

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

## 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.



© A. Donges

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

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.  $\alpha_1$  ist der Einfallswinkel.  $\alpha_2$  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**:

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

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

<b>M 1</b>	<b>WH</b>	<b>Optische Grundlagen – frische dein Wissen auf!</b>
<b>M 2</b>	<b>Fo</b>	<b>Retro-Reflektoren im Alltag</b>
<b>M 3</b>	<b>Ab</b>	<b>Das Katzenauge als Retro-Reflektor</b>
<b>M 4</b>	<b>Ab</b>	<b>Brechung und Reflexion an einer Glaskugel</b>
<b>M 5</b>	<b>Ab</b>	<b>Der Triple-Spiegel</b>
<b>M 6</b>	<b>LV</b>	<b>Freihand-Experimente zur Retro-Reflexion</b>
	⌚ 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)
<b>M 7</b>	<b>Ab</b>	<b>Zusammenfassung</b>
<b>M 8</b>	<b>LEK</b>	<b>Der Retro-Reflektor – teste dein Wissen!</b>

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.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=_VrXFUsKx3E)

[https://www.youtube.com/watch?v=TQAHItBR\\_1g](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  $\alpha$  zwischen dem einfallenden Lichtstrahl und dem Lot auf dem Spiegel ist so groß wie der Winkel  $\beta$  zwischen dem Lot und dem reflektierten Lichtstrahl:  
 $\alpha = \beta$ . (1)

Skizze:

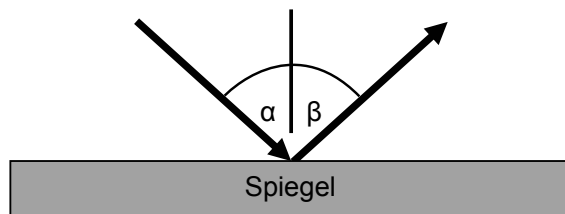


Abb. 3: Zum Reflexionsgesetz

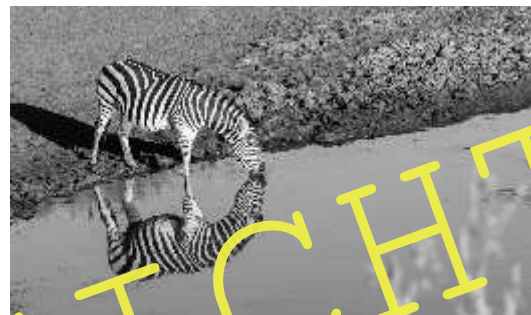


Abb. 4: Die Reflexion an spiegelnden Flächen lässt ein Spiegelbild entstehen.

### 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)

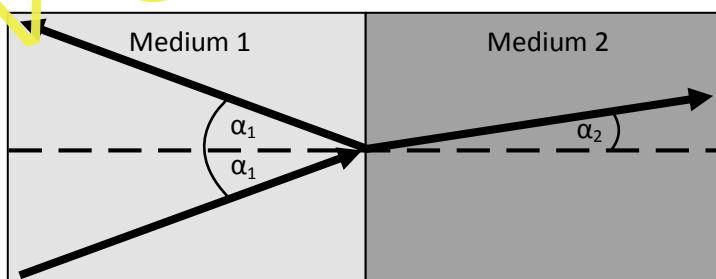


Abb. 5: Zum Brechungsgesetz. Dargestellt ist die Situation, wie sie beim Übergang von Luft ( $n_1 = 1,0$ ) zu Diamant ( $n_2 = 2,4$ ) vorliegt.

### 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  $\alpha_1$  größer als  $40,8^\circ$ , findet eine Totalreflexion statt.

