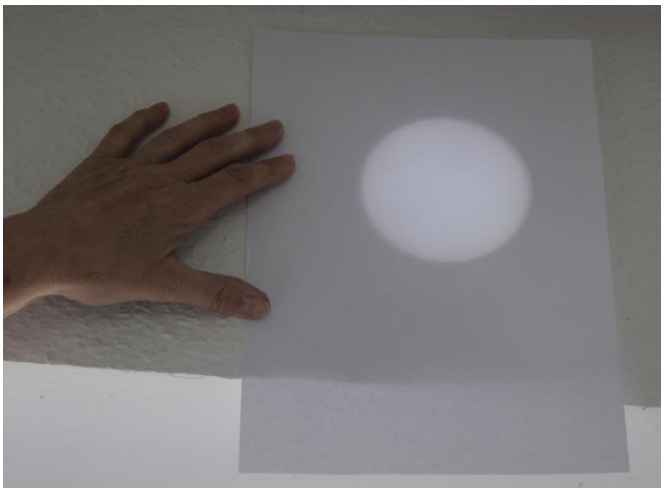
# Landeshauptstadt Hannover

Hannover

Schulbiologiezentrum



**19.97**

# Der "Taschenspiegel-Projektor"

**und andere Methoden, gefahrlos eine Sonnenfinsternis zu beobachten**

Januar 2017

Herausgeber: Landeshauptstadt Hannover
Schulbiologiezentrum Hannover
Energie-LAB der IGS Mühlenberg

Titel: Der "Taschenspiegel-Projektor"
Und andere Methoden, gefahrlos eine Sonnenfinsternis zu beobachten

Titelbild: Ingo Mennerich

**Arbeitshilfe 19.97**

Verfasser: Ingo Mennerich

Herausgeber: Landeshauptstadt Hannover
Fachbereich Bibliothek und Schule
Schulbiologiezentrum
Vinnhorster Weg 2
30419 Hannover
Tel: 0511/168-47665
Fax: 0511/168-47352
E-Mail: schulbiologiezentrum@hannover-stadt.de
Internet: www.schulbiologiezentrum.info

**Inhalt**


Der "Taschenspiegel-Projektor" 1

Wie mit eckigen Spiegeln runde "Spiegelsonnen" entstehen

Wie groß wird die "Spiegelsonne"? 6

Zusammenhänge zwischen Spiegelgröße und Mindest-Bildweite 7

Kleinere Spiegel - schärfere Bilder 9

Ausmessen der Spiegelsonne 10

Niemals direkt in die Sonne schauen! 11

Projektion mit Fernglas oder Teleskop 12

Sonnentaler: Bäume und Kirchen als "Lochkamera" 15

"Handgemachte" Sonnentaler 16

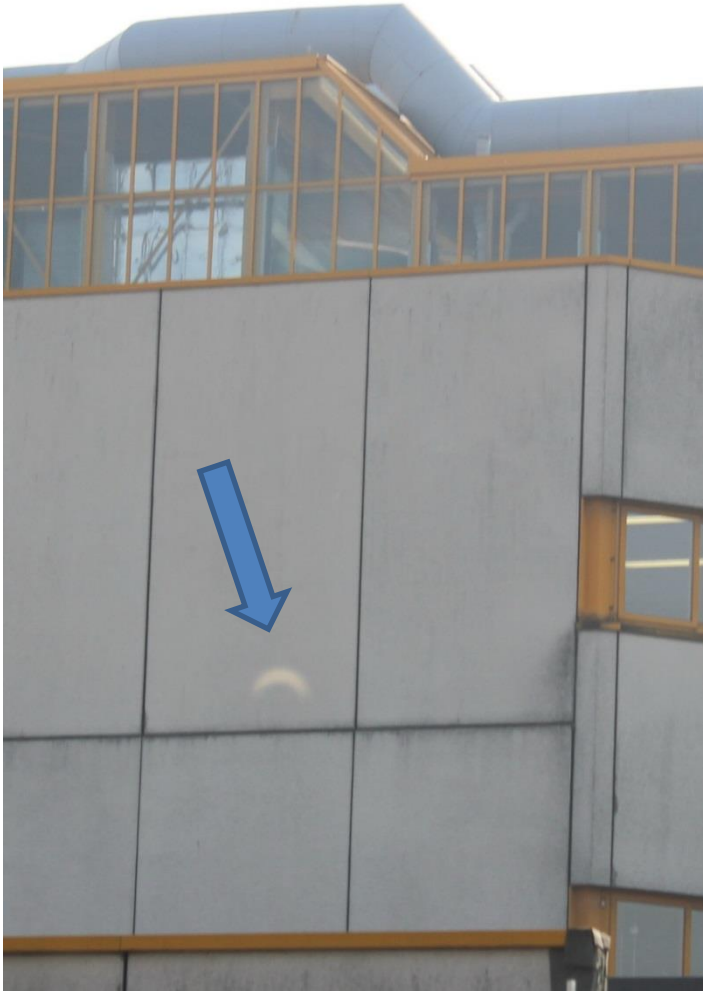
Privates Kino: Eine Lochkamera zum "Hineinsteigen" 17

Zum Ergänzen: So entsteht ein Lochkamerabild 18

Vergleich Lochkamera - Linsenkamera 19

Die Welt passt durch ein kleines Loch 19

## Der "Taschenspiegel-Projektor"



Die vielleicht einfachste, billigste und ungefährlichste Methode eine Sonnenfinsternis zu beobachten ist ein einfacher Spiegel.

Ob größer oder kleiner, das muss man ausprobieren.

Die Form scheint Prinzip unerheblich zu sein. Auch damit kann man experimentieren.

Man kann einen großen Spiegel in viele kleinere zerschlagen.

