

Low Cost – High Tech: Der Autofokus als Freihandversuch

C. Keith, M. Müller, B. Eckert, H.-J. Jodl

(Fachbereich Physik, Technische Universität Kaiserslautern)

1 Einleitung

In ihrer Alltagswelt sind Schüler ständig mit technischen Anwendungen physikalischer Prinzipien konfrontiert. Moderne elektronische Geräte und neue Materialien sind fester Bestandteil der Erfahrungswelt und werden vielfältig und mit großer Selbstverständlichkeit benutzt wie zum Beispiel Digital- oder Handykameras. Ausgehend von diesem alltäglichen Umgang lassen sich derartige Alltagsgegenstände in der Schule aufgreifen, um die physikalischen Hintergründe zu vermitteln und so auch den Beliebtheitsgrad des Physikunterrichts zu stärken. Dies soll mit Hilfe moderner Freihandversuche geschehen. Ansatzpunkt dieser Freihandversuche ist das Prinzip „Low Cost – High Tech“, wobei besonderer Wert auf eine kostengünstige Realisierung, die Berücksichtigung der Alltags- und Erfahrungswelt der Lernenden, ein breiter methodischer Einsatzbereich, fächerübergreifende Aspekte und kostengünstige Realisierung gelegt wird, um physikalische Phänomene zu erschließen. Ziel ist es, den Lehrenden Material für die experimentell-methodische Aufbereitung in die Hand zu geben [1], [2].

In diesem Artikel sollen zuerst verschiedene Techniken des Autofokus kurz beschrieben und dann ein für den Physikunterricht geeigneter Versuch dargestellt werden (Versuchsanleitung siehe Kasten). Wir machen hiermit einen Vorschlag in Form einer Handreichung; die Umsetzung im Unterricht ist letztlich Sache des Lehrers, der Einsatz ist im Rahmen des normalen Unterrichts als Lehrerversuch, als Schülerexperiment oder als Projekt möglich.

2 Autofokus-Techniken

2.1 Entwicklung und Einsatz in der Praxis

Die erste Fotokamera mit Autofokus (AF) wurde bereits 1977 von der Firma Konica (heute Konica-Minolta) unter der Produktbezeichnung Konica C35AF auf den Markt gebracht [3]. Das eingebaute Autofokus-System wurde von der Firma Visiotronic entwickelt und arbeitete nach der im Folgenden beschriebenen Phasenvergleichsmethode. Der Autofokus erleichterte damit auch für ungeübte Fotografen die Handhabung ihrer Fotoapparate und machte zeitraubendes und unpräzises Einstellen der Schärfe per Hand und Augenmaß überflüssig.

Im Zuge der Einführung der digitalen Fotografie hat die Verbreitung von Kameras stark zugenommen. Auch bei den meisten Mobiltelefonen gehört eine eingebaute Kamera heutzutage zur Standardausstattung. Im Jahr 2002 überstiegen die Absatzzahlen von

Digitalkameras erstmals die Stückzahlen der herkömmlichen, analogen Kameras; heute liegt der Verkaufsanteil der Analogkameras unter einem Prozent [4], [5]. Fast alle Digitalkameras und seit 2005 vermehrt auch Handykameras sind mit einem Autofokus-System ausgerüstet.

Bei den Digitalkameras unterscheidet der Handel in der Regel zwischen Kompaktkameras, die mit einem fest eingebauten Objektiv ausgestattet sind, und den etwas teureren Spiegelreflexkameras, die über austauschbare Objektive verfügen. Auch wenn Kompaktkameras die höchsten Verkaufszahlen aufweisen (auch „Konsumer-Kameras“ genannt), erleben auch die digitalen Spiegelreflexkameras durch günstige Einstiegsangebote der Industrie und gezielte Werbekampagnen derzeit einen Aufschwung [6].

