

Geometrische Optik in einem Newtonteleskop

In Bezug auf den SuW-Beitrag „Die Kunst, Linsen und Spiegel zu halten“ (in Heft 3/2012, Welt der Wissenschaft: Grossteleskope, S. 52)

Dirk Brockmann-Behnsen

In diesem Artikel werden Materialien für den Optikunterricht vorgestellt, die an die Lehrplaninhalte für die Naturwissenschaften anknüpfen und hier punktuelle Vertiefungen bieten. Ausgehend vom Reflexionsgesetz können die Schülerinnen und Schüler den Strahlengang in einem stark idealisierten Newtonteleskop erforschen. Falls das Brechungsgesetz im Unterricht thematisiert wurde, kann darüber hinaus auch noch der Durchgang ausgewählter Lichtstrahlen durch eine Okularlinse untersucht werden.

Fernerhin bietet der Artikel Vorschläge für experimentelle Aufbauten zur Simulierung von Spiegelverformungen in Folge äußerer Kräfte und entsprechende Kompensationsmöglichkeiten durch gezielte Einwirkung auf die Spiegelform. Auch das Prinzip der adaptiven Optik kann an Hand des vorgestellten Experimentes untersucht werden.



Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Astropraxis	Spiegelteleskop (nach Newtonscher Bauart)
Physik	Optik	Geometrische Optik: Anwendung von Reflexionsgesetz (und Brechungsgesetz)
Fächer- verknüpfung	Astro-Mathematik	Winkelmessung, Umgang mit Diagrammen, Kreis und Mittelpunkt
Lehre allgemein	Inhaltsbezogene und handlungs- orientierte Kompetenzen	Konstruieren, Messen, Experimentieren

Hintergrund

Leider führt die geometrische Optik in den Lehrplänen mittlerweile ein Randdasein. Im niedersächsischen Kerncurriculum beispielsweise ist schon nicht mehr von *geometrischer Optik* die Rede, sondern von *phänomenorientierter Optik*. Zwar ist ein Einstieg in die Optik über Phänomene unumstritten der einzig richtige Weg, allerdings sollte im Zuge des Unterrichtsverlaufes dann unbedingt eine Mathematisierung erfolgen, zumal die Schülerinnen und Schüler sich in diesen Jahrgangsstufen im Mathematikunterricht intensiv mit Winkeln und Winkelgesetzen auseinandersetzen. Immerhin wird der Bezug zur Mathematik im Niedersächsischen Kerncurriculum bezüglich der „Eigenschaften der Bilder an ebenen Spiegeln, Lochblenden und Sammellinsen. **Bezüge zur Mathematik**“ (MK Nds. 2007, S.34, Hervorhebungen wie im Original) ausdrücklich hergestellt. Die Forderungen für die zu erreichenden inhaltlichen Kompetenzen beschränken sich aber auf die Entwicklung einer Sender-Empfänger-Vorstellung des Sehens, auf Kenntnisse über Lichtbündel und die geradlinige Ausbreitung des Lichts, Schattenphänomene, Finsternisse und Mondphasen, Beschreibungen von Reflexion, Streuung und Brechung von Lichtbündeln an ebenen Grenzflächen sowie der Eigenschaften der Bilder an ebenen Spiegeln, Lochblenden und Sammellinsen. Die Schülerinnen und Schüler sollen außerdem zwischen Sammel- und

Zerstreuungslinsen unterscheiden können, ihre Kenntnisse im Kontext Fotoapparat und Auge anwenden können und weißes Licht als Gemisch von farbigem Licht beschreiben können (ibid., S. 31).

Die Abstraktion vom beobachtbaren Lichtbündel zum Modell des Lichtstrahles oder Lichtweges wird nicht erwähnt. Allerdings bietet der Anhang zum Kerncurriculum Anregungen für die unterrichtspraktische Umsetzung. Dort wird die oben wiedergegebene inhaltliche Kompetenzforderung „beschreiben die Eigenschaften der Bilder an ebenen Spiegeln“ verknüpft mit der zugehörigen fachspezifischen Teilkompetenz „verfügen über einen mathematischen Abstandsbegriff und können Abstände in der Spiegelwelt messen“. Bezüglich der methodischen Umsetzung wird auf die Durchführung von Messungen von Längen und Winkeln im Rahmen von Schülerexperimenten und entsprechender grafischer Dokumentation verwiesen (ibid., S. 44f.).

