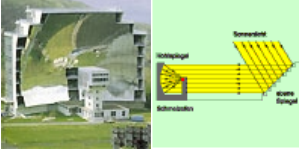


Sonnenofen



Auf eine senkrecht zum einfallenden Sonnenlicht aufgestellte Fläche von einem Quadratmeter würde bei Vernachlässigung des Einflusses der Erdatmosphäre je Sekunde eine Energie von etwa 1360 Ws auftreffen. Mithilfe eines Sonnenofens kann man diese durch das Licht der Sonne transportierte Energie konzentrieren und technisch nutzbar machen.

Dabei nutzt man die lichtbündelnde Wirkung eines Parabolspiegels. Da die Sonne sehr weit von der Erde entfernt ist, sind ihre Lichtstrahlen an der Erdoberfläche nahezu parallel. Daher ist ein parabolisch geformter Spiegel in der Lage, das Sonnenlicht in seinem Brennpunkt zu vereinigen. Im Brennpunkt befestigt man entweder ein Materialstück, das durch die Sonnenstrahlen erwärmt und geschmolzen werden soll, oder man montiert eine von Wasser durchströmte Auffangfläche. Das erhitzte Wasser kann dann technisch zum Antrieb von Generatoren genutzt werden.

Die in Bild 1 dargestellte Anordnung von Odeillo (Frankreich) dient Forschungszwecken. Den Strahlenverlauf bei diesem Sonnenofen zeigt Bild 2: Das Sonnenlicht wird zunächst durch eine größere Anzahl von ebenen Spiegeln auf einen Parabolspiegel reflektiert und durch diesen Parabolspiegel auf einen kleinen Bereich konzentriert. Damit erreicht man beim Sonnenofen in Odeillo (Frankreich) Temperaturen bis zu 3300 °C.

Reflexionsgesetz



Fällt Licht auf die Oberfläche eines Körpers, so wird ein Teil des Lichtes reflektiert (Bild 1). Für die Reflexion von Licht gilt das Reflexionsgesetz:

Wenn Licht an einer Fläche reflektiert wird, so ist der Einfallswinkel gleich dem Reflexionswinkel.

$$\alpha = \alpha'$$

Einfallender Strahl, Einfallslot und reflektierter Strahl liegen in einer Ebene.

Das Reflexionsgesetz findet in vielen optischen Systemen Anwendung. Von alltäglicher Bedeutung sind die nachfolgend beschriebenen Anwendungen.

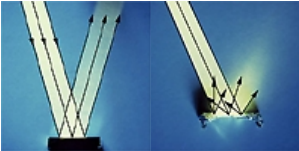
Genutzt wird das Reflexionsgesetz bei allen Arten von Spiegeln (ebene Spiegel, Hohlspiegel, Wölbspiegel, Parabolspiegel) und bei deren Anwendungen (z. B. Scheinwerfer, Taschenlampen, Kosmetikspiegel).

Genutzt wird es auch bei Reflektoren, mit denen z. B. Fahrräder ausgestattet sein müssen. Diese haben außen glatte Glas- oder Kunststoffoberflächen und innen zahlreiche kleine Prismen, an denen das Licht so reflektiert wird, dass es in der gleichen Richtung austritt, aus der es eingetreten war. Daher erkennt man Fahrräder, die sich genau in Fahrtrichtung eines Autos befinden, bei Dunkelheit schon wesentlich früher, als es ohne Zusatzausrüstung mit Reflektoren möglich gewesen wäre.

Zu beachten ist das Reflexionsgesetz aber auch an anderen Stellen. Glatte Wasseroberflächen reflektieren das Licht. Es erfolgt eine Spiegelung von Körpern. Auf der Wasseroberfläche sieht man das Spiegelbild.

In Räumen, die durch stark bündelnde Lichtscheinwerfer ausgeleuchtet werden - beispielsweise auf der Bühne eines Theaters - kann der Einbau großflächiger Glasscheiben baupolizeilich verboten werden. Die Glasscheiben lassen sich nämlich nur dann wahrnehmen, wenn das Auge zufällig in das reflektierte Lichtbündel blickt. Für alle anderen Personen besteht die Gefahr, in eine Glasscheibe zu laufen. In Museen, die viele Glasvitrinen mit Spotbeleuchtung besitzen, kann man immer wieder beobachten, wie die Gäste mit dem Kopf gegen die Glasverkleidung stoßen weil sie die Abdeckung nicht bemerkt haben. Räume mit vielen Glasvitrinen sollten daher eine diffuse Ausleuchtung aufweisen.

