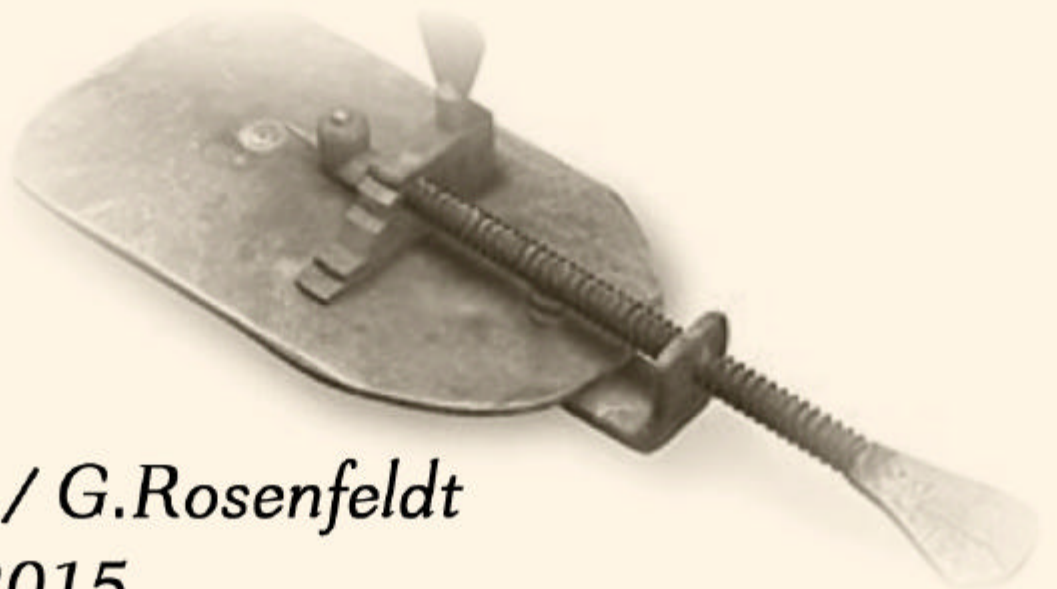




*Leeuwenhoeksche Mikroskope
selbstgebaut*



*B.Lammert / G.Rosenfeldt
2015*

Vorbemerkung

Am 20.06.2015 hielt Herr *Bob Lammert* in der *Mikrobiologischen Vereinigung*, einer Arbeitsgruppe des *Naturwissenschaftlichen Vereines in Hamburg*, ein Referat über *Antoni van Leeuwenhoek* und seine Mikroskope. Im Rahmen dieses Referates zeigte uns Herr *Lammert*, wie man in weniger als einer halben Stunde ein voll funktionsfähiges *Leeuwenhoek'sches Mikroskop*, einschließlich Linse, herstellen kann. Natürlich handelt es sich hierbei nicht um eine liebevolle Replika, es ist vielmehr eine „Primitiv-Version“, aber dennoch voll funktionsfähig!

Das Ergebnis war derart verblüffend, daß ich es für angebracht halte, die Vorgehensweise Hobby-Mikroskopikern zugänglich zu machen, zum einen, da man Oberstufenschüler im Rahmen eines Projektes auf diese Weise an die Mikroskopie heranzuführen kann, zum anderen, um Hobby-Mikroskopiker anzuregen die bis heute unbekannt Methoden der *Leeuwenhoek'schen* Linsenherstellung zu ergründen: Sicherlich ging *Leeuwenhoek* von kugelförmig erschmolzenen Glasperlen aus, aber es scheint, daß *Leeuwenhoek* entweder in der Lage war, diese „Glasperlen“ in noch weichem Zustand nachzuformen oder aber, daß er die Glasperlen durch nachträgliches Schleifen verbesserte. Allein die Tatsache, daß er seine Verfahren geheim hielt und mit ins Grab nahm zeigt, daß er über spezielle „Nachbearbeitungsverfahren“ verfügt haben muß.

