

## Spalt oder nicht Spalt: Wie bekommt man eine scharfe Abbildung?

Monika Maintz

Dass Kameras mit Objektiven ausgestattet sind, um Gegenstände auf einem Film oder dem Chip einer Digitalkamera scharf abzubilden, weiß jeder, der schon einmal fotografiert hat. Objektive bestehen in der Regel aus mehreren hintereinander angeordneten Linsen. Warum solche Fokussierungssysteme unbedingt notwendig sind, um scharfe Abbildungen zu erhalten, sollen sich die Schüler durch ein Experiment erschließen. Dazu [basteln sie eine Lochkamera](#) mit zwei „Objektiven“ und betrachten damit verschiedene Gegenstände. In Wirklichkeit handelt es sich bei den „Objektiven“ um Blenden mit unterschiedlich großen Öffnungen. Dadurch gelangen einmal viele und einmal sehr wenige Lichtstrahlen auf den Schirm der Lochkamera. Wie sich die Qualität der Abbildung durch die Verwendung der unterschiedlichen Blendenöffnungen verändert, sollen [die Schüler beobachten und beschreiben](#). Mit Hilfe ihrer dabei gewonnenen Erkenntnisse sollen sie überlegen, wie eine Abbildung mittels einer Lochkamera prinzipiell zustande kommt und wie sich die Abbildungsqualität der Lochkamera bzw. die Schärfe der damit erzielten Abbildung optimieren lässt ([Arbeitsblatt](#)). Die Aufgabe soll Sachverhalte aus dem Bereich der Optik erfahrbar machen und die Schüler dazu motivieren, selbst zu experimentieren. Sie kann als Einstieg in das Thema Optik verwendet werden.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Astropraxis	Fotografie
Physik	Optik	<a href="#">Lochkamera</a> , <a href="#">optische Abbildung</a> , <a href="#">Lichtstrahlen</a>
Lehre allgemein	Kompetenzen (Wissen und Erkenntnis), Unterrichtsmittel	<a href="#">Experimentieren</a> , <a href="#">Beobachten</a> , <a href="#">Beschreiben</a> , <a href="#">Erklären</a> , <a href="#">Arbeitsblatt</a> , <a href="#">Bauanleitung</a>



Abbildung 1: Scharf oder unscharf: Ob ein Objekt wie eine Rose beim Fotografieren scharf abgebildet wird (rechtes Bild), hängt davon ab, ob die Lichtstrahlen, die von den einzelnen Stellen des Objekts ausgehen, beim Durchgang durch die Kamera möglichst gut gebündelt werden. Dazu verwendet man Linsensysteme. Eine andere Möglichkeit besteht darin, mit Hilfe einer sehr kleinen Blendenöffnung nur wenige Lichtstrahlen in die Kamera gelangen zu lassen. Die wenigen Lichtstrahlen treffen nur auf einem kleinen Bereich des Filmmaterials oder des Chips einer Digitalkamera auf. Auch auf diese Weise kann man einigermaßen scharfe Abbildungen erzielen. (Bilder: Monika Maintz).



**Abbildung 2:** Einzelne Teile, aus denen die Lochkamera zusammengebaut wird: Links: In zwei Teile geschnittenes Innenrohr (hinten) und Außenrohr (vorne). Rechts: Das Butterbrotpapier, das eines der beiden Teilrohre des Innenrohrs verschließt, dient als Schirm, auf dem die zu beobachtenden Gegenstände abgebildet werden. (Bilder: Monika Maintz)

### Wie bekommt man eine scharfe Abbildung?

Kameras, die man zum Fotografieren oder Filmen verwendet, sind mit Linsensystemen ausgestattet. Die Linsen dienen als Fokussierungseinrichtung und bündeln das Licht. Dadurch wird es möglich, Gegenstände scharf abzubilden. Nun stellt sich die Frage: Kann man scharfe Abbildungen auch ohne fokussierende Linsensysteme erhalten? Was muss passieren, damit eine Abbildung scharf wird? Um diese Frage zu klären, machen wir ein Experiment mit einer Lochkamera. Dabei betrachten wir verschiedene Gegenstände durch verschieden große Blendenöffnungen, die wie Kameraobjektive in das vordere Ende der Lochkamera gesteckt werden.