### Optische Abbildung

Das Brechungsgesetz spielt bei **Linsen** eine wichtige Rolle. Mithilfe einer Sammellinse (Brennweite  $f$ ) kann ein Gegenstand abgebildet werden. Das bedeutet, dass alle Lichtstrahlen, die von einem Gegenstandspunkt ausgehen, sich wieder in einem Bildpunkt schneiden (Abb. 6). Zwischen der **Gegenstandsweite  $g$**  (Abstand des Gegenstandes von der Linse), der **Bildweite  $b$**  (Abstand des Bildes von der Linse), der **Gegenstandsgröße  $G$**  und der **Bildgröße  $B$**  bestehen die Zusammenhänge

$$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad (4) \quad \text{und} \quad \frac{B}{G} = \frac{b}{g} \quad (5).$$

(4) ist die **Linsengleichung**,

(5) das **Abbildungsgesetz**.

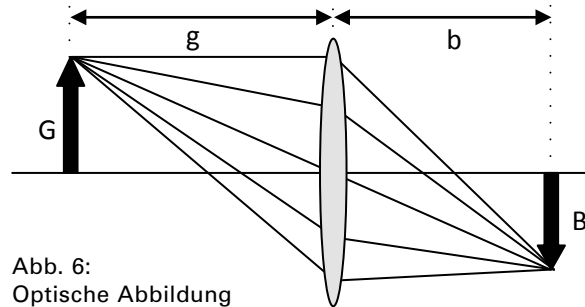


Abb. 6:  
Optische Abbildung

Auch bei einem Auge (Abb. 7) wird ein Gegenstand abgebildet. Dabei entsteht das Bild auf der Netzhaut (Retina).

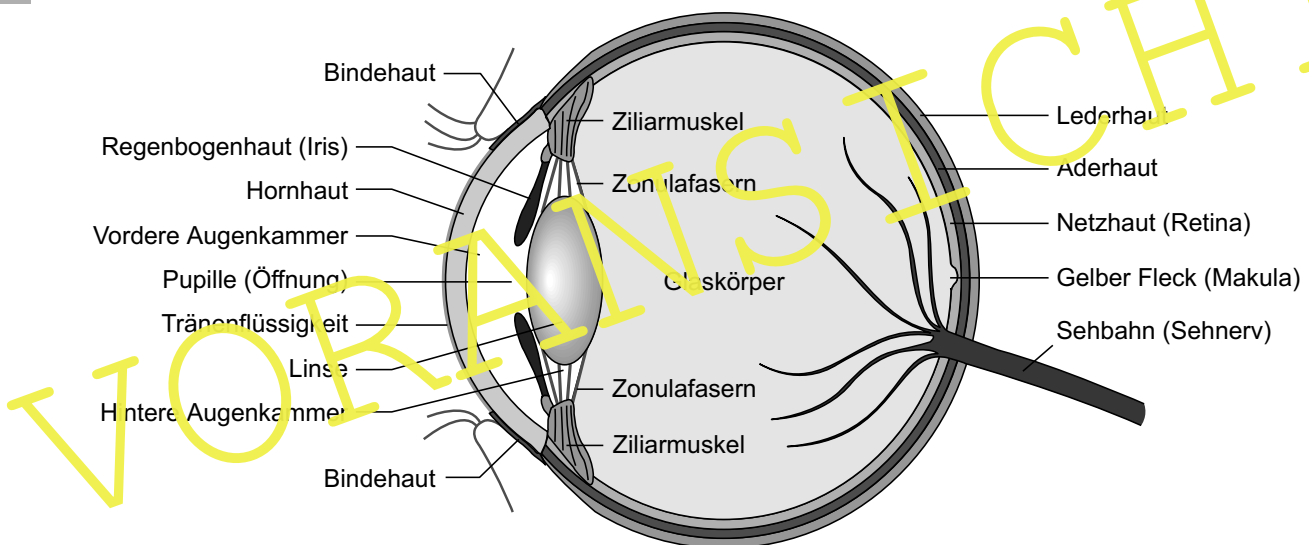


Abb. 7: Schnittbild eines menschlichen Auges.

### Aufgaben

1. Unter welchem Winkel  $\varphi$  muss der Spiegel positioniert werden, damit der Lichtstrahl rechtwinklig abgelenkt wird (Abb. 8)?

