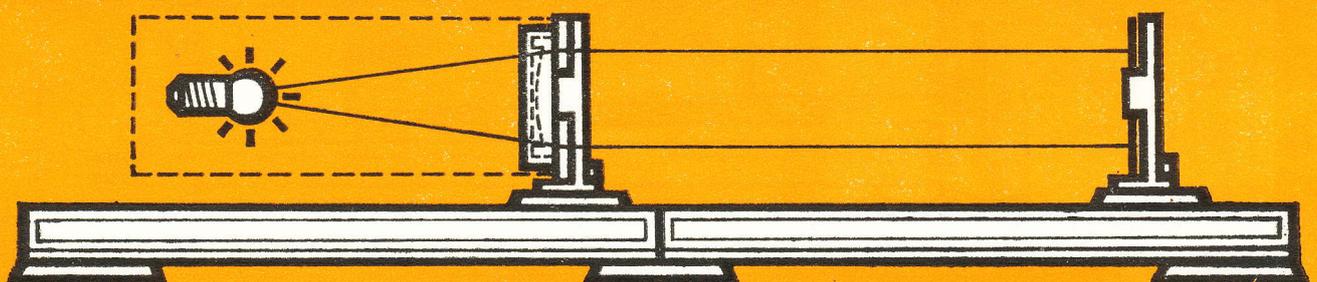
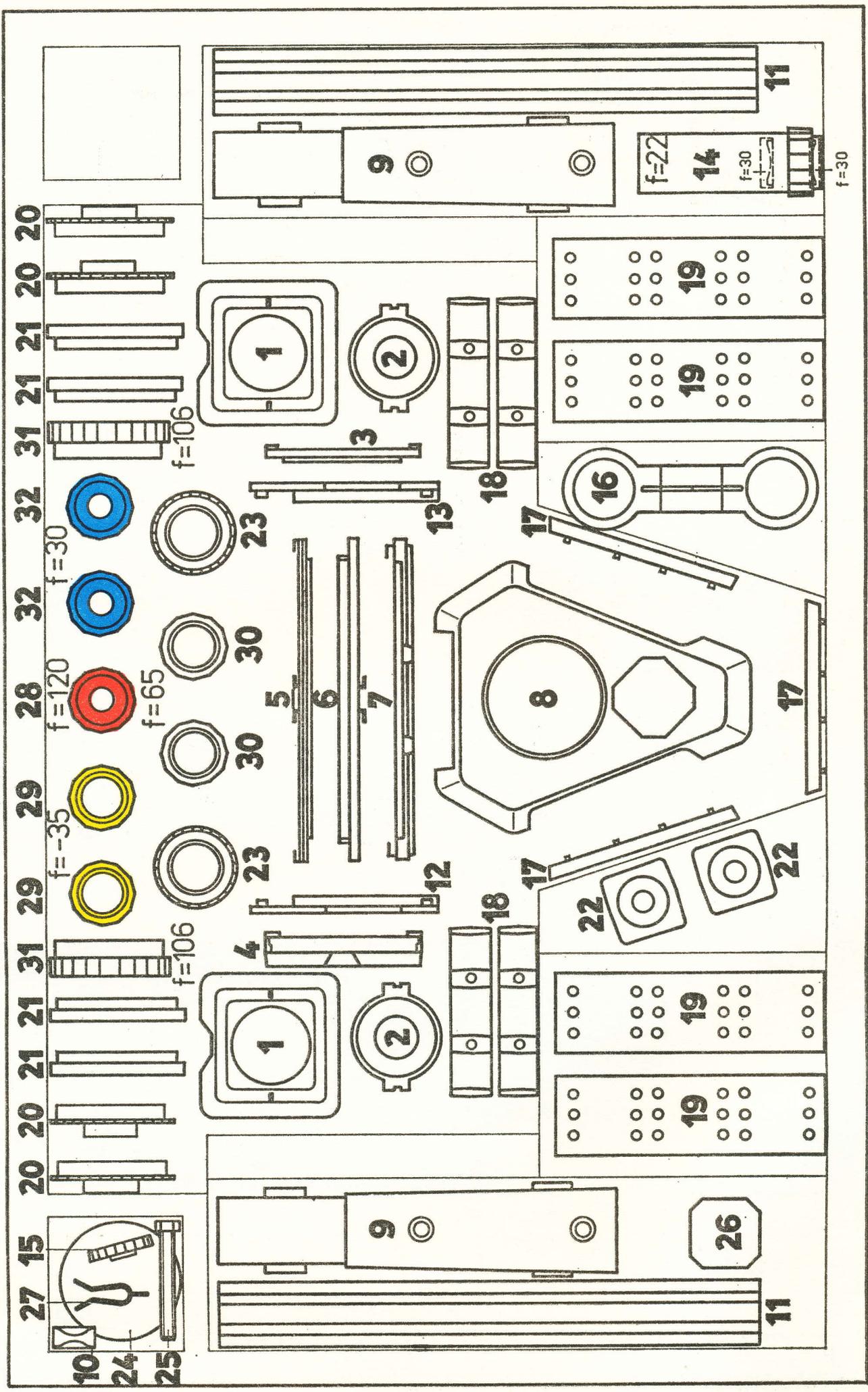


OPTIK- CABINET 80





Liebe junge Freunde!

Sicher möchtet Ihr, daß Euch recht viele Versuche mit dem Baukasten OPTIK-MONTAGE-EXPERIMENT gut gelingen. Deshalb müßt Ihr von Anfang an einige Dinge beachten, damit Ihr keine Enttäuschung erlebt.

1. Haltet in Eurem Baukasten immer einwandfreie Ordnung! Legt nach jedem Versuch die benutzten Teile wieder an die richtigen dafür vorgesehenen Plätze im Kasten! Zu diesem Zweck haben wir Euch eine Zeichnung beigelegt, aus der Ihr die Lage und auch die Nummern der Teile gut ersehen könnt.
2. Geht mit den Teilen sorgfältig um und versucht nie, beim Zusammensetzen Gewalt anzuwenden! Wenn bei einem Versuch Teile nicht zueinander zu passen scheinen, so habt Ihr sicher etwas falsch gemacht, denn alle Teile sind so aufeinander abgestimmt, daß sie sich leicht zusammenfügen und auch wieder auseinander nehmen lassen.
3. Besondere Sorgfalt ist beim Umgang mit den Linsen nötig. Ihr könnt diese nötigenfalls mit einem feinen Pinsel von Staub säubern. Ungünstig ist das Abreiben mit einem Tuch, da dabei leicht Kratzer durch feine Staubkörnchen entstehen können.
4. Ihr könnt mit diesem Baukasten 7 Modelle von optischen Geräten bauen, für die die Beschreibungen mit A bis G bezeichnet sind. Wer sich näher für die Wirkungsweise dieser Geräte interessiert und wer gern wie ein junger Wissenschaftler die Zusammenhänge ergründen möchte, nach denen diese Geräte arbeiten, der kann außerdem eine Anzahl von optischen Versuchen durchführen, die mit den Nummern 1 bis 30 bezeichnet sind. Auch dazu werden die Teile Eures Baukastens sehr häufig insbesondere die als Modell G aufgebaute kleine optische Bank, benötigt.

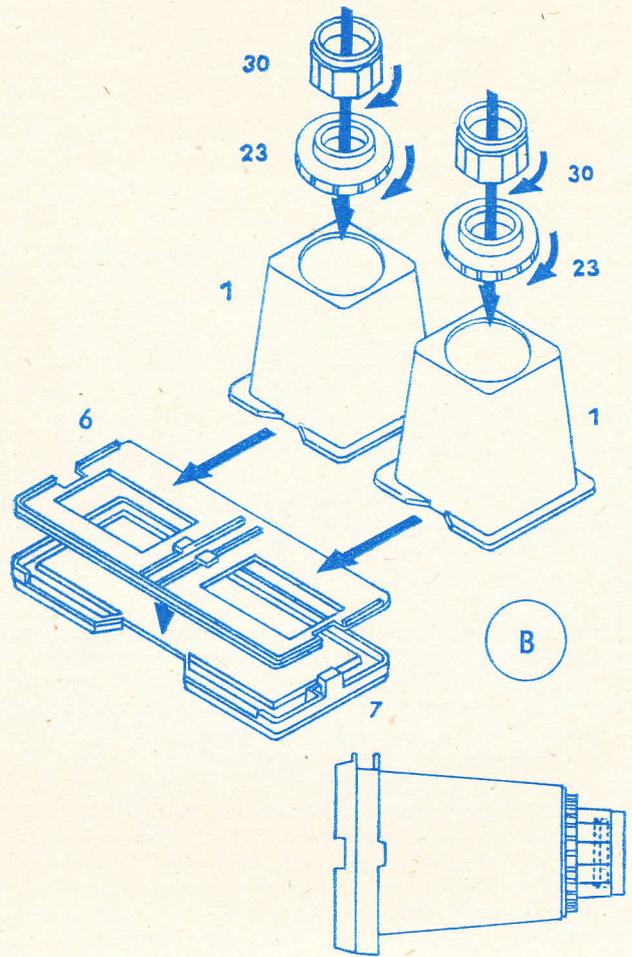
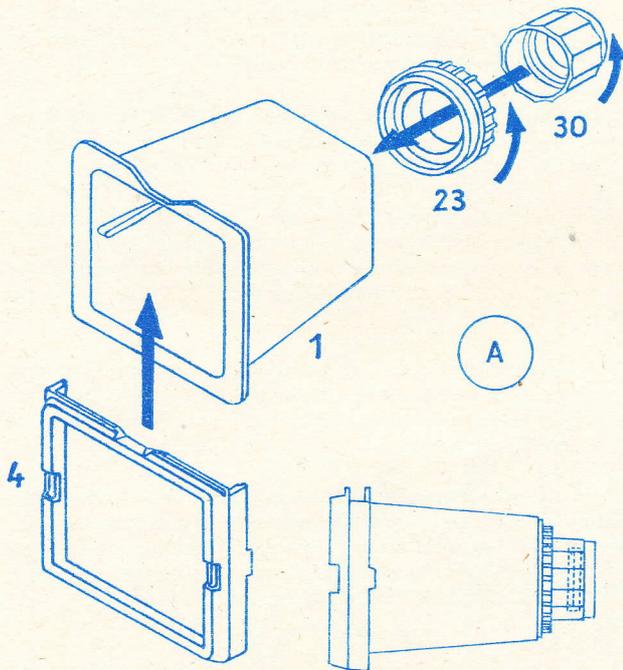
Einige einfache Hilfsmittel wie eine Taschenlampe, etwas Karton usw., könnt Ihr Euch leicht selbst beschaffen. Das beiliegende Blatt Transparentpapier dient ebenfalls für Eure Versuche. Was Ihr daraus ausschneiden sollt und wie Ihr damit umzugehen habt, erfahrt Ihr bei den Beschreibungen der einzelnen Versuche.

5. Lest vor jedem Versuch die dazugehörige Beschreibung genau durch, legt Euch dann die dazugehörigen Teile bereit, und beginnt erst dann mit Eurem Experiment.
6. Für den, der etwas tiefer in die mathematischen Zusammenhänge eindringen will, sind auch einige wenige Formeln angegeben. Diese sind jedoch für das Verständnis der Versuche nicht unbedingt erforderlich, Ihr könnt sie auch zunächst überspringen.
7. Bei einigen Versuchen wird eine Kerze verwendet. Wegen der damit verbundenen Brandgefahr holt Ihr Euch für diese Versuche die Erlaubnis oder noch besser die Hilfe eines Erwachsenen!

Wenn Ihr alle Versuche nach diesem Heftchen durchgeführt haben werdet, so werdet Ihr vielleicht mit Bedauern feststellen, daß es nicht mehr weitergeht. Geduldet Euch, vielleicht werdet Ihr bald einen Ergänzungsbaukasten zu Eurem OPTIK-MONTAGE-EXPERIMENT besitzen!

A. Aus den Teilen 1, 4, 23 und 30 läßt sich nach folgender Zeichnung ein **Diapositivbetrachter** zusammensetzen. Dazu wird das Teil 4 mit leichtem Druck auf die Vorderfläche des Teiles 1 geschoben. Hinten auf das Teil 1 steckt Ihr zunächst das Teil 23 und darauf die Linse 30. Durch eine leichte Rechtsdrehung klemmen wir beide Teile fest.

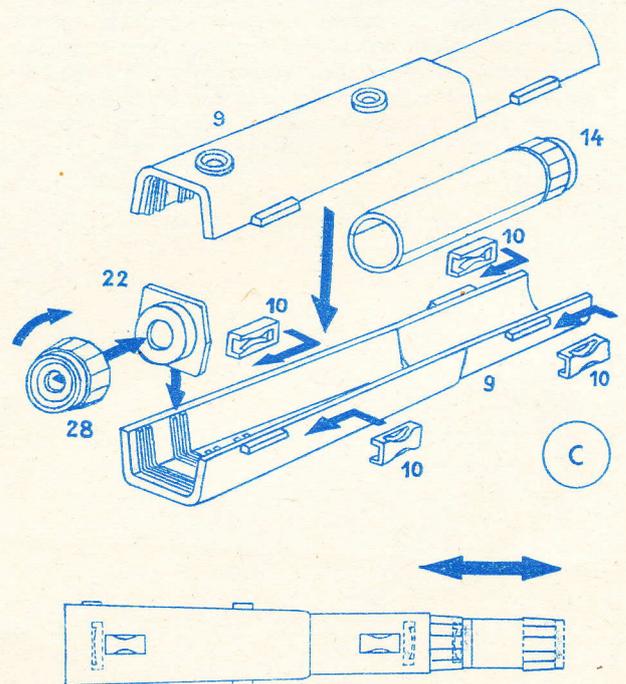
In den Schlitz, der sich zwischen den Teilen 1 und 4 gebildet hat, könnt Ihr dann das beigelegte Diapositiv oder ein anderes, z. B. von Eurem letzten Urlaub, stecken. Wenn Ihr nun das kleine Gerät mit dem Diapositiv z. B. auf das helle Fenster richtet und in die Linse blickt, so könnt Ihr die Einzelheiten des Bildchens deutlich erkennen. Die Arbeitsweise dieses kleinen Gerätes ist im Versuch 25 und in den vorangehenden Versuchen beschrieben.



