

Wie funktioniert ein Katzenauge? – Prinzip und technische Anwendungen eines Retro-Reflektors

Axel Donges, Isny im Allgäu

Gesehen hat es jeder schon einmal: Die Augen einer Katze strahlen hell im Dunkeln. Dabei strahlen die Augen jedoch nicht wie eine Lichtquelle Licht ab. Vielmehr **reflektieren** sie einfallendes Licht in diejenige Richtung zurück, aus der es gekommen ist. Das wirkt oft gespenstisch, wenn in der dunklen Nacht ein gelbgrünes Augenpaar funkelt.

Katzenaugen wirken also wie sog. **Retro-Reflektoren**. Darunter versteht man Reflektoren, die das Licht zur Lichtquelle zurückreflektieren. Daher nennt man Retro-Reflektoren umgangssprachlich auch „Katzenaugen“.



Foto: Mauritius Images

Abb. 1: Die Augen einer Katze strahlen im Dunkeln hell.

I/E

Da sah er die feurigen Augen
der Katze und meinte,
es wären glühende Kohlen.

Aus: Die Bremer Stadtmusikanten
(Brüder Grimm)

Der Beitrag im Überblick

<p>Klasse: 7–9</p> <p>Dauer: 4–5 Stunden</p> <p>Ihr Plus:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Kurze und prägnante Darstellung der Physik des Retro-Reflektors ✓ Fachübergreifendes Unterrichten (Biologie, Verkehrserziehung) 	<p>Inhalt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reflexionsgesetz • Snellius'sche Brechungsgesetz • Totalreflektion • Gesetze der optischen Abbildung • Technische Anwendungen: Katzenauge, Triple-Spiegel bzw. -Prisma, Retro-Reflektoren, Reflektorfolie
---	---

Didaktisch-methodische Hinweise

Retro-Reflektoren im Alltag

Retro-Reflektoren werden vielfältig eingesetzt. So muss beispielsweise ein verkehrssicheres **Fahrrad** laut Straßenverkehrsordnung mit einem weißen Retro-Reflektor vorne und einem roten Retro-Reflektor hinten ausgestattet sein. Zusätzlich müssen die Speichen oder die Reifenflanken sowie die Pedale retro-reflektierend sein.

Retro-Reflektoren finden auch Anwendung auf **Verkehrsschildern**, beispielsweise an der Autobahn. Sie sind Bestandteil der **Leitpfosten**.

Man hat Retro-Reflektoren auch **auf dem Mond** positioniert, damit das auf der Erde abgesandte Laserlicht konzentrierter zur Erde zurückgespiegelt wird.



Abb. 2: Seitliche Blitzaufnahme eines Fahrrades, dessen Felgen mit Retro-Reflektorfolien beklebt sind

© A. Donges

I/E

Inhalt

Zu den Grundlagen der **geometrischen Optik** gehören:

- das **Reflexionsgesetz**:
 1. Der einfallende Strahl, das Lot auf den Spiegel im Auftreffpunkt und der reflektierte Strahl liegen in einer Ebene, der Einfallsebene.
 2. Der Einfallswinkel ist gleich dem Reflexionswinkel.
- das **Snellius'sche Brechungsgesetz** (einschließlich der Totalreflexion):

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin(\alpha_2)}{\sin(\alpha_1)}$$

Die Winkel werden zum Lot hin gemessen. α_1 ist der Einfallswinkel. α_2 ist der Winkel des gebrochenen Strahls, n_1 und n_2 sind die Brechzahlen der jeweiligen Medien.

- und die **Gesetze der optischen Abbildung**, z. B. die **Linsengleichung**:

$$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}; \quad g = \text{Gegenstandsweite, } b = \text{Bildweite, } f = \text{Brennweite}$$

Mithilfe dieser Grundlagen lassen sich im Unterricht die sog. **Retro-Reflektoren** behandeln. Sie spielen im täglichen Leben eine wichtige Rolle. Sie helfen in jeder Nacht, Unfälle zu vermeiden, und retten so unzählige Menschenleben.

