

## **Ausgewählte Experimente zur Wahrnehmung von virtuellen Bildern an Spiegeln und brechenden Medien**



**ausgewählt unter dem Gesichtspunkt der Wahrnehmung  
virtueller Bildlagen und Bildgrößen**

# 1 Entfernung- und Größenwahrnehmung am ebenen Spiegel

1.1 Stellen Sie sich vor einen senkrecht aufgestellten Planspiegel und zeichnen Sie mit ausgestrecktem Arm den Umriss Ihres Kopfes vom Scheitel bis zum Kinn auf die Spiegelfläche (Abb. 1.1).

Messen Sie die Höhe Ihres „Kunstwerkes“ und vergleichen Sie diese mit dem Original.

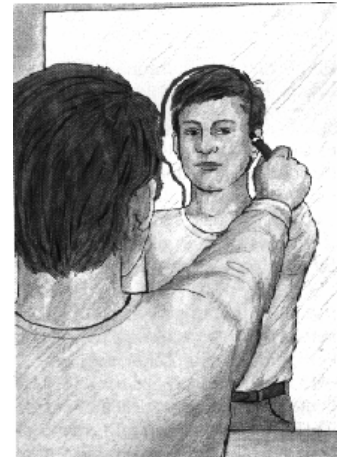


Abbildung 1.1

1.2 Verändern Sie den Abstand zur Spiegelfläche und prüfen Sie dabei, ob das Bild weiterhin in den Umriss passt!

Erklären Sie, warum das Spiegelbild des Schachbretts in der Abbildung auf der Vorderseite nur halb so groß aussieht wie das Original.

1.3 „5 cm = 10 cm?“ Heften Sie mit einem Fotokleber einen 10 cm langen Pappstreifen auf Ihre Stirn. Einen 5 cm langen Streifen befestigen Sie an der Spiegelfläche. Vergleichen Sie die Streifenlängen, indem Sie das Spiegelbild über den Streifen auf dem Spiegel anpeilen. Variieren Sie Ihren Abstand zum Spiegel. Was bedeutet das Ergebnis bezüglich der Lage des Spiegelbildes relativ zur Spiegelebene?

1.4 Fokussieren Sie mit dem Fotoapparat Ihr Spiegelbild. (Bei Kamera mit Autofokus den Auslöser halb drücken, aber bitte nicht auslösen. Bei normaler Kamera das Bild am Entfernungseinstellung scharf stellen.) Welche Entfernung zeigt die Skala auf dem Objektiv?

1.5 Führen Sie den in Abb. 1.2 beschriebenen Versuch durch. Beurteilen Sie seine Eignung für den Unterricht unter motivationalen und inhaltlichen Gesichtspunkten.



Kathrin sieht das Becherglas 1 und dessen Spiegelbild. Sie gibt Michael Anweisungen:

Er soll das Becherglas 2 genau über das Spiegelbild halten und dort abstellen.



Jetzt sieht Kathrin Becherglas 2 nicht mehr. Es ist hinter dem Spiegel verschwunden.

Sie gießt nun Wasser hinter den Spiegel, genau „in das Spiegelbild hinein“ ...

Abb. 1.2

## 2 Kontrollexperimente zur Bildlage am ebenen Spiegel

Die wahrgenommene Position des Spiegelbildes am Planspiegel kann mit der Methode der Abb. 2.1 ermittelt werden. Die Kerze vor der Acrylglasplatte wird angezündet, die dahinter nicht.

2.1 Schieben Sie die (nicht angezündete) Kerze hinter der Glasplatte an die Stelle, an der sie zu brennen scheint. Markieren Sie die Positionen der Kerzen und der Spiegelebene auf dem untergelegten Papier. Anschließend zeichnen Sie die Verbindungslinie zwischen den beiden Positionen.

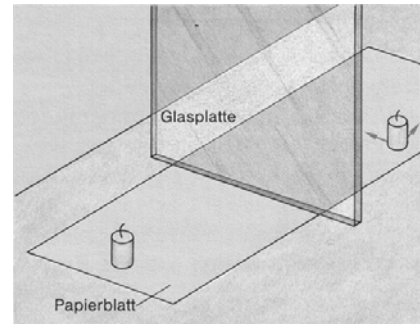


Abbildung 2.1

2.2 Biegen Sie die Acrylglasplatte konvex und konkav und beobachten Sie, in welche Richtung die Kerzenflamme wandert. Halten Sie fest, wie sich die Bildweite  $b$  (Abstand des virtuellen Bildes von der Spiegelebene) bei konvexer bzw. konkaver Spiegelform relativ zur Bildweite am ebenen Spiegel verändert.

