

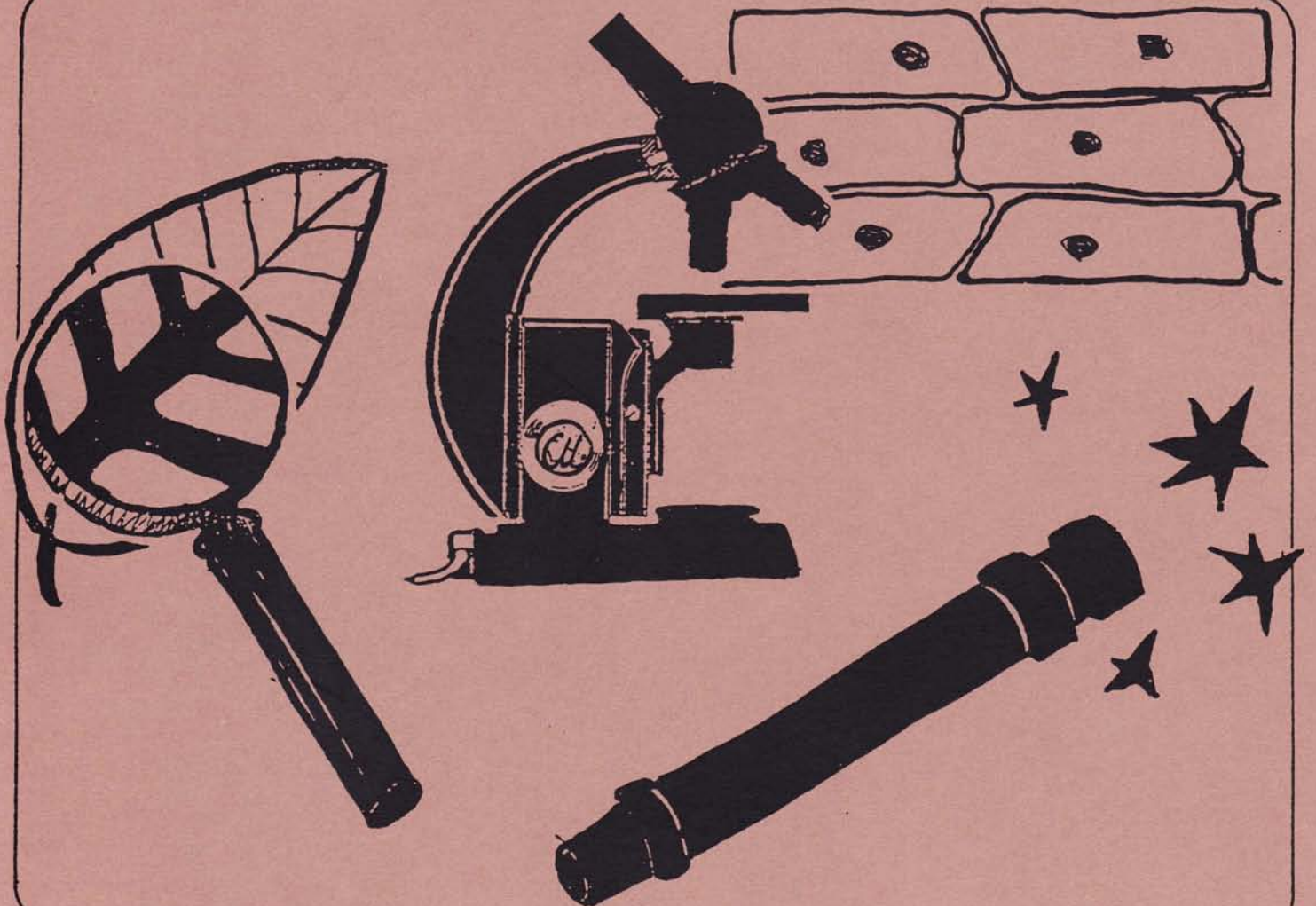


Landesinstitut  
für Schule und Weiterbildung  
GÖS

Fächerübergreifender Unterricht Naturwissenschaft (FUN)

"Umwelt erkunden - Umwelt verstehen"

Baustein "Beobachten und Wahrnehmen mit  
Mikroskop und Fernrohr"





Kontaktadresse:  
Landesinstitut für Schule und Weiterbildung  
Referat I/4  
Paradieser Weg 64  
59494 Soest  
Tel.: 02921/683-257

Autor:  
Armin Kremer

Gestaltung:  
Ramona Marchitto

Grafik:  
Angela Bender

Titelbild:  
Christine Marwedel

---

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1. Stellung des Materialbausteins im Curriculum "Umwelt erkunden - Umwelt verstehen"</b>	<b>5</b>
<b>2. Vorbemerkung</b>	<b>7</b>
<b>3. Sach-/Problemstrukturskizze</b>	<b>9</b>
<b>4. Erfahrungsbericht</b>	<b>12</b>
<b>5. Anregungen für den Unterricht</b>	<b>13</b>
5.1 Außerschulische Erkundungen	13
5.2 Sonstige Aktivitäten	13
<b>6. Literatur - Filme - Adressen</b>	<b>14</b>
6.1 Literatur	14
6.2 Filme	15
6.3 Adressen	15
<b>7. Materialien</b>	<b>16</b>
<b>7.1 Gegenstände vergrößern</b>	<b>16</b>
7.1.1 Mit dem Mikroskop ins Unsichtbare	16
7.1.2 Hookes Mikroskop	17
7.1.3 Pasteur - der Erforscher der Mikroben	19
7.1.4 Impfstoff gegen Milzbrand	19
7.1.5 Pasteur, Semmelweis und Lister kämpfen gegen die Ärzteschaft	19
7.1.6 Der Mikrobiologe Koch	20
7.1.7 Klein heißt nicht am Kleinsten	21
7.1.8 Wohin das Licht nicht reicht	21

<b>7.2</b>	<b>Ein Mikroskop selbst gebaut</b>	<b>23</b>
<b>7.3</b>	<b>Experimente mit Wasserglas, Brennglas und auf den Kopf gestellten Bildern</b>	<b>25</b>
7.3.1	Experiment mit Wasserglas	25
7.3.2	Experiment mit Brennglas	25
7.3.3	Experiment mit zwei Linsen	26
<b>7.4</b>	<b>Wie arbeitet man mit dem Lichtmikroskop?</b>	<b>26</b>
7.4.1	Herstellen und Färben eines Zwiebelhautpräparates	28
7.4.2	Untersuchungen mit der Lupe	29
7.4.3	Untersuchungen von Textilfasern	30
<b>7.5</b>	<b>Einführende Betrachtungen in die Mikrobiologie?</b>	<b>34</b>
7.5.1	Zur Bedeutung der Mikroorganismen	34
7.5.2	Nutzbare Leistungen von Mikroorganismen	35
7.5.3	Schädigende Wirkungen von Mikroorganismen	36
7.5.4	Aus der Geschichte der Mikrobiologie	36
7.5.5	Bau und Lebewesen von Mikroorganismen	38
7.5.6	Mikroorganismen im Boden	42
7.5.7	Mikroorganismen im Wasser	43
7.5.8	Mikroorganismen in Haushalt, Industrie und Landwirtschaft	44
<b>7.6</b>	<b>Gegenstände heranholen</b>	<b>46</b>
7.6.1	Von Glas zur Brille	46
7.6.2	Vom Fernglas zum Spiegelteleskop	46
<b>7.7</b>	<b>Einfache astronomische Beobachtungen</b>	<b>51</b>
7.7.1	Sonnenbeobachtung	53
7.7.2	Mondbeobachtung	55
7.7.3	Sterne und Planeten	56
<b>7.8</b>	<b>Auf einen Blick: Mikroskop und Fernrohr</b>	<b>57</b>
7.8.1	Das Mikroskop	57
7.8.2	Das Fernrohr	58
<b>7.9</b>	<b>Lesebrille und Lupe</b>	<b>60</b>

## 1. Stellung des Materialbausteins im Curriculum "Umwelt erkunden - Umwelt verstehen"

Das Entwicklungskonzept "Umwelt erkunden - Umwelt verstehen" versteht sich als Fortführung und Erweiterung von Ansätzen zum fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht. Bewußt wird in dieser Konzeption die Tradition des "Koordinierten Naturwissenschaftlichen Unterrichts" (KoNaWi) aufgenommen mit der Perspektive neue Wege zu finden, naturwissenschaftlichen Unterricht so zu verändern, daß durch mehr Lebensbezug eine höhere Akzeptanz und Lerneffektivität erreicht wird.

"Umwelt erkunden - Umwelt verstehen" bezieht sich vorläufig auf die Jahrgangsstufen 5 - 8 an Gesamtschulen in Nordrhein-Westfalen. In diesen Jahrgängen bestehen relativ große Freiräume, die eine Erprobung von "Umwelt erkunden - Umwelt verstehen" wesentlich erleichtern. Die bisherigen Erfahrungen aus der Schulpraxis haben jedoch gezeigt, daß die Bausteine von "Umwelt erkunden - Umwelt verstehen" auch in den Jahrgangsstufen 9 - 10 sinnvoll eingesetzt werden können.

1989 begann am Landesinstitut für Schule und Weiterbildung (Soest) eine Arbeitsgruppe, die Konzeption eines offenen und fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterrichts zu entwerfen. Begleitend entwickelte die Arbeitsgruppe bisher Materialbausteine zu den Themenbereichen "Wasser", "Sinnesorgane erschließen die Umwelt", "Umgang mit Tieren", "Feuer", "Umgang mit Pflanzen", "Wetterbeobachtung - Klima - Klimagefahren", "Energie und Umwelt", "Tätige Sinne" und "Der Mensch zwischen Gesundheit und Krankheit". Nunmehr liegt der Materialbaustein "Beobachten und Wahrnehmen mit Mikroskop und Fernrohr" vor.

Die didaktische Konzeption für den Unterricht und die Entwicklung der Materialbausteine orientieren sich an fünf Strukturelementen (vgl. "Arbeitskonzept zur Entwicklung eines Curriculums für die Jahrgänge 5 - 8"):

- Lebenswelt,
- Natur/Technik/Umwelt,
- Offenheit,
- Entgegenwirken *ungünstiger* Sozialisierungseffekte und Förderung von Bedürfnissen und Interessen von Mädchen,
- pädagogisches Profil der Gesamtschule.

Das Element Offenheit bestimmt zudem wesentlich die Struktur der Materialbausteine, d.h. die angebotenen Materialien (Experimente, Texte, Spiele, Bastelanleitungen ...) stellen weder Beschreibungen von Unterrichtsstunden dar, noch handelt es sich um die Vorstellung linearer Unterrichtseinheiten. Sie sind vielmehr als Vorschläge, Ideen und Anregungen zu verstehen, Unterricht zu planen. Die offene Form der Materialstruktur ergibt sich notwendig aus der Absicht, die Interessen der Schülerinnen und Schüler sowie regionale und aktuelle Bezüge als zentrale Entscheidungskriterien bei der individuellen Themenfindung und Unterrichtsgestaltung in den Vordergrund zu stellen.

Die Sach-/ Problemstrukturskizze, die jeweils den Materialien vorangestellt ist, versteht sich als eine von mehreren Orientierungsmöglichkeiten für methodisch-didaktische Entscheidungen bei der Themenauswahl und konkreten Unterrichtsplanung.

"Umwelt erkunden - Umwelt verstehen" soll kein Curriculum werden, das irgendwann detailliert naturwissenschaftlichen Unterricht beschreibt. Vielmehr wird ein offenes Curriculum angestrebt, das auf der Basis von Unterrichtspraxis Handlungs- und Gestaltungsmöglichkeiten für Unterricht aufzeigt. Nur unter der Beteiligung von Kolleginnen und Kollegen an den Schulen kann diese Zielsetzung verwirklicht werden. Wir hoffen daher, über die bereits vorgelegten Bausteine Kontakte zu interessierten Lehrerinnen und Lehrern zu knüpfen, und so einen diskursiven Prozeß des Austausches und der Kooperation zwischen Unterrichtspraktikerinnen und -praktikern sowie der Arbeitsgruppe in Gang zu setzen. In diesem Sinne sind die von der Arbeitsgruppe bereits entwickelten Materialbausteine als Angebot zu verstehen, das durch ihre Erfahrungen und Ideen verändert und ergänzt werden soll.

Wir möchten daher alle Lehrerinnen und Lehrer, die im Lernbereich Naturwissenschaften unterrichten, zur engagierten Mitarbeit einladen.

Ihre Erfahrungen und Ihre Themengestaltungen sind ein wichtiges Element der Materialstruktur. Sie werden als Umsetzungsbeispiele in die überarbeiteten Curriculumbau- steine aufgenommen. Solche Beschreibungen in Form von Projektskizzen oder kurzen Berichten bündeln nicht nur Unterrichtserfahrungen, sondern relativieren, akzentuieren und verändern die Konzeption eines neuen naturwissenschaftlichen Unterrichts. Die Überarbeitung der Bausteine im Verlauf des diskursiven Prozesses sichert nicht nur schulische Erfahrungen, sondern macht diese wiederum anderen Lehrerinnen und Lehrern zugänglich.

Wir, die Arbeitsgruppe, würden uns freuen, wenn wir in Kooperation mit Ihnen einen dynamischen und offenen Prozeß der Curriculum- und Materialentwicklung für den naturwissenschaftlichen Unterricht in Gang setzen können.

Wir sind daher gespannt auf jede Rückmeldung von Ihnen in Form von:

- Erfahrungsberichten
- Kritik
- Meinungen
- Materialien
- Vorschlägen
- Projektskizzen
- Wünschen
- Lob
- Ideen
- ...

Nehmen Sie Kontakt mit uns auf!

Landesinstitut für Schule und Weiterbildung  
Referat I/4  
Paradieser Weg 64  
59494 Soest  
Tel.: 02921/683-257

Ansprechpartnerin:  
Ansprechpartner:

Christine Marwedel  
Dr. Armin Kremer

## 2. Vorbemerkung

Vor der Erfindung des Mikroskops und des Teleskops hatten die Menschen keine Ahnung von der erstaunlichen, mikroskopisch winzigen und makroskopisch riesigen Vielfalt ihrer Umgebung. Ihr Erfahrungsbereich war durch die begrenzten Möglichkeiten des menschlichen Auges eingeschränkt. Die Erfindung des Mikroskops und Teleskops hat den Menschen völlig neue Welten erschlossen. Sie ermöglichte viele Entdeckungen, die zur Lösung von naturwissenschaftlichen und technischen Problemen geführt und unsere Denkweise verändert haben.

Durch die Mikroskopie wurden grundlegende Forschungen in der Biologie und Medizin entscheidend bestimmt, aber auch die Gesteins- und Metallkunde, die paläontologischen Naturwissenschaften, die Kohleforschung u.a. haben durch die mikroskopische Methode wesentliche Einblicke in den Aufbau der Materie gewonnen.

Die Erfindung des Teleskops machte erstmals Bewegungen von Himmelskörpern meßbar. Damit war gleichsam der Grundstein für eine neue Wissenschaft, die Astronomie, gelegt. Seit der Entstehung der Astrophysik um die Mitte des 19. Jahrhunderts haben die Physiker erkannt, daß ihnen die Astronomie in Gestalt des unvorstellbar großen Weltalls ein geradezu ideales Laboratorium bietet, in dem die Objekte unter technisch nicht erreichbaren Bedingungen untersucht werden können.

An die Stelle des Galileischen Fernrohrs sind weite riesige computergesteuerte Radioteleskope getreten, mit denen man immer weiter in den Kosmos vordringen kann.

In diesem Material-Baustein geht es vor allem um das einfache Lichtmikroskop sowie das astronomische Fernrohr und die Welt, die wir damit entdecken können. Der Einführung in die Arbeitsmethoden mit dem Mikroskop und dem Fernrohr sind jeweils ein historischer Exkurs mit dem Titel "Gegenstände vergrößern" und "Gegenstände heranholen" vorangestellt, in denen wichtige Stationen in der wissenschaftsgeschichtlichen Entwicklung seit der Erfindung des Mikroskops und des Fernrohrs vorgestellt und problematisiert werden. Die in diesen historischen Exkursen angesprochenen Stationen eignen sich gut zur Strukturierung einer Unterrichtseinheit oder bieten Anregungen zu thematischen Schwerpunktsetzungen von Unterrichtssequenzen, in denen das interessegeleitete, d.h. problem- und handlungsorientierte Beobachten und Wahrnehmen mit Mikroskop und Fernrohr stehen.<sup>1)</sup>

---

1) "Das Mikroskopier-Buch" von Chris Oxlade und Corinne Stockley (siehe "Literatur - Filme - Adressen") gibt hierzu zahlreiche und anregende Beispiele.

### 3. Sach-/Problemstrukturskizze

#### "Beobachten und Wahrnehmen mit Mikroskop und Fernrohr"

**Stationen der Erfindung und Weiterentwicklung von Mikroskop und Fernrohr und ihre Einflüsse auf die Herausbildung und Entwicklung von Wissenschaftsdisziplinen.**

Die Sach-/Problemstrukturskizze skizziert in einer knappen historischen Genese Stationen der Erfindung und Weiterentwicklung von Mikroskop und Fernrohr und ihre Einflüsse auf die Herausbildung und Entwicklung von Wissenschaftsdisziplinen (z.B. Astronomie und Astrophysik, Biologie, Chemie, Medizin, Physik, Materialkunde, Rüstungsforschung, ...).

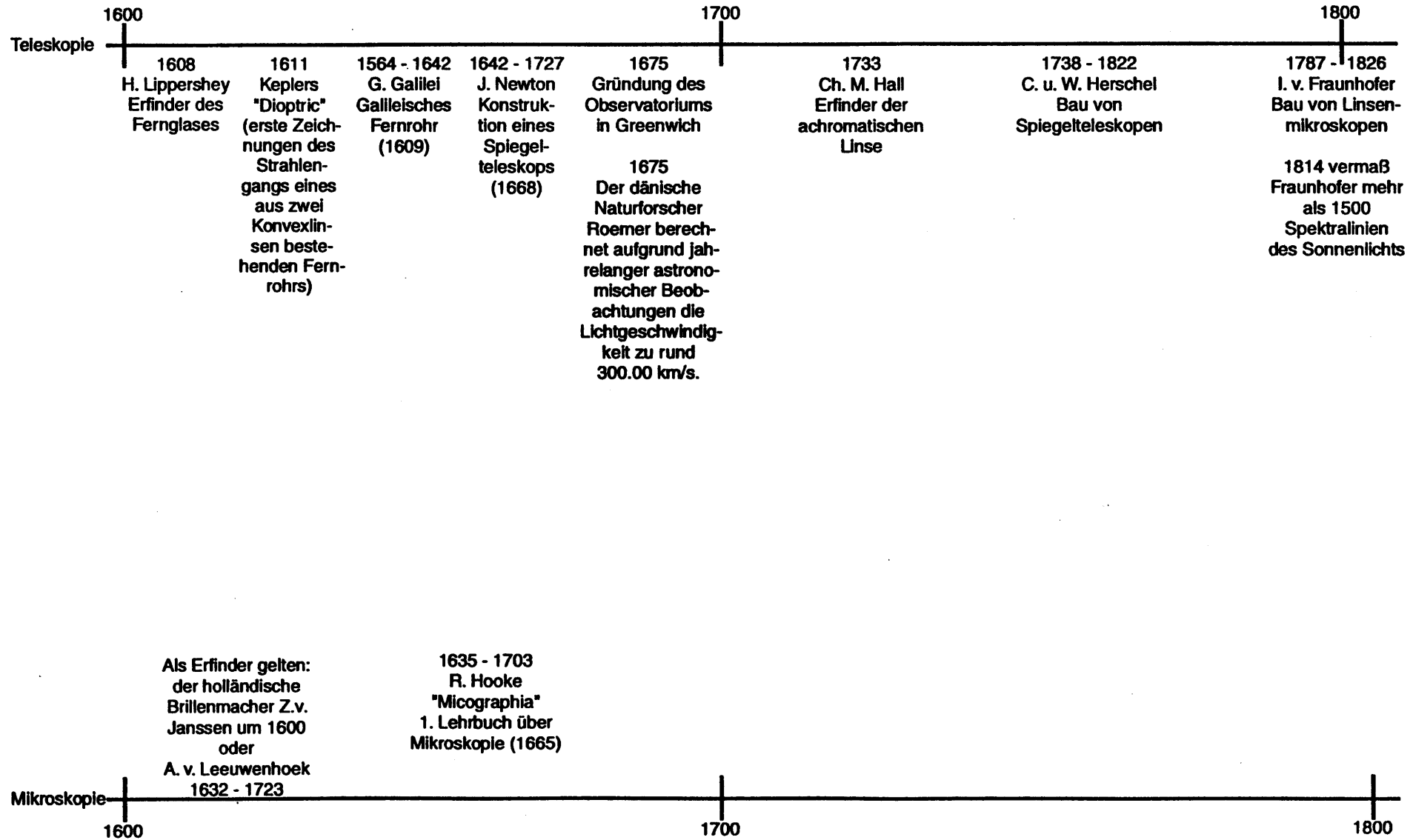
Die Sach-/Problemstrukturskizze soll Anregungen für die thematische Planung, Auswahl und Verknüpfungen geben. Aufgrund der Komplexität der Thematik "Beobachten und Wahrnehmen mit Mikroskop und Fernrohr" wird man bei der Bearbeitung exemplarisch vorgehen.

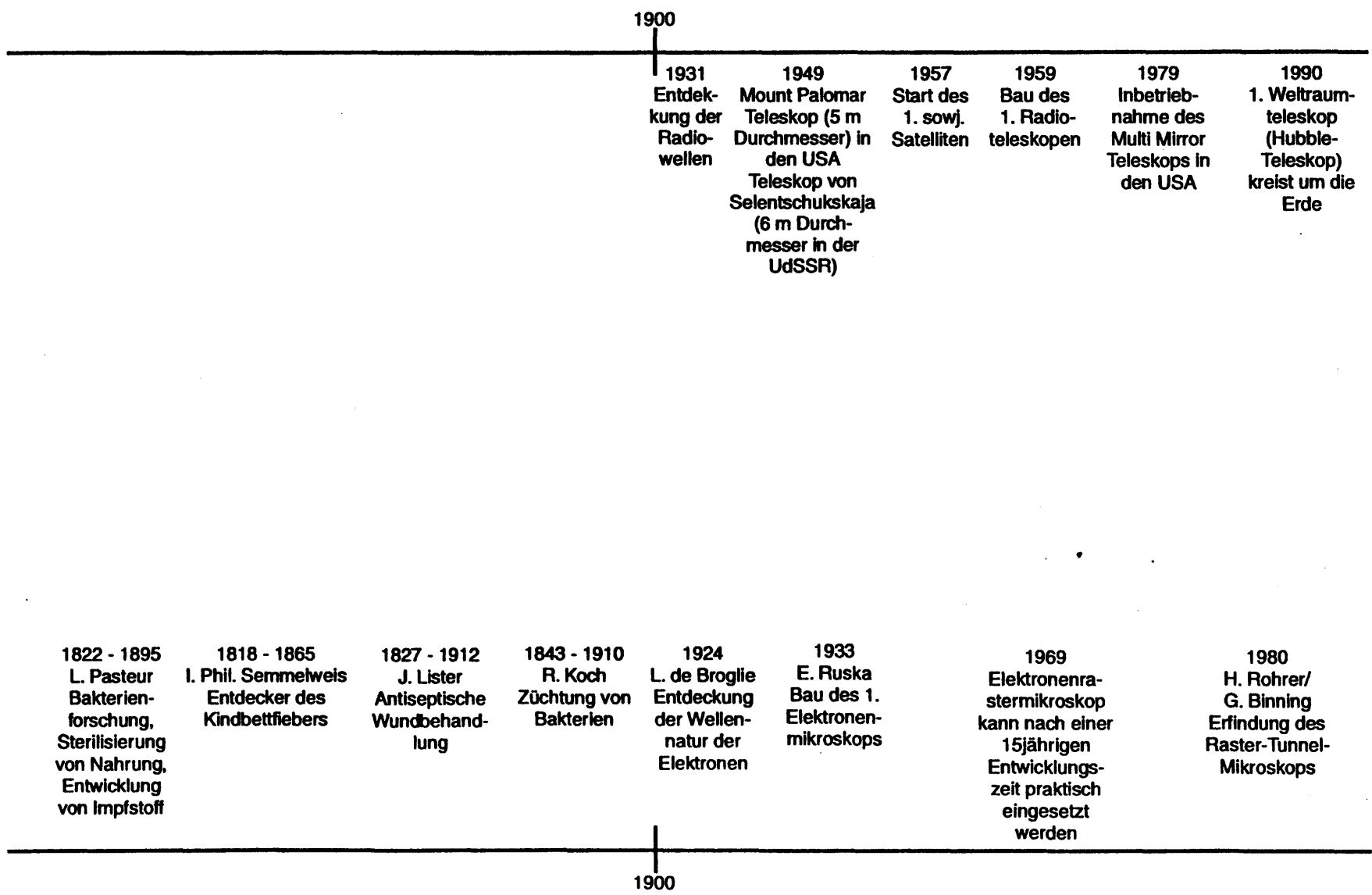
Stationen in der Geschichte des Mikroskops und/oder des Fernrohrs (einschließlich vergleichender Betrachtungen) können dazu ebenso Anregungen geben wie die "Lebensweltlichen Aspekte", die auf die Bedeutung von Brille, Lupe, Mikroskop und Fernglas oder allgemeiner von optischen Instrumenten im Alltag hinweisen sollen.

#### *Lebensweltliche Aspekte*

- Beim Optiker
- Das Fernglas/-rohr im Alltag: In der Oper, auf der Pirsch, beim Militär, der Hobby-Astronom, ...
- Das Mikroskop im Alltag: In der Arztpraxis (medizinische Untersuchungen) im Physik-, Chemie- und Biologie-Labor (Nahrungs-, Umwelt- und Materialanalysen), in der Archäologie (archäologische Grabungsstätten), in der Geologie (Untersuchung von Gesteinsproben/Mineralien) und in der Kriminologie (Spurensicherung), ...







## 4. Erfahrungsbericht

Die folgenden Materialien bildeten die Grundlage von 3 verschiedenen Unterrichtssequenzen:

1. "Ein Mikroskop selbst gebaut" und "Experimente mit Wasserglas, Brennglas und auf den Kopf gestellten Bildern" (im 5. und 6. Jahrgang).
2. "Einführende Betrachtungen in die Mikrobiologie" (im 8. Jahrgang) und
3. "Einfache astronomische Beobachtungen" (im 8. Jahrgang).

Sämtliche Materialien sind Handreichungen für die Lehrkraft. Sofern die Schülerinnen und Schüler gelernt haben in Arbeitsgruppen zu arbeiten und geübt sind im angeleiteten "Freien Experimentieren" im Sinne von offenem Lernen (was durchaus schon im 5./6. Schuljahr praktiziert werden kann, da die Schülerinnen und Schüler vielfach Erfahrungen mit diesen Arbeitsformen aus der Grundschule haben), sind die Materialien auch als Schülerarbeitsblätter verwendbar.

