

Die Skiaskopie –

Anwendung der elementaren Optik im Schulunterricht

G. Colicchia, H. Wiesner, R. Müller

Die Skiaskopie oder Schattenprobe (griech. skiá = Schatten, skopé = Beobachtung) ist das älteste und bekannteste Verfahren zur objektiven Refraktionsbestimmung [1].

Die Skiaskopie lässt sich mit Grundkenntnissen der geometrischen Optik erklären. Sie ist aber, gemessen an anderen in der Schule üblicherweise behandelten Inhalten, relativ kompliziert, weil viele zum Teil voneinander abhängige Variablen (Beleuchtungs- und Beobachtungsabstand, Linsenstärke, Untersuchungsanordnung) einen entscheidenden Einfluss auf die zu beobachtenden Phänomene haben. Da die geometrische Optik oft in der 9. Klassenstufe oder sogar früher behandelt wird, soll hier nur eine sehr vereinfachte Erklärung gegeben werden. Ein nach unserer Ansicht wichtiges Lernziel aus der Optik wird bei dem hier geschilderten Verfahren besonders deutlich: die Wichtigkeit des Beobachterauges bei allen optischen Überlegungen.

beinhaltet) Licht in das untersuchte Auge geworfen. Dieses Licht wird an der Netzhaut gestreut und diese wirkt als sekundäre Lichtquelle (Abb. 1). Aus der Beobachtung dieser Leuchterscheinungen kann man schließen, ob Kurz-, Weit- oder Normalsichtigkeit vorliegt [2, 3].

Für das Verständnis des Prinzips der Skiaskopie ist die Beleuchtung der Netzhaut von geringer Bedeutung. Es ist vorteilhaft, für die weiteren Überlegungen ganz vom Beleuchtungsstrahlengang abzusehen und diesen einfach durch eine gedachte Lichtquelle auf der Netzhaut zu ersetzen. Dies soll in den folgenden Abschnitten angenommen werden.

Statische Beurteilung der optischen Erscheinungen in der Pupille

Hier liegt der in optischer und diagnostischer Hinsicht besonders interessante Punkt der Skiaskopie. Indem der Arzt auf die Pupille des Patienten schaut und überprüft, ob die Pupille als Ganzes rot aufleuchtet oder nicht, kann er schon beurteilen, ob Normal- oder Fehlsichtigkeit vorliegt.

Das Grundprinzip der Skiaskopie – Beobachtung von Lichtphänomenen in der Pupille

Bei der Skiaskopie wird durch einen Augenspiegel oder ein Skiaskop (Gerät, das einen Augenspiegel und eine Lampe

Abb. 1: Beleuchtungs- und Beobachtungsbündel bei der Untersuchung des Auges mit Hilfe der Skiaskopie

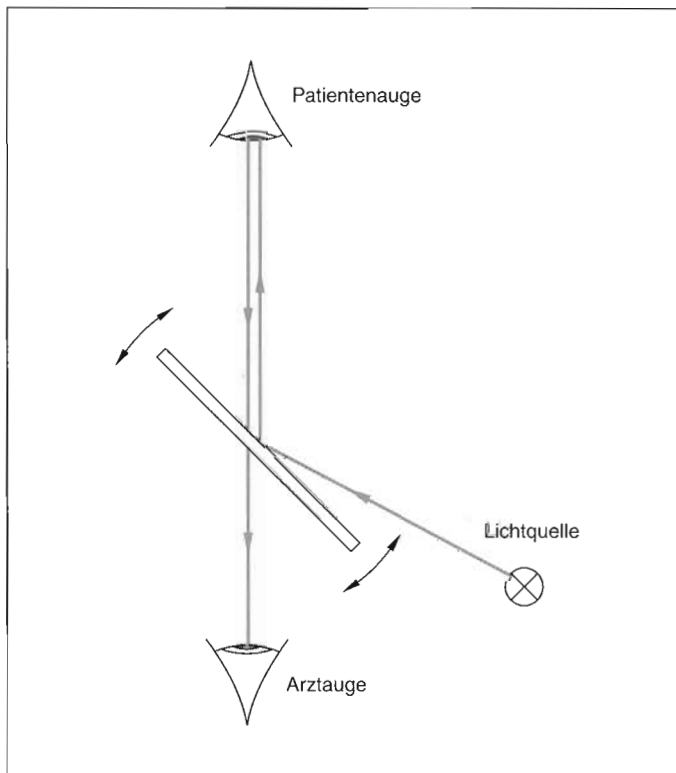
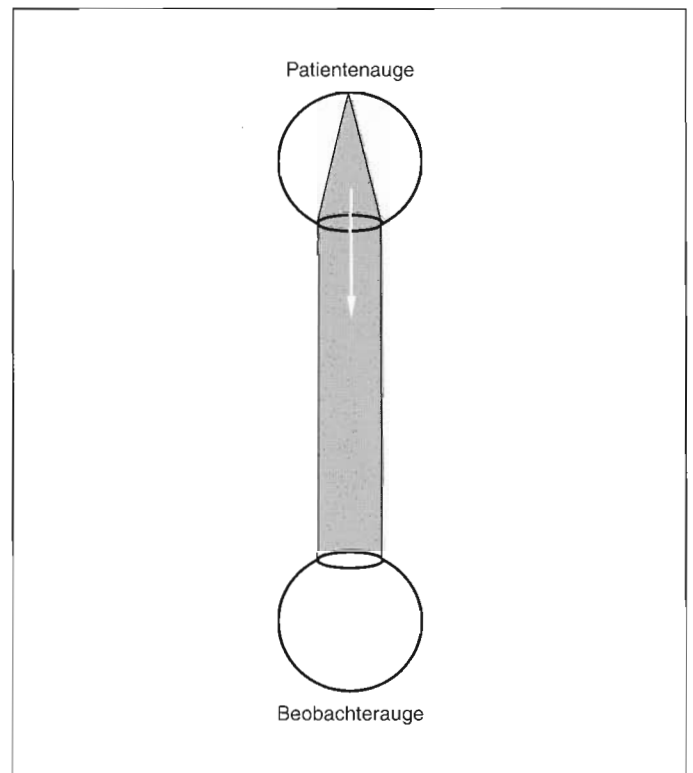