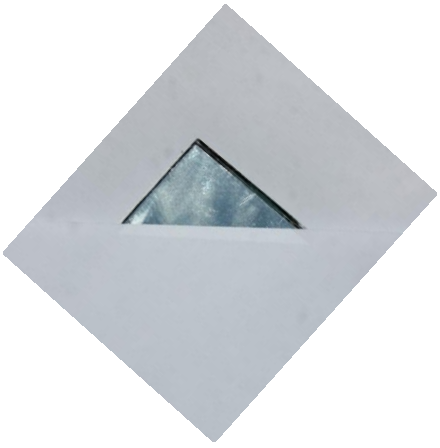
Die unregelmäßig geformten Bruchstücke taugen irgendwie immer noch als Projektor mit dem man das Bild der Sonne an eine Wand oder eine Zimmerdecke projizieren kann.

Das Funktionsprinzip ist denkbar einfach und beruht auf dem Gesetz

"Einfallswinkel = Ausfallswinkel".

Und dennoch gibt es eine Menge Dinge, die zunächst verwirren.

Denn wenn man einen Spiegel in die Sonne hält entsteht zunächst wahrscheinlich kein Bild, sondern nur ein Lichtfleck, dessen Form von der Form des Spiegels bestimmt wird.



Großer Auftritt für einen Taschenspiegel:

So zaubert man die Sonnenfinsternis an die weit entfernte Hauswand…

Hier mal etwas herangezoomt.

Die "Spiegelsonne" steht auf dem Kopf und nicht ganz scharf.

Die größtenteils vom Mond verdeckte sichelförmige Sonne steht seitenverkehrt und auf den Kopf gestellt am Gebäude der (alten und mittlerweile abgerissenen) IGS Mühlenberg.

## Wie mit eckigen Spiegeln runde "Spiegelsonnen" entstehen

Manchmal stößt man auf Phänomene, deren Erklärung nicht sofort auf der Hand liegt.
Wie die rote kreisrunde Sonne morgens früh auf einer hellen Hauswand. Nicht die echte Sonne sondern eine auf die Wand gespiegelte. Der "Urheber" ist schnell ausgemacht. Eine Fensterscheibe im Westen.
Nicht jede Fensterscheibe wird eine "Spiegelsonne" erzeugen. Beide müssen, wie man mit einem (eckigen) Taschenspiegel feststellen kann, weit genug voneinander entfernt sein.

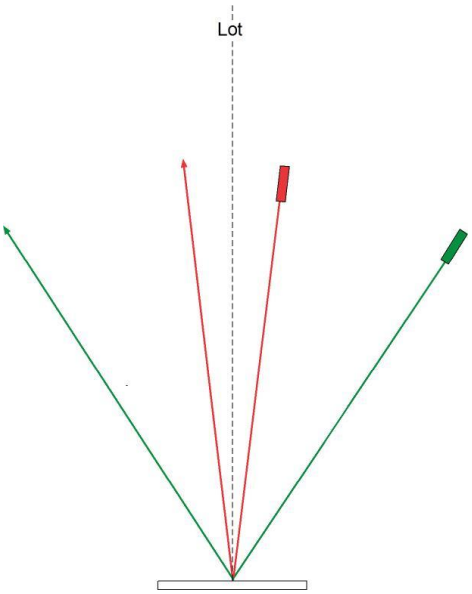
Aber nicht genug damit: Mit eckigen Spiegeln kann man auch authentische Bilder von realen irdischen Dingen an die Wand werfen. Sie müssen nur hell genug sein.
So kann man unter bestimmten Bedingungen eine Lichtquelle wie eine Glühlampe oder Leuchtstoffröhre mit einem Spiegel abbilden.

Warum und wann erzeugt ein viereckiger Spiegel ein auf dem Kopf stehendes und seitenverkehrtes Bild?
Wo und auf welche Weise geht ein eckiger Lichtfleck in ein "Bild" über?
Welche Zusammenhänge gibt es zwischen der Größe des Spiegels und den Distanzen zum Gegenstand bzw. zum Bild (Gegenstands-, Bildweite) ?
Wie "scharf" kann eine solche Abbildung sein und wovon hängt das ab?

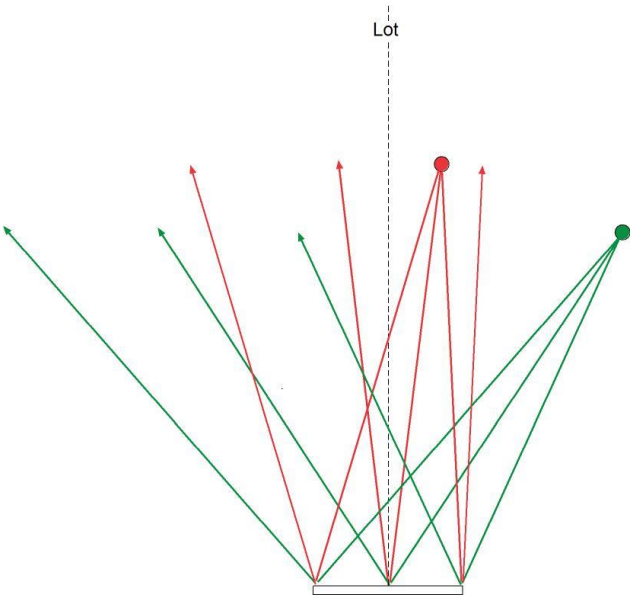
Zunächst gilt die einfache Regel:

Einfallswinkel = Ausfallswinkel

Zwei Experimente mit farbigen Laser-Pointern bzw. farbigen Leuchtdioden:



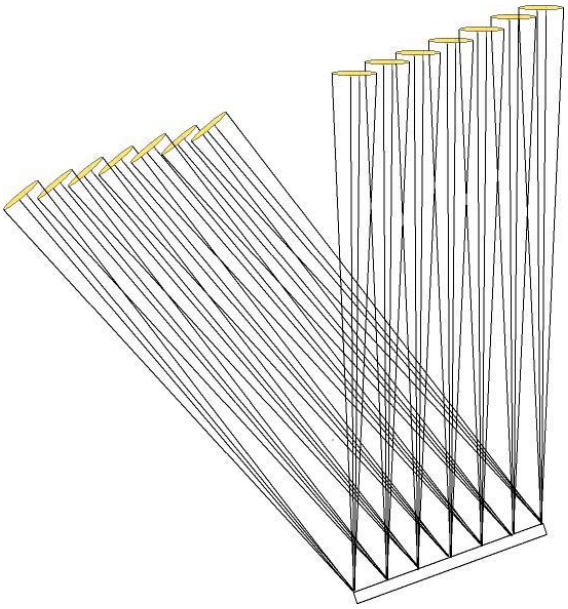

Die Lichtstrahlen eines roten und eines grünen Laser-Pointers werden vom Spiegel nur *einmal* reflektiert.
In der Projektion erscheinen ein roter und ein grüner Punkt.
Das Bild ist unabhängig von der Form und Größe des Spiegels.




