

Grundlagen eines Linsenteleskopes und der Selbstbau eines Linsenteleskopes

Allgemeines:

Es gibt prinzipiell zwei unterschiedliche Linsenteleskope, die eine Methode ist die nach Kepler und die andere nach Galileo Gallilei. Das Teleskop nach Kepler zeigt ein seitenverkehrtes und kopfstehendes Bild und besteht aus mindestens zwei konvexen Linsen (sog. Sammellinsen), sowohl als Okular als auch als Objektiv. Das Teleskop nach Galileo Gallilei zeigt ein aufrechtes und seitenkorrektes Bild, es benutzt mindestens eine konvexe Linse als Objektiv und eine konkave Linse (Zerstreuungslinse) als Okular.

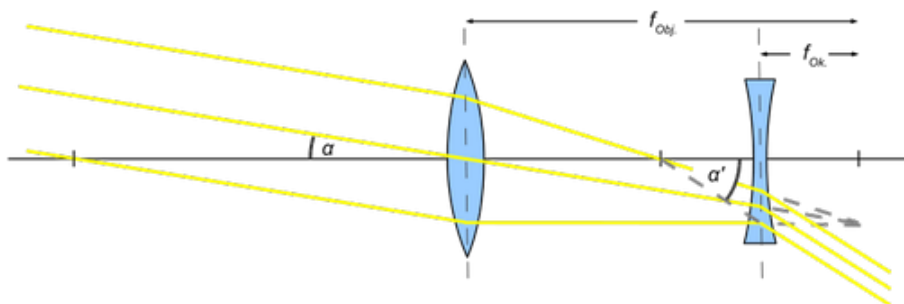


Abb. 1: Prinzip des Galileio Teleskopes (Quelle: wikicommons)

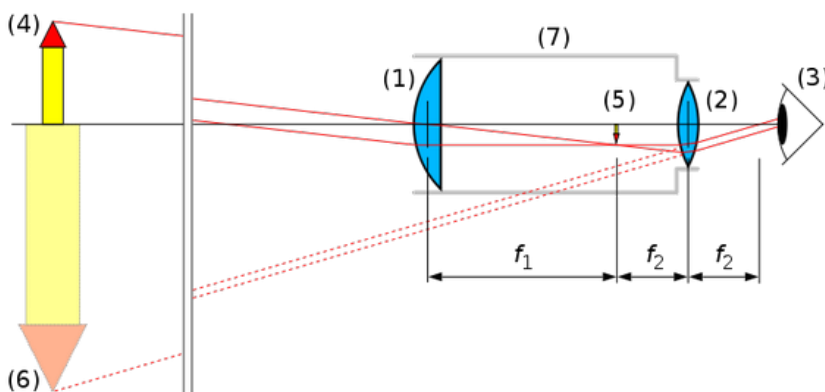


Abb. 2: Prinzip des Kepler Teleskopes (Quelle: wikicommons)

Das Objektiv ist der Teil des Teleskopes an dem das Licht gesammelt wird, das Okular (von „Augenstück“) vergrößert das vom Objektiv erzeugte Bild und „projiziert“ es auf das Auge.

Allen beiden Systemen ist gemeinsam das aufgrund der unterschiedlichen Brechung im Glas von unterschiedlichen Lichtwellenlängen Farbsäume, speziell bei höheren Vergrößerungen auftreten. Um dies zu umgehen gibt es sogenannte achromatische und apochromatische Linsen, diese Linsen bestehen aus mehreren Linsen unterschiedlicher Glassorten und unterschiedlichsten Verbindungsmethoden. Im einfachsten Fall kann die Verbindungsmethode ein Luftspalt sein, die Linsen sind dann an den Rändern verkittet. Es gibt jedoch auch achromatische und apochromatische Linsen mit Ölfüllung oder anderen Medien. Mit diesen Linsen ist es möglich den Farbsaum zu minimieren, Hundertprozentig wegbekommen wird man diesen Farbsaum jedoch aufgrund von physikalischen Hindernissen nie. Achromatische Linsen sind um einige Euro zu erhalten,

apochromatische Linsen, sind wesentlich teurer, da dafür exotische Glassorten verwendet werden müssen z.B. Fluoritglassorten, da kann eine Linse schon mehrere hundert Euro kosten.