Reflexion von Licht



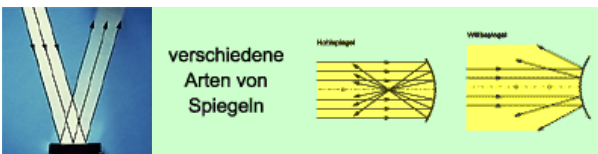
Licht breitet sich nur in homogenen Stoffen geradlinig aus, also in Stoffen, die an beliebigen Stellen und in jeder Richtung die gleichen physikalischen Eigenschaften haben. An der Grenzfläche zwischen verschiedenen Stoffen kann Licht entweder aus seiner Ausbreitungsrichtung abgelenkt (gebrochen) oder zurückgeworfen (reflektiert) werden. Den letzteren Vorgang bezeichnet man als Reflexion.

Alle Körper, die bei Tageslicht zu sehen sind und die nicht selbst leuchten, kann man nur aufgrund der Reflexion des Sonnenlichtes oder des Lichtes anderer Lichtquellen an ihrer Oberfläche wahrnehmen.

Trifft Licht auf sehr glatte Oberflächen, dann wird es in eine bestimmte Richtung zurückgeworfen (Bild 1). Eine solche Reflexion findet man z. B. bei den Oberflächen von ebenen Spiegeln oder an sehr glatten Wasseroberflächen. Man nennt eine solche Reflexion auch reguläre Reflexion.

Die Mehrheit der Oberflächen, auf die Licht trifft, ist aber uneben oder rau. Trifft Licht auf raue Oberflächen, dann wird das einfallende Licht in die verschiedensten Richtungen reflektiert (Bild 2). Man nennt eine solche Reflexion auch diffuse Reflexion. Eine solche diffuse Reflexion findet z. B. an Wänden, an der Bekleidung oder am Erdboden statt.

Reflexion an Spiegeln



Trifft Licht auf die Oberfläche eines Körpers, so wird es nach dem Reflexionsgesetz zurückgeworfen (reflektiert). Genutzt wird die Reflexion von Licht bei den verschiedenen Arten von Spiegeln. Man unterscheidet zwischen folgenden zwei Arten von Spiegeln:

- ebene Spiegel
- gewölbte Spiegel

Bei gewölbten Spiegeln gibt es Hohlspiegel unterschiedlicher Form (kugelförmige Hohlspiegel, Parabolspiegel) und Wölbspiegel.

Ebene Spiegel

Ebene Spiegel sind dadurch gekennzeichnet, dass die reflektierende Fläche eine Ebene bildet. Trifft paralleles Licht auf einen solchen Spiegel, so ist das reflektierte Licht ebenfalls wieder parallel (Bild 1).

Ebene Spiegel stellt man her, indem eine ebene Glasfläche mit einer reflektierenden Metallschicht

versehen wird. Auch polierte Metallflächen können als ebene Spiegel verwendet werden. Ebenfalls als ebene Spiegel können Glasscheiben oder glatte Wasseroberflächen wirken. Ebene Spiegel werden vor allem im Haushalt oder in öffentlichen Räumen genutzt, da sie die Eigenschaft haben, ein unverzerrtes Bild von Personen oder Gegenständen hervorzurufen.

Hohlspiegel

Hohlspiegel haben im Unterschied zu ebenen Spiegeln eine gekrümmte Oberfläche. Je nach der Form des Spiegels und der Richtung des auffallenden Lichtes unterscheidet man zwischen einem Parabolspiegel oder einem Kugelspiegel (Bild 2).

Fällt Licht auf die Innenfläche eines Teils einer Kugel, spricht man auch von einem Hohlspiegel. Fällt das Licht "von außen" auf eine solche Fläche, so wird die Anordnung als Wölbspiegel bezeichnet (Bild 2).

Bei einem Hohlspiegel wird parallel einfallendes Licht so reflektiert, dass es nach der Reflexion zunächst in einem Punkt, dem Brennpunkt, konzentriert wird (Bild 3). Wegen der Umkehrbarkeit des Lichtweges gilt dann aber auch: Wenn Licht von einer Lichtquelle im Brennpunkt eines solchen Spiegels ausgeht, dann verläuft es nach der Reflexion am Spiegel als paralleles Licht.