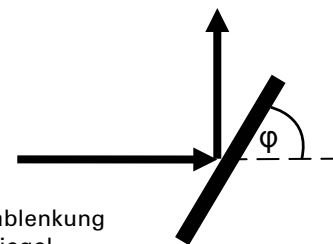


Abb. 8: Lichtablenkung  
mit einem Spiegel

2. Ein Lichtstrahl, der sich zunächst in Luft ( $n_1 = 1,0$ ) ausbreitet, fällt auf eine Glasplatte ( $n_2 = 1,5$ ). Berechne für den Einfallswinkel  $\alpha_1 = 30^\circ$  den zugehörigen Winkel  $\alpha_2$ .
3. Ein Lichtstrahl breitet sich in Glas ( $n_1 = 1,53$ ) aus und trifft unter einem Winkel  $\alpha_1 = 60,0^\circ$  auf eine Grenzfläche zu Luft ( $n_2 = 1,00$ ). Überzeuge dich, dass mit dem Brechungsgesetz (2) kein Winkel  $\alpha_2$  berechnet werden kann und somit eine Totalreflexion stattfindet.
4. Berechne Bildweite und Bildgröße für eine Abbildung mit einer Sammellinse der Brennweite  $f = 50 \text{ mm}$ , wenn die Gegenstandsweite  $1,0 \text{ m}$  und die Gegenstandsgröße  $G = 2,0 \text{ cm}$  betragen.

## M 2 Retro-Reflektoren im Alltag



Foto: Mauritius Images

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



© Shutterstock/Mega Pixel

Ab 10: Reflektor eines Fahrrads



© Shutterstock/ChrisVanLennepPhoto

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



© A. Donges

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



© Shutterstock/Martin-Lang

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



© obs / 3M Deutschland GmbH

Abb. 14: Retro-reflektierendes Verkehrsschild

VORANSICHT

I/E

### M 3 Das Katzenauge als Retro-Reflektor

Das Auge einer Katze ist grob gesprochen so wie das Auge eines Menschen aufgebaut. Wie ein Fotoapparat wird mithilfe einer Linse ein Bild eines Objekts auf der Netzhaut erzeugt. Warum leuchten aber die Augen von Katzen – wenn man sie anstrahlt – bei Nacht so intensiv gelbgrün bzw. bei blauäugigen Katzen so intensiv rot?

Ursache für die leuchtenden Katzenaugen ist ein **glänzender Belag**, der direkt hinter der Netzhaut des Katzenauges liegt. Dieses sog. *Tapetum lucidum* (zu Deutsch: Leuchtteppich) reflektiert das einfallende Licht, sodass es erneut die lichtempfindliche Netzhaut durchläuft und schließlich wieder aus dem Auge austritt und zur Lichtquelle zurückläuft.



Foto: Mauritius Images

Abb. 15: Die Augen einer Katze strahlen auch im (Halb-)Dunkeln hell.

Abb. 16 zeigt einen Lichtstrahl von der Lichtquelle bis zum Spiegel (= Leuchtteppich) und zurück zur Lichtquelle. Befindet sich ein Beobachter in der Nähe der Lichtquelle, kann er die leuchtenden Augen sehen. Das Auge der Katze wirkt also wie ein **Retro-Reflektor**: Das Licht kehrt dorthin zurück, woher es gekommen ist<sup>1</sup>. Befindet sich nur das Auge eines Beobachters in der Nähe der Lichtquelle, nimmt es die sehr hell leuchtenden Katzenaugen wahr.