B. Aus den Teilen 1 (doppelt), 6, 7, 23 und 30 (doppelt) können wir uns einen „doppelten Diapositivbetrachter“, einen sogenannten **„Stereobetrachter“**, zusammensetzen. Dazu legen wir zuerst Teil 6 auf Teil 7. Dann schieben wir zwei Teile 1 je rechts und links in die Aussparungen. In die rückwärtigen runden Öffnungen der Teile 1 stecken wir je ein Teil 23 und darauf je eine Linse 30. Durch eine leichte Rechtsdrehung klemmen wir beide Teile fest. Zwischen den Teilen 6 und 7 ergibt sich ein Schlitz. In diesen Schlitz stecken wir das beigelegte Stereodiapositiv. Wir richten das kleine Gerät auf ein helles Fenster und blicken hindurch. Die beiden Einzelbilder verschmelzen zu einem einzigen Bild, wobei wir einen deutlichen räumlichen Eindruck gewinnen. Die einzelnen Gegenstände auf dem Bild liegen nicht mehr wie beim Diapositivbetrachter (A) in einer Ebene, sondern erscheinen räumlich angeordnet.

Näheres über die Wirkungsweise dieses kleinen Gerätes erfahrt Ihr im Versuch 25.

C. Aus den Teilen 9 (doppelt), 10 (vierfach), 14, 22 und 28 setzen wir ein **astronomisches Fernrohr** zusammen. Die beiden Teile 9 unterscheiden sich geringfügig. Eines davon besitzt am hinteren, runden Ende innen eine kleine Nase. Wir wählen dieses Teil und schieben in die innere Kerbe am eckigen Ende ein Teil 22, auf das wir vorher eine Linse 28 aufgeschraubt haben. Wenn das Teil 22 beim Einsetzen in das Teil 9 nicht gleich paßt, drehen wir



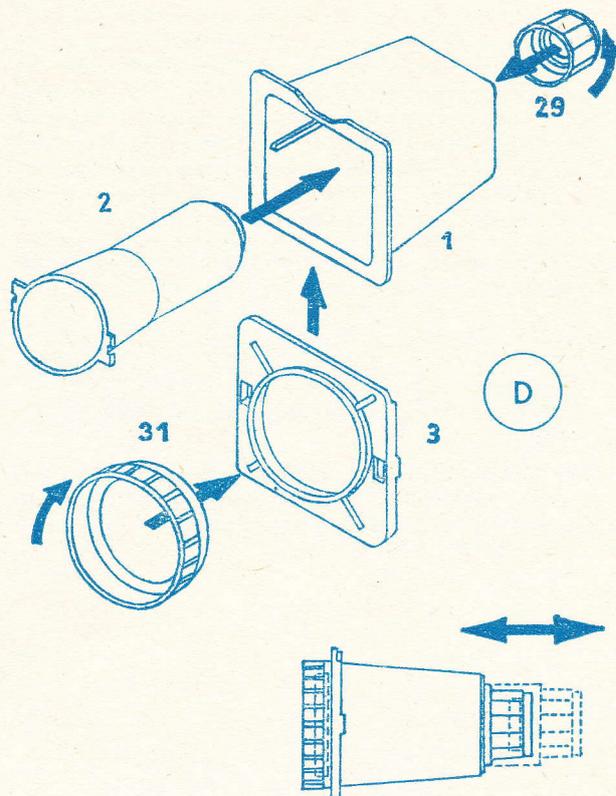
es eine Vierteldrehung. Am runden Ende legen wir das Teil 14 so ein, daß die Nut im Teil 14 gerade auf die oben erwähnte kleine Nase trifft. Dann decken wir das andere Teil 9 über das Ganze und sichern das Modell mit vier Teilen 10 vor dem Auseinanderfallen. Das Teil 14 muß sich leicht hin- und herschieben lassen, um das Bild scharf einstellen zu können. Wenn wir von der Seite aus in das Fernrohr blicken, an der sich das Teil 14 befindet, so können wir entfernte Häuser, Bäume usw. betrachten, jedoch stehen alle Dinge auf dem Kopf. Dies ist durch die Arbeitsweise des astronomischen Fernrohres bedingt. Näheres dazu findet Ihr in der Beschreibung zum Versuch 26.

Bei der Betrachtung astronomischer Objekte stört das umgekehrte Bild nicht da ja für den Weltraum die Begriffe „oben“ und „unten“ keine Bedeutung haben. Ein sehr interessantes astronomisches Objekt ist der Mond. Um möglichst viele Objekte auf dem Mond deutlich mit unserem Fernrohr wahrnehmen zu können, wählen wir bei zunehmendem Mond die Zeit des Halbmondes oder kurz danach. Bei Vollmond werfen nämlich die Krater und Gebirge keine so ausgeprägten Schatten. Das Foto auf der letzten Umschlagseite zeigt uns den Mond zu dieser Zeit, unser Fernrohr zeigt uns dieses Bild natürlich umgekehrt.

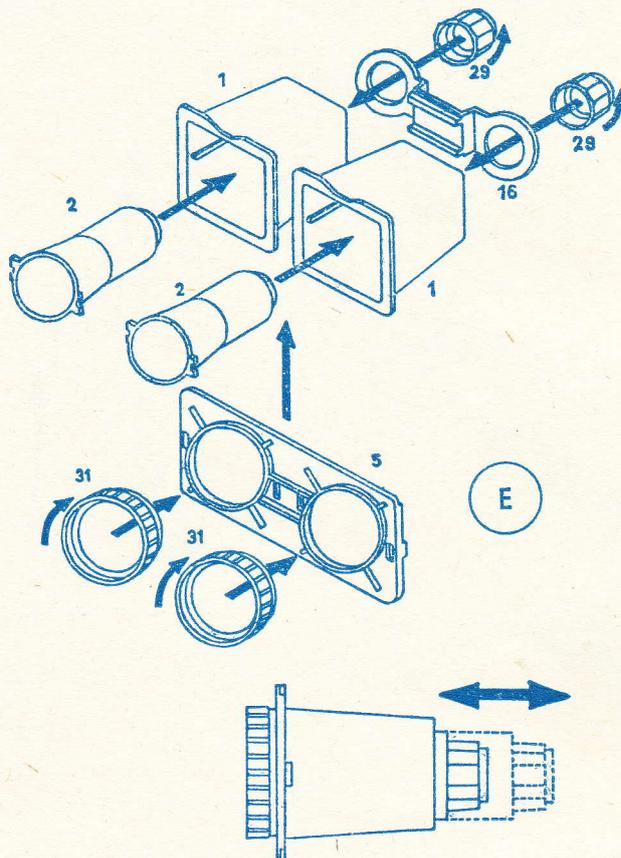
Natürlich können wir nicht alle Einzelheiten, die auf dem Foto zu sehen sind, mit unserem einfachen Fernrohr unterscheiden, sicher aber erkennen wir:

1. Krater Kopernikus
2. Meer der Heiterkeit (mare serenitatis)
3. Meer der Ruhe (mare tranquillitatis)
4. Meer der Dämpfe (mare vaporum)
5. Apenninen-Gebirge
6. Meer der Krisen (mare crisium)
7. Meer der Fruchtbarkeit (mare fecunditatis)
8. Meer des Nektars (mare nectaris)
9. Balkan (haemus)

D. Ein Erdfernrohr, bei dem das Bild nicht umgekehrt wird, können wir aus den Teilen 1, 2, 3, 29 und 31 zusammensetzen. Dazu schieben wir das Teil 2 so in das Teil 1, daß die beiden Kerben des Teiles 2 über die beiden Führungen des Teiles 1 greifen. Dann stecken wir auf das durch das Teil 1 gesteckte Ende des Teiles 2 eine Linse 29. Durch eine leichte Rechtsdrehung klemmen wir das Teil fest. Über die flache Vorderseite des Teiles 1 schieben wir das Teil 3 mit dem erhabenen Rand nach außen. Darauf wiederum stecken wir eine Linse 31. Ebenfalls durch eine leichte Rechtsdrehung klemmen wir dieses Teil fest. Wir halten das Ende mit der Linse 29 vor ein Auge und richten das Fernrohr auf einen entfernten Gegenstand. Das Teil 2 läßt sich verschieben, um das Bild scharf einstellen zu können. Näheres über die Arbeitsweise des Erdfernrohres erfahrt Ihr in der Beschreibung zum Versuch 28.



E. Ein Theaterglas können wir aus den Teilen 1 (doppelt), 2 (doppelt), 5, 16, 29 (doppelt) und 31 (doppelt) zusammensetzen.



Wir schieben die Teile 2 wie beim Erdfernrohr (D) durch die Teile 1. Dann setzen wir die beiden Teile 1 mit dem Teil 5 zusammen, wobei die erhabenen Ränder der beiden Öffnungen nach außen gerichtet sind. Auf diese Öffnungen stecken wir je eine Linse 31 und klemmen sie, wie bereits bekannt, fest. Auf der anderen Seite schieben wir das Teil 16 über die beiden aus den Teilen 1 herausragenden Enden der Teile 2, auf die wir danach wiederum je eine Linse 29 stecken und festklemmen.

Das Theaterglas stellt damit praktisch eine Kombination zweier Erdfernrohre dar.

Die Schärfe des Bildes kann durch Verschiebung der Teile 2, 16 und 29 eingestellt werden, wobei wir zweckmäßigerweise die Mitte des Teiles 16 anfassen und verschieben, während wir das Teil 5 mit der anderen Hand festhalten.

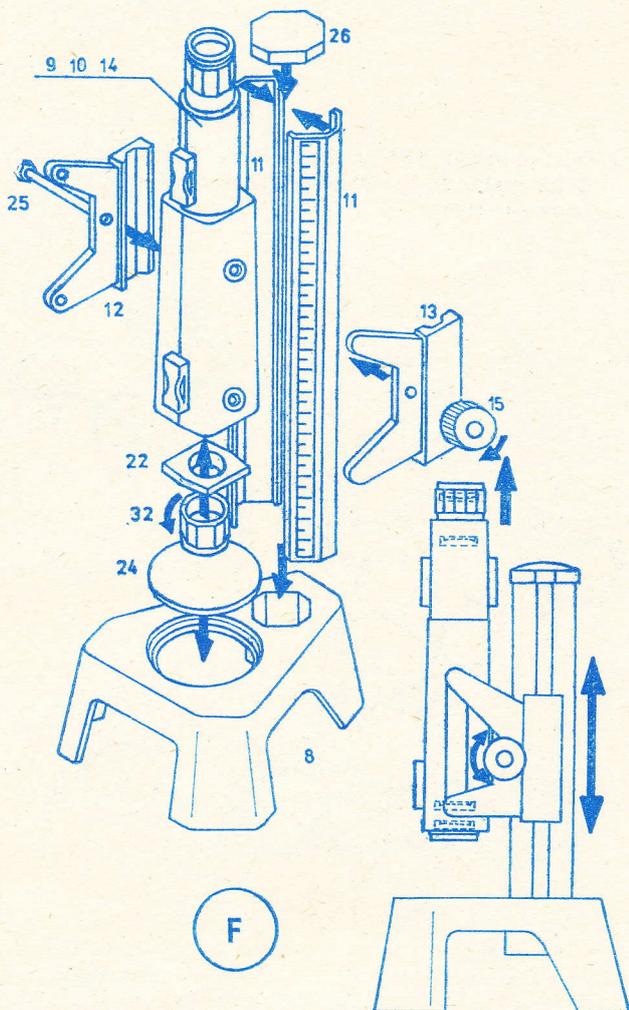
Da das Theaterglas optisch ebenso arbeitet wie das Erdfernrohr, findet Ihr Näheres über seine Wirkungsweise auch in der Beschreibung zum Versuch 28.

F. Ein **Mikroskop** können wir aus den Teilen 8, 9 (doppelt), 10 (vierfach), 11 (doppelt), 12, 13, 14, 15, 22, 24, 25, 26 und 32 zusammensetzen. Dazu setzen wir zunächst die Teile 9 (doppelt), 10 (vierfach), 14, 22 und 32 ähnlich wie beim astronomischen Fernrohr (C) zusammen. An Stelle der Linse 28 verwenden wir jedoch jetzt die Linse 32, außerdem schieben wir das Teil 22 nicht wie beim astronomischen Fernrohr in den inneren, sondern in den äußeren Einschnitt des Teiles 9. Dann setzen wir zwei Teile 11 zu einem achteckigen Stab zusammen, den wir in die achteckige Öffnung des Teiles 8 stecken. Die beiden Teile 12 und 13 greifen mit ihren Stiften in die Vertiefungen an den Außenflächen der Teile 9 ein. Sie dienen als Führung, nachdem sie mittels Schraube 25 und Rändelmutter 15 über den Teilen 11 zusammengedrückt sind. Schließlich werden die Teile 11 oben noch vom Teil 26 abgedeckt. Das Teil 24 wird auf die runde Öffnung des Teiles 8 gelegt. Wenn man die Rändelmutter 15 etwas lockert, kann man das Mikroskop nach oben oder unten bewegen, um die richtige Höhe einzustellen.