Jede Linse hat ein paar Kennzahlen, die wichtigste ist die Brennweite, diese bezeichnet den Abstand von der Linsenoberfläche bis zu dem an dem das gesammelte Licht konzentriert wird. Eine andere wichtige Kennzahl ist der Durchmesser, der Durchmesser als solches gibt die Lichtsammelfähigkeit wieder. Beispielsweise hat eine 50mm durchmessende Linse eine ca. 70 fach erhöhte Lichtsammelfähigkeit als das menschliche Auge (6mm Pupillendurchmesser), eine 100mm durchmessende Linse hat bereits eine ca. 278 fach erhöhte Lichtsammelfähigkeit als das menschliche Auge. Aufgrund dieser Tatsache ist ersichtlich das ein ungeschützter Blick in die Sonne mit einem Teleskop, egal welcher Größe gesundheitliche Schäden am Auge verursacht.

Dazu ein kurzes Beispiel: Die Sonne strahlt im Schnitt pro Quadratmeter in unseren gemäßigten Breiten 1000W ein, ein Teleskop mit 50mm Durchmesser hat eine Lichtsammelfläche von 1963mm², dies sind 1/509 der Fläche eines Quadratmeters oder rund 2 W an Lichtleistung, die bei Betrachtung mit einem Okular auf 6mm Augenfläche gebündelt werden. Mit diesen 2 Watt brennt ein Blatt Papier mühelos und dementsprechend sind die Auswirkungen auf das ungeschützte Auge!

Also nie mit einem Teleskop in die Sonne schauen!

Ausnahmen sind sogenannte Sonnenteleskope oder Teleskope mit einem speziellen Objektivfilter, der die eingestrahlte Energie minimiert. Okularfilter würde es bei der eingestrahlten Energie nach kürzester Zeit zerreißen und es ebenso nicht sichergestellt, welche Frequenzbereiche abgeblockt werden. Bei solchen Filtern ist es durchaus möglich, dass Infrarotstrahlung oder ultraviolettes Licht durch den Filter gelassen wird. Fazit, nie Okularfilter für die Sonnenbeobachtung verwenden!

Die Einheit Dioptrien ist nichts anders als der Kehrwert der Brennweite, also 5 Dioptrien bezeichnen 200mm (0.2m) Brennweite, 10 Dioptrien dementsprechend 100mm Brennweite (0.1m).

Bei Teleskopen gibt es ein paar wichtige mathematische Formeln, die hier kurz erläutert werden, obwohl schon Stephen Hawking richtiger weise bemerkt hat, dass jede Formel in einem Buch die Auflagezahl reduziert, nur nachfolgende Formeln gehören zu den Grundlagen und sollten für jeden Astronomen bekannt sein. Die Formeln gelten für alle Arten von Teleskopen, also auch für Spiegelteleskopen, Cassegrain, Maksutovs oder Schiefspiegler.

Das Öffnungsverhältnis dieses bezeichnet die Lichtstärke eines Teleskopes, desto niedriger die Zahl ist, desto lichtstärker ist dieses System. In der Fotografie spricht man auch von schnellen oder langsamen Systemen, desto niedriger das Öffnungsverhältnis, desto schneller das System und vice versa.

Die Formel hierzu ist: **Öffnungsverhältnis = f/D**

Beispiel:

Ein Teleskop mit 600mm Brennweite und 100mm Durchmesser hat ein Öffnungsverhältnis von 6.

Die Vergrößerung eines Teleskopes, diese gibt an um wie vielfach ein Gegenstand vergrößert wird, gegenüber dem „unbewaffnetem“ Auge.

Die Formel hierzu ist: **Vergrößerung = Objektivbrennweite/Okularbrennweite**

Beispiel:

Ein Teleskop mit 600mm Objektivbrennweite und mit 10mm Okularbrennweite hat eine Vergrößerung von 60 fach.

Die Grenzhelligkeit eines Teleskopes:

In der Astronomie werden Sterne und astronomische Objekte in Größenklassen eingeteilt, mit dem Auge sind Sterne bis zur 6 Größenklasse (auch Magnitude) bei optimaler Sicht erkennbar. Aufgrund der größeren Lichtsammel­fläche eines Teleskopes, steigt mit größerem Objektivdurchmesser eines Teleskopes die Grenzhelligkeit an.

Die Formel hierzu ist: **$2.512 * \log(\text{Öffnungsdurchmesser}^2/36) + 6$**
(log... Zehnerlogarithmus)

Beispiel:

Ein Teleskop mit 50mm Objektivdurchmesser hat eine Grenzhelligkeit von 10.6 mag

Ein Teleskop mit 80mm Objektivdurchmesser hat eine Grenzhelligkeit von 11.65mag.

Ein Teleskop mit 100mm Objektivdurchmesser hat eine Grenzhelligkeit von 12.13mag.

Fotografisch steigt die Grenzhelligkeit nocheinmal jeweils um 2-3 Größenordnungen an. Also hat ein Teleskop mit 80mm Objektivdurchmesser eine fotografische Grenzhelligkeit von rund 14-15 mag.