Die Lichtstrahlen einer roten und einer grünen LED werden vom Spiegel *vielfach* reflektiert.
In der Projektion erscheinen eine rote, eine grüne und, dort wo sich beide überlappen, eine gelbe Fläche.
Das Bild ist abhängig von der Form und Größe des Spiegels.

Die Sonne kann man sich aus unzählig vielen Lichtpunkten zusammengesetzt vorstellen.

Wenn man Sonnenlicht mit einem viereckigen Taschenspiegel auf eine nahe Wand spiegelt erhält man einen viereckigen Lichtfleck. Jeder Punkt auf dem Spiegel reflektiert die aufgrund der großen Entfernung der Sonne parallel einfallenden Strahlen. Dabei überlagern sich die so vielfach reflektierten Sonnen.



Das Licht der Sonne, hier als flache Scheibe dargestellt, fällt auf einen etwas geneigten ebenen Spiegel.

Die Sonne ist sehr groß und sehr weit entfernt. Daher fallen ihre "Strahlen" parallel auf die Erde.

Die Sonne ist kein Punkt am Himmel sondern erscheint als "Scheibe" mit einer bestimmten Ausdehnung.

Der hier abgebildete Spiegel ist so groß, dass die Sonne vielmals von ihm "eingefangen" wird.

Die vielen Sonnen überlagern sich (hier sind nur einige dargestellt!) und führen zu einem Lichtfleck, der der Form des Spiegels entspricht.

Was geschieht, wenn man den Spiegel in z.B. drei winzige Teilspiegel zerlegt?

Jetzt werden von den vielen Sonnen nur noch drei reflektiert.

Ihre Bilder überlagern sich nicht.

Daher entstehen drei Sonnenbilder.

Wenn die Zahl der Teilspiegel auf einen reduziert entsteht nur noch eine "Spiegelsonne":

Von unzählig vielen, auf die Spiegelebene fallenden Sonnen wird nur noch eine reflektiert.

Es gibt keine das Bild störende Überlagerungen.

Je kleiner der Spiegel, desto schärfer wird das Bild.

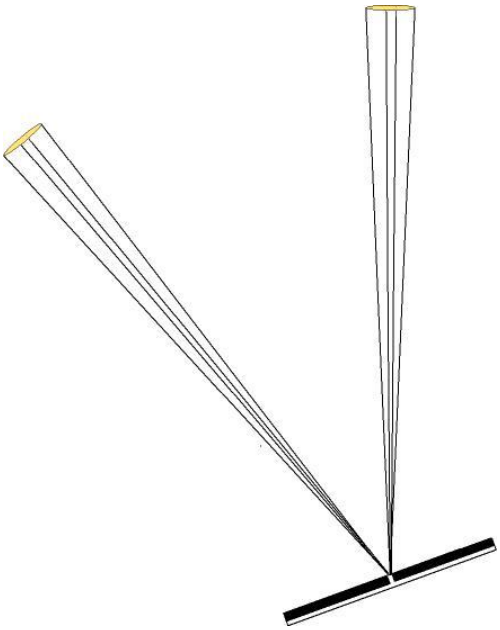
Bei einer Lochkamera ist das ähnlich.

Die "Spiegelsonne" wird mit kleiner werdendem Spiegel immer schwächer.

Das trifft auch auf die Lochkamera zu.

Insofern könnte man von einer "Lochkamera mit umgelenkten Strahlen" sprechen…

Wenn man einen Taschenspiegel mit einer Maske so verdeckt, dass nur noch ein winziger Ausschnitt übrig bleibt wird die Sonne zum Beispiel an der Zimmerdecke scharf abgebildet:



Mit einer durch eine Maske stark verkleinerten Spiegelfläche kann man in einem Raum eine runde und an den Rändern scharfe Spiegelsonne an die Zimmerdecke werfen.

Das Bild kann so scharf werden, dass wenn sich Wolken vor die Sonne schieben oder Äste eines Baums sie verdecken man sogar diese gut sieht.

Das bisher gesagte gilt für winzig kleine Spiegel. Wie aber ist zu erklären, dass der handgroße und nicht abgedeckte viereckige Taschenspiegel ein scharfes Bild der Sonne an die Wand zaubert?

Größe ist relativ: Ein großer Spiegel erscheint mit zunehmender Entfernung immer kleiner.

Von der projizierten "Spiegelsonne", also z.B. von der weit entfernten Wand aus gesehen, ist der reflektierende Spiegel nicht größer als wie die Sonne am Himmel erscheint.

Die scheinbare Größe der Sonne, die Größe des Spiegels und die Bildweite, d.h. die Distanz Spiegel - "Spiegelsonne" stehen in einem Zusammenhang:

Damit ein Spiegel eine scharfe "Spiegelsonne" erzeugen kann muss er so weit vom Bild entfernt sein, dass er nicht größer erscheint als die Sonne selbst. Eher kleiner.

Es gelten ganz einfache Regeln:

- Je kleiner die das Sonnenlicht einfangende Spiegelfläche desto geringer ist die Entfernung von der ab ein scharfes Bild der Sonne entstehen kann. Kleine Spiegelfläche = Geringe minimale Bildweite.
- Je größer die Spiegelfläche, desto größer die Mindest- Bildweite.

Die Sonne hat eine scheinbare "Größe" von einem halben Grad. Besser ausgedrückt:
Der Sehwinkel unter dem uns die Sonne erscheint beträgt 0,5°.