Der folgende Text wurde von Herrn *Bob Lammert* autorisiert, der auch die Bilder zur Verfügung stellte.

Dr.G.Rosenfeldt *Juni 2015*

1. Antoni van Leeuwenhoek

Leeuwenhoek wurde am 24.10.1632 unter dem Namen *Thonis Philipszoon* in Delft geboren, später nahm er den Namen *Antoni van Leeuwenhoek* an. Er starb am 27.08.1723 in Delft.

Nach einer Lehre in Amsterdam kehrte er 1654 als Tuchhändler nach Delft zurück, wo er bis zu seinem Tode lebte. Er gehörte der Niederländischen Mittelschicht an, so daß er sich eine „wissenschaftliche Nebentätigkeit“ leisten konnte: Er konstruierte „Mikroskope“ hoher Auflösung und machte mit diesen zahlreiche Entdeckungen, die er bereitwillig veröffentlichte. So gehörte er seit 1673 als korrespondierendes Mitglied der englischen *Royal Society* an, die seine „Briefe“ – tatsächlich mehrseitige bebilderte Abhandlungen – veröffentlichte. Dagegen hielt er die Fertigungsverfahren seiner Mikroskope, von denen er ca. 500 anfertigte, streng geheim. Nach seinem Tod vermachte er 26 seiner Mikroskope der *Royal Society*. Einige dieser Mikroskope sind auch heute noch vorhanden. Die Auflösung dieser winzigen Geräte wurde erst Ende des 19. Jahrhunderts wieder erreicht.

2. Frühe Mikroskope

Die vergrößernde Wirkung von mit Wasser gefüllten Glasschalen war schon im Altertum bekannt – *Seneca* beschreibt dieses Phänomen. Ferner lassen sehr fein geschliffene Gemmen darauf schließen, daß auch schon Lupen bekannt waren, allerdings fehlen archäologische Belege.

Gewöhnlich gelten die Niederländer *Hans* und *Zacharias Jansen* als Erfinder des mehrlinsigen Mikroskopes, sie sollen das erste derartige Gerät zwischen 1590 und 1600 gebaut haben; danach beschäftigten sich auch andere Wissenschaftler mit der Konstruktion von Mikroskopen, u.a. *Galileo Galilei* und *Christian Huygens*.

Die optischen Leistungen mehrlinsiger Mikroskope waren jedoch schlecht, und daran änderte sich bis zum Ende des 19. Jahrhunderts nichts:

1. Es fehlte die Technik, stark kugelige Linsen präzise zu schleifen.
2. Das verwendete Glas enthielt stets kleine Einschlüsse, Luftbläschen und Schlieren, die mitvergrößert wurden und die maximale Vergrößerung stark einschränkten (bei Teleskopen störten diese Mängel weit weniger).
3. Mehrlinsige Optiken konnten nicht durchgerechnet werden – die entsprechende Theorie fehlte, man konnte nur probieren.
4. Man war nicht in der Lage achromatische Optiken für Mikroskope zu konstruieren. Für Meß- und kleine Beobachtungsfernrohre, wie man sie in Sextanten verwendet, war dies durch Kombination von Linsen aus unterschiedlichen Gläsern (Kronglas, Flintglas) seit Mitte des 18. Jahrhunderts dagegen möglich.

Da die Feinmechanik große Fortschritte gemacht hatte, gab es schon Ende des 18. Jahrhunderts hervorragend gearbeitete Mikroskope, aber die optische Qualität stand im krassen Gegensatz zur mechanischen Perfektion. Kein Wunder also, daß Biologen noch Mitte des 19. Jahrhunderts stark vergrößernde achromatische Präparierlu-

pen vorzogen. Für die Untersuchung der Morphologie von Insekten und Pflanzen war dies völlig ausreichend.