Abb. 2: Beim normalsichtigen Auge verlässt ein Parallellichtbündel das Auge



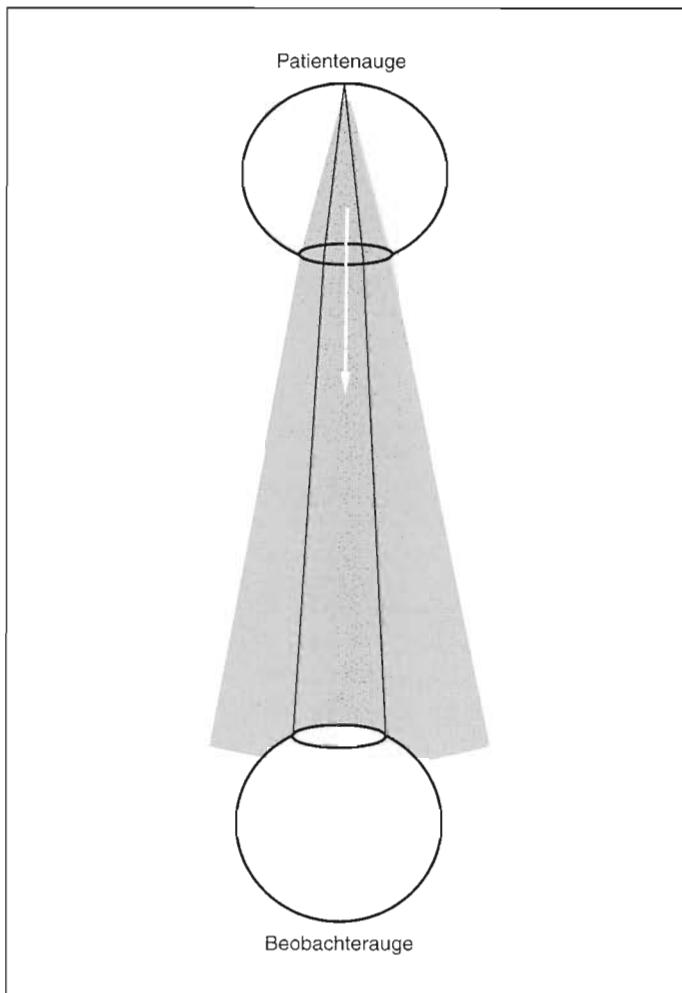


Abb. 3: Beim weitsichtigen Auge verlässt ein divergentes Lichtbündel das Auge. Nur der schraffiert gezeichnete Teil des Lichts fällt ins Beobachteraug.

a) normalsichtiges Auge

Wir betrachten zunächst eine statische Situation, in der die sekundäre Lichtquelle (der beleuchtete Fleck auf der Netzhaut) nicht bewegt wird. Es liegt die in Abb. 2 gezeigte einfache Anordnung vor: Das von der sekundären Lichtquelle auf der Patientennetzhaut ausgehende Lichtbündel wird von Linse und Hornhaut des Patientenauges gebrochen. Das Beobachteraug (Arztauge) betrachtet das von der Patientepupille ausgehende Licht. Das Patientenaug soll entspannt bzw. auf die Ferne akkommodiert sein, das Beobachteraug soll sich in einiger Entfernung vom Patientenaug befinden und auf die Patientepupille fokussiert sein.

Die interessante Frage ist nun: Was sieht das Arztauge? Da die Lichtquelle sich in der Brennebene der Linse befindet (normalsichtiges Auge), verlässt das von einem Punkt auf der beleuchteten Netzhaut ausgehende Licht die Linse als paralleles Bündel. Das Augenarztauge sieht Licht von jedem Punkt der Patientepupille ausgehen: sie erscheint hell (und rot).

b) fehlsichtiges Auge

Bei einem weitsichtigen Auge liegt die Netzhaut vor der Brennebene der Linse. Das sich ergebende Lichtbündel ist in Abb. 3 gezeigt. Nach Verlassen des Patientenauges ist es divergent. Nicht alles davon fällt ins Arztauge. Nur das Licht aus dem schraffierten Bereich gelangt ins Arztauge. Das bedeutet, dass der Arzt nicht alle Teile der Pupille auf-