Die maximale Vergrößerung eines Teleskopes:

In vielen Kaufhausprospekten und auch bei EBay wird mit der maximalen Vergrößerung geworben, da kann schon mal ein Teleskop mit 50mm Objektivdurchmesser 300 fach vergrößern. Diese Vergrößerungen sind aufgrund der zugrundeliegenden Physik ins Reich der Phantasie zu verweisen. Aufgrund der Beugung und Brechung des Lichtes sind solche Vergrößerungen nicht mehr sinnvoll zu bewerkstelligen, da entsteht dann schnell aus einer scharfen Abbildung bei niedriger Vergrößerung ein verschwommenes, lichtschwaches Bild bei hohen Vergrößerungen. Bei all diesen Betrachtungen ist die eingangserwähnte unterschiedliche Farbbrechung von Linsen noch gar nicht berücksichtigt, das heißt bei großen Vergrößerungen wird diese obendrein das Bild stören.

Als Faustformel für die maximale Vergrößerung eines Teleskopes kann angenommen werden:

Maximale Vergrößerung = Objektivdurchmesser (in mm) x 2

Beispiel: Ein Teleskop mit Objektivdurchmesser von 50mm hat eine maximale sinnvolle Vergrößerung von 100.

Die theoretische maximale Auflösung in Bogensekunden bei 550nm (grün):

Die maximale Auflösung ist abhängig von der beobachteten Wellenlänge, diese liegt beim menschlichen Auge bei ungefähr 550nm. Dies bedeutet dass zwei Objekte am Himmel mit einem Abstand X gerade noch als 2 Objekte wahrgenommen werden können. Dies ist für Details auf Planeten oder für die Trennung von Doppelsternen wichtig.

Die Formel hierzu ist sehr einfach und lautet:

Auflösungsvermögen in Bogensekunden = $138,6/\text{Objektivdurchmesser}$

z.B. 50 mm Refraktor

$$138.6/50 = 2.772 \text{ Bogensekunden}$$

z.B. 80 mm Refraktor

$$138.6/80 = 1.7325 \text{ Bogensekunden}$$

zB. 127 mm Spiegelteleskop

$$138.6/127 = 1.09 \text{ Bogensekunden}$$

Der Selbstbau eines Refraktors:

Um nun einen Refraktor nach dem Kepler Prinzip zu bauen benötigt man nicht viel.

Dazu werden Linsen für das Objektiv und für das/die Okulare benötigt. Sowie ein paar Materialien zum Halten der Linsen.

Folgende Materialien werden benötigt:

1 Linse als Objektivlinse, z.B. 50mm Achromat, Brennweite 182.5mm (bestehend aus 2 verkitteten Linsen) von Astromedia oder aus der Ebay Fundgrube.

3 Linsen für 2 Okulare, z.B. Achromaten, Brennweite 26.5mm von Astromedia (ebenfalls bestehend aus jeweils 2 verkitteten Linsen)

1 Stück Polocal Endrohr, Länge 250mm bzw. angepasst an die Brennweite des Objektivs

Etwas Pappdeckel, Klebstoff (ich verwende der schnellen Haltbarkeit wegen UHU hart)

Etwas Gewebeklebeband und natürlich eine Schere. Etwas Lack um das ganze etwas freundlicher zu gestalten.

Das Fernrohr mit den Okularen ist in etwa 1 Stunde komplett aufgebaut und hat erstaunlich gute optische Eigenschaften für so ein einfaches Teleskop.

Als erstes längt man das Polocalrohr auf ca. 180mm (also ungefähr auf die Brennweite des Objektivs) ab. Danach befestigt man vorsichtig um so wenig wie möglich an Fingerabdrücken auf dem Objektiv zu hinterlassen (Spezialisten verwenden Leinenhandschuhe) die Objektivlinse mit wenig Klebstoff am Rand des Polocalrohres (bei mir auf der Dichtung). Dies sollte nach einiger Zeit sehr gut halten.

Nun benötigt man für ein funktionierendes Teleskop noch ein oder mehrere Okulare. Dazu habe ich zwei verschiedene Okulare gebaut, eines nach dem Keplerprinzip, also einer einfachen Sammellinse als Okular. Das andere Okular nach der Plösslbauweise.