Da man die zu betrachtenden Gegenstände auf den Mikroskoptisch legt und dann im darauf auffallenden Licht betrachtet, heißt diese Art von Mikroskop auch „Auflichtmikroskop“. Als Betrachtungsobjekte eignen sich z. B. ein Wassertropfen aus einer Pfütze, einer Blumenvase oder einem Teich, ein Haar, ein Wollfaden, eine Faser aus einem synthetischen Gewebe und vieles andere mehr.

Die das Mikroskop bildenden Teile 9 besitzen zwei Einschnitte zur Aufnahme des Teiles 22. Ihr könnt dadurch für Euer Mikroskop verschiedene Linsenkombinationen verwenden. Bei großen Mikroskopen wird oft mit Wechselobjektiven gearbeitet, um die Vergrößerung dem jeweiligen Bedarf anzupassen. Ihr könnt die Kombinationen der Linsen 30 und 28, 32 und 28 sowie 32 und 32 als Mikroskopobjekte erproben. Für jedes Objektiv erhaltet Ihr eine andere Vergrößerung.

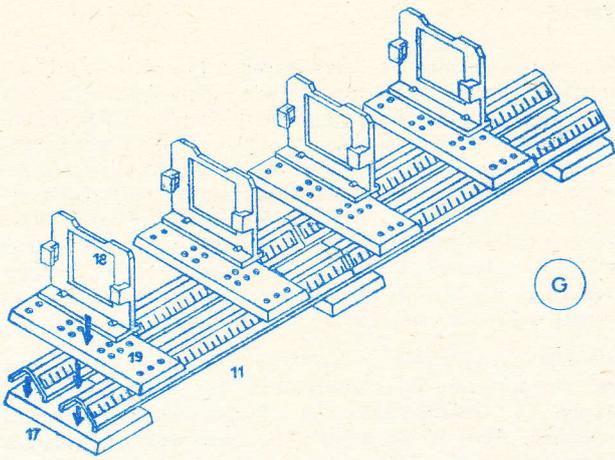
Näheres über die Wirkungsweise Eures Mikroskopes findet Ihr in der Beschreibung zum Versuch 29.



Versuch 1

Das Licht breitet sich normalerweise geradlinig aus. Wir zeigen dies, indem wir eine kleine Vorrichtung aus den Teilen 18, 19, 20 und 21 zusammensetzen (1 A). Mit Hilfe einer Taschenlampe, von der wir die Kappe abgenommen haben, so daß die Glühlampe frei leuchten kann, erzeugen wir nach 1 B einen Schatten auf der Wand. Die gedachte Verbindungslinie zwischen der Glühlampe und einer beliebigen Stelle auf dem Rand der Blende (Teil 20 innen) sowie die Verlängerung dieser Linie bis zum Rand des Schattenbildes ist gerade. Wir verschieben dann unsere Vorrichtung, wie 1 B gestrichelt zeigt. Rücken wir sie näher an die Glühlampe heran, dann wird der helle Fleck größer. Die gedachte Verbindungslinie bleibt jedoch gerade. Wir können auch Glühlampe und Vorrichtung weiter von der Wand entfernen und bekommen das gleiche Ergebnis.

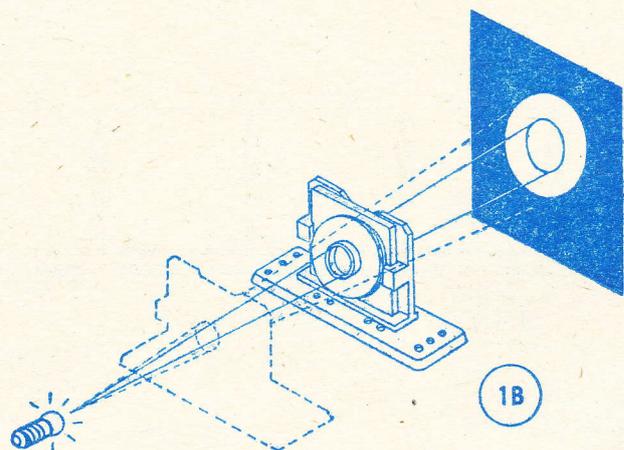
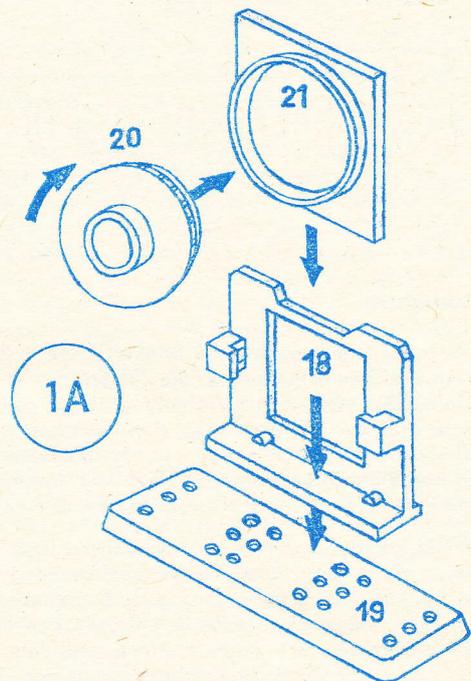
Bei diesem Versuch empfiehlt es sich, das Zimmer etwas abzdunkeln.



G. Wenn Ihr Euch näher mit den Wirkungsweisen Eurer optischen Geräte befassen wollt, so benötigt Ihr für viele Versuche eine **optische Bank**. Diese könnt Ihr aus den Teilen 11 (viermal) und 17 (dreimal) zusammensetzen. Die Teile 11, die als Schienen dienen, werden dazu auf die Teile 17 gesteckt. In der Mitte trägt dazu ein Teil 17 die Enden von insgesamt 4 Teilen 11, während an den Enden der optischen Bank ein Teil 17 die Enden von je zwei Teilen 11 trägt. Auf diese Vorrichtung können dann die Teile 19 nach Bedarf gelegt und beliebig hin- und hergeschoben werden, wie es die einzelne Versuchsanordnung erfordert. Die Teile 19 tragen dabei Teile 18, die die Reiter der optischen Bank darstellen. In die Teile 18 werden dann weitere Teile, gegebenenfalls mit Linsen usw., eingesetzt. Die Anordnung dieser Reiter hängt von den jeweiligen Versuchsbedingungen ab. Auf den Teilen 11 ist eine Einteilung in ganze und halbe Zentimeter angebracht, um die Entfernung der Reiter voneinander bestimmen zu können.

Alle unsere Versuche befassen sich mit dem Licht. Mit Hilfe des Lichtes können wir sehen; denn es gibt Dinge, die in der Lage sind, Licht auszusenden. Dazu gehören die Sonne, eine eingeschaltete Glühlampe, eine brennende Kerze und andere mehr. Andere Gegenstände wiederum, wie diese Anleitung, die Zimmerwand, die Teile in unserem Baukasten und auch der Mond, werden uns deshalb sichtbar, weil sie beleuchtet werden und das Licht mehr oder weniger gut zurückwerfen. Wir unterscheiden deshalb zwischen **selbstleuchtenden** und **beleuchteten Körpern**. Bei den beleuchteten Körpern können wir wiederum zwischen **lichtundurchlässigen** (z. B. Metalle, Holz, Karton) und **lichtdurchlässigen** unterscheiden. Bei letzteren gibt es schließlich **durchsichtige** und **durchscheinende** Körper. Durchsichtig sind Körper aus Glas oder die Linsen 28, 29, 30 und 31 aus unserem Baukasten. Durchscheinende Körper sind z. B. Mattscheiben 4, 7 und 24, die sich in unserem Baukasten befinden.

Das von einem leuchtenden Gegenstand ausgehende Licht breitet sich scheinbar unendlich schnell aus. Wenn wir eine Glühlampe einschalten, so wird praktisch sofort das Zimmer hell. Genaue Untersuchungen haben aber gezeigt, daß dies nicht ganz stimmt. Das Licht legt tatsächlich in einer Sekunde rund 300 000 Kilometer zurück. Für unsere Versuche brauchen wir das nicht zu berücksichtigen. Es ist aber ganz interessant zu wissen, daß das Licht von der Sonne bis zu uns rund 5 Minuten und vom Mond etwa $1\frac{1}{3}$ Sekunden braucht.

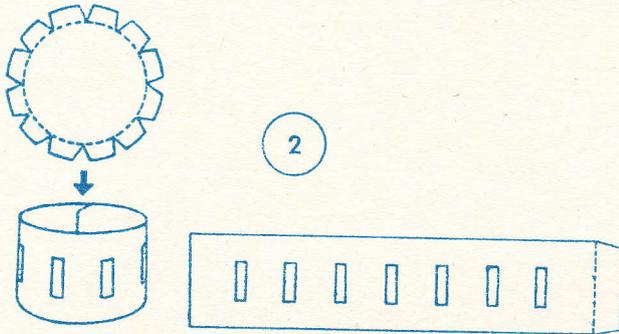


Versuch 2

Um uns von der Geradlinigkeit der Lichtausbreitung weiter zu überzeugen, basteln wir uns aus dünnem Karton eine kleine Haube mit Schlitzfenstern für unsere Taschenlampe. Die Abbildung 2 zeigt, wie wir sie leicht ausschneiden und am Falz zusammenkleben können. Ihre Größe richtet sich nach unserer Taschenlampe.

Wenn wir diese Haube über die brennende Glühlampe stülpen, dann können wir ringsum an der Wand helle Streifen sehen, und zwar überall dort, wo das Licht auftritt, das geradlinig durch die Schlitzfenster dringt.

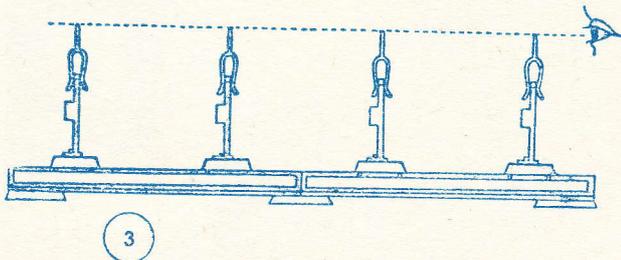
Bei diesem Versuch empfiehlt es sich, das Zimmer etwas abzudunkeln.



Versuch 3

Wir setzen unsere optische Bank (G) mit 4 Reitern zusammen. Auf den Rähmchen (Teile 18) bringen wir Klemmen an (Teile 27). Wie unsere Abbildung zeigt, visieren wir dann genau in der Längsrichtung der optischen Bank über die Klemmen, die wir so lange seitlich verschieben, bis sie sich in der Blickrichtung decken. Sie bilden dann, wie man sich mit einem Lineal leicht überzeugen kann, eine gerade Linie.

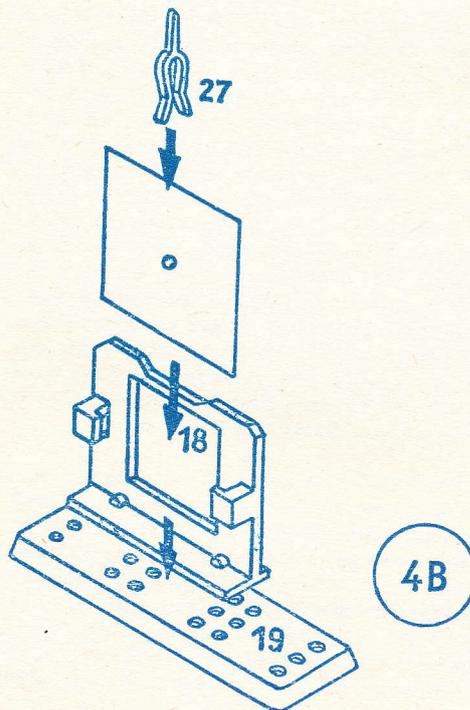
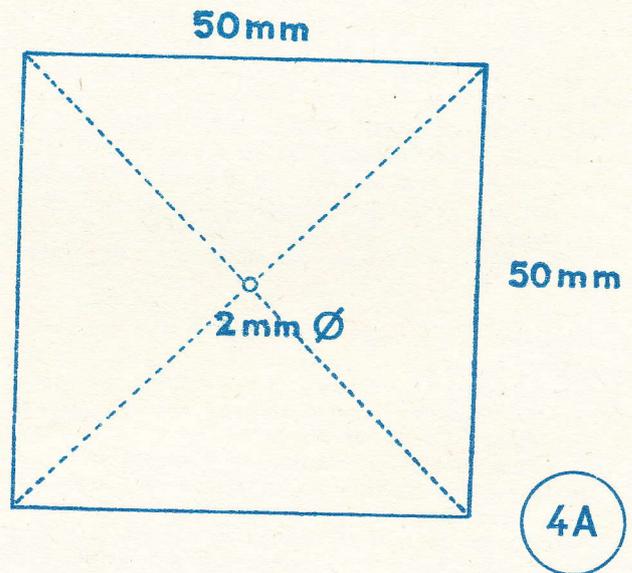
Wenn wir dann die Reiter in Längsrichtung auf der optischen Bank verschieben, bleibt die Deckung der Klemmen in Blickrichtung auf die gerade Verbindungslinie auch dann erhalten, wenn die Abstände zwischen den Rähmchen verändert werden. Wir können sogar, nachdem die Klemmen einmal ausgerichtet sind, abwechselnd von beiden Seiten über das Ganze hinwegvisieren. Dies beweist uns, daß der Lichtweg in seiner Richtung umkehrbar ist.