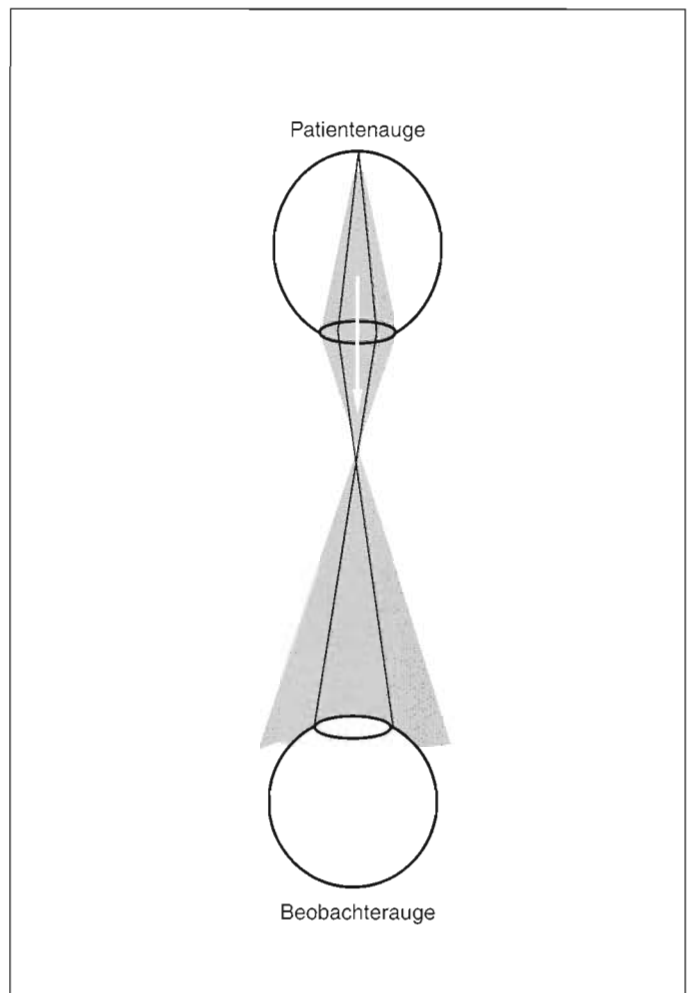


Abb. 4: Beim kurzsichtigen Auge befindet sich die Spitze des Lichtkegels, der das Patientenaug verlässt, zwischen Patient- und Beobachteraug. Auch hier fällt nur der schraffiert gezeichnete Teil des Lichts ins Beobachteraug.

leuchten sieht. In der Position von Abb. 3 ist nur der zentrale (schraffierte) Bereich der Pupille hell.

Ähnliches geschieht beim kurzsichtigen Auge. Das Lichtbündel konvergiert nun aber an einem bestimmten Punkt vor dem Arztauge und divergiert anschließend wieder (Abb. 4). Auch hier fällt nur das Licht aus dem schraffierten Bereich ins Arztauge. Der Arzt sieht wieder nur den zentralen Teil der Pupille aufleuchten.

Schwenken des Augenspiegels

Die statische Beurteilung der optischen Erscheinungen hat allerdings einen Nachteil: Man weiß nicht, ob der Patient kurz- oder weitsichtig ist. Deswegen wird der Spiegel geschwenkt (s. Abb. 1) und dabei beobachtet, auf welche Weise die Lichterscheinungen durch die Pupille wandern. Durch die unterschiedliche Bewegung des Leuchtpunktes in der Pupille kann die Art der Fehlsichtigkeit diagnostiziert werden.

Nehmen wir an, dass der beleuchtete Fleck auf der Netzhaut sich im Uhrzeigersinn bewegt. Bei Weitsichtigkeit (Abb. 5) dreht sich das das Patientenaug verlassende Lichtbündel ebenfalls im Uhrzeigersinn: Der Beobachter sieht das Licht in der Pupille von links nach rechts wandern.

Bei Kurzsichtigkeit (Abb. 6) wird der von der Netzhaut kommende Lichtkegel durch Augenlinse und Hornhaut in

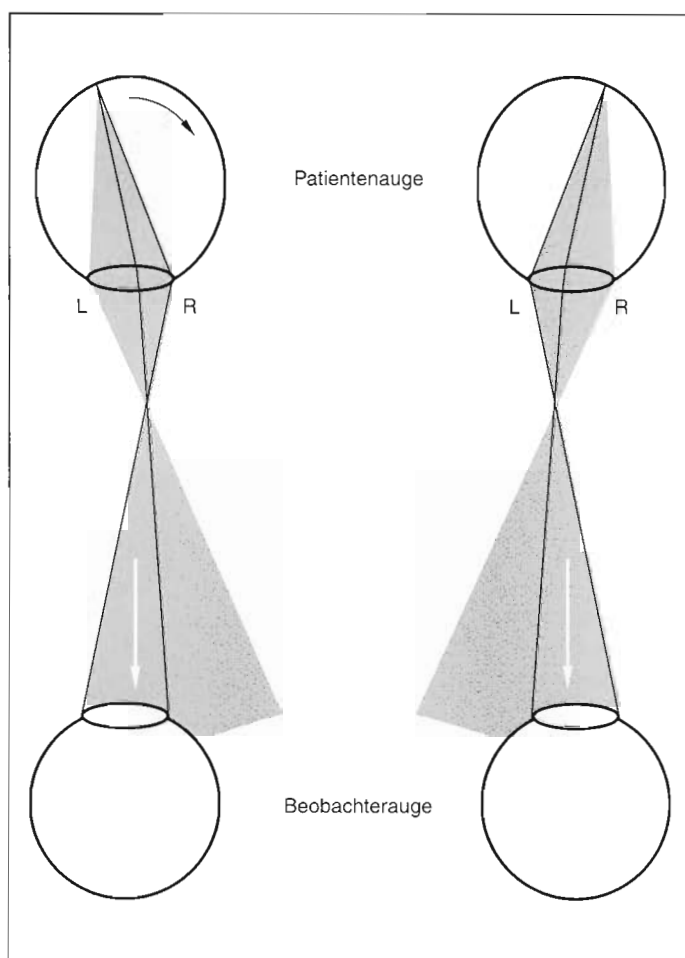
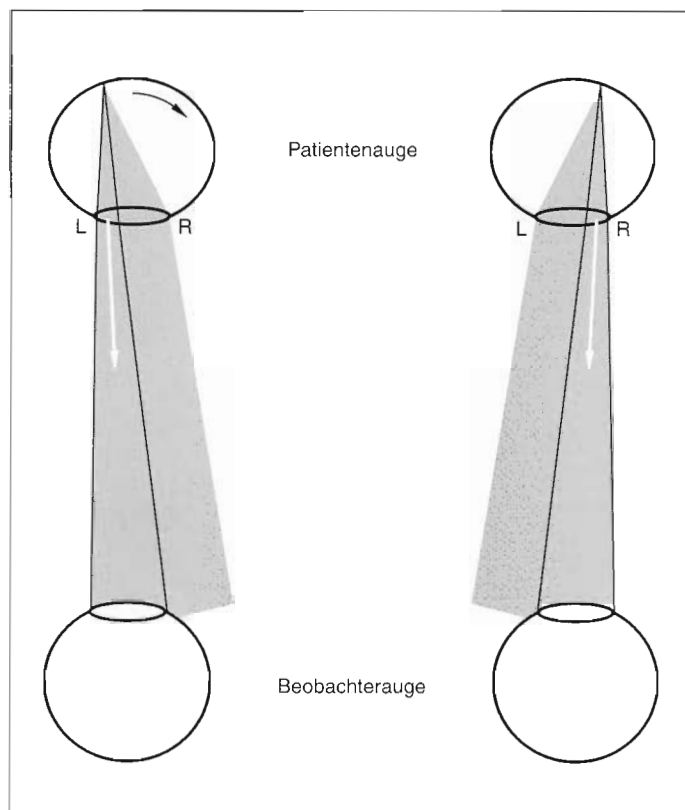