Durch die hohe Verbreitung von Digitalkameras hat der Alltagseinsatz der Fotografie allgemein stark zugenommen, so dass inzwischen jeder Schüler einen Zugang zu Autofokus-Kameras haben dürfte. Daher ist auch die Konfrontation mit Problemen, die sich aus der Notwendigkeit des richtigen Scharfstellens der Kamera und damit der optimalen Abbildung eines Motives ergeben, unvermeidlich. Es entsteht ein Bewusstsein dafür, unter welchen Umständen der Autofokus nicht richtig funktioniert (z. B. schwierige Lichtverhältnisse, Motiv mit wenig Kontrast) und so wird auch die Frage aufkommen, wie der Autofokus der Kamera eigentlich arbeitet.

2.2 Funktionsprinzipien

Wie so oft bei technischen Anwendungen lässt sich auch das Prinzip des Autofokus auf verschiedene Art und Weise realisieren. Es haben sich im Wesentlichen drei Verfahren herauskristallisiert, die sich im Praxiseinsatz bewährt haben, nämlich Phasenvergleich, Kontrastmessung und Laufzeitmethoden. Im Folgenden werden diese Verfahren kurz vorgestellt, mit Schwerpunkt auf dem Phasenvergleichsverfahren, das auch exemplarisch als Schulversuch ausgearbeitet ist. Gegenüber anderen Verfahren hat das Phasenvergleichsverfahren für die Lernenden einen besonderen Reiz, da es vermehrt in Kameras zu finden ist, hierfür ein spezieller Sensor verwendet wird und die technischen Abläufe nicht als reine Softwareanwendungen in der Kameraelektronik verborgen sind.

2.2.1 Phasenvergleich

Weitere Namen für dieses Verfahren sind Phasenkorrelation, Correfot, Visiotronic, Phasendetektion oder Phasenkontrastverfahren. Der aus historischen Gründen meist verwendete Namen „Phasenvergleich“ ist insofern verwirrend, als er auch für eine spezielle Methode zur Entfernungsmessung verwendet wird, allerdings ist das Funktionsprinzip dabei ein anderes. Das Phasenvergleichsverfahren ist das älteste Autofokus-Verfahren. Es handelt sich um eine Art Triangulationsverfahren.

Durch ein System von Spiegeln wird ein Teil des durch das Objektiv fallenden Lichtes in den Sensor, der sich im Boden der Kamera befindet, gelenkt (vgl. **Abb. 1**). Der Sensor wiederum enthält ein optisches System, das als Strahlteiler wirkt und wodurch zwei identische Abbildungen des zu fotografierenden Objektes entstehen. Beide Abbildungen liegen räumlich nebeneinander und haben einen identischen Intensitätsverlauf in Abhängigkeit vom Ort (vgl. **Abb. 2a**). Der Abstand dieser beiden Abbildungen zueinander wird verglichen. Bei einem unscharfen Bild ist der Abstand zu groß oder zu klein. Aus einer einzelnen Abstandsmessung lässt sich so die geeignete Position der fokussierenden Linse ermitteln. Werden aus der Intensitätsverteilung der beiden Abbildungen (in einer Raumrichtung) über ein bewegliches Bauteil mit einer Fotodiode zwei zeitlich veränderliche Spannungsimpulse erzeugt, so lässt sich deren Phase vergleichen, was zur Namensgebung führte (vgl. **Abb. 2b**). Über einen Motor wird die Linse im Objektiv dann so eingestellt, dass die Intensitätsverteilungen der beiden Abbildungen einen vordefinierten Abstand haben und damit eine scharfe Abbildung erreicht wird. **Abb. 3** stellt die verschiedenen Intensitätsverteilungen bei einer Positionsänderung der fokussierenden Linse, stellvertretend für das Linsensystem im Objektiv, dar. Die mittlere Lage zeigt die Situation bei optimaler Fokussierung. Die gestrichelte Linie stellt den Soll-Abstand bei optimaler Fokussierung dar.