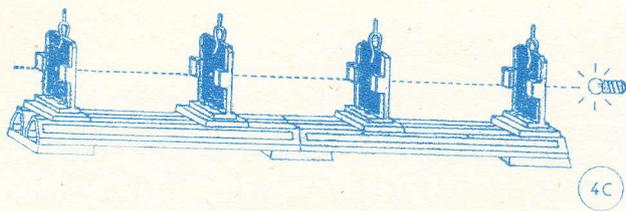


Versuch 4

Wir schneiden uns vier quadratische Kartonstücke nach 4 A zurecht. Genau in der Mitte, die wir mittels diagonaler Verbindungslinien zwischen gegenüberliegenden Ecken ermitteln, schneiden wir ein kleines Loch von etwa 2 mm Durchmesser. Dann setzen wir uns Vorrichtungen nach 4 B zusammen, wobei wir die selbstgefertigten Kartonstücke in die Rähmchen 18 stecken und mit Klemmen 27 befestigen. Wenn wir uns dann wieder unsere optische Bank, diesmal nach 4 C, zusammensetzen und genau gearbeitet haben, so können wir eine hinter die letzte Kartonblende gehaltene Glühlampe durch alle vier Löcher hindurchleuchten sehen.

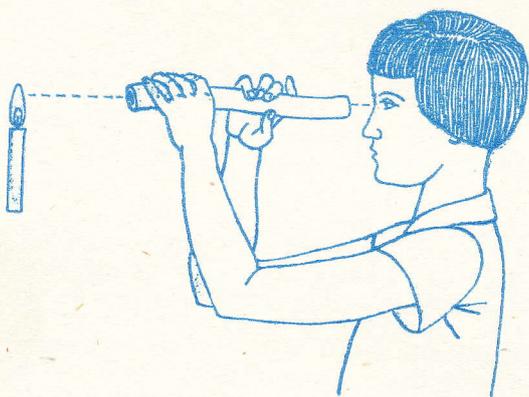
Wir können auch jetzt unsere Reiter mit den Kartonblenden auf der optischen Bank verschieben. Die Glühlampe bleibt wegen der Geradlinigkeit der Lichtausbreitung immer zu erkennen. Auch ist es gleichgültig, von welcher Seite wir blicken, da ja die Richtung des Lichtweges umkehrbar ist.





Versuch 5

Wir versuchen jetzt, durch ein Stück Schlauch hindurch eine brennende Glühlampe oder Kerze zu erkennen. Wir stellen bald fest, daß uns dies nur dann gelingt, wenn wir den Schlauch ganz gerade halten.

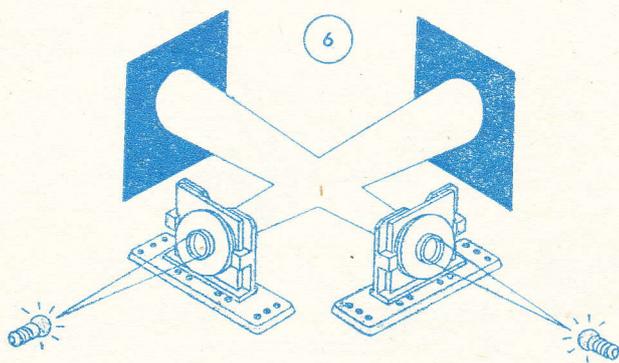


5

Versuch 6

Wir wollen beweisen, daß sich Lichtstrahlen von zwei verschiedenen Lichtquellen nicht gegenseitig stören. Dazu bauen wir den Versuch 1 doppelt auf. Es zeigt sich, daß sich beide Versuchsaufbauten auch bei sich kreuzenden Lichtstrahlen so verhalten, als seien sie voneinander unabhängig.

Bei diesem Versuch empfiehlt es sich, das Zimmer etwas abzdunkeln.



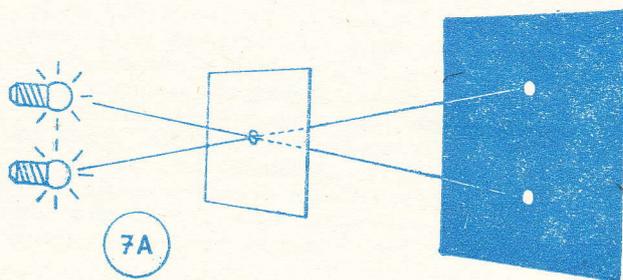
Versuch 7

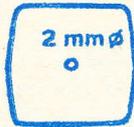
In ein großes Kartonstück schneiden wir in der Mitte ein kleines Loch von etwa 2 mm Durchmesser. Davor ordnen wir nahe beieinander zwei Glühlampen an und bringen alles vor eine Wand oder einen großen Kartonschirm (7 A). Auf der Wand erscheinen zwei Lichtpunkte. Die geradlinig durch das gemeinsame Loch tretenden Lichtstrahlen stören sich gegenseitig nicht. Mittels geringer Bewegung der einzelnen Lampen können wir auch leicht feststellen, welcher Lichtpunkt zu welcher Lampe gehört. Sind die Lampen beispielsweise übereinander angeordnet, so liefert die obere Lampe den unteren Lichtpunkt und umgekehrt. Wir könnten auch noch weitere Lampen verwenden und würden dann weitere zugeordnete Lichtpunkte erhalten. Wir sagen, die Lichtpunkte stellen eine **Abbildung** oder ein **Bild** der Lichtquellen dar, wobei bei unserem Versuchsaufbau oben mit unten und links mit rechts vertauscht werden.

Bei diesem Versuch empfiehlt es sich, das Zimmer etwas abzdunkeln.

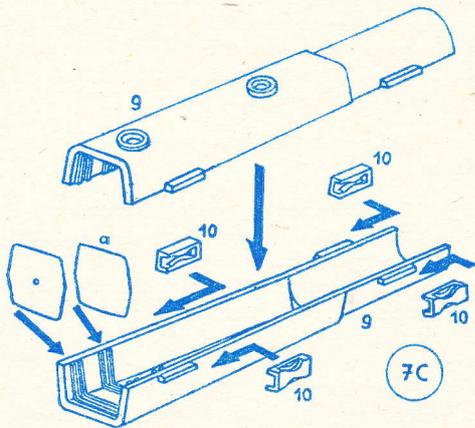
Unsere dabei gewonnenen Erkenntnisse benutzen wir zum Aufbau eines kleinen Gerätes, einer sogenannten **Lochkamera**. Dazu fertigen wir uns als Lochblende zunächst aus Pappe eine kleine Scheibe mit der Größe und der Gestalt der Platte des Teiles 22 an und schneiden in der Mitte ein Loch von etwa 1 bis 2 mm Durchmesser (7 B). Vom beiliegenden Transparentpapier schneiden wir uns ferner das Teil a aus. Dann setzen wir eine Vorrichtung nach 7 C zusammen. Blicken wir jetzt nach 7 D durch die Vorrichtung auf einen möglichst hellen Gegenstand, etwa auf das helle Fenster, die eingeschaltete Zimmerlampe oder auf eine brennende Kerze, so sehen wir diesen Gegenstand umgekehrt auf dem Transparentschild in unserer Vorrichtung. Dabei trägt jeder einzelne Punkt des Gegenstandes, von dem aus ein Lichtstrahl durch unsere Lochblende tritt, zur Entstehung des Bildes auf dem Transparentschild in der Art und Weise bei, wie wir es im ersten Teil dieses Versuches kennengelernt haben. Wir wiederholen dann unsere Experimente, vergrößern jedoch in beiden Fällen das Loch etwas, vielleicht auf einen Durchmesser von etwa 3 mm. Wir beobachten die gleiche Erscheinung, die Bilder werden jedoch unschärfer, aber heller.

Heller werden sie, weil durch das größere Loch mehr Licht hindurchtreten kann. Unschärfer werden sie, weil wir uns ein größeres Loch als aus mehreren dicht nebeneinander angeordneten kleineren Löchern zusammengesetzt denken können, die alle für sich Bilder liefern. Diese Bilder sind aber alle gegeneinander etwas verschoben und überdecken sich auf dem Schirm. Deshalb wird bei einem größeren Loch das Gesamtbild unschärfer.

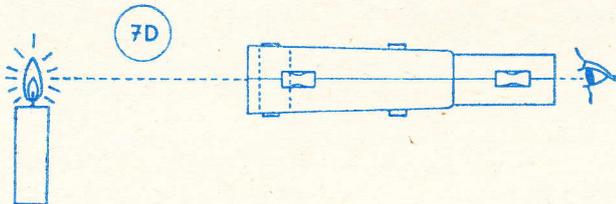




7B



7C

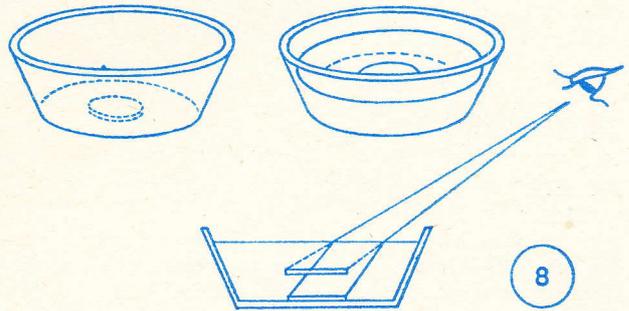


7D

Versuch 8

Wir werden jetzt feststellen, daß sich das Licht nicht unter allen Bedingungen geradlinig ausbreitet. Dazu legen wir eine Münze in eine flache Schale und blicken flach so über den Rand der Schale, daß die Münze gerade nicht mehr zu sehen ist, da der geradlinige Lichtweg vom Schalenrand unterbrochen wird. Gießen wir jetzt, ohne die Stellung des Kopfes zu verändern, vorsichtig etwas Wasser in die Schale, so wird die Münze plötzlich sichtbar, sie hat sich scheinbar gehoben. Dies läßt sich nur so erklären, daß die bisher geradlinigen Lichtstrahlen plötzlich geknickt werden. Die Ursache dafür kann nur das Wasser sein, denn sonst haben wir ja am Versuchsaufbau nichts verändert. Der Knick der Lichtstrahlen erfolgt tatsächlich an der Wasseroberfläche. Bewegen wir die Wasseroberfläche, so scheint sich auch die Münze zu bewegen. Wenn wir den Versuch mehrfach wiederholen, wobei wir einmal etwas flacher und einmal etwas mehr von oben auf die Münze blicken, so werden wir feststellen, daß die scheinbare Hebung um so größer ist, je flacher man die Blickrichtung wählt, je flacher also die Lichtstrahlen aus der Wasseroberfläche austreten. (Damit bei gleicher Schalenrandhöhe der Versuch immer gelingt, muß man möglicherweise manchmal noch etwas unter die Münze legen, vielleicht zwei gleiche Münzen übereinander einlegen, so daß die obere Münze bei flacherer Blickrichtung gerade verschwindet.)

Diese Erscheinung begegnet uns auch, wenn wir mit einem Boot über einen nicht zu tiefen, klaren See fahren, dessen Grund wir erkennen können. Dann erscheint uns nämlich die Stelle direkt unter unserem Boot tiefer als in einiger Entfernung, wo die vom Grund kommenden Lichtstrahlen, die unser Auge treffen, flacher aus der Wasseroberfläche austreten.

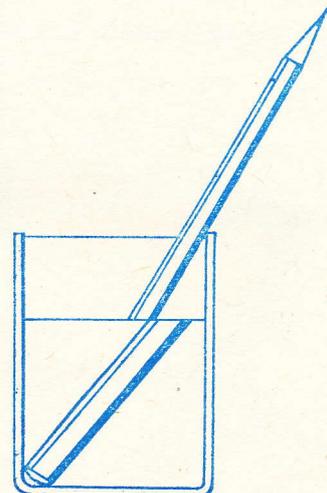


8

Versuch 9

Sehr eindrucksvoll können wir die Lichtbrechung aus beobachten, wenn wir einen Bleistift schräg in ein Glas mit Wasser stellen. Der Bleistift erscheint uns an der Wasseroberfläche geknickt.

Lichtstrahlen werden nicht nur an der Grenze zwischen Flüssigkeiten und Luft gebrochen, auch beispielsweise Gase von unterschiedlicher Temperatur können Lichtstrahlen brechen. Wenn wir über eine brennende Kerze hinweg auf einen Gegenstand blicken, so scheinen dessen Formen zu verschwimmen. An den Stellen, an denen die kältere mit der wärmeren Luft zusammentrifft, wird der Lichtstrahl gebrochen. Die über der Kerze aufsteigende warme Luft hat nicht nur keine gleichmäßige Temperatur, sondern auch unebene Grenzflächen gegenüber der umgebenden kälteren Luft, deshalb entsteht eine ungeordnete Lichtbrechung. Wir können diese Erscheinung auch im Winter über Schornsteinen beobachten, wenn sie beheizt sind, oder an heißen Sommertagen über von der Sonne stark erwärmten Dächern oder Straßen, von denen erwärmte Luft aufsteigt. Eine ähnliche Erscheinung ist auch in der Wüste bekannt und gefürchtet; denn dort können unter bestimmten Erwärmungsbedingungen auch weit hinter dem Horizont liegende Oasen plötzlich scheinbar sichtbar werden. Dort heißt diese Erscheinung *Fata Morgana*.