2.3 Stellen Sie vor einen senkrecht gehaltenen Spiegelstreifen einen Stativstab (Stab 1, s. Abb. 2.2). Einen zweiten Stativstab (Stab 2) positionieren Sie hinter dem Spiegel. Verschieben Sie Stab 2 hinter dem Spiegel an den Ort, an dem er aus jeder Beobachterposition mit den gespiegelten Teil von Stab 1 zu einem einzigen Stab „verschmilzt“.

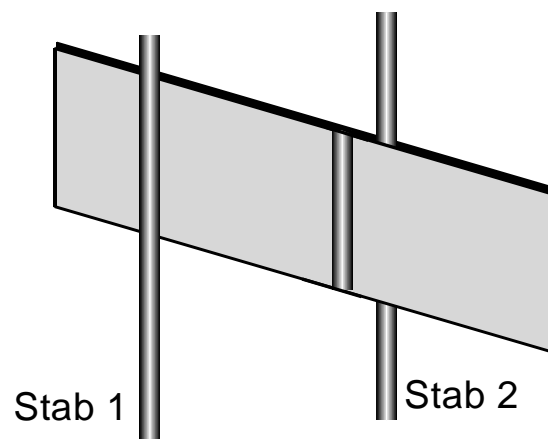


Abbildung 2.2

### 3 Entfernung- und Größenwahrnehmung am erhabenen Spiegel

- 3.1 Betrachten Sie in einem erhabenen Spiegel (Wölbspiegel) aus einem Abstand von mindestens 2 m den Raum hinter Ihnen. Welchen Eindruck haben Sie bezüglich der Entfernung der Gegenstände im Raum im Vergleich zu tatsächlichen Entfernung? Schließen Sie ein Auge. Verändert dies den Entfernungseindruck?
- 3.2 Stellen Sie sich so vor den Wölbspiegel, dass Sie die Umrisse Ihres gespiegelten Kopfes auf der Spiegelfläche nachzeichnen können. Messen Sie die Höhe des gezeichneten Kopfes und vergleichen Sie sie mit der wirklichen Höhe.  
Vergrößern Sie den Abstand zur Spiegelfläche, während Sie die Umrisszeichnung Ihres Kopfes anvisieren! Passt das virtuelle Bild auch bei vergrößertem Abstand in den Umriss? Welche Schlüsse ziehen Sie aus dem Versuchsergebnis bezüglich Bildlage und Bildgröße in Abhängigkeit von der Entfernung des gespiegelten Gegenstandes?
- 3.3 Fokussieren Sie mit dem Fotoapparat Ihr Spiegelbild im erhabenen Spiegel. Ihr Abstand zum Spiegel soll dabei z. B. 1,5 m betragen. (Bei Kamera mit Autofokus den Auslöser halb drücken, aber bitte nicht auslösen. Bei normaler Kamera das Bild am Entfernungseinstellung scharf stellen.)  
Stellen Sie am Fotoapparat auch das Bild des (mehrere Meter entfernten) Hintergrundes scharf.  
Welche Entfernung zeigt die Skala auf dem Objektiv jeweils an? Wie beurteilen Sie dieses *Messergebnis* im Hinblick auf Ihre *Entfernungswahrnehmung*? („Was gilt?“)

- 3.4 Stellen Sie eine Kerze wenige Zentimeter vor die konvexe Seite eines Uhrglases (Abb. 3.1). Versuchen Sie das Flammenbild hinter dem Uhrglas mit einer Bleistiftspitze oder einer zweiten Kerze zu lokalisieren.  
Vergrößern Sie nun den Abstand der Kerze sukzessive bis auf 1 m oder mehr.  
Wie verändert sich dabei die wahrgenommene Bildlage?

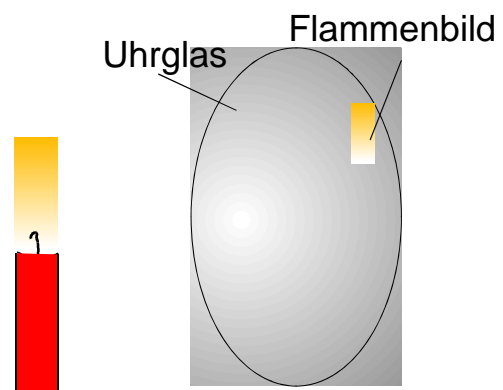


Abb. 3.1

- 3.5 Lage des virtuellen Bildes am Hohlspiegel
- a) Blicken Sie in einen Toilettenspiegel, den Sie bei ausgestrecktem Arm in der Hand halten. Welchen Entfernungseindruck haben Sie bezüglich des virtuellen Bildes im Vergleich zum ebenen Spiegel?
- b) Vergleichen Sie mit der Methode nach Aufg. 3.5 mit dem Uhrglas die virtuelle Bildweite mit Ihrem Wahrnehmungseindruck (Gegenstandsweite  $< 30$  cm).