Die Weiterentwicklung dieser Methode besteht darin, dass statt einer Fotodiode ein CCD-Sensor verwendet wird. **Abb. 4** zeigt ein solches Autofokus-System, bestehend aus einer Optik aus Kunststoff und einem CCD-Sensor, wie es in der Nikon-Kamera F 401 (gebaut ab 1987) eingebaut ist. Oft werden auch zwei Autofokus-Sensoren senkrecht bzw. kreuzförmig zueinander angeordnet, um eine Messung in zwei Dimensionen vornehmen zu können. Bei modernen Kameras werden mehrere solcher Sensoren verwendet, um wichtige Bereiche des zu fotografierenden Objektes abdecken zu können. Derzeit wird das Verfahren vor allem in digitalen Spiegelreflexkameras verwendet, da es große Geschwindigkeitsvorteile bietet und dort konstruktionsbedingt ohnehin ein zusätzliches Sensorbauteil erforderlich ist. Inzwischen verwenden aber immer mehr Hersteller einen sogenannten „Hybrid-Autofokus“, der eine Kombination aus Kontrastmessung und Phasenvergleich darstellt, für Kompaktkameras und auch für moderne Spiegelreflexkameras. In Zukunft werden vermutlich die meisten Kameras mit einer Kombination aus Phasen- und Kontrastmessung ausgestattet sein.

2.2.2 Kontrastmessung

Die Kontrastmessung wurde erstmals in Videokameras eingesetzt und heißt deshalb auch Video-Autofokus. Sie behilft sich eines rein mathematischen Bildverarbeitungsverfahrens, welches die Schärfe aufgrund mehrerer, mit dem Hauptchip der Kamera aufgenommener „Probefotos“, errechnet. Je schärfer das Bild, desto stärker ist der

Kontrast bzw. Helligkeitsunterschied zwischen benachbarten Bildpunkten. Dann wird der Gesamtkontrast über eine vordefinierte Bildfläche berechnet und durch Verstellen der fokussierenden Linse maximiert. Hierzu sind ein leistungsfähiger Prozessor und eine gewisse Zeitspanne für das Erstellen der Probefotos und Rechenvorgänge erforderlich. Da derartige Prozessoren meist ohnehin in Digitalkameras eingebaut sind und viele Konsumenten zurzeit noch größeren Wert auf hohe Pixelzahl und nicht auf Geschwindigkeit legen, ist die Kontrastmessung bei preisgünstigen Kompaktkameras am meisten verbreitet. Weitere Informationen zum Kontrastverfahren findet man z. B. unter [7].

2.2.3 Andere Verfahren

Weitere Verfahren sind die Entfernungsmessung durch Ultraschall oder Infrarotlicht. Beides sind reine Laufzeitmethoden, wobei ein entsprechender Impuls ausgesendet und das reflektierte Signal nach einer bestimmten Zeit von der Kamera empfangen wird. Es handelt sich also um aktive Verfahren, die allerdings heute in der Fotografie kaum mehr eingesetzt werden. Die Zuverlässigkeit der Laufzeitmessung ist außerdem stark eingeschränkt, da immer nur das nächste Objekt in einem relativ großen Raumwinkel gemessen wird. Größter Nachteil der Laufzeitmessung durch Ultraschall ist, dass sie nicht durch Glasscheiben etc. funktioniert.

Nicht zu verwechseln sind diese Verfahren mit dem „AF-Hilfslicht“, das nur zur Beleuchtung des Objekts verwendet wird, und so bei schwierigen Lichtverhältnissen den Kontrast und die Helligkeit für Kontrastmessung oder Phasenvergleich erhöht.