#### 1.) Bau einer Lochkamera mit verschiedenen Blenden („Objektiven“): [\(→zurück zum Anfang\)](#)

##### Materialien:

Lange Papprolle (Innenleben einer Rolle für Haushaltstücher)  
Kurze Papprolle (Innenleben einer Toilettenpapierrolle)  
Großes und kleinere Stücke von weichem, biegsamem Karton  
Butterbrotpapier  
Cutter-Messer oder scharfes Küchenmesser und Schere  
Klebeband  
Klebstoff  
Nadel

##### Bauanleitung:

Lege den weichen, biegsamen Karton so um die lange Papprolle, dass eine zweite im Durchmesser etwas größere Papprolle entsteht. Klebe den Karton mit Klebeband zu einem Papprohr zusammen (Abb. 2, links, vorne). Achte darauf, dass das so entstandene Papprohr nicht zu fest anliegt, sondern sich noch gut verschieben lässt. Schiebe die lange Papprolle aus dem gerade gebastelten Außenrohr hinaus.

Schneide die lange Papprolle mit dem Cutter-Messer oder einem scharfen Küchenmesser etwa in der Mitte auseinander, so dass zwei einigermaßen gleichlange Teile entstehen (Abb. 2, links, hinten).



**Abbildung 3:** Links: „Objektive“ für die Lochkamera mit unterschiedlichen Blendenöffnungen. Rechts: Einzelteile der Lochkamera: Papprohr mit eingebautem Projektionsschirm und „Objektive“. (Bilder: Monika Maintz)

Nehme ein Stück Butterbrotpapier und verschließe damit ein Ende der einen der beiden Teilrollen des Innenrohrs (Abb. 2, rechts). Schiebe die beiden Teilrollen von den verschiedenen Seiten in das Außenrohr. Achte darauf, dass das Butterbrotpapier möglichst straff über das eine Teilrohr gespannt wird. Das Butterbrotpapier dient als Projektionsschirm. (Anstelle des Butterbrotpapiers könnte man auch einen Fotofilm oder einen Kamerachip verwenden, um Gegenstände abzubilden.) Das auf dem Projektionsschirm entstehende Bild wird später mit dem Auge vom anderen Ende der Lochkamera aus beobachtet.

Um die als Objektive dienenden Blenden zu bauen, schneide die Toilettenpapierrolle mit dem Cutter-Messer oder dem scharfen Küchenmesser in zwei Teile. Schneide zwei rechteckige Stücke Karton zurecht. Diese müssen etwas größer als der Durchmesser der Toilettenpapierrolle sein. Schneide in der Mitte des einen Kartonstücks ein etwa 5 Millimeter großes Loch heraus. Mache in die Mitte des anderen Kartonstücks ein kleines Loch mit einer Nadel. Klebe je eines der Kartonstücke auf jeweils ein Ende eines der beiden Teile der Toilettenpapierrolle, so dass eine Seite jeweils verschlossen ist (Abb. 3, links). Die beiden „Objektive“ kann man nun vorsichtig in ein Ende des zuvor gebastelten Papprohrs schieben und die Lochkamera ist fertig (Abb. 3, rechts).

## 2.) Beobachten mit einer Lochkamera

### Geeignete Gegenstände für die Beobachtung:

Leuchtstarke Taschenlampen (z.B. Stirnlampen mit LEDs)  
Glühlampen mit strukturierten Lampenschirmen aus Glas  
Kerzenflamme

Da besonders durch das mit der Nadel hergestellte Loch sehr wenig Licht gelangt, eignen sich für die Beobachtung vor allem solche Objekte, die selbst leuchten. Nur dann wird die Abbildung auf dem Butterbrotpapier-Projektionsschirm so hell, dass man sie mit dem bloßen Auge gut erkennen kann.

**Abbildung 4:** Zum Beobachten eignen sich besonders gut Lampen mit Glühlampen oder LEDs sowie Kerzenflammen. (Bild: Monika Maintz)



**Aufgaben:**

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

1.) Beobachte verschiedene Gegenstände (Lampen und Kerzenflamme) mit der Lochkamera. Beschreibe das, was du siehst, und zeichne es auf.

1.1) Schaue dir die Gegenstände zuerst ohne „Objektiv“ an. Richte dazu ein Ende der Lochkamera auf den Gegenstand und betrachte vom anderen Ende der Lochkamera aus die Abbildung, die auf dem Projektionsschirm im Innern der Kamera entsteht.