Ihre Schüler lernen in diesem Beitrag die beiden Grundprinzipien kennen, wie sich Retro-Reflektoren realisieren lassen (**Katzenaugen-Prinzip** und **Triple-Reflexions-Prinzip**). Die Möglichkeit, die Beugung am Reflexionsgitter für Retro-Reflektoren zu nutzen, wird in diesem Beitrag nicht behandelt.

Vorkenntnisse

Wenngleich zur vollständigen Durchdringung des Themas elementare mathematische Kenntnisse (z. B. zur trigonometrischen Sinus-Funktion) vonnöten sind, kann das Thema in niedrigeren Klassenstufen auch in einer eher beschreibenden Art und Weise abgehandelt werden.

Materialübersicht

⌚ V = Vorbereitungszeit LV = Lehrerversuch Ab = Arbeitsblatt/Informationsblatt
 ⌚ D = Durchführungszeit WH = Wiederholung LEK = Lernerfolgskontrolle Fo = Folie

M 1	WH	Optische Grundlagen – frische dein Wissen auf!
M 2	Fo	Retro-Reflektoren im Alltag
M 3	Ab	Das Katzenauge als Retro-Reflektor
M 4	Ab	Brechung und Reflexion an einer Glaskugel
M 5	Ab	Der Triple-Spiegel
M 6	LV	Freihand-Experimente zur Retro-Reflexion
	⌚ V: 10 min	<input type="checkbox"/> 90°-Doppelspiegel
	⌚ D: 35 min	<input type="checkbox"/> 90°-Umlenkprisma
		<input type="checkbox"/> Triple-Spiegel
		<input type="checkbox"/> Triple-Prisma
		<input type="checkbox"/> Laser
		<input type="checkbox"/> Nebelmaschine (falls vorhanden)
		<input type="checkbox"/> Retro-Reflektorfolie (z. B. auf Sicherheitsweste)
		<input type="checkbox"/> Digital-Kamera mit Blitzlicht (z. B. Handy)
M 7	Ab	Zusammenfassung
M 8	LEK	Der Retro-Reflektor – teste dein Wissen!

Die Erläuterungen und Lösungen zu den Materialien finden Sie ab Seite 16.

Mediathek

Grundlagen: <http://www.leifiphysik.de/optik/lichtreflexion/reflexionsgesetz>
<http://www.leifiphysik.de/suche/Brechungsgesetz>

zu M 1: <https://www.zum.de/dwu/depotan/apop001.htm>
<https://www.zum.de/dwu/depotan/apop101.htm>
http://www.ostralo.net/3_animations/swf/descartes.swf
<http://www.walter-fendt.de/ph14d/bildsammellinse.htm>
<https://www.youtube.com/watch?v=AUgyfIA3AHk>

zu M 3: <https://www.youtube.com/watch?v=6RnF7W9BDQ4>
<https://www.youtube.com/watch?v=tTeEbJz6rjc>
<https://www.youtube.com/watch?v=cpS-bC385DQ>

zu M 4: <http://www.shiok.one/index.php/de/video-de>

zu M 5: <https://www.youtube.com/watch?v=UUIBq44SuAg>
<http://www.leifiphysik.de/optik/lichtreflexion/ausblick/tripelspiegel>
<http://www.leifiphysik.de/optik/lichtreflexion/ausblick/reflektoren>
https://www.youtube.com/watch?v=_VrXFUsKx3E
https://www.youtube.com/watch?v=TQAHItBR_1g

M 1 Optische Grundlagen – frische dein Wissen auf!

Hier wiederholst du einige optische Grundlagen für das Verständnis des Funktionsprinzips eines Katzenauges.

Reflexion

Fällt ein Lichtstrahl auf einen Spiegel, so wird der Lichtstrahl reflektiert. Dabei gilt das **Reflexionsgesetz** (Abb. 3):



- Lot, einfallender und reflektierter Lichtstrahl liegen in einer Ebene.
- Der Winkel α zwischen dem einfallenden Lichtstrahl und dem Lot auf dem Spiegel ist so groß wie der Winkel β zwischen dem Lot und dem reflektierten Lichtstrahl:
 $\alpha = \beta$. (1)

Skizze:

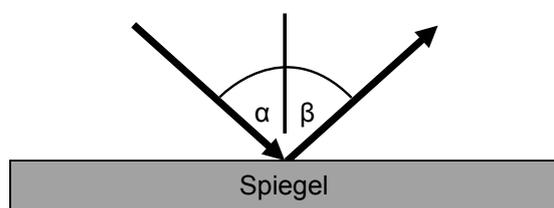


Abb. 3: Zum Reflexionsgesetz



Abb. 4: Die Reflexion an spiegelnden Flächen lässt ein Spiegelbild entstehen.