Tabelle 1: Vergleich verschiedener Autofokus-Verfahren

Verfahren	Phasenvergleich	Kontrastverfahren	Laufzeitmessung
Jahr der Einführung	1977	ca. 1985	1979
Geschwindigkeit	schnell	langsam	mittel
Kosten	zusätzliches Bauteil benötigt	günstig	zusätzliches Bauteil benötigt
Zuverlässigkeit¹	hoch	mittel	mittel
Präzision²	hoch	hoch	gering
Messfelder im Bild³	mehrere	mehrere	eines (mittig)

¹) Rate der scharfen Bilder auch unter schwierigen Bedingungen

²) Genauigkeit der Scharfstellung / Vermeidung von Restunschärfe

³) Anzahl der möglichen Sensoren / Messpunkte in der Kamera / über die Bildfläche verteilt

3 Versuchsanleitung

Die genaue Versuchsbeschreibung befindet sich im Kasten. Sie ist nach einem Standardschema aufgebaut und soll dem Lehrenden als Handreichung dienen (siehe [1]). Oben ist eine Kopfzeile angebracht, die einen schnellen Überblick ermöglichen soll.

Darin befinden sich Informationen zum Einsatzbereich, zur erforderlichen Vorbereitungs- und Durchführungszeit und zum Anforderungs- und Durchführungsniveau (klassifiziert in drei Stufen mit zunehmender Komplexität). In der Materialliste sind alle benötigten Mittel vollständig aufgeführt, mit denen der Versuch wie beschrieben durchführbar ist.

4 Einsatzmöglichkeiten im Unterricht und weitere Hinweise

Der Versuch eignet sich in der Sekundarstufe I vorwiegend als Demonstrationsexperiment zur ergänzenden Darstellung des Einsatzes von Linsensystemen in optischen Geräten und im Fotoapparat. In der Sekundarstufe II lässt sich der Versuch auch als Schülerversuch realisieren, wobei die Schüler auch selbst zum Thema recherchieren können. Leider erweist sich die Informationsbeschaffung bei den Herstellerfirmen als schwierig, da hier meist patentrechtliche Bedenken bestehen. Ergänzend besteht die Möglichkeit, defekte Kameras auseinander zu nehmen und zu untersuchen. Der Autofokussensor ist allerdings recht klein, und die Funktionsweise ist nicht direkt erkennbar. (vgl. **Abb. 4**)

Im Rahmen eines größeren Projektes zum Thema Fotografie kann auch der Komplex Autofokus angesprochen werden. Ein großer Vorteil von Digitalkameras ist die sofortige Anzeige des Fotos auf dem Display der Kamera. Daher können weitergehende Fragestellungen untersucht werden, wie zum Beispiel: Unter welchen Umständen funktioniert der Autofokus nicht richtig? Warum erscheint ein Foto auf dem Kameradisplay noch scharf, auf einem größeren Monitor aber nicht mehr? Welchen Einfluss hat die Kamerablende auf die Bildschärfe? Auch ein Ansprechen der Auflösungsproblematik (je höher die Auflösung des Kamerachips, desto besser das Foto?) und die Frage der Miniaturisierung (wie wirkt sich die Größe von Kamera, Objektiv und Sensoren auf die Qualität der Fotos und auf die Bildschärfe aus?) ist möglich. Auch auf Beugungsphänomene kann in diesem Zusammenhang eingegangen werden.

5 Fazit

Durch Low Cost – High Tech Freihandversuche lässt sich eine Verbindung zwischen den traditionellen Inhalten des Physikunterrichts und der Alltagswelt der Schüler herstellen. Die Versuche lassen sich kostengünstig realisieren durch in der Sammlung vorhandene Versuchsaufbauten, ergänzt durch selbst beschaffte und mit wenigen Handgriffen bearbeiteten Materialien. Durch die Beschäftigung mit neuen technischen Anwendungen kann das Interesse der Schüler für die physikalischen Hintergründe gestärkt und auf die Frage nach der Motivation im Physikunterricht kann eine lebensnahe Antwort gegeben werden.

Der Autofokus bietet eine neue alternative Möglichkeit zur Behandlung von Abbildungen, optischen Geräten und Linsensystemen im Rahmen des Themas Optik im Physikunterricht und den damit verbundenen Fragestellungen. Der Physikunterricht wird nicht vom technischen Fortschritt abgehängt und der Lehrende braucht nicht immer auf gängige Standardbeispiele zurück zu greifen.