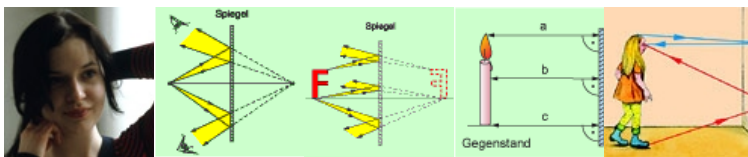
Der wesentliche Unterschied zwischen einem Kugelspiegel und einem Parabolspiegel besteht darin, dass bei einem Parabolspiegel sämtliches parallel einfallendes Licht zunächst in einem Punkt konzentriert wird. Bei einem Kugelspiegel gilt das nur für achsennahe Strahlen. Deshalb nutzt man für Anwendungen meist Parabolspiegel.

Parabolspiegel werden z. B. bei Spiegelteleskopen genutzt, um das von fernen Sternen kommende Licht aufzufangen und in einem kleinen Bereich zu konzentrieren. Sie werden auch bei Autoscheinwerfern oder Taschenlampen verwendet. Die Lichtquelle befindet sich dort etwa im Brennpunkt des Spiegels, so dass das reflektierte Licht näherungsweise parallel verläuft.

Wölbspiegel

Bei einem Wölbspiegel wird parallel einfallendes Licht in die unterschiedlichsten Richtungen reflektiert (Bild 4). Wie ein solcher Wölbspiegel wirkt, kann man z. B. beobachten, wenn man sich in einer Weihnachtsbaumkugel betrachtet: Es entsteht ein "verzerrtes" Bild. Wölbspiegel findet man auch in Spiegelkabinetten.

Ebener Spiegel



Ebene Spiegel nutzt jeder von uns (Bild1). Man sieht, wenn man auf einen solchen Spiegel schaut, ein unverzerrtes, aufrechtes Bild in der richtigen Größe.

Bildentstehung am ebenen Spiegel

Trifft Licht von einem Punkt P eines Gegenstandes auf den Spiegel, so wird es nach dem Reflexionsgesetz zurückgeworfen (Bild 2). Das Licht scheint von einem Punkt P' herzukommen. Wir sehen im Spiegel den Gegenstandspunkt P an der Stelle P', von wo aus die Lichtstrahlen geradlinig in unsere Augen herzukommen scheinen. P' wird auch als Bildpunkt bezeichnet.

Befindet sich ein Gegenstand vor einem ebenen Spiegel (Bild 3), so geht von jedem Punkt des Gegenstandes Licht aus. Führt man die Konstruktion des Strahlenverlaufs für jeden Punkt aus, so erhält man das Bild (Spiegelbild) des Gegenstandes (Bild 3). Für einen ebenen Spiegel gilt:

Gegenstand und Bild sind symmetrisch zueinander.

Das bedeutet: Das Spiegelbild befindet sich hinter dem Spiegel, ist genauso groß wie der Gegenstand und aufrecht. An der Stelle, an der sich das Bild befindet, kann es nicht auf einem Schirm aufgefangen werden. Ein solches Bild wird in der Physik als scheinbares Bild oder als virtuelles Bild bezeichnet. Ein virtuelles Bild kann man sehen und auch fotografieren.

Eine einfache Bildkonstruktion

Das Bild an einem ebenen Spiegel kann man sich konstruieren, indem man das Reflexionsgesetz anwendet und damit Bildpunkte konstruiert. Es gibt aber auch eine sehr einfache Möglichkeit, wenn man davon ausgeht, dass bei einem ebenen Spiegel Gegenstand und Bild immer symmetrisch zueinander sind. Man braucht nur vom Gegenstand aus einige zum Spiegel senkrechte Linien zu ziehen und hinter dem Spiegel die Entfernung Gegenstandspunkt - Spiegel noch einmal abzutragen (Bild 4). Im mathematischen Sinne handelt es sich um eine Spiegelung.

Wie groß muss ein Spiegel sein?