© Shutterstock/ChrisVanLennepPhoto

I/E

Brechung

Fällt ein im Medium 1 sich ausbreitender Lichtstrahl auf die Grenzfläche zweier Medien mit den Brechzahlen n_1 und n_2 , so wird ein Teil reflektiert. Der restliche Strahl tritt in das Medium 2 über. Dabei gilt das **Brechungsgesetz** (Abb. 5). Es lautet:

- Lot, einfallender und gebrochener Lichtstrahl liegen in einer Ebene.
- $n_1 \sin(\alpha_1) = n_2 \sin(\alpha_2)$ mit n_1, n_2 : Brechzahlen der beiden Medien (2)

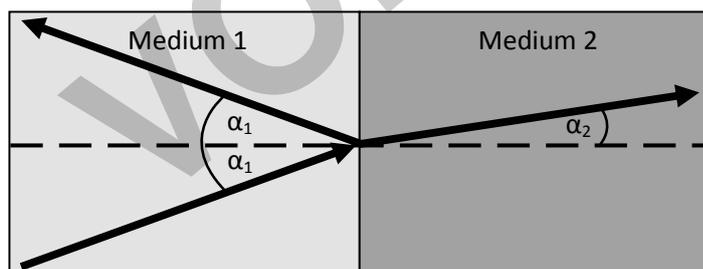


Abb. 5: Zum Brechungsgesetz. Dargestellt ist die Situation, wie sie beim Übergang von Luft ($n_1 = 1,0$) zu Diamant ($n_2 = 2,4$) vorliegt.

Totalreflexion

Ein Übergang von einem optisch dichteren in ein optisch dünneres Medium (d. h. $n_1 > n_2$) kann nur dann stattfinden, wenn

$$\alpha_1 \leq \alpha_{1G} = \arcsin(n_2/n_1). \quad (3)$$

Daher findet im Fall $\alpha_1 > \alpha_{1G}$ eine 100%-ige Reflexion an der Grenzfläche (eine sog. **Totalreflexion**) statt.

Beispiel: Beim Übergang von Glas ($n_1 = 1,53$) zu Luft ($n_2 = 1,00$) beträgt der Grenzwinkel der Totalreflexion $\alpha_{1G} = 40,8^\circ$. Ist der Einfallswinkel α_1 größer als $40,8^\circ$, findet eine Totalreflexion statt.

M 2 Retro-Reflektoren im Alltag

Foto: Mauritius Images



Abb. 9: Die Augen einer Katze strahlen auch im (Halb-)Dunkeln hell.

10



Ab 10: Reflektor eines Fahrrads

© Shutterstock/Mega Pixel

© Shutterstock/ChrisVanLennepPhoto



Abb. 11: Die Reflexion an spiegelnden Flächen lässt ein Spiegelbild entstehen.



Abb. 12: Seitliche Blitzaufnahme eines Fahrrades, dessen Felgen mit Retro-Reflektorfolien beklebt sind.

© A. Donges

© Shutterstock/Martin-Lang



Abb. 13: Retro-Reflektoren sind Bestandteil von Leitpfosten.

