

LED Spots im Physikunterricht

Joachim Rottensteiner

Für folgende Versuche wurden Spots mit herkömmlichem Gewinde E27, die „weißes Licht“ mit Hilfe von 18 kleinen Leuchtdioden erzeugen, verwendet. Es handelt sich um zwei unterschiedliche Typen, die „warmweißes“, bzw. „kaltweißes“ Licht erzeugen. Das Besondere an diesen Leuchtmitteln ist, dass bei geringer Leistungsaufnahme (ca. 0,9 Watt) an wenigen relativ lichtstarken Punkten starke Lichtkegel erzeugt werden.



Der spezielle Aufbau dieser Leuchtmittel eignet sich nun dafür, folgende physikalische Konzepte im Rahmen der Optik zu behandeln.

- Die räumlich ausgedehnte Lichtquelle als eine Verteilung von punktförmigen Lichtquellen
- Schattenbildungen – Kernschatten und Übergangsschatten
- Die Lochkamera – Abbildungen mit Hilfe einer Lochblende
- Farbtemperatur – weißes Licht als Zusammensetzung aus unterschiedlichen Farbanteilen

Leuchtpunkte statt ausgedehnter Quellen

Zur Beschreibung des Leuchtverhaltens einer räumlich ausgedehnten Lichtquelle, z.B. einer Glühbirne, bedient man sich im Rahmen der geometrischen Optik der Annahme, dass sich das Licht geradlinig von vielen Punkten aus ausbreitet. Die Punkte, von denen das Licht in alle Richtungen emittiert wird, werde ich in der Folge als Leuchtpunkte bezeichnen. Zur Konstruktion eines Lichtstrahles benötigt man einen zweiten Punkt, der beleuchtet wird. Die Verbindung beider Punkte bezeichnet man im Modell als Lichtstrahl. Dieser Lichtstrahl ist einer von vielen Lichtstrahlen, die von einem Leuchtpunkt ausgehen.

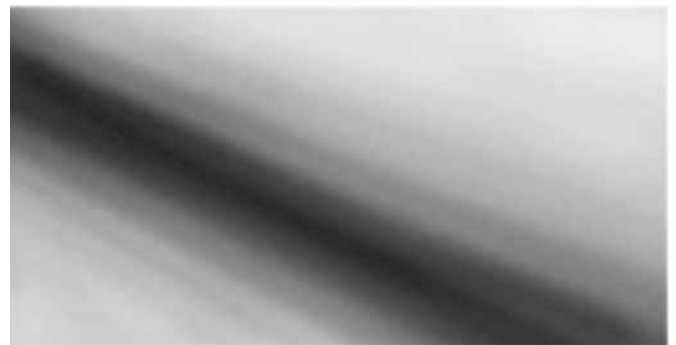
Unter der modellhaften Beschreibung des Leuchtpunktes, der punktförmigen Lichtquelle, versteht man eine Lichtquelle, die von einem Punkt aus Licht gleichmäßig in alle Richtungen aussendet. Eine räumlich ausgedehnte Licht-

quelle denkt man sich nun als Zusammensetzung von vielen punktförmigen Lichtquellen.

Wir nehmen an, dass von allen Leuchtpunkten unserer Lichtquelle unendlich viele Lichtstrahlen in alle Richtungen ausgesandt werden. Auf einem bestimmten Ort auf einem Blatt Papier kommt daher von jedem Leuchtpunkt ein Strahl an. Zusammen erzeugen diese vielen Lichtstrahlen eine gewisse Beleuchtung. Auf dem Blatt Papier befinden sich nun wiederum mehrere Punkte, die beleuchtet werden, und so entsteht ein Lichtfleck. Den Lichtfleck können wir deshalb beobachten, weil die Lichtstrahlen in verschiedene Richtungen diffus reflektiert werden. Üblicherweise werden Lichtstrahlen durch schmale Lichtbündel angenähert. Mit einem Laserstrahl und dem dadurch erzeugten Lichtfleck lässt sich die modellhafte Beschreibung des Lichtstrahls näherungsweise realisieren. Einen Leuchtpunkt kann man symbolhaft durch eine einzelne Leuchtdiode darstellen.

Was passiert nun, wenn man einige Leuchtpunkte von der Beleuchtung des Papiers ausschließt?

Man kann nun den Übergang vom Kernschatten in den Übergangsschatten thematisieren.



Man sieht auf obiger Abbildung den Schatten, den ein Zeigestab auf eine weiße Wand wirft, wenn er von einem LED-Spot in einem entsprechenden Abstand beleuchtet wird. Man sieht deutlich die Abstufungen im Schlagschatten. Der Übergang vom Kernschatten zum ungestört beleuchteten Teil des Schirmes erfolgt aufgrund der wenigen, aber lichtstarken Leuchtpunkte nicht kontinuierlich, sondern stufenweise. Es wird schrittweise eine Diode weniger abgedeckt und so erhält man schließlich wieder die volle Beleuchtungsstärke. Bei herkömmlichen, räumlich ausgedehnten Lichtquellen mit „unendlich“ vielen Leuchtpunkten verläuft dieser Übergangsschatten kontinuierlich, obige diskrete Abstufung verdeutlicht aber das Konzept klarer.