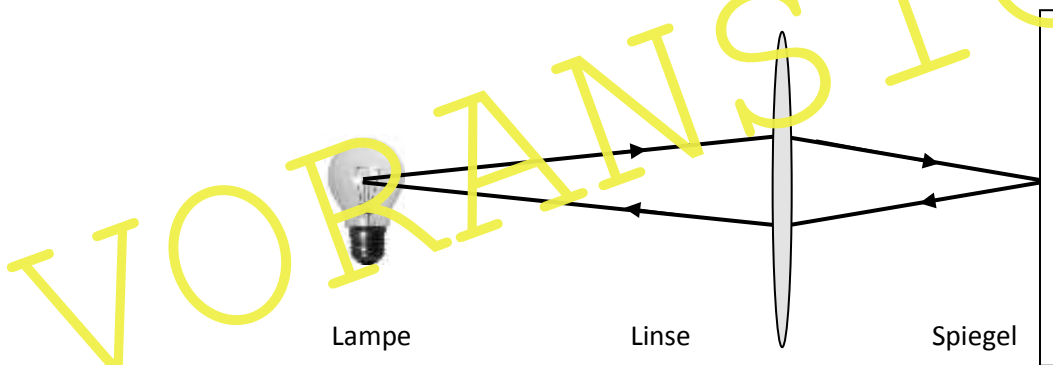


Abb. 16: Ein Strahlengang von der Lichtquelle bis zum Spiegel und zurück zur Lichtquelle. Die Linse und der Spiegel stehen stellvertretend für das Auge der Katze.

Dank des Leuchtteppichs durchdringt das Licht die Netzhaut zweimal. Dadurch wird die **Lichtempfindlichkeit des Katzenauges verdoppelt**. Das ist wichtig, da Katzen meist in der Nacht jagen. Verglichen mit menschlichen Augen sind Katzenaugen bei Nacht sechsmal empfindlicher. Auch andere Tiere, wie Hunde, Rehe, Haie, Krokodile oder Igel (nicht jedoch der Mensch!), haben eine solche, reflektierende Schicht hinter der Netzhaut (Abb. 17).

#### Aufgabe

Müssten die Augen der Katzen nicht auch am Tag leuchten, wenn sie angestrahlt werden?



© Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt/Landesforstbetrieb Sachsen-Anhalt

Abb. 17: Leuchtende Wolfsaugen bei Nacht

<sup>1</sup> Letztendlich ist dies die Umkehrbarkeit der optischen Strahlengänge bei optischen Abbildungen: Stellt man einen Gegenstand an die Position des Bildes, entsteht dessen Bild dort, wo vorher der Gegenstand war.

## M 4 Brechung und Reflexion an einer Glaskugel

### Eine Glaskugel als Katzenauge

Eine gewöhnliche, durchsichtige Glas- oder Kunststoffkugel, die auf der Rückseite verspiegelt ist, besitzt sowohl brechende als auch reflektierende Eigenschaften. Sie kann, wenn gewisse Bedingungen erfüllt sind, wie das Auge einer Katze wirken.

### Etwas Geometrie für Interessierte<sup>2</sup>

Wir betrachten in Abb. 18 den Weg eines Lichtstrahls durch eine Glaskugel genauer: Aus Symmetriegründen treten nur zwei Winkel von Bedeutung auf ( $\alpha$  und  $\beta$ ). Für diese beiden Winkel gilt das Brechungsgesetz

$$\sin(\alpha) = n \cdot \sin(\beta). \quad (6)$$

Hierbei wurde die Brechzahl der umgebenden Luft gleich 1 und die Brechzahl der Kugel gleich  $n$  gesetzt. Im Weiteren werden wir (wie in der Optik meist üblich) von kleinen Winkeln ausgehen. Dann vereinfacht sich – wegen  $\sin(\alpha) \approx \alpha$  und  $\sin(\beta) \approx \beta$  – das Brechungsgesetz (6) zu

$$\alpha = n \cdot \beta. \quad (7)$$

Der einfallende Lichtstrahl wird beim Durchgang durch die Kugel insgesamt um den Winkel  $\varphi$  gedreht. Für den Drehwinkel  $\varphi$  gilt:

$$\varphi = \underbrace{(\alpha - \beta)}_{\text{Drehung bei Eintritt}} + \underbrace{(180^\circ - 2\beta)}_{\text{Drehung bei Reflexion}} + \underbrace{(\alpha - \beta)}_{\text{Drehung bei Austritt}} = 180^\circ + 2\alpha - 4\beta, \quad (8)$$

wie man aus Abb. 18 ablesen kann. Mit der Näherungsgleichung (7) folgt schließlich

$$\varphi = 180^\circ + 2\alpha - 4\alpha/n. \quad (9)$$

Damit die Kugel als Retro-Reflektor wirkt, muss  $\varphi = 180^\circ$  gelten. Dies ist der Fall, wenn die Brechzahl der Kugel  $n = 2$  ist.