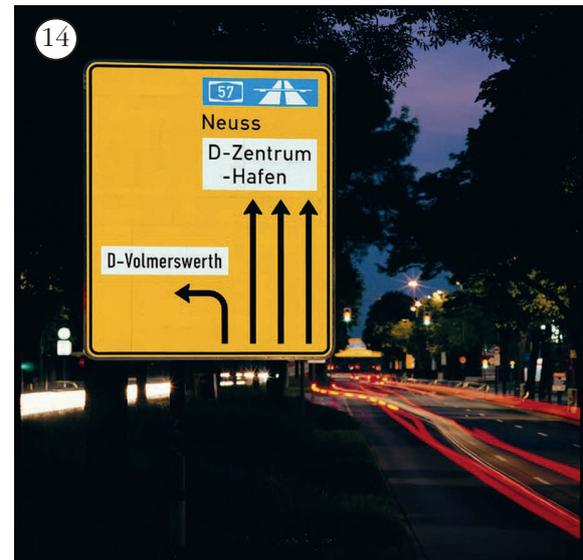
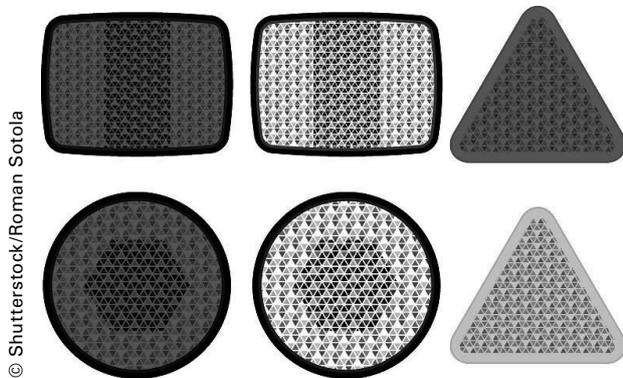


Abb. 14: Retro-reflektierendes Verkehrsschild

© obs / 3M Deutschland GmbH

I/E

Retro-Reflektoren auf der Basis von Triple-Prismen spielen im **Sicherheitswesen** eine große Rolle. Abb. 28 zeigt Retro-Reflektoren, die man beispielsweise an Fahrzeugen (z. B. Fahrrädern) befestigt⁴. Ein weiteres Beispiel zeigt Abb. 29 (Retro-Reflektoren an Leitpfosten). Winzig kleine Triple-Prismen lassen sich aber auch in Folien (**Retro-Reflexionsfolie**) integrieren.



© Shutterstock/Roman Sotola

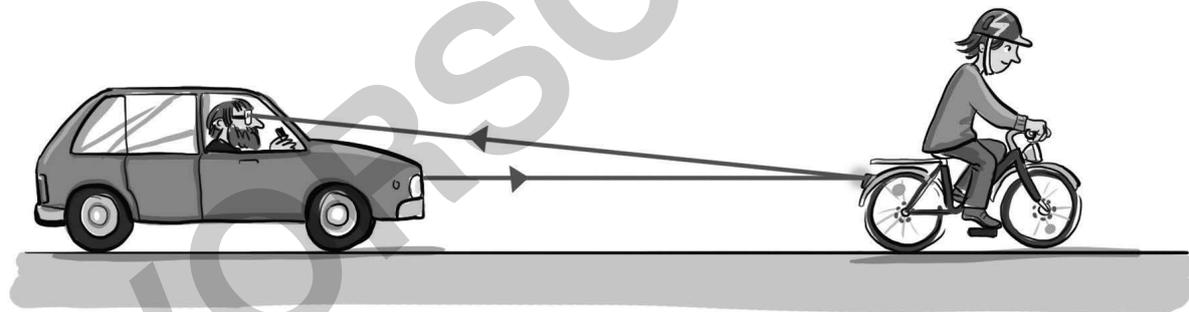
Abb. 28: Beispiele für Retro-Reflektoren



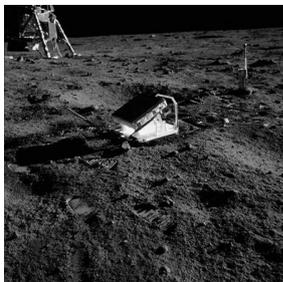
© Shutterstock/Martin-Lang

Abb. 29: Retro-Reflektoren sind Bestandteil von Leitpfosten

Ein idealer Retro-Reflektor ist für Anwendungen in der Sicherheitstechnik ungeeignet. Dies veranschaulicht Abb. 30. Das Licht des Autoscheinwerfers trifft auf den Retro-Reflektor des Fahrrades. Würde der Lichtstrahl exakt um 180° umgelenkt werden, würde das reflektierte Licht zum Autoscheinwerfer und nicht zum Fahrer laufen. Tatsächlich sollte das reflektierte Licht in einem Winkelbereich von ca. $180^\circ \pm 5^\circ$ liegen, damit der Fahrer den Retro-Reflektor des Fahrrades sehen kann.



