

Einsatz der Folie

Die Folie enthält zwei Anwendungsbeispiele zum **Reflexionsgesetz** am Beispiel von Kraftfahrzeugen.

Inhalt der Folie

Das erste Beispiel bringt den standardmäßigen abblendbaren Innenspiegel, das zweite das Funktionsprinzip des Rückstrahlers oder eventueller seitlicher Reflektoren. Dieser Teil der Folie kann kurz nach der Erarbeitung des Reflexionsgesetzes am ebenen Spiegel und ersten Erfahrungen damit im Unterricht eingesetzt werden. Diese Abbildungen sind nicht dafür konzipiert, als komplette Einheit einer motivierenden Hinführung zum Reflexionsgesetz zu dienen. Vorzugsweise sollen sie interessante Anwendungen eines Gesetzes an einem die Schüler interessierenden Beispiel aus ihrer Lebenswirklichkeit, dem Kraftfahrzeug, zeigen.

Der untere Teil der Folie soll mehrere Wochen später im Unterricht eingesetzt werden. Hier geht es sowohl um die Reflexion an gekrümmten Flächen als auch um die Brechung mittels einer Sammellinse am Beispiel eines Scheinwerfers. Der Einsatz dieses Teils bietet sich daher zum einen bei der Besprechung der Reflexion des Lichtes am „normalen“ Hohlspiegel (Kugelkalotte) an. Der Scheinwerfer zeigt die Überwindung der Nachteile dieser Grundversion. (Dabei kann die eingezeichnete Linse erst vernachlässigt werden. Bei Fragen der Schüler Verweis auf die den Schülern bekannte artverwandte Lichtbündelung beim Overhead-Projektor und auf die unmittelbar bestehende Behandlung des Themas „Linsen“.) Zum anderen lässt sich dieser Teil der Folie einsetzen, wenn etwas später die Sammellinse als Anwendungsbeispiel aus der Praxis behandelt wird.

Reflexion beim abblendbaren Rückspiegel

Oben rechts: Das obere Foto zeigt den den Schülern bekannten Effekt der Blendung durch ein nachfolgendes Auto bei einer Nachtfahrt. Das untere Bild zeigt das gleiche Auto nach Abblenden (Klappen) des Rückspiegels.

Oben links: Das Bild zeigt einen von hinten (im Bild: von rechts) einfallenden Lichtstrahl, der auf den Innenspiegel eines Kraftfahrzeuges trifft. Dieser Spiegel ist in der Version „abgeklappt zum Schutz vor Blendung“ dargestellt. Am Spiegel wird der einfallende Strahl sowohl an der verspiegelten Schicht im Innern des Spiegels als auch an der Glasoberfläche reflektiert. Derjenige der ausfallenden Strahlen, der an der eigentlichen verspiegelten Schicht reflektiert wird, hat die Helligkeit des einfallenden Lichtstrahls; er würde in der normalen Spiegelstellung „nicht abgeklappt“ das Auge des Fahrers treffen. Dies wäre die Standardsituation während einer Fahrt bei Tage. In der abgeklappten Stellung des Spiegels wird dieser hellere der beiden reflektierten Strahlen jedoch am Auge des Fahrers vorbeigeleitet. Stattdessen trifft nun der ausfallende Strahl, der an der gläsernen Oberfläche des Spiegels reflektiert wird, das Auge des Fahrers. Dieser Strahl hat nur einen Bruchteil der Intensität, sodass der Fahrer nicht geblendet wird. Erreicht wird dies durch eine kleine, von der Parallelität abweichende, Winkelstellung zwischen der verspiegelten Unterseite des Glaskörpers und seiner Oberseite. Dieses allgemein bekannte Konstruktionsprinzip zeigt eine einfache, aber sehr schöne Anwendung des Reflexionsgesetzes. Zur Verdeutlichung sind im Bild zusätzlich die Lote dargestellt, um eine größere Nähe zu den aus dem Physikbuch bekannten Darstellungen zu gewährleisten. Es dürfte bei den meisten Schülern problemlos die Hausaufgabenstellung möglich sein, dieses Grundprinzip im heimischen Fahrzeug zu überprüfen. Achtung: Bei einigen Fahrzeugen wird der Spiegel nach oben geklappt, sodass der hellere der reflektierten Strahlen nach dem Klappen nicht nach unten, sondern nach oben über den Kopf des Fahrers hinweg gelenkt wird. Bei manchen neueren Fahrzeugen muss der Fahrer den Rückspiegel nicht mehr klappen/abblenden. Bei diesen Spiegeln wird durch elektrochemische Effekte die Reflexionswirkung des Spiegels automatisch verringert, wenn von hinten blendendes Licht einfällt.