Literatur

- [1] B. Eckert, W. Stetzenbach, H.-J. Jodl. Low Cost - High Tech: Freihandversuche Physik; Anregungen für einen zeitgemäßen Unterricht. Köln: Aulis-Verlag Deubner (2000).
- [2] C. Backes, B. Eckert, H.-J. Jodl K. Kunz, S. Scheffler, W. Stetzenbach, K. Weiss: Low Cost – High Tech - Moderne Freihandversuche für den Physikunterricht. Praxis der Naturwissenschaften – Physik 6/46 Jg. 1997.
- [3] Buchholz, A. S.: Autofokus. Internetdokument: <http://www.kefk.net/Fotografie/Technik/Fokussierung/Autofokus/index.asp> (abgerufen am 08.05.2008)
- [4] CIPA-Absatzzahlen: Digital stärker, analog schwächer als erwartet. Internetdokument: <http://www.photoscala.de/node/2687> (abgerufen am 11.06.2008)
- [5] 100 Millionen Digitalkameras und 0,7 Millionen Analogkameras. Internetdokument: <http://www.photoscala.de/Artikel/100-Millionen-Digitalkameras-und-07-Millionen-Analogkameras> (abgerufen am 11.06.2008)
- [6] Kremp, Matthias: Digitale Meisterstücke. Internetdokument: <http://www.managermagazin.de/it/artikel/0,2828,439117,00.html> (abgerufen am 10.06.2008)
- [7] Burkhardt H., Utcke, S., Institut für Informatik der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg: Praktikumsversuch Autofokus (1999). Internetdokument: <http://tams-www.informatik.uni-hamburg.de/lectures/2003ss/projekt/echtzeitBV/doc/autofokus.pdf> (abgerufen am 08.05.2008)

Abbildungen:

Abb. 1: Schema-Skizze Aufbau einer Spiegelreflex-Kamera
(Ausführung kann je nach Hersteller differieren)