Bei allen drei Unterrichtssequenzen ist immer wieder aufgefallen, daß die Schülerinnen und Schüler z.T. sehr unterschiedliche Beobachtungen machen und Wahrnehmungen haben. Es fällt ihnen in der Regel schwer, selektiv zu beobachten, d.h. nach naturwissenschaftsspezifischen Gesichtspunkten Beobachtungen durchzuführen. Wichtig ist es, sich viel Zeit zu lassen für das Besprechen der unterschiedlichen Beobachtungen und Wahrnehmungen, um sich mit den verschiedenen Gedankengängen der Schülerinnen und Schüler vertraut zu machen. Wenn Beobachtungen in Frage gestellt werden, weil sie z.T. anderen Beobachtungsergebnissen widersprechen oder mit anderen Befunden nicht vergleichbar sind, sind Schülerinnen und Schüler mehrheitlich bereit, ihre Beobachtungen nochmals zu überprüfen. In diesem Zusammenhang kann den Schülerinnen und Schülern auch die Arbeitsmethoden (beim Mikroskopieren: Beleuchten, Präparieren, Fixieren, Schneiden und Färben) eher nahegebracht werden, als das sonst der Fall ist, weil deren Bedeutsamkeit ohne erkennbaren Kontext kaum oder nicht ersichtlich wird.

Die Unterrichtssequenz "Einfache astronomische Beobachtungen" kann nur dann erfolgsversprechend durchgeführt werden, wenn die Witterungsbedingungen günstig sind. Während die genannten Sonnen- und Mondbeobachtungen durchaus tagsüber bei wolkenlosem, klarem Himmel durchführbar sind, gelingen die genannten Sternen- und Planetenbeobachtungen bei gleichen Witterungsbedingungen eher in den Abend- und Nachtstunden. Die Beobachtungen zu den Abend- und Nachtstunden lösten bei vielen Schülerinnen und Schülern eine besondere Faszination aus. Es kam zu Diskussionen darüber, ob es menschenähnliche Lebewesen auf anderen Planeten gibt, wann und wie das Weltall entstanden ist.

## **5. Anregungen für den Unterricht**

### **5.1 Außerschulische Erkundungen**

- Beobachtungen mit Lupe/Binokular in der Natur: Pflanzen, Pilze, Insekten, Gesteine und Mineralien, Mikroorganismen in Gewässer (Seen, Teiche, Bäche, Pfützen, ...).
- Mit dem Fernglas auf Pirschgang (mit einem Jäger/einem Förster).
- Nächtliche Himmelsbeobachtungen mit dem astronomischen Fernrohr.
- Besuch einer Optikerwerkstatt (Augenoptiker) in Kleingruppen.
- Besuch eines Betriebes, der optische Linsen und/oder Instrumente herstellt.
- Besuch eines Planetariums.
- Besuch einer Volkssternwarte.
- Besuch eines technischen Museums.

### **5.2 Sonstige Aktivitäten**

- Gespräch mit Berufsvertreterinnen und -vertretern, bei deren Berufsarbeit vielfach moderne Licht- und Elektronenmikroskope verwendet werden:  
Z.B. Medizin (Augenoperation), Kriminologie (Spurensicherung), Geologie (Beschaffenheit von Gesteinsproben), Forschung und Industrie (Struktur von Materialien, Materialfehleruntersuchung, Schleifen und Schneiden von Edelsteinen), Nahrung und Umwelt (Nachweis von Bakterien und anderen Krankheitserregern in Getreide, Lebensmitteln, bei Tierseuchen), Archäologie (Untersuchung von winzigen Gegenständen von Grabungsstätten), ...
- Gespräch mit Berufsvertreterinnen und -vertretern, bei deren Berufsarbeit vielfach moderne Ferngläser und Teleskope verwendet werden:  
Z.B. Forst- und Jagdwirtschaft, Heer und Marine, Astronomie/Astrophysik, ...

## 6. Literatur - Filme - Adressen

### 6.1 Literatur

- D. Burnie: Licht. Von den Sonnengöttern des Altertums bis zu Einsteins Quantentheorie des Lichts. Hildesheim 1993.
- Pelle Eckermann, Sven Nordquist: Linsen, Lupen und magische Skope. Hamburg 1991.
- Hugo Freund, Alexander Berg: Geschichte der Mikroskopie. Leben und Werk großer Forscher. Band 1 "Biologie". Frankfurt/M. 1963.
- Hans W. Gaebert: Der große Augenblick in der Physik. Von den frühen physikalischen Versuchen bis zur Kernphysik. Bayreuth 1974.
- A. Hellemann, B. Bunch: Fahrplan der Naturwissenschaften. Ein chronologischer Überblick. München 1990.
- Siegfried Kluge u.a.: Mikrobiologie. Ein Arbeitsbuch für Schüler. Berlin 1991.
- Dieter Krauter: Mikroskopie im Alltag. Stuttgart 1964<sup>4</sup>.
- Klaus Lindner: Astronomie selbst erlebt. Köln 1973.
- Philip und Phylis Morrison: Zehn<sup>Hoch</sup> Dimensionen zwischen Quarks und Galaxien. Heidelberg 1987<sup>3</sup>.
- Chris Oxlade und Corinne Stockley: Das Mikroskopier-Buch. München 1990.
- Jürgen Teichmann: Moment mal, Herr Galilei! Eine Reise durch die Geschichte der Wissenschaft. Würzburg 1990.
- Engelhard Weigl: Instrumente der Neuzeit. Die Entdeckung der modernen Wirklichkeit. Stuttgart 1990.



## 6.2 Filme

### FWU 3210027 (14 min.):

1989: Mikrowelt. Geschichte des Mikroskops. Der Film zeigt die Entwicklung des Mikroskops von seinen Anfängen bis in die Gegenwart. Carl Zeiss, Ernst Abbe und Otto Schott verbessern entscheidend die Qualität des Lichtmikroskops. Ernst Ruska erfindet 1931 das Elektronenmikroskop.

### FWU 3202789 (14 min.):

1976: Untersuchung von Zellen im Elektronenmikroskop. Nacheinander werden die Arbeitsschritte zur Herstellung eines Präparats für das Elektronenmikroskop gezeigt, dann wird das Prinzip dieses Gerätes in einer Grafik erklärt. Zuletzt sieht man eine Aufnahme mit den wichtigsten Zellbestandteilen.

## 6.3 Adressen

Adressen von außerschulischen Lernorten zum Thema sind in der folgenden empfehlenswerten Schrift zusammengestellt:

Kommunalverband Ruhrgebiet (Hg.): Außerschulische Lernorte Ruhrgebiet. Ein Handbuch für die Umwelterziehung. Essen 1993 (siehe insbesondere: Kap. 6 "Planet Erde" und Kap. 10 "Untersuchung von Umweltfaktoren", Kap. 11 "Wasser").

Bezug: Kommunalverband Ruhrgebiet, Abt. Öffentlichkeitsarbeit, Kronprinzenstr. 35, 45128 Essen.

Vergleichbare Schriften über außerschulische Lernorte in Regionen anderer Bundesländer sind von den Kultusverwaltungen und Fort- und Weiterbildungsinstitutionen zu beziehen.

## 7. Materialien

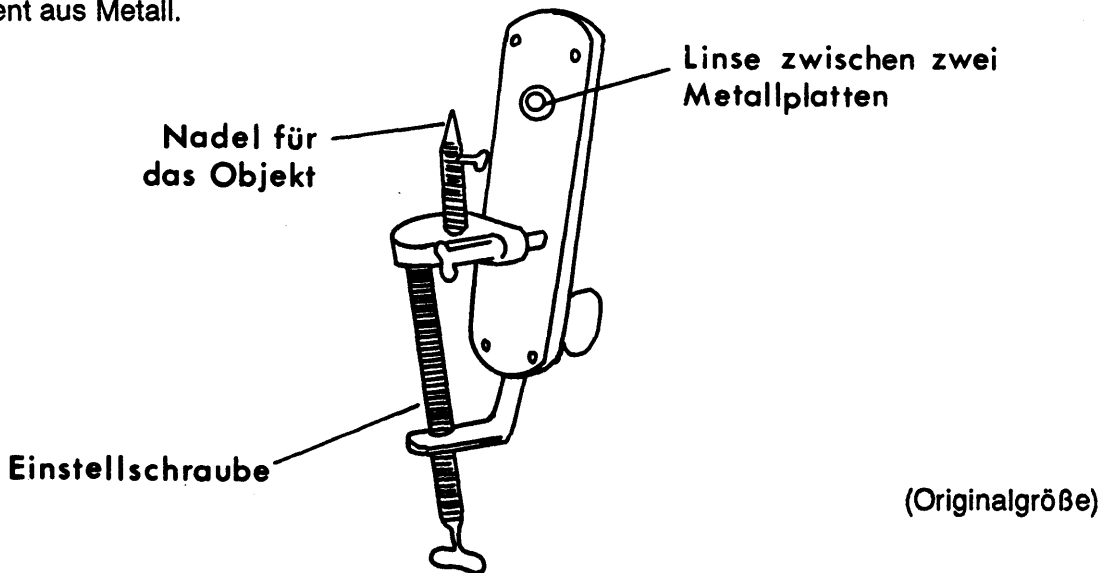
### 7.1 Gegenstände vergrößern

#### 7.1.1 Mit dem Mikroskop ins Unsichtbare

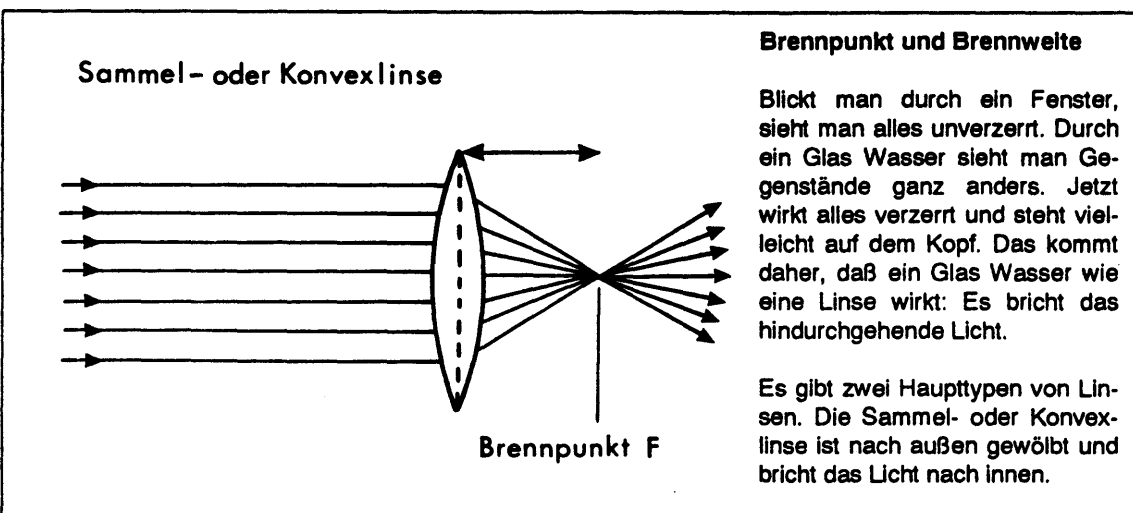
Der Holländer Antoni van Leeuwenhoek (1632 - 1723), der eigentlich Tuchhändler war, gilt als Erfinder des Mikroskops.

#### Leeuwenhoeks Mikroskop

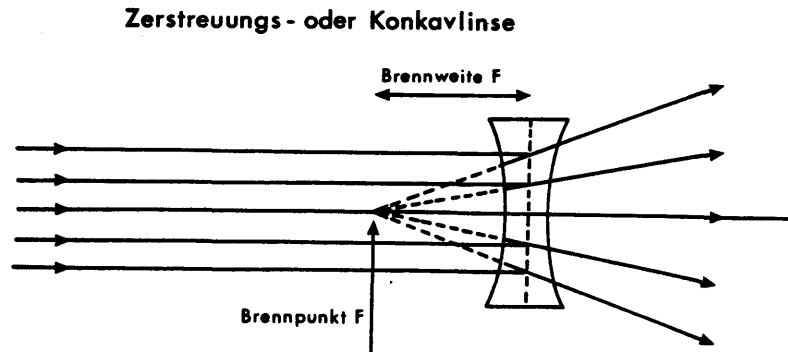
Das von Antonie van Leeuwenhoek benutzte Mikroskop war ein sehr kleines Instrument aus Metall.



Seine Linse war etwa 1 mm dick und hatte eine so kleine Brennweite, daß man das Mikroskop sehr nah ans Auge halten mußte.



Bei der Zerstreuung- und Konkavlinse ist es umgekehrt. Treffen parallele Lichtstrahlen senkrecht auf eine Sammellinse, werden sie so gebrochen, daß sie alle durch einen Punkt verlaufen, den Brennpunkt. Den Abstand des Brennpunkts von der Linsenmitte bezeichnet man als Brennweite. Je kleiner die Brennweite, desto stärker ist die Linse gewölbt.



Die Linse war zwischen zwei ebenen Metallplatten angebracht. Das Untersuchungsobjekt spießte man auf eine Nadel, die man mit Schrauben zum Brennpunkt hin bewegte.

Leeuwenhoek baute Hunderte solcher einfachen Mikroskope in unterschiedlicher Ausführung und erzielte damit 70fache bis über 250fache Vergrößerungen.

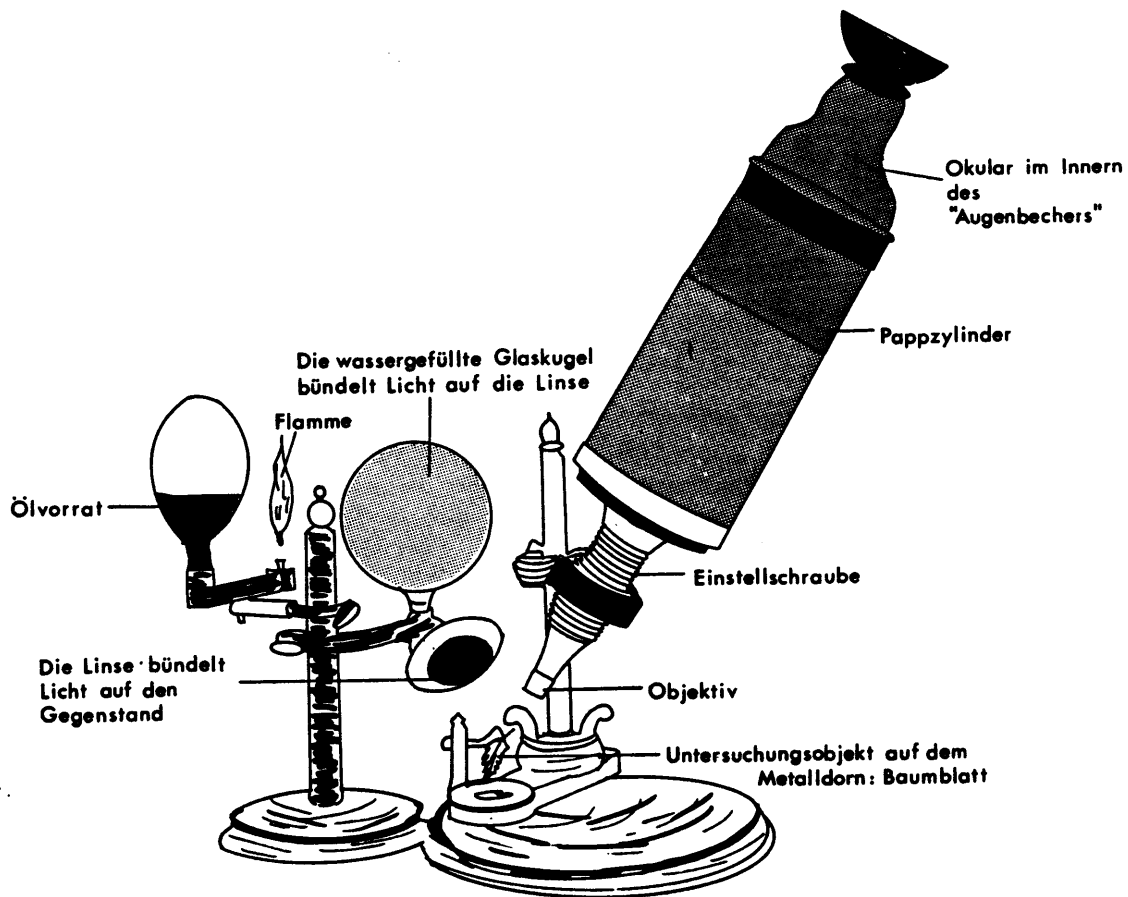
Leeuwenhoek, der sich in seiner Freizeit der Glasbläserei und dem Schneiden von Feinmetall widmete, beschäftigte sich zwischen 1670 und 1710 mit verschiedenen mikroskopischen Studien. Er untersuchte Haut, Spucke, Urin, Sperma, Haare und Blut. Mit seinem Mikroskop stellte er fest, daß das Blut weiße und rote Blutkörperchen enthält. Außerdem berechnete er die Anzahl und maß ihre Größe.

Eine der wichtigsten Entdeckungen im Mikrokosmos war die Entdeckung der Mikroorganismen, denen Leeuwenhoek immer wieder begegnete. Ohne richtig zu verstehen, daß der trübe Bodensatz im Traubensaft vermutlich etwas mit der Gärung zu tun hat.

### 7.1.2 Hookes Mikroskop

Während Leeuwenhoeks mikroskopische Studien noch recht unsystematisch waren, ging der englische Forscher Robert Hooke (1635 - 1703) bei der Entwicklung eines Mehrlinsen-Mikroskops schon methodisch überlegter vor. Auch beim Mikroskopieren verfuhr er systematischer und exakter. Hooke schrieb das erste Lehrbuch über Mikroskopie, *Micrographia*, in dem er detailliert aufzeichnete und beschrieb, was er gesehen hatte.

## Nachbau von Hookes zusammengesetzten Mikroskop



In nächster Nähe zum Untersuchungsobjekt befand sich das Objektiv und an der Spitze des Gerätes das Okular, durch das der Betrachter schaute. Dazwischen platzierte Hooke manchmal noch eine Kollektiv- oder Feldlinse. Die Kollektivlinse macht die vom Objektiv kommenden Strahlen konvergent und vergrößert so das Blickfeld. Sein Mikroskop bestand aus Holz und Pappe mit Pergamentüberzug. Die Schärfe wurde eingestellt, in dem man das Gerät mittels einer Stellschraube auf und ab bewegte. Hooke konnte nur bei Sonnenschein am Fenster arbeiten. War es nicht hell genug, benutzte er die abgebildete Öllampe. Obwohl Hookes Mikroskop größer und komplizierter war als das Leeuwenhoeks, kam es zu chromatischer Aberration und damit zu nicht zu deutlichen Bildern.

Hookes besonderes Interesse galt den kleinsten Bestandteilen der Pflanzen. Bei seinen mikroskopischen Studien an dünnen Scheiben von Kork, Schilfblättern und Mohrrüben fand er reihenweise winzige Löcher, die er Zellen nannte. Manchmal konnte er ein bißchen Flüssigkeit in den Zellen erkennen, was heute Zytoplasma (oder Zellplasma) genannt wird.

Damals wußte man noch nicht, daß alles Lebendige aus Zellen besteht. Zu dieser Erkenntnis kam man erst 200 Jahre nach Leeuwenhoek und Hooke.

### 7.1.3 Pasteur - der Erforscher der Mikroben

Der französische Chemiker Louis Pasteur (1822 - 1895), dem die mikroskopischen Studien von Leeuwenhoek bekannt waren, interessierte sich insbesondere für die von Leeuwenhoek immer wieder gemachte Entdeckung von Mikroorganismen im trüben Bodensatz im Traubensaft.

Er selbst hatte auch festgestellt, daß nicht nur Traubensaft, sondern auch Bier und Essig, die normalerweise einwandfrei waren, gelegentlich aus unbekanntem Gründen schlecht wurden. Als er keine chemische Erklärung dafür finden konnte, betrachtete er sie durch ein Mikroskop. Er konnte dabei feststellen, daß bei normaler Gärung kleine, runde Hefezellen vorhanden waren.

Seine Experimente mit Schimmelpilzen hatten ihm die Gewißheit gegeben, daß die Gärungsprozesse auf lebende Organismen und nicht - wie vielfach angenommen - auf irgendwelche neutralen chemischen Reaktionen zurückzuführen sind. Er studierte nicht nur das Aussehen der Mikroorganismen, sondern auch ihr chemisches Verhalten. Er untersuchte ob sie mit oder ohne Luft leben konnten. Als Ergebnis dieser Untersuchungen konnte er sinnvolle und praktische Wege zeigen, einschließlich des heute als Pasteurisieren (Keimfreimachen) bekannten Verfahrens, um die nachteilige Entwicklung von Mikroorganismen auf die Bier- und Essigherstellung zu verhindern.

Pasteur wies auch nach, daß tierische und pflanzliche Produkte, ohne schlecht zu werden, beliebig lang aufbewahrt werden können, wenn die unsichtbaren, in der Luft enthaltenen Mikroben ferngehalten werden. Damit überzeugte er die Gelehrten seiner Zeit von jenen Tatsachen, von denen Appert, ein französischer Küchenchef bereits 1810 bei seiner Methode der Konservierung von Nahrungsmitteln Gebrauch gemacht hatte, indem er sie zuerst kochte und dann in Glasgefäße verschloß - eine Methode, die später zur Grundlage der bedeutenden Konservenindustrie werden sollte.

### 7.1.4 Impfstoff gegen Milzbrand

Pasteurs Forschungen richteten sich auch auf die Frage, wie sich die gefährliche Krankheit Milzbrand unter Tieren und Menschen verbreitete. Er untersuchte den ganzen Lebenslauf der Milzbrandbakterien. Dort wo man Schafe vergraben hatte, fand er heraus, daß die Bakterien mehrere Jahre in der Erde überleben können. Indem er schwächere Milzbrandbakterien herstellte, die keinen so ernststen Krankheitsverlauf verursachten, gelang es Pasteur, einen Impfstoff gegen Milzbrand, herzustellen. Der Impfstoff löst im Körper Abwehrreaktionen gegen die Krankheit aus, die Immunisierung.

### 7.1.5 Pasteur, Semmelweis und Lister kämpfen gegen die Ärzteschaft

Pasteur war der erste, der das Mikroskop im Kampf gegen Krankheiten eingesetzt hatte und gilt gleichzeitig als bedeutendster Pionier im Kampf gegen die Mikroben. Bei seinem Herangehen an die Krankheiten stieß er jedoch auf großen Widerstand bei der Ärzteschaft, da sie ihm als Nichtmediziner jedwede Kompetenz absprachen. Offensichtlich bedurfte es seines guten Rufes als Chemiker, den er sich als Berater der Industrie und als Besieger des Milzbrandes erworben hatte, um die Verwaltungen der verschiedenen Krankenhäuser zu überreden, Maßnahmen zu treffen, die wir heute als elementarste aseptische Vorsichtsmaßregeln ansehen.



Unabhängig von Pasteur hatten sich auch zwei andere Ärzte immer wieder für aseptische Vorsichtsmaßnahmen eingesetzt: Der Österreicher Ignaz Phil. Semmelweis (1818 - 1865) und der Engländer Josef Lister (1827 - 1912). Semmelweis war der Frage nachgegangen, woher die hohe Sterblichkeit unter gebärenden Frauen kam und festgestellt, daß die Sterblichkeit der neugeborenen Kinder erheblich zurückging, wenn sie in einer relativ bakterienfreien Umgebung zu Welt kamen. Semmelweis, der die infektiöse Ursache des Kindbettfiebers (1848) erkannte, stieß mit seinen Forderungen nach aseptischen Maßnahmen bei seinen Kollegen ebenso auf Unverständnis und derbe Kritik, wie Lister.

Lister machte die Beobachtung, daß z.B. Knochenbrüche ohne Hautverletzung und damit ohne äußere Infektionsmöglichkeit besser heilten als solche mit gleichzeitiger Hautdurchtrennung. Er führte die Methode der antiseptischen Wundbehandlung ein, die von seinen Kollegen nur zögernd angenommen wurde. Er operierte unter zerstäubter Karbolfüssigkeit und ermöglichte dadurch eine Weiterentwicklung chirurgischer Möglichkeiten.

Die antiseptische Methode, die aktiv gegen Krankheitserreger vorging (Abtötung von Infektionserregern in der Wunde und an den mit der Wunde in Berührung kommenden Händen und Instrumenten durch chemische Mittel, Desinfektionsmittel, wie Sublimat, Zephirol oder Sagrotan), wurde durch die aseptische abgelöst. Durch Sterilisation, Keimfreimachung, auf physikalischem Wege durch Auskochen bzw. Behandlung der Operationsgeräte mit strömendem Wasserdampf oder durch trockene Erhitzung auf 200°C werden alle Infektionserreger ferngehalten.

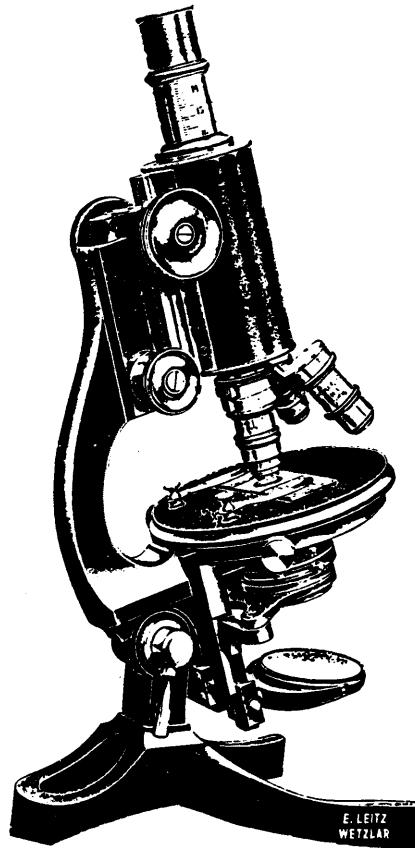
#### **7.1.6 Der Mikrobiologe Koch**

Maßgeblichen Anteil an der Entwicklung der aseptischen Methode hatte der deutsche Arzt Robert Koch (1843 - 1910). Als führender Mikrobiologe seiner Zeit - das ist jemand, der das Mikroskop bei seinen biologischen Forschungen benutzt - gehört er gleichsam mit zu den Wegbereitern der Bakteriologie. Koch zeigte zum erstenmal, daß Krankheitserreger spezifische, nachweisbare Organismen sind. Er und seine Schüler entwickelten die Methode der Züchtung von Bakterien auf Gelatine, wodurch sie neue Kulturen erhielten.