Angebotene Aktivitäten

1. Arbeitsblatt zur Erkundung des Strahlengangs in einem Newtonteleskop

(→ [Anhang 1](#))

Das vorliegende [Arbeitsblatt](#) zur Konstruktion des Strahlengangs in einem vereinfacht dargestellten Teleskop nach Newtonscher Bauart wurde ursprünglich in einer etwas reduzierten Variante für eine Klassenarbeit im Optikunterricht entworfen und ist daher mehrfach unterrichtlich erprobt.

Die Vereinfachung besteht im Wesentlichen darin, dass der Primärspiegel als sphärisch und nicht als parabolisch gekrümmt angenommen wird. Dadurch wird die Konstruktion der reflektierten Strahlen auch Schülerinnen und Schülern des fünften bzw. sechsten Jahrgangs zugänglich, da das Reflexionsgesetz nun relativ leicht auf diese Situation übertragen werden kann. Dazu muss man sich nur vorstellen, dass man als winziges Tierchen auf der Spiegeloberfläche sitzt und einem diese örtlich wie eine Ebene erscheint.

Da die Schülerinnen und Schüler aus dem Mathematikunterricht die Konstruktion von Kreisen kennen, werden sie mit einer entsprechenden Impulsgebung darauf kommen, dass das Lot in diesem Fall der Radius vom Mittelpunkt des Kreises an den Ort, an dem der Lichtstrahl auftrifft, ist. Danach ist die Anwendung des Reflexionsgesetzes einfach. Heuristisch entspricht dieses Vorgehen der Strategie der Rückführung von Unbekanntem auf Bekanntes (vgl. Bruder & Collet 2011, 84 - 87).

Nachdem die Strahlen verlängert und mit Hilfe der beschriebenen Konstruktion am Primärspiegel zur Reflexion gebracht wurden, treffen Strahlen a und b auf den planen Sekundärspiegel. Hier kommt das bekannte Reflexionsgesetz unmittelbar zur Anwendung. Strahl c verfehlt den Sekundärspiegel, die Schülerinnen und Schüler können sich überlegen, was das für die optischen Eigenschaften des Teleskops bedeutet. Es gerät Streulicht zurück in den Tubus und – tragischer – dieses Licht kann nicht zur Beobachtung genutzt werden. Das Teleskop bleibt also unter seinen Möglichkeiten.

Strahlen a und b treffen sich in der Fokalebene und gelangen danach zur Okularlinse. Hier bestehen nun verschiedene Möglichkeiten, wie die Schülerinnen und Schüler weiter vorgehen. Im einfachsten Fall spart man diesen Teil aus und beschränkt sich auf die Betrachtungen zur Reflexion. Alternativ kann das Brechwinkeldiagramm der Aufgabenstellung genutzt werden, um den Strahlengang auch beim Durchgang durch die Linse exakt zu konstruieren. Falls in einer höheren Jahrgangsstufe das Brechungsgesetz bekannt ist, kann man auch eine Brechzahl vorgeben¹ und damit das Diagramm überflüssig machen.

Im Anhang findet sich eine Musterlösung der Konstruktion der Lichtstrahlen a, b und c.

¹ Beispielsweise Kronglas: $n_{mK5}=1,524580$ (Laux 1999², S. 17)

2. Experimente zur Verformung eines Teleskopspiegels

Im SuW-Bezugsartikel wird detailliert die Problematik der Verformung großer Teleskopspiegel unter den Belastungsarten „Normalkraft“ und „Biegung“ erörtert. Im Folgenden wird ein Experiment vorgestellt, bei dem die Schülerinnen und Schüler die Biegung eines Spiegels unter seiner eigenen Schwerkraft erfahren können. Außerdem kann mit diesem Experiment ein Eindruck davon vermittelt werden, wie ein Teleskop, welches von Aktuatoren unterstützt wird, auf Störungen der einfallenden Lichtstrahlen durch Störungen, sprich optische Verdichtungen der Atmosphäre reagieren kann.