© J. Lenzmann

Abb. 30: Damit der Autofahrer den Retro-Reflektor des Fahrrades sehen kann, darf der Retro-Reflektor das Licht nicht exakt um 180° umlenken.

© NASA

Abb. 31: Ein Retro-Reflektor auf dem Mond

Retro-Reflektoren werden auch außerhalb der Sicherheitstechnik eingesetzt, z. B. in der Mess- und Lasertechnik. So wurden Retro-Reflektoren auf dem Mond positioniert (Abb. 31), damit das auf der Erde abgesandte Laserlicht konzentrierter zur Erde zurückgespiegelt wird. Mit solchen Laufzeit-Messungen wird der Abstand von Erde und Mond sehr genau gemessen. Diese Messungen zeigen, dass der mittlere Abstand zwischen Erde und Mond jährlich um ca. 4 cm anwächst.

⁴ In Ihrer Physik-Sammlung sollte ein zerbrochener Retro-Reflektor, z. B. eines Fahrrades, vorhanden sein. Ihre Schüler können daran die Triple-Struktur erkennen. Der defekte Retro-Reflektor sollte keine scharfen Ecken (Verletzungsgefahr!) haben.

M 7 Zusammenfassung



Abb. 35: © Shutterstock/Tomasz Guzowski

Definition: Ein **Retro-Reflektor** ist ein optisches Bauteil, welches einfallendes Licht weitgehend unabhängig von der Ausrichtung des Reflektors größtenteils zurück zur Lichtquelle reflektiert.

Realisierung: Die Augen vieler nachtaktiver Tiere sind **Retro-Reflektoren** (z. B. die Augen von Katzen). Das zugrunde liegende Prinzip nutzt man in der Technik:

Katzenaugen-Prinzip: Eine Lichtquelle wird durch eine Sammellinse auf einen Spiegel abgebildet. Wegen der Umkehrbarkeit des Lichtweges bei optischen Abbildungen wird das Bild der Lichtquelle wieder in die Lichtquelle zurückabgebildet, d. h., die Lichtstrahlen, die das Katzenauge verlassen, laufen zur Lichtquelle zurück.

Eine an der Rückseite verspiegelte Glaskugel mit der Brechzahl $n = 2$ wirkt ebenfalls wie ein Katzenauge.

Triple-Reflexions-Prinzip: Mithilfe dreier Spiegel, die paarweise senkrecht zueinander angeordnet sind, lässt sich ebenfalls ein Retro-Reflektor realisieren, wenn der einfallende Lichtstrahl an jedem der drei Spiegel einmal reflektiert wird.

Statt dreier Spiegel (z. B. versilberter Glasplatten) kann auch die Totalreflexion an einer durchsichtigen Würfelfläche (Triple-Prisma) genutzt werden.

Retro-Reflexionsfolie: Eine große Anzahl kleiner **Glaskügelchen** mit der Brechzahl $n = 2$ oder eine große Anzahl kleiner **Triple-Prismen** (Totalreflexion an der Grenzfläche zu Luft) können in eine sog. **Retro-Reflexionsfolie** integriert werden.

Retro-Reflexionsfarbe: Werden kleine **Glaskügelchen** mit einer Brechzahl von $n = 2$ auf die frische, noch feuchte Farbe gestreut, erhält die Farbe eine retro-reflektierende Komponente.

Anwendungen: **Sicherheitstechnik:** Die Retro-Reflexion wird hauptsächlich in der Sicherheitstechnik (Sichtbarkeit im Dunkeln) angewendet.

Lasermesstechnik: Ein weiteres Anwendungsfeld des Retro-Reflektors ist die Lasermesstechnik, wenn Strahlung zur Lichtquelle zurückreflektiert werden soll.

I/E