Abb. 5 (oben): Bei Bewegung des Leuchtflecks auf der Netzhaut im Uhrzeigersinn wandert bei einem weitsichtigen Auge die Leuchterscheinung in der Patientenpupille vom linken (L) zum rechten Rand (R)

Abb. 6 (unten): Bei Bewegung des Leuchtflecks auf der Netzhaut im Uhrzeigersinn wandert bei einem kurzsichtigen Auge die Leuchterscheinung in der Patientenpupille vom rechten (R) zum linken (L) Rand

einem Bildpunkt zusammengeführt, der zwischen Patienten- und Beobachteraue liegt. Der Beobachter sieht den Lichtfleck von der rechten Seite der Pupille zum linken Rand wandern. Bei Normalsichtigkeit ist bei größerem Abstand ein kurzes Aufleuchten (Flackern) der gesamten Pupille zu beobachten.

Hinweise zur Unterrichtsdurchführung

Das Modell

Man simuliert ein Auge durch ein einfaches Modell. Es besteht aus zwei zusammengefügten Teilen einer Styroporhohlkugel von 15 cm Durchmesser, in die ein Loch von ca. 2 cm Durchmesser geschnitten wird. In diesem Loch wird eine Linse L befestigt, die die gemeinsame Wirkung der Hornhaut und der Augenlinse darstellt. Auf der gegenüberliegenden Seite wird ein Teil der Kugel abgeschnitten und mit semitransparentem Papier N verschlossen, das die Netzhaut darstellt. Das Innere der Kugel sollte mit schwarzer Farbe angestrichen werden, um Streulicht zu eliminieren und den Kontrast zu verbessern (Abb. 7).

Beleuchtung der Netzhaut

Mit der Folie oder einem Tafelbild (Abb. 8) zeigt man zunächst, dass sich das beleuchtende Lichtbündel und der beleuchtete Fleck auf der Netzhaut stets im gleichen Uhrzeigersinn bewegen, unabhängig davon, ob das Patientenaug normal-, kurz- oder weitsichtig ist.

Lichtbündel vom Patientenaug bei Bewegung der Lichtquelle

Die größte Schwierigkeit für die Schüler, dieses Thema zu verstehen, liegt darin, ob sie sich vorstellen können, wie sich bei Bewegung der Lichtquelle die Lichtbündel drehen bzw. wie die Lichtbündel auf das Beobachteraug auftreffen. Es ist daher sinnvoll, die Ausbreitungsrichtung der Lichtbündel zu zeigen, die aus einem untersuchten Auge kommen.

Man simuliert ein Auge durch die folgende Demonstrationsanordnung. Es besteht nur aus einer Linse (z. B. $f = 100$ mm) und einer möglichst punktförmigen aber starken Lichtquelle Q (z. B. Glühbirne, Leistung > 20 W), die den beleuchteten Fleck auf der Netzhaut darstellt. Eine Hälfte der Linse wird mit roter, die andere mit grüner Scheinwerferfolie bedeckt, oder die zwei Hälften der Linse werden mit wasserlöslichen Folienstiften verschiedenfarbig bemalt (Abb. 9).

Beim Verschieben der Lichtquelle Q (als leuchtender Netzhautfleck) wandert der durch die Linse auf die Wand projizierte Fleck (der Abstand Linse – Wand muss größer als die Bildweite sein) und trifft in einer bestimmten Position auf das „Beobachteraug“ B.

Wird die Lichtquelle bei einem weitsichtigen Augenmodell (der Abstand Linse – Lichtquelle ist kleiner als die Brennweite) parallel zur Linse bewegt, beobachten die Schüler, dass bei einer Bewegung von rechts nach links in der Versuchsanordnung von Abb. 9 zuerst rot und dann grün auf der Beobachterpupille B erscheint.

Wiederholt man den Versuch bei einem kurzsichtigen Auge (Abstand Linse – Lichtquelle größer als die Brennweite), stellen die Schüler fest, dass bei der Bewegung „auf