3. Moderne Mikroskope

Mitte des 19. Jahrhunderts entdeckte *Rudolf Virchow*, daß bestimmte Krankheiten stets mit jeweils charakteristischen Zell- und Gewebsveränderungen korreliert sind. Diese Beobachtung führte zur „Zellularpathologie“, wobei *Virchow* die Gewebsveränderungen fälschlich als Krankheitsursache ansah. Diese Fehldeutung wurde dann 1876 durch *Robert Koch* korrigiert, der erstmals am Beispiel des Milzbranderreger nachweisen konnte, daß Bakterien Krankheiten auslösen, in deren Folge dann die von *Virchow* beschriebenen Gewebsveränderungen auftreten. Diese Entdeckungen führten naturgemäß von Seiten der Wissenschaftler zu einer Nachfrage nach leistungsfähigen Mikroskopen – starke Präparierlupen genügten nun nicht mehr.

Die Firma CARL ZEISS lieferte schon vor 1876 optisch recht gute Mikroskope, allerdings basierte die Fertigung auf Erfahrungswerten. *Zeiss* engagierte daraufhin *Ernst Abbe* und betraute ihn mit der Aufgabe die Fertigung der Linsensysteme auf ein theoretisch tragfähiges Fundament zu stellen. Nach anfänglichen Mißerfolgen gelang es *Ernst Abbe* mehrlinsige Linsensysteme korrekt durchzurechnen, und sogleich konnten Mikroskope gefertigt werden, deren tatsächliches Auflösungsvermögen die theoretisch mögliche Grenze erreichte. Gewöhnlich sieht man das Jahr 1876 als Jahr des Durchbruches an.

4. Leeuwenhoeksche Mikroskope

Als Tuchhändler war *Leeuwenhoek* mit dem Umgang stark vergrößernder Lupen sicherlich vertraut, denn man brauchte sie, um die Zahl der Kett- und Schußfäden pro Längeneinheit zu zählen, ferner um Art und Qualität der verwendeten Garne zu beurteilen. Dies brachte *Leeuwenhoek* vermutlich auf die Idee, extrem stark vergrößernde Lupen zu konstruieren. Leider wissen wir weder etwas über seine diesbezüglichen Ideen und Überlegungen, noch hat *Leeuwenhoek* irgendwelche Informationen über die Fertigung der winzigen Linsen seiner Geräte hinterlassen. Sicherlich ging *Leeuwenhoek* von erschmolzenen kugelförmigen Glasperlen aus, ob er diese dann zusätzlich nachformte oder nachschliff, um die Qualität zu verbessern, ist unbekannt.

Die *Leeuwenhoekschen Mikroskope* sind extrem stark vergrößernde Lupen (50-fach bis 250-fach), die sehr dicht ans Auge gehalten werden müssen; auch der Abstand Linse – Objekt liegt bei nur wenigen Millimetern. Der virtuelle Durchmesser des Bildes ist naturgemäß recht klein, zudem ist das Bild am Rande stark verzerrt, dafür ist das Bild jedoch brilliant, es besitzt praktisch keine Farbsäume und es zeigt eine Auflösung, die erst Ende des 19. Jahrhunderts wieder erreicht wurde: *Leeuwenhoek* konnte nicht nur Bakterien erkennen, sondern sogar die Geißeln von Spermien!

Nun liegt es auf der Hand, daß es in der Natur Dinge gibt, die so klein sind, daß sie mit bloßem Auge nicht mehr zu erkennen sind, aber man ging stillschweigend davon aus, daß sich derartige Objekte nicht grundsätzlich von den uns optisch zugänglichen unterscheiden. *Leeuwenhoek* nun war der erste, der zeigen konnte, daß es einen regelrechten „Mikrokosmos“ gibt, dessen lebende Objekte – *Leeuwenhoek* nann-

te sie „Animalculae“ – sich von den bis dahin bekannten Organismen völlig unterscheiden.