1.2) Stecke nun das „Objektiv“ mit der großen Öffnung auf ein Ende der Kamera und wiederhole die Beobachtung, wie unter 1.1) beschrieben.

1.3) Stecke nun das „Objektiv“ mit der kleinen Öffnung auf ein Ende der Kamera und wiederhole die Beobachtung, wie unter 1.1) beschrieben.

1.4) Wie werden die Gegenstände abgebildet? (D.h. wo wird der obere, untere, linke bzw. rechte Rand des Gegenstands auf dem Projektionsschirm abgebildet?) Zur Beantwortung dieser Frage eignet sich besonders gut die Beobachtung einer Kerzenflamme.

2.) Überlege, wie die Abbildungen, die du mit und ohne „Objektive“ beobachtet hast, zustande kommen. Verwende dazu das Arbeitsblatt und beantworte folgende Fragen:

2.1) Welchen Weg nehmen die Lichtstrahlen, die von den Punkten 1, 2 und 3 (siehe Arbeitsblatt) eines Gegenstands ausgehen, wenn sie durch die Eintrittsöffnung der Lochkamera fallen und schließlich auf dem Projektionsschirm auftreffen? Zeichne den Weg der Lichtstrahlen auf. Verwende dazu das Arbeitsblatt.

2.2) Was lässt sich über die Größe des Bereichs auf dem Projektionsschirm sagen, auf dem die Lichtstrahlen, die von den Punkten 1, 2, und 3 ausgehen, jeweils auftreffen, wenn man zur Beobachtung a) kein „Objektiv“ verwendet, b) das „Objektiv“ mit großer Öffnung verwendet, c) das „Objektiv“ mit kleiner Öffnung verwendet?

2.3) Wie verändert sich die Abbildungsqualität der Lochkamera, wenn man zur Beobachtung a) kein „Objektiv“ verwendet, b) das „Objektiv“ mit großer Öffnung verwendet, c) das „Objektiv“ mit kleiner Öffnung verwendet?

2.4) Warum ändert sich die Abbildungsqualität?

2.5) Was passiert mit der Helligkeit des beobachteten Bildes? Wodurch kommt dieser Effekt zustande?

2.6) Was müsste man tun, um die Abbildungsqualität einer Lochkamera hinsichtlich der Bildschärfe zu optimieren, um eine wirklich scharfe Abbildung zu erreichen?

**Weiterführende Fragestellung:**

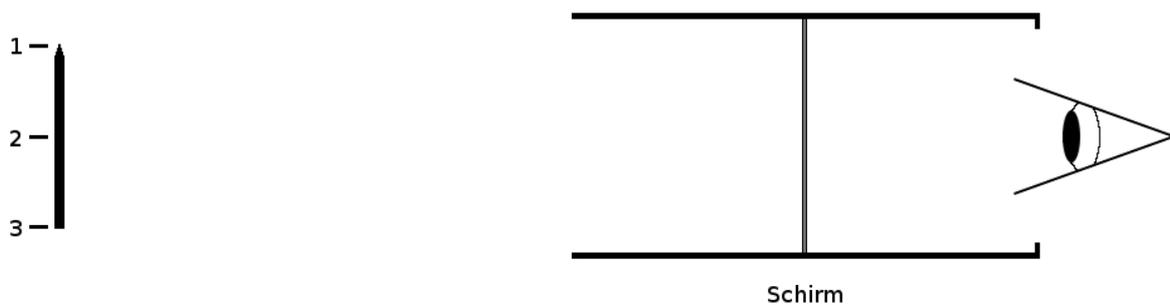
Warum ist eine Kamera, die mit einem Objektiv aus Glaslinsen ausgestattet ist, einer Lochkamera in Bezug auf die Abbildungsqualität und die Bildhelligkeit weit überlegen?