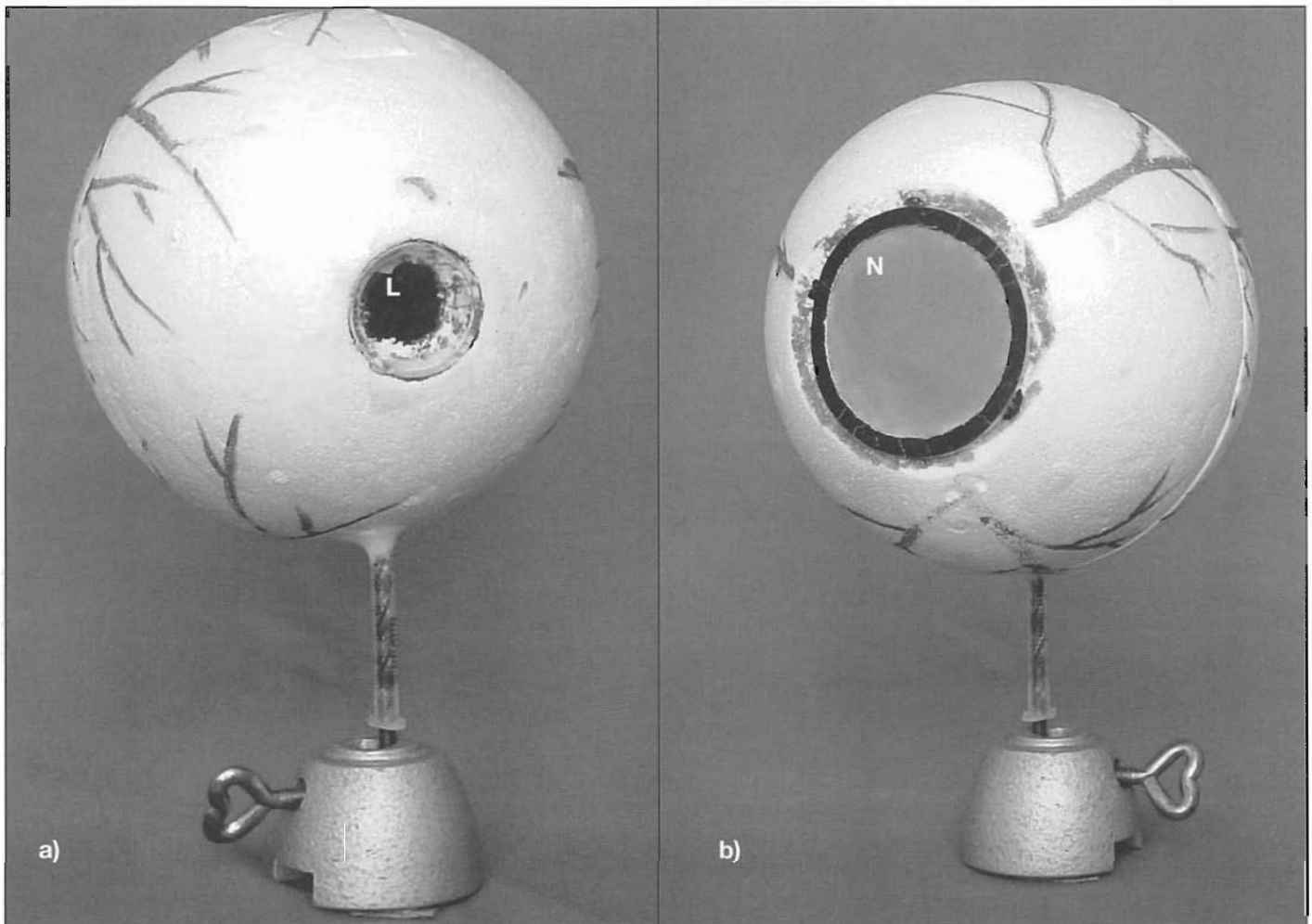
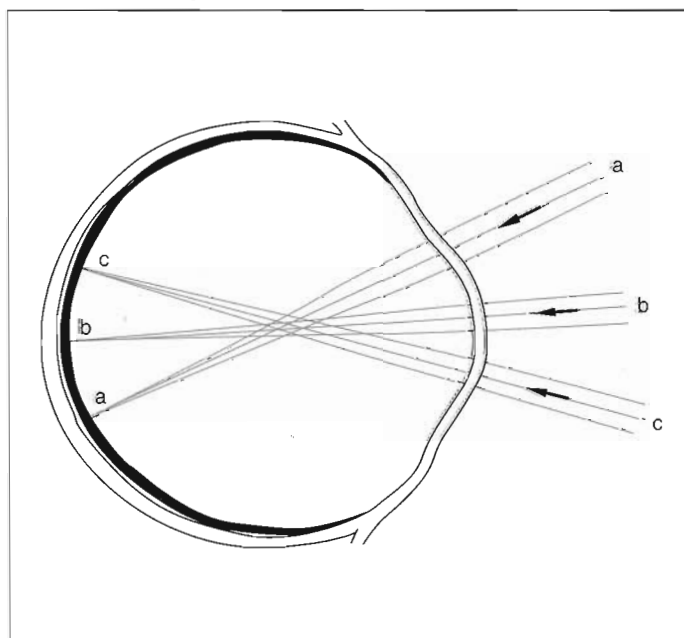


Abb. 7: Augenmodell aus Styropor, (a) Vorderseite mit Linse, (b) Rückseite mit „Netzhaut“

der Netzhaut“ nach links dieses Mal zuerst grün und dann rot auf der Beobachterpupille zu sehen ist. Beim Modell eines normalsichtigen Auges (Abstand Lichtquelle – Linse = Brennweite) wird das Beobachterauge kurz beleuchtet, ohne dass eine der beiden Farben erkannt

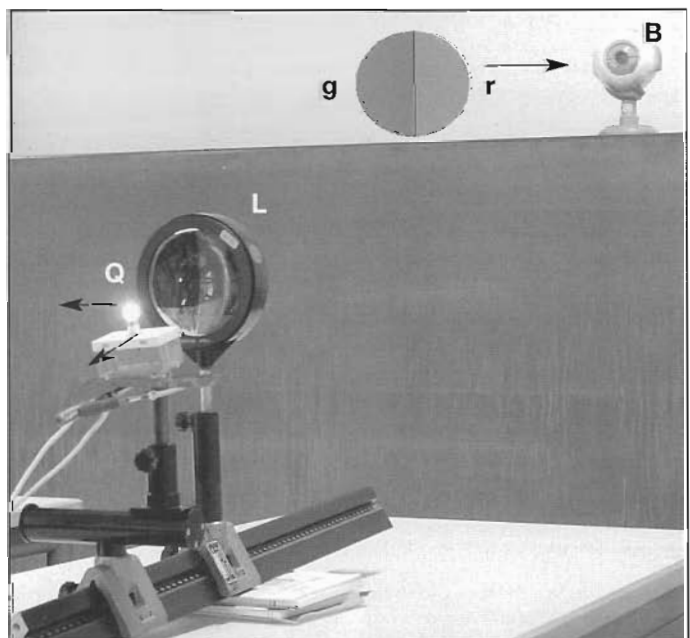
Abb. 8: Gleichsinnige Wanderung der beleuchtenden Lichtbündel und des beleuchteten Netzhautflecks. Dabei wird nur die Hornhaut als brechende Fläche berücksichtigt



werden kann. Das Verständnis der oben genannten Erscheinung wird durch folgende Folie oder Tafelbild erleichtert (Abb. 10a-b).