Reflexion bei Rückstrahlern und Seitenstrahlern

Mitte links: Die hier angesprochenen Strahler (Volksmund: Katzenaugen) haben die Eigenschaft, in einem beliebigen Winkel auftreffende Lichtstrahlen genau in die Richtung zurückzureflektieren, aus der sie gekommen sind.

Erreicht wird dies durch eine in der Realität dreidimensionale, auf der Folie zur klareren Darstellung zweidimensional wiedergegebene, Anordnung von spiegelnden Oberflächenstücken, die zueinander jeweils im rechten Winkel stehen. In einem weiten Bereich ($\pm 45^\circ$ gemessen zur Senkrechten) durchlaufen von der Seite auf eine solche Oberfläche auftreffende Lichtstrahlen an der Oberfläche eine zweimalige Reflexion. Sie werden insgesamt um 180 Grad abgelenkt und verlassen den Strahler in derselben Richtung, aus der sie eingefallen sind. Das mittlere Foto zeigt, dass solche Strahler in Wirklichkeit eine dreidimensionale Reflektorfläche haben.

In diesem Lehrerbegleittext wird mehrmals dazu angeregt, Kontakte zu Kfz-Werkstätten zu knüpfen. Unter anderem können dort interessante gebrauchte Teile aus Schrottfahrzeugen zur Anschauung im Unterricht beschafft werden. In diesem Fall bietet sich die Beschaffung eines gebrauchten Rückstrahlers oder einer sonstigen Strahlerfläche mit den gleichen Eigenschaften (Seitenpfosten der Landstraßen [Straßenmeisterei!]) an. Es bietet sich aber auch an, die Reflektoren an verschiedenen Fahrrädern zu betrachten, da fast jeder Schüler ein Fahrrad besitzt und den Rückstrahler daran gut beobachten kann.

Mitte rechts: Das Foto zeigt ein beeindruckendes Beispiel der Reflektoren an einem LKW-Auflieger. Beachtenswert ist, dass sowohl die seitlichen als auch die rückwärtigen Reflektoren in Richtung des Beobachters (Fahrzeug mit Scheinwerfern) reflektiert werden. Das zeigt, dass der Winkel, unter dem sie auf die Strahler auftreffen, ohne Bedeutung ist! Die Strahlen kehren in die Richtung zurück, aus der sie gekommen sind. Eventuell bedarf es für eine Schülergruppe - je nach deren Äußerungen zum Bildinhalt - einer kurzen Klarstellung, dass der Rückstrahler kein eingeschaltetes Rück- oder Bremslicht ist.

Beispiel einer Scheinwerferkonstruktion

Die hier dargestellte Scheinwerferkonstruktion zeigt gleich zwei Prinzipien der Lichttechnik am Fahrzeug.

Unten links: Statt der früher üblichen Paraboloidform der Reflektorfläche bei Scheinwerfern (als Ganzes oder in mehreren Teilen) finden sich im Scheinwerfer mit Computerunterstützung gestaltete „Freiformflächen“ aus verspiegeltem Kunststoffmaterial als Reflektoren. Die Form dieser Flächen ist völlig frei zu gestalten. Dank Computerunterstützung ist so bei Designvorgaben des Scheinwerfers eine optimale Formgebung für eine optimale Lichtverteilung möglich. Zum zweiten zeigt dieser Scheinwerfer eine Fortentwicklung des sogenannten „Ellipsoid-Reflektors“. Diese Form war auch schon zur Zeit metallener Reflektorflächen herstellbar, allerdings mit streng ellipsoidförmigen Metallkörpern. Ein solcher Ellipsoid hat zwei Brennpunkte. In einem dieser Brennpunkte befindet sich der Glühfaden (oder bei Weiterentwicklungen die helle Mitte der Xenon-Gasentladungslampen). Das von dort ausgehende Licht wird im zweiten Brennpunkt wieder vereinigt. Eine Sammellinse bildet diesen sehr hellen „Punkt“ nach vorne auf der Fahrbahn ab. Dabei werden die zur Blendvermeidung geforderten Hell-Dunkel-Grenzen durch eine Blende im Scheinwerfer erreicht. Dieser Einsatz einer Sammellinse ähnelt stark dem Prinzip beim Diaprojektor.