Diese Methode verwendeten sie später, um den Tuberkelbazillus, die Erreger der Wundeiterung und Wundrose (eine Hautinfektion), der Cholera und des Typhus, die Bazillen der Diphtherie und des Starrkrampfs zu isolieren.

Das Wesen und die Übertragungsweise von Seuchen und ansteckenden Krankheiten wurde durch die Bakteriologie so geklärt, daß die Hygiene - die medizinische Lehre von der Gesundheit, vom gesunden Leben - bei ihren Aufgaben der Verhütung und Abwehr immer erfolgreicher wurde. In der Folge erfährt die allgemeine Gesundheitspflege einen ungemeinen Aufschwung, und die Infektionskrankheiten verlieren mehr und mehr ihre Schrecken. Krankheiten und Seuchen werden zurückgedrängt und die allgemeine Sterblichkeit nimmt ab. Durch die Arbeitsmethoden der Bakteriologie werden schließlich Grundlagen für die Serumtherapie geschaffen.

### 7.1.7 Klein heißt nicht am Kleinsten



Ein Mikroskop von 1903

In den frühen Mikroskopen mußte ein Spiegel Licht in das Mikroskop hineinreflektieren und den Gegenstand, den man betrachten wollte, beleuchten. Indem man eine Reihe von verschiedenen Linsen zusammensetzte, konnte man den Gegenstand vergrößern und ihn deutlich sehen.

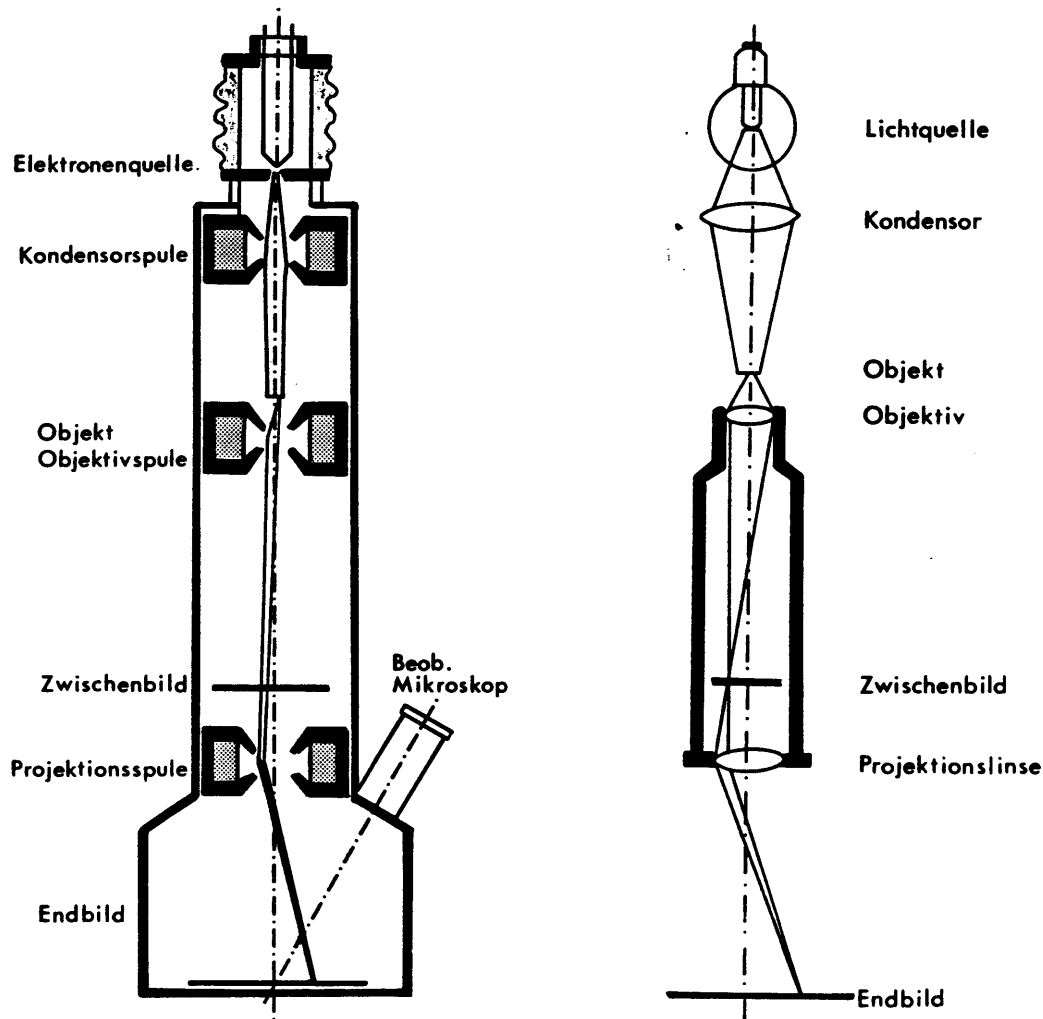
Heute kann man mit einem modernen Lichtmikroskop mit starken Lampen und starken Linsen über 1000fach vergrößern. Aber das Lichtmikroskop hat seine Grenzen: Etwas, das kleiner als 0,0005 mm ist, d.h. kleiner als die Lichtwellen selbst, kann man nicht sehen.

### 7.1.8 Wohin das Licht nicht reicht

Da das Auflösungsvermögen des Lichtmikroskops durch die Wellenlänge des Lichts begrenzt ist, suchte man Strahlungen kürzerer Wellenlänge, die sich auch ablenken und damit zur Abbildung verwenden lassen. Diese Möglichkeit bieten Elektronenstrahlen, d.h. beim Durchlaufen eines Feldes auf hohe Geschwindigkeit gebrachte freie Elektronen. Je nach ihrer Geschwindigkeit kann man ihnen eine bestimmte Wellenlänge zuordnen; sie verhalten sich unter gewissen Bedingungen wie eine Wellenstrahlung. Die Elektronenmikroskope ähneln in ihrem optischen Aufbau den Lichtmikroskopen für Mikrophotographie, bei denen statt des Okulars eine Projektionslinse verwendet wird.

Man unterscheidet Elektronenmikroskope mit magnetischen und elektrostatischen Linsen, die die Elektronen(strahlen) "brechen".

## Elektronenmikroskop mit magnetischer Linse, daneben Strahlengang im optischen Projektionsmikroskop



Die Elektronen werden von der Glühkathode ausgesandt, beschleunigt, und durch den Kondensator auf das zu untersuchende Objekt gebündelt. Das Objekt (Bakterie oder Virus) liegt auf einem äußerst dünnen Kollodiumhäutchen. Je nach Dicke und Zusammensetzung des Objekts werden die Elektronenstrahlen unterschiedlich geschwächt, das Objektiv vereinigt sie zum vergrößerten Zwischenbild. Von diesem wird durch die Projektionsoptik ein weiter vergrößertes Bild zur Sichtbarmachung auf einen Fluoreszenzschirm oder einer für Elektronen empfindlichen Photoplatte entworfen.

Elektronenmikroskope erlauben zusammen mit der photographischen Nachvergrößerung der Photoplatte Vergrößerungen von 1 : 100.000 bis 1 : 500.000.

Die ersten, die ein Elektronenmikroskop mit magnetischen Linsen konstruierten, waren die deutschen Physiker Ernst Ruska und Bodo von Borries; dies geschah in den Jahren 1932 bis 1934.

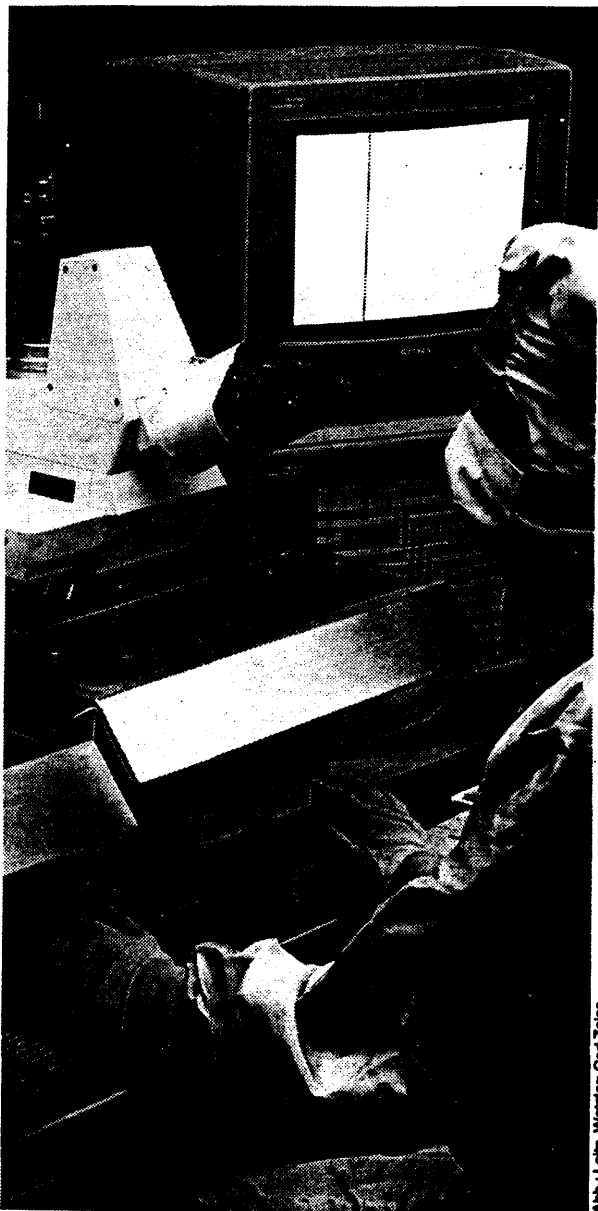


Abb.: Leitz, Weitzler, Carl Zeiss

Mikroskop für die Fehlerinspektion in einer Chipfabrik

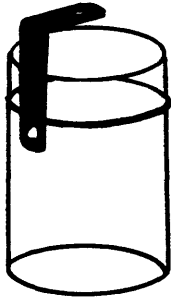
1986 wurden Ernst Ruska und zwei weiteren deutschen Physikern, Gerd Dinning und Heinrich Rohrer, die das Tunneleffekt - Mikroskop entwickelt hatten, der Nobelpreis für Physik verliehen.

Die Arbeit an der Entwicklung und Erfindung von Mikroskopen, die die Möglichkeit von millionenfacher Vergrößerung erreichen, werden die Erforschung des Mikrokosmos weiter vorantreiben.

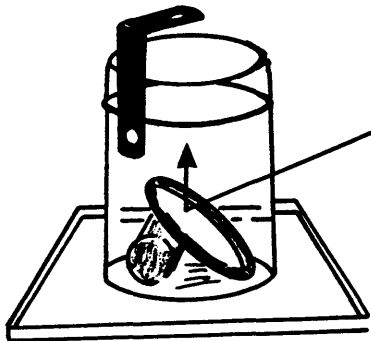
Sie sind allesamt Instrumente, die uns auf dem direktesten Weg die Struktur kleinster Objekte in den Bereich unserer Sinnesorgane bringen. Dadurch haben sie erkenntnistheoretische und nicht zuletzt philosophische Bedeutung, da es solchen Gebilden, die man zunächst für abstrakte Hypothesen hielt, *sichtbare Realität* verleiht.

## 7.2 Ein Mikroskop selbst gebaut

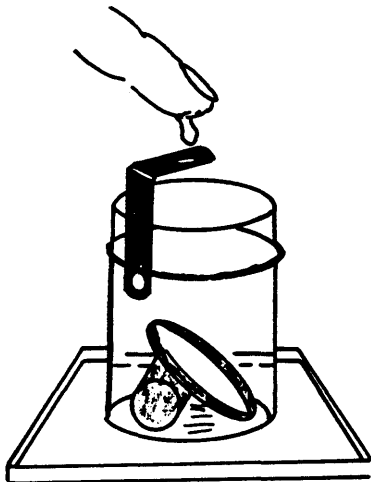
**Material:** Ein geradwandiges Glas (z.B. ein leeres Senf- oder Marmeladenglas), das einen dünnen Boden hat; ein Steg von einem Schnellhefter (egal, ob aus Plastik oder Blech); einen runden Taschenspiegel, der in das Glas paßt; Klebstoff, Flaschenkorken, Gummiring, einen Tropfen Wasser; Holzbrettchen oder Pappe als Unterlage.



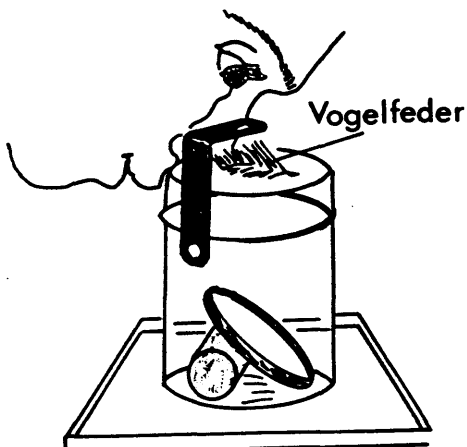
Das Glas wird mit der Öffnung nach unten aufgestellt. Der Schnellheftersteg wird so umgelenkt, daß ein Loch genau auf den Mittelpunkt des Glasbodens trifft. Der geknickte Steg wird mit einem Gummiring befestigt, so daß er sich nach oben und unten verstellen läßt.



Der Korken wird mit der Längsseite auf das Holzbrettchen (oder die Pappe) geklebt. Der Taschenspiegel wird schräg an den Korken gelegt, so daß von außen Licht auf den Spiegel fällt und dieses Licht vom Spiegel senkrecht nach oben abgestrahlt (reflektiert) wird. (Um den richtigen Winkel zu finden, braucht man viel Fingerspitzengefühl.) Das Glas wird über Korken und Spiegel gestülpt. (Der Spiegel nicht am Korken festkleben. Denn je nachdem, wie die Sonne steht, muß man ihn verstellen.)



Der Zeigefinger wird in Wasser getaucht, und mit der Fingerkuppe einen Wassertropfen in das Loch des Schnellhefterstegs gebracht. Der Wassertropfen muß die richtige Größe haben, damit er darin hängen bleibt. Er wirkt wie eine Linse.



Direkt unter den Tropfen wird auf den Glasbecher der Gegenstand gelegt, der untersucht werden soll. Wenn man durch den Wassertropfen schaut, sieht man das Untersuchungsobjekt vergrößert. Sieht man das Untersuchungsobjekt undeutlich, so kann man die Schärfe regulieren, indem der Steg vorsichtig verstellt wird. Als Untersuchungsobjekte bieten sich an: Federn, Pflanzenteile oder Wassertierchen.



## 7.3 Experimente mit Wasserglas, Brennglas und auf den Kopf gestellten Bildern

### 7.3.1 Experiment mit Wasserglas

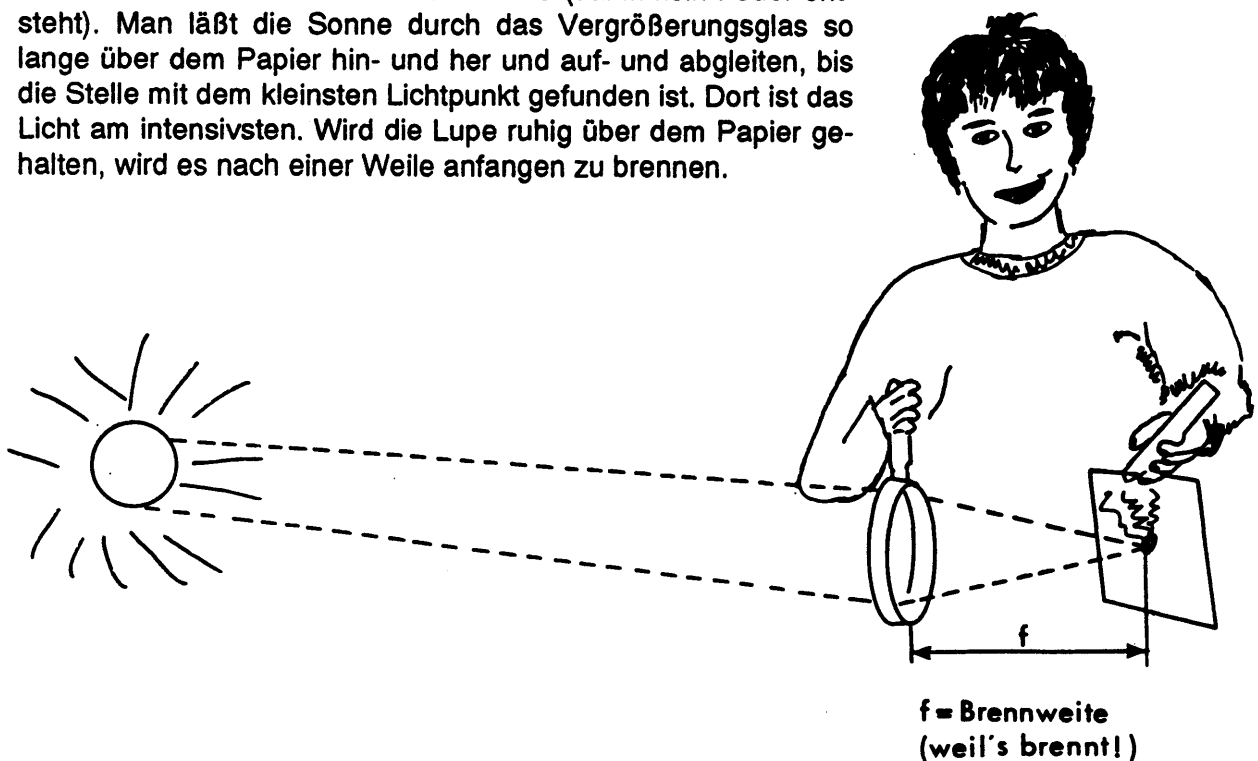
Ehe die Glaslinsen erfunden wurden, benutzte man lange geschliffene Steine als Vergrößerungsgläser. Später lernte man, runde Glasvasen oder Glasblasen zu machen, die mit Wasser gefüllt wurden, damit sie als Vergrößerungsgläser funktionierten. Diese Methode wurde meistens dazu verwendet, um das Licht der Wachskerzen zu verstärken. Die Wasserblase bündelte das Licht, und wenn man außerdem einen Spiegel das Licht reflektieren ließ, konnte es dunkle Räume ganz anständig erhellen. Zu dieser Zeit hatte man bestenfalls kleine Fensterscheiben, deren Glas kaum lichtdurchlässig war.

**Versuch:** Man erzeugt mehr Licht, indem man zwischen einer runden durchsichtigen wassergefüllten Vase (oder einem Weinglas) und einem Spiegel eine brennende Kerze stellt.

### 7.3.2 Experiment mit Brennglas

Eine dicke Linse verstärkt das Licht noch mehr.

Das ist leicht zu beweisen: Man nehme an einem sonnigen Tag ein Vergrößerungsglas und ein Stück Papier und setze sich auf einen Steinboden oder in eine Sandkiste (damit kein Feuer entsteht). Man läßt die Sonne durch das Vergrößerungsglas so lange über dem Papier hin- und her und auf- und abgleiten, bis die Stelle mit dem kleinsten Lichtpunkt gefunden ist. Dort ist das Licht am intensivsten. Wird die Lupe ruhig über dem Papier gehalten, wird es nach einer Weile anfangen zu brennen.



Der Versuch sollte deutlich gemacht haben, daß man auf keinen Fall durch irgendeine Art von Glaslinse direkt in die Sonne schauen darf, weder durch ein Vergrößerungsglas, einen Feldstecher noch durch ein Teleskop. Dadurch würde man schnell sein Sehvermögen zerstören.

### 7.3.3 Experiment mit zwei Linsen

Mit einer Linse oder einem Vergrößerungsglas kann man einen Gegenstand in der Nähe vergrößern. Mit zwei Linsen können Gegenstände, die weit entfernt sind, vergrößert werden. Hierzu geht man wie folgt vor: Man hält ein dickes, stark vergrößerndes Brillenglas direkt vor das Auge und ein dünnes, schwach vergrößerndes Glas ein Stück davon entfernt. Das hintere Glas wird vor und zurück bewegt. Wenn die richtige Schärfe im Glas erreicht ist, bekommt man ein auf dem Kopf stehendes Bild.

Wenn es schwerfällt, die Linsen ruhig zu halten und das Bild zu sehen, kann man sich folgendermaßen helfen:

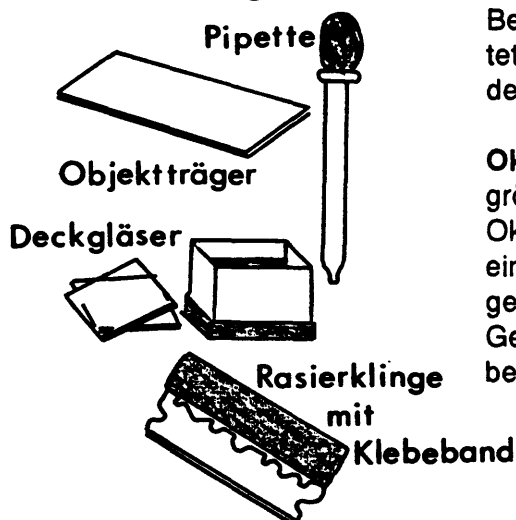
Man befestigt die dicke Linse mit einer Knetgummimasse am Ende eines langen Lineals und bewegt die andere (dünne) Linse auf dem Lineal vor und zurück. Wenn die richtige Schärfe erreicht worden ist, befestigt man auch diese mit der Knetgummimasse auf dem Lineal.

Um das auf dem Kopf stehende Bild in die richtige Lage zu bringen, muß die starke Linse, die dem Auge am nächsten ist, gegen eine Linse ausgetauscht werden, die in der Mitte dünner ist. Eine solche Linse zerstreut das Licht.



### 7.4 Wie arbeitet man mit dem Lichtmikroskop?

#### Mikroskopausrüstung



Bevor man mit einem Mikroskop arbeitet, sollte man sich mit dem Aufbau und der Bedienung vertraut machen.

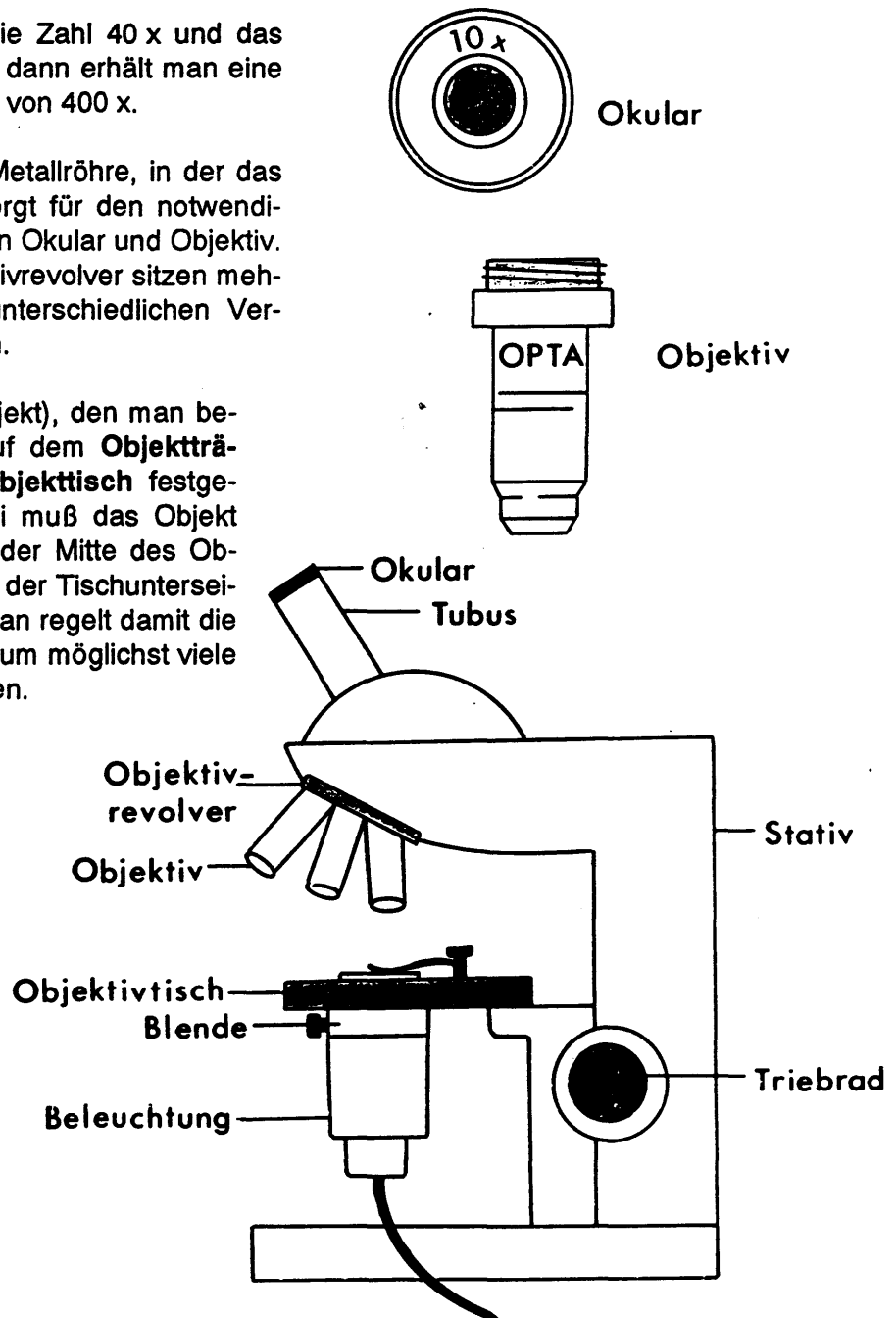
Okular und Objektiv wirken bei der Vergrößerung des Objekts zusammen. Das Okular ist auswechselbar. Beide tragen eine Zahl, die angibt wieviel mal der Gegenstand vergrößert wird. Will man die Gesamtvergrößerung wissen, muß man beide Zahlen miteinander multiplizieren.

Trägt das Objektiv die Zahl 40 x und das Okular die Zahl 10 x, dann erhält man eine Gesamtvergrößerung von 400 x.

Der **Tubus** ist eine Metallröhre, in der das Okular steckt. Sie sorgt für den notwendigen Abstand zwischen Okular und Objektiv. Am drehbaren Objektivrevolver sitzen mehrere Objektive mit unterschiedlichen Vergrößerungsleistungen.

Der Gegenstand (Objekt), den man betrachten will, liegt auf dem **Objektträger**, der auf dem **Objekttisch** festgeklammert wird. Dabei muß das Objekt über der Öffnung in der Mitte des Objekttisches liegen. An der Tischunterseite sitzt die **Blende**. Man regelt damit die Helligkeit des Bildes, um möglichst viele Einzelteile zu erkennen.

Mit dem **Grob- und Feintrieb** des Triebrades bewegt man den Objektisch auf und ab. Damit wird das Bild scharf gestellt. Die **Beleuchtung** kann durch einen beweglichen Spiegel oder eine fest eingebaute Lampe erfolgen.