Diese fundamentale Entdeckung löste jedoch keinerlei erweiternde Forschungen aus. Die Gründe sind zwar unbekannt, lassen sich jedoch erschließen:

1. Die *Leeuwenhoekschen Mikroskope* sind zwar leicht herzustellen, aber das Arbeiten mit ihnen ist mühsam und anstrengend.
2. Die Geräte liefern keine Übersichtsbilder – die Rekonstruktion selbst kleiner Objekte muß nachträglich „mit Papier und Bleistift“ erfolgen.
3. Die Organismen des *Leeuwenhoekschen Mikrokosmos* erschienen damals für das menschliche Leben irrelevant – dies änderte sich erst mit den Entdeckungen *Virchows* und *Kochs*.
4. *Leeuwenhoeks Mikroskope* waren in ihrer Art perfekt, ließen jedoch eben deswegen keine Weiterentwicklung zu. Das Konzept des „mehrinsigen Mikroskopes“ war dagegen ausbaufähig (und ist dies heute noch!).

5. Der Nachbau Leeuwenhoekscher Mikroskope

Die hier gegebene Bauanleitung zielt nicht darauf ab exakte Replikas der Geräte herzustellen (<http://www.mikroskopie-forum.de/index.php?topic=7139.0>), es geht vielmehr darum, mit möglichst einfachen Mitteln entsprechende Mikroskope anzufertigen, um dann Beobachtungen und Experimente durchzuführen. Es ist daher sinnvoll, gleich mehrere Geräte mit jeweils unterschiedlichen Linsen zu fertigen.

5.1. Werkzeuge



Abb. 1 Lochzange, Flachzange glatt, Seitenschneider, Sternbohrer oder Körner, Halter für Glasstreifen oder Glasstäbe

1. Lochzange
2. Flachzange glatt
3. Seitenschneider
4. Sternbohrer oder Körner
5. Halter für Glasstreifen oder Glasstäbe
6. Blechschere
7. Propanbrenner
8. Edding, schwarz

5.2. Materialien

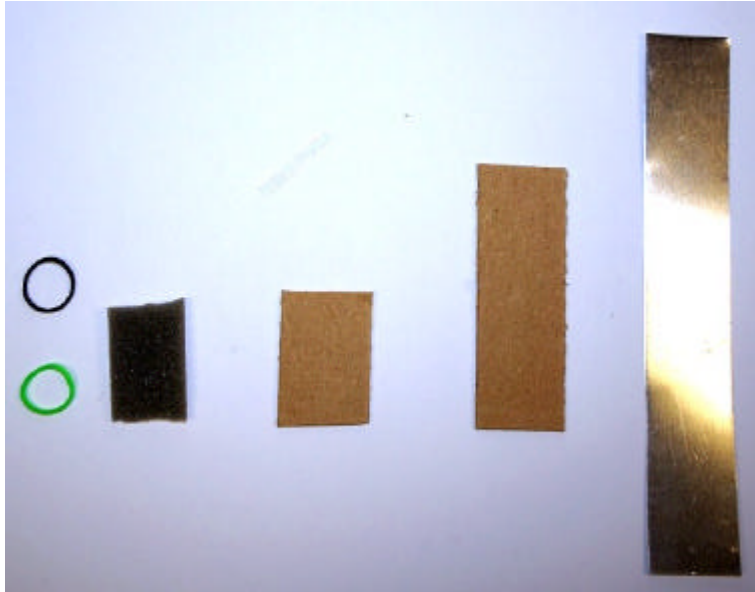


Abb. 2. Von rechts nach links: Alublech 0,3mm (Conrad Elektronik 297909-62) Größe = 2 x Objektträger plus Zugabe (s. Text), Karton 1,5mm, Isolierband, Schaumstoff 4mm, Gummiband (2x Loom-Band)