Manchmal möchte man sich in einem Spiegel vollständig sehen. Damit das der Fall ist, muss das Licht, das von den Füßen bzw. von den Haaren ausgeht, nach der Reflexion am Spiegel in die Augen gelangen (Bild 5). Da nach dem Reflexionsgesetz Einfallswinkel und Reflexionswinkel jeweils gleich sind, folgt:

Die Größe des Spiegels muss gleich der halben Entfernung Fuß - Auge plus der halben Entfernung Augen - Haare sein. Ein ebener Spiegel muss also mindestens halb so hoch sein wie eine Person, die sich vollständig darin sehen will.

Hohlspiegel



Strahlen am
Hohlspiegel

Bildentstehung
am
kugelförmigen
Hohlspiegel

Hohlspiegel sind Spiegel mit gekrümmten Flächen. Die wichtigsten Formen sind Kugelspiegel und Parabolspiegel. Bei einem Kugelspiegel ist die Spiegelfläche Teil einer Kugel. Man spricht deshalb auch von einem kugelförmigen Hohlspiegel. Beispielsweise haben Kosmetikspiegel (Bild 1) eine solche Form. Bei einem Parabolspiegel ist die Fläche die Innenfläche eines Paraboloids. Eine solche Fläche entsteht, wenn man eine Parabel rotieren lässt.

In Abhängigkeit von der Gegenstandsweite entstehen an solchen Spiegeln unterschiedliche Arten von Bildern. Wir betrachten nachfolgend kugelförmige Hohlspiegel und beschränken uns darüber hinaus auf achsennahe Strahlen.

Verlauf charakteristischer Strahlen

Um sich Bilder an Hohlspiegeln zu konstruieren, reicht es aus, den Verlauf einiger charakteristischer Strahlen zu kennen (Bild 2). Für diese Strahlen gilt:

- Parallelstrahlen werden nach der Reflexion zu Brennpunktstrahlen.
- Brennpunktstrahlen werden nach der Reflexion zu Parallelstrahlen.
- Mittelpunktstrahlen bleiben nach der Reflexion Mittelpunktstrahlen. Sie werden in sich selbst zurückgeworfen.

In Bild 3 sind einige typische Fälle dargestellt. Aus der Übersicht ist erkennbar:

- Die Bildgröße hängt von der Gegenstandsweite ab. Außerhalb der doppelten Brennweite entsteht ein verkleinertes Bild, in der doppelten Brennweite ein gleich großes, innerhalb der doppelten Brennweite ein vergrößertes Bild.
- Auch die Art des Bildes ist von der Gegenstandsweite abhängig. Außerhalb der einfachen

Brennweite entsteht ein umgekehrtes und seitenvertauschtes Bild, innerhalb der einfachen Brennweite ein aufrechtes und seitenrichtiges Bild.

- Außerhalb der einfachen Brennweite entsteht ein reelles (wirkliches) Bild, innerhalb der einfachen Brennweite ein virtuelles (scheinbares) Bild.

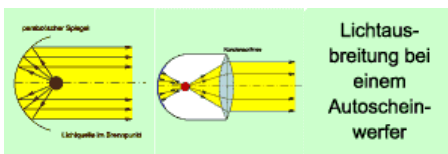
Will man Bilder an Parabolspiegeln konstruieren, so muss man für einzelne Strahlen das Reflexionsgesetz anwenden.

Anwendung von Hohlspiegeln

Kugelförmige Hohlspiegel mit geringer Krümmung und damit auch mit relativ kleiner Vergrößerung nutzt man vor allem als Kosmetikspiegel oder Rasierspiegel. Wenn man sich in einem solchen Spiegel aus geringer Entfernung betrachtet, so sieht man ein vergrößertes, aufrechtes und virtuelles Bild. Man befindet sich somit innerhalb der einfachen Brennweite dieses Spiegels, die meist mehr als 1 m beträgt.

Bei Spiegelteleskopen setzt man Parabolspiegel ein, da es hier darauf ankommt, das weitgehend parallele Licht von Sternen in einem kleinen Bereich zu sammeln.

Scheinwerfer



Die meisten künstlichen Lichtquellen geben ihr Licht nahezu allseitig ab. Wenn man das Licht nur in eine bestimmte Richtung aussenden möchte, dann bedient man sich eines Scheinwerfers, dessen Hauptbestandteil ein Hohlspiegel oder ein parabolischer Spiegel (Parabolspiegel) ist.

Für einfache Zwecke wird meist eine Konstruktionsform für die Scheinwerfer gewählt, die aus einem parabolischen Spiegel und der Lichtquelle selbst besteht. Man ordnet die Lichtquelle im Brennpunkt des Spiegels an. Dadurch werden die in Richtung Spiegel ausgesandten Lichtstrahlen so an dessen Oberfläche reflektiert, dass sie den Scheinwerfer als Parallelstrahlen verlassen. Allerdings werden die Strahlen, die die Lichtquelle sofort in Leuchtrichtung des Scheinwerfers verlassen haben, nicht ausgerichtet. Sie bilden ein divergierendes Lichtbündel, sodass der Scheinwerfer einen scharf begrenzten Leuchtfleck (Spot) erzeugt, der von einem hellen Lichtsaum umgeben ist. Die bekannteste Form eines solchen Scheinwerfers ist die Taschenlampe.

Etwas komplizierter gestaltet sich die Konstruktion eines Scheinwerfer mit scharf begrenztem Lichtbündel. Hier setzt man die Lichtquelle in den Mittelpunkt eines kugelförmigen Hohlspiegels (Bild 2). Die in Richtung Spiegel ausgesandten Lichtstrahlen werden in sich reflektiert, da ihr Einfallswinkel an der Oberfläche des Spiegels stets 0° beträgt. Alle emittierten Lichtstrahlen verlassen die Spiegelanordnung daher aus der Richtung der Lichtquelle. Bringt man vor der Lichtquelle eine Sammellinse (Kondensorlinse) so an, dass sich ihr Brennpunkt in der Lichtquelle befindet, dann werden aus allen Lichtstrahlen nach dem Verlassen der Linse Parallelstrahlen. Ein solcher Scheinwerfer erzeugt ein paralleles Lichtbündel und kann selbst in großen Entfernungen noch Gegenstände ausleuchten.

Um weit zu leuchten, sind Autoscheinwerfer (Bild 3) so konstruiert, dass ihr Licht Eigenschaften eines parallelen Lichtbündels besitzt. Dies erreicht man auch ohne Kondensorlinsen, wenn man die Halogenlampe möglichst großflächig mit einem Spiegel ummantelt und den vorwärts gerichteten Lichtkegel dadurch stark einengt. Allerdings sollte der Rand des Scheinwerferlichtes nicht zu scharf begrenzt sein. Fußgänger oder Gegenstände würden dann nämlich unvermittelt im erleuchteten Gesichtsfeld des Fahrers auftauchen.

Zur Erzielung eines Streueffektes bedient man sich spezieller Streuscheiben, die meist gleichzeitig die eigentliche Scheinwerferkonstruktion wasserdicht abdecken. Mit zerstörten Streuscheiben sollte man aus Sicherheitsgründen bei Dunkelheit nicht mehr fahren.

Wölbspiegel



Wölbspiegel sind Spiegel mit gekrümmten Flächen. Meist werden Teile von Kugeln genutzt, auf die das Licht "von außen" fällt. Ein typisches Beispiel für einen Wölbspiegel ist eine Weihnachtsbaumkugel. Es entsteht ein aufrechtes, verkleinertes Bild (Bild 1).

Verlauf charakteristischer Strahlen

Um sich Bilder an Wölbspiegeln zu konstruieren, reicht es aus, den Verlauf einiger charakteristischer Strahlen zu kennen. Für diese Strahlen gilt:

- Parallelstrahlen werden nach der Reflexion zu Brennpunktstrahlen.
- Brennpunktstrahlen werden nach der Reflexion zu Parallelstrahlen.
- Mittelpunktstrahlen bleiben nach der Reflexion Mittelpunktstrahlen. Sie werden in sich selbst zurückgeworfen.

Dabei ist zu beachten, dass sich diese Aussagen jeweils auf den Brennpunkt oder den Mittelpunkt hinter dem Spiegel beziehen. Bild 2 zeigt, wie man sich das Bild B eines Gegenstandes G konstruieren kann.

Für einen solchen kugelförmigen Wölbspiegel gilt:

Unabhängig von der Gegenstandsweite entsteht immer ein verkleinertes, aufrechtes, seitenrichtiges und virtuelles (scheinbares) Bild eines Gegenstandes.

Wölbspiegel nutzt man manchmal als Verkehrsspiegel, mit dessen Hilfe man einen relativ großen Bereich einsehen kann. Auch in Spiegelkabinetten findet man Wölbspiegel. Man sieht dann ein verzerrtes Bild von sich selbst oder von anderen.