Wenn sich die Lichtquelle Q vor dem Brennpunkt B befindet (a), bleiben die durch die Linse gefärbten Lichtbün-

Abb. 9: Demonstration, wie das aus einem Augenmodell kommende Licht auf ein Beobachterauge auftrifft. Die Lichtquelle Q wird in zwei Richtungen verschoben.



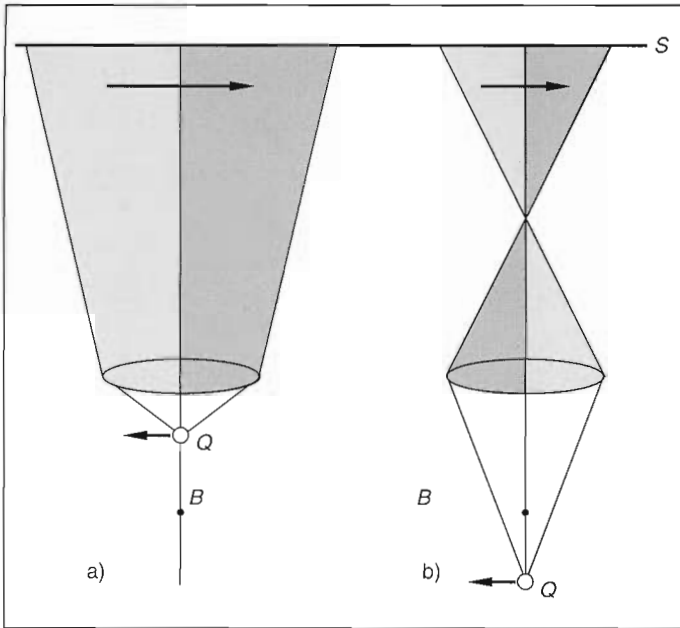


Abb. 10: Die Reihenfolge der Farben ist umgekehrt, wenn sich die Lichtquelle vor dem Brennpunkt (a) oder hinter dem Brennpunkt (b) befindet. Die Pfeile geben die Bewegungsrichtung von Lichtquelle und Farbleck an.

deln auf derselben Seite. Befindet sich hingegen die Lichtquelle hinter dem Brennpunkt (b), dann ist auf dem Schirm S die Reihenfolge der Farben umgekehrt zu beobachten.

Beobachtung des von der Netzhaut kommenden Lichtes

Zur Simulation der Diagnose durch den Augenarzt wird am besten das schon beschriebene Augenmodell aus Styropor verwendet. Von hinten außen wird eine Lichtquelle (Laserpointer, Glühlämpchen, helle rote LED) von links nach rechts verschoben und von vorne durch die Schüler, wenn möglich aus einer Entfernung von einigen Metern, beobachtet (Abb. 11). Dabei entspricht Q (Lichtquelle) dem beleuchteten Netzhautfleck.

Der Beobachtungsabstand sollte deutlich größer als der hier auf dem Foto realisierte Abstand sein. Im Anschluss an die subjektive Beobachtung kann der Effekt für alle Schüler gleichzeitig vergrößert sichtbar gemacht werden, indem der Effekt mit einer Videokamera aufgenommen und das Kamerabild vergrößert projiziert wird.