9

Versuch 10

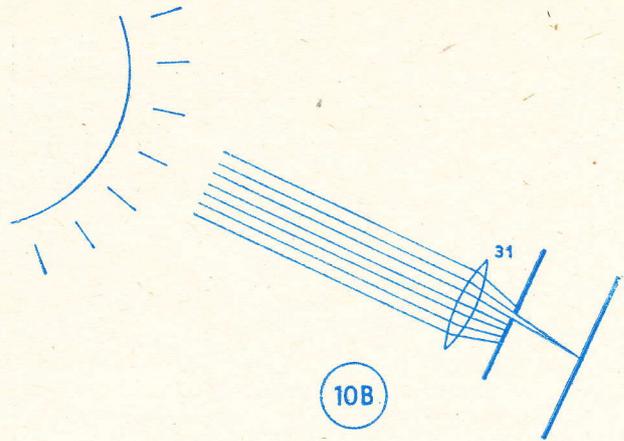
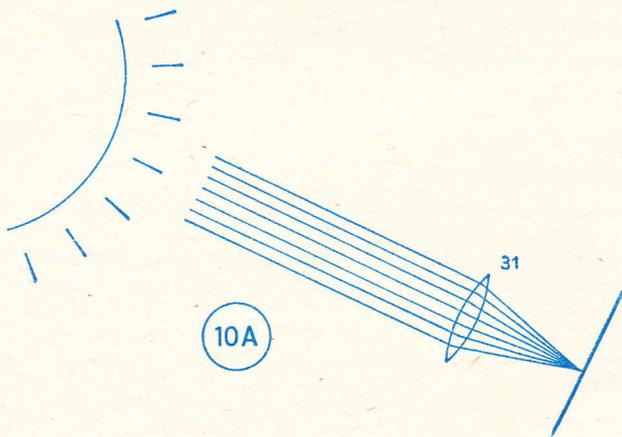
Wir haben bei den Versuchen 8 und 9 festgestellt, daß die sonst geradlinigen Lichtstrahlen gebrochen werden können. Auch unsere Linsen aus dem Baukasten können das Licht brechen. Um dies genauer zu untersuchen, halten wir nach 10 A eine unserer Linsen 31 in einen Sonnenstrahl. Da die Sonne sehr weit von uns entfernt ist, können wir annehmen, daß die auf die kleine Linsenfläche treffenden Strahlen parallel sind. Sie verlassen die Linse jedoch nicht wieder parallel, sondern werden dahinter in einem Punkt gesammelt. Nach einigem Experimentieren läßt sich dieser Punkt mit Hilfe eines Stückes Karton bald finden. Wenn wir an diese Stelle unsere Hand halten und darauf diesen hellen Punkt erzeugen, so wird dort nicht nur das Licht, sondern auch die Wärmestrahlung der Sonne gesammelt, und es wird sehr heiß. Nehmen wir den Karton, so kann dieser sogar zu verkohlen oder gar zu brennen beginnen, wenn die Sonne sehr stark scheint. Wir nennen diesen Punkt deshalb **Brennpunkt** unserer Linse. Die Entfernung des Brennpunktes von der Linse messen wir mit einem Lineal und nennen sie **Brennweite**. Haben wir richtig gemessen, so stellen wir für die Linse 31 eine Brennweite von etwa 106 mm oder 10,6 cm fest.

Wir wollen nun zu ermitteln versuchen, ob sich tatsächlich alle Lichtstrahlen die sich bei diesem Versuch durch die Linse 31 treten, im Brennpunkt sammeln. Dazu erzeugen wir wieder einen Brennpunkt auf einer feststehenden Fläche, vielleicht auf einer Hauswand. Hinter der Linse bewegen wir eine unserer Lochblenden vom Versuch 4 (4 A) beliebig, so über die immer an der gleichen Stelle gehaltenen Linse, daß das Loch einmal Strahlen hindurchläßt, die durch den Linsenrand treten, und einmal solche, die durch die Mitte der Linse gelangen. Trotz der Bewegung unserer Lochblende bleibt der Brennpunkt immer an der gleichen Stelle (10 B).

Wir bestimmen dann noch die Brennweiten der Linsen 28, 30 und 32. Wir erhalten folgende Ergebnisse:

Linse 28	120 mm oder 12,0 cm
Linse 30	65 mm oder 6,5 cm
Linse 32	30 mm oder 3,0 cm

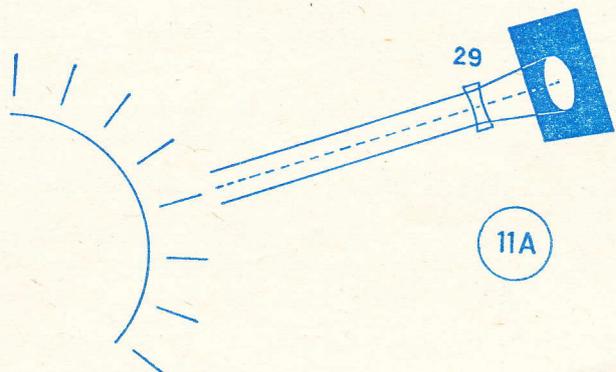
Da die Linsen 28, 30, 31 und 32 das vorher parallele Sonnenlicht in einem Punkt, dem Brennpunkt, sammeln, nennen wir sie **Sammellinsen**. Übrigens, und das läßt sich leicht nachweisen, indem man den Karton weiter von der Linse entfernt, gehen die Lichtstrahlen hinter dem Brennpunkt wieder auseinander. Aber das ist uns ja klar, denn die Lichtstrahlen müssen ja hinter der Linse geradlinig weitergehen!



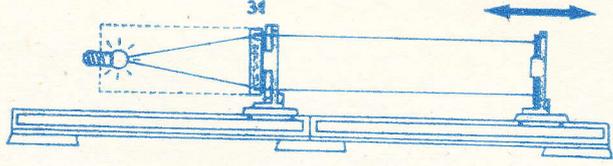
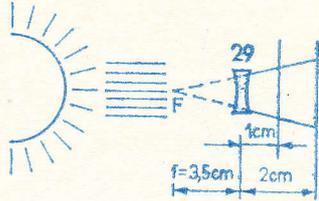
Versuch 11

Schließlich versuchen wir mit der Linse 29 einen Brennpunkt zu erzeugen, wie uns dies mit den Linsen 28, 30, 31 und 32 gelungen ist. Unser Versuch schlägt fehl, welche „Brennweite“ wir auch zu nehmen versuchen. Hinter der Linse entsteht auf unserem Kartonschirm bei geringer Entfernung zunächst ein heller Fleck, der nur wenig größer als die Linsenfläche selbst ist. Entfernen wir den Karton weiter von der Linse, so wird dieser helle Fleck immer größer. Wir schließen daraus, daß die Linse 29 die Lichtstrahlen nicht so wie die anderen Linsen unseres Kastens sammelt, sondern daß sie sie zerstreut (11 A). Wir nennen diese Linse 29 deshalb eine **Zerstreuungslinse**.

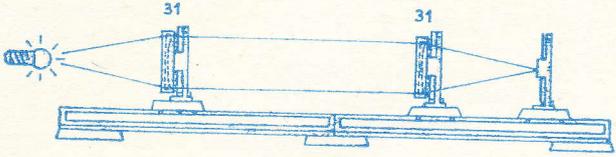
Man kann jedoch auch bei derartigen Zerstreuungslinsen von einem Brennpunkt sprechen. Zum besseren Verständnis erzeugen wir zunächst wieder mit parallelem Sonnenlicht in einer Entfernung von etwa 1 cm hinter der Linse 29 einen kreisrunden Fleck auf einem Kartonschirm. Den Durchmesser dieses Fleckes messen wir mit dem Lineal. Dann entfernen wir den Kartonschirm auf etwa 2 cm von der Linse und messen den Durchmesser des jetzt schwächeren helleren Fleckes erneut. Entsprechend unseren Meßergebnissen fertigen wir uns eine kleine Skizze, wobei wir die Größenverhältnisse wirklichkeitsgetreu wiedergeben. Wenn wir jetzt die äußeren Begrenzungen der beiden Fleckdurchmesser miteinander verbinden und die Verbindungslinie rückwärts durch die Linse hindurch verlängern, so erhalten wir einen Schnittpunkt, den wir **Brennpunkt** nennen wollen. Dieser Brennpunkt ist nicht wie bei einer Sammellinse wirklich oder **reell**, sondern scheinbar oder **virtuell** (11 B). Wir können jetzt auch auf unsere Skizze die **Brennweite** unserer Linse 29 ausmessen. Da sie rückwärts gerichtet ist, geben wir ihr ein negatives Vorzeichen und erhalten -35 mm oder $-3,5$ cm.



11B



12A



12B

Versuch 12

Wir wissen, daß der Lichtweg umkehrbar ist. Wenn wir eine Sammellinse, am besten die Linse 31, mit einem Reiter auf die optische Bank setzen und eine Glühlampe in den Brennpunkt dieser Linse halten, also 106 mm davor, so werden die von der Glühlampe auf die Linse fallenden Strahlen so gebrochen, daß auf der anderen Seite der Linse ein paralleles Strahlenbündel entsteht. Dies läßt sich leicht dadurch nachweisen, daß wir einen zweiten Reiter mit einem Stück Karton von 5 x 5 cm aufsetzen, den wir über die gesamte Länge der optischen Bank verschieben können, ohne daß sich der Durchmesser des hellen Fleckes auf diesem Kartonschirm wesentlich ändert (12 A). Dieser Versuch gelingt um so besser, je genauer sich die Glühlampe im Brennpunkt der Linse befindet.

Damit unser Versuch nicht durch das Licht gestört wird, das nicht unmittelbar auf die Linse fällt, schieben wir über die Glühlampe eine einfache Hülse, am besten aus schwarzem Karton, das wir uns leicht selbst fertigen können. Diese Hülse sollte einen Durchmesser von etwa 3 cm haben und von der Glühlampe bis an die Linse heranreichen.

Wir können jetzt auch ohne Sonnenlicht auf der optischen Bank unsere Versuche zur Brennweitenbestimmung von Linsen wiederholen. Dazu bringen wir nach 12 B eine weitere Linse 31 an einer beliebigen Stelle in das parallele Strahlenbündel und verschieben den Schirm solange, bis wir den Brennpunkt gefunden haben. Mit Hilfe des Maßstabes auf der optischen Bank können wir die Brennweite der Linse 31 leicht bestimmen und erhalten das gleiche Ergebnis wie beim Versuch 10.

Wir können auch auf der optischen Bank nachweisen, daß sich alle durch die Linse 31 tretenden Strahlen im Brennpunkt sammeln. Dazu bewegen wir wieder eine unserer Lochblenden wie beim Versuch 10 über die Linse 31, von der wir den Brennpunkt erzeugen.

Dann bestimmen wir noch einmal die Brennweiten der Linsen 28, 30 und 32, diesmal jedoch auf der optischen Bank.

Unsere Ergebnisse stimmen mit denen des Versuches 10 überein.

Auch der Versuch 11, einen Brennpunkt mit der Linse 39 zu erzeugen, läßt sich auf der optischen Bank wiederholen und führt zum gleichen Ergebnis.

Bei diesem Versuch empfiehlt es sich, das Zimmer abzudunkeln.

Versuch 13

Die Umkehrbarkeit des Lichtweges können wir auf unserer optischen Bank sehr eindrucksvoll demonstrieren, indem wir bei einer Anordnung nach 12 B abwechselnd Glühlampen und Schirm miteinander vertauschen, ohne die Entfernungen von den Linsen oder deren Anordnung zu verändern.

Diese Versuche gelingen auch, wenn wir an Stelle der Linsen 31 beliebige der Linsen 28, 30 oder 32 verwenden, wobei wir die unterschiedlichen Brennweiten dieser Linsen für die Anordnung von Glühlampe und Schirm berücksichtigen müssen. Natürlich müssen dabei zur Befestigung der kleineren Linsen die Teile 20 mit verwendet werden. Wir probieren alle Varianten, die sich dabei ergeben, einzeln durch.

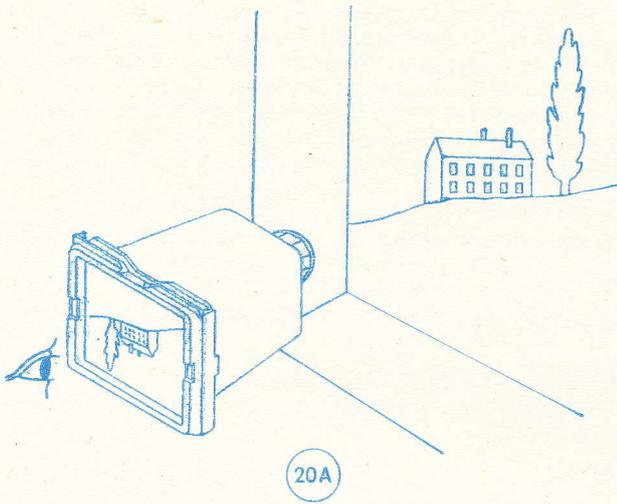
Bei diesen Versuchen empfiehlt es sich, das Zimmer abzudunkeln.