## Arbeitsblatt

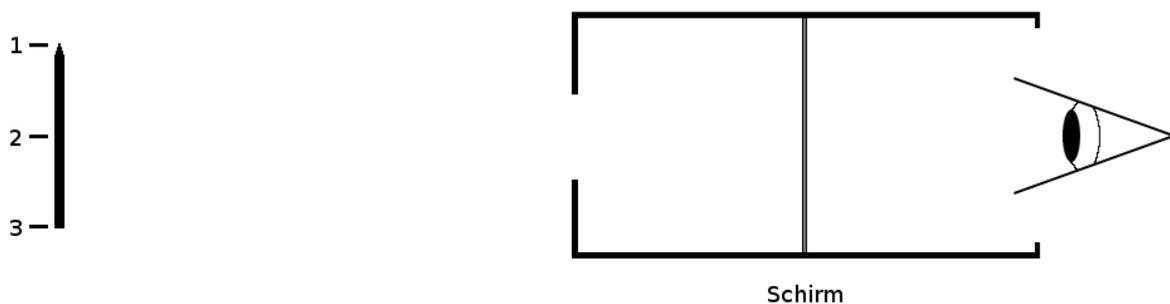
[\(→zurück zum Anfang\)](#)

Zeichne den Weg auf, den Lichtstrahlen zurücklegen müssen, bevor sie auf dem Projektionsschirm einer Lochkamera auftreffen. Betrachte dazu die Lichtstrahlen, die von den Punkten 1, 2 und 3 eines Gegenstands ausgehen:

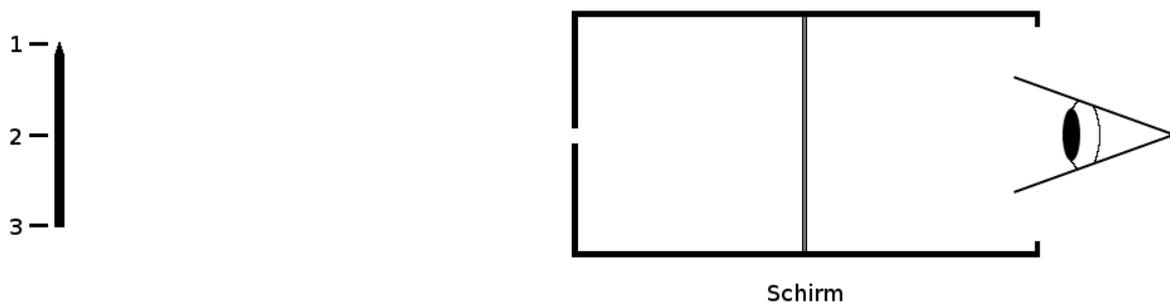
a) Lochkamera ohne „Objektiv“



b) Lochkamera mit „Objektiv“ mit großer Öffnung



c) Lochkamera mit „Objektiv“ mit kleiner Öffnung



## Lösungen

Lösungen für Aufgabe 1 werden anhand der Beobachtung zweier in Abbildung 4 gezeigter Gegenstände demonstriert:

Gegenstand 1: Stirnlampe mit zwei nebeneinander liegenden LEDs

Gegenstand 2: Lampe mit Glühbirne und strukturiertem Lampenschirm aus Glas

### Lösung für Aufgabe 1.1:

Wenn man die Gegenstände 1 bis 3 ohne „Objektiv“ betrachtet, ist der Projektionsschirm vollständig ausgeleuchtet (Abb. 5). Offensichtlich kommt *keine* Abbildung zustande.



Abbildung 5: Betrachtet man Gegenstände mit einer Lochkamera, ohne dass man die dem Gegenstand zugewandte Seite der Kamera mit einem „Objektiv“ zumindest teilweise verschließt, so wird der Projektionsschirm vollständig ausgeleuchtet. Der Schirm ist gleichmäßig hell. Eine Abbildung ist nicht erkennbar. Links: Beobachtungsergebnis für eine Stirnlampe mit zwei nebeneinander liegenden LEDs. Rechts: Beobachtungsergebnis für eine Lampe mit Glühbirne und strukturiertem Lampenschirm. (Bilder: Monika Maintz)

### Lösung für Aufgabe 1.2:

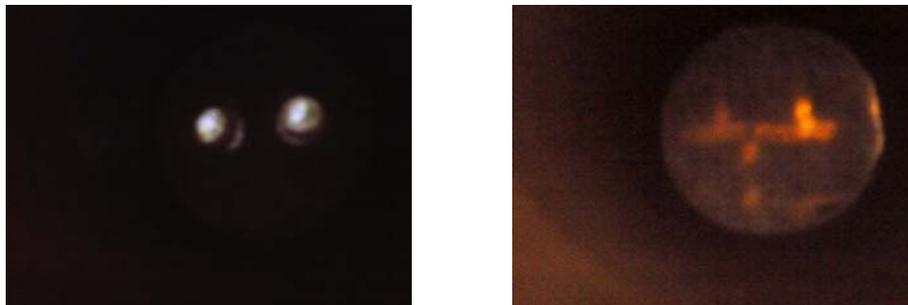
Wenn man die Gegenstände 1 bis 3 mit dem „Objektiv“ mit großer Öffnung betrachtet, entsteht eine Abbildung. Sie ist jedoch sehr unscharf (Abb. 6).