Bei dem hier gezeigten Modell eines sogenannten „PES-Scheinwerfers“ ist nun sowohl dieses Projektionsprinzip verwirklicht als auch die bewusst nicht regelmäßige ellipsoidartige Formgebung des zugehörigen Reflektors (PES = Poly-Ellipsoid-Scheinwerfer), die mit Computerunterstützung berechnet worden ist. Eine solche Konstruktion ermöglicht bei nur 28 cm² vorderer Austrittsfläche Lichtausbeuten wie bisher nur mit großflächigen Scheinwerfern. Dies ist für die Designmöglichkeiten der Autos wichtig.

Unten rechts: Das Foto zeigt einen solchen Scheinwerfer. In der Mitte ist die Sammellinse deutlich zu erkennen. Der Scheinwerfer links davon ist ebenfalls

eine Konstruktion mit Freiformflächen. Er hat keine Linse, sondern lenkt das Licht ausschließlich durch die computerberechneten Reflexionsflächen. Ein solcher Scheinwerfer braucht auch keine herkömmliche Streuscheibe, sondern kann mit einem klaren Frontglas (Abschlussscheibe) versehen werden. Bei diesen Scheinwerfern wurde das herkömmliche Glas durch Kunststoff z. B. Polycarbonat ersetzt.

Vielen Schülern sind gewiss schon vergleichbare Scheinwerfertypen im Straßenbild aufgefallen. Deshalb werden sie den Vorteil der Freiformscheinwerfer schnell verstehen.

Zusatzinformationen zur Strahlenoptik: Lichtleiter

Zur Beleuchtung der Armaturen im Fahrzeug wurden von jeher kleine Glühlampen eingesetzt. Wenn eines dieser Lämpchen ausfiel, war die Reparatur oft aufwendig, da diese oft schwer zugänglich in den Instrumenten des Armaturenbretts eingebaut waren. Auch stieg im Laufe der Jahre die Zahl der Lampen kontinuierlich an (z. B. neben Tachobeleuchtung auch Nachtdesign zahlreicher Bedienungselemente). In einigen Fahrzeugen wird daher eine andere Technik verwendet: An zentraler, gut zugänglicher Stelle im Armaturenbrett befindet sich abgedeckt eine stärkere Glühbirne. Das von ihr erzeugte Licht wird mithilfe eines einfachen Kondensatorsystems in paralleles Licht verwandelt. Dieses wird nun in einen „Lichtleiter“ aus Glasfasermaterial eingespeist, wie es heute auch zur Nachrichtenübertragung verwendet wird. Die „Lichtleitungen“ führen das Licht, wie die Kabel eines Kabelbaumes den Strom, zu den Stellen, wo das Licht zur Beleuchtung der Instrumentenanzeige oder der Bedienungselemente gebraucht wird. Der Glühlampentausch ist viel seltener erforderlich und wesentlich einfacher durchzuführen.

Physikalischer Hintergrund

Diese Bauweise wird physikalisch durch die „**Totalreflexion**“ ermöglicht (siehe Thema **Brechung** in Physikbüchern). Da dieser Sachverhalt in jedem Physikbuch beschrieben ist, wird hier darauf verzichtet, die physikalischen Hintergründe der Totalreflexion zu beschreiben, die das Licht bei seinem vergeblichen Versuch erfährt, das optisch dichtere Medium zu verlassen. Einen besonderen Praxis- bzw. Alltagsbezug bietet das hier beschriebene Anwendungsbeispiel im modernen Fahrzeugbau. Es ist für die Schüler sehr motivierend, physikalische Gesetze am Auto anwenden und verstehen zu können. Die Idee, die Totalreflexion für die Beleuchtung im Armaturenbereich einzusetzen, ist dabei nicht grundsätzlich neu. Schon früher wurde bei einigen Autoradios mit „Nachtdesign“ ein einziges Birnchen zur nächtlichen Beleuchtung eingesetzt. Dieses strahlte sein Licht in einen durchsichtigen Plastikkörper ein. Durch dessen spezielle Formgebung trat das Licht in Folge von Totalreflexion nur an den gewünschten Stellen rund um alle Bedienungsknöpfe aus; das Ergebnis erinnerte deutlich an die Beleuchtung im nächtlichen Flugzeugcockpit.