Ähnlich, wie wir bei der Bestimmung der Brennweiten der Linsen aus unserem Kasten verfahren sind, können wir auch an Brillengläsern von Familienangehörigen oder Freunden Brennweiten bestimmen. Dies wird uns sowohl bei Brillengläsern mit reellem wie auch virtuellem Brennpunkt gelingen. Es gibt jedoch zur Korrektur spezieller Augenfehler Brillengläser, mit denen unsere Versuche nicht gelingen. Das Verhalten derartiger Linsen können wir mit unseren einfachen Mitteln nicht untersuchen.

In der Optik wird häufig nicht von der Brennweite einer Linse gesprochen, sondern von deren Kehrwert $1/f$. Wenn die Brennweite f in Metern gemessen wird, so ist ihr Kehrwert $1/f$ die Brechkraft der Linse in Dioptrien. Die Linsen unseres Kastens haben damit folgende Dioptrien:

- Linse 28 $f = + 0,12 \text{ m}$, $1/f$ etwa $+ 8,3$ Dioptrien
- Linse 29 $f = - 0,035 \text{ m}$, $1/f$ etwa $+ 28,5$ Dioptrien
- Linse 30 $f = + 0,065 \text{ m}$, $1/f$ etwa $+ 15,4$ Dioptrien
- Linse 31 $f = + 0,106 \text{ m}$, $1/f$ etwa $+ 8,9$ Dioptrien
- Linse 32 $f = + 0,03 \text{ m}$, $1/f$ etwa $+ 33,3$ Dioptrien

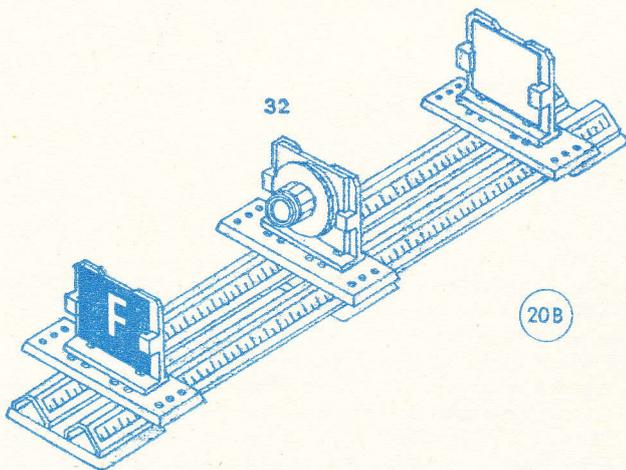
Wenn also unser Opa ein Brillenglas mit der „Nummer 3“ (das bedeutet 3 Dioptrien) hat, so hat dieses Brillenglas eine Brennweite von etwa 33,3 cm.



20A

Der Schirm stellt die Netzhaut dar. Betrachtet wird der Gegenstand, wieder unser leuchtendes „F“. Da die Linse 32 eine sehr kurze Brennweite besitzt, müssen wir sie ziemlich dicht an den Schirm heranrücken und erhalten ein sehr kleines, umgekehrtes Bild. Da die Linse 32 starr ist, kann unser nachgebildetes Auge höchstens dadurch akkomodieren, daß wir die Entfernung der Linse vom Schirm (der „Netzhaut“) verändern.

Bei diesem Versuch empfiehlt es sich, das Zimmer abzdunkeln.



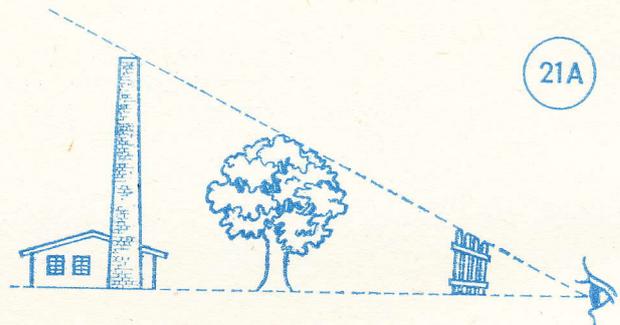
20B

Versuch 21

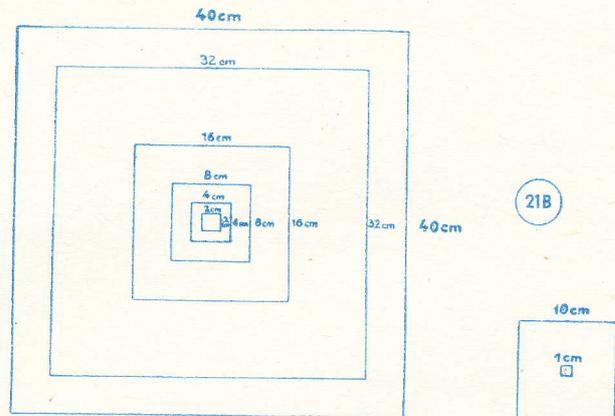
Gegenstände können verschieden groß sein und trotzdem bei einer Abbildung mit einer Sammellinse gleichgroße Bilder erzeugen, wenn sie sich in entsprechend unterschiedlichen Entfernungen befinden. Wir haben das auch rechnerisch gezeigt. Uns zeigt auch die Erfahrung, daß wir größere Gegenstände in größeren Entfernungen scheinbar gleichgroß oder sogar kleiner als andere, kleinere Gegenstände in kürzerer Entfernung sehen. 21 A veranschaulicht uns, daß dafür der Winkel maßgebend ist, unter dem wir die Gegenstände erblicken. Ein Zaun, ein Baum und ein Schornstein erscheinen uns gleich groß, wenn sie unter dem gleichen Sehwinkel betrachtet werden.

Um uns den Einfluß des Seh winkels besser vorstellen zu können, fertigen wir uns nach 21 B eine große und eine kleine Scheibe aus Karton. Die Quadrate auf der großen Scheibe werden nur aufgezeichnet, das kleine Quadrat der kleinen Scheibe wird ausgeschnitten. Dann blicken wir nach 21 C durch die quadratische Öffnung der kleinen Scheibe auf die große. Wenn wir die Entfernung der großen Scheibe verändern, können wir nacheinander die Öffnung in der kleinen Scheibe mit jedem der aufgezeichneten Quadrate auf der großen Scheibe zur Deckung bringen. Mit dem Lineal messen wir die Entfernung der kleinen Scheibe und der großen Scheibe für die einzelnen Fälle. Wir stellen fest, daß eine Verdoppelung der Entfernung einer Verdoppelung der Kantenlänge des aufgezeichneten Quadrates, entspricht, und dies entspricht wiederum einer vierfachen Fläche.

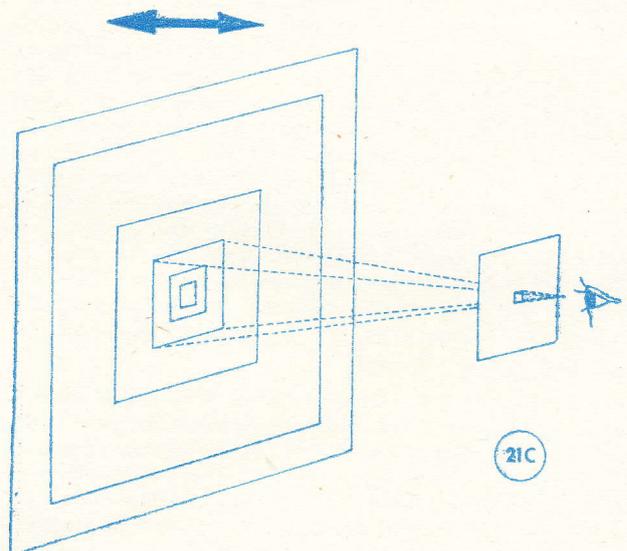
Wir folgern, daß ein Gegenstand bei einer Verdoppelung der Entfernung doppelt so hoch sein muß, um uns unter dem gleichen Sehwinkel zu erscheinen.



21A



21B

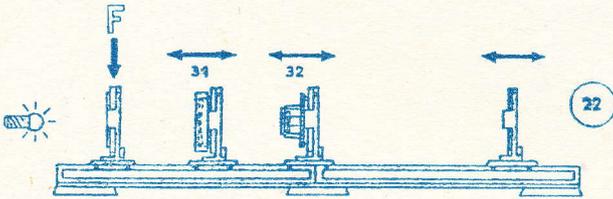


21C

Versuch 22

Es ist uns vielleicht schon aufgefallen, daß die Linse 31 wie eine Lupe wirkt. Die Schrift aus unserem Büchlein wird vergrößert, wenn wir die Linse 31 darüber halten. Die Strahlengangdarstellung hat uns gezeigt, daß eine Sammellinse ein aufrechtes und vergrößertes, jedoch virtuelles Bild eines Gegenstandes liefert, der sich innerhalb der einfachen Brennweiten befindet. Da wir virtuelle Bilder sehen können, erscheint uns der Gegenstand durch die Lupe vergrößert. Die Wirkung der Lupe läßt sich auch an unserem Augenmodell nachweisen. Wir bauen uns wieder das Augenmodell auf der optischen Bank auf und verschieben den Schirm so, daß wir ein deutliches, sehr kleines Bild unseres leuchtenden „F“ erhalten. Dann setzen wir eine Linse 31 als Lupe vor das „F“. Das Bild auf unserer nachgebildeten Netzhaut wird merklich größer. Wenn wir die Linse 31 etwas verschieben (wobei das „F“ natürlich immer innerhalb der einfachen Brennweite der Linse 31 bleiben muß), ändert sich die Größe des abgebildeten „F“. Strahlengangdarstellungen für verschiedene Entfernungen der Linse 31 vom „F“, die wir uns selbst anfertigen können, zeigen dies auch. Da sich die Größe des virtuellen Bildes stark, die Entfernung vom Auge aber nur wenig ändert, liefert die Lupe eine Sehwinkelvergrößerung, und der Gegenstand erscheint uns damit größer.

Es empfiehlt sich, bei diesem Versuch das Zimmer abzudunkeln, solange wir mit unserem nachgebildeten „Auge“ arbeiten.



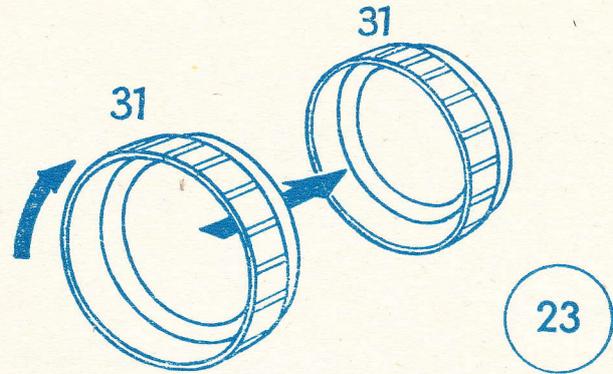
Versuch 23

Mit kürzerer Brennweite einer Linse erhalten wir ein größeres virtuelles Bild und damit eine stärkere Sehwinkelvergrößerung. Es leuchtet ein, daß zwei unmittelbar hintereinander angeordnete Sammellinsen eine stärkere Brechkraft, also eine kürzere Brennweite haben müssen, als eine der Linsen allein. Wir setzen deshalb zwei Linsen 31 zusammen und erhalten eine stärkere Lupe, die wir auch an unserem Augenmodell erproben können.

Wir wiederholen schließlich den Versuch 22 mit den Linsen 28, 30 und 32. Die unterschiedlichen Sehwinkelvergrößerungen lassen sich leicht mit Hilfe von Strahlengangdarstellungen nachweisen, wobei wir natürlich die unterschiedlichen Brennweiten berücksichtigen müssen.

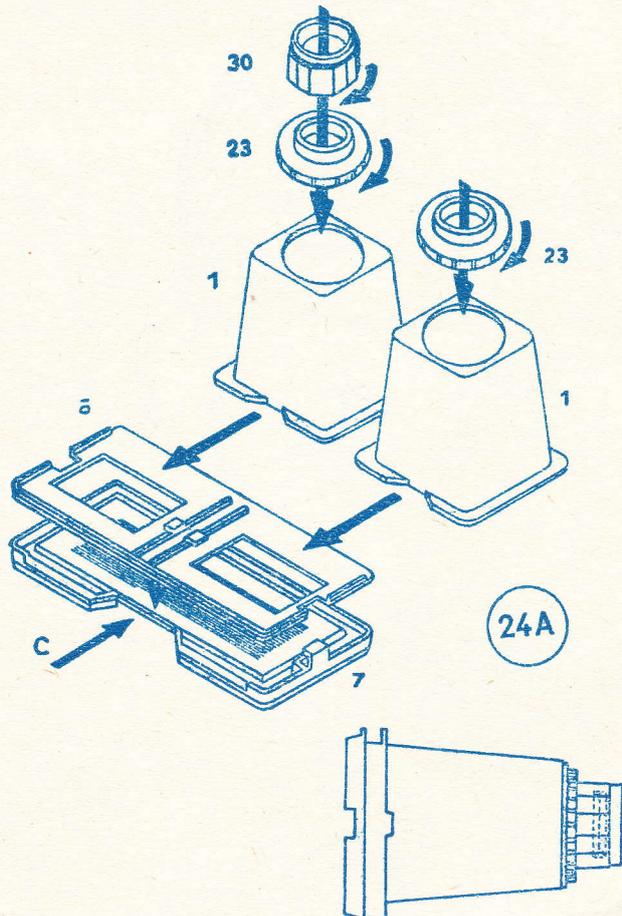
Wenn wir versuchen, die Linse 29 als Lupe zu verwenden, so bekommen wir immer ein verkleinertes Bild. Dies leuchtet uns sofort ein, wenn wir uns an die Strahlengangdarstellung erinnern.