Das massive Stativ verbindet alle Teile des Mikroskops. Durch den schweren Fuß erhält das Mikroskop einen sicheren Stand. Es gibt viele Fehlerquellen beim Mikroskopieren. Man sollte deshalb nach festen Arbeitsregeln vorgehen.

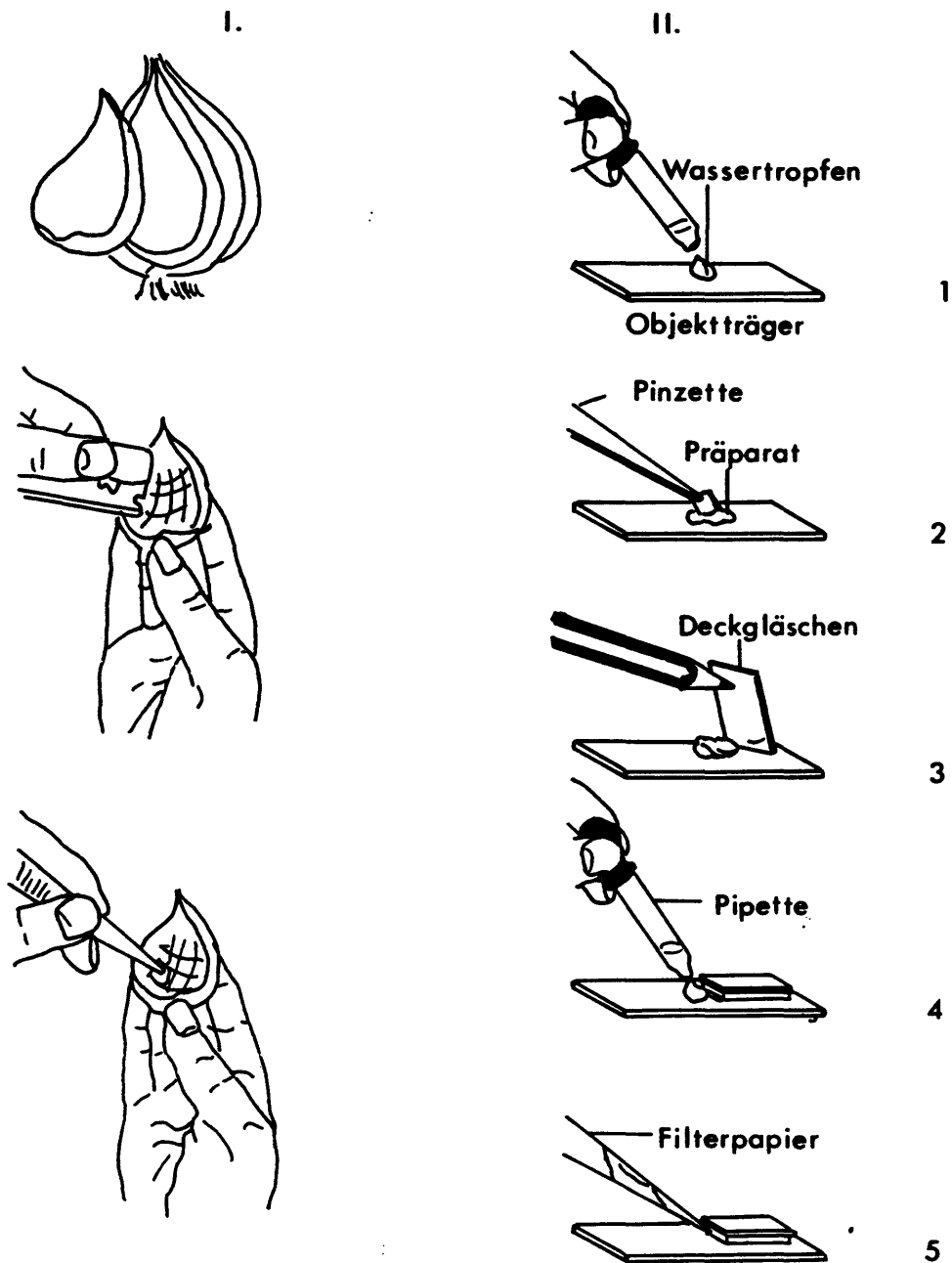
- Die kleinste Vergrößerung einstellen.
- Durch das Okular schauen und die größte Helligkeit einstellen.
- Objektträger mit Objekt festklammern.
- Von der Seite schauen und das Objektiv so nah wie möglich an den Objektträger heranbewegen.
- Durch das Okular schauen und Abstand zwischen Objektisch und Objektiv vergrößern, bis ein Bild erscheint.
- Danach erst mit Feintrieb scharfstellen.
- Überblick über das Präparat verschaffen.
- Beste Präparatstelle in die Mitte.
- Erst jetzt nächste Vergrößerung.

### 7.4.1 Herstellen und Färben eines Zwiebelhautpräparates

#### Herstellung des Naßpräparates

Material: Küchenzwiebel

Durchführung: Zerschneide eine Küchenzwiebel mit einem Messer in vier Teile. Nimm eine Schuppe (siehe Abbildung I) und schneide auf der Innenseite mit einer Rasierklinge ein kleines Karomuster hinein. Löse das enganliegende Zwiebelhäutchen mit einer Pinzette vorsichtig ab. Achte darauf, daß es sich dabei nicht faltet. Lege anschließend das Präparat auf einen Objektträger in einen Tropfen Leitungswasser (siehe Abbildung II.1).



Herstellung eines Zwiebelhautpräparates

Führe das schräg gehaltene Deckglas an den Wassertropfen heran und senke es langsam ab, ohne daß Luftblasen entstehen.

Sauge überschüssiges Wasser mit Filterpapier ab. Tritt Wassermangel unter dem Deckglas ein, gibt man mit einer Pipette einen Tropfen Wasser hinzu (siehe Abbildung II.1).

- ① Zeichne bei schwacher Vergrößerung die Anordnung der Zellen.
- ② Zeichne möglichst große Umrißskizzen (5 x 10 cm) einiger Zellen bei 400facher Vergrößerung.
- ③ Übertrage erkennbare Einzelheiten im Inneren in die Umrißskizze.

### Anfärben des Präparates

Material: Küchenzwiebel

Färbemittel: Methylenblau-Lösung

Durchführung: Fertige ein weiteres Naßpräparat des Zwiebelhäutchens an. Füge dann an einer Deckglaskante, ähnlich wie in Abbildung II.4 dargestellt, einen Tropfen Methylenblau-Lösung hinzu. Sauge mit Hilfe eines auf der gegenüberliegenden Seite herangeführten Filterpapierstreifens das Färbemittel unter dem Deckglas durch. Betrachte bei 200facher Vergrößerung.

- ④ Fertige eine genaue Zeichnung an. Welche Unterschiede lassen sich zum ersten Präparat erkennen?

### 7.4.2 Untersuchungen mit der Lupe

Aufgabe: Untersuche folgende Gegenstände mit der Lupe:

1. Ein Stück Haut
2. Ein Haar
3. Einen Fingerabdruck
4. Ein Stück Kartoffel

Halte Deine Beobachtungen in Form einer Zeichnung fest.

- |    |    |
|----|----|
| 1. | 2. |
| 3. | 4. |

Wie stark ist die Vergrößerung der Lupe? \_\_\_\_\_ fach.



### 7.4.3 Untersuchungen von Textilfasern<sup>2)</sup>

Die Technik der Faseruntersuchung ist denkbar einfach. Vielfach genügt es, die Fasern in Glycerin oder Glycerin-Alkohol zu betrachten. Daneben empfiehlt sich in manchen Fällen der Einschluß in ein Medium mit niedrigerem Brechungsindex, z.B. Wasser, und der Einschluß in ein Medium mit höherem Brechungsindex, z.B. Kanadabalsam oder Caedax. In manchen Fällen sind einfache mikrochemische Reaktionen notwendig. Die wichtigsten sind:

Reaktion auf Zellulose: Zellulose färbt sich in Chlorzinkjod violett-blau und löst sich in Kupferoxyd-Ammoniak auf.

Reaktion auf Holzstoff: Holzstoff färbt sich in Phloroglucin-Salzsäure rot.

Reaktion auf Naturseide: Seide löst sich in alkalischem Kupferglycerin.

Reaktion auf Acetatfasern: Acetatfasern lösen sich in Aceton, wobei mitunter zarte Häutchen zurückbleiben.

#### Herstellung der für Textiluntersuchungen nötigen Reagentien

##### 1. Phloroglucin-Salzsäure

Man löst 1 g Phloroglucin in 50 ccm absolutem Alkohol. Unmittelbar vor Gebrauch setzt man zu je zwei Teilen dieser Lösung einen Teil konzentrierte Salzsäure zu. Verholzte Fasern färben sich in Phloroglucin-Salzsäure rot.

##### 2. Kupferoxyd-Ammoniak

Man übergießt etwas Kupferhydroxyd mit konzentriertem Ammoniak, so daß eine tief blau gefärbte Lösung entsteht. Die Lösung ist nicht haltbar und muß daher vor Gebrauch jeweils frisch hergestellt werden. In vielen Fällen wird man dieses Reagens entbehren können. Kupferoxyd-Ammoniak löst Zellulose auf, wogegen verholzte und verkorkte Zellwände nicht gelöst werden. Manchen Fasern zeigen in Kupferoxyd-Ammoniak charakteristische Quellungserscheinungen, die zur Diagnose verwendet werden können.

##### 3. Chlorzinkjod

Chlorzinkjodlösung färbt Zellulose violett bis blau, ist daher wichtig für die Unterscheidung verholzter und unverholzter Zellwände. Die Lösung besteht aus:

Chlorzink	50 Gewichtsteile
Jodkali	16 Gewichtsteile
Jod	3 Gewichtsteile
Destilliertes Wasser	20 Gewichtsteile

##### 4. Alkalisches Kupferglycerin

Man stellt folgende Kupfersulfatlösung her:

Kupfersulfat	10,0 Gewichtsteile
Wasser	100,0 Gewichtsteile
Glycerin	5,0 Gewichtsteile

Zu dieser Lösung wird konzentrierte Natronlauge zugesetzt. Es entsteht ein dicker Niederschlag, der sich bei Zugabe weiterer Natronlauge wieder löst. Im ganzen setzt man so viel Natronlauge zu, bis der zuerst entstandene Niederschlag wieder völlig gelöst ist.

##### 5. Neocarmin

Zur Unterscheidung von Fasern durch Farbreaktionen wird vielfach das Neocarmin empfohlen. Das Reagens wird zusammen mit einer Gebrauchsanweisung und einer Farbtafel geliefert. Für synthetische Fasern eignet sich besonders das Neocarmin W.

2) Nach Krauter 1964.

Es wurde schon erwähnt, daß auch Faseruntersuchungen durch eine gute, möglichst vollständige Sammlung von Vergleichspräparaten sehr erleichtert werden. Man sollte daher Dauerpräparate von bekanntem, ganz reinem Material anfertigen. Der Einschluß gefärbter Präparate in Caedax, Kanadabalsam o.ä. ist an und für sich möglich. Empfehlenswerter sind aber ungefärbte Präparate in Glyceringelatine. Bei vergleichenden Betrachtungen ist es sehr wichtig, daß stets nur solche Fasern miteinander verglichen werden, die im selben Einschlußmedium liegen. Das zu untersuchende Material muß also im gleichen Einschlußmittel betrachtet werden, das zur Herstellung der Vergleichspräparate verwendet wurde.

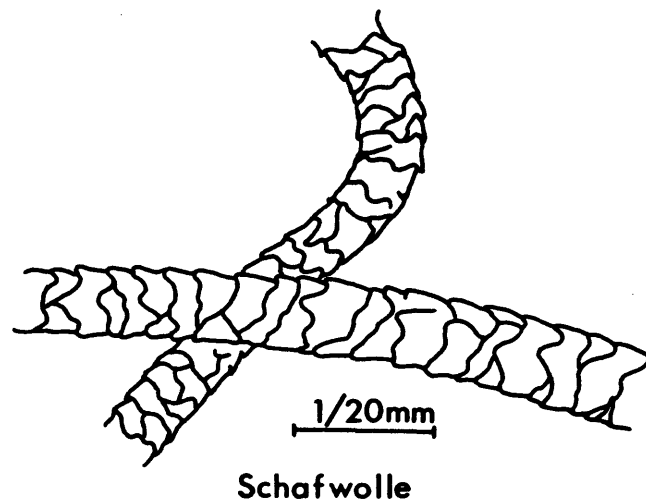
Gewöhnlich werden die Fasern in der Längsansicht betrachtet. Zuweilen muß man aber auch Querschnitte ansehen. Zur Herstellung von Querschnitten wird zunächst ein Kork mit einer eingefädelt feinen Nähmaschinennadel durchstochen. Die auf der anderen Seite des Korkes heraustretende Fadenschlinge wird festgehalten und die Nadel wieder herausgezogen. In die Fadenschlinge wird das Faserbündel eingelegt und mit ihr in den Kork hineingezogen. Von dem Kork werden mit dem Rasiermesser dünnste Scheibchen abgeschnitten, die an der Einstichstelle den Faserquerschnitt tragen.

## Naturfasern

### Wolle

Man bringt ein wenig Wolle in einen Tropfen Glycerin auf den Objektträger und isoliert mit zwei Präpariernadeln einige einzelne Fasern, legt ein Deckglas auf und untersucht zuerst mit schwacher, dann mit mittlerer Vergrößerung. Schon auf den ersten Blick fällt eine merkwürdige Schuppenstruktur der Faser auf. Die einzelnen, die Oberfläche überziehenden Schuppen decken sich dachziegelartig. Infolge der Schuppenstruktur sehen die Wollfasern am Rande gezähnt aus.

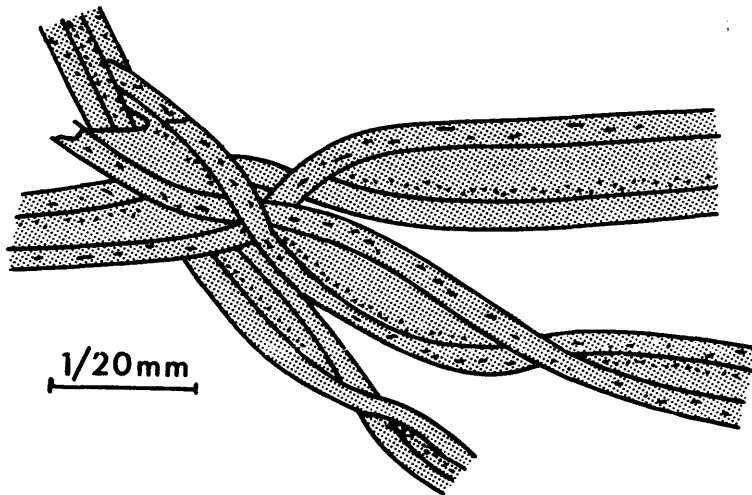
Wie alle Säugetierhaare bestehen die Wollfasern aus Hornstoff. Man unterscheidet Mark, das bei feineren Wollen nicht zu erkennen ist, Rinde und Oberhäutchen. Das letztere, das aus einer Lage ganz flacher, völlig verhornter, abgestorbener Zellen besteht, bedingt die auffällige Schuppenstruktur, an der man die Wollfasern auf den ersten Blick erkennen kann. Natürlich sind die Haare anderer Säuger ganz ähnlich gebaut wie die Haare des Schafes; da jedoch Vermischungen von Schafwolle mit anderen tierischen Haaren nur von erfahrenen Fachleuten festzustellen sind, soll an dieser Stelle hierauf nicht näher eingegangen werden.



Nicht selten hat man in Textilwaren sog. Reißwollen, Wolle also, die schon einmal verwendet wurde. Reißwolle gilt oft als minderwertig. Mikroskopisch kann man Reißwolle ganz gut von anderer Wolle unterscheiden: Die Enden der einzelnen Fasern sind bei

Reißwolle vielfach nicht glatt abgeschnitten oder gleichmäßig gerundet, sondern pinselförmig ausgerissen. Außerdem ist Reißwolle oftmals so stark geschädigt, daß die Schuppenstruktur überhaupt nicht mehr zu erkennen ist. Zur Diagnose muß man sich dann an den gezähnten Rand halten, der in dieser Form nur bei tierischen Haaren vorkommt.

### Baumwolle



Baumwolle

Die einzigen in der Textilindustrie verwendbaren Pflanzenhaare sind die Samenhaare von *Gossypium*, die als Baumwolle in den Handel kommen. Es sind einzellige Haare. Im Glycerinpräparat erkennt man deutlich die dicken Zellwände und den Innenraum der Zelle, das Lumen. Das Baumwollhaar besteht aus fast reiner Zellulose: In Chlorzinkjod färben sich die Zellwände intensiv violett, in Kupferoxyd-Ammoniak lösen sie sich unter charakteristischen Quellungerscheinungen auf, Reaktionen auf Holzstoff fallen negativ aus.

Da die Baumwollhaare eine Bildung der Epidermis sind, kann man bei sorgfältiger Untersuchung das hauchdünne, aus einem wachsähnlichen Stoff bestehende Außenhäutchen, die Cuticula, erkennen.

Das wichtigste Kennzeichen der Baumwolle ist die Erscheinung, daß die einzelnen Haare an vielen Stellen in sich gedreht sind. Solche Drehungen kommen wohl auch einmal bei anderen Fasern vor, niemals aber so regelmäßig und so gehäuft wie bei der Baumwolle. Allein an diesem Merkmal läßt sich Baumwolle gegenüber allen anderen Fasern mit großer Sicherheit erkennen.

Baumwolle kann indessen technisch so behandelt werden, daß die Drehungen verschwinden und Faser und Erzeugnis glänzen. Diese sog. merzerisierte Baumwolle unterscheidet sich unter dem Mikroskop von Zellwolle dadurch, daß sie nicht in Wasser quillt: Zwei Präparate, eines in Glycerin-Alkohol und eines in Wasser, müssen annähernd gleiche Faserdicken zeigen.

### Halbsynthetische Fasern

Bei der Herstellung der häufigeren halbsynthetischen Fasern wird Zellulose, also der Hauptbaustoff der pflanzlichen Zellwände, in zähflüssige Form gebracht. Die Zelluloselösung wird dann durch Spinnndüsen in Fäden ausgezogen, die man dann in der einen oder anderen Weise erstarren läßt. Es gibt sehr viele Möglichkeiten, Zellulose in ver-

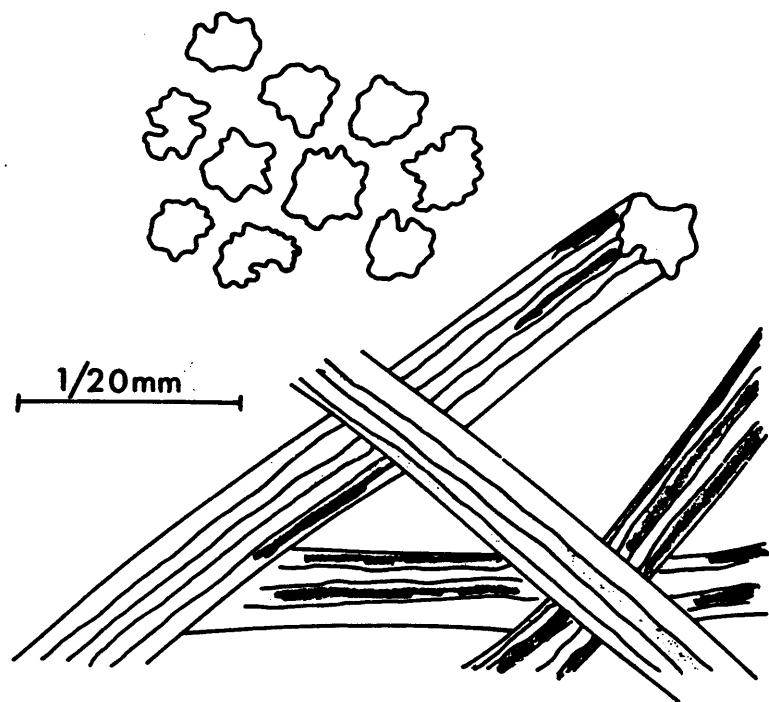
spinnbare Form zu bringen. Durchgesetzt haben sich im wesentlichen drei Verfahren, deren Erzeugnisse je nach dem verwendeten Lösungsmittel als Kupferkunstfaser, Viskosekunstfaser (Zellwolle, Reon) und als Acetatkunstfaser bezeichnet werden. Im folgenden wird nur auf die Viskosekunstfaser eingegangen.

### Viskosekunstfaser

Die Zellulose wird durch Behandeln mit Alkalien und Schwefelkohlenstoff in eine zähflüssige Lösung umgewandelt, die nach einem Reifungsprozeß durch Spinn Düsen in ein "Spinnrad" gedrückt wird. Die Spinnbäder sind verschieden zusammengesetzt, enthalten aber immer viel Schwefelsäure. Die so entstandenen Fäden weisen eine charakteristische Gestalt auf, die sie mikroskopisch leicht kennbar macht.

Die normale Viskosekunstfaser zeigt in der Längsansicht eine zarte Riefung, die mit den Zellinnenräumen pflanzlicher Naturfasern kaum verwechselt werden kann, da auf einer Ansicht meist mehr als nur zwei Riefen zu sehen sind. Im Querschnitt erkennen wir, worauf diese Riefung beruht: Die Faser ist gelappt, die einzelnen Lappen sind darüber hinaus oftmals fein gezähnt.

Es muß darauf hingewiesen werden, daß gewisse, nach besonderen Verfahren hergestellte Viskosekunstfasern den Kupferkunstfasern sehr ähnlich sehen.



Viskosefasern, quer und in Ansicht

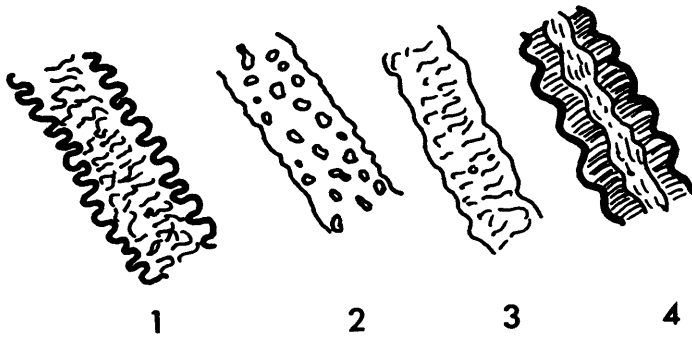
### Vollsynthetische Fasern

Besondere Schwierigkeiten bereiten dem Mikroskopiker die vollsynthetischen Kunstfasern. Sie zeigen meistens keine charakteristische Struktur, an der man sie leicht erkennen kann. Nylon Perlon und Orlon sind glatte, runde Fasern und nur die sog. Pe-Ce-Faser besitzt eine unter dem Mikroskop auffallende Struktur. Man muß deshalb auch bei der Untersuchung der vollsynthetischen Fasern zu mikrochemischen Reaktionen greifen.

### Nylon

Man bringt einige Nylonfäden in Chlorzinkjodlösung, legt ein Deckglas auf und erwärmt über einer kleinen Flamme. Dabei soll der Objektträger nur so heiß werden, daß er auf dem Handrücken gerade noch erträglich ist. Die Untersuchung bei mittlerer Vergrößerung zeigt, daß nach dieser Vorbehandlung die Fasern am Rande leicht eingebuchtet

sind. Nun erhitzt man stärker. Mikroskopisch findet man, daß die in Chlorzinkjod stark erhitzte Faser grob eingekerbte Ränder aufweist und im Inneren eine Struktur zeigt, die wie ein grob gestrichelter Kanal aussieht. Wird bis zum Sieden erhitzt, so quillt die Nylonfaser sehr stark auf (siehe Abb. 3 - 4).



Perlon

1. Perlon
2. Perlon
3. Nylon
4. Nylon

Die Perlonfasern werden derselben Probe wie Nylon unterworfen. Im Mikroskop sieht man, daß Perlon schon nach geringer Erwärmung am Rande der Fasern stark gelappt erscheint, wogegen Nylon nach leichtem Erwärmen in Chlorzinkjod nur schwach gebuchtet ist. Bei stärkerem Erwärmen geht die Lappung von Perlon zurück, wogegen die Nylonfaser dann die Einkerbungen erst in voller Ausprägung zeigt. Erhitzt man bis zum Sieden, so schmilzt Perlon sehr rasch (siehe Abb. 1 - 2).

Bei stärkerem Erwärmen geht die Lappung von Perlon zurück, wogegen die Nylonfaser dann die Einkerbungen erst in voller Ausprägung zeigt. Erhitzt man bis zum Sieden, so schmilzt Perlon sehr rasch (siehe Abb. 1 - 2).

## 7.5 Einführende Betrachtungen in die Mikrobiologie<sup>3)</sup>

### 7.5.1 Zur Bedeutung der Mikroorganismen

Kleine, in der Regel nur mit Hilfe des Mikroskops sichtbar zu machende Lebewesen werden als Mikroorganismen bezeichnet. Zu ihnen gehören Bakterien, Zyanobakterien (Blaualgen), mikroskopisch kleine Algen und Pilze sowie tierische Einzeller. Gegenstand mikrobiologischer Untersuchungen sind auch die Viren, die besondere kleine vermehrungsfähige Teilchen darstellen und nur im Elektronenmikroskop zu erkennen sind. Viren vermehren sich lediglich in lebenden Zellen und können deshalb nicht in zellfreien Medien kultiviert werden. Mikroorganismen und Viren sind nahezu über den gesamten Erdball verbreitet. Sie haften Gegenständen an, kommen im Wasser, in der Luft und dem Boden vor. Sie sind allgegenwärtig und treten in sehr großer Anzahl auf. Eine Handvoll Ackererde beispielsweise kann mehr Mikroorganismen enthalten, als es Menschen auf der Erde gibt. Obwohl Mikroorganismen so winzig klein sind, zeigen sie gleiche Lebensprozesse wie alle höher entwickelten Organismen, zum Beispiel Stoff- und Energiewechsel, Fortpflanzung und Bewegung.

Die Ansprüche verschiedener Arten oder Artengruppen von Mikroorganismen, beispielsweise an Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Nährstoffverhältnisse, sind sehr unterschiedlich. Im allgemeinen sind zwar Temperaturen von 20 °C bis 30 °Grad, eine hohe relative Luftfeuchtigkeit und ein gutes Nährstoffangebot für die Vermehrung von Mikroorganismen, die unter ausgesprochen extremen Verhältnissen gut gedeihen können oder zumindest lebensfähig bleiben (z.B. Bakterien in 85 °C heißen Quellen beziehungsweise auf Schnee).

3) Zusammengestellt nach: Kluge u.a., 1991.