Das Bild der gespiegelten Sonne am Ort der Projektion ist je nach Spiegelgröße und Bildweite kleiner oder größer. Aus der Perspektive des Spiegels erscheint die (virtuelle) "Spiegelsonne" so groß wie die reale Sonne (also 0,5°).

## Wie groß wird die "Spiegelsonne"?

Der Radius einer in 10 m Entfernung an eine Wand geworfene "Spiegelsonne" ist nach

Gegenkathete / Ankathete = tan $\alpha$

Gegenkathete = tan $\alpha$ x Ankathete

x cm = tan 0,5/2° x 1000 cm

= 4,36 cm groß.

Aus der Spiegelperspektive erscheint sie unter einem Sehwinkel von 0,5°.

Der Radius einer in 100 m Entfernung an eine Wand geworfene "Spiegelsonne" ist nach

x cm = tan 0,5/2° x 10000 cm

= 43,63 cm groß.

Aus der Spiegelperspektive erscheint sie unter einem Sehwinkel von 0,5°.

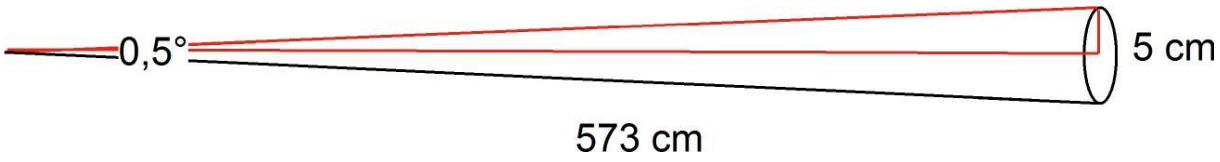
## Zusammenhänge zwischen Spiegelgröße und Mindest-Bildweite

Damit ein runder Taschenspiegel mit 2,5 cm Radius so groß erscheint wie die Sonne  muss er über 5 m vom Auge entfernt sein:

2,5 cm / x cm = tan 0,5/2°

x = 2,5 cm / tan 0,25°

x = 573 cm = 5,73 m




In dieser Entfernung erscheint er unter einem Sehwinkel von 0,5° und man kann sagen:

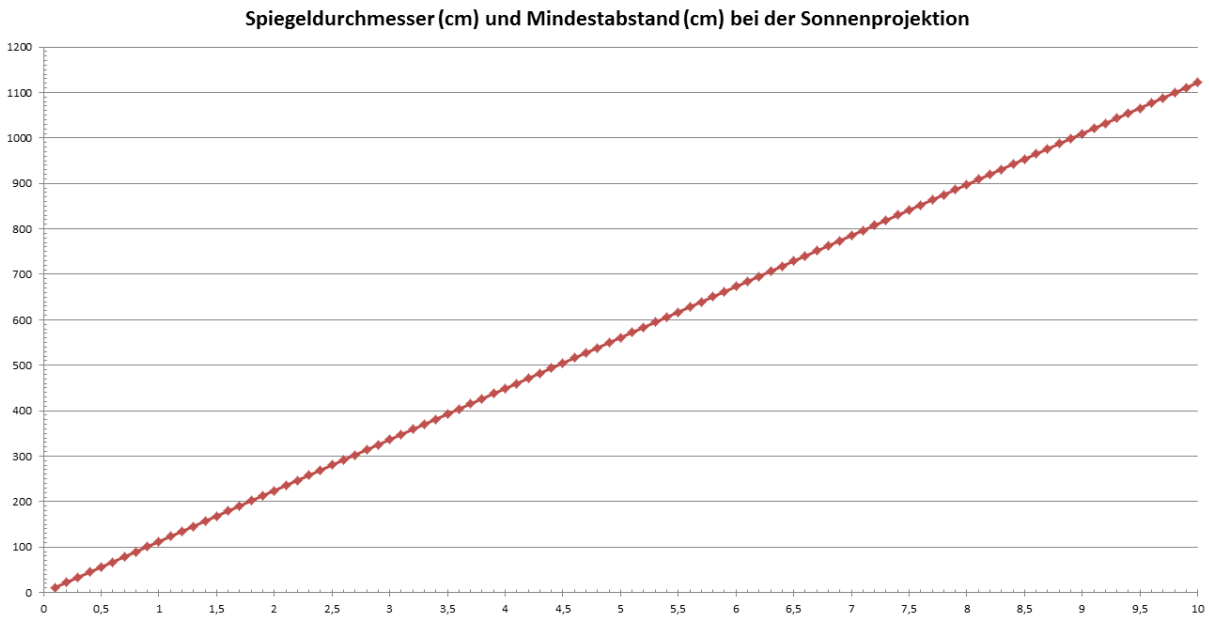
Die Sonne "passt" genau hinein. Und nicht mehrere Sonnen.

Von dieser Mindest-Bildweite  aufwärts kann eine runde und zunehmend scharfe "Spiegelsonne" entstehen.

Jetzt spielt es auch keine Rolle mehr ob der Spiegel oder die durch eine Maske reduzierte Spiegelfläche rund, drei- oder viereckig ist.

Je kleiner die Spiegelfläche wird, desto schärfer, aber leider auch schwächer wird das Bild.