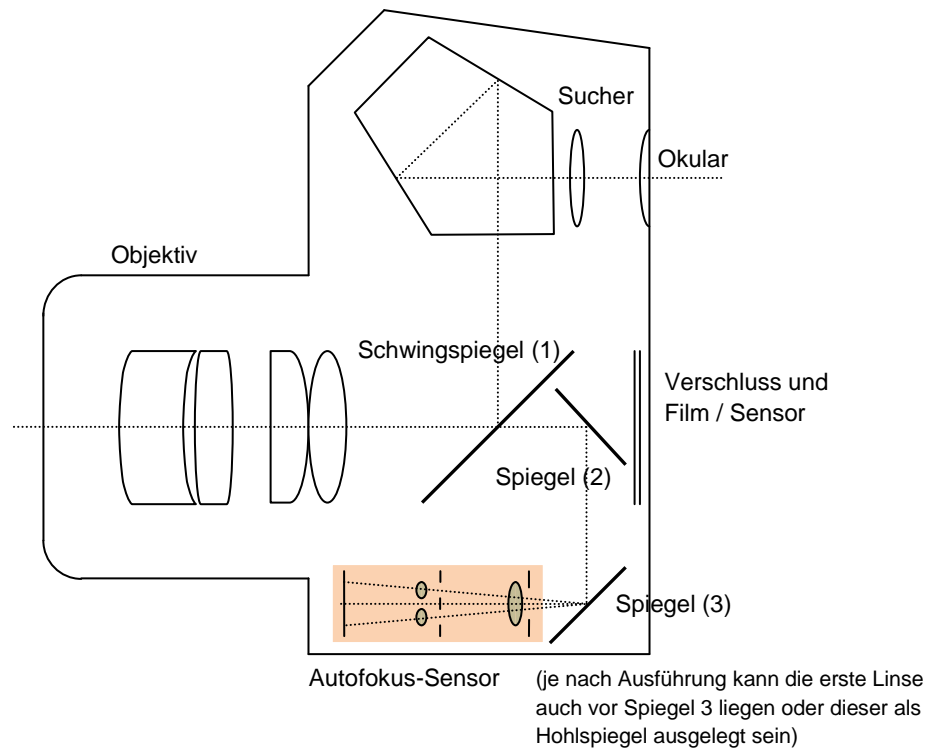
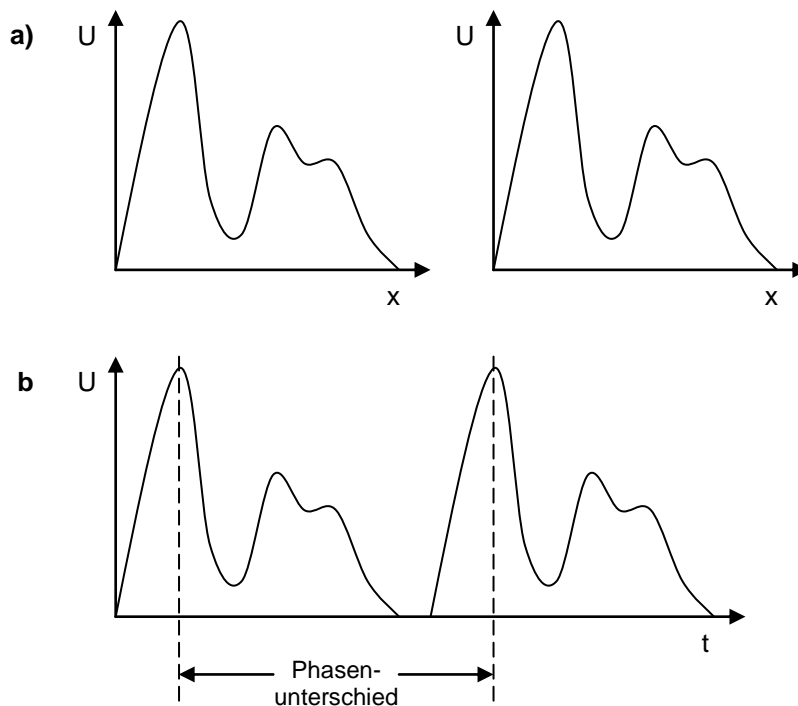


Abb. 2: Intensitätsverlauf eines Bildes, dargestellt anhand der Spannung in Abhängigkeit vom Ort bzw. Zeit (vgl. Erläuterungen im Text)



Kasten (Versuchsbeschreibung):

Autofokus: Phasenvergleichsverfahren

Klassenstufe	Oberthemen	Unterthemen	Anforderungsniveau	Durchführungsniveau	Vorlauf Vorbereitung Durchführung
SI/SII	Optik	Brechung, Abbildung, Linsengesetz	•••	■	einige Stunden ca. 1 Stunde ca. 15 min.

Anhand eines Modells wird die Funktionsweise des Autofokus-Sensors nach dem Phasenvergleichsverfahren demonstriert.

Materialien

- optische Bank
- 2 Sammellinsen $f = 150\text{ mm}$, $\varnothing = 10\text{ cm}$ (L1, L2)
- 2 Sammellinsen $f = 150\text{ mm}$, $\varnothing = 5\text{ cm}$ (L3, L4)
- 1 Blende mit 2 Löchern Radius = 2,5 cm, Mittenabstand 6 cm und passender Schraubenöffnung zur Montage siehe Abb. 3 und 4
- 1 Blende mit Loch $\varnothing = 10\text{ cm}$
- 5 Optikreiter
- Schirm
- Stativmaterial
- Befestigungsmaterial / Halter
- Leuchtstoffröhre u. a. Beispielobjekte

Abb. 1: Skizze des Aufbaus (von oben)