Abb. 11: Anordnung zur Simulation optischer Erscheinungen eines Auges

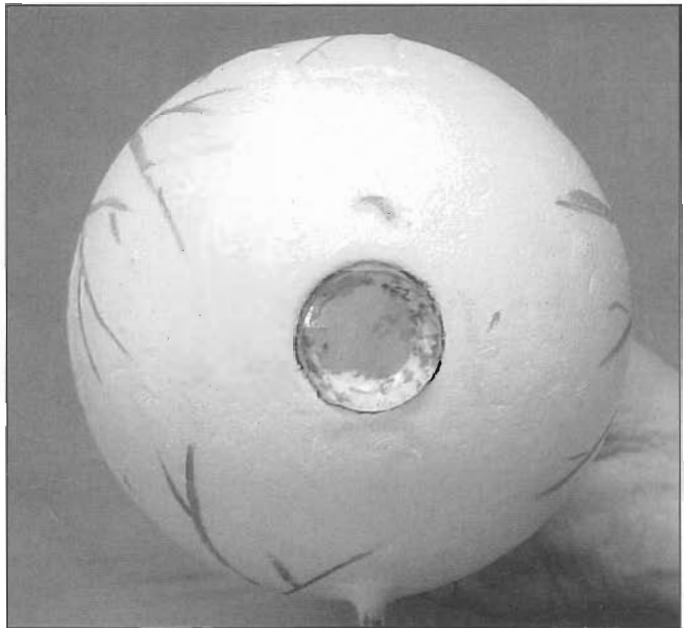
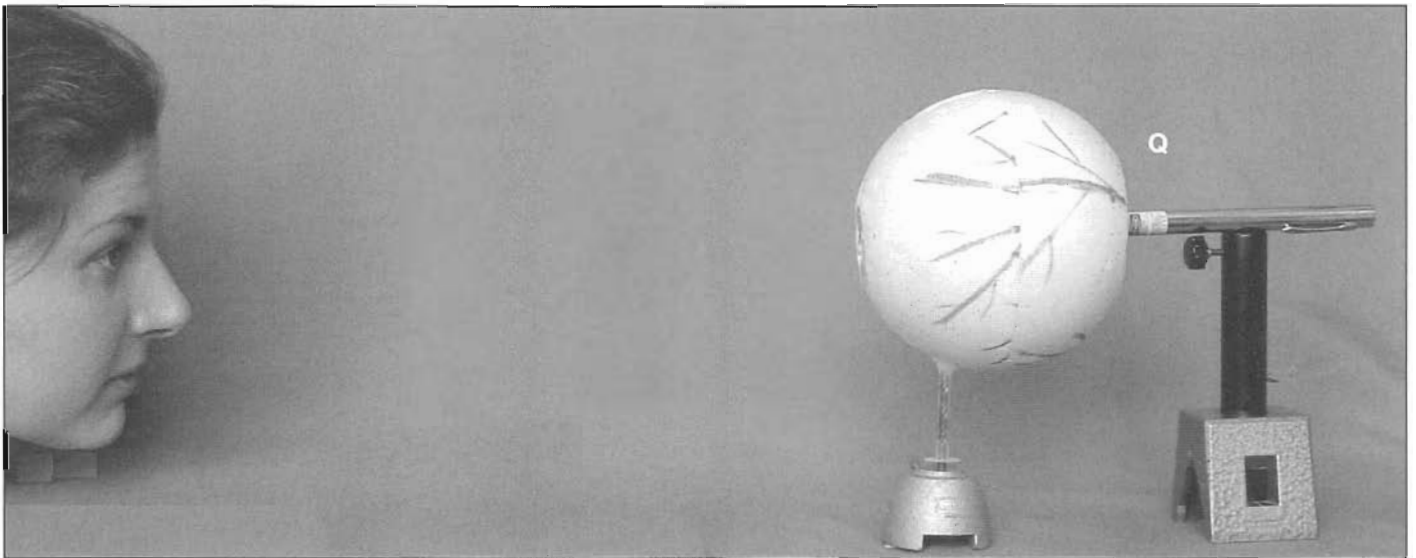


Abb. 12: So genanntes Flackern bei Normalsichtigkeit: die gesamte Pupille wird hell und dann wieder dunkel

Normalsichtiges Auge

Zur Simulation eines normalsichtigen Auges wird das Augenmodell mit einer Linse versehen, deren Brennweite gleich dem Abstand Linse – „Netzhaut“ ist. Die Bewegung des beleuchteten Flecks auf der Netzhaut simuliert man durch eine seitliche Bewegung der Lichtquelle. Beim Verschieben nimmt man keine Bewegung eines Leuchtflecks in der Pupille wahr. Die Linse leuchtet bei einer bestimmten Position des Leuchtflecks auf der Netzhaut kurz als Ganzes auf (Abb. 12) und wird dann wieder dunkel.

Weitsichtiges Auge

Zur Simulation eines weitsichtigen Auges wird das Augenmodell mit einer Linse versehen, deren Brennweite größer als der Abstand Linse – „Netzhaut“ ist, z. B. 15 cm. Was wird dabei festgestellt? Nehmen wir an, die Lichtquelle wandere auf der „Netzhaut“ nach rechts. Dann sieht der Beobachtende die Leuchterscheinung in der Pupille ebenfalls nach rechts wandern (Abb. 13).