Eine besondere Bedeutung haben die Mikroorganismen im Stoffkreislauf der Natur. Sie zersetzen fortwährend abgestorbene organische Substanz von höher entwickelten Lebewesen, aber auch von Mikroorganismen selbst und sorgen dadurch für den Kreislauf der Stoffe in der Natur. Ohne diese zersetzende Wirkung der Mikroorganismen (Mineralisierung) wäre die Erde von bergehohen Abfallhaufen abgestorbener Organismen bedeckt, der gesamte Naturhaushalt gestört.

### 7.5.2 Nutzbare Leistungen von Mikroorganismen

Die Wirkung der Mikroorganismen nutzte der Mensch bereits, als er die Organismen selbst noch gar nicht kannte, ja noch nicht einmal wußte, daß Organismen an den Prozessen beteiligt sind. Bereits im Altertum war die Gewinnung alkoholischer oder milchsaurer Getränke weit verbreitet. Auch die Bereitung von Käse und anderen Molkereiprodukten, das Säuern von Gemüse (z.B. Sauerkraut), das Backen von "gegangenem" Brotteig und "Hefe"-Kuchen gehören seit langem zum Erfahrungsschatz der Menschheit. In unserem Jahrhundert wurden weitere Möglichkeiten zur Nutzung von Mikroorganismen entdeckt. Heute werden durch Mikroorganismen zahlreiche Produkte, wie Antibiotika, Enzyme, Aminosäuren, in technischen Verfahren industriemäßig gewonnen. In biotechnologischen Verfahren können Mikroorganismenzellen, aber auch pflanzliche und tierische Zellen eingesetzt werden, um Biomasse oder Stoffwechselprodukte zu erzeugen.

Derzeit werden in verschiedenen Zweigen der Wirtschaft zahlreiche biotechnologische Verfahren genutzt. Einen Überblick darüber vermittelt die Tabelle.

Bereich	Produktionsverfahren
Lebensmittelindustrie	Backwarenherstellung, Obst- und Früchteverarbeitung, Milchverarbeitung
Pharmazeutische Industrie	Hormon- und Antibiotikaproduktion, Enzymproduktion, Impfstoffherstellung, Interferongewinnung
Pflanzenschutzmittelindustrie	Gewinnung von Virus- und Bakterienpräparaten zur Insektenbekämpfung
Chemische Industrie	Alkoholgewinnung, Futtermittelproduktion, Enzymsynthese, Tensidproduktion
Bergbau	Erzlaugung
Landwirtschaft	Gewinnung von Biogas als Energiequelle, bakterielle Bodenimpfung zur Stickstoffanreicherung, Silagebereitung
Umweltschutz	Abwasser- und Abluftreinigung, Abbau von Schadstoffen, Verwertung von Abprodukten (u.a. Plase)

Nutzung von Möglichkeiten biotechnologischer Verfahren in verschiedenen wirtschaftlichen Bereichen (Auswahl)

### 7.5.3 Schädigende Wirkungen von Mikroorganismen

Mikroorganismen können jedoch auch großen Schaden anrichten. Bei zu langer oder unsachgemäßer Lagerung von Nahrungsmitteln, Futtermitteln und organischen Rohstoffen greifen sie diese so weit an, daß sie verfaulen, in Gärung übergehen, verschimmeln und durch Gifte ungenießbar bzw. nicht mehr verwendbar sind. Im Haushalt, in der Nahrungsmittelindustrie, in der Landwirtschaft, im Gaststättengewerbe müssen deshalb Lagerbedingungen geschaffen werden, die unerwünschte Lebenstätigkeiten der Mikroorganismen verhindern oder einschränken und so wertvolles Gut vor dem Verderb bewahren. Auch Konservierungsverfahren dienen diesem Ziel. Manche Mikroorganismen (und Viren) sind in der Lage, auch Organismen zu befallen und sie zu schädigen. Sie werden damit zu Krankheitserregern. Ist der Organismus nicht in der Lage, die eingedrungenen Mikroorganismen abzuwehren, kann es zu heftigen, gefährlichen Erkrankungen kommen. Insbesondere bei Infektionskrankheiten sind die Erreger von Erkrankten auf Gesunde rasch übertragbar, so daß eine schnelle Ausbreitung der Krankheit erfolgen kann.

Infektionskrankheiten des Menschen sind Typhus, Paratyphus, Ruhr, Diphtherie, Scharlach, Kinderlähmung, Tuberkulose, Tollwut und die Immunschwächekrankheit AIDS.

Tierkrankheiten, die durch Mikroorganismen oder Viren hervorgerufen werden, sind beispielsweise Tollwut, Rotlauf, Maul- und Klauenseuche. Gegen die meisten Tierkrankheiten ist der Mensch immun, einige Erreger können jedoch auf den Menschen übertragen werden (z.B. Tollwut, Tuberkulose).

Pflanzenkrankheiten sind beispielweise Naßfäule der Kartoffel, Mehltau und Blattrollkrankheit der Kartoffel.

### 7.5.4 Aus der Geschichte der Mikrobiologie

Mikroorganismen und Viren kennenzulernen, sie zu entdecken, ihre Wirkungsweise zu erklären, war kompliziert. Einzelne Mikroorganismen sind mit bloßen Augen nicht zu sehen, ihre Lebensvorgänge können nur mit Hilfe chemischer und physikalischer Untersuchungsmethoden aufgeklärt werden. Die Entdeckung und Erforschung der Mikroorganismen war in erster Linie abhängig von der Entwicklung von Geräten, mit denen eine Vergrößerung des Bildes von Kleinstlebewesen ermöglicht wurde. Erfindung und Verbesserung des Mikroskops waren wichtige Voraussetzungen für die Entwicklung der neuen Wissenschaftsdisziplin Mikrobiologie, deren Gegenstand Mikroorganismen und Viren sind.

#### Wichtige Etappen und Ereignisse in der geschichtlichen Entwicklung der Mikrobiologie als Wissenschaft

- 1676 **A. von Leeuwenhoek** beobachtete als erster mit einem selbstgebauten Mikroskop (etwa 280fache Vergrößerung) in einem Pfefferaufguß, in Abstrichen von Zahnbelägen und anderem Material Bakterien und teilte diese Entdeckung einer wissenschaftlichen Gesellschaft, der Royal Society, in London mit.
- 1680 **A. von Leeuwenhoek** entdeckte, daß bestimmte Bakterien unter Luftabschluß leben und sich vermehren können.

- 1796 **Jenner**, ein englischer Arzt, führte die erste Schutzimpfung gegen Pocken durch. Er entdeckte die schützende Wirkung einer Kuhpockeninfektion mit leicht verlaufender Erkrankung beim Menschen und wurde zum Begründer der aktiven Immunisierung.
- 1837 **Schwann** bewies mit seinen Untersuchungen, daß Gärung und Fäulnis durch Mikroorganismen aus der Luft verursacht werden können.
- 1858 **Pasteur** beobachtete, daß verschiedene Formen von Gärung durch Mikroorganismen hervorgerufen werden. Er widerlegte endgültig die Theorie von der "Urzeugung" von Lebewesen aus nichtlebenden Stoffen und verbreitete die Erkenntnis, daß Lebewesen nur aus Lebewesen entstehen können.
- 1866 **Pasteur** erkannte kurzes Erhitzen als Möglichkeit zur Abtötung von Mikroorganismen in Flüssigkeiten. Diese Methode, das "Pasteurisieren", wird im Prinzip heute noch angewendet (z.B. Pasteurisieren der Frischmilch in der Molkerei).
- 1874 wurde in Deutschland die Pockenschutzimpfung gesetzliche Pflicht.
- 1870 bis 1900 Der Physiker **Abbe** entwickelt eine auf wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhende Technik zur Herstellung von vorzüglichen Objektiven und Okularen. Damit bestückte Lichtmikroskope erreichen eine hohe Leistung. Mit seinen Arbeiten begründete **Abbe** den Weltruf der Carl-Zeiss-Werke.
- 1876 **Koch** entdeckte Mikroorganismen als Erreger des Milzbrandes, einer damals verbreiteten gefährlichen Krankheit von Tier und Mensch.
- 1881 **Koch** führte feste Nährmedien zur Kultivierung von Mikroorganismen ein.
- 1881 **Pasteur** und **Roux** impften erfolgreich Schafe gegen Milzbrand.
- 1882 **Koch** isolierte das Tuberkelbakterium, den Erreger der Tuberkulose.
- 1885 **Hellriegel** und **Willfarth** wiesen nach, daß in den Wurzelknöllchen der Leguminosen stickstoffbindende Bakterien leben.
- 1892 **Iwanowsky** entdeckte das Tabakmosaik-Virus.
- 1897 **Loeffler** und **Frosch** entdeckten ein Virus als Erreger der Maul- und Klauenseuche.
- 1929 **Fleming** beobachtete die bakterientötende Wirkung des Penicillins, eines von der Pinselschimmelart *Penicillium notatum* produzierten Stoffes. Seit 1938 wird Penicillin technisch gewonnen und als Antibiotikum mit Erfolg in der Medizin eingesetzt.
- 1913 bis 1915 **Twort** und **D'Merelle** wiesen die Wirkung von Bakterienviren (Bakteriophagen) nach.
- ab 1931 Die Physiker **Knoll**, **von Borries**, **von Ruska**, **von Ardenne** und **Mahl** entwickelten ein Mikroskop, das mit Elektronenstrahlen arbeitet (Elektronenmikroskop) und bis zu 800 000fache Vergrößerungen des Bildes möglich macht. Mit diesem Gerät können auch Viren und feinste Zellstrukturen sichtbar gemacht werden.
- 1943 **Waksman** gelang die Isolierung des Antibiotikums Streptomycin.
- 1944 **Avery**, **Macleod** und **McCarty** erkannten, daß Erbanlagen aus Nukleinsäuren bestehen.



- 1946 **Hershey, Delbrück und Bailey** beobachteten den Austausch und die Umgruppierung genetischen Materials beim Bakteriophagen T2.
- 1952 **Zinder und Lederberg** entdeckten die Übertragung von Bakteriengen durch Bakteriophagen.
- 1953/55 **Salk und Sabin** entwickelten Impfstoffe gegen Kinderlähmung (Poliomyelitis).
- 1961 **Jacob und Monod** klärten ein wichtiges Regulationsprinzip der Genaktivität in Bakterienzellen auf.
- 1970 **Khorana** gelang die chemische Totalanalyse eines Gens.
- 1976 **Fiers** und Mitarbeiter klärten die Reihenfolge der Grundbausteine (Nukleotide) der RNS des Bakteriophagen MS2 auf.
- 1978 **Gilbert** und Mitarbeitern gelang mit der Übertragung des Insulingens aus Ratten die erste Überführung eines Säugergens in eine Mikroorganismenzelle, die dadurch zur Insulinproduktion veranlaßt wurde.
- 1981 **Shell, van Montagu** und Mitarbeiter übertrugen bakterielle Gene in Tabakpflanzen.

Die letzten 40 Jahre der mikrobiologischen Forschung sind dadurch gekennzeichnet, daß Mikroorganismen bevorzugte Untersuchungsobjekte der Genetik waren. Mit ihnen wurden grundlegende Methoden der Gentechnik entwickelt, die heute wesentliche Voraussetzungen für die gezielte Veränderung von Organismen darstellen. Damit eröffnen sich neuartige Perspektiven für die Nutzung von Mikroorganismen in biotechnologischen Verfahren.

### 7.5.5 Bau und Lebewesen von Mikroorganismen

#### Nachweisen von Mikroorganismen im Heuaufguß

Zeit:	Dauer:	max. 4 Wochen
	Ansatz:	15 Minuten
	Auswertung:	alle 7 Tagen 60 Minuten

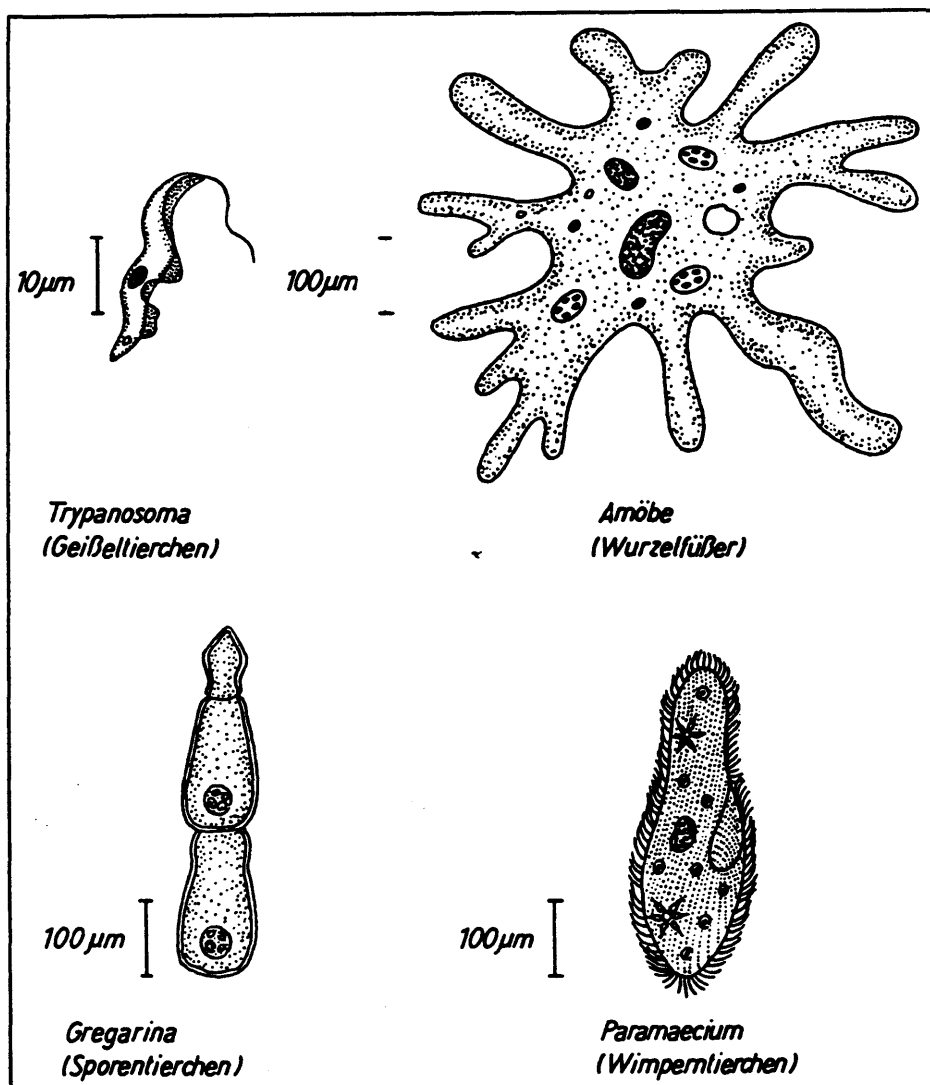
Material und Geräte: Heu, Regenwasser, Becherglas (1 l), Deckgläschen, 4 Saugpipetten, Objektträger, Mikroskop, Bestimmungsliteratur

- Durchführung:
- Bringe in ein Becherglas eine Handvoll Heu und übergieße dieses mit Wasser!
  - Stelle das Glas an einem warmen, hellen aber nicht sonnigen Ort auf!
  - Verfolge in Abständen von 1 Woche die Entwicklung der Mikroorganismengruppen, indem du mit je einer Pipette folgende Proben entnimmst:
    1. von der Oberfläche
    2. dicht unter der Oberfläche
    3. von der Mitte
    4. vom Grunde des Aufgusses
  - Stelle von den Proben Frischpräparate her, und beobachte diese unter dem Mikroskop!

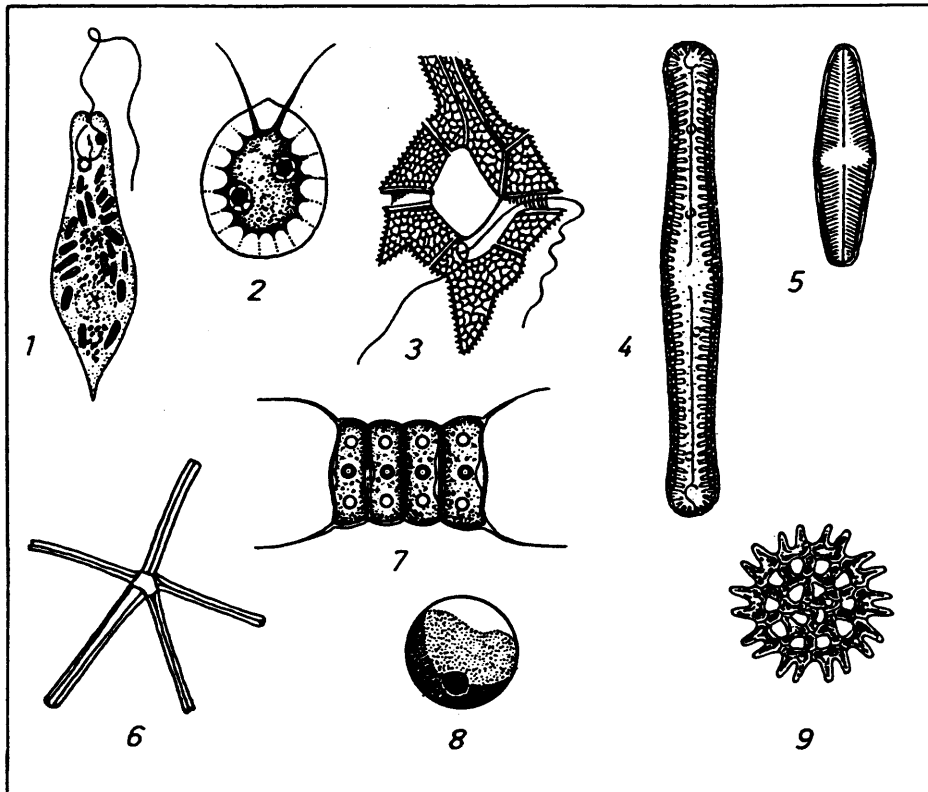
Auswertung:

- Versuche die beobachteten Organismen durch Vergleich mit den auf den folgenden beiden Seiten (und in der Fachliteratur) abgebildeten Formen in größeren systematische Gruppen einzuordnen!
- Als einige typische Vertreter können auftreten: Heubazillus (*Bacillus subtilis*), *Euglena*, Wechsellierchen (*Amöba*), Wimpertierchen (*Paramecium*, *Stentor*, *Vorticella*).
- Stelle die zeitliche Reihenfolge des gehäuft Auftretens der verschiedenen Organismengruppen fest! Erkläre diese Reihenfolge aufgrund deiner Kenntnisse über Nahrungsketten!

### "Formen tierischer Einzeller"



Viele Mikroorganismen zersetzen organisches Material. Spielt sich dieser Vorgang bei Zutritt von Sauerstoff (aerobe Bedingungen) ab, bezeichnet man ihn als Verwesung; findet er ohne Sauerstoff (anaerobe Bedingungen) statt, handelt es sich um Fäulnis. Beide Vorgänge sind am Abbau, der Mineralisierung, von organischer Substanz beteiligt und sind somit wesentliche Kettenglieder im Stoffkreislauf der Natur. Die Mineralisierung wird hauptsächlich von Pilzen und Bakterien durchgeführt.



**Algenformen**

Geißelalgen: 1 *Euglena* spec.; 2 *Haematococcus* spec.; 3 *Ceratium* spec.

Kieselalgen: 4 *Pinnularia* spec.; 5 *Navicula* spec.; 6 *Asterionella* spec.

Grünalgen: 7 *Scenedesmus* spec.; 8 *Chlorella* spec.; 9 *Pediastrum* spec.

**Mikroorganismen im Boden und an Pflanzenteilen**

Zeit:	Dauer:	etwa 4 Wochen
	Ansatz:	20 Minuten
	Auswertung:	wöchentlich 30 Minuten

Material und Geräte: Waldboden, Möhre, Kartoffelknolle, Laubblätter (frisch und teilweise zersetzt), kleines Aquarium mit Glasscheibe zum Abdecken, Messer, Pinzette, Präpariernadel, Mikroskop, Objektträger, Deckgläschen

Durchführung:

- Fülle Waldboden mindestens 5 cm hoch in ein kleines Aquarium!
- Feuchte die Erde gut an und lege darauf verschiedene Pflanzenteile: frische und abgestorbene Blätter, Möhren- und Kartoffelscheiben! Decke das Aquarium mit der Glasscheibe ab!
- Beobachte in den folgenden Wochen den Bewuchs des aufgelegten organischen Materials mit Mikroorganismen! Prüfe dabei sowohl die Unter- als auch die Oberseite des Pflanzmaterials.
- Nehme Proben ab, sobald sich Mikroorganismenbewuchs, insbesondere in Form von gespinstartigen Fäden oder schleimigen Massen zeigt! Beurteile den Zustand des pflanzlichen Materials!

- Stelle vom Mikroorganismenbewuchs Frischpräparate her, und beobachte die Mikroorganismen unter dem Mikroskop!

**Auswertung:**

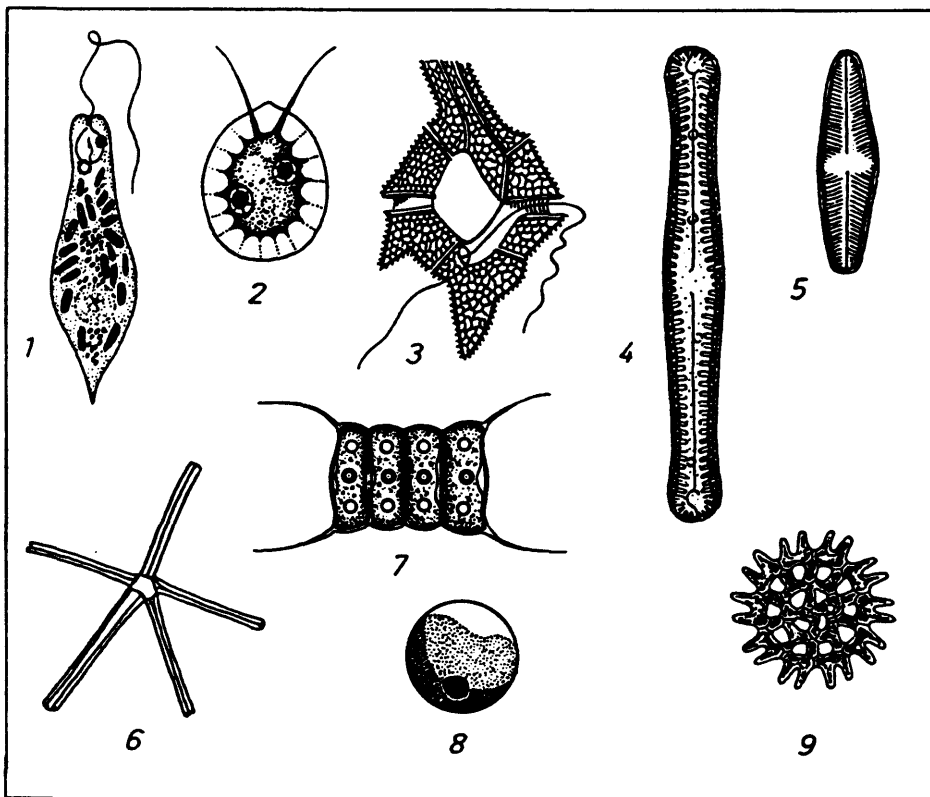
- Zeichne die gefundenen Mikroorganismenformen!
- Ordne diese Formen Gruppen zu!
- Stelle den Zusammenhang zwischen dem Zersetzungsgrad des organischen Materials und der Entwicklung von Mikroorganismen her!

**Bestimmen verschiedener Algen**

**Zeit:** Dauer: 90 Minuten

**Material und Geräte:** Teich- oder Tümpelwasser bzw. grüner Belag von der Westseite von Bäumen; Becher (500 ml), Pipette, Objektträger, Deckgläschen, Mikroskop, Planktonnetz (Gr. 25)

**Durchführung:** - Ziehe das Planktonnetz mehrmals durch das Wasser eines Tümpels oder Sees! Beachte dabei verschiedene Tiefen des Gewässers! Fülle den Netzinhalt in ein Gefäß mit Verschluß!



**Algenformen**

Geißelalgen: 1 *Euglena spec.*; 2 *Haematococcus spec.*; 3 *Ceratium spec.*

Kieselalgen: 4 *Pinnularia spec.*; 5 *Navicula spec.*; 6 *Asterionella spec.*

Grünalgen: 7 *Scenedesmus spec.*; 8 *Chlorella spec.*; 9 *Pediastrum spec.*

- Kratze ggf. den grünen Belag von Bäumen und schwemme ihn in etwas Wasser auf!

- Stelle von diesen Wasserproben mehrere Frischpräparate her!
- Sehe dir die Präparate unter dem Mikroskop an!
- Beobachte unter den vorhandenen Mikroorganismen insbesondere die Algen! Stelle fest, ob du darunter Flagellaten, Kieselalgen oder Grünalgen erkennst!
- Zeichne die am häufigsten auftretenden Formen!

**Auswertung:**

- Stimme unter Nutzung der Abbildungen oder von Bestimmungstabellen und anderer Literatur einige der im Präparat gefundenen Algen! Zu berücksichtigen ist jedoch, daß eine systematische Zuordnung allein aufgrund des äußeren Baues der Organismen nicht immer möglich ist.
- Ermittle die ungefähre Anzahl der Vertreter der verschiedenen Gruppen im Präparat, und schließe daraus auf die Häufigkeit ihres Vorkommens in dem Gewässer, dem die Probe entnommen wurde!

Das Ergebnis solcher Untersuchungen hat große praktische Bedeutung. Vorkommen und Häufigkeit bestimmter Mikroorganismen geben Auskunft über den Zustand des Gewässers, beispielsweise Wasserqualität, Nährstoffgehalt.

## 7.5.6 Mikroorganismen im Boden

### Bodenlebewesen in einer Erdprobe

Zeit:

Dauer: 90 Minuten (bis 130 Minuten)  
Auswertung und Weiterführung nach 1 Woche möglich

Material und Geräte:

ausgestochene Erdprobe; Foto-Entwicklerschale, Gartenkralle, Pinzette, 2 Konservengläser mit Schraubdeckel, Löffel, Objektträger, Deckgläschen, Mikroskop

Durchführung:

Die Erdprobe wird in eine Entwicklerschale mit bekanntem Gewicht, wie sie für Fotoarbeiten verwendet wird, gelegt und gewogen.

- Notiere Struktur, Farbe und Masse der Erdprobe!
- Kratze mit einer Kralle das Erdreich vorsichtig auf, und lege Tiere und Pflanzenteile getrennt in gewogene Glasgefäße!
- Notiere die Anzahl der Tiere, und ordne diese Gruppen zu! Nutze dazu Abbildungen aus entsprechender Literatur! Verwende auch Bestimmungsliteratur!
- Entnehme einen Löffel lockere Erde, und bewahre diese auf (eventuell bis zum nächsten Unterricht, und halte die Erde etwas feucht)!
- Gieße in die Kunststoffschale so viel Leitungswasser, daß sich der Wasserspiegel über der Erde schließt! Sammele erneut die freiwerdenden Tiere ab, und vervollständige die Aufzeichnungen!
- Ermittle jeweils zunächst die Masse und anschließend den prozentualen Anteil an Pflanzenmaterial sowie Masse und Anteil der zur Makrofauna gehörenden Tiere im Vergleich zur gesamten Erdprobe!