Abbildung 6: Wenn die Lichtstrahlen erst eine Blende mit großem Loch passieren müssen („Objektiv“ mit großer Öffnung), bevor sie in eine Lochkamera gelangen, kommt eine Abbildung zustande. Sie ist jedoch sehr unscharf. Links: Die beiden LEDs einer Stirnlampe werden als große, unscharfe Flecken abgebildet. Rechts: Bei einer Lampe mit Glühbirne und strukturiertem Lampenschirm aus Glas wird der Projektionsschirm zwar großflächig, aber nur ungleichmäßig ausgeleuchtet. Das lässt erahnen, dass der Lampenschirm Strukturen haben muss. (Bilder: Monika Maintz)

### Lösung für Aufgabe 1.3:

Betrachtet man die Gegenstände 1 bis 3 mit dem „Objektiv“ mit kleiner Öffnung, so erhält man eine Abbildung, die vergleichsweise scharf ist (Abb. 7).



**Abbildung 7:** Wenn die Lichtstrahlen erst eine Blende mit einem kleinen Loch passieren müssen („Objektiv“ mit kleiner Öffnung), bevor sie in eine Lochkamera gelangen, dann entsteht eine relativ scharfe Abbildung. Links: Die beiden nebeneinander liegenden LEDs einer Stirnlampe werden als klar getrennte Flecken abgebildet. Weitere Strukturen sind deutlich zu erkennen. Rechts: Die Strukturen auf dem Lampenschirm der Lampe mit Glühbirne sind zwar sehr dunkel, treten aber klar hervor. (Bilder: Monika Maintz)

### Lösung für Aufgabe 1.4:

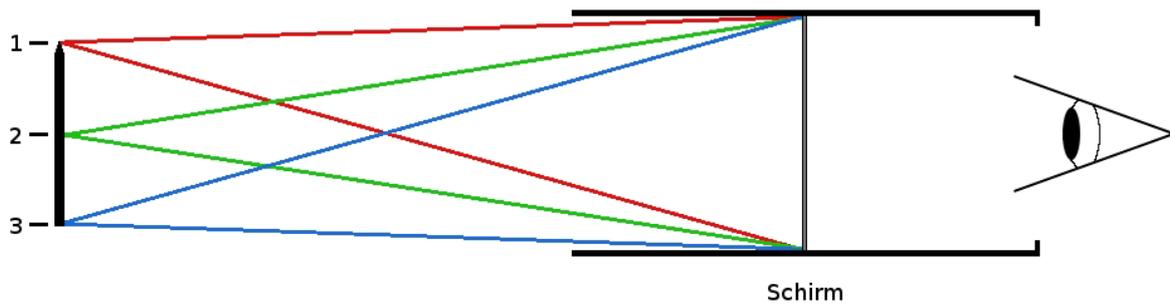
Gegenstände, die man mit einer Lochkamera betrachtet, werden prinzipiell kopfstehend und seitenverkehrt abgebildet. Das lässt sich besonders gut an eine Kerzenflamme beobachten, da man sehr gut weiß, wie eine Kerzenflamme aussehen muss, wenn man sie direkt ansieht. Man erkennt es aber auch daran, dass sich das Bild auf dem Projektionsschirm nach rechts bewegt, wenn man die Lochkamera nach links schwenkt und umgekehrt. Analog dazu wandert die Abbildung auf dem Schirm nach oben, wenn man die Kamera nach unten bewegt und umgekehrt.