1. Alublech 0,3mm (Conrad Elektronik 297909-62), Größe = 2 x Objektträger plus Zugabe (s.Text)
2. Karton 1,5mm
3. Isolierband
4. Schaumstoff 4mm
5. Gummiband (2x Loom-Band)
6. Glasstreifen oder – stab
7. Ggf. Alu-Nieten und Messingschrauben 3mm + Muttern

5.3. Der Linsenhalter

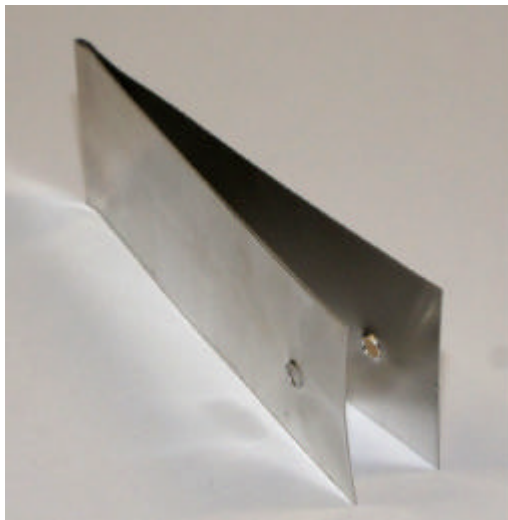


Abb.3 Blechstreifen falten und mit Lochzange in beide Schenkel gleichzeitig ein Loch von ca. 3 mm stanzen, es entstehen gleichsinnige Auswölbungen.

Benötigt wird ein möglichst ebenes Blech von der doppelten Größe eines Objektträgers. Die Kanten werden nach dem Ausschneiden mit einer feinen Feile entgratet, die Ecken rund gefeilt. Das Blech wird gefaltet, dann wird mit einer Lochzange an einem Ende ein Loch gestanzt (Durchmesser ca. 3 mm), wobei die beiden Schenkel des gefalteten Bleches an dieser Stelle gleichsinnig eingedellt werden. Diese gleichsinnig orientierten Dellen werden zunächst mit der Flachzange beseitigt, dann wölbt man die Ränder der Bohrungen mit einem Körner bei beiden Schenkeln nach außen, so daß später die Kugellinse beidseitig gehalten wird.

Später müssen die Schenkel in der Nähe der Bohrung fest miteinander verbunden werden. Dies kann mit Hilfe von Isolierband erfolgen („Primitivausführung“; TESA-Film ist ungeeignet) oder mittels Schrauben oder Nieten – in diesem Fall muß das Blech 1 cm breiter als ein

Objektträger sein und es sind nach dem Falten einige zusätzliche Löcher zu bohren.

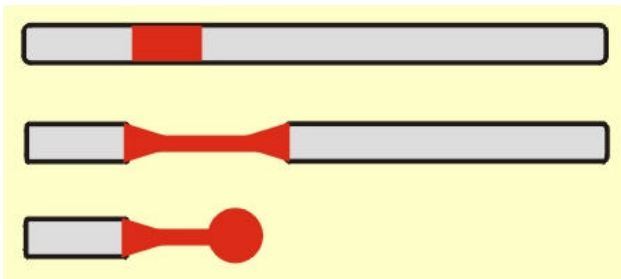
Will man den Abstand Linse – Objekt mit Hilfe einer kurzen Blechschraube einstellen, müssen die Schenkel miteinander verschraubt oder vernietet sein.

Die Bohrung für die Linse ist so zu bemessen, daß der größte Teil der Linse zunächst frei liegt. Nach der Montage bringt man eine „Aperturblende“ an, welche den äußeren Teil der Kugellinse abdeckt (s.u.).



Abb. 4. Die nach innen zeigenden Auswölbungen mit der Flachzange einebnen und mit dem Körner oder dergleichen nach außen auswölben (Kugellinse soll beidseitig gehalten werden).