## 4 Zusatzaufgaben für „schnelle Beobachter/innen“

### 4.1 Quantifizierung des Wahrnehmungseindrucks bezüglich der Bildentfernung am Wölbspiegel:

Der Wahrnehmungseindruck bezüglich der Entfernung des Spiegelbildes am erhabenen Spiegel lässt sich quantifizieren: Befestigen Sie auf der Spiegelfläche einen Papierstreifen mit 10 cm Länge. Halten Sie neben Ihre Augen ein Blatt DIN A4 (ca. 30 cm hoch). Entfernen Sie sich soweit vom Spiegel, bis das Spiegelbild des Papierblatts genau so lang aussieht wie der 10 cm hohe Streifen in der Spiegelebene.

Die wahrgenommene Lage des Spiegelbildes lässt sich aus den Streckenverhältnissen gemäß Abb. 1 berechnen.

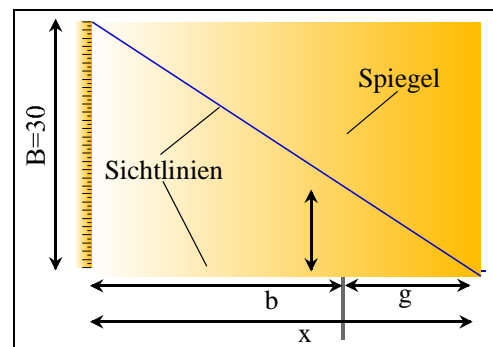


Abbildung 4.1

### 4.2 Welche Orientierung weist das Spiegelbild auf?

a) Halten Sie einen Spiegel so, dass Sie Ihre Hand mit einem Schreibstift im Spiegel sehen (Abb. 4.2). Beobachten Sie im Folgenden *Ihre Hand nur im Spiegelbild!* Versuchen Sie, Ihren Namen so zu schreiben, dass Sie ihn *im Spiegel* seitenrichtig lesen können.

(Vergleichen Sie Ihre Schwierigkeiten mit denen, die im Schreiblernprozess auftreten.)

b) Zeichnen Sie – bezogen auf Ihre Blickrichtung – je einen Pfeil von rechts nach links, von links nach rechts,

auf die Spiegelfläche zu und von der Spiegelfläche weg. Welche Richtungen bleiben erhalten, welche werden verändert? (Denken Sie auch an die Situation, dass Ihr Zahnarzt an einem Backenzahn Ihres Oberkiefers bohrt.)

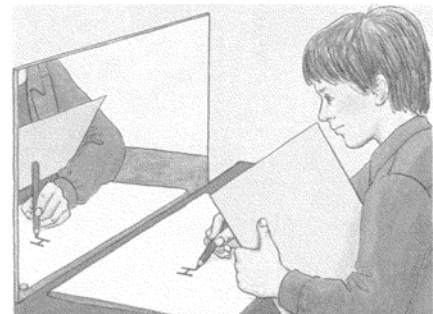


Abbildung 4.2

### 4.3 Der Doppelhohlspiegel zeigt überraschende Bildphänomene, sowohl von Gegenständen, die in seinem Inneren liegen als auch von solchen, die man unmittelbar über die Spiegelöffnung hält (z. B. von der Fingerspitze; Abb. 4.3). Versuchen Sie herauszufinden, welche der beobachteten Bilder reell, welche virtuell sind.

*Hinweis: Der Doppelhohlspiegel ist so konstruiert, dass der Brennpunkt des unteren Spiegels im Scheitelpunkt des oberen liegt und umgekehrt. Die Bauhöhe entspricht also der Brennweite  $f = \frac{1}{2} r$ . Der obere Spiegel hat im Scheitelpunkt eine Öffnung.*

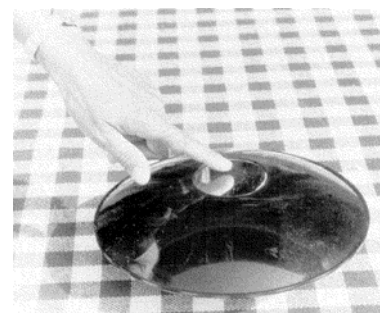


Abb. 4.3: Die Fingerkuppe scheint sich in einem Loch zu „spiegeln“.