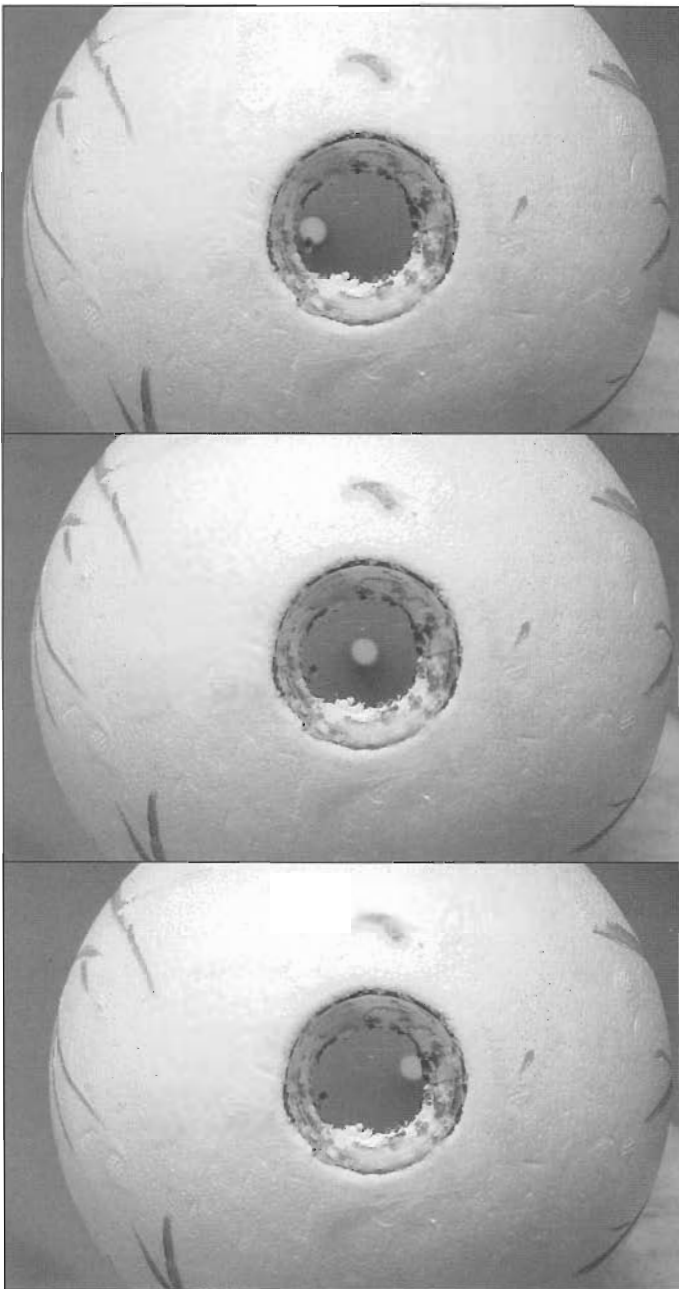
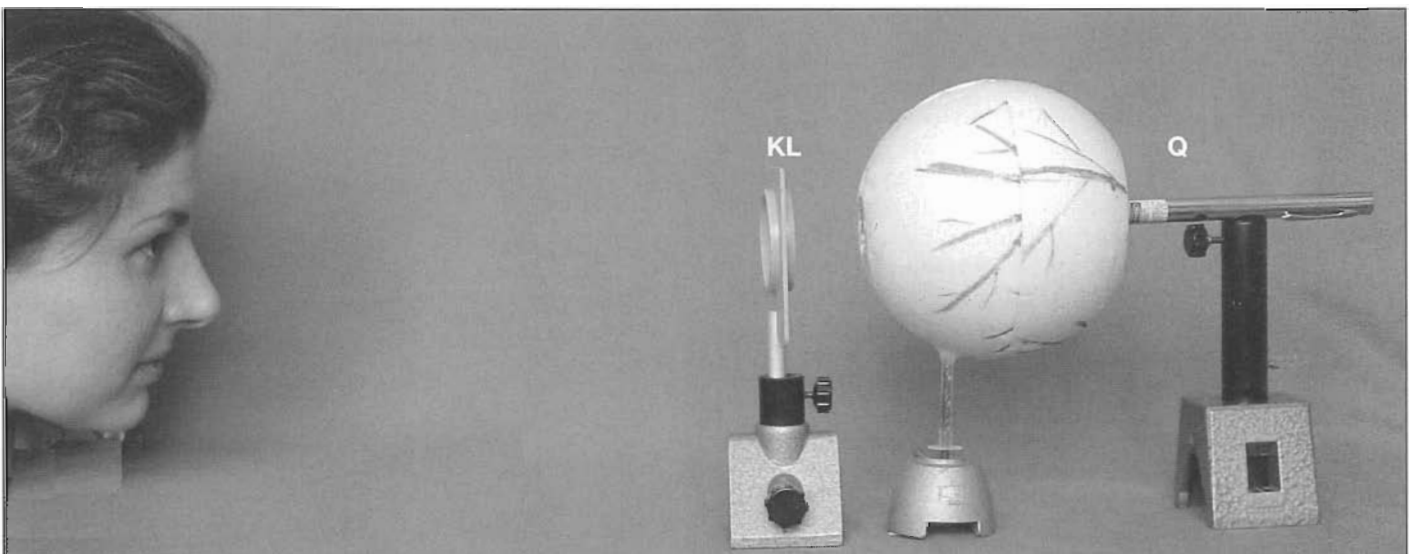


Abb. 13: Gleichsinnige Bewegung von Lichtquelle und Leuchterscheinung nach rechts

Abb. 14: Zusätzliche Linse KL zur Ermittlung der Brechkraft der Korrekturlinse



Kurzsichtiges Auge

Man führt den gleichen Versuch für ein kurzsichtiges Auge (Augenmodell mit einer Linse mit Brennweite kleiner als der Abstand Linse– „Netzhaut“, z. B. $f = 10$ cm) durch. Die Lichtquelle wird hinter der Brennebene „auf der Netzhaut“ wieder von links nach rechts verschoben. Jetzt wandert der Leuchtfleck in der Pupille in die andere Richtung, nämlich von rechts nach links.

Korrektur von Fehlsichtigkeiten

Ziel der Skiaskopie ist das Auffinden des „Flackerpunkts“ („Neutralpunkt“), das die Normalsichtigkeit anzeigt. Dazu werden vor das fehlsichtige Auge Korrekturlinsen (KL) gesetzt, die so lange variiert werden, bis der Flackerpunkt gefunden ist (Abb. 14). Auf diese Weise ermittelt man die zur Korrektur des Sehfehlers nötige „Stärke“ des Brillenglases.

Hinweis

Es wurde schon erwähnt, dass zum Erkennen des Flackerns ein großer Abstand zwischen Arzt und Patient günstig ist. In der Praxis wird durch eine einfache Maßnahme ein kleinerer Skiaskopierabstand erreicht. Vor das Patientenauge wird eine Linse z. B. von +2 Dioptrien gesetzt. Das bedeutet, dass das Lichtbündel beim normalsichtigen Auge nicht mehr parallel ist, sondern auf einen Punkt in 50 cm Entfernung vom Patientenauge fokussiert wird. Skiaskopiert der Arzt nun genau aus dieser Entfernung, wird er das für Normalsichtigkeit charakteristische Flackern wahrnehmen. Durch das Vorsetzen der zusätzlichen Linse hat man den Skiaskopierabstand also aus dem Unendlichen in eine bestimmte Entfernung (meist wählt man 50 cm) herangeholt [3].

Literatur

- [1] G. Colicchia, R. Müller, H. Wiesner: Physik und Medizin: Augenärztliche Verfahren im Physikunterricht, Tagungs-CD, Tagung des FA Didaktik der DPG in Berlin (2001)
- [2] K. Velhagen: Der Augenarzt, Band II, Thieme, Leipzig 1972
- [3] W. Grimm, C. Ucke, D. Friedburg: Strichskiaskopie. Enke, Stuttgart 1986

Anschriften der Verfasser:

Dr. Giuseppe Colicchia, Prof. Dr. Dr. Hartmut Wiesner, Lehrstuhl für Didaktik der Physik, Universität München, Schellingstr. 4, 80799 München; Prof. Dr. Rainer Müller, Physikdidaktik, TU Braunschweig, Pockelsstr. 11, 38106 Braunschweig