dort weitere Literatur