*Hinweis:* Folgende Abbildungen sind verschiedenen Ausgaben der Physikschulbücher des Cornelsen-Verlages entnommen: Titelbild / S. 2, Abb. 1.1 u. 1.2 / S. 3, Abb. 2.1 / S. 5, Abb. 4.2. (Bildvorlagen v. H. Muckenfuß).

## 5 Versuche zur optischen Hebung in einfachen Fällen

5.1 a) Befestigen Sie mit Klebewachs eine Münze am Boden einer leeren Tasse und peilen Sie so über den Tassenrand, dass die Münze gerade verdeckt ist. Gießen Sie – ohne Ihre Betrachtungsposition zu ändern – langsam Wasser in die Tasse (Abb. 4).



Abb. 4

b) Präparieren Sie zwei Tassen gleich wie die in Teil a mit einem Geldstück. Eine der Tassen wird mit Wasser, die andere gleich hoch mit Glyzerin gefüllt. Vergleichen Sie, jeweils die optische Hebung der Münze.

5.2 Betrachten Sie einen Schriftzug, der teilweise durch eine (Plexi-)Glassplatte abgedeckt ist. Variieren Sie den Betrachtungswinkel zur Oberfläche der Glassplatte.

*Ergänzung:* Vergleichen Sie das Bild mit demjenigen eines Ulexitkristalls (sog. Television-stone). Er besteht aus feinen Borsilikatfasern, die wie Lichtleiter wirken. Worin besteht der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Bildern?

5.3 Legen Sie eine Münze in einen wassergefüllten Messbecher. Eine zweite, gleiche Münze legen Sie außerhalb neben den Gefäßboden. Blicken Sie beidäugig senkrecht von oben auf die Münzen. (→ Abb. 5.)

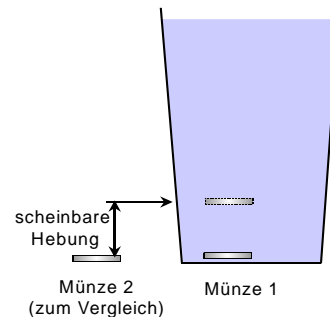


Abb. 5

a) Zeigen Sie während der Beobachtung seitlich am Gefäß die Höhe an, in der Sie die Münze im Wasser sehen. Hängt die scheinbare Hebung von der Wassertiefe ab?

b) Ändert sich die scheinbare Hebung, wenn Sie ein Auge schließen?

d) Wenn Sie die beiden Münzen im und neben dem Gefäß fotografieren, unterscheiden sie sich dann hinsichtlich ihres Durchmessers auf dem Bild oder nicht? (Versuchsergebnis → Fotografie)

### Optische Veränderungen an teilweise eingetauchten Körpern

5.4 In einer wassergefüllten Wanne liegen nebeneinander zwei Metallstäbe, deren Enden aus dem Wasser ragen. Einer der Stäbe erscheint geknickt, der andere gerade. Ziehen Sie die Stäbe aus dem Wasser.

5.5 Legen Sie eine Münze auf den Boden einer wassergefüllten Wanne. Haltern Sie ein Glasrohr schräg oberhalb der Wasseroberfläche und justieren Sie es so, dass Sie die Münze durch das Glasrohr sehen (Abb. 10).

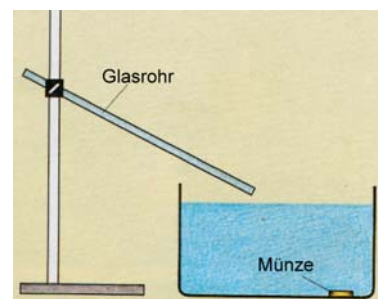


Abb. 10

a) Schieben Sie einen geraden Stab durch das Glasrohr. Warum erreicht er die Münze nicht? – Nennen Sie den tatsächlichen und den scheinbaren Grund.

b) Leuchten Sie nun mit dem Laserpointer durch das Rohr, so dass das Lichtbündel frei durch das Rohr fällt. Warum trifft es genau auf die Münze?