2.1 Aufbau des Experimentes

Benötigt wird eine metallene Tafel oder – noch besser – ein metallenes Memoboard, auf dem eine Demonstrationsleuchte für Strahlengänge (z. B. Phywe 08270.20) fixiert werden kann. Der Teleskopspiegel wird durch einen Stahlstreifen dargestellt. Es empfiehlt sich, 0,1 mm starke Stahlfolie (Stahlgroßhandel) zu einem Streifen von ca. 30 cm Länge und 1,5 cm Breite zuzuschneiden. Schmalere Streifen neigen dazu, sich beim Zuschneiden zu verdrillen, breitere Streifen werden zu starr, um die Spiegelverformungen noch überzeugend zu zeigen. Der Stahlstreifen wird so an zwei Magneten fixiert, dass er von diesen weder gestaucht noch gespannt wird. Es ergibt sich eine Brennweite in der Größenordnung von ca. 10 cm. Gegebenenfalls muss man den Stahlstreifen nach dem Zuschneiden mit den Händen noch etwas nachmodellieren, bis der vormals parallele Strahlengang der Demonstrationsleuchte nach Reflexion an dem „Teleskopspiegel“ einen recht guten, konvergenten Verlauf zeigt. Möglicherweise müssen die Schnittkanten des Stahlstreifens noch mit etwas Schmirgelpapier entschärft werden, speziell wenn das Experiment auch von Schülerinnen und Schülern durchgeführt werden soll.