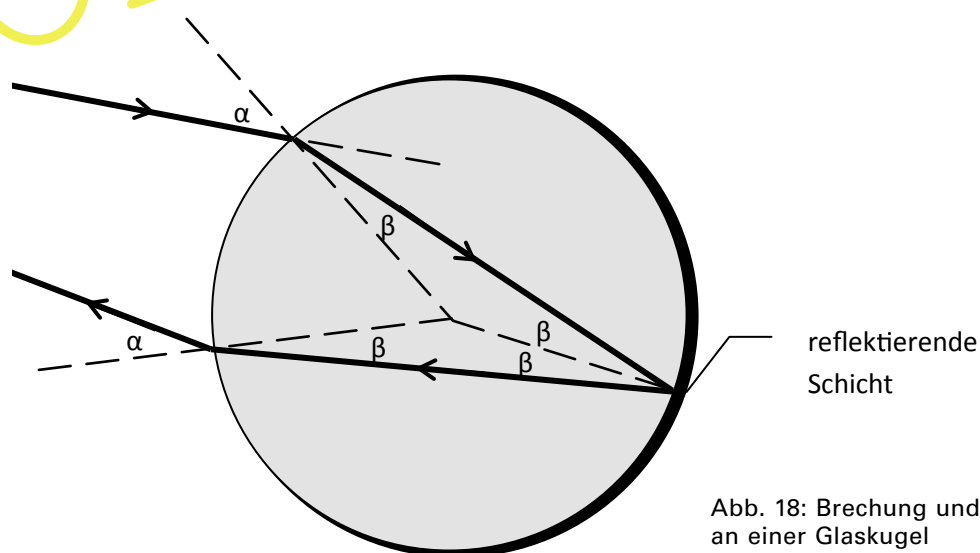


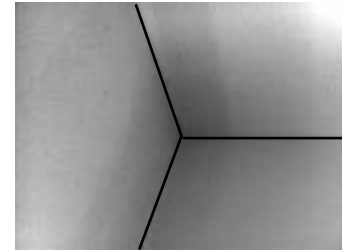
Abb. 18: Brechung und Reflexion an einer Glaskugel

<sup>2</sup> Dieser Abschnitt ist für besonders Interessierte. Schüler der Sekundarstufe I können ihn überspringen.



## M 5 Der Triple-Spiegel

Ein **Triple-Spiegel** besteht aus drei rechtwinklig angeordneten Spiegeln. Um dir einen Triple-Spiegel vorstellen zu können, schaue einfach in die Ecke eines Zimmers und stelle dir vor, dass Decke (oder Fußboden) und Wände verspiegelt seien (Abb. 23). Ein Triple-Spiegel wirkt ebenfalls wie ein Retro-Reflektor, d. h., er wirft das Licht in Einfallsrichtung zurück. Wir betrachten zunächst den einfacheren 90°-Doppelspiegel.



© A. Donges

Abb. 23: Blick in eine Zimmerecke

**Aufgabe:** Abb. 24 zeigt einen **90°-Doppelspiegel**. Zeichne die Reflexionswege der einfallenden Lichtstrahlen in Abb. 24 ein.

Was stellst du fest?

### Tipp

- An jedem der beiden Spiegel kommt es zu einer Reflexion.
- Verwende zum Winkelmessen und Winkelzeichnen ein Geodreieck.
- Verwende das Reflexionsgesetz.