Lösung für Aufgabe 2.1:

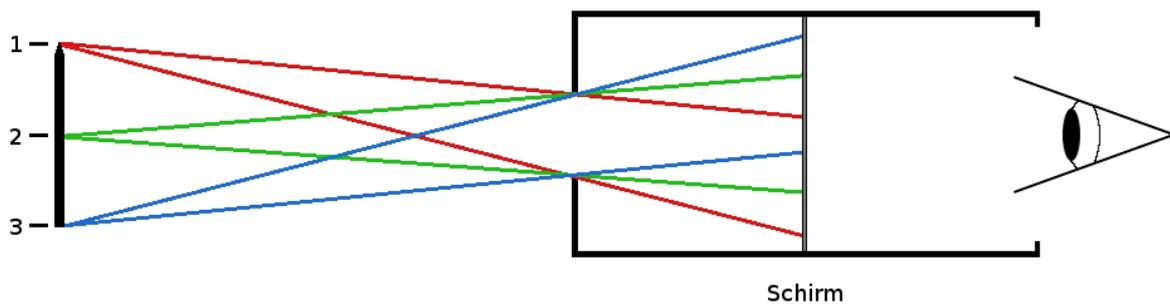
Die Lichtstrahlen, die von den Punkten 1 (rot), 2 (grün) und 3 (blau) eines Gegenstands (z.B. ein stehender Bleistift) ausgehen, müssen folgende Wege zurücklegen, um auf den Projektionsschirm der Lochkamera zu gelangen (Bilder: Monika Maintz):

a) Lochkamera ohne „Objektiv“

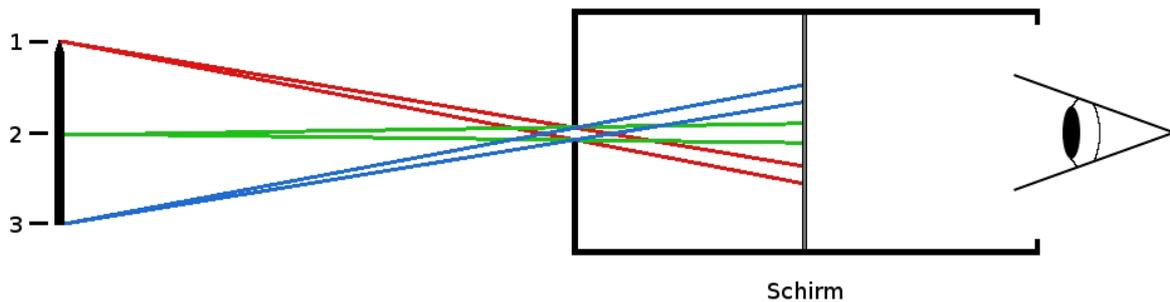
[\(→zurück zum Anfang\)](#)



b) Lochkamera mit „Objektiv“ mit großer Öffnung



c) Lochkamera mit „Objektiv“ mit kleiner Öffnung



### Lösung für Aufgabe 2.2:

Mit Hilfe der Überlegungen zu Aufgabe 2.1 lassen sich die Antworten zu diese Aufgabe leicht herleiten:

- a) Wenn man ohne „Objektiv“ beobachtet, gelangen die Lichtstrahlen, die von den Punkten 1, 2 und 3 ausgehen, jeweils auf alle Stellen des Projektionsschirms. (Der Schirm wird folglich durch das von einem einzigen Punkt kommende Licht bereits vollständig ausgeleuchtet.) Daher überlagern sich alle Strahlen, die in die Lochkamera hinein gelangen und auf dem Schirm auftreffen.
- b) Verwendet man zur Beobachtung ein „Objektiv“ mit großer Öffnung, werden etliche Lichtstrahlen an der Eintrittsöffnung der Lochkamera abgeblockt. Nur noch ein Teil der Strahlen kann ins Innere der Kamera gelangen. Die Lichtstrahlen, die von einem der Punkte 1, 2 oder 3 ausgehen, können den Projektionsschirm nun nicht mehr komplett ausleuchten. Sie treffen aber jeweils in einem großen Bereich auf dem Projektionsschirm auf. Daher überlagern sie sich noch teilweise.
- c) Verwendet man zur Beobachtung ein „Objektiv“ mit kleiner Öffnung, so werden noch mehr Lichtstrahlen an der Eintrittsöffnung der Lochkamera abgeblockt. Insgesamt gelangen nur sehr wenige Strahlen ins Innere der Kamera. Die Lichtstrahlen, die von einem der Punkte 1, 2 oder 3 des Gegenstands kommen, verteilen sich jeweils nur noch über einen kleinen Bereich auf dem Projektionsschirm. Die Strahlen, die von diesen drei Punkten ausgehen, überlagern sich nun nicht mehr.