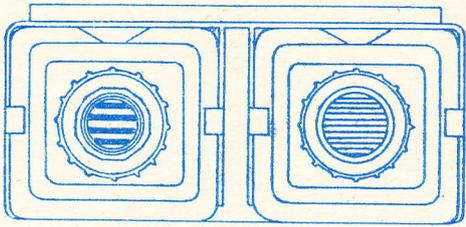
Soweit wir mit dem Augenmodell experimentieren, empfiehlt es sich, das Zimmer abzudunkeln.



Versuch 24

Die Vergrößerung wird auch häufig durch einen sogenannten **Vergrößerungsfaktor** angegeben. Dieser gilt jedoch, wie wir im Versuch 22 gesehen haben, nur für eine bestimmte Entfernung der Lupe vom Gegenstand. Für eine bestimmte Entfernung bestimmen wir den Vergrößerungsfaktor unserer Linse 30. Dazu schneiden wir das Strichblatt (Teil c) aus dem Transparentblatt aus. Wir setzen uns den Stereobetrachter (B) zusammen, lassen jedoch eine Linse 30 weg (24 A). Als Bild schieben wir das Strichblatt ein. Wenn wir die Vorrichtung auf das helle Fenster richten und hindurchblicken, so sehen wir mit dem einem Auge das Strichblatt direkt, mit dem anderen Auge vergrößert durch die eine Linse 30. Wir versuchen, starr geradeaus zu blicken und erkennen das unvergrößerte wie auch das vergrößerte Strichbild übereinander. Dann zählen wir aus, wieviele Striche des unvergrößerten Bildes auf wieviele Striche des vergrößerten Bildes gehen (24 B). Dieses Verhältnis ist der Vergrößerungsfaktor, der natürlich nur für die hier vorhandenen speziellen Verhältnisse gilt.





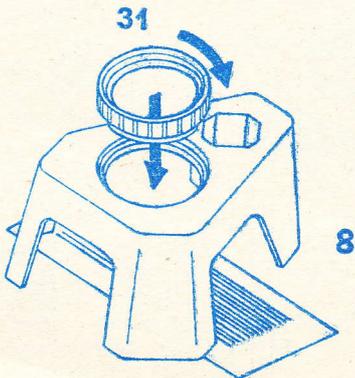
24B

Versuch 25

Unter anderen Bedingungen können wir den Vergrößerungsfaktor der Linse 31 mit einer anderen Vorrichtung bestimmen, wobei wir wieder unser Strichblatt verwenden (25 A). Wir betrachten gleichzeitig mit dem einen Auge das Strichblatt direkt und mit dem anderen Auge durch die Linse 31 hindurch. Dann zählen wir wie beim Versuch 24 das Verhältnis der Striche ab.

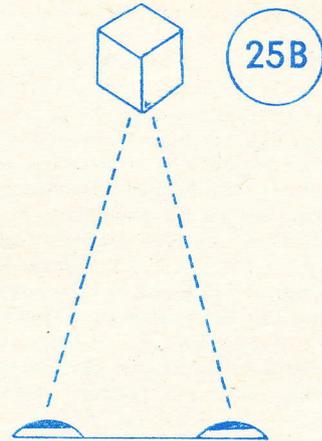
Nachdem wir nun wissen, wie eine Lupe arbeitet, verstehen wir auch die Funktionsweise unseres Diapositivbetrachters (A).

Wenn wir einen Gegenstand betrachten (25 B), so sehen wir ihn mit dem linken Auge etwas mehr von links, mit dem rechten Auge etwas mehr von rechts (25 C). Jedes Auge erhält auf der Netzhaut ein geringfügig anderes Bild. Unser Gehirn kombiniert die beiden Bilder so, daß uns der Gegenstand räumlich erscheint. Diese Erscheinung läßt sich dazu verwenden, mit Hilfe einer Kombination von zwei Diapositivbetrachtern, einem sogenannten **Stereobildbetrachter**, dem Betrachter den Eindruck eines räumlichen, stereoskopischen Bildes zu vermitteln, wenn zwei nur geringfügig verschiedene Diapositive gleichzeitig betrachtet wer-

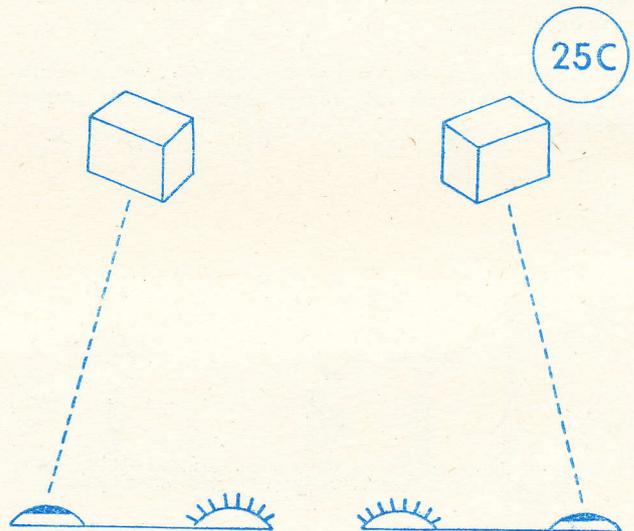


25A

den. Diese beiden Diapositive werden dadurch gewonnen, daß der gleiche Gegenstand zweimal von seitlich geringfügig versetzten Stellen aus fotografiert wird. Auf diesem Prinzip beruht unser Stereobetrachter (B).



25B



25C

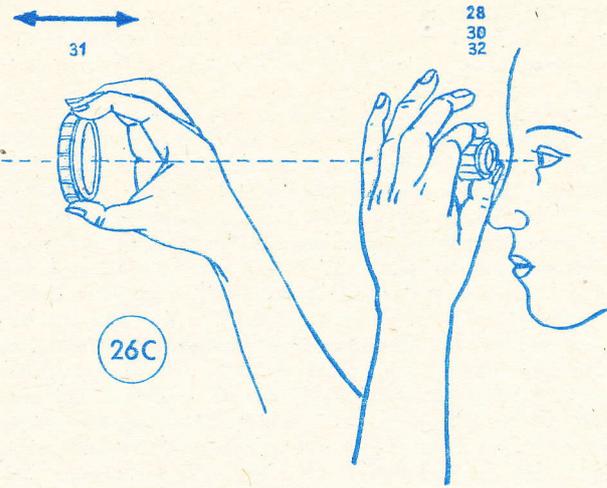
Versuch 26

Wir setzen unser Augenmodell nach 20 A noch einmal zusammen. Das auf der Mattscheibe erzeugte Bild betrachten wir mit einer Lupe, beispielsweise mit der Linse 31 (26 A). Wir sehen dann das umgekehrte und verkleinerte Bild wieder vergrößert, aber natürlich noch immer umgekehrt. Es handelt sich hier um zwei getrennte Abbildungen. Das zunächst erzeugte Bild wird für die zweite Abbildung zum Gegenstand. Für die Entstehung des **Zwischenbildes** gilt die Strahlengangdarstellung nach 15 B, das Zwischenbild wird zum Gegenstand für eine Strahlengangdarstellung nach 18. Wenn auch das reelle Zwischenbild wie auch das virtuelle Bild, das die Lupe erzeugt, kleiner sind als der Gegenstand, so ergibt sich trotzdem eine Sehwinkelvergrößerung. Das von unserem Auge wahrgenommene virtuelle Bild ist uns nämlich wesentlich näher als der Gegenstand. Allerdings ist das Bild umgekehrt.

Wir entfernen nun von unserem Modell die Mattscheibe (Teil 4) und blicken wieder durch die gesamte Versuchsanordnung, wobei wir die Linse 31 wieder an der gleichen Stelle halten. Wir sehen das gleiche umgekehrte Bild, jedoch viel klarer. Um nämlich das reelle Zwischenbild mit der Linse 31 betrachten zu können, brauchen wir es nicht erst auf einer Mattscheibe darzustellen. Die Lichtstrahlen gehen hinter diesem Zwischenbild so weiter, als sei dieses

Bild wirklich vorhanden. Wir haben damit ein kleines Fernrohr im Prinzip aufgebaut. Diese Art von Fernrohren, die umgekehrte Bilder liefert, wird häufig für Sternbeobachtungen verwendet, da dabei die Umkehrung nicht stört. Solche Fernrohre heißen deshalb auch **astronomische Fernrohre**.

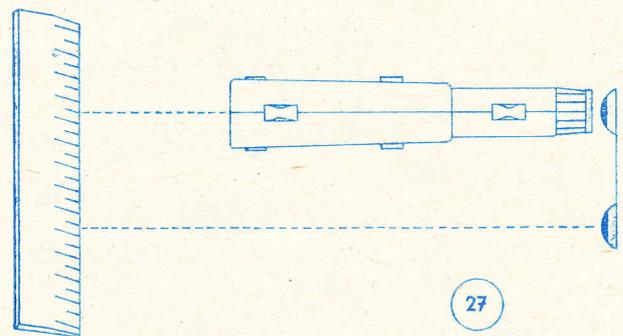
Das Prinzip des astronomischen Fernrohres besteht also darin, daß von einer dem Gegenstand zugewendeten Sammellinse, dem sogenannten **Objektiv**, zunächst ein reelles, umgekehrtes und verkleinertes Bild, das Zwischenbild, erzeugt wird, das dann durch eine zweite Sammellinse, das sogenannte **Okular**, betrachtet wird. Da sich das vom Okular erzeugte virtuelle Bild relativ nahe vor dem Auge befindet, ergibt sich eine Sehwinkelvergrößerung gegenüber dem unbewaffneten Auge. Man sagt auch, das Fernrohr „holt entfernte Gegenstände heran“, was natürlich hier im eigentlichen Sinne des Wortes bildlich zu verstehen ist. 26 B veranschaulicht uns das noch einmal in Form einer Strahlengangdarstellung. Dabei sind zur Vereinfachung neu die Mittelpunktstrahlen und Brennpunktstrahlen eingezeichnet. G ist der weit entfernte Gegenstand, B₁ das reelle Zwischenbild und B₂ das virtuelle Bild, das wir mit dem Auge sehen.



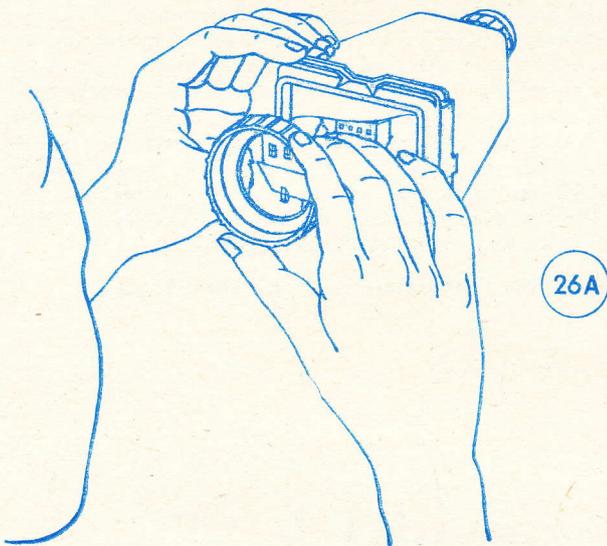
26C

Versuch 27

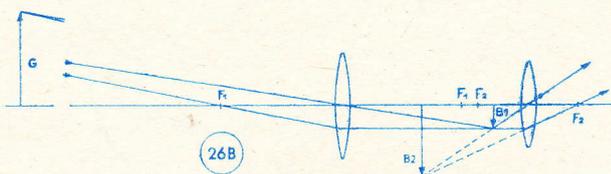
Wir haben bereits festgestellt, daß die Vergrößerung des astronomischen Fernrohres auf einer Vergrößerung des Sehwinkels beruht. Wir können die Vergrößerung unseres Fernrohres grob auf folgende Weise bestimmen: Wir halten dazu ein Lineal senkrecht in etwa 25 cm Entfernung vor das linke unbewaffnete Auge, während wir gleichzeitig mit dem rechten Auge durch das Fernrohr hindurch einen entfernten Gegenstand, beispielsweise ein Fenster an einem Haus, betrachten (27). Wenn wir, was einige Übung erfordert, mit beiden Augen starr geradeaus blicken, so können wir die Höhe des Gegenstandes mit und ohne Fernrohr mit dem Maßstab auf dem Lineal vergleichen. Das Verhältnis dieser beiden Zahlenwerte ist der Vergrößerungsfaktor unseres Fernrohres. Wir stellen fest, daß unser Fernrohr knapp 6fach vergrößert.