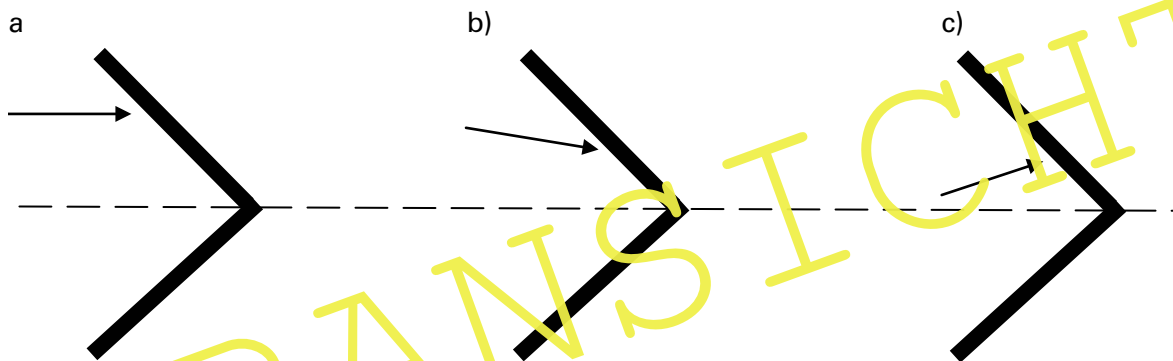


Abb. 24: Der 90°-Doppelspiegel

**Ergebnis:** Ein 90°-Doppelspiegel wirkt wie ein Retro-Reflektor.

Allerdings muss der einfallende Lichtstrahl in der Ebene liegen, die die beiden Normalen auf den Spiegeln aufspannen. Ist dies nicht der Fall, wird ein **Triple-Spiegel** benötigt. Er besteht aus drei senkrecht zueinander angeordneten Spiegeln. Wenn der einfallende Strahl an jedem Spiegel reflektiert wurde, hat er seine Richtung umgedreht (Abb. 25)<sup>3</sup>.

**Anmerkung:** Statt dreier Spiegel kann auch die Totalreflexion beim Übergang von Glas oder Kunststoff zu Luft bei einem **Triple-Prisma** ausgenutzt werden (Abb. 26 und Abb. 27).

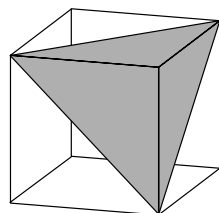
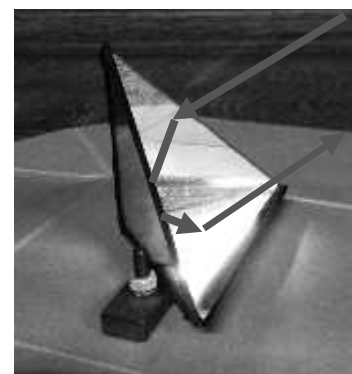


Abb. 26: Der dunkle Teil des skizzierten Würfels stellt ein Triple-Prisma dar.

Abb. 27: Rückseite eines roten Retro-Reflektors. Die totalreflektierenden Würfecken sind gut zu erkennen.



© A. Donges

Abb. 25: Strahlengang bei einem Triple-Spiegel

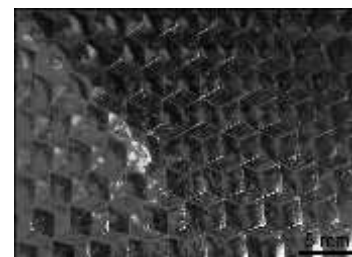
© Wikimedia Commons/  
Dantor, Lizenz: CC BY-SA 2.5

Abb. 27

<sup>3</sup> Bei militärisch genutzten Flugzeugen vermeidet man oft das rechtwinklige Aufeinandertreffen von drei Metallflächen, um das Retro-Reflektieren von Radarstrahlung zu vermeiden (Tarnkappentechnik).