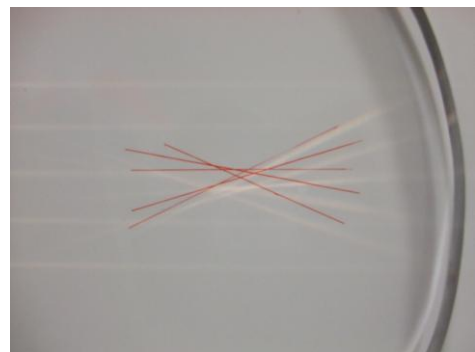


2.2 Experiment 1: Durchbiegung des Spiegels unter seiner eigenen Schwerkraft

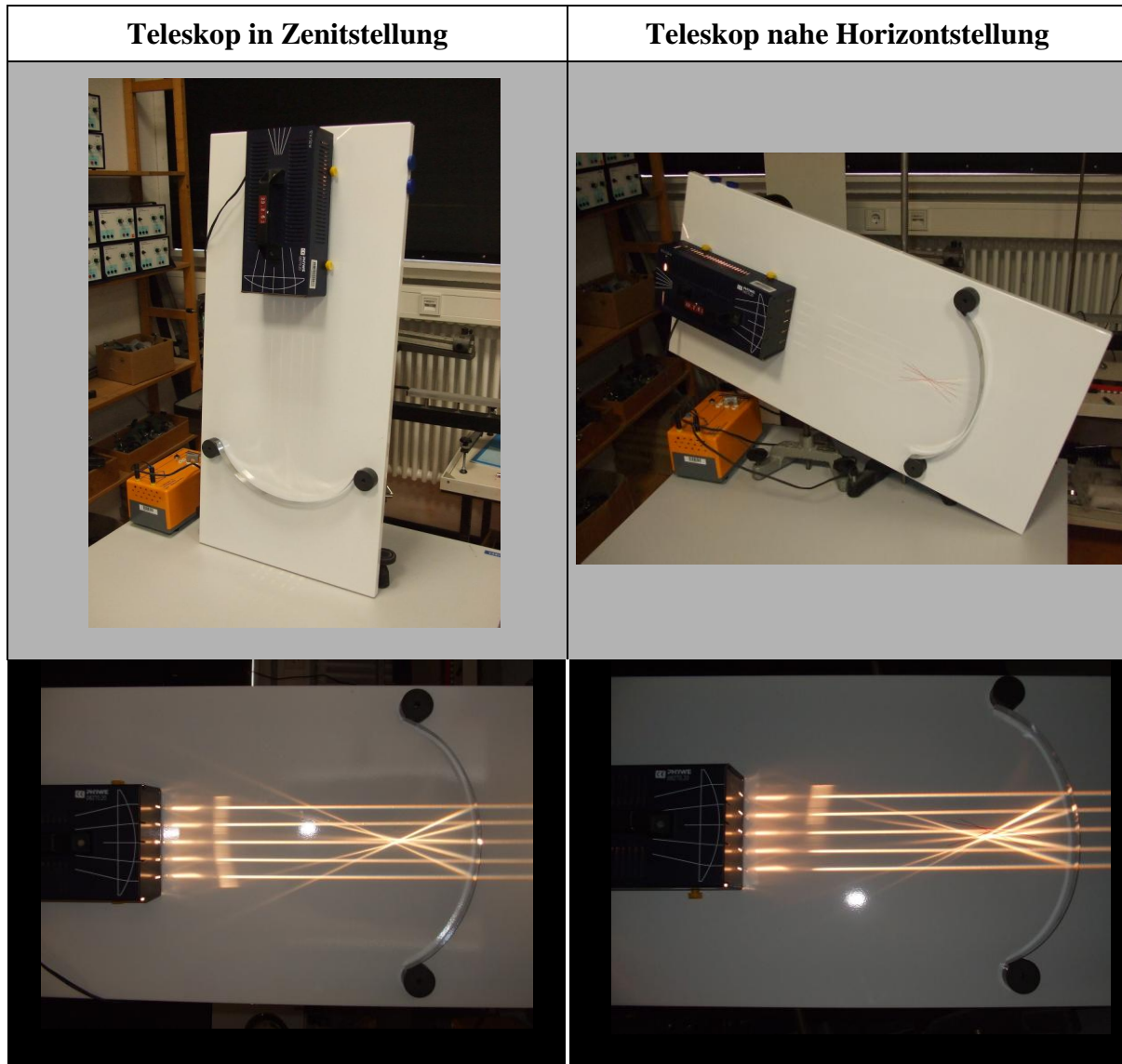
Das Experiment wird wie unter 2.1 beschrieben aufgebaut. Es zeigt sich ein konvergenter Strahlengang, dessen Brennpunkt sich auf der optischen Achse befindet (linke Spalte der nachfolgenden tabellarischen Übersicht).

Der Strahlengang wird beobachtet und mit einem Filzstift vorsichtig nachskizziert, ohne dabei den Spiegel zu berühren.

Anschließend wird der gesamte Aufbau um einen Winkel von etwa 60° gekippt, um eine angenäherte



Horizontstellung des Teleskopes zu simulieren (rechte Spalte der nachfolgenden Tabelle). Es zeigt sich eine deutliche Verschiebung des Brennpunktes der einfallenden Strahlen in Folge der Durchbiegung des Spiegels (siehe untere Abbildung S. 3). Man kann nun vorsichtig mit beiden Händen versuchen, den Spiegel so zu verbiegen, dass der alte Brennpunkt wieder hergestellt wird. Dabei zeigt sich schnell, wie schwierig eine solche Korrektur ist. Kärcher bringt im Bezugsartikel zu Recht seine Bewunderung für diese Feinmechanik zum Ausdruck (siehe SuW 3/2012, S. 52 rechte Spalte).