Die weiter oben beschriebene Neukonstruktion benutzt über dieses Prinzip hinaus die Möglichkeiten der flexiblen Glasfaser-Lichtleitungen, mit denen sich durch die Totalreflexion die Beleuchtung im gesamten Armaturenbereich verbreiten lässt.

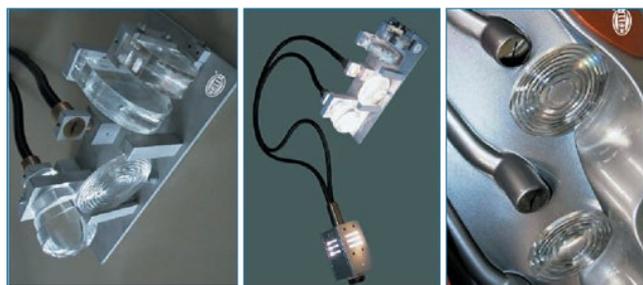
Für die Vertiefung des Themas steht eine **Kopiervorlage** mit einer Zeichenaufgabe für die Schüler bereit. Idealerweise sieht man hier einen Lichtleiter, dessen Form

bewusst an das sicher in vielen Sammlungen vorhandene Exemplar des „Lichtleitermodells“ angelehnt ist. Setzt man aufgrund des vorliegenden weiten Kurvenradius voraus, dass Totalreflexion eintritt, so kann unter Ausnutzung der schon vorgegebenen Kreismittelpunkte der Kurvenstücke relativ leicht der weitere Strahlenverlauf gezeichnet werden. Die beiden zur Zeichnung aufgegebenen Strahlen enden in einem jeweils anderen Austritt des Lichtleiters.

Scheinwerfer

1. Lichtleiter

Nicht nur zum Einsatz für die Instrumentenbeleuchtung oder für am Design orientierte Innenbeleuchtung sollen Lichtleiter (siehe unten) zum Einsatz kommen, sondern auch für die Hauptscheinwerfer. Als Lichtquelle kommt eine lichtstarke Xenonlampe infrage, die – weg von der aufprallgefährdeten Position an der Karosseriefront – möglichst wartungsfreundlich in den Motorraum versetzt werden könnte. Allerdings müsste stets eine zweite solche Lampe in Reserve bereitgehalten werden, damit beim Ausfall der ersten nicht das gesamte Fahrzeug ohne Licht dasteht. Von dieser Lichtquelle aus sollen Lichtleiter hinter **Fresnel**-Linsen und weitere neuartig geformte Linsenelemente führen, die vorne an der üblichen Einbaustelle der Scheinwerfer sitzen.



Hinweise für Lehrer:

Hat man sowohl den Lichtleiter vorher im Unterricht behandelt als auch auf die Möglichkeiten und Vorteile einer Fresnel-Linse hingewiesen (und diese am Beispiel eines Overhead-Projektors gezeigt), so bietet sich hier eine Anwendung dieser beiden optischen Bauelemente über den Schulalltag hinaus an.

2. Scheinwerfersysteme

Zurzeit (Stand 2019) lösen LED-Scheinwerfer die klassischen Scheinwerfer mit Glühlampen (Halogen, Xenon) ab. Vorteile sind die hohe Lichtausbeute und damit mehr Sicherheit, ein hohes Energieeinsparpotential und eine reduzierte Wärmeentwicklung.

Auf der Informationsseite von HELLA (Lippstadt) gibt es umfangreiche Informationen zum Thema Beleuchtung und zur aktuellen Scheinwerfertechnik, u. a.:

- Lichttechnik Grundlagen
- Scheinwerfer (Scheinwerfersysteme)
- Xenon Scheinwerfer
- LED Scheinwerfer
- Lichtverteilung
- Leuchtweitenregulierung
- Kurvenlicht
- AFS Scheinwerfer

Hinweise für Lehrer:

Über einen Link auf der Seite physik-am-auto.de können sich die Schülerinnen und Schüler über die aktuellen Scheinwerfersysteme informieren.