- Lege auf einen Objektträger ein Deckgläschen, und bringe an dessen Rand eine kleine Probe der aufbewahrten Erde!
- Tropfe soviel steriles Leitungswasser auf die Bodenprobe, daß sich Wasser unter das Deckgläschen zieht!
- Durchmustere das so entstandene mikroskopische Präparat aufmerksam; wähle nacheinander Vergrößerungen von 50fach bis 225fach!
- Verschaffe dir einen Eindruck von häufig vorkommenden Organismengruppen!

**Auswertung:**

- Stelle tabellarisch zusammen, welche verschiedenen Organismengruppen mit welcher Häufigkeit beobachtet werden konnten! Schätze kritisch ein, inwieweit die erhaltenen Ergebnisse den tatsächlichen Verhältnissen entsprechen können!

*Führe entsprechende Untersuchungen je nach territorialen Möglichkeiten an anderen Standorten (z.B. Nadelwald, Garten, Graudüne, Trockenrasen) oder von unterschiedlichen Ackerflächen durch! Vergleiche die Ergebnisse!*

## 7.5.7 Mikroorganismen im Wasser

### Nachweisen von freischwebenden Bakterien in Gewässern

**Zeit:**

<b>Dauer:</b>	1 Woche
<b>Ansatz:</b>	60 Minuten
<b>Auswertung:</b>	20 Minuten

**Material und Geräte:** Wasserprobe; steriles Wasser, 4 Petrischalen mit Nähragar (PH  $7,2 \pm 0,3$ , Pankreatisches Pepton 13,5 g (Fleisch, Gelatine, Kasein), Eiweißhydrolysat 3,5 g, Hefeextrakt 3,0 g, NaCl 5,0 g, Agar  $10,0 \text{ g} \pm 3,0 \text{ g}$ ; Wasser 1,0 l), sterile Flasche mit Glasstopfen, 5 sterile Meßpipetten (1 ml), 6 sterile Reagenzgläser, steriler Meßzylinder (10 ml), 4 sterile Glasspatel, wasserfester Stift oder Etiketten, Mikroskop, Objektträger, Deckgläschen

**Durchführung:**

- Entnehme eine Wasserprobe etwa 15 cm unter der Wasseroberfläche!
- Fülle die sterile Flasche zu 9/10 mit dem Probenwasser! Die Luftblase verhindert anaerobe (sauerstoffarme) Bedingungen.
- Verschließe die Flasche mit dem Stopfen, und halte sie kühl (mit Schaumgummi umhüllen)!
- Verarbeite das Wasser sofort, oder bewahre es bis maximal 14 Stunden kühl auf!
- Fertige eine Verdünnungsreihe bis 1 : 1 000 000 an! Gebe von den Verdünnungsstufen 1 : 1 000 000 je 0,1 ml Wasser auf je eine Nähragar-Platte, und verteile das Wasser mit dem Glasspatel!
- Kennzeichne die Petrischalen, und stelle sie im Brutschrank oder dunkel bei Zimmertemperatur auf!
- Kontrolliere die Schalen eine Woche lang möglichst täglich.
- Stelle von der Wasserprobe ein Frischpräparat her, und durchmustere es unter dem Mikroskop nach Bakterien!

- Auswertung:**
- Zähle die Kolonien aus! Notiere die Ergebnisse!
  - Berechne aus der Anzahl der Bakterienkolonien, der Verdünnungsstufe und der aufgetragenen Menge der Wasserprobe den Gehalt an Bakterien je ml Wasser!
  - Setze die Anzahl der Bakterien je ml Wasser in Beziehung zu den Ergebnissen Ihrer physikalisch-chemischen Analysen.

*Bestimme die Bakterienanzahl an den festgelegten Entnahmestellen des Gewässers auf Nähragar-I-Platten in verschiedenen Wasserschichten und in bestimmten Abständen (z.B. alle 2 oder 4 Wochen)! Leite Schlußfolgerungen aus den sich im Jahresverlauf ändernden Bakterienzahlen ab!*

### 7.5.8 Mikroorganismen in Haushalt, Industrie und Landwirtschaft

#### Nachweisen der Vermehrung von Essigsäurebakterien

- Zeit:**
- Dauer: 1 Woche
  - Ansatz: 15 Minuten
  - Auswertung: alle 2 Tage 10 Minuten, am letzten Tag 90 Minuten

**Material und Geräte:** Bier oder Wein; verdünnte Fuchsinpenollösung, weites Becherglas (400 ml), glasklare Folie, Folienstift, Millimeterpapier, Mikroskop, Objektträger, Deckgläschen

- Durchführung:**
- Gieße Bier oder Wein in ein Becherglas, und lasse es an einem ruhigen Ort einige Tage stehen!
  - Kontrolliere alle 2 Tage, ob auf der Oberfläche der Flüssigkeit Hautinseln auftreten und wann die Decke geschlossen ist! (Gelegentlich bildet sich von Anfang an ein dünner Mikroorganismenfilm, der gleichmäßig die gesamte Oberfläche überzieht und in der darauffolgenden Zeit an Dicke zunimmt.)
  - Ermittle alle 2 Tage die Flächenzunahme des Mikroorganismenbewuchses! Spanne dazu glasklare Folie über das Becherglas, und zeichne die Hautinseln im Umriß nach!

- Auswertung:**
- Lege die Folie auf Millimeterpapier, und ermittle an den Kontrolltagen die Größe der bewachsenen Fläche! Trage die Werte in eine Tabelle ein!

	Fläche in mm <sup>2</sup>	Fläche in %
Oberfläche der Flüssigkeit		
Bewachsene Fläche		
2 Tage nach dem Ansatz		
4 Tage nach dem Ansatz		
6 Tage nach dem Ansatz		

Vorlage zur Tabelle: Vermehrung von Essigsäurebakterien

## Herstellung von Milchprodukten und Sauergemüsen

Die Säuerung von Milch ist ein mikrobiologischer Vorgang, der am Beginn vieler Herstellungsverfahren von Milchprodukten steht. Milchsäurebakterien der Gattungen *Lactobacillus*, *Streptococcus* und *Leuconostoc* bauen in der Milch den Zucker unter Energiegewinn zu Milchsäure ab, dabei kommt es zu Veränderungen der Milcheigenschaften (z.B. Geschmack, Konsistenz). Mit der Zunahme des Säuregrades (pH-Wert-Erniedrigung) wird die Aktivität der Milchsäurebakterien eingeschränkt. Milchsäure hemmt von bestimmten Konzentrationen an die Lebenstätigkeit vieler Mikroorganismen. Durch Milchsäurebakterien hergestellte Sauermilch ist daher mehrere Tage haltbar.

Milchsäure wird auch zur Haltbarmachung von Lebensmitteln genutzt. So werden beispielsweise Sauergemüse (Kohl, Gurken) und Silagefutter unter Nutzung von Milchsäurebakterien hergestellt.

### Schimmelbildung auf Brot

- |       |             |                                  |
|-------|-------------|----------------------------------|
| Zeit: | Dauer:      | 1 Woche                          |
|       | Ansatz:     | in 2 Stunden 2 mal je 10 Minuten |
|       | Auswertung: | 45 Minuten                       |
- Material und Geräte: Brot, Wasser; 2 Glasschalen mit Deckel, Klebeband, Lupe oder Lupenmikroskop
- Durchführung:
- Lege in 2 Glasschalen je ein Stück trockenes Brot und gebe in eine der Schalen einige Milliliter Wasser!
  - Stelle den Versuchsansatz für 2 Stunden bei Raumtemperatur auf, decke die Schalen danach ab und schließe den Spalt mit Klebeband!
  - Beobachte täglich die Brotstücke und stelle fest, ob und wann Schimmelbildung auftritt!
- Auswertung:
- Beobachte die Schimmelpilzkolonien in der geschlossenen Schale mit einer starken Lupe oder einem Lupenmikroskop!

*Überprüfe zu Hause die Aufbewahrungs- und Lagerbedingungen für Nahrungsmittel und schätze, ob sie den hygienischen Anforderungen genügen!*



## **7.6 Gegenstände heranholen**

### **7.6.1 Von Glas zur Brille**

Es gilt als hinreichend belegt, daß die Phönizier, ein Handwerker- und Händlervolk, das zwischen 2.000 v. Chr. und 100 v. Chr. in Form kleiner Stadtstaaten den Küstenstrich zwischen der Orontesmündung und dem heutigen Haifa besetzte, die ersten waren, die Glas herstellten.

Anfangs wurden Glasflaschen ungefähr so hergestellt, wie man Steine beschlägt: Man goß einen großen Klumpen in eine Grube aus Sand und schlug dann mühevoll eine Schale heraus.

Ca. 1.500 v. Chr. konnten Phönizier und Ägypter Glas blasen. Indem sie ein Metallrohr in die geschmolzene Glasmasse tauchten, holten sie einen Glasklumpen hervor, der sich aufblasen und formen ließ.

Die ersten Fensterscheiben waren kleine Glasscheiben, die wie ein Mosaik zusammengeführt wurden. Solche Fenster kann man noch heute in alten Kirchen aus dem Mittelalter sehen.

Wie Licht gebrochen wird und wie Linsen funktionieren, hatte der Araber Ibn-el-Haitam in Europa Alhazen genannt, bereits in seinen Schriften aus dem 10. Jahrhundert beschrieben. Erst im 13. Jahrhundert knüpft der englische Naturforscher, Philosoph und Franziskanermönch Roger Bacon (1210 - 1294), oft in der Literatur auch Miraceldoktor genannt, an diese Schriften an. Er erklärte, wie man eine Brille benutzen muß und wie ein Fernglas funktioniert. Aber Bacon selbst stellte nie Brillen her. Ende des 13. Jahrhunderts wurden die ersten Brillen gebaut.

Erst im 16. Jahrhundert wurde das Fernglas erfunden, obwohl man eigentlich schon alles hatte, was für die Erfindung notwendig gewesen wäre.

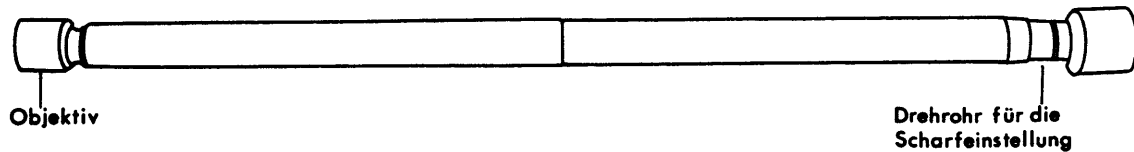
### **7.6.2 Vom Fernglas zum Spiegelteleskop**

#### **Das Fernglas**

Hans Lippershey, ein Optiker aus Middelborg in Holland, wird die Erfindung des Fernglases (1608) zugeschrieben. Das erste Exemplar bestand aus einem Holzrohr, in das zwei Linsen montiert waren, eine in der Mitte dünner und verkleinernd, die andere in der Mitte dick und vergrößernd. Lippershey war sich der Bedeutung dieser später als Teleskop bezeichneten Erfindung durchaus bewußt. Er stellte nicht nur dem interessierten holländischen Generalstab die Möglichkeiten des Fernglases zum Einsatz im Krieg vor, sondern stellte auch einen Antrag auf Patentierung seiner Erfindung, der von den holländischen Behörden jedoch abgelehnt wurde.

Innerhalb weniger Monate war die Erfindung des Fernglases oder Fernrohrs in ganz Europa bekannt. So erfuhr auch der berühmte italienische Wissenschaftler Galileo Galilei (1564 - 1642) von dem holländischen Fernrohr und baute sich sofort ein eigenes.

Galileis Fernrohr (Nachbildung)



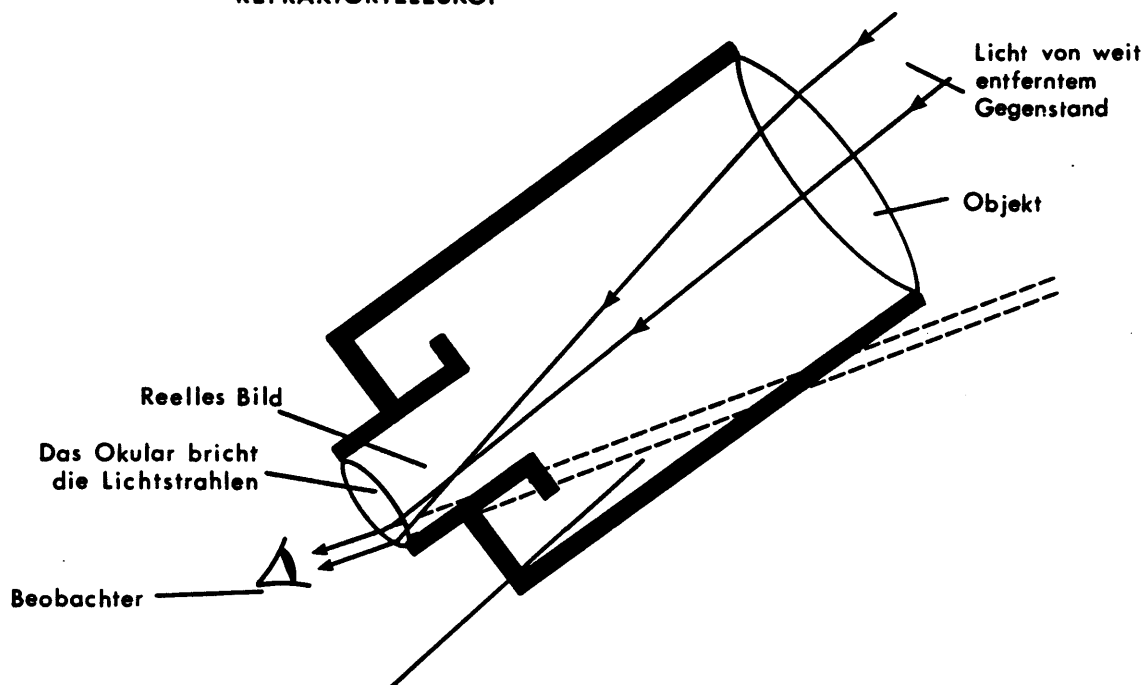
Galileis Fernrohr enthielt zwei Linsen - ein konvexes Objektiv und ein kleineres konkaves Okular (bei anderen Fernrohren ist häufig auch das Okular Konvex).

Galileis erste Fernrohre vergrößerten um das 30fache, er beobachtete damit den Mond, die Planeten und die Sterne und entdeckte vier Jupitermonde. Er erkannte auch, daß die Milchstraße aus Millionen Sternen besteht, die mit bloßem Auge nicht sichtbar sind.

### Refraktorteleskop

Die ersten Teleskope waren ausnahmslos Refraktorfernrohre. Refraktoren haben Linsen zur Lichtbrechung. Eine einfache Ausführung besitzt zwei Linsen, eine dem Gegenstand zugewandte (Objektiv) mit großer Brennweite am Ende des Teleskops und eine kleinere Augenlinse (Okular) mit kleiner Brennweite am anderen Ende.

REFRAKTORTELESKOP



Das Auge verlängert die Lichtstrahlen zurück und sieht ein vergrößertes Bild

Das Objektiv sammelt das Licht eines weit entfernten Objekts und formt daraus ein auf dem Kopf stehendes reelles Bild.

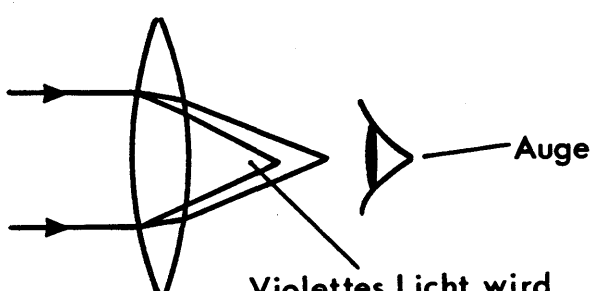
Von diesem Bild gehen Lichtstrahlen zum Okular und werden ein zweites Mal gebrochen, so daß sie wieder parallel laufen. Dem Auge entgeht die Brechung, und der Gegenstand erscheint deshalb größer.

## Spiegelteleskop

Vor der Erfindung der achromatischen Linse war bei großen Refraktorfernrohren die Farbaufspaltung ein Problem.

**Farbaufspaltung**

**Chromatische Linse**

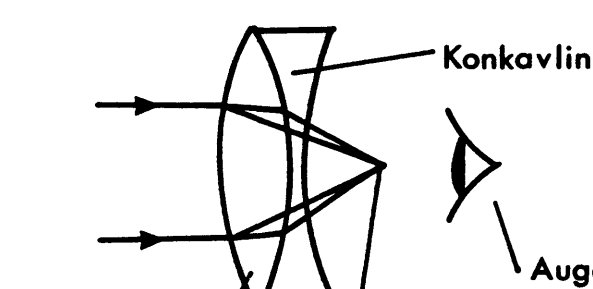


Wenn Licht durch eine Linse geht, wird jede Farbe in einem anderen Winkel gebrochen. So entsteht chromatische Aberration, ein Farbenspektrum an den Bildrändern.

Violettes Licht wird stärker gebrochen als rotes.

**Farbvereinigung**

**Achromatische Linse**



1733 erfand der englische Mathematiker Chester Moor Hall eine achromatische Linse, die die Farbaufspaltung verhindert. Sie besteht aus zwei Linsen unterschiedlicher Glasarten:

Die erste spaltet die Farben, die zweite führt sie wieder zusammen.

Konvexlinse

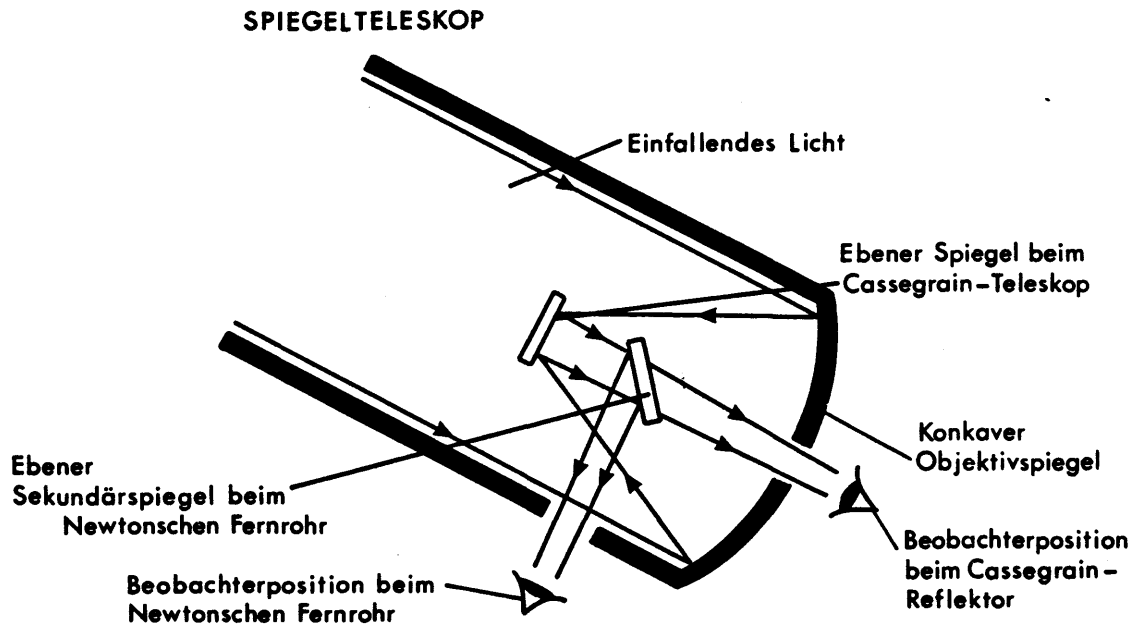
Konkavlinse

Die Konkavlinse vereinigt die Farben wieder.

Auge

1668 konstruierte Isaac Newton (1642 - 1727) ein Spiegelteleskop, das diesen Nachteil nicht hatte. Statt Linsen verwendete er Spiegel. Das einfallende Licht wird von einem großen Parabolspiegel aufgefangen und über einen oder mehrere kleinere Spiegel zum Auge des Betrachters geleitet.

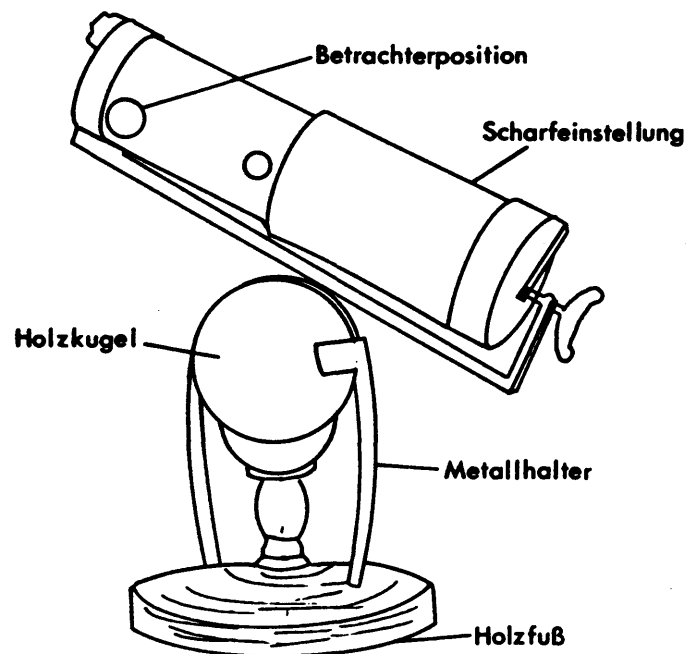
Das Bild kann man auf zweierlei Art betrachten: Beim Cassegrain-Refraktor schaut man durch ein Loch im Objektivspiegel, beim Newtonschen Fernrohr durch ein Loch an der Seite. Da Spiegel die Farben nicht aufspalten, ist das Bild schärfer.



Newtons Fernrohr war zwar revolutionär, funktionierte aber nicht besonders gut. Es war sehr klein, und die Spiegel wurden rasch blind. Doch Newton hatte bewiesen, daß Spiegel vergrößern können. Sein Fernrohr war der Vorläufer der riesigen Spiegelteleskope, die heute in Observatorien stehen.

Newtons Spiegelteleskop, die von ihm entdeckte Gravitation (einschließlich der Gravitationsgesetze) und mehrere andere seiner Erfindungen und Entdeckungen führten zu verstärkten Forschungen auf dem Gebiet der Astronomie.

#### SEITENANSICHT VON NEWTONS FERNROHR



Das Teleskop ist beweglich auf der Holzkuigel angebracht

So fanden englische Astronomen durch Observierungen heraus, daß die Sterne von der Gravitation beeinflußt werden und daß keine "Sternbilder" ewig gleich aussehen. Vorausgesagt wurde, daß im Jahre 1758 ein Komet über den Himmel fliegen würde. Es war der Komet, den man schon früher in der Geschichte jedes 76. Jahrs gesehen hatte, aber von dem man jedesmal geglaubt hatte, er sei neu und bedeutet Unglück. Der Komet wurde nach seinem Entdecker Halleyscher Komet genannt.

Einer, der am systematischsten astronomische Forschungen in England unternahm, waren William Herschel (1738 - 1822) und seine Schwester Carolyne. Mit den von ihm entwickelten Teleskopen, sein größter Spiegel hatte einen Durchmesser von 125 Zentimetern, und das Rohr war 12 Meter lang, entdeckten sie neue Sterne, Doppelsterne, Galaxien und Nebelflecken.

Einer der wichtigsten Beiträge zur Wissenschaft war, daß William Herschel die Weite unseres Milchstraßensystems errechnete. Er war der erste, der das Lichtjahr als Maßeinheit für die Entfernung im Weltall benutzte, d.h. die Strecke, die das Licht innerhalb eines Jahres zurücklegt. Das sind 9,461 Billionen Kilometer. Danach rechnete er aus, daß der Durchmesser der Milchstraße knapp 80 000 Lichtjahre beträgt. Herschel wußte welche Bedeutung diese Zeit für einen Beobachter hat: Wenn der Abstand zwischen unserem Sternensystem und dem nächsten Nebelfleck 2 Millionen Lichtjahre beträgt, bedeutet das: Wenn ein so weit entferntes Sternensystem vor einer Million Jahren aufgehört hat zu existieren, dann würden wir es noch eine weitere Million Jahre sehen können. Mit unseren Teleskopen sehen wir nicht nur in einen unendlich weiten Raum, sondern auch zurück in der Zeit. Das bedeutet, wenn man beispielsweise von einem Stern noch weiter am Rande der Milchstraße Menschen auf unserem Planeten erkennen könnte, wären es nicht die, die heute leben, sondern vielleicht die Helden der Antike, die bei Troja kämpften.