Für das Okular nach dem Keplerprinzip benötigt man eine einzige Linse, bei mir jedoch ist diese eine achromatische Einzellinse (aus 2 zusammengekitteten Linsen), die in eine gerollte Papprolle geklebt wird. Die Einzellinse hat eine Brennweite von 26.5mm. Das Gewebeklebeband dient zur einfachen Fixierung der Rolle. Die Papprolle als solche entspricht genau dem Innendurchmesser des Polocalrohres (etwas strenger machen, damit das Okular im Rohr bewegt werden kann), die Linse wird mittig in zwei Scheiben befestigt und geklebt, so dass die flache Seite der Linse auf einem dieser Scheiben geklebt werden kann. Die Scheiben haben natürlich ein Loch, das etwas kleiner als der Durchmesser der Linse ist, damit das Licht das Auge erreichen kann. Die Länge der Papprolle hat ca. 75mm. Die Linse ist nun quasi zwischen zwei Pappscheiben fixiert. Das so entstandene Okular wird noch innen und außen mit schwarzer Farbe, zur Verhinderung von Reflexionen bestrichen, dazu habe ich einen breiten Edding benutzt. Mit der Verschiebung des Okulares nach vorne oder nach hinten stellt man das Bild scharf.

Ein Plössllokular besteht aus 2 achromatischen Linsen, die Wölbseite der beiden achromatischen Linsen schauen zueinander, sodass diese beiden Wölbseiten aufeinander zu liegen kommen.

Das nächste Bild zeigt den prinzipiellen Aufbau des Plössllokulares.

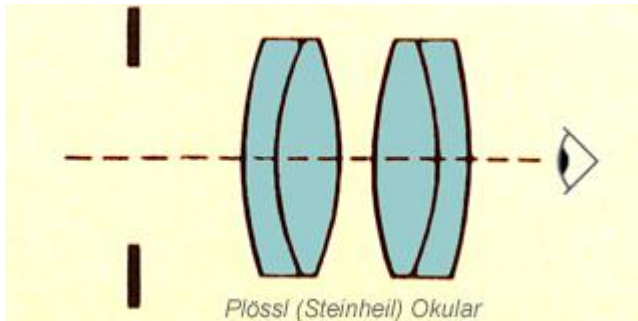


Abb.3: Plössl-Okular, prinzipieller Aufbau.

Die beiden flachen Seiten der beiden Linsen werden jeweils wieder an den Pappscheiben angeklebt, die Linsen halten sich gegeneinander und werden auch noch durch die Pappscheiben gehalten. Die Scheiben haben natürlich ein Loch, das etwas kleiner als der Durchmesser der Linse ist, damit das Licht das Auge erreichen kann. Hierbei wurden ebenfalls zwei 26.5 achromatische Linsen benutzt, dadurch verkürzt sich die Gesamtbrennweite des Okulars auf ca. 13.25mm. Der Träger für die Linsen und die beiden Pappscheiben ist wiederum eine nach obigem Muster hergestellte Papprolle. Bei mir ist die Papprolle geringfügig länger als das einfachere Okular und die Länge beträgt ca. 90mm. Der Außendurchmesser beider Papprollen beträgt 45mm, aber dies ist nur ein grober Anhalt, da die Rolle leicht, aber dennoch bestimmt in das Polocalrohr rutschen soll und sich auch dort zum scharf stellen bewegen lassen soll.

Durch diese einfache Bastelei ist ein relativ optisch gutes Teleskop entstanden, welches eine Vergrößerung von ca. 14 fach bzw. 7. fach bei einer hohen Lichtstärke von 3.65 leistet. Dadurch ist das Teleskop durchaus für die Beobachtung von grossflächigen Deep Skyobjekten geeignet (z.B. M31).

Zur Befestigung des Teleskoprohres an einem handelsüblichen Fotostativ kann man eine Fotostativmutter mit Epoxy Harz am Rohr befestigen oder eine dem Rohrdurchmesser entsprechende aus Holz gebaute Halterung verwenden.

Die nachfolgenden Abbildungen 4,5,6 und 7 zeigen das Teleskop und dessen Aufbau.



Abb. 4: Teleskop aus Polycalrohr mit einer Achromatischen Linse als Objektiv.



Abb.5: Teleskop mit eingesetzten Selbstbauokular.



Abb.6: Selbstbauokular nach Plössl



Abb.7: Selbstbauokular nach Kepler

Natürlich lässt sich am Design einiges verbessern, ebenso am mechanischen Aufbau, aber mit einfachen Mitteln ist es möglich ein Linsenteleskop das durchaus respektable Ergebnisse liefern kann aufzubauen. Das Design und den mechanischen Aufbau zu verbessern ist der Ansporn bei diesem Projekt, ich würde mich für Anregungen und Ergebnisse unter christopher.brandl@oearv.at freuen.

Die Kosten für die gesamte Basterei betragen ungefähr 20 Euro, und benötigt ca. eine Stunde an Zeit. Das Teleskop als solches übertrifft das Teleskop welches Galileo Gallei aufgebaut hat und ist für einfache Beobachtungen durchaus geeignet.