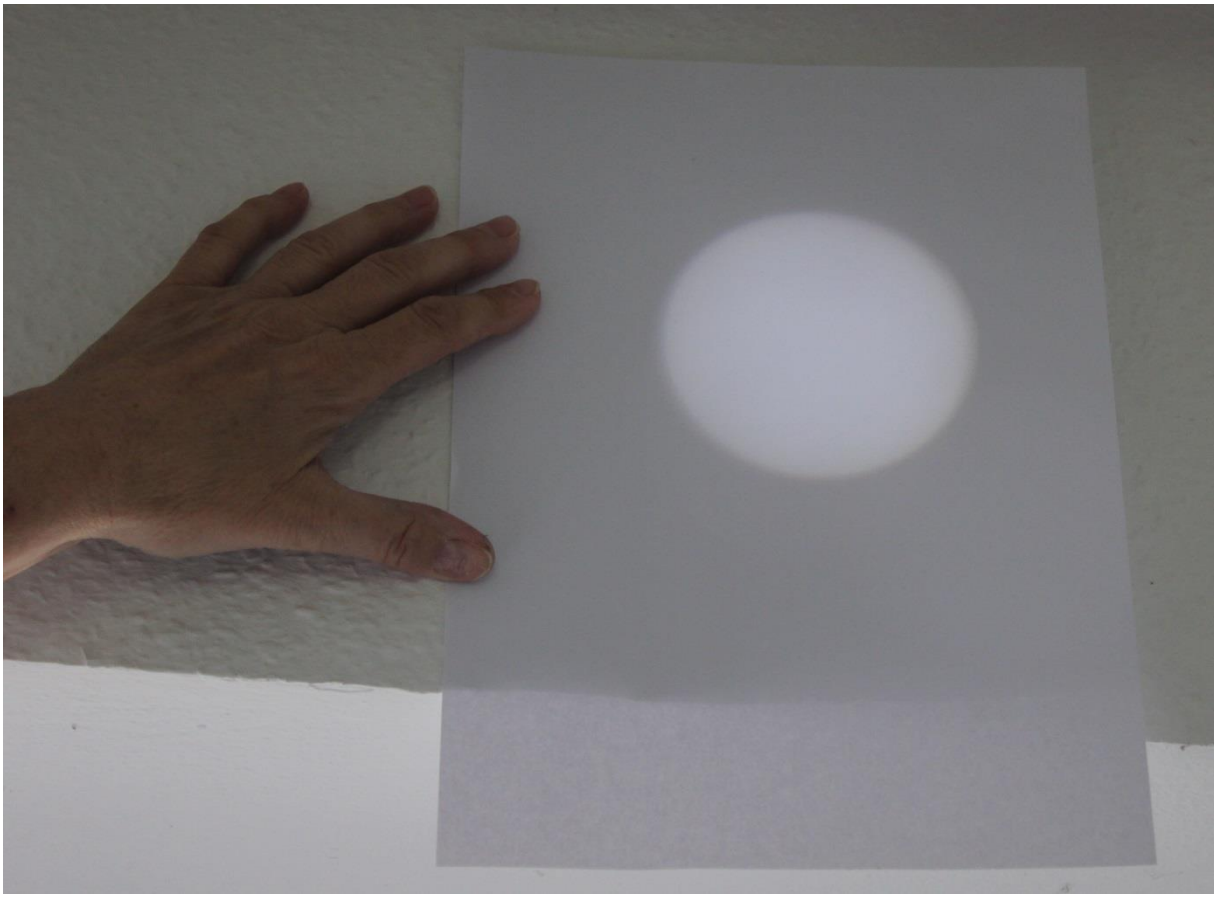
Das folgende Diagramm zeigt den Zusammenhang zwischen Spiegeldurchmesser und der Mindestdistanz von der ab ein rundes Bild der Sonne entsteht. Bei größerer Entfernung wird die "Spiegelsonne" noch schärfer, allerdings auch lichtschwächer so dass man für eine gut reflektierende (weiße) Projektionsfläche in dunkler Umgebung sorgen muss.




Waagerechte Achse: Spiegeldurchmesser in cm

Senkrechte Achse: Mindestentfernung in cm

Berechnungsrundlage:
tan 0,5/2° = Spiegeldurchmesser / Mindestentfernung



## Kleinere Spiegel - schärfere Bilder

Die viereckige Spiegelkachel liegt auf der sonnigen Fensterbank und wird durch ein Blatt Papier bis auf eine (große) Ecke abgedeckt.

Der Lichtfleck an der etwas über zwei Meter entfernten  Zimmerdecke entspricht zunächst dem Dreieck, dessen Ecken aber schon deutlich abgerundet sind.

Reduziert man die Spiegelfläche weiter geht das Dreieck langsam in einen Kreis über dessen Kanten immer schärfer werden.

Große Spiegelecke

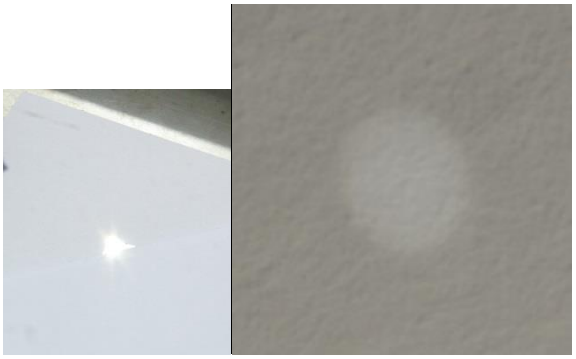
Dreieckiges Bild

Kleine Spiegelecke

Runde "Spiegelsonne

Im günstigsten Fall wird die "Spiegelsonne" so scharf, dass man die an ihr vorbeiziehenden Wolken einwandfrei erkennen kann. Auszuprobieren wäre, ob es gelingt, sogar Sonnenflecken zu sehen.

## Ausmessen der Spiegelsonne



Eine gut abdichtende und bis auf einen Spalt heruntergezogene Jalousie verdunkelt den Raum.
Ein durch ein Blatt Papier bis auf eine winzige Ecke abgedeckter auf der Fensterbank liegender viereckiger Spiegel projiziert in 2,25 m Entfernung eine 2 cm große "Spiegelsonne" an die Zimmerdecke.

Das Bild ist scharf, deutlich sieht man sieht Wolken vor der Sonne vorbeiziehen.

Zur Überprüfung der These, dass die virtuelle Sonne aus der Perspektive des Spiegels unter dem gleichen Sehwinkel erscheint wie die reale Sonne kann man Bildweite und tatsächliche Größe der "Spiegelsonne" in Beziehung setzen:

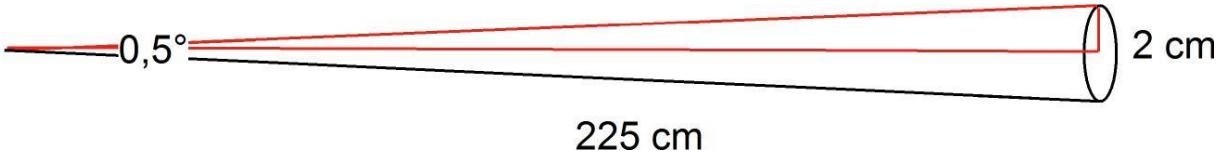
Die Entfernung (Bildweite) sei 225 cm, der Durchmesser der Spiegelsonne 2 cm.