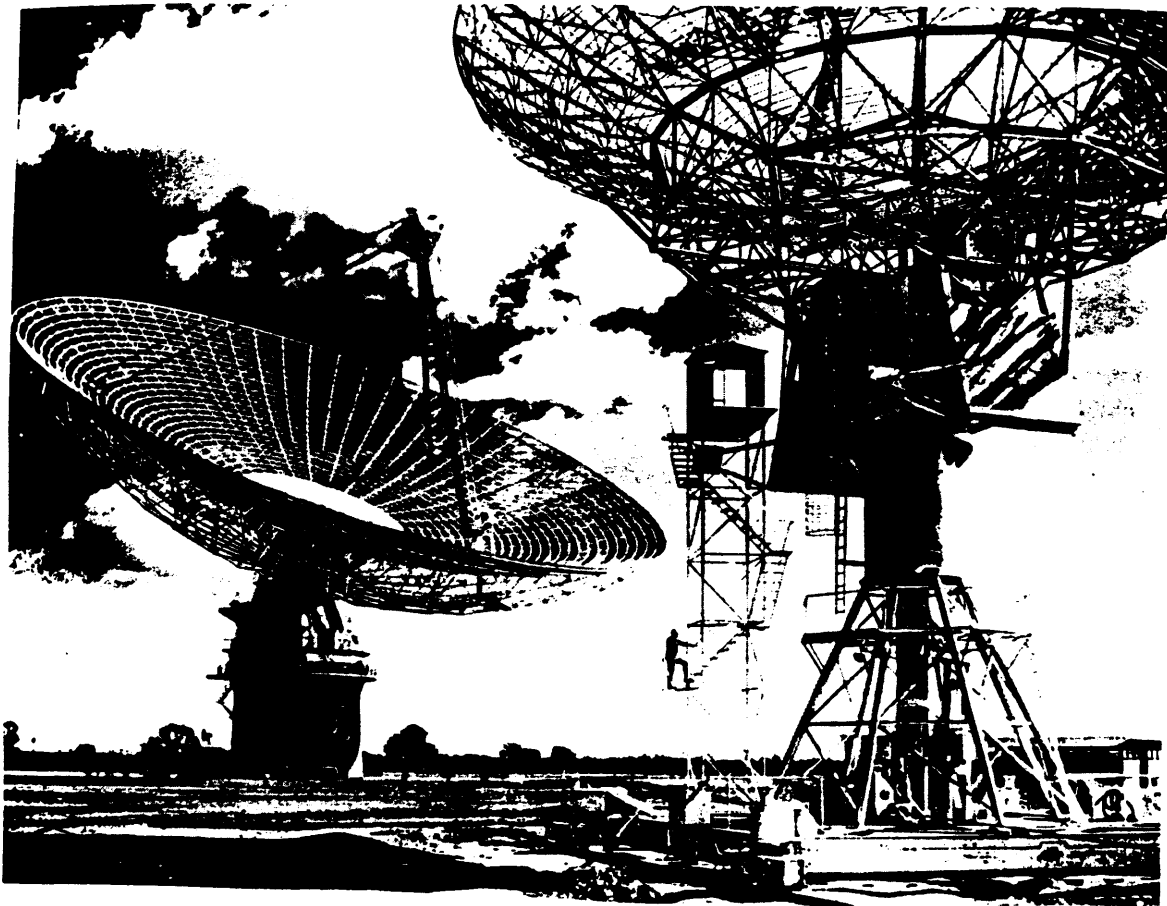
Während Herschel in England an der Weiterentwicklung von Spiegelteleskopen arbeitete, verbesserte der deutsche autodidaktische Optiker Joseph von Fraunhofer (1787 - 1826) das Linsenteleskop zu einem sehr präzisen Instrument, das zeitweise bedeutend besser war als das gleichzeitige Spiegelteleskop. Das lag u.a. daran, daß er einer der ersten Optiker war, der ganz klares Glas herstellen konnte.

Um 1870 war der Weg der Optik vom Handwerk zur Wissenschaft abgeschlossen und die Astronomie dadurch zu einer derart wichtigen Wissenschaft geworden, daß fast jedes Land in Europa staatliche Observatorien mit angestellten Berufsastronomen eingerichtet hatte. Um die Jahrhundertwende begann man auch in den USA mit dem Bau von Teleskopen. Zunächst baute man am Observatorium von Yerkes ein Linsenteleskop mit einer Ein-Meter-Linse und einem Rohr von 20 m Länge. Dann folgte das Observatorium in Mount Wilson. Dort wurde ein Spiegelteleskop mit einem Spiegel von 2,5 m Durchmesser gebaut, der 5 Tonnen wog. An einem der größten Teleskope der Welt wurde 20 Jahre lang in Mount Palomar in den USA gebaut. Als es 1949 eingesetzt wurde, waren Linsen- und Spiegelteleskope schon fast unmodern geworden.

Nur 10 Jahre, nachdem man Mount Palomar in Betrieb genommen hatte, wurde das Radioteleskop erfunden, das anstelle von Licht Radiowellen von verschiedenen Himmelskörpern mit riesigen Parabolantennen auffängt. Dadurch bekam man definitiv die Möglichkeit, das Unbekannte zu *sehen*.

Nur einige Jahre zuvor, 1957, war von der damaligen Sowjetunion der erste Sputnik auf eine Bahn um die Erde geschickt worden. 1961 schoß die Sowjetunion die erste bekannte Rakete mit Jurij Gagarin als ersten Menschen in den Weltraum. Im Juli 1969 landeten die ersten Menschen auf dem Mond, die Amerikaner Armstrong und Aldrin. Der Wettlauf von Sowjetunion und USA um die Vormachtstellung im Weltraum hatte begonnen. Nunmehr bestand erstmals die Möglichkeit, z.B. die Planeten durch Radioteleskop Satelliten aus der Nähe zu sehen.

Das größte Teleskop von heute basiert ganz auf der Radioteleskopie: Man empfängt Radiowellen, die von Computer ausgewertet werden.



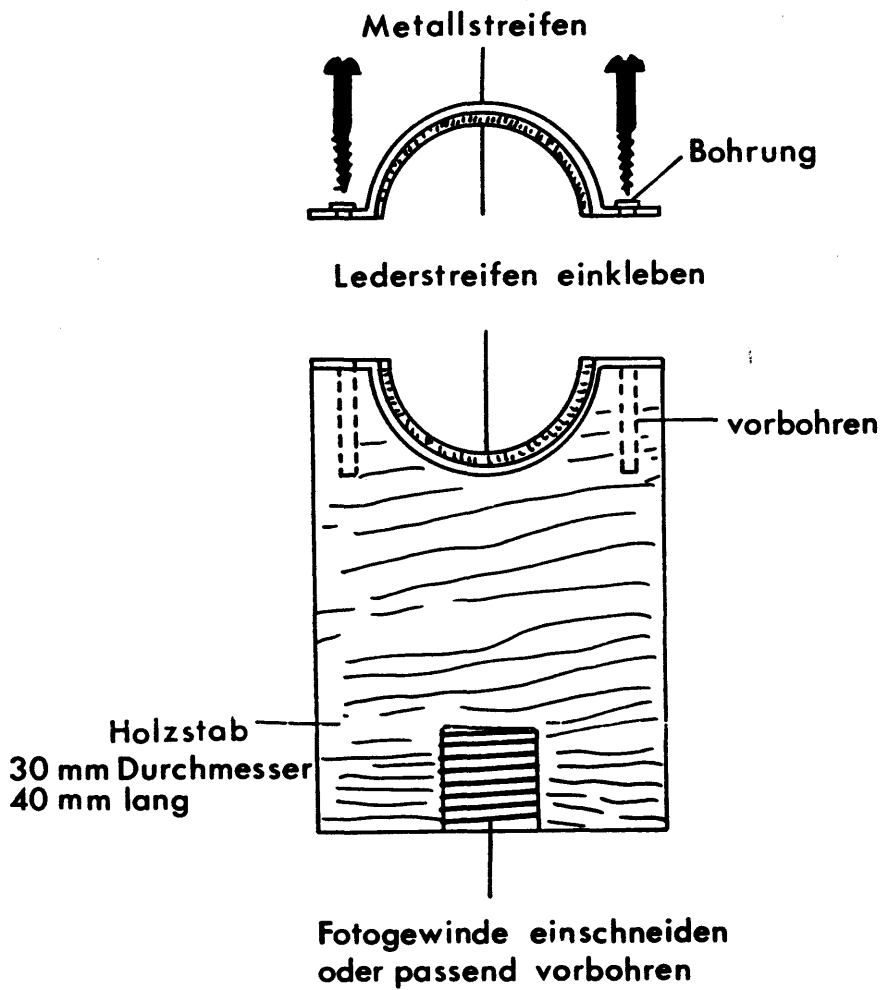
Radioteleskop in Parkes, New South Wales, Australien, Antennendurchmesser 70 m; im Vordergrund ein zweites Teleskop, das für Interferenzmessungen mit dem ersten zusammengeschaltet wird.

Das größte Radioteleskop ist in Zusammenarbeit mehrerer Länder entstanden. Zwei Radioteleskope stehen auf zwei verschiedenen Kontinenten und ein drittes in einem Satelliten auf der Umlaufbahn der Erde. Das Teleskop wird dann genauso groß wie die Fläche zwischen den drei Radioteleskopen, und man kann bis zu den ältesten Teilen des Universums vordringen.

## 7.7 Einfache astronomische Beobachtungen<sup>4)</sup>

Die folgenden astronomischen Beobachtungen werden mit einem Fernrohr (zwischen 5 und 10 cm Öffnung) durchgeführt. Es soll jedoch darauf hingewiesen werden, daß auch mit gutem Erfolg ein Feldstecher (ein Prismenfernglas) Verwendung finden kann. Die Optik dieses handlichen Gerätes ermöglicht eine Vielzahl von Beobachtungen; dabei wird der Nachteil der meist geringen Vergrößerung durch die hohe Lichtstärke und durch die Tatsache, daß sich der Feldstecher äußerst bequem transportieren und montieren läßt, mehr als ausgeglichen.

4) Nach Lindner 1973.



Daß ein Feldstecher montiert werden muß, mag verwundern. Es ist aber so; sein hohes Leistungsvermögen kann erst dann vollständig ausgeschöpft werden, wenn er auf einem festen Stativ steht. Bei der Himmelsbeobachtung aus freier Hand stört das immer vorhandene leichte Zittern mit der Zeit so sehr, daß feinere Einzelheiten gar nicht mehr zu erkennen sind. Ein Stativ für unseren Feldstecher ist aber leicht zu beschaffen! Eine Zaunlatte, der Ast eines Baumes, ein fest in den Boden gerammter Pfahl reichen aus. Der Feldstecher wird mit einer selbsthergestellten Halterung versehen, die ein Fotogewinde (Innengewinde) trägt.

Eine Baumschraube mit Kugelgelenk und Fotogewinde, die wir in beliebiger Stellung am Pfahl befestigen können, trägt dann das Gerät zuverlässig; Nachführungsprobleme gibt es wegen der geringen Vergrößerung kaum (siehe Foto).

Für schwache, flächenhafte Objekte ist der Feldstecher ein ideales Beobachtungsinstrument. Er zeigt Nebel, Sternhaufen, Kometen, aber auch Doppelsterne, Sternwolken in der Milchstraße, veränderliche Sterne, Einzelheiten auf der Sonne und auf dem Mond, die Jupitermonde und - mit Zusatzvergrößerung - den Saturnring.



Feldstecher mit Montierung

### 7.7.1 Sonnenbeobachtung

#### Äußerste Vorsicht!

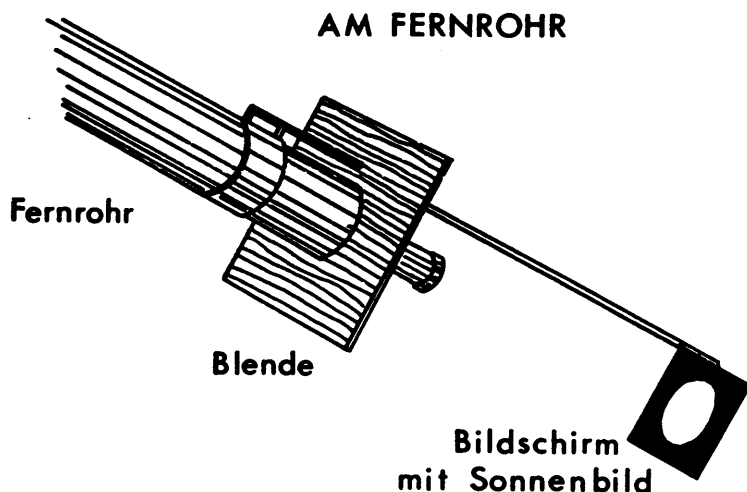
Wer ohne besondere Schutzmaßnahmen durch ein Fernrohr - und sei es nur ein ganz kleines - nach der Sonne blickt, schädigt seine Gesundheit! Der Verlust eines oder beider Augen kann die Folge sein! Deshalb: **Niemals mit einem Fernrohr direkt in die Sonne blicken!**

Auch der Blick in ein Fernrohr ohne Okular ist gefährlich. Das Objektiv wirkt bekanntlich als Sammellinse, und gerade in der leeren Okularöffnung befindet sich der Brennpunkt. Schon mit einem kleinen Fernrohr von 50 mm Öffnung läßt sich bei heller Sommersonne dort Papier entflammen.

Man kann die Sonnenoberfläche mit dem Fernrohr beobachten, wenn man die Augen vor dem Übermaß an Strahlung schützt. Dafür gibt es zwei Möglichkeiten: *Die Projektionsmethode*. Dabei wird das Sonnenlicht durch Objektiv und Okular auf einen Bildschirm geleitet, auf dem wir durch Verstellen des Okularauszugs ein scharfes Bild der Sonnenoberfläche erhalten. Wie ein solcher Bildschirm am Fernrohr aussehen kann, zeigt die Skizze. (Die auf den Okularauszug aufgesteckte Blende soll das direkte Sonnenlicht vom Bildschirm abhalten. Das Bild der Sonnenoberfläche auf dem Schirm erscheint dann kontrastreicher.)

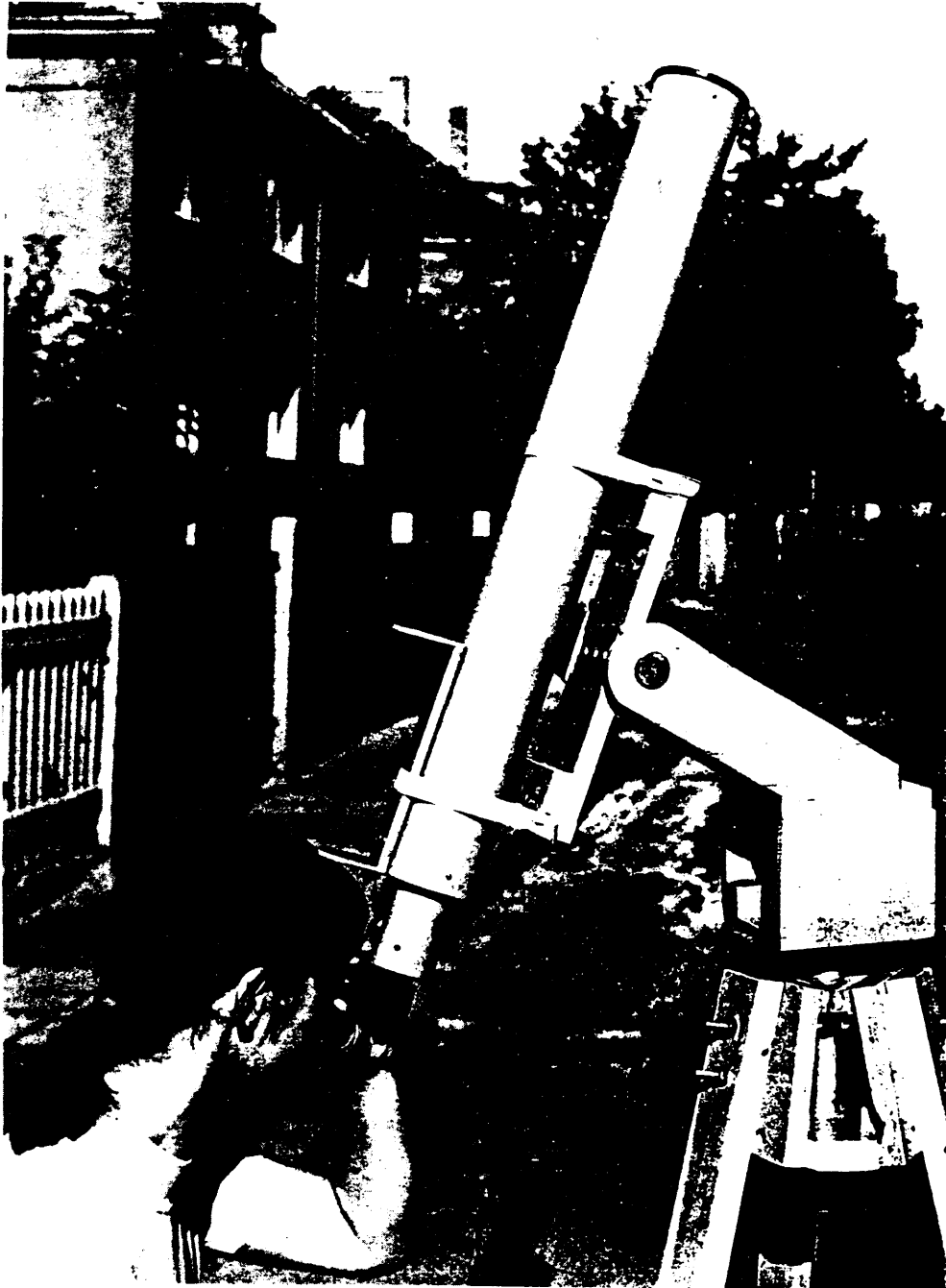
*Die Verwendung von Filtern.* Die optische Industrie fertigt spezielle Sonnengläser (Dämpfgläser, Filter), die man auf das Okular oder auch auf das Objektiv aufsteckt. Vor der Selbstherstellung solcher Gläser muß gewarnt werden, da sie unter Umständen den am Okular auftretenden hohen Temperaturen nicht standhalten. Wenn sie nicht genau planparallel geschliffen sind, können sie auch die Schärfe des Sonnenbildes beeinträchtigen. Wer Okularfilter verwendet, sollte außerdem die Objektivöffnung seines Fernrohrs auf 20 oder 30 mm Durchmesser abblenden. Damit wird die Wärmeentwicklung am Okular und im Tubus in erträglichen Grenzen gehalten, ohne daß die Abbildung der Sonne darunter leidet.

#### SONNENPROJEKTIONSSCHIRM





Eine Sonnenbeobachtung, ganz gleich, nach welcher Methode, sollte von Zeit zu Zeit unterbrochen werden, damit sich die Okulare abkühlen können. Zu heiß gewordene Linsen und Dämpfgläser können springen. Wenn nicht beobachtet wird, sollte auch das Fernrohr beiseitegedreht werden.



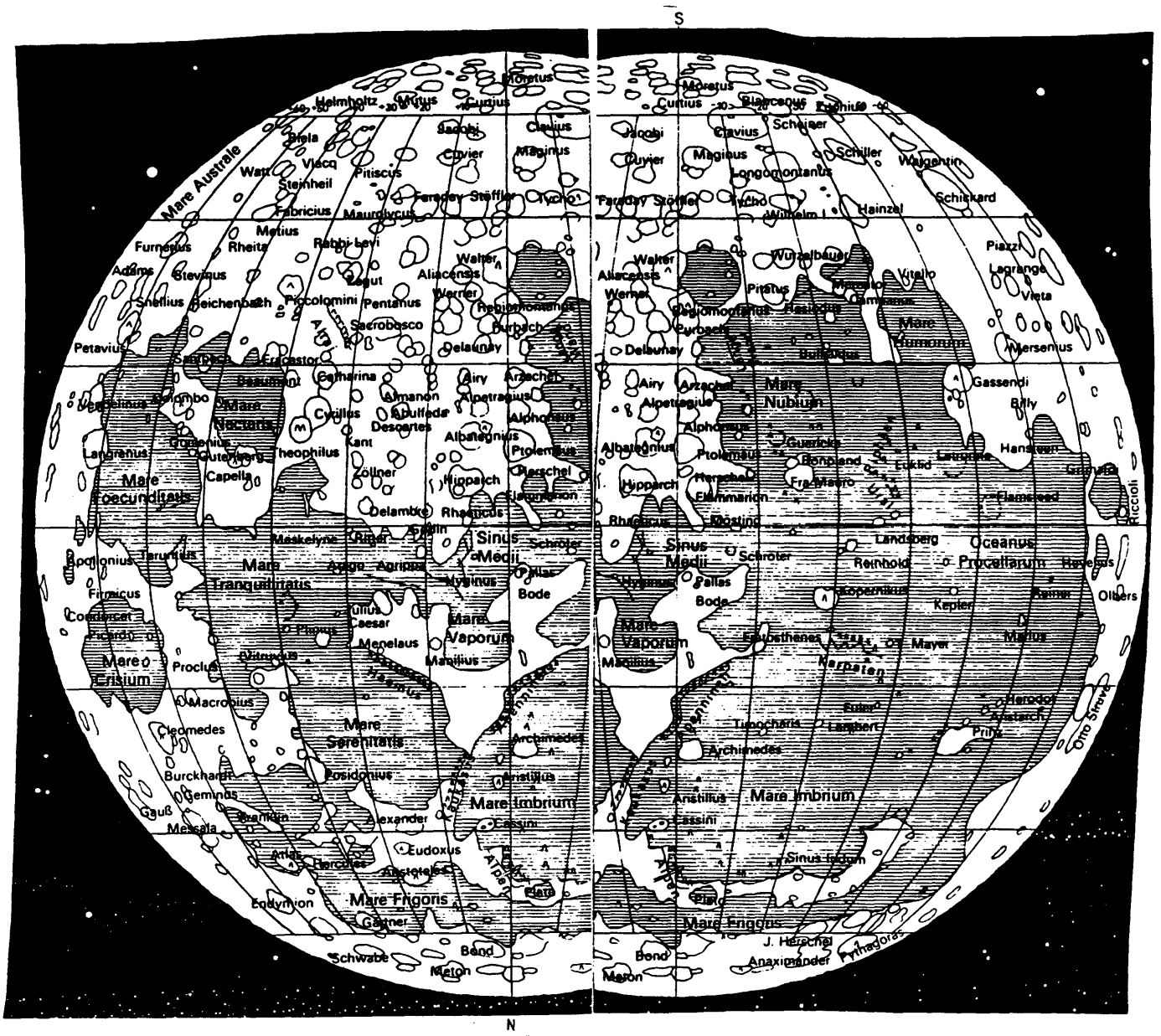
### Sonnenflecken

Man stellt das Fernrohr auf die Sonne ein, aber nicht, indem man hindurchblickt und die Sonne sucht, sondern indem man den Schatten des Rohres beobachtet. Wenn er genau kreisrund ist, steht die Sonne im Gesichtsfeld des Fernrohrs. Das Scharfeinstellen geschieht am Okularauszug; bei Anwendung der Projektionsmethode muß er weiter herausgezogen werden als bei direkter Beobachtung durch das Fernrohr.

Nur selten ist die Sonne völlig fleckenlos. In der Regel fallen auf dem hellen Untergrund der Sonnenoberfläche sofort die in unregelmäßigen Gruppen angeordneten Sonnenflecken auf. Bei genauer Betrachtung zeigen sie eine deutliche Unterteilung in den tiefdunklen Kern (die Umbra) und den grau erscheinenden Hof (die Penumbra), der den Kern umgibt.

### 7.7.2 Mondbeobachtung

Man beobachtet den Mond mehrmals im Laufe eines Monats mit dem Fernrohr und vergleicht jeweils den Anblick mit der Mondkarte. Dabei stellt man fest, daß im wesentlichen die gleichen Oberflächenformationen stets am gleichen Ort auf der "Mondscheibe" auftreten. (Von der unterschiedlichen Lage der Lichtgrenze ist natürlich abzusehen.)



### 7.7.3 Sterne und Planeten

#### Worin besteht der Unterschied?

Planeten und Sterne sind zweierlei! Sie unterscheiden sich sowohl durch ihren physikalischen Zustand als auch durch ihre Erscheinung am Himmel. Bei Planeten hat man es mit relativ kleinen, kalten Himmelskörpern zu tun, die einen Stern in bestimmten Bahnen umlaufen. Sterne dagegen sind große, heiße, selbstleuchtende Gaskugeln; der uns am nächsten stehende Stern ist die Sonne.

Wie kann man einem Gestirn an der Himmelskugel ansehen, ob es ein Stern oder ein Planet ist?

Man richtet das Fernrohr auf das fragliche Objekt und wendet eine mittlere Vergrößerung an. Bei genauer Scharfeinstellung wird ein Planet in der Regel als kleine Scheibe, ein Stern dagegen als Lichtpunkt erscheinen.

Das Ergebnis überrascht, denn im allgemeinen sind Sterne viel größer als Planeten. Man muß aber bedenken, daß sie ganz erheblich weiter von uns entfernt sind. Selbst die leistungsfähigsten Fernrohre vermögen einen Stern nur als punktförmige Lichtquelle darzustellen. Abweichungen ergeben sich allerdings bei Planetoiden und bei den beiden sonnenfernsten Planeten. Planetoiden sind sehr kleine Planeten, die in großer Zahl die Sonne umlaufen. Ihre Bahnen liegen zumeist zwischen den Bahnen von Mars und Jupiter. Im Fernrohr sind sie nur als lichtschwache Punkte zu beobachten. Pluto können wir in kleinen Amateurfernrohren gar nicht sehen, Neptun wahrscheinlich auch nur als Punkt.

Die am Himmel sichtbaren Objekte (außer Sonne und Mond) weisen ein mehr oder weniger starkes Flimmern auf. Es ist in Horizontnähe ausgeprägter als in der Umgebung des Zenits. Planeten unterscheiden sich deutlich von den Sternen durch ihr ruhigeres Licht. Ursache für das Flimmern der Sterne ist die Luftunruhe in der Atmosphäre. Da die Planeten eine merkliche - wenn auch mit dem bloßen Auge nicht sichtbare - Winkelausdehnung besitzen, wird die Luftunruhe für sie nicht so stark wirksam, wie für die praktisch punktförmig erscheinenden Sterne. Das Flimmern setzt sich aus schnellen Änderungen der Richtung und der Helligkeit des in unser Auge eintretenden Lichtes zusammen. In Horizontnähe tritt noch eine Art Prismenwirkung der Luftschlieren dazu, so daß die Sterne in schnell wechselnden Farben erscheinen.

Eine eindeutige Entscheidung zwischen Sternen und Planeten bzw. Planetoiden erfordert allerdings etwas mehr beobachterischen Aufwand. Man erhält sie, indem wir feststellen, ob das fragliche Objekt seine Position unter den Sternen verändert.

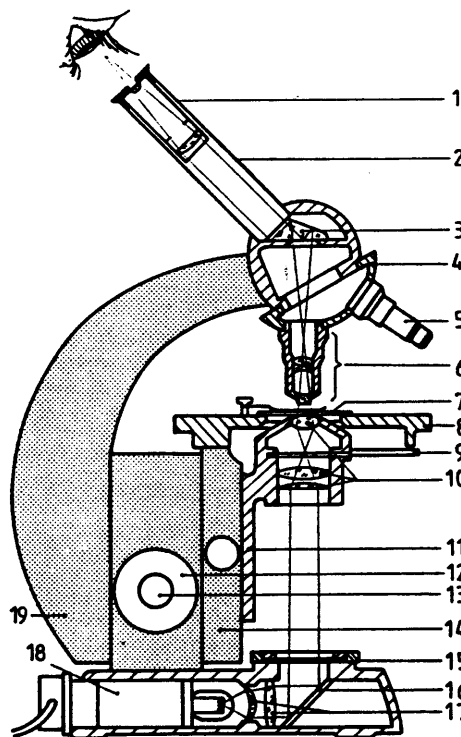
Man skizziert alle im Gesichtsfeld des Fernrohrs sichtbaren Sterne, die sich in der Umgebung des zu untersuchenden Himmelskörpers befinden. Die Skizze soll so maßgebend sein wie möglich. Nach einigen Tagen oder Wochen wiederholt man die Beobachtung. Findet man das zu untersuchende Objekt nicht mehr am gleichen Ort, dann ist es mit größter Wahrscheinlichkeit ein Planet oder ein Planetoid.

Auch hier gibt es eine Ausnahme - es könnte sich um einen Kometen handeln, Kometen sehen, wenn sie noch - oder wieder - relativ weit von der Sonne entfernt stehen, oft im Fernrohr wie Sterne aus. Eine Entscheidung, ob Planet oder Komet, müßte dann anhand der Helligkeitsentwicklung oder der Bildung einer nebligen Hülle getroffen werden.