5.4. Die Linse



Graphik 1 Herstellung der Linse (s.Text)

Als Ausgangsmaterial dienen Glas-Rührstäbe, die man über eine Lehrmittelhandlung beziehen kann. Da diese Stäbe zu dick sind, erhitzt man sie mit einem Propanbrenner unter ständigem Drehen an einer Stelle bis zur Rotglut und zieht diesen Teil des Stabes außerhalb der Flamme soweit in die Länge, daß der Durchmesser nur noch ca. 1 – 2 mm beträgt. Danach bricht man den dünnen Teil des

Stabes ab und taucht das Ende unter ständigem Drehen in die Flamme, wobei sich eine kugelförmige Glasperle bildet. Hat diese einen Durchmesser von 1 – 4 mm erreicht, läßt man sie abkühlen. Nach dem Abkühlen bricht man sie mit einer kleinen Brechzange ab (wobei die Perle leicht verloren geht, also Vorsicht!).



Abb 5. Kugellinse unter stetem Drehen erschmelzen, Soll-Durchmesser ca. 1,5 – 4 mm

Am besten stellt man sich gleich zahlreiche Linsen her! Es gilt:

Je kleiner die Linse, desto stärker die Vergrößerung, desto höher die Auflösung und desto brillanter das Bild,

aber (!!):

Je kleiner die Linse, desto geringer der Abstand Auge – Linse, desto geringer der Abstand Linse – Objekt, desto kleiner das virtuelle Bild und desto schwieriger die Beobachtung.

Am besten beginnt man mit Linsen von 4 mm Durchmesser, um den Umgang mit Leeuwenhoek-Mikroskopen erst einmal zu üben.



Abb. 6 Fertige Linse mit Stiel



Abb.7 Stiel mit Seitenschneider abkneifen, Linse zwischen Blechschenkel legen, Bruchstelle seitlich orientieren.

5.5 Endmontage

Nach dem Einlegen der Linse werden die Schenkel mit schwarzem Isolierband umwickelt und auf diese Weise geschlossen. Man verwendet zwei Stücke Isolierband, in die man jeweils ein Loch von ca. 2,5 mm stanzt. Der Rand dieser Öffnungen soll die Seiten der Linse abdecken, um die Bildqualität zu erhöhen – die Öffnungen stellen gewissermaßen die „Aperturblenden“ dar. Will man mit der Aperturblende experimentieren, wählt man die Löcher größer und klebt danach kleinere Stücke Isolierband mit den eigentlichen „Aperturblenden“ beidseitig auf – diese Stücke lassen sich dann leicht austauschen.

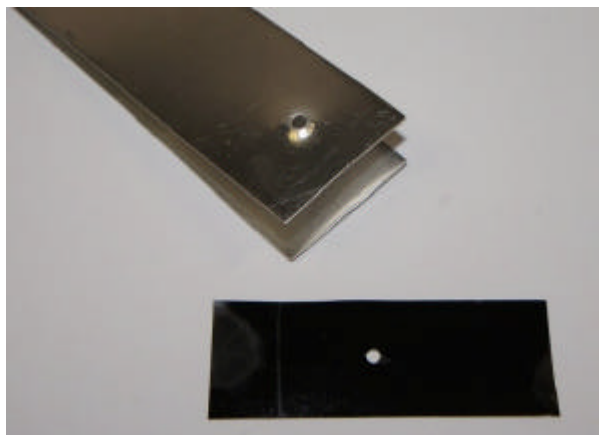


Abb.8 Isolierband mit ca. 2,5mm-Loch versehen

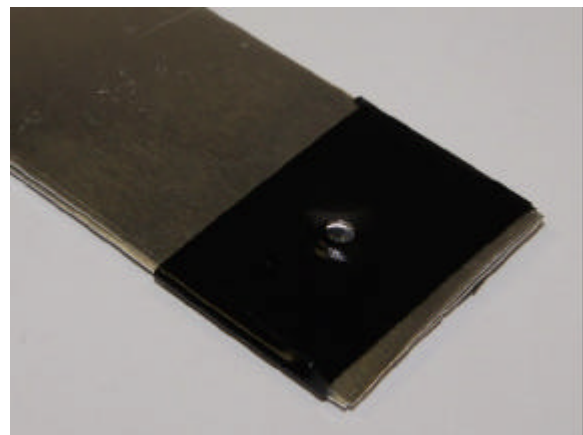


Abb.9 Blechfassung mit Isolierband schließen, Isolierband stellt Objektiv-Aperturblende dar, auf anderer Seite wiederholen.

