

Okulare, das teure Ende des Fernrohres

Entwicklung der Okulare
Auswahl für den Sternfreund
im Spannungsfeld von
Bildfeld, Fehler Korrektur, Kosten und Gewicht



Zusammengestellt im August 2016
Bernd Nagel

Frühe Entwicklung der Fernrohre und Okulare

- Linsen sind seit etwa 2500 v. Chr. bekannt als Lupen und Brenngläser. Es ist jedoch kein Fernrohr aus früherer Zeit überliefert.
- 1608 Lipperhey / Galilei Fernrohr aus einfachen Linsen, Objektiv 30cm Brennweite, Okular -10cm Brennweite, kein Patent weil schon bekannt
- 1610 Kepler Fernrohr 10° Einzellinsen als Objektiv und Okular
- 1668 Newton Spiegelteleskop
- 1703 Huyghens Okular 40° , **chromatische Queraberration** korrigiert, später modifiziert durch Mittenzwey (~1800) und Airy (~1835) für etwas größeres Bildfeld
- 1760 Dollond 20° erstes Achromatisches Doublet als Objektiv und Okular
- 1783 Ramsden 35° Augenabstand = 0 !, später modifiziert mit Augenabstand >0 auf Kosten der Korrektur
- 1849 Kellner 45° 1-2 Augenlinse achromatisch
- 1860 Plössl 45° Zwei asymmetrische Doublets, 1920 mod. als Orthoskop II durch Albert König bis 60°
- 1880 Abbe 30° Orthoskopisches Okular

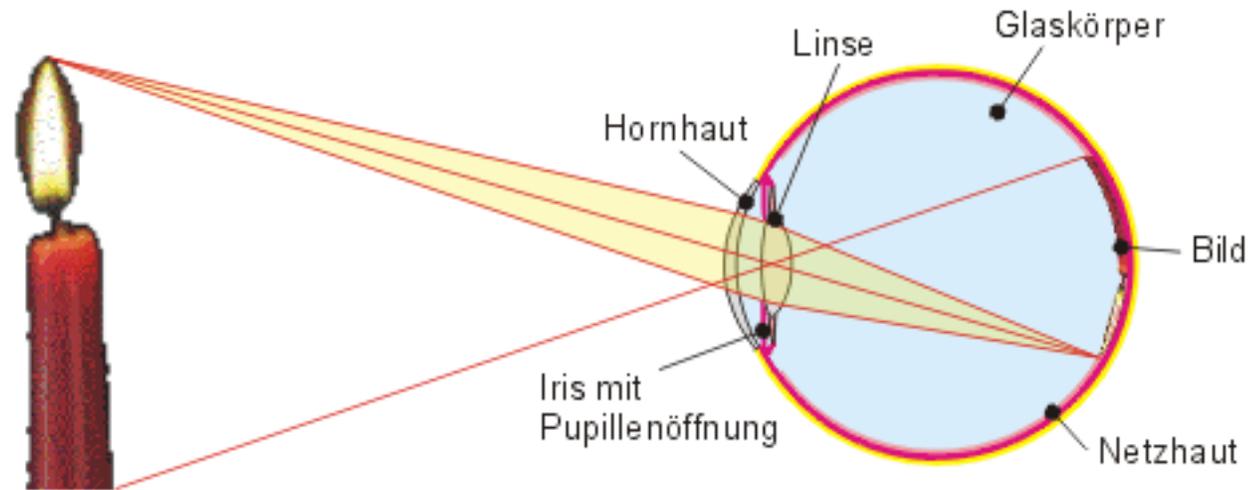
Weitwinkelokulare ab 1900

- Ab Ende des ersten Weltkrieges entwickelten sich Weitwinkelokulare $> 60^\circ$, vor allem für militärische Zwecke (Feldstecher, Suchfernrohre)
 - 1917 Erfle I 60° 1-2-2
 - 1923 Erfle II 70° 2-1-2 Ausgangsdesign für viele heutige Weitwinkel
 - 1923 Kapella 70° 1-2-2 Erfle II modifiziert, größeres Feld
 - 1923 Kaspereit 65° 2-2-2
 - 1925 Bertele 70° 1-1-2 Weitwinkel Okular für Militär Feldstecher
- Nach dem zweiten Weltkrieg werden große Mengen an benutzten und unbenutzten „Surplus“ Weitwinkel Okularen vom Militär verkauft und damit für Amateure erreichbar
- ~1960 Köhler 120° Zeiss, mit Smith Linse
- 1968 Scidmore 90° ohne Smith Linse
- 1979/81 Nagler Typ 1 82° 2-1-2-2 , erstes gut korrigiertes 82° Okular für den Amateur „Space Walk Feeling“
- 1985 Pretoria 50° 2-1-2-1 , Klee, komakorrigierendes Okular für Newton Fernrohre

Moderne Weitwinkelokulare für den Amateur

- Mit dem Erscheinen der Nagler Okulare setzt ein Wettlauf um Bildfeld und Korrektur ein, getrieben durch große Dobson Teleskope mit recht kurzer Brennweite. 1:4 und noch kürzer ist mit Paracorr 2 durchaus üblich.
- 1984 Nagler Typ 2 82° 2-1-2-1-2 reduzierte sphärische Aberration der Austrittspupille „Kidney Beating“
- 1985 Meade Ultra Wide 84 ° 2-1-2-1-2 , ähnlich Nagler 2
- 1988 Panoptic 68° 2-1-1-2 Okular ohne Smith Linse
- 1990 Leitz 88° & 90° 2-1-1-3
- 2001 Nagler Typ 5 31mm 82° „Onkel Al`s Handgranate“
- 2007 Ethos 100° Okulare
- 2010 Ethos SX 110° Okulare
- 2012 Komakorrigierende Barlow Gerd Düring
- 2013 Explore Scientific 9mm 120° Okular