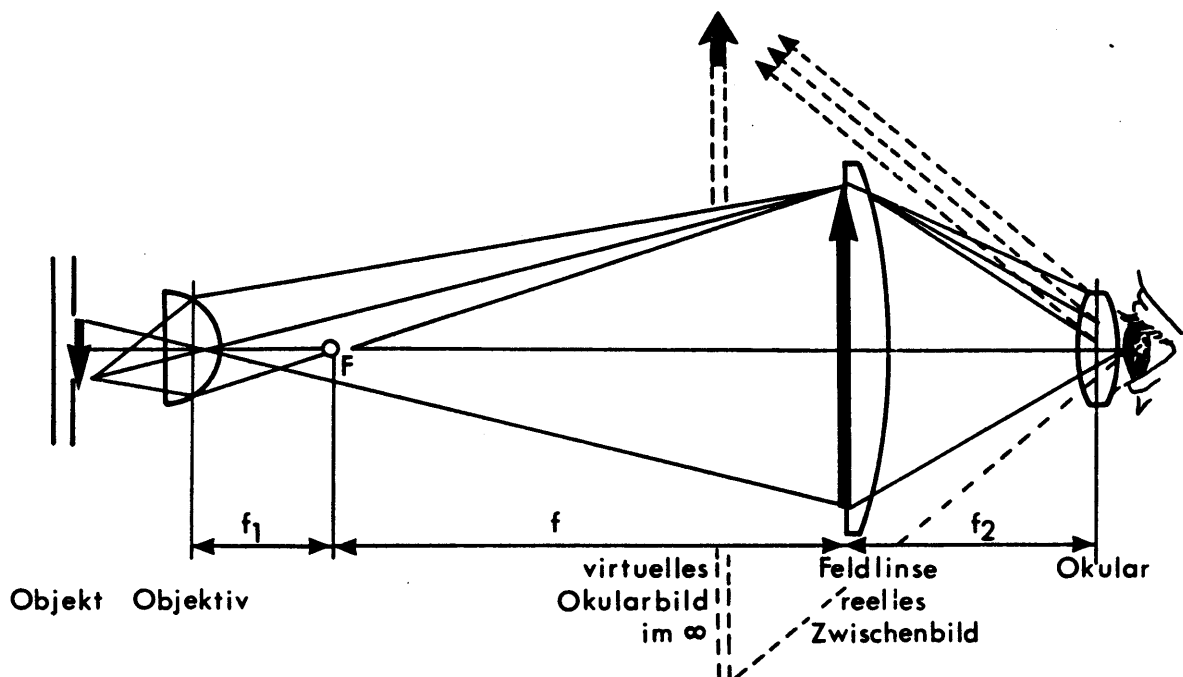
## 7.8 Auf eine Blick: Mikroskop und Fernrohr

### 7.8.1 Das Mikroskop

Wenn eine Lupe nicht ausreicht, so kann man mit einem Mikroskop ein noch stärker vergrößertes Bild erzeugen. Die dazu dienenden Teile des Mikroskops sind das Objektiv und das Okular. Beide wirken wie einfache Sammellinsen, bestehen aber zur Verbesserung der Abbildung aus zwei oder mehreren Einzellinsen. Das Objektiv erzeugt im Rohr des Mikroskops, im sogenannten Tubus, ein umgekehrtes, reelles, vergrößertes Zwischenbild. Die Vergrößerung ist um so stärker, je kürzer die Brennweite des Objektivs ist. Das Zwischenbild betrachtet man noch einmal vergrößert mit dem wie eine Lupe wirkenden Okular.



- 1 Okular
- 2 Tubus
- 3 Ablenkprisma
- 4 Objektivrevolver
- 5 u. 6 Objektive
- 7 Objektträger
- 8 Objektisch
- 9 Aperturblende
- 10 Kondensator
- 11 Kondensatorverstellung
- 12 u. 13 Einstellung der Bildschärfe
- 14 Objektivtischführung
- 15 Gesichtsfeldblende
- 16, 17 u. 18 Beleuchtungseinrichtung
- 19 Tubushalter



Strahlengang des Mikroskops

Wie in der Abbildung befindet sich an der Stelle des Zwischenbildes bei den meisten Okularen zur Vergrößerung des Gesichtsfeldes die sogenannte Feldlinse. Die Gesamtvergrößerung  $V$  erhält man als Produkt der Objektivvergrößerung  $V_{obj}$  und der Okularvergrößerung  $V_{ok}$ , die meist auf den Objektiven und Okularen eingraviert sind.

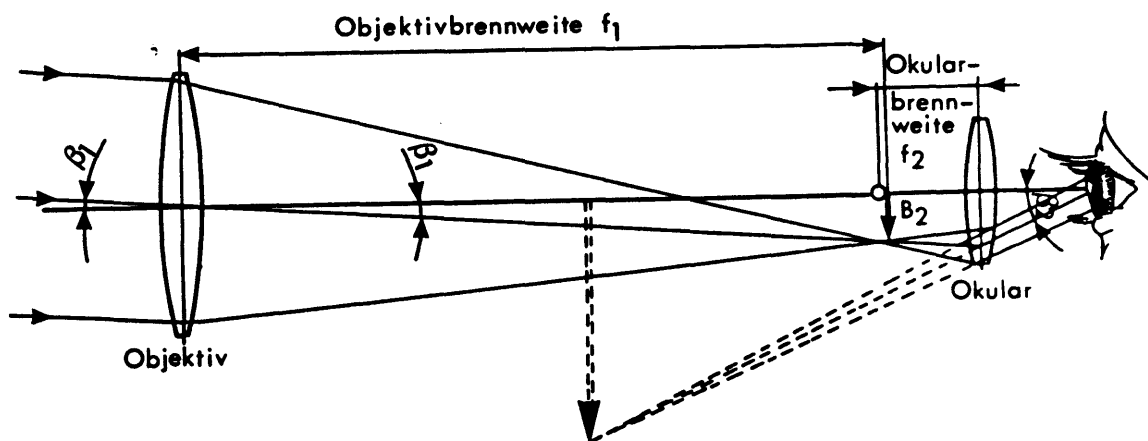
$$V = V_{obj} \cdot V_{ok}$$

Findet man z.B. auf dem Objektiv  $V_{obj} = 40$ , auf dem Okular  $V_{ok} = 12$ , so ist die Gesamtvergrößerung  $V = 40 \cdot 12 = 480$ . Bei jedem Mikroskop kann man durch Auswechseln von mehreren Objektiven und Okularen verschiedene Vergrößerungen erzielen.

Zur leichteren und genaueren Scharfeinstellung ist der Tubus an einem Tubusträger befestigt, der durch Triebknöpfe grob und fein verstellbar ist. Unter dem Objektisch befindet sich ein Linsensystem, der Kondensator, um das Objekt hell beleuchten zu können. Die als Lichtquelle dienende Glühlampe ist oft im Fuß des Mikroskops eingebaut.

### 7.8.2 Das Fernrohr

Nimmt man als Objektiv eine Sammellinse langer Brennweite, z.B. mit  $f = 1$  m, so erzeugt diese von fernen Gegenständen ein umgekehrtes, reelles, verkleinertes Bild in der Brennebene. Bringt man das Auge etwa 20 ... 30 cm vor diese Stelle, so kann man erkennen, daß dieses Bild trotz der Verkleinerung unter einem größeren Sehwinkel erscheint als der ferne Gegenstand mit dem bloßen Auge.



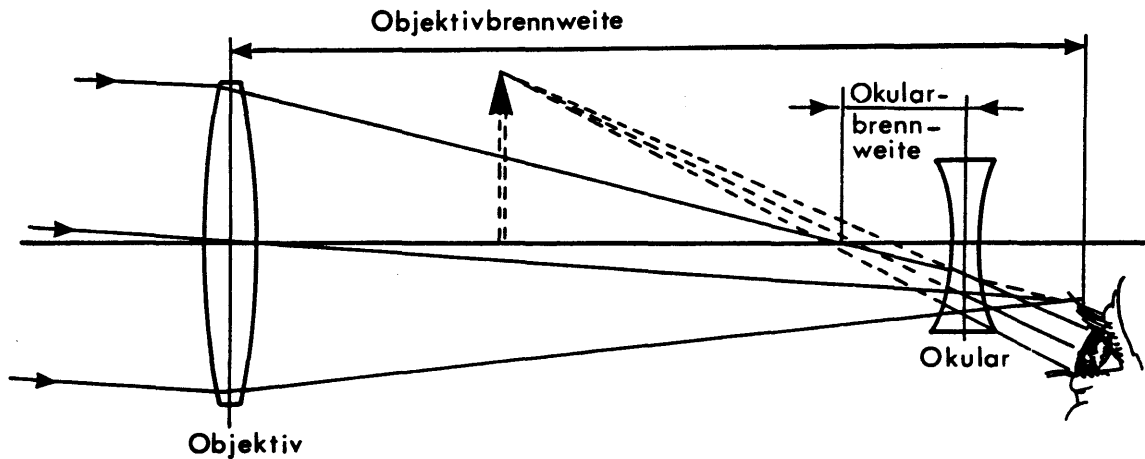
Strahlengang eines astronomischen Fernrohres

Der Sehwinkel wird um so größer, je näher man mit dem Auge an das Brennpunktsbild herangeht. Verwendet man zum Betrachten dieses Bildes eine Lupe als Okularlinse, so stellen beide Linsen zusammen ein Keplersches oder astronomisches Fernrohr dar. Das Verhältnis der langen Objektivbrennweite zu der kurzen Okularbrennweite ergibt sich als Vergrößerungszahl bei allen Arten von Fernrohren.

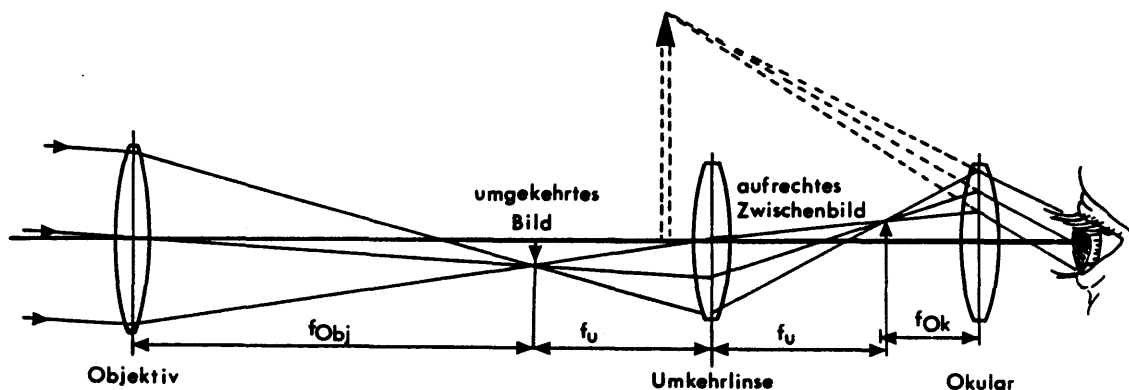
Vergrößerung des Sehwinkels durch ein Fernrohr = $\frac{\text{Objektivbrennweite}}{\text{Okularbrennweite}} \quad V = \frac{f_{obj}}{f_{ok}}$
---

Statt der einfachen Okularlinse benutzt man zur Verbesserung der Abbildung und zur Vergrößerung des Gesichtsfeldes meist mehrlinsige Okulare. Da ein solches Fernrohr umgekehrte Bilder liefert, eignet sich diese Bauart nur als astronomisches Fernrohr für Himmelsbeobachtung oder zum Anvisieren von Punkten bei der Landesvermessung.

Um bei Erdbeobachtungen aufrechte Bilder beobachten zu können, kann man statt der Sammellinse eine Zerstreuungslinse als Okular verwenden, die aber zwischen Objektiv und Brennpunktsbild angeordnet werden muß.



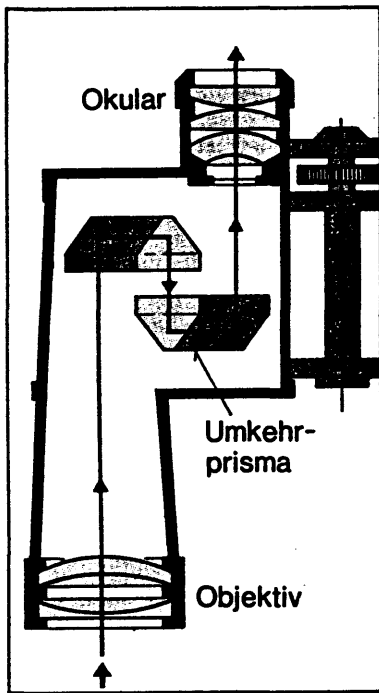
Strahlengang eines Theaterglases



Strahlengang eines Erdfernrohrs

Solche Fernrohre finden als Opern- oder Theatergläser Verwendung. Sie besitzen aber einen kleinen Gesichtsfeldwinkel und lassen nur geringe Vergrößerungen (2- bis 6fach) zu.

Eine andere Möglichkeit zur Bildaufrichtung wird terrestrischen Fernrohr oder Erdfernrohr angewendet. Das Objektiv erzeugt ein umgekehrtes Zwischenbild. Von diesem entwirft die Umkehrlinse ein zweites ebenso großes aufrechtes Zwischenbild, das dann mit der als Lupe wirkenden Okularlinse beobachtet wird. Diese Art der Bildaufrichtung findet außer beim Erdfernrohr auch meist bei Zielfernrohren und bei neueren Nivellierfernrohren Anwendung.

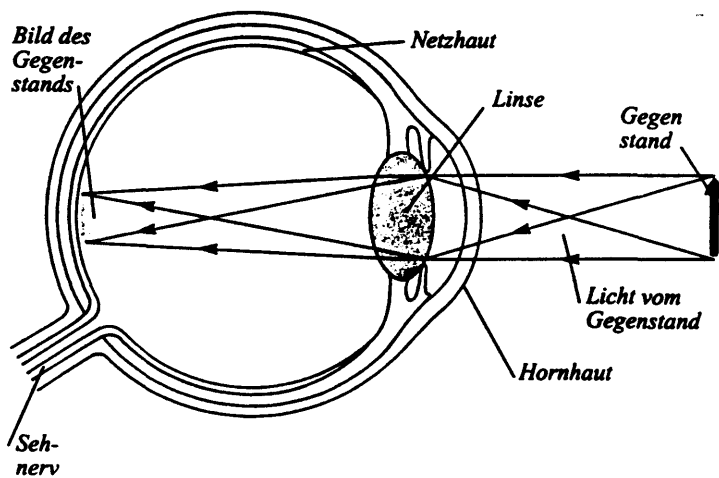


Viel häufiger aber wird die Bildaufrichtung mit zwei total reflektierenden Prismen angewendet. Dabei bleiben die guten Eigenschaften des astronomischen Fernrohrs (großes Gesichtsfeld bei starker Vergrößerung) erhalten, und das Fernrohr wird dazu noch infolge des geknickten Strahlenganges kürzer und handlicher. Diese Bauart des Fernrohrs heißt **Prismenglas**. Die darauf verzeichneten Zahlen bedeuten die Vergrößerung und den in mm angegebenen Durchmesser des Objektivs, von dem die Bildhelligkeit abhängt. So bedeutet die Beschriftung 8 x 30: Die Vergrößerung ist 8fach, und der Objektivdurchmesser beträgt 30 mm. Zur Beobachtung mit beiden Augen werden gleichartige Prismenfernrohre miteinander durch eine Knickbrücke verbunden.

Prismenfernglas

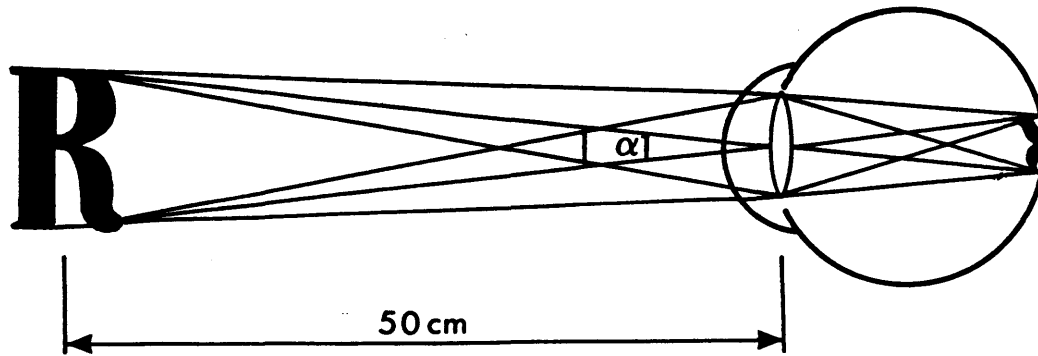
## 7.9 Lesebrille und Lupe

Will man einen Gegenstand vergrößert sehen, muß man dafür sorgen, daß er groß auf der Netzhaut des Auges abgebildet wird.



Ein Bild entsteht: Das Auge funktioniert wie eine Kamera. Licht fällt durch die Linse ein und sammelt sich im Brennpunkt der Netzhaut mit ihren vielen lichtempfindlichen Nervenenden. Sobald diese von Lichtstrahlen getroffen werden, senden sie über den Sehnerv entsprechende Signale ans Gehirn. Das entstandene Bild steht auf dem Kopf, wird jedoch - teilweise durch einen angeborenen Mechanismus - im Gehirn gedreht.

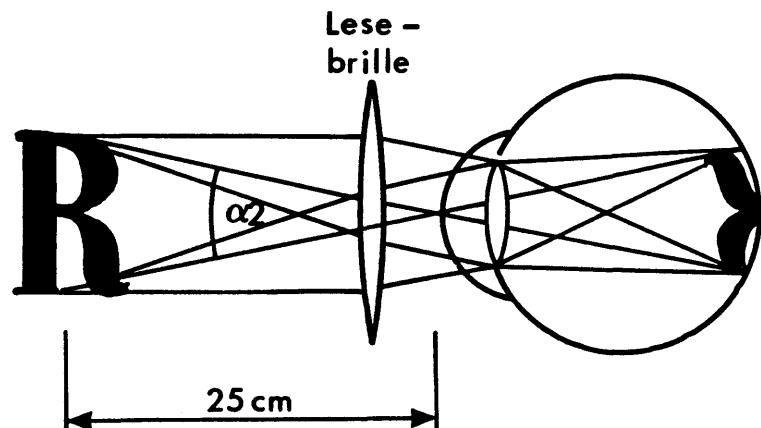
Die Größe des Netzhautbildes hängt vom Sehwinkel ab: Je größer der Sehwinkel, desto größer das Netzhautbild.



Um den Sehwinkel zu vergrößern, kann man den Gegenstand immer näher an das Auge heranbringen. Wenn der Gegenstand allerdings weniger als 10 - 15 cm entfernt ist, d.h. wenn der Nahpunkt (ist altersabhängig) überschritten wird, so schafft es die Augenlinse nicht mehr, die einzelnen Lichtbündel zu Bildpunkten auf der Netzhaut zu vereinigen.

Abhilfe schaffen hier die Sammellinsen einer Lesebrille.

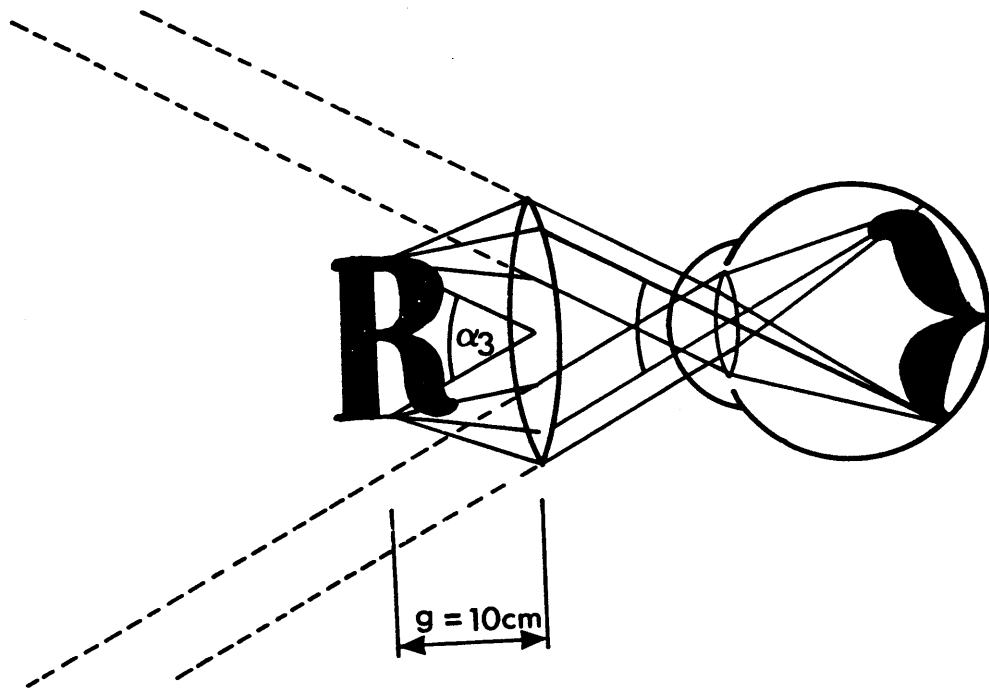
Die Zusatzlinse (Brille) stellt das Bild nur scharf.



Aufgabe der Sammellinsen ist es, die Lichtbündel vor dem Eintritt in das Auge so zu brechen, daß sie weniger stark auseinanderlaufen. Dann schafft es die Augenlinse auch bei einer geringeren Gegenstandsweite wieder, die Lichtbündel zu Bildpunkten auf der Netzhaut zu vereinigen. Die Lesebrille ermöglicht es, Texte wieder in 25 cm statt beispielsweise in 50 cm Entfernung zu lesen. Halbe Entfernung bedeutet der doppelten Sehwinkel und damit doppelte Größe der Netzhautbilder.

Ein wichtiges Hilfsmittel zur Vergrößerung von Seh winkeln ist die Lupe. Als Lupen bezeichnet man Sammellinsen, deren Brennweite erheblich kleiner ist als die *normale Sehweite* (25 cm). Mit ihrer Hilfe kann man scharfe Netzhautbilder von Gegenständen erzeugen, die sich näher am Auge befinden als der Nahpunkt. Man sollte eine Lupe möglichst dicht vor ein Auge halten und dann so nahe an den Gegenstand herangehen, daß sich dieser genau in der Brennebene der Lupe befindet. Alle Lichtbündel, die vom Gegenstandspunkten ausgehen, verlassen die Lupe dann parallel.





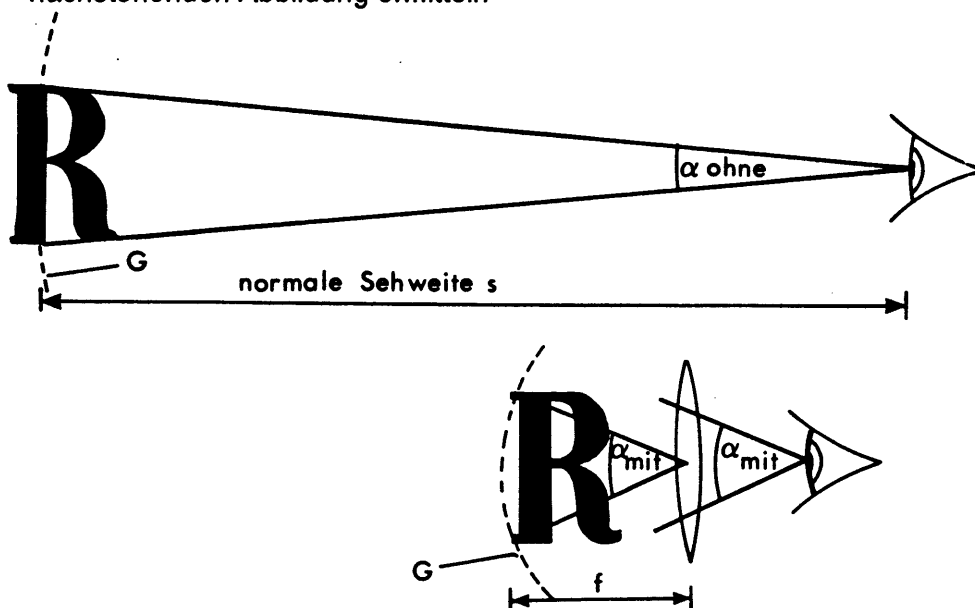
Diese Lichtbündel werden zu Bildpunkten auf der Netzhaut vereinigt, ohne daß die Augenlinse angespannt werden muß.

Für die Größe des Netzhautbildes ist der Sehwinkel entscheidend, d.h. der Winkel, unter dem die beiden Parallelbündel von den Randpunkten des betrachteten Gegenstandes ins Auge fallen. Den gleichen Winkel schließen auch die Strahlen ein, die von diesen Randpunkten durch den Mittelpunkt der Lupe verlaufen.

Die **Vergrößerung V** einer Lupe (und anderer optischer Instrumente) ist definiert als das Verhältnis des Sehwinkels  $\alpha_{mi}$  (mit Instrument) zum Sehwinkel  $\alpha_{oi}$  (ohne Instrument):

$$V = \frac{\alpha_{mi}}{\alpha_{oi}}$$

Wie die Vergrößerung einer Lupe von ihrer Brennweite abhängt, kann man aus der nachstehenden Abbildung ermitteln



Der Sehwinkel  $\alpha_{oi}$  ergibt sich aus der Sehweite  $s$  und der Länge  $G'$  des eingezeichneten Kreisbogens.  $G'$  verhält sich zum Umfang des Vollkreises wie  $\alpha_{oi}$  zu  $360^\circ$ :

$$\frac{\alpha_{oi}}{360^\circ} = \frac{G'}{2 \pi s}$$

Für kleine Winkel kann die Länge des Kreisbogens  $G'$  näherungsweise durch die Gegenstandsgröße  $G$  ersetzt werden:

$$\alpha_{oi} = \frac{G}{2 \pi s} \cdot 360^\circ$$

Entsprechend erhält man für den Sehwinkel mit Lupe:

$$\alpha_{mi} = \frac{G}{2 \pi f} \cdot 360^\circ$$

Für die Vergrößerung einer Lupe ergibt sich daraus:

$$V = \frac{\alpha_{mi}}{\alpha_{oi}} = \frac{s}{f}, \text{ also } V = \frac{s}{f}$$

Wenn nicht anders angegeben, bezieht sich die Vergrößerung stets auf die "normale Sehweite"  $s = 25 \text{ cm}$ .

### Beispiel

Für eine Lupe mit der Brennweite  $5 \text{ cm}$  ergibt sich:

$$V = \frac{25 \text{ cm}}{5 \text{ cm}} = 5$$

Die Lupe vergrößert also  $5 \times$  oder  $5$ fach.