## Erläuterungen und Lösungen

■ Mit dem Reflexionsgesetz, dem Brechungsgesetz (einschließlich Totalreflexion) und den Gesetzen der optischen Abbildung können Sie Ihren Schülern viele Phänomene der Optik erklären. Beispiele dafür sind die **Entstehung eines Spiegelbildes**, die optische Abbildung bei **Auge** oder **Fotoapparat** sowie die **Funktionsweise einer Brille**, eines **Fernrohrs** oder eines **Mikroskops**. Neben diesen altbekannten Beispielen können Sie auch Retro-Reflektoren im Unterricht behandeln. Retro-Reflektoren sind zur Vermittlung der Grundlagen deshalb vorzuziehen, weil zu ihrem Verständnis zum einen elementare Grundkenntnisse genügen und weil sie zum anderen im täglichen Leben eine wichtige Rolle spielen. Gerade dieser Praxisbezug macht sie zu einem idealen Unterrichtsthema.

### M 1 Optische Grundlagen – frische dein Wissen auf!

■ Wenn Sie den Retro-Reflektor direkt im Anschluss an den Themenkomplex „Reflexionsgesetz – Brechungsgesetz – optische Abbildung“ behandeln, können Sie das Material **M 1** weglassen.

$$1. 2\alpha = 90^\circ \rightarrow \alpha = 45^\circ$$

$$\varphi = \alpha = 45^\circ$$

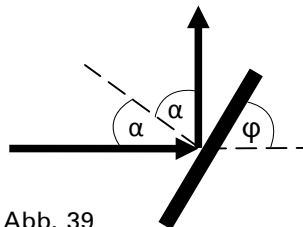


Abb. 39

$$2. n_1 \sin(\alpha_1) = n_2 \sin(\alpha_2);$$

$$\Rightarrow \sin(\alpha_2) = \frac{n_1}{n_2} \sin(\alpha_1) = \frac{1,0}{1,5} \sin(30^\circ) = \frac{1,0}{1,5} \cdot 0,5 = 0,33 \Rightarrow \alpha_2 = 19,47^\circ \approx 19^\circ$$

3. Das Brechungsgesetz lautet in diesem Fall:  $1,53 \cdot \sin(60^\circ) \approx 1,33 = 1 \cdot \sin(\alpha_2)$ ;  $\sin(\alpha_2)$  kann jedoch nicht größer als 1 werden. Daher gibt es keine Lösung, d. h., es liegt eine Totalreflexion vor. Eine Lichtbrechung (und damit ein Übergang des Lichts von Glas in Luft) kann nur für einen Einfallswinkel  $\alpha_2$  kleiner als  $\arcsin(1/1,53) = 40,8^\circ$  stattfinden.

$$4. \frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f};$$

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{f} - \frac{1}{g} = \frac{1}{0,05 \text{ m}} - \frac{1}{1 \text{ m}} = \frac{1 \text{ m} - 0,05 \text{ m}}{0,05 \text{ m} \cdot 1 \text{ m}} = 19 \frac{1}{\text{m}} \Rightarrow b = 0,053 \text{ m} = 53 \text{ mm}$$

$$\frac{B}{G} = \frac{b}{g} \Rightarrow B = \frac{b}{g} \cdot G = \frac{0,053 \text{ m}}{1 \text{ m}} \cdot 0,02 \text{ m} = 0,0011 \text{ m} = 1,1 \text{ mm}$$

### M 3 Das Katzenauge als Retro-Reflektor

Die Augen einer Katze leuchten nur dann hell, wenn die Lichtquelle, die das Katzenauge anleuchtet, sich in der Nähe des Auges des Beobachters (oder der Kamera) befindet. Dies ist tagsüber nicht der Fall: Wird die Katze beispielsweise von der Sonne angestrahlt, reflektieren die Katzenaugen das Licht zur Sonne und nicht zum Beobachter zurück. Der Beobachter nimmt daher keine „glühenden“ Katzenaugen wahr. Aber selbst wenn wir eine Katze am Tag mit einer Taschenlampe anleuchten, die sich nahe an unseren Augen befindet, wird der Katzenaugen-Effekt kaum wahrgenommen: