

Blendschutz mit Farbeffekt –Optische Aspekte des Abblendspiegels

Wilfried Suhr

Universität Münster, Institut für Didaktik der Physik,
Wilhelm-Klemm-Straße 10, 48149 Münster
wilfried.suhr@uni-muenster.de

Kurzfassung

Bei nächtlicher Autofahrt wird man von den Scheinwerfern nachfolgender Fahrzeuge geblendet, wenn sich diese im Rückspiegel spiegeln. Um dem zu begegnen, wurde bereits in den 1930iger Jahren der manuell umschaltbare Abblendspiegel ersonnen. Obwohl uns seine Handhabung inzwischen vertraut ist, ist kaum bekannt, wie er funktioniert. Rückschlüsse darüber lassen sich jedoch aus Farbsäumen ziehen, die bei geeigneter Beleuchtung am Rand des von ihm reflektierten Lichtscheins auftreten. Wie sich eine daran anknüpfende Klärung der optischen Verhältnisse durch Experimente herbeiführen lässt, wird hier vorgestellt.

1. Anlass der Untersuchung

Als ich während einer Urlaubsreise in den gemieteten Wagen steigen wollte, bemerkte ich einen hellen Lichtfleck auf dem Fahrersitz, der von Sonnenlicht stammte, das der Innenspiegel reflektierte. Besonders auffällig war daran, dass er auf der einen Seite von einem roten und auf der anderen von einem blauen Rand umsäumt war (siehe Abb. 1).



Abb.1: Das vom Innenspiegel reflektierte Sonnenlicht weist am Rand farbige Säume auf.

An dem Hebel für die manuelle Umschaltung war erkennbar, dass es sich bei dem Innenspiegel um einen Abblendspiegel handelte. Weil ein Gehäuse aber den Blick auf seinen inneren Aufbau verwehrte, blieb zunächst ungeklärt, worauf die beobachtete Farberscheinung zurückzuführen war.

Dieser konstruktionsbedingten Unzugänglichkeit ist zu Eigen, dass sie zur Modellbildung anspornt. Eine Behandlung dieses Alltagsphänomens im Physikunterricht könnte dementsprechend von Vermutungen über den inneren Aufbau ausgehen, um durch anschließende experimentelle Überprüfungen Modellvorstellungen reifen zu lassen, die dem beobachtbaren optischen Verhalten möglichst gut entsprechen.

Damit wäre sowohl die Gewinnung fachlicher Einsichten verbunden, als auch der Erwerb von Kompetenzen, die im Rahmen der Bildungsstandards in den Bereich Erkenntnisgewinnung fallen. Im Unterschied zu den eigens für diesen Unterrichtszweck konstruierten „black boxes“ (vgl. [1]) gibt der Abblendspiegel jedoch unbeabsichtigte physikalische Rätsel auf, die eine weniger gekünstelte Herausforderung darstellen.

2. Nachstellung der optischen Verhältnisse

Untersucht man den Abblendspiegel als „black box“, so geht es dabei um die Frage, welchen optischen Output man durch einen bestimmten Lichteinfall als Input erhält. Mit einem für solche Untersuchungen eigens angeschafften Abblendspiegel wurde versucht, die seinerzeit im Auto vorgefundene Situation im Labor nachzustellen. Dabei diente die durch das Fenster scheinende Sonne als Lichtquelle. Zur Erhöhung des Kontrasts, wurden die Jalousien so weit

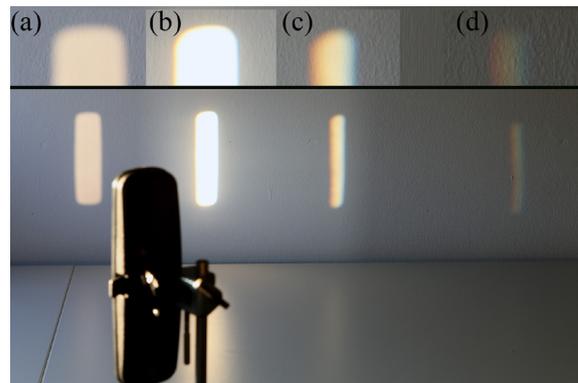


Abb.2: Wie an den projizierten Lichtflecken zu erkennen, reflektiert der hochkant montierte Abblendspiegel auf ihn fallendes Sonnenlicht mit unterschiedlicher Lichtstärke in verschiedene Richtungen. (Der obere Bildteil stellt Abschnitte der Lichtflecken vergrößert dar.)

herab gelassen, dass das durch den verbliebenen Spalt fallende Lichtbündel gerade noch ausreichte,

um den darin platzierten Abblendspiegel unter einem vergleichbaren Einfallswinkel vollständig auszuleuchten. Die vom Abblendspiegel reflektierten Lichtbündel trafen auf eine gegenüber liegende Wand auf, wie dies Abbildung 2 zeigt. Der davon stammende hellste Lichtfleck (b) wies sehr ähnliche farbige Ränder auf, wie die im Auto beobachteten. In einigem Abstand davon, zeigten sich zu beiden Seiten jedoch auch schwächere Lichtflecken, wobei der auf der Seite des Umschalthebels liegende Fleck (a) keinen Farbbrand besaß, während die Farbbränder des Flecks (c), auf der gegenüberliegenden Seite, deutlich stärker ausgeprägt waren. In einigem Abstand war außerdem ein noch lichtschwächerer Fleck (d) mit noch breiteren Farbbrändern auszumachen.

Strebt man eine Erklärung der beobachteten Mehrfachreflexion anhand des Lichtwegkonzepts an, so bedarf es dafür einer sehr konkreten Modellvorstellung vom Aufbau des Abblendspiegels. Wie im Folgenden gezeigt wird, lassen sich solche Modellvorstellungen auch ohne Lichtwegkonzept entwickeln, wenn man die beobachtbaren Erscheinungen auf die Beschaffenheit der sogenannten Spiegelwelt (vgl. [2]) zurückgeführt. Denn gerade diese Welt ist es, die ein in den Innenspiegel schauender Autofahrer betrachtet.

Aus dieser Sicht stellen ebene Spiegel eine Durchlassöffnung in eine dahinter liegende räumliche Spiegelwelt dar. Sie bietet die Alternative, vom Spiegel reflektiertes Licht damit zu erklären, dass es von Lichtquellen ausgesandt wird, die sich dem Anschein nach in der Spiegelwelt befinden. Gemäß dieser Sehweise entspricht der im Laborversuch von der Sonne beschienene Abblendspiegel einer Durchlassöffnung, die von mehreren Lichtbündeln durchquert wird, die sich von dort in unterschiedlichen Richtungen ausbreiten. Als zugehörige Ausgangsorte muss es in der Spiegelwelt dementsprechend viele Abbilder der Sonne geben, die dort durch einen entsprechenden Winkelabstand voneinander separiert sind. Dass sich außerdem, je nach Austrittsrichtung, die Lichtstärke ändert, lässt darauf schließen, dass diese Abbilder unterschiedlich hell sind.

Dass man beim Blick in den Abblendspiegel gewöhnlich nur ein einzelnes Abbild einer weit entfernten Lichtquelle zu Gesicht bekommt, liegt darin begründet, dass die übrigen Abbilder nicht mehr in den vom Spiegelrand begrenzten Bildausschnitt passen. Bezogen auf die vertikal verlaufende Schmalseite ist das vom Fahrersitz aus sichtbare Spiegelbild nämlich auf einen Bildwinkel von schätzungsweise 6 Grad begrenzt. Durch Annäherung des Auges an die Spiegeloberfläche lässt sich der erfassbare Bildwinkel jedoch so weit vergrößern, dass mehrere Abbilder der Lichtquelle ins Blickfeld geraten (vgl. Abb. 3). Aus dieser Perspektive scheinen sie sich ungefähr auf einer vertikalen Geraden zu befinden, wobei sie zueinander einen Winkelabstand von etwa 10 Grad haben. In dem schmalen „Durchlass“ zur Spiegelwelt, den der Abblendspiegel ge-

wöhnlich bietet, kann sich daher immer nur eines der Abbilder zeigen.

Da es ein Abblendspiegel ermöglichen soll, die Helligkeit des Spiegelbildes an die Umgebungshelligkeit anzupassen, wurde er so konstruiert, dass er von einer Lichtquelle Abbilder unterschiedlicher Helligkeit liefern kann. Damit man von einem sichtbaren Abbild auf ein direkt benachbartes umschalten kann, besitzt er eine Mechanik, die es erlaubt, ihn per Schalthebel um eine horizontale Achse zu kippen. Für den Betrachter entspricht das Kippen einem Schwenken seines Blicks durch die Spiegelwelt um die selbe Achse, wobei der Winkel des Schwenks doppelt so groß ist, wie der Kippwinkel des Spiegels. Da das Umschalten zwischen benachbarten Abbildern ein Hin- und Herschwenken der Spiegelwelt um ± 10 Grad erfordert, lässt sich der Spiegel also, dank der eingebauten Mechanik, reproduzierbar um ± 5 Grad hin und her kippen.

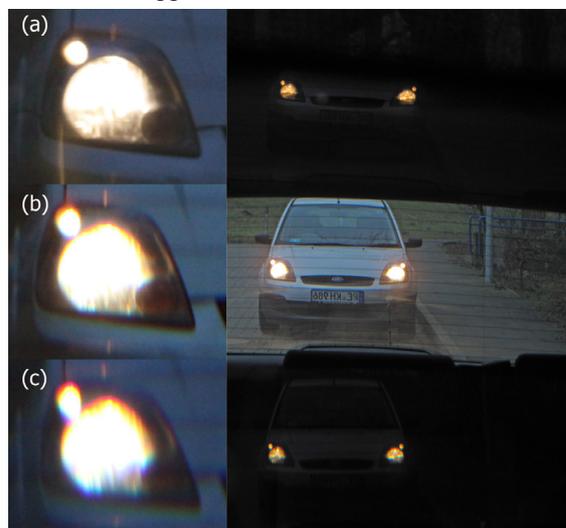


Abb.3: Nahe der Spiegeloberfläche ist das Blickfeld in dem für die Tagfahrt eingestellten Innenspiegel so erweitert, dass ober- und unterhalb des gewöhnlichen Spiegelbildes (b) weniger helle Abbilder (a), (c) erfasst werden.

Wie in Abbildung 3 zu sehen, befinden sich unter- und oberhalb des hellsten Abbildes, auf das man den Spiegel gewöhnlich für die Tagesfahrt einstellt, deutlich weniger helle Abbilder. Im Prinzip könnte man daher auf eines dieser beiden während der Nachtfahrt umschalten. Dass aber eines zu bevorzugen ist, liegt an ihrer unterschiedlichen Qualität. Während eines farblich unverfälscht und völlig klar ist (vgl. Abb. 3 (a)), weist das andere farbige Ränder auf und wirkt leicht verzerrt (vgl. Abb. 3 (c)). Sofern man sich dieser Alternative bewusst ist, was bei den meisten Fahrzeughaltern nicht der Fall ist, kann man auswählen, auf welches der beiden Abblendbilder man während der Nachtfahrt umschalten will. Diese Auswahl wird durch die Stellung des Umschalthebels getroffen, bei der man sich den Spiegel für die Tagesfahrt ausrichtet.

Die Reihenfolge der im Abblendspiegel erkennbaren Abbilder einer weißen Lichtquelle, wie sie auf der

linken Seite von Abbildung 3 dargestellt wird, beginnt bei (a) mit einem farblich unverfälschten Abbild. Bei allen darunter angeordneten Abbildern erkennt man bei genauerem Hinsehen einen Bildfehler in Form farbiger Ränder. Diese Ränder sind umso vielfarbiger und breiter, je größer der Winkelabstand des Abbildes vom unverfälschten Abbild ist.

Die oben geschilderte Beobachtung, dass bei der Projektion des vom Abblendspiegel reflektierten Sonnenlichts auf eine Wand farbig umsäumte Lichtflecken entstehen, lässt sich daher in Anlehnung an die Lochkamera erklären. Als gedachter Durchlass in die Spiegelwelt entspricht die Spiegeloberfläche nämlich einem Loch, aus dem heraus das Licht der farbig umrandeten Abbilder der Lichtquelle vermeintlich scheint. Solange die durch den Abstand zur Wand bestimmte Bildgröße von derselben Größenordnung ist, wie die Lochgröße, erscheinen die projizierten Bilder der virtuellen Lichtquellen als verwaschener Lichtfleck, dessen Form von den Konturen des Lochs dominiert wird. Weil von den gegenüberliegenden Rändern dieser virtuellen Lichtquellen kommendes farbiges Licht das Loch aus etwas unterschiedlichen Richtungen passiert, weisen auch diese projizierten Lichtflecken entsprechend breite farbige Ränder auf.

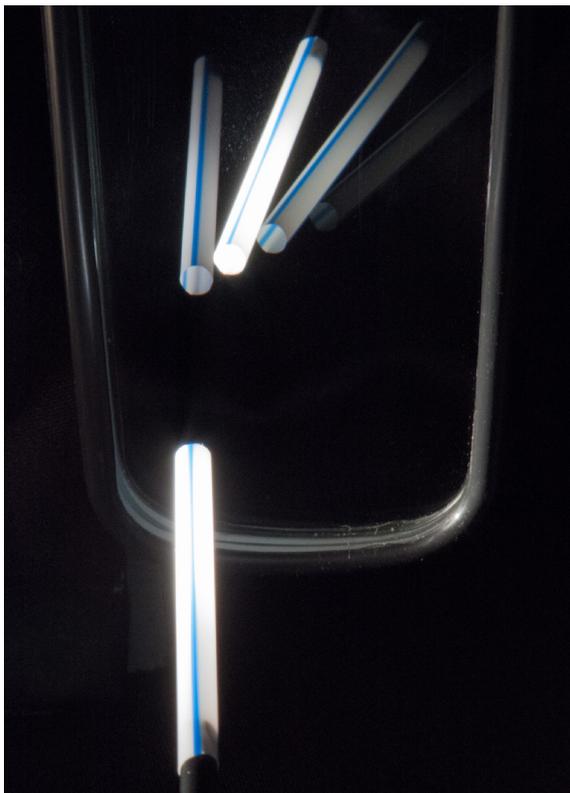


Abb.4: Befinden sich Gegenstände nahe der Spiegeloberfläche, tritt zutage, dass ihre Abbilder sukzessive zueinander verdreht und in die Tiefe versetzt sind.

3. Modellbildung

Damit die Entwicklung einer Modellvorstellung vom inneren Aufbau des Abblendspiegels dem übergeordneten Ziel gerecht werden kann, mit typischen

Denk- und Arbeitsweisen der Physik vertraut zu machen, erfolgt sie hier als Untersuchung der Frage, mit welchem gegenständlichen Modell sich die beim Abblendspiegel auftretenden optischen Phänomene möglichst gut reproduzieren lassen.

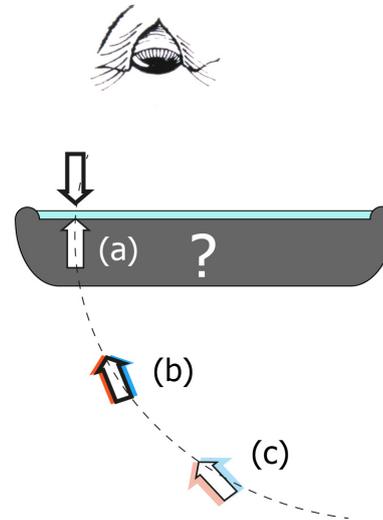


Abb.5: Gesucht ist ein gegenständliches Modell des Abblendspiegels, das die bei (a), (b) und (c) liegenden Abbilder in all ihren Eigenschaften möglichst gut reproduziert.

Als Einstieg eignet sich der Vergleich zwischen dem optischen Verhalten eines Abblendspiegels und einem Unendlichkeitsspiegel (vgl. Abb. 6 (a)), der ja aus zwei einander zugewandten, planparallelen Spiegeln besteht. Beiden Anordnungen ist gemeinsam, dass sie von einer Lichtquelle mehrere Abbilder liefern können. Die optischen Ergebnisse unterscheiden sich jedoch in mehrfacher Hinsicht. Beim Unendlichkeitsspiegel wechseln sich Abbilder der Vorder- und Rückansicht ab, die zueinander, in die Tiefe der Spiegelwelt hinein, parallelverschoben sind. Zudem nimmt ihre Helligkeit mit zunehmender Bildweite stetig ab. Bei den im Abblendspiegel auftretenden Abbildern (wie sie Abbildung 4 zeigt), ist dagegen das vorderste nicht das hellste, denn dies kommt in der Reihenfolge erst an zweiter Stelle. Während das Dritte etwa so hell ist, wie das Vorderste, nimmt die Helligkeit der wenigen nachfolgenden Abbilder rapide ab. Vom vordersten Abbild ist die dem Spiegel zugewandte Seite des Objekts zu sehen. Den dahinter liegenden Abbildern ist anzusehen, dass sie durch sukzessive Rotation in die Tiefe der Spiegelwelt verlagert wurden, da jedes eine entsprechend gedrehte Ansicht vom Objekt darstellt.

Da sich das Objekt beim Unendlichkeitsspiegel zwischen den Spiegeloberflächen befindet und beim Abblendspiegel davor, soll der erste Schritt der Modellverbesserung darin bestehen, eine vergleichbare Konstellation herzustellen. Die von planparallelen Spiegeln erzeugte Spiegelwelt kann ein außerhalb liegendes Objekt nur dann mit einschließen, wenn einer der Spiegel teildurchlässig ist. Dazu kann man ihn beispielsweise durch eine Glasscheibe ersetzen.

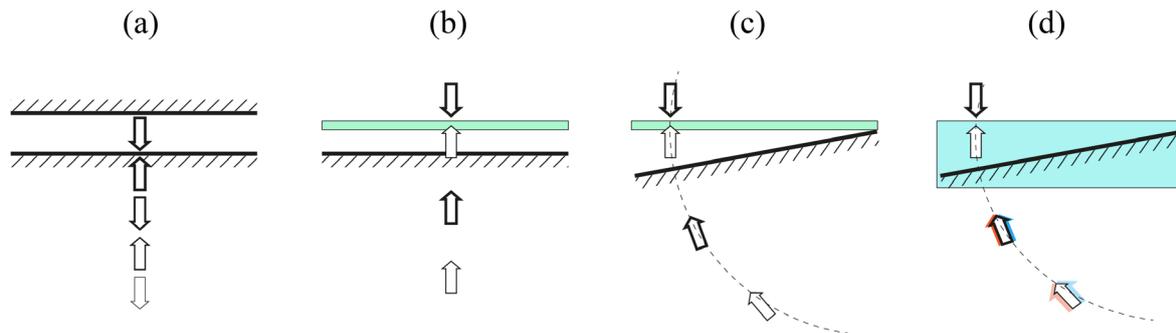


Abb. 6: Entwicklungsstadien eines gegenständlichen Modells vom Abblendspiegel. Die jeweils auftretenden Abbilder stimmen mit denen im Abblendspiegel, nach jedem Entwicklungsschritt von (a) nach (d), besser überein. (Die Helligkeit der Abbilder wird hier durch die Stärke der Linien symbolisiert. Farbschattierungen deuten auftretende Farbsäume an).

Der optische Gewinn dieser ähnlicheren Konstellation (vgl. Abb. 6 (b)) besteht darin, dass nun auch die Helligkeit der Abbilder einer Lichtquelle in derselben Abfolge und ähnlicher Abstufung variiert, wie beim Abblendspiegel. Allerdings unterscheiden sich die Abbilder nach wie vor in den Ansichten, die sie vom gespiegelten Objekt bieten. Denn diese ergeben sich beim vorliegenden Modell durch Parallelverschiebung.

Ziel des nächsten Verbesserungsschritts ist es daher, eine sukzessive Drehung der Abbilder zu erreichen, wie sie beim Abblendspiegel zu beobachten ist. Wie dies zu bewerkstelligen ist, hat sich vermutlich bereits beim Herstellen der Parallelität zwischen den beiden Spiegeln verraten. Denn solange diese nicht perfekt ist, sind die Abbilder durch eine axiale Drehung gegeneinander verschoben, wobei die Drehachse der Schnittlinie zwischen den beiden Spiegelebenen entspricht. Statt beide Spiegel parallel auszurichten, besteht die Verbesserung des Modells also darin, sie als Winkelspiegel anzuordnen. Dabei ist die Winkelstellung zueinander so einzurichten, dass die Abstände zwischen den Abbildern ähnlich groß sind, wie beim Abblendspiegel. Das dadurch erreichbare optische Ergebnis kommt dem eines Abblendspiegels bereits so nahe, dass man es als hinreichende Erklärung für Unterrichtszwecke ansehen kann (vgl. [3]).

Bildet man mit dem Winkelspiegel-Modell (vgl. Abb. 6 (c)) eine entfernte weiße Lichtquelle ab, so fällt auf, dass die Abbilder, im Unterschied zu denen im Abblendspiegel, keine Farbränder aufweisen. Außerdem erkennt man in der Tiefe der Spiegelwelt eine größere Anzahl dort aufgereihter Abbilder, als beim Abblendspiegel. Diese verbliebenen Unterschiede gilt es nun durch eine nochmalige Weiterentwicklung des Modells zu beseitigen. Voraussetzung dafür ist die Kenntnis, dass sich weißes Licht prismatisch in farbige Komponenten zerlegen lässt. Der entscheidende Transfer besteht nun darin, zu erkennen, dass das Winkelspiegel-Modell bauliche Ähnlichkeiten mit einem Prisma aufweist. Einsehbar wird dies, wenn man sich den keilförmigen Zwischenraum zwischen den Ebenen der Glasplatte und

des Spiegels mit einem optisch dichteren Medium gefüllt vorstellt, als mit Luft. Eine vergleichbare Anordnung wird bereits im Sachunterricht realisiert, wo sie gewöhnlich zur Herstellung eines künstlichen Regenbogens dient. Sie besteht aus einem unter Wasser getauchten ebenen Spiegel, der leicht zur Wasseroberfläche geneigt ist. Dadurch entsteht ein einseitig verspiegeltes Wasserprisma, wie es in Abbildung 6 (d) dargestellt ist. Indem man darin die Abbilder einer entfernten weißen Lichtquelle betrachtet, kann man erkennen, dass es die farbzzerlegende Wirkung eines Prismas mit den Abbildungseigenschaften des Winkelspiegel-Modells vereint. Denn außer dem vordersten Abbild, das direkt an der Wasseroberfläche gespiegelt wird, weisen alle dahinter liegenden Abbilder farbige Ränder auf.

Richtet man nun den Scheitelwinkel des Wasserprismas so ein, dass die darin auftretenden Abbilder um die selbe axiale Drehung gegeneinander verschoben sind, wie beim Abblendspiegel, so stimmen die in beiden Spiegelsystemen entstehenden Abbilder im Wesentlichen überein. Der damit erreichte Stand der Modellentwicklung zeigt, dass ein einseitig verspiegeltes Prisma, bezüglich seiner optischen Eigenschaften, als zufriedenstellendes Modell des Abblendspiegels angesehen werden kann.

Anders als bei den üblichen Gegenständen der Physik, kann man sich im Falle des Abblendspiegels, durch Öffnen seines Gehäuses, davon überzeugen, wie er tatsächlich aufgebaut ist. Als optisches Bauelement tritt hierbei ein einseitig verspiegeltes Glasprisma zu Tage, dessen Scheitelwinkel nur wenige Grad beträgt.

4. Tiefere Einsichten

Die Vielzahl der am Abblendspiegel beobachtbaren optischen Phänomene lässt sich auf wenige elementare Zusammenhänge aus der geometrischen Optik und Wellenoptik zurückführen. Ausgehend davon, dass der Abblendspiegel ein einseitig verspiegeltes Glasprisma ist, soll zunächst betrachtet werden, welchen Weg das Licht einer weit entfernten Lichtquelle nimmt, wenn es auf ihn trifft. Da die einfallenden Strahlen dann nahezu parallel sind, genügt es,

den Weg eines einzelnen Strahls zu verfolgen. Zur Vereinfachung soll die Einfallsebene parallel zur Grundfläche des geraden Prismas verlaufen. Wie in Abbildung 7 gezeigt, trifft der einfallende Strahl an der mit (a) markierten Position auf die Glasoberfläche auf. Dort wird er zum kleinen Teil reflektiert, während der große Rest beim Übergang in das Glas durch Brechung eine Richtungsänderung erfährt. Bei der verspiegelten Grenzfläche angelangt, wird dieser reflektiert, so dass er anschließend (an der Position (b)) wieder auf die Grenzfläche zwischen Glas und Luft trifft. Sofern dort der Einfallswinkel klein ist, tritt der größte Teil davon in die Luft aus und erfährt dabei eine Brechung. Der Rest wird intern reflektiert, wobei sich sein weiterer Weg mehrfach nach demselben Schema wiederholt, wie zwischen den Positionen (a) und (b). Demzufolge tritt auch an der Position (c) ein Strahl aus, der etwa die gleiche Lichtstärke hat, wie der an Position (a) reflektierte Strahl.

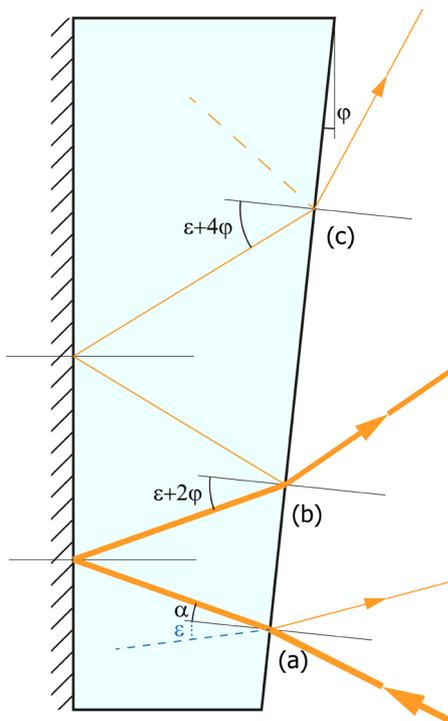


Abb.7: Prinzipieller Strahlengang bei einem Abblendspiegel.

Zu jedem von der Glasoberfläche des Prismas ausgehenden Strahl gehört in der Spiegelwelt jeweils eine Lichtquelle, von der er scheinbar ausgeht. Für einen Beobachter liegen die Abbilder der entfernten Lichtquelle daher genau in Gegenrichtung dieser sich in Luft ausbreitenden Strahlen. Maßgeblich dafür, wie groß die Winkelabstände zwischen den Abbildern sind, ist hierbei der Scheitelwinkel φ des Prismas. Analysiert man nämlich die geometrischen Verhältnisse unter denen der im Prisma verbliebene Anteil des Lichts zwischen beiden Keilflächen hin und her reflektiert wird, so stellt sich heraus, dass dieser Strahl unter einem Einfallswinkel auf die Glasoberfläche trifft, der sich von Mal zu Mal um

jeweils 2φ vergrößert¹. Die dort jeweils stattfindende Brechung erfolgt daher mit entsprechend unterschiedlichen Ausfallswinkeln.

Warum die Winkelabstände zwischen den drei hellsten Abbildern etwa gleich groß sind, kann man sich klar machen, wenn man den von Position (a) reflektierten Strahl als Sonderfall betrachtet, da sich seine Richtung ja nicht (wie in den anderen Fällen) durch eine Brechung ergibt. Stellt man sich aber vor, dass er durch eine Brechung auf den Weg gebracht wurde, so kann man sich leicht klar machen, welchen Einfallswinkel der fiktive Lichtstrahl dafür gehabt haben müsste. Dafür spiegelt man den an Position (a) einfallenden und gebrochenen Strahl gedanklich am Lot. Weil dadurch der gespiegelte einfallende mit dem reflektierten Strahl zusammenfällt, muss dementsprechend der gespiegelte gebrochene Strahl mit dem fiktiven Strahl zusammenfallen. So gesehen müsste der Einfallswinkel ε des fiktiven Strahls also betragsmäßig mit dem Ausfallswinkel α des gebrochenen Strahls übereinstimmen (vgl. Abb. 7). Die Ausbreitungsrichtung der von den Positionen (a), (b) und (c) kommenden Strahlen lässt sich dieser Vorüberlegung entsprechend auf eine gedachte und zwei reale Brechungen zurückführen, bei denen die jeweils zugehörigen Einfallswinkel ε , $\varepsilon+2\varphi$ und $\varepsilon+4\varphi$ betragen haben. Im Geltungsbereich der Näherung für kleine Winkel liegen dementsprechend zwischen den damit verbundenen Ausfallswinkeln ebenfalls etwa gleiche Winkeldifferenzen. Weil φ als kleiner Winkel baulich vorgegeben ist, tritt demnach zwischen den drei hellsten Abbildern einer Lichtquelle etwa derselbe Winkelabstand für den Fall auf, dass auch ε klein ist.

Für einen als Testobjekt verfügbaren Abblendspiegel ergaben im Labor durchgeführte Messungen, dass sich bei senkrechtem Lichteinfall auf die Glasoberfläche die Ausfallsrichtungen an den Positionen (a) und (b) um 10,2 Grad unterscheiden (vgl. Abb. 8). Weil hierbei $\varepsilon = 0^\circ$ ist, beträgt der Einfallswinkel an Position (b) genau 2φ . Für eine darauf beruhende Berechnung des Scheitelwinkels liefert eine Umstellung des Brechungsgesetzes

$$\varphi = \frac{1}{2} \arcsin\left(\frac{\sin(10,2^\circ)}{n}\right). \quad (1)$$

Um diese Berechnung durchführen zu können, musste der Brechungsindex des Glases bestimmt werden. Hierzu wurde der Abblendspiegel um eine Achse schwenkbar aufgebaut, wobei der Drehwinkel mit einem Winkelsensor erfasst wurde. Zur Beleuchtung diente ein polarisierter Laserstrahl ($\lambda = 532$

¹ Nach mehrfachen internen Reflexionen wird dadurch irgendwann der Grenzwinkel der Totalreflexion überschritten, weshalb der bis dorthin gelangte Anteil des Lichts anschließend nur noch total reflektiert wird.

nm), wobei der Spiegel zunächst so ausgerichtet wurde, dass der auftreffende Strahl in sich zurück reflektiert wurde. Ausgehend von dieser Nullstellung, wurde der Einfallswinkel nun durch Schwenken des Spiegels so weit vergrößert, bis der Brewsterwinkel erreicht war, was sich an der minimalen Lichtstärke des von der Glasoberfläche reflektierten Strahls erkennen ließ. Die entsprechende Berechnung ergab einen Brechungsindex von $n = 1.51$. Setzt man diesen Wert in Gleichung 1 ein so erhält man für den Scheitelwinkel des Prismas einen Wert von $\varphi = 3,4^\circ$.

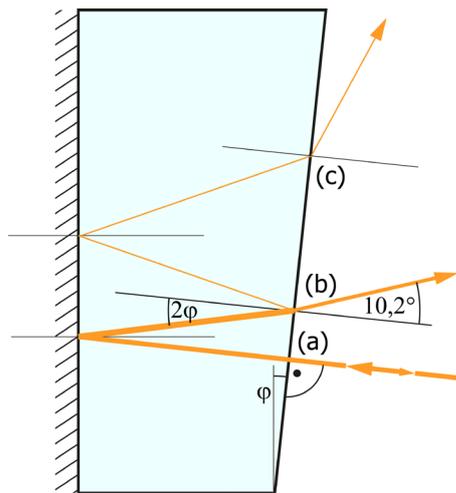


Abb.8: Prinzipieller Strahlengang bei der indirekten Messung des Scheitelwinkels φ .

Der nach dem eben beschriebenen Verfahren ermittelte Brechungsindex gilt streng genommen nur für die Wellenlänge des dabei verwendeten monochromatischen Lichts. Denn bei Materialien wie Glas, nimmt der Brechungsindex mit zunehmender Wellenlänge ab. Aufgrund dieses, als Dispersion bezeichneten Zusammenhangs, werden die Farbkomponenten weißen Lichts, das auf den Abblendspiegel trifft, unterschiedlich stark gebrochen. Bei der Abbildung einer ausgedehnten weißen Lichtquelle sind die von den jeweiligen Farbkomponenten stammenden Abbilder daher entsprechend weit zueinander verschoben. In der Mitte des spektral „verwischten“ Bilderstreifens ist ihre Überlappung am größten, so dass sich dort als Mischfarbe nahezu weiß ergibt. An seinem Anfang und Ende ist die Überlappung dagegen am geringsten, was dem Abbild der Lichtquelle farbige Ränder verleiht (vgl. Abb. 9). Ihre Entstehung gleicht der von Farberscheinungen, die man als Kantenspektren bezeichnet.

Bei den obigen Ausführungen zur Modellentwicklung erfüllte der Winkelspiegel mit Glasabdeckung im Prinzip alle Anforderungen, um als Kosten sparende Alternative zum Abblendspiegel in Frage zu kommen. Denn einerseits bietet auch er unterschiedlich helle Abbilder, die zur Anpassung an die Lichtverhältnisse bei Tag und Nacht erforderlich sind. Andererseits wäre seine Herstellung, wegen seiner einfachen Bestandteile, deutlich weniger aufwendig,

als die eines entsprechend großen verspiegelten Glasprismas. Was aber dennoch für die Verwendung eines Prismas spricht, ist die größer Helligkeit des Spiegelbildes für die Tagfahrt und die bessere Abblendwirkung für Nachtfahrten. Der Nachweis dieses Qualitätsunterschieds lässt sich durch den Vergleich der Reflexionsgrade beider Spiegelsysteme erbringen, deren Messung auch mit schulischen Mitteln möglich ist.

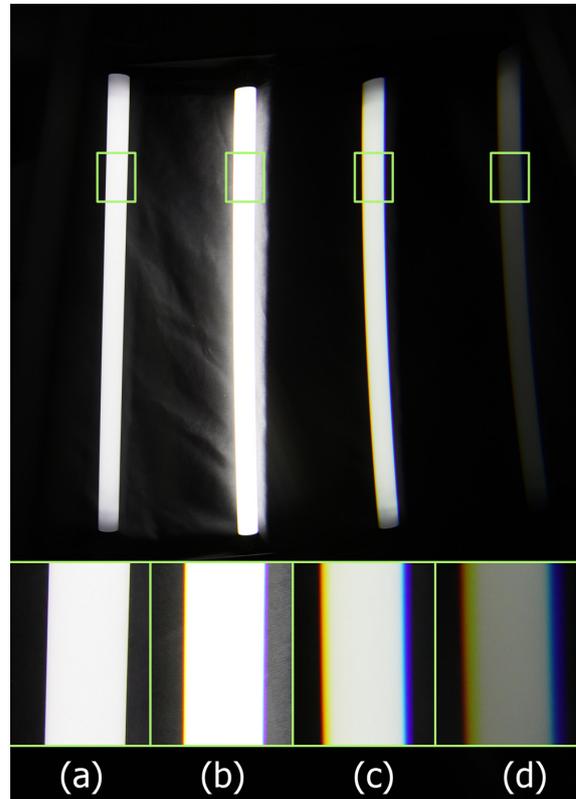


Abb.9: Abbilder einer Leuchtstoffröhre in einem Abblendspiegel. Unten: Ausschnittsvergrößerungen lassen ab (b) Kantenspektren erkennen, deren Breite nach (d) hin zunimmt.

Da eine photometrische Messung erforderlich ist, die sich auf das sichtbare Spektrum beschränkt, wird für das Messverfahren ein Lux-Sensor benötigt. Diesen stellt man zunächst gegenüber einer weißen Lichtquelle in einem Abstand s_{ges} auf, bei dem die Beleuchtungsstärke I_{Ref} auf seiner Empfangsfläche möglichst homogen ist. Nachdem dieser Referenzwert erfasst wurde, wird das zu untersuchende Spiegelsystem etwa in der Mitte zwischen Leuchte und Sensor aufgestellt und so ausgerichtet, dass der hellste reflektierte Strahl nahe am abschattenden Lampengehäuse vorbei streicht. Zum Empfang seines Lichts positioniert man den Lux-Sensor dort an derjenigen Stelle hinein, bei der der Lichtweg zwischen Leuchte, Spiegel und Sensor insgesamt wieder dem Abstand $s_{ges} = s_1 + s_2$ entspricht (vgl. Abb. 10). Dabei ist dafür Sorge zu tragen, dass kein Fremdlcht auf den Sensor fällt, so dass er ausschließlich vom Spiegel reflektiertes Licht empfängt. Setzt man

die dort messbare Beleuchtungsstärke I ins Verhältnis zum Referenzwert I_{Ref} ergibt sich der Reflexionsgrad ρ in Richtung des ausgewählten reflektierten Strahls aus $\rho = I / I_{\text{Ref}}$. Um nun die Stärke der Beleuchtung des Sensors durch Lichtbündel zu erfassen, die in andere Richtungen reflektiert werden, verdreht man den Spiegel jeweils so weit, bis ihr Licht den Sensor ganz ausleuchtet.

Auf die eben beschriebene Weise wurde für beide diskutierten Spiegelsysteme eine Messung ihrer richtungsabhängigen Reflexionsgrade, bezogen auf die drei hellsten Reflexionen, durchgeführt. Die aus den Messwerten berechneten Ergebnisse fasst die nachfolgende Tabelle zusammen:

Strahlrichtung entsprechend Abb. 10	ρ Abblendspiegel	ρ Winkelspiegel mit Glasabdeckung
(a)	0,04	0,09
(b)	0,79	0,71
(c)	0,03	0,06

Tab.1: Vergleich von durch Messung bestimmten, richtungsabhängigen Reflexionsgraden, bei einem Abblendspiegel und einem Modellsystem.

Der Vergleich zeigt, dass im Abblendspiegel Abbilder mit größeren Helligkeitsunterschieden auftreten. Darüber hinaus ist sein für Tagfahrten bestimmtes Spiegelbild auch noch heller, als das des Modellsystems. Dass das Modellsystem hier schlechter abschneidet, liegt an dem Luftkeil, der zwischen der vorderen Glasscheibe und dem dahinter angebrachten Planspiegel liegt. Um ihn zu überbrücken und dadurch zur Metallschicht des Spiegels zu gelangen, muss das Licht zwei Grenzflächen zwischen Glas und Luft mehr überqueren, als dies beim Prisma der Fall ist. Da bei jeder Überquerung etwa 4% vom dort einfallenden Licht reflektiert werden, spiegelt die obere Glasscheibe des Modellsystems ein etwa doppelt so helles Bild zurück, wie die Glasoberfläche des Prismas. Daher kommt auch weniger Licht an der Metallschicht des Spiegels an. Der von dort reflektierte Anteil wird bei der abermaligen Durchquerung des Luftkeils nochmals durch zwei weitere Reflexionen geschwächt, so dass das für Tagfahrten

gedachte Spiegelbild weniger hell ausfällt, als beim herkömmlichen Abblendspiegel.

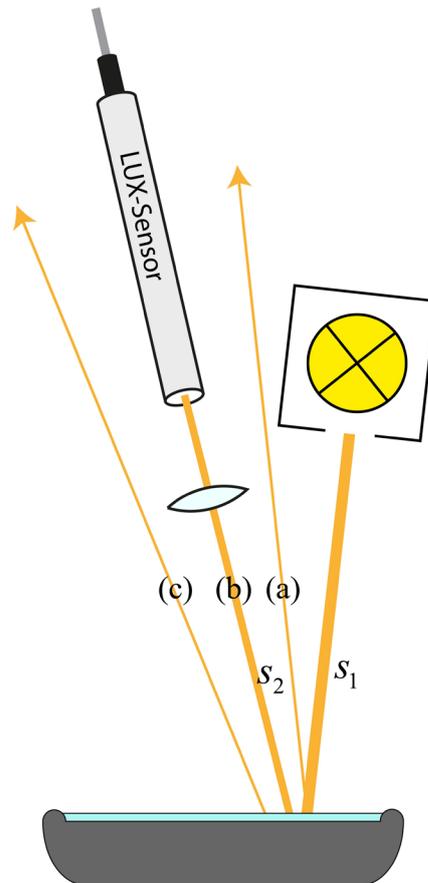


Abb.10: Schematische Darstellung des Messaufbaus zur Bestimmung richtungsabhängiger Reflexionsgrade eines Spiegelsystems.

5. Literatur

- [1] Günther, Johannes (2008): Black Boxes. Analogien zu Problemstellungen in der Naturwissenschaft. In: NiU Physik, 19, 103, 24-28
- [2] Schön, Lutz (1994): Ein Blick in den Spiegel – Von der Wahrnehmung zur Physik. In: Physik in der Schule, 32, 1, 2-5
- [3] Volkmer, Martin (1992): Experimentelle Untersuchung eines PKW-Abblendspiegels. In: NiU Physik, 3, 14, 30-31