5.6 Stellen Sie ein Lineal senkrecht in ein größeres wassergefülltes Gefäß. Peilen Sie den eingetauchten Teil des Lineals in zunehmend flacherem Winkel über die Wasseroberfläche an. (Dieser Versuch eignet sich auch zum Vergleich der Hebung in verschiedenen Flüssigkeiten. Zwei Gefäße – z. B. gefüllt mit Wasser und Glyzerin – werden dazu direkt nebeneinander gestellt.)

### Die vertikale Position des virtuellen Bildes

Bezüglich der Verschiebung des virtuellen Bildes relativ zur Vertikalen findet man in Schulbüchern unterschiedliche Darstellungen (Abb. 6–8). Welche davon ist richtig?

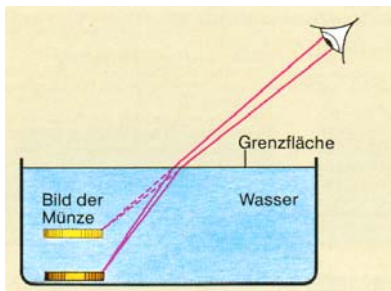


Abb. 6: Bild liegt vertikal über dem Gegenstand

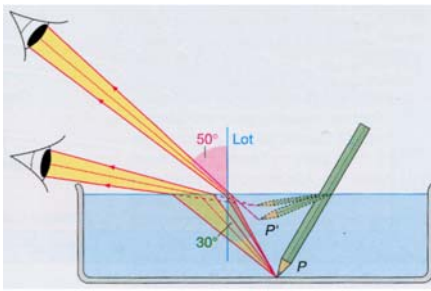


Abb. 7: Bild rückt auf den Beobachter zu

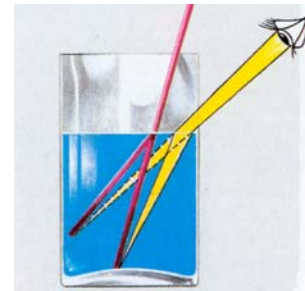


Abb. 8: Bild rückt vom Beobachter weg

5.7 a) Legen Sie eine Münze in ein wassergefülltes tieferes Gefäß (z. B. quaderförmige Wanne), und peilen Sie sie unter zunehmend flacherem Winkel an (Abb. 9). Achten Sie darauf, dass Sie die Münze immer mit beiden Augen sehen!

Schieben Sie bei flachem Blickwinkel einen Zeiger über den Ort, an dem Sie die Münze sehen. – Liegt der Bildort senkrecht (auf der Flächennormalen) über der Münze oder nicht?

b) Neigen Sie nun den Kopf um  $90^\circ$ , so dass Ihre Augen senkrecht übereinander stehen. Stellen Sie sicher, dass Sie die Münze noch mit beiden Augen sehen. Positionieren Sie den Zeiger erneut über der Stelle, an der Sie jetzt den Bildort wahrnehmen.

Wie erklären Sie sich den Unterschied in den wahrgenommenen Bildlagen der Versuchsteile a und b?

c) Überlegen Sie, bei welchen Flächenorientierungen der Bildort von der Flächennormalen weg und auf den Betrachter zu rückt. Wo kommt das vor?

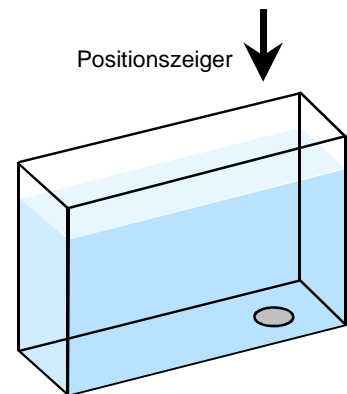


Abb. 9 Die Münze wird einmal mit normaler Kopfhaltung (Augen stehen horizontal nebeneinander) und einmal mit um  $90^\circ$  zur Seite geneigtem Kopf (Augen stehen vertikal übereinander) betrachtet.

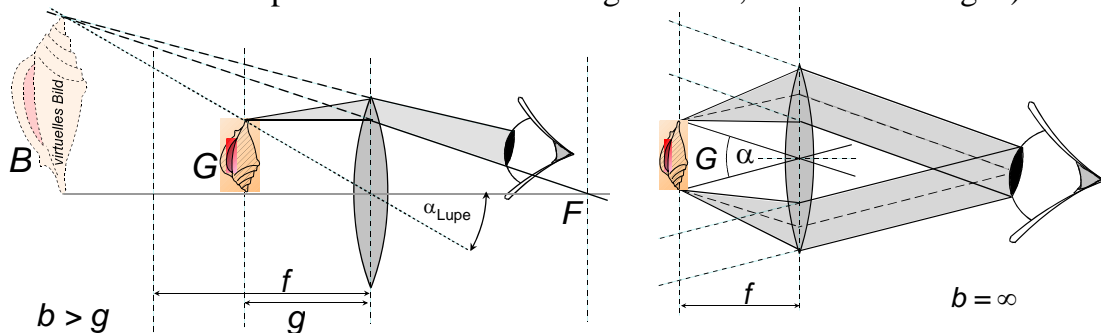
## 6 Totalreflexion:

6.1 Klares Wasser ist undurchsichtig: Betrachten Sie die Wasseroberfläche in einem Glas durch die Seitenwand schräg von unten. Halten Sie Ihren Finger dicht über die Wasseroberfläche. Tauchen Sie ihn dann langsam ein ...

6.2 Nehmen Sie ein rechtwinkliges (Plexi-)Glasprisma in die Hand und blicken Sie auf seine Basisseite. Halten Sie einen Finger direkt vor die Basisseite. Sehen Sie den Finger seitenrichtig oder seitenvertauscht? Erklären Sie, wie das Spiegelbild des Fingers zustande kommt.

## 7 Größen- und Entfernungseindrücke bei der Lupe

- 7.1 „Lochlupe“: In ein Blatt Papier wird ein kleines Loch gebohrt ( $\varnothing \approx 1 \text{ mm}$ ). Halten Sie das Loch direkt vor die Augenpupille und blicken Sie auf diesen Text (Brillenträger können bei diesem Versuch auf die Brille verzichten!). Führen Sie den gut beleuchteten Text so nahe wie möglich an das Auge heran. Welcher Eindruck entsteht? – Wie kommt er zustande?
- 7.2 Halten Sie eine Lupe ( $f = 2,5 - 5 \text{ cm}$ ) direkt vor ein Auge und betrachten Sie wieder den Text oder ein anderes Objekt. (Die optimale Wirkung hat die Lupe, wenn sich das Objekt in der Brennebene befindet.) Welchen Eindruck haben Sie von der Bildentfernung? (Vergleichen Sie Ihren Wahrnehmungseindruck mit der Bildlage, die Sie durch strahlenoptische Konstruktionen gewinnen, z. B. Abbildungen).



Behalten Sie die optimale Gegenstandsweite (= Brennweite) bei, vergrößern Sie aber den Abstand zwischen Lupe und Auge. Was ändert sich, was bleibt gleich?

- 7.3 Als Vergrößerung einer Lupe ist das Sehwinkelverhältnis  $V$  zwischen dem Lupenbild und dem mit freiem Auge in der Standardsehweite ( $s = 25 \text{ cm}$ ) betrachteten

Gegenstand definiert:  $V = \frac{\alpha_{\text{mit}}}{\alpha_{\text{ohne}}}$ .

Messen Sie die Vergrößerung einer Lupe (gehalten im Stativ). Betrachten Sie dazu mit einem Auge einen Maßstab, der sich etwa in der Brennebene der Lupe befindet, durch die Lupe und mit dem freien Auge ein Millimeterpapier, das sich in der deutlichen Sehweite befindet ( $g = 25 \text{ cm}$ , Anordnung  $\rightarrow$  Abb.). Bei geeigneter Orientierung des Millimeterpapiers können die Größenverhältnisse direkt abgelesen werden. Warum ist es nicht sinnvoll, Sammellinsen mit  $f \geq 25 \text{ cm}$  den Lupen zuzurechnen? Auch das virtuelle Bild einer Linse mit  $f = 40 \text{ cm}$  ist vergrößert!

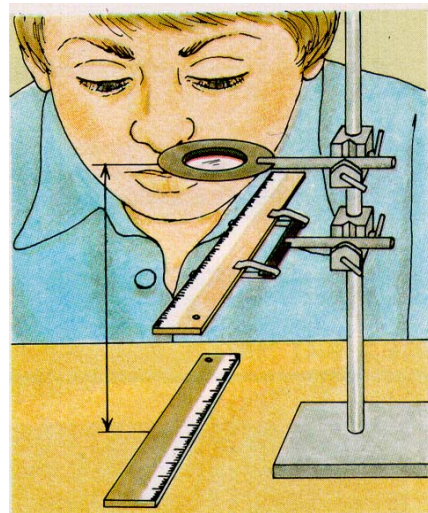


Abbildung: Versuchsanordnung zur Bestimmung des Vergrößerungsfaktors einer Lupe