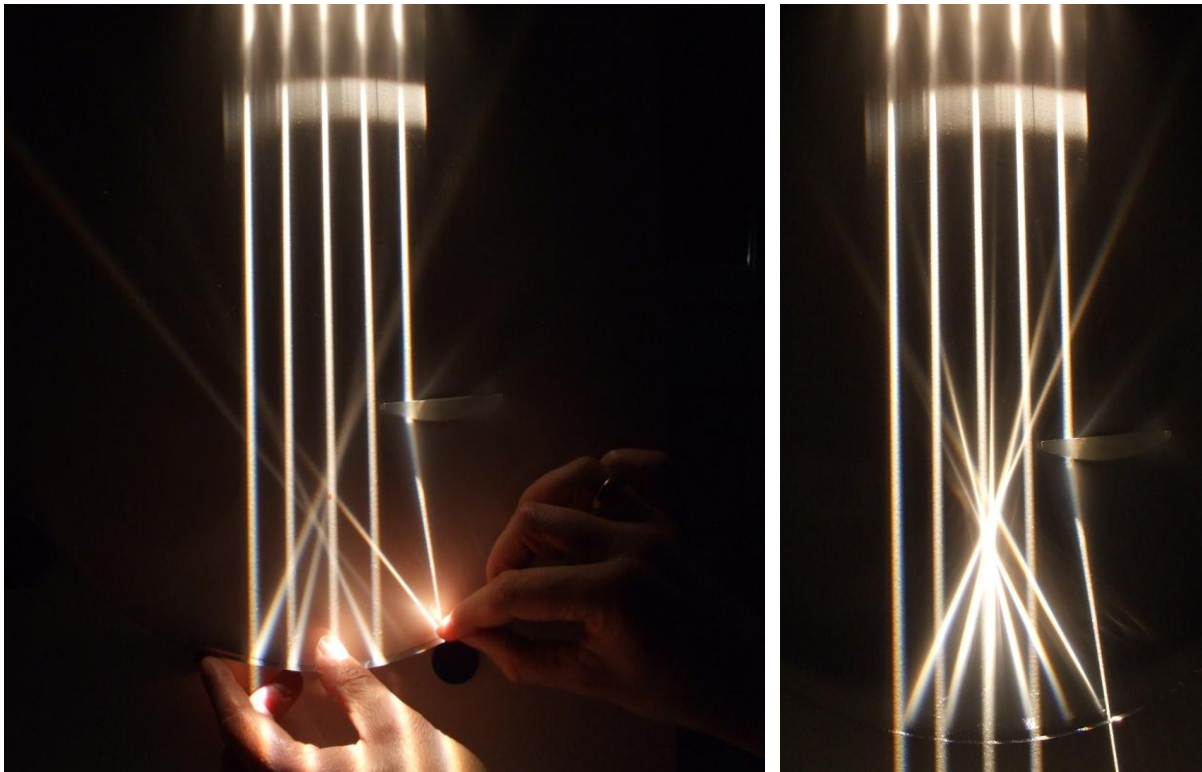


2.3 Experiment 2: Störung des Strahlenganges durch Luftunruhe

Ein wesentliches Problem bei der Nutzung von Teleskopen auf der Erdoberfläche ist die große, über dem Teleskop befindliche Luftsäule. Da sich die Luft in dieser gedachten Säule in ständiger Unruhe befindet und folglich eine sehr inhomogene und variable optische Dichte besitzt, kann sich das von den Himmelsobjekten kommende Licht nicht ungestört ausbreiten. Man kann sich Luftzellen größerer Dichte wie kleine Linsen vorstellen und genau so sollen sie in diesem Experiment auch simuliert werden. Bringen wir also eine kleine Kunststofflinse in einen Strahl der einfallenden Strahlengruppe ein und beobachten, wie sich diese Linse auf den weiteren Verlauf dieses Strahles auswirkt.



Mit etwas Geschick kann man dann mit zwei Händen den Stahlstreifen, also den Teleskopspiegel so geschickt verformen, dass der fehlgeleitete Strahl wieder zum Brennpunkt zurückgeführt wird, ohne allerdings die anderen vier von der Linse unbeeinträchtigt aus dem Brennpunkt herauszudrängen. Diese Aufgabe erweist sich als ziemlich schwierig und gibt daher einen guten Eindruck von der enormen technischen Leistung, die adaptive Optiken heute vollbringen.



Literatur

- Bruder, R. & Collet, Chr.** (2011): *Problemlösen Lernen im Mathematikunterricht*, Cornelsen Scriptor, Berlin
- Kärcher, H. J.** (2012): Über die Kunst, Spiegel und Linsen zu halten, in: *Sterne und Weltraum*, S. 52-63
- Laux, U.** (1999²): *Astrooptik*, 2. aktualisierte und erweiterte Auflage, Sterne und Weltraum, Hüthig
- Niedersächsisches Kultusministerium** (2007): *Kerncurriculum für das Gymnasium Schuljahrgänge 5 – 10. Naturwissenschaften. Niedersachsen*, Hannover