Joachim Rottensteiner, E-Mail: a0125716@unet.univie.ac.at

Abbildung durch Lochkamera

Die Lochkamera beruht auf dem Konzept des Ausschlusses von Lichtstrahlen. Betrachtet man den Lichtfleck, den der LED-Spot auf dem Blatt Papier erzeugt, so kann man nicht beurteilen, welche Lichtquelle diesen Fleck tatsächlich hervorbringt. Das ist eine Folge der Tatsache, dass sich von einem Punkt aus mehrere Lichtstrahlen ausbreiten. Es treffen daher auf einen beleuchteten Punkt die Lichtstrahlen mehrerer Leuchtpunkte. Man kann einen beleuchteten Punkt nicht eindeutig einem Leuchtpunkt zuordnen und man kann sich daher insgesamt kein Bild von der Lichtquelle machen. Eine Lochkamera stellt einen eindeutigen Zusammenhang zwischen beleuchtetem Punkt und Leuchtpunkt her. Störende Lichtstrahlen werden nicht durchgelassen. Durch die Lochblende passt, idealisiert betrachtet, pro beleuchtetem Punkt nur ein Lichtstrahl. Daher kann man einem beleuchteten Punkt genau einen Punkt der Lichtquelle zuordnen. (Mathematisch formuliert, wird der Beleuchtungsvorgang zu einer injektiven Funktion.) Insgesamt erhält man auf dem Schirm ein Bild der Leuchtquelle. In der Praxis hat man es natürlich mit ausgedehnten Lichtbündeln zu tun, die durch eine kleine, aber nicht mehr punktförmige Öffnung gehen. (Dadurch ist Injektivität nicht mehr gegeben, das Bild erscheint unscharf.)



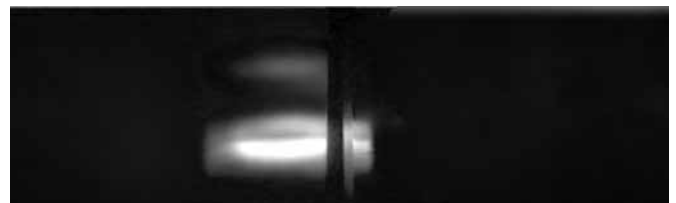
Die von einer Kamera abgebildeten Objekte sind Lichtquellen. (Sie reflektieren meist das Licht und strahlen nicht selbst.) Wir haben bei der experimentellen Demonstration der Lochkamera das Problem, dass diese Objekte oft zu lichtschwach sind, um die Abbildung auf einfachem Wege für unser Auge sichtbar zu machen, beziehungsweise gehört manchmal viel Phantasie dazu, die Abbildung des Gegenstandes auf dem Schirm zu erkennen. Hierfür können wir nun wieder die Lichtstärke der Dioden zu Hilfe nehmen.

Der untere Teil des Diodenspots wurde mit einer Holzplatte abgedeckt, als Schirm diente wieder eine weiße Wand. Die einzelnen Dioden dienen uns diesmal wieder zur Veranschaulichung der Leuchtpunkte. Man sieht, wie das Bild bei der Abbildung gespiegelt wird. Man kann Blenden mit verschiedenen Durchmessern verwenden und erhält davon abhängig Bilder mit verschiedener Schärfe und Helligkeit. Zum Schluss kann man schließlich auch eine Sammellinse verwenden.

Wiewohl das Bild im Vergleich zu Abbildung von lebensnäheren Gegenständen relativ unspektakulär wirkt, liegt die Stärke dieses Versuchs darin, dass das Modell der Leuchtpunkte quasi „direkt“ demonstriert wird.

Farbtemperatur: Warmes und kaltes Weiß

Ein weiterer Vorteil der LED-Spots ist, dass sie in verschiedenen Weißlichtabstufungen angeboten werden. Der Unterschied zwischen kaltem und warmem Licht ist geeignet, eine emotionale Beziehung der Schülerinnen und Schüler zu Lerninhalten der Physik allgemein herzustellen. (Es hat schließlich seinen Grund, warum romantische Abendessen bei Kerzenlicht stattfinden. Vorsicht: als „wärmer“ empfundene Lichtquellen haben keine höhere, sondern eine geringere Farbtemperatur.) Es kann vor allem ein Praxisbezug außerhalb des technischen Bereichs zur Fotografie (Weißabgleich! Viele Schüler haben schon Handys mit eingebauten Kameras, bei denen der Weißabgleich eingestellt werden kann.), zum Film und zur Architektur hergestellt werden. Hierbei kann auch thematisiert werden, dass die Farbe eines Körpers keine objektive Eigenschaft eines Körpers an sich ist, sondern immer in Bezug zur Lichtquelle gesetzt werden muss.



Bei obigen Abbildungen wurde eine Spaltblende abgebildet und das Licht mit Hilfe eines Prismas in seine Bestandteile zerlegt. Zur Beleuchtung diente jeweils der ganze Spot, der anstatt der üblichen Reuterlampen verwendet wurde. Man kann bei dem kälteren Licht einen größeren Blauanteil im Spektrum erkennen (untere Abbildung). Die Fotos zeigen allerdings kräftigere Farben, als man mit freiem Auge beobachten kann.

LED-Spots sind gut geeignet, die abstrakten Modelle der Lichtausbreitung relativ anschaulich zu thematisieren. Für den Unterrichtsalltag dürfte vor allem interessant sein, dass obige Versuche einen sehr geringen Zeit- und Materialaufwand bedeuten.