Wie groß ist der Sehwinkel unter dem das Bild aus der Perspektive des Spiegels erscheint?

2 cm*0,5/225 cm = 0,00444

Halber Winkel: atan 0,00444 = 0,25°

Sehwinkel "Spiegelsonne": 0,5°




Damit erscheint die "Spiegelsonne" genauso so groß wie die wirkliche Sonne.
Das heißt: Beide erscheinen unter dem gleichen Sehwinkel von 0,5°.

## Niemals direkt in die Sonne schauen!

Jeder der schon einmal mit der Lupe gekokelt hat weiß, wie stark das von der Linse gebündelte und "auf den Punkt" gebrachte Sonnenlicht ist. Im Brennpunkt können Temperaturen von mehreren hundert Grad auftreten (Messung z.B. mit einem GTH1050 Thermometer).

Mit einem Weinglas, etwas Wasser und einer Zeitung, die viel Druckerschwärze enthält, lässt sich mit etwas Geschick und Geduld Feuer machen oder zumindest Loch ins Papier brennen. Das Glas und das Wasser bilden eine (etwas schiefe) "Sammellinse".
Wichtig ist, dass das Glas die passende Rundung hat und dass die Wassermenge dazu passt.
Wer genau hinsieht, wird erkennen, dass diese "Weinglas-Lupe" Bilder erzeugt:

Seitenverkehrt und auf dem Kopf stehend, so wie es sich für eine Sammellinse gehört, sieht man Wolken, Bäume, Menschen und natürlich den "Brennpunkt", die Sonne.

Die Linse in unserem Auge erzeugt ein Bild auf der Netzhaut. Wird die Augenlinse auf die Sonne gerichtet, wird sie zum Brennglas!

Das in die Sonne gehaltene Augenmodell zeigt, dass der Brennpunkt bei einem Blick in die Sonne die Netzhaut (Retina) zum Kochen bringen würde.

Bei einem auch nur kurzen Blick durch das Fernglas oder das Teleskop wäre der Schaden um ein vielfaches schlimmer! Das kann man in der Schule gut demonstrieren in dem man einen hinter das Okular gehaltenen Papierstreifen entzündet.

Zur Beobachtung von Sonnenfinsternissen hat man früher rußgeschwärzte Glasscheiben, übereinandergelegte dunkle Filmnegative oder Röntgenbilder benutzt. Der sichtbare Anteil des Sonnenlichts wird dadurch zwar erheblich reduziert, nicht aber die unsichtbare Wärmestrahlung.

Daher können bei längerem Hineinschauen in die Sonne auch hier Schäden auftreten!

Herkömmliche Sonnenbrillen, auch ganz dunkle Varianten (etwa Schneebrillen) sind aus diesen Gründen ebenfalls völlig ungeeignet.

"Sonnenfinsternis-Brillen" bestehen in der Regel aus einer Aluminiumbeschichteten Polyesterfolie ("Mylar-Folie"). Sie reflektieren über 99% des sichtbaren Lichts und große Teile der Wärmestrahlung.

Sonnenbeobachtung in der IGS Mühlenberg, 20. März 2015

Ersatzweise kann man hochwertige Schweißerschutzbrillen benutzen, die preislich aber deutlich höher liegen als die Pappbrillen mit Mylarfolie.

## Projektion mit Fernglas oder Teleskop

Hier wird die Sonne mit dem Fernglas auf ein Stück Papier projiziert.

Je größer der Abstand zwischen Fernglas (Okular) und Papier, desto größer wird das Bild.

Dafür allerdings auch lichtschwächer.

Und das geht auch "von hinten"…

Weißes Papier absorbiert nur wenig Wärme, daher besteht kaum Gefahr, dass es zu brennen beginnt.

Man erinnere sich an die "Kokelversuche" mit Sonne und Lupe bei denen nur die schwarzen Stellen der Zeitung anfangen zu glühen.

(Wer seinen Namen mit einer Lupe ins Papier brennen möchte sollte ihn vorher mit schwarzem Stift vorschreiben!)

Hier wird die teilweise verfinsterte Sonne mit dem Fernglas in eine Hütte hinein auf den im Schatten liegenden (dunklen) Boden projiziert.

Die kleine "Sonnen-Sichel" rechts daneben ist ein "Lochkamera-Effekt".
Ein winziges Loch in der Hüttenwand lässt das Sonnenlicht hindurch.

Ein kleines Teleskop mit Umlenkprisma wirft das Bild der Sonne (und des Mondes) in die schattige Hütte hinein auf eine Leinwand.

Dabei kann man sehen, wie schnell wir uns auf der Erde unter der Sonne hinwegdrehen:

Schon nach kurzer Zeit ist die Sonne aus dem vom Teleskop projizierten Kreis "herausgewandert".

Hier muss man folglich ständig nachjustieren.

Mit der Projektionsmethode gelingen scharfe Abbildungen sie sogar Sonnenflecken zeigen.

Die Pappblende am Objektiv wirft einen Schatten der die Projektionsfläche.

Aber auch hier "wandert" das Bild und je höher die Vergrößerung, desto schneller.

Venustransit im Schulbiologiezentrum, 8. Juni 2004

Die mit Hilfe des Spiegelteleskops auf eine weiße Scheibe projizierte Sonnenscheibe zeigt unten rechts einen winzigen runden Punkt: Kein "Sonnenfleck", sondern die langsam vor der Sonne vorbeiwandernde Venus.

## Sonnentaler: Bäume und Kirchen als "Lochkamera"

Wer an einem sonnigen Tag durch den Wald geht wird vielleicht die vielen hellen Flecken auf dem Boden bemerken und sich fragen, warum sie alle rund sind. Die Flecken werden meist "Sonnentaler" genannt und sind auf waagerechten Flächen mehr oder weniger elliptisch.