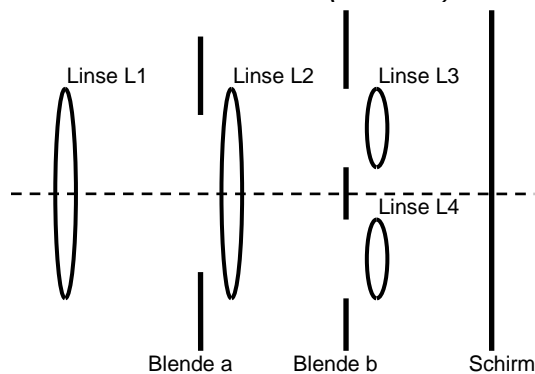


Abb. 2: Aufbau des Modells

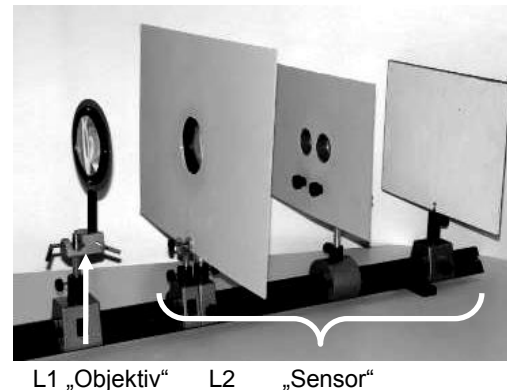


Abb. 3: Blende b (von vorne)

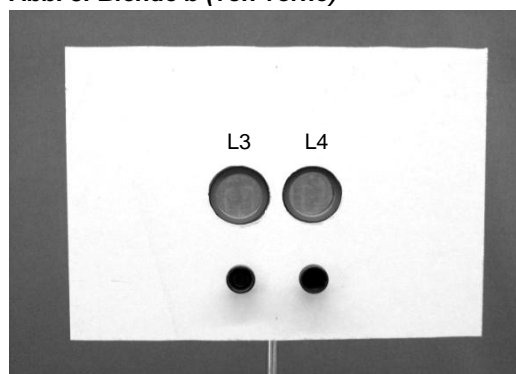


Abb. 4: Blende b mit Linsen (von hinten)



Vorbereitung

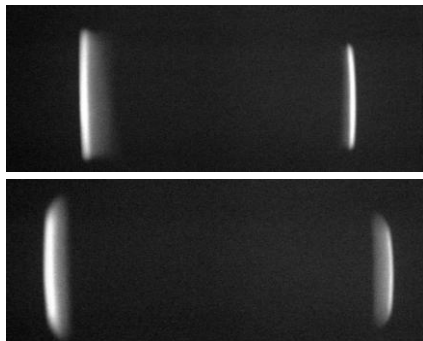
Der Aufbau erfolgt gemäß Abb. 1 und 2. Die erste Linse L1 stellt das Objektiv dar und kann, wie die fokussierende Linse des Kameraobjektivs, auf der optischen Bank verschoben werden. Die Reiter für das Sensormodell sind fest montiert. Für den Aufbau des Modells sind die im Bild gezeigten Blenden erforderlich. Die Blenden für die Autofokus-Sensorlinsen L2 - L4 können aus

Pappe, Presspappe oder Sperrholz ausgeschnitten werden. Die Befestigung und Justierung erfolgt mittels diverser Halter. Die Blenden a und b werden jeweils auf Reitern vor den Linsen montiert. Blende b wird durch die vorgebohrten Löcher mittels Schrauben an den Muffen der Linsenhalter befestigt (siehe Abb. 3 und 4). Als Objekt wird zuerst eine im Abstand von ca. 4 m senkrecht montierte Leuchtstoffröhre verwendet.