### Lösung für Aufgabe 2.3:

Bei der Beobachtung ohne „Objektiv“ kommt keine Abbildung zustande. Bei Verwendung des „Objektivs“ mit großer Öffnung entsteht zwar eine Abbildung, diese ist jedoch sehr unscharf. Bei Verwendung des „Objektivs“ mit kleiner Öffnung entsteht hingegen eine relativ scharfe Abbildung. Daraus lässt sich schließen, dass eine Lochkamera einen Gegenstand immer schärfer abbildet, je kleiner die Eintrittsöffnung ist, durch die die Lichtstrahlen in das Innere der Kamera gelangen. Die Abbildungsqualität der Lochkamera nimmt folglich zu, wenn man „Objektive“ mit immer kleineren Löchern verwendet.

### Lösung für Aufgabe 2.4:

Die Abbildungsqualität der Lochkamera ändert sich, weil sich durch die Verwendung verschiedener „Objektive“ die Größe der Eintrittsöffnung der Kamera verändert. Wenn die Eintrittsöffnung immer kleiner wird, gelangen immer weniger Lichtstrahlen von einem bestimmten Punkt des Gegenstands in die Kamera hinein. Diese Strahlen kommen zwangsläufig aus einem immer kleineren Winkelbereich. Deshalb werden sie auch in einem immer kleineren Bereich auf dem Projektionsschirm abgebildet. Aus diesem Grund werden die Abbildungen schärfer.

### Lösung für Aufgabe 2.5:

Wenn die Eintrittsöffnung der Kamera kleiner wird, gelangt insgesamt weniger Licht auf den Projektionsschirm. Dadurch werden die Abbildungen zwar schärfer, die Bilder werden dagegen immer dunkler. Mit zunehmender Bildschärfe nimmt also die Bildhelligkeit ab.

### Lösung für Aufgabe 2.6:

Um mit einer Lochkamera eine wirklich scharfe Abbildung zu erzielen, müsste man jeden Punkt des Gegenstands möglichst als Punkt auf dem Projektionsschirm abbilden. Dazu müsste man die Eintrittsöffnung der Kamera so klein machen, dass von jedem Punkt des Gegenstands jeweils nur ein Lichtstrahl in die Kamera hinein gelangt und auf dem Schirm abgebildet wird. Denn sobald mehrere von einem Punkt kommende Strahlen auf den Projektionsschirm auftreffen, wird der Punkt zwangsläufig als Fleckchen abgebildet.

### Lösung für die weiterführende Fragestellung:

Eine Kamera, die mit einem Objektiv aus Glaslinsen ausgestattet ist, kann die von einem bestimmten Punkt eines Gegenstands in verschiedene Richtungen ausgesandten Lichtstrahlen in einem Brennpunkt fokussieren. Dadurch werden alle Strahlen auf denselben Punkt eines Projektionsschirms abgebildet. Die Lichtstrahlen verschmieren nicht über einen größeren Bereich wie bei der Lochkamera. Daher erhält man eine scharfe Abbildung. Da auf diese Weise auch sehr viel Licht für die Abbildung genutzt werden kann, ist das entstehende Bild im Vergleich zu Abbildung mit einer Lochkamera sehr hell. Aus diesen Gründen ist eine Kamera mit einem Linsenobjektiv einer Lochkamera auch mit noch so kleiner Eintrittsöffnung in puncto Abbildungsqualität immer überlegen.

### **Weiterführende Materialien und Ergänzungsvorschläge:**

Als Ergänzung zu dieser WIS-Aufgabe eignen sich folgende WIS-Materialien:

1) Vertiefung des Themas „Lochkamera“:

Fotografieren mit einer Lochkamera: [www.wissenschaft-schulen.de/artikel/894088](http://www.wissenschaft-schulen.de/artikel/894088)

2) Anwendungsbeispiel zum Thema Spektroskopie, das in diesem WIS-Beitrag nicht zur Sprache gekommene Aspekte des zugrunde liegenden SuW-Artikels behandelt:

Bestimmung von Sternparametern mit Hilfe von Sternspektren (Massenbestimmung eines Doppelsternsystems): [www.wissenschaft-schulen.de/artikel/1013169](http://www.wissenschaft-schulen.de/artikel/1013169)

Bei Fragen, Anmerkungen, Berichtigungen, Anregungen etc. wenden Sie sich bitte per E-Mail an:

[Monika.Maintz@astronomieschule.org](mailto:Monika.Maintz@astronomieschule.org)

Rückmeldungen sind immer willkommen!