Auf dem Boden oder an den Wänden einer dunklen Kirche fallen manchmal ebensolche "Sonnentaler" auf. Wer sich die Mühe macht zu ergründen, woher das diese Flecken erzeugende Licht stammt, wird kleine Löcher, z.B. im Dach oder in den Wänden entdecken. Löcher, durch die Sonnenlicht fällt.

Mit etwas Zeit und Muße wird man sehen, dass die Sonnentaler wandern kann untersuchen, wohin und wie schnell sie sich bewegen.

Kein geringerer als Leonardo da Vinci soll die Sonnentaler entdeckt und richtig gedeutet haben.

Mit etwas Forschergeist gelingt uns Nachgeborenen das ohne jede Vorlage auch…

Einige leicht beobachtbare Indizien helfen dabei, z.B. im Wald:

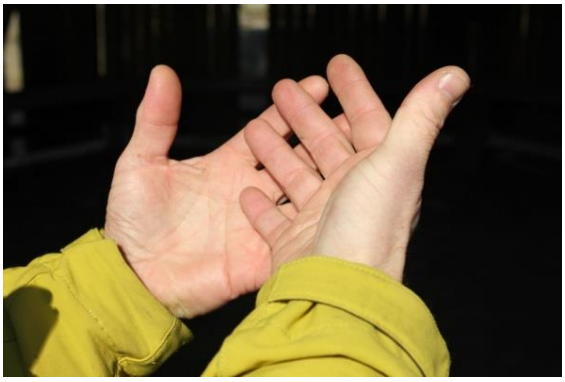
- "Sonnentaler" gibt es nur dort, wo das Blätterdach nahezu geschlossen ist.
- Je mehr "Löcher" es zwischen den Blättern gibt desto mehr "Sonnentaler" gibt es.
- Nur einige haben scharfe Ränder, andere wirken eher verwaschen.
- Einige haben irreguläre Formen und nicht kreis- oder ellipsenförmig
- Je kleiner die "Löcher" sind, desto runder, schärfer, aber auch lichtschwächer sind die "Sonnentaler"
- Unter kleinen Büschen sind die "Sonnentaler" kleiner und heller als unter hohen Bäumen.

Bei der Sonnenfinsternis entdeckt:
Hier sorgen mehrere kleine Löcher in der Wand einer Hütte für "Sonnentaler"…

## "Handgemachte" Sonnentaler

Wenn man nicht gerade im Wald ist und die "Sonnentaler" sieht die die Sonne, durch die Lücken zwischen den Blättern scheinend, auf den Waldboden schickt kann man sich auch selbst zur "Lochkamera" machen.

Der "Trick" ist ganz einfach:



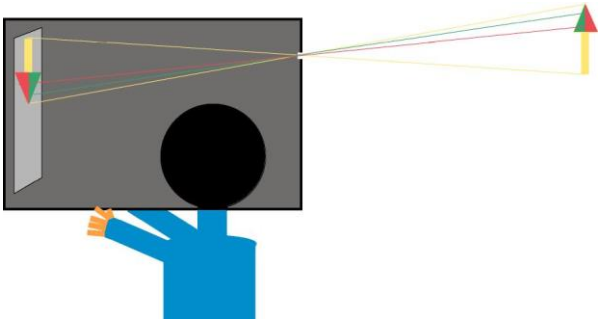
## Privates Kino: Eine Lochkamera zum "Hineinsteigen"

Unsere "begehbare" Lochkamera besteht aus einem großen Pappkarton, einem großen Loch in das man den Kopf hineinsteckt und - kaum zu entdecken - einem winzigen Loch, durch das das Licht der Umgebung eintreten kann.

Wenn sich die Augen an die Dunkelheit gewöhnt haben könnte man meinen, "Glühwürmchen" zu sehen. Bewegt man sich etwas hin und her, scheinen die "Glühwürmchen" sogar hin und her zu tanzen…

Die bald warme und zunehmend feuchte Luft im Karton gäbe sicherlich die ideale Umgebung für eine "Glühwürmchen-Zucht" ab.

Doch es sind nur die Lampen im Raum, deren Licht durch das kleine Loch an der Rückseite des Kartons eindringt. Die geradlinig verlaufenden Lichtstrahlen erzeugen umgekehrt-seitenverkehrte Bilder auf der weißen vorderen Innenseite.