5.6. Der Objekthalter

Für orientierende Versuche verwendet man als Objekthalter ein durchbohrtes Stück harte Pappe von der Größe eines Objektträgers, auf dem man das Objekt aufklebt. Verwendet man ein Blech gleicher Größe mit einer kleinen Bohrung, kann man Mikroorganismen im hängenden Tropfen beobachten. Schließlich kann man den Objekt-

halter durch einen modernen Objektträger ersetzen, den man an einem Ende mit einem geeigneten Objekt und einem Deckglas versieht.

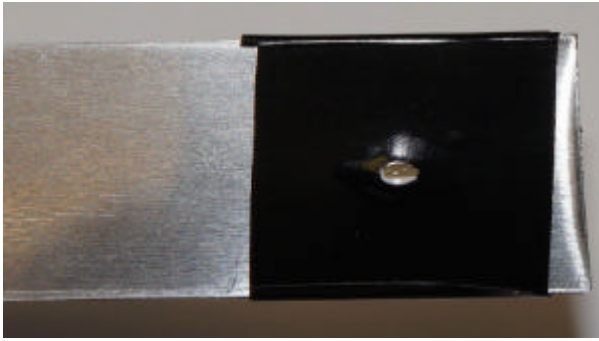


Abb.10 Die gefasste Linse mit Waschbenzin oder Brillenputztuch reinigen.

Die Objekthalter befestigt man mit zwei Gummiringen. Zwischen Objekthalter und Linsenträger platziert man ein dünnes Stück Schaumgummi, der Objekt-Abstand zur Linse muß sehr gering sein. Drückt man nun am Außenrand den Objekthalter gegen den Linsenträger, nimmt der Abstand Linse – Objekt zu und es läßt sich der optimale Arbeitsabstand ermitteln. Danach ersetzt man den Schaumstoff durch Papp-scheiben geeigneter Dicke.

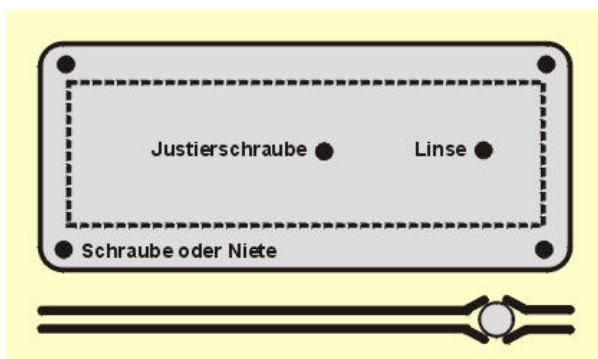


Abb.11 Pappstreifen in Objektträgergröße mit ca. 2,5mm-Loch versehen und mit Edding schwärzen, er stellt die Beleuchtungs-Aperturblende dar.

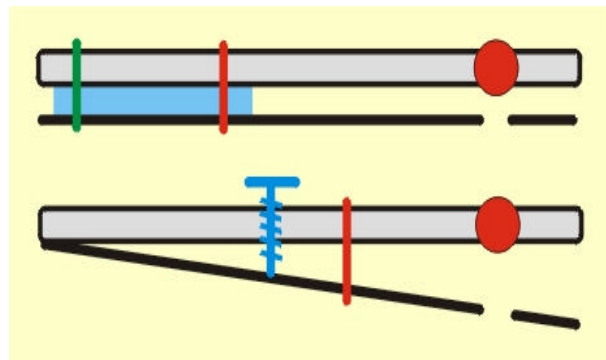


Abb.12 Die Komponenten des Mikroskops in der Reihenfolge des Zusammenbaus - Objektiv, Objekt und Beleuchtungs-Aperturblende auf einer Achse