27



26A



26B

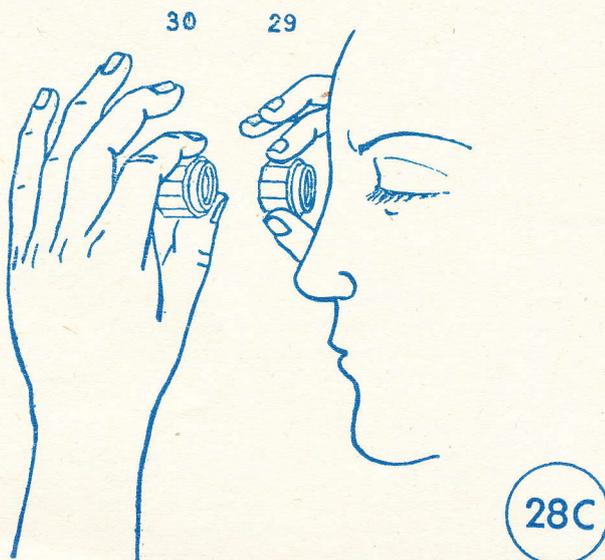
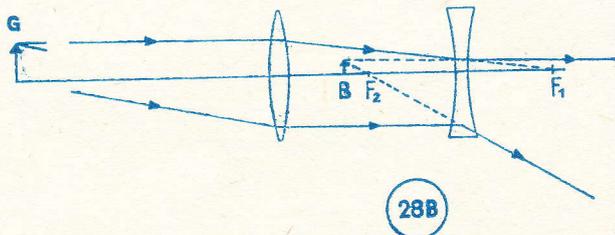
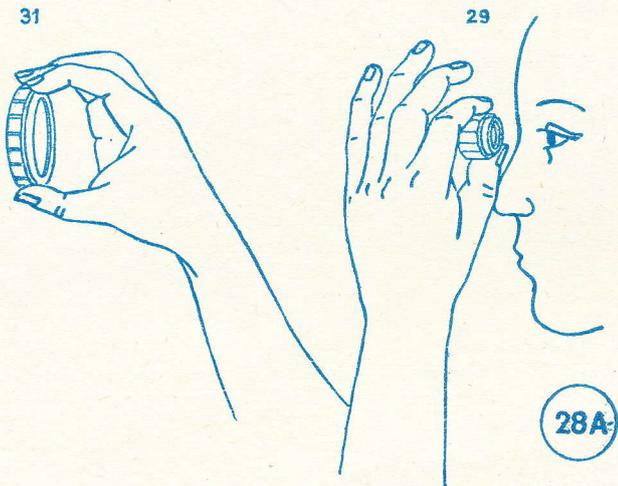
Wir können jetzt im Freihandversuch auch noch andere Linsenkombinationen zweier Sammellinsen zu „Fernrohren“ zusammenfügen und verwenden dabei immer zweckmäßigerweise die Linse 31 als Objektiv und eine der Linsen 28, 30 oder 32 als Okular (26 C). Wir müssen dabei natürlich die unterschiedlichen Brennweiten berücksichtigen, um immer die Bedingung **„Erzeugung eines reellen Zwischenbildes zwischen einfacher und doppelter Brennweite des Objektivs – Betrachtung des Zwischenbildes innerhalb der einfachen Brennweite des Okulars“ einzuhalten**. Praktisch erhalten wir immer dann ein scharfes Bild, wenn die Entfernung der beiden Linsen voneinander etwa gleich der Summe ihrer Brennweiten ist.

Damit kennen wir die Funktionsweise unseres astronomischen Fernrohres (C).

Versuch 28

An unserem astronomischen Fernrohr hat uns bei der Betrachtung von Gegenständen auf der Erde gestört, daß wir ein umgekehrtes Bild sehen. Aus den Linsen 31 und 29 können wir jedoch ein anderes Fernrohr aufbauen, mit dem wir ein aufrechtes Bild und gleichzeitig eine Sehwinkelvergrößerung erhalten. Wir führen dazu zunächst wieder einen Freihandversuch durch, wobei wir die Linse 31 als Objektiv und die Linse 29 als Okular verwenden. Die Linse 31 ist dabei etwa 5 cm vor der Linse 29, die wir vor ein Auge halten, angeordnet (28 A). Wie in diesem Fall ein Bild entsteht, können wir mit einer Strahlengangdarstellung zeigen (28 B). Der Einfachheit halber betrachten wir für die

Linse 31 nur einen Parallelstrahl und einen Brennpunktstrahl. Die Linse 29 sei innerhalb der einfachen Brennweite der Linse 31 so angeordnet, daß ihr einer virtueller Brennpunkt mit dem Brennpunkt der Linse 31 zusammenfällt (F_1). Ein parallel zur optischen Achse auf der Linse 31 auftreffender Strahl wird dann zunächst in der Richtung zum Brennpunkt F_1 hin gebrochen. Auf seinem Wege jedoch trifft er auf die Zerstreuungslinse 29, die ihn wieder nach außen bricht, so daß er sie parallel zur optischen Achse verläßt. Weiterhin betrachten wir einen aus der Richtung des linken Brennpunktes der Linse 31 kommenden Strahl, den die Linse 31 so bricht, daß er sie parallel zur optischen Achse verläßt. Dieser Strahl wird dann von der Zerstreuungslinse 29 so gebrochen, daß seine rückwärtige gedachte Verlängerung durch den virtuellen Brennpunkt F_2 geht. Diese beiden Strahlen schneiden sich bei B, wo ein virtuelles Bild entsteht. Dieses Bild ist aufrecht und erscheint uns, obwohl es kleiner ist, als Gegenstand unter einem größeren Sehwinkel, da es sich ja viel näher am Auge befindet als der betrachtete ferne Gegenstand.



Wir wiederholen diesen Versuch mit den Linsen 30 und 29 (28 C). Dabei müssen wir die Linsen natürlich wegen der kürzeren Brennweite der Linse 30 dichter ananeinderrücken.

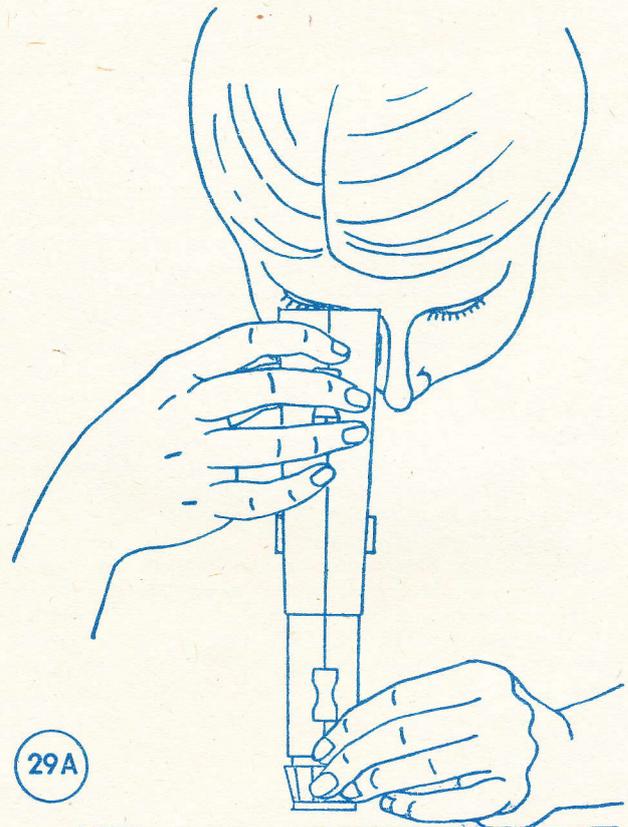
Damit verstehen wir nun die Funktionsweise unseres Erdfernglases (D) und unseres Theaterglases (E).

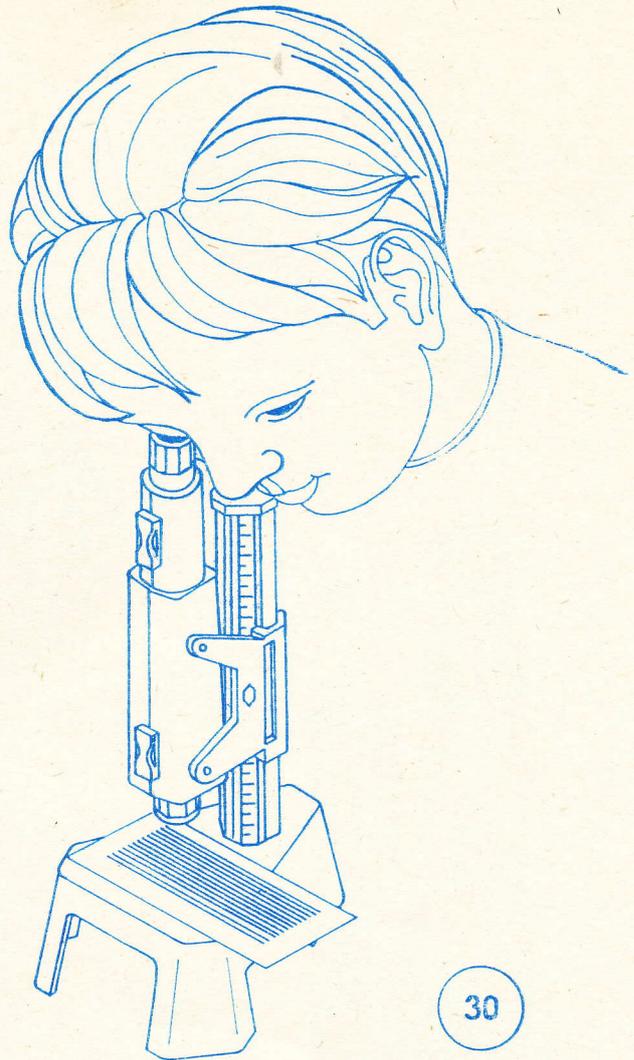
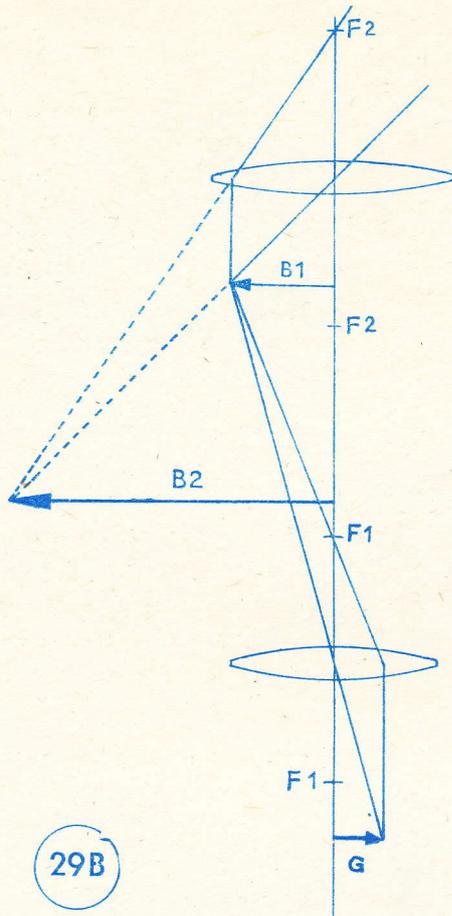
Versuch 29

Wir setzen uns unser astronomisches Fernrohr (C) noch einmal zusammen. Dann blicken wir in umgekehrter Richtung hindurch, also zum Fernrohrobjektiv hinein und halten das Okular dicht über die Schrift dieser Anleitung. Wir sehen die Buchstaben der Druckschrift umgekehrt und stark vergrößert! Aus unserem Fernrohr ist ein **Mikroskop** geworden! Das Objektiv des Fernrohres wurde zum Okular eines Mikroskopes und das Okular des Fernrohres zum Objektiv (29 A).

Nach dieser überraschenden Entdeckung wollen wir uns die Entstehung des Bildes im Mikroskop mit Hilfe einer Strahlengangdarstellung erklären (29 B). Der Gegenstand G befindet sich zwischen einfacher und doppelter Brennweite der Objektiv-Sammellinse des Mikroskopes. Damit entsteht außerhalb der doppelten Brennweite dieser Linse ein umgekehrtes, reelles und vergrößertes Zwischenbild B_1 . Dieses Zwischenbild wird mit der Objektivlinse betrachtet, die dabei zum Okular wird und wie eine Lupe wirkt; denn es befindet sich innerhalb der einfachen Brennweite dieser Linse. Wir sehen schließlich ein nochmals vergrößertes, gegenüber dem Gegenstand immer noch umgekehrtes virtuelles Bild B_2 . Wir haben damit wohl eine Vergrößerung gegenüber der Größe des Gegenstandes wie auch eine zusätzliche Vergrößerung des Sehwinkels, da sich das virtuelle Bild auch näher am Auge befindet als der Gegenstand.

Dies ist die Funktionsweise unseres Mikroskopes (F).





Versuch 30

Wir können den Vergrößerungsfaktor unseres Mikroskopes bei verschiedenen Objektiven nach einem ähnlichen Verfahren wie beim Versuch 24 bestimmen. Dazu legen wir das Strichblatt aus unserem Transparentpapier unter das Mikroskop. Wir blicken mit einem Auge durch das Mikroskop und mit dem anderen Auge am Mikroskop vorbei auf das Strichblatt. Mit einiger Übung können wir gleichzeitig beide Bilder sehen und abschätzen, wieviel Striche der mit unbewaffnetem Auge gesehenen Stricheinteilung einem im Mikroskop gesehenen Strichabstand entsprechen (30). Dieses Verhältnis ist der Vergrößerungsfaktor. Wir bestimmen ihn für unser „umgekehrtes Fernrohr“ sowie für alle Wechselobjektive.