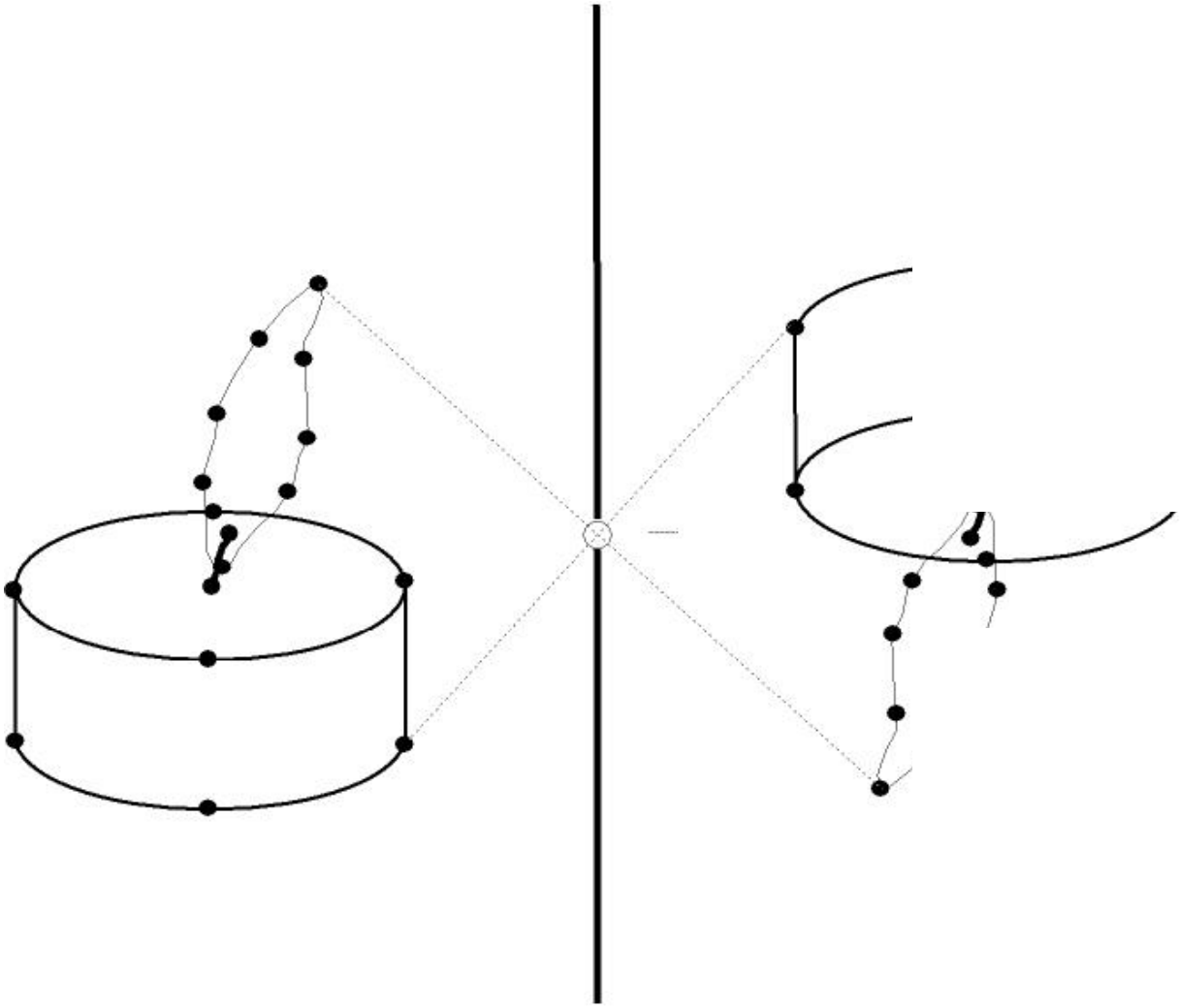
Man kann sich ein begehbares Geheim-"Observatorium" schaffen, indem man einen Schrank innen weiß ausmalt und jede Ritze so abdichtet dass kein Lichtstrahl eindringen kann. Dann bohrt man ein winziges Loch in eine der Wände.

Jetzt fehlt nur noch ein Stuhl und man kann als im Dunkeln sitzender "Spion" unbemerkt beobachten, was in der hellen Außenwelt so vor sich geht.

## Zum Ergänzen:  So entsteht ein Lochkamerabild

Nimm ein Lineal und einen Bleistift und ergänze das Lochkamerabild der Kerze.

In einigen Fällen musst du nur die Punkte miteinander verbinden, oft musst du die Bildpunkte auch selbst finden!



**Was stimmt?**

Das Bild der Kerze in der Lochkamera ist

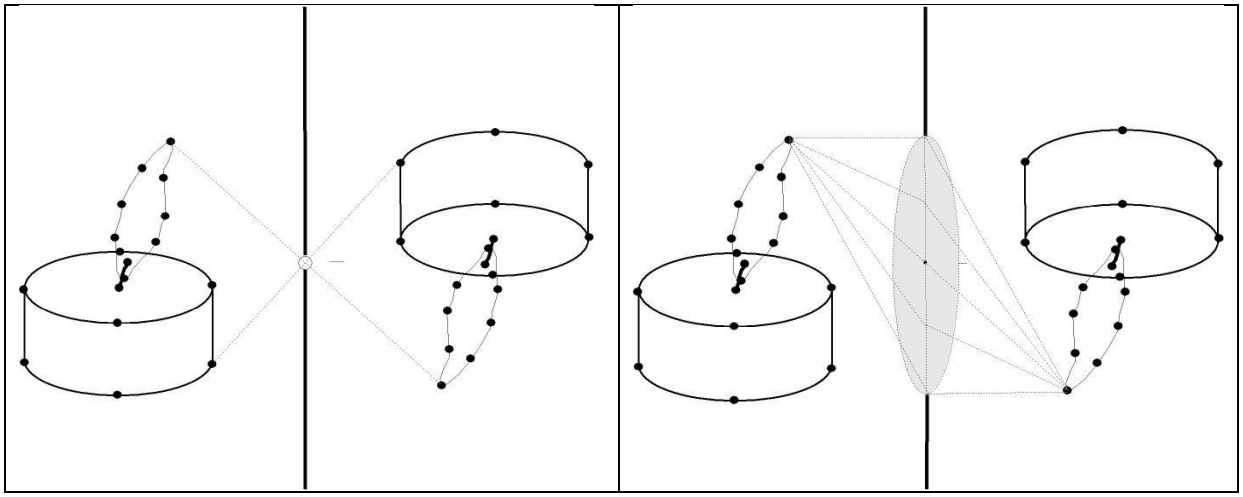
□ steht aufrecht

□ steht auf dem Kopf

□ ist seitenverkehrt (links/rechts vertauscht)

□ ist nicht seitenverkehrt

**Vergleich Lochkamera - Linsenkamera**



**Die Welt passt durch ein kleines Loch…**

Ein Mann wettete mit seinen Gästen, dass er eine brennende Kerze durch ein winziges Loch in einer Wand hindurch in den Raum hinter der Wand zaubern könne..
Das glaubte ihm natürlich keiner.
Ein Kamel passt ja auch nicht durch ein Nadelöhr!

Der Mann stellte eine Kerze auf den Tisch und zündete sie an.
Dann zeigte er auf ein Loch in der Wand und bat seine Gäste ihm in den dahinterliegenden Raum zu folgen.
Dieser Raum war fensterlos und dunkel.

Und siehe da:
Als die die Augen der Gäste sich auf die Dunkelheit eingestellt hatten erschien die Kerze tatsächlich auf der Wand des dunklen Raums. Und jedes Mal, wenn die Kerzenflamme flackerte, flackerte die Kerze an der Wand auch…