Besser ist es natürlich eine Justierschraube zu verwenden, wobei es auch dann noch möglich ist, den Objekthalter zu verschieben. In diesem Fall genügt es allerdings nicht die beiden Teile des Linsenhalters einfach mit Hilfe von Isolierband miteinander zu verbinden, man muß nun kleine Schrauben oder Nieten verwenden.



Graphik 2 Linsenhalter mit Bohrungen



Graphik 3 Objekthalterungen mit Gummiringen und Schaumstoff (oben) oder mit Gummiring und Justierschraube (Blechschaube)

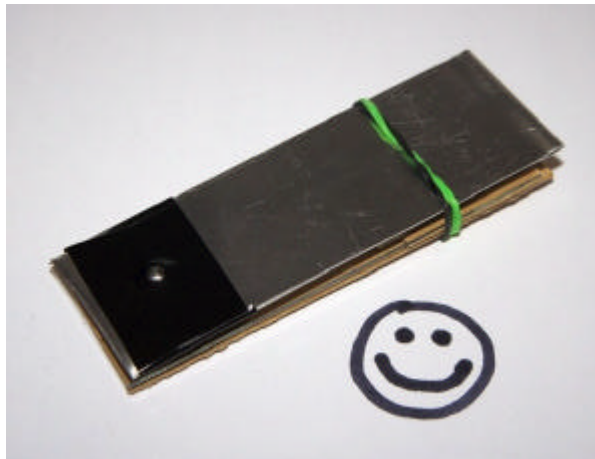


Abb.13 Fertiges Mikroskop. Die Fokussierung lässt sich durch Vor- und Zurückrollen der Gummibänder voreinstellen

5.7. Geeignete Objekte

Zunächst sollte man durchsichtige Insektenteile untersuchen (z.B. Fliegenflügel, Mückenbeine). Diese einfachen Präparate dienen zugleich dazu, die optimale „Aperturblende“ (s.o.) auszusuchen. Als Beleuchtungsquelle verwendet man eine helle Mattglasbirne.

Das „klassische“ Untersuchungsobjekt ist ein Zahnfleischabstrich mit Hilfe eines Streichholzes. Entweder verdünnt man den Abstrich mit wenig Wasser und beobachtet im hängenden Tropfen, oder aber man streicht das Material auf einen Objektträger aus, färbt mit Methylenblau kräftig an, spült kurz ab und legt den Objektträger in das *Leeuwenhoek-Mikroskop*.

Natürlich kann man auch Plankton im hängenden Tropfen betrachten. Wegen der stets sehr geringen Individuendichte muß man allerdings Planktonkonzentrat verwenden, das mit einem professionellen Netz gefangen wurde.

Weitere klassische Objekte sind Infusorien („Aufgußtierchen“), aber auch hier ist eine Aufkonzentrierung unerlässlich: Man beschickt ein großes Marmeladenglas mit Gartenerde und, wenn vorhanden, mit trockenem Gras; ferner setzt man ein bohnengroßes Stück Hartkäse zu. Nachdem sich genügend Infusorien entwickelt haben (Kontrolle mit einem „richtigen“ Mikroskop), stellt man einen Glastrichter über Kopf derart in das Glas, daß sich die Wasseroberfläche im Stiel des Trichters befindet. Da nun der Sauerstoffgehalt des Wassers unter dem Trichter mit der Zeit sinkt, sammeln sich die Infusorien im Stiel des Trichters an und können dort mit einer langen dünnen Pipette in hinlänglicher Konzentration entnommen werden. Die Beobachtung erfolgt im hängenden Tropfen.