Durchführung und Beobachtung

Zu Beginn klebt man vor Blende a ein Blatt weißes Papier und bildet durch Verschieben der Linse L1 ein beliebiges Objekt scharf auf ihm ab. Nach dem Entfernen des Papiers sieht man

Abb. 5: Bilder auf dem Schirm



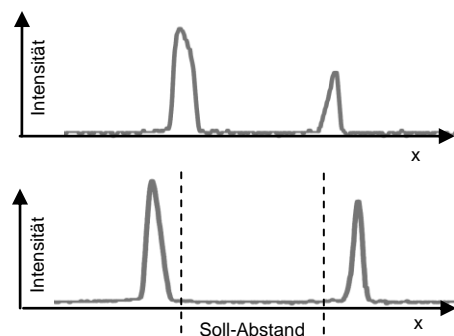
auf dem Schirm zwei Abbildungen des Objektes. Der Abstand der beiden Abbildungen wird auf dem Schirm markiert. Dies stellt den Soll-Abstand für die richtige Position der fokussierenden Linse dar (vgl. Abb. 5 oben). Wichtig: Für die Einstellung der fokussierenden Linse kommt es nur auf den Abstand der beiden Abbildungen auf dem Schirm an, nicht auf deren Schärfe! Wird die Linse L1 nun in beide Richtungen auf der optischen Bank verschoben, so kann man deutlich sehen, wie sich der Abstand der beiden Abbildungen auf dem Schirm verändert. Ist der Abstand zu groß, so liegt der Fokus hinter der Bildebene und die Linse L1 muss nach

außen (vorne) verschoben werden (vgl. Abb. 5 unten) und umgekehrt. Man kann bereits durch die Abweichung vom Soll-Abstand ermitteln, um welchen Betrag und in welche Richtung die fokussierende Linse verschoben werden muss.

Tipps

Es wird empfohlen, den Versuchsaufbau auf einem fahrbaren Tisch zu montieren, damit es leichter fällt, verschiedene Objekte aufzunehmen. Man kann mit künstlichen Objekten bzw. Lichtquellen einfacher Geometrie beginnen (hier: Leuchtstoffröhre, siehe Abb. 5) und dann auch Abbildungen von natürlich beleuchteten Objekten (Fenster, Gebäude, Landschaften etc.) und in unterschiedlicher Entfernung untersuchen.

Abb. 6: Intensitätsverteilung zu Abb. 5



Variation

Statt der optischen Abbildung auf den Schirm kann auch ein Fototransistor (hier: BPX 43) verwendet und die Spannung in Abhängigkeit von der (horizontalen) Position graphisch aufgezeichnet werden (einzelne Wertepaare per Hand oder mit Computer-Interface). Anhand der Messkurve lassen sich die Abstände der Bilder und deren Veränderung ablesen und quantitativ erfassen (Abb. 6). Je besser die Linsen hierbei justiert sind, desto gleichmäßiger sind die Intensitätsmaxima. Auch bei komplexen Objekten wiederholt sich der gleiche Intensitätsverlauf.

Methodische Hinweise

Der Versuch eignet sich in der Sekundarstufe I vorwiegend als Demonstrationsexperiment zur ergänzenden Darstellung des Einsatzes von Linsensystemen in optischen Geräten und im Fotoapparat. In der Sekundarstufe II und im Rahmen eines Schülerprojektes (zum Beispiel unter dem Projektthema Fotografie) kann der Versuch auch als Schülerversuch realisiert werden. Die Schüleraktivitäten erstrecken sich dabei von der Informationsbeschaffung über den Aufbau des Modells bis hin zur Aufnahme einer Messkurve.

Kurzfassung:**Low Cost – High Tech: Der Autofokus als Freihandversuch**

C. Keith, M. Müller, B. Eckert, H.-J. Jodl

In dem Artikel wird dargestellt, wie sich die Technik eines Autofokus-Sensors im Schulunterricht durch ein kostengünstiges Experiment demonstrieren lässt. Zuerst werden die Funktionsweisen der unterschiedlichen Techniken kurz erklärt. Exemplarisch wird dann ein einfach zu realisierendes Verfahren in Form eines konkreten Modells für den Schulunterricht aufgearbeitet. Zudem erhält der Leser als Handreichung eine Versuchsanleitung, in der praktische Tipps zur Umsetzung des Versuchs für den Schulunterricht gegeben werden.

Anschrift:

Fachbereich Physik

Technische Universität Kaiserslautern

Erwin-Schrödinger-Str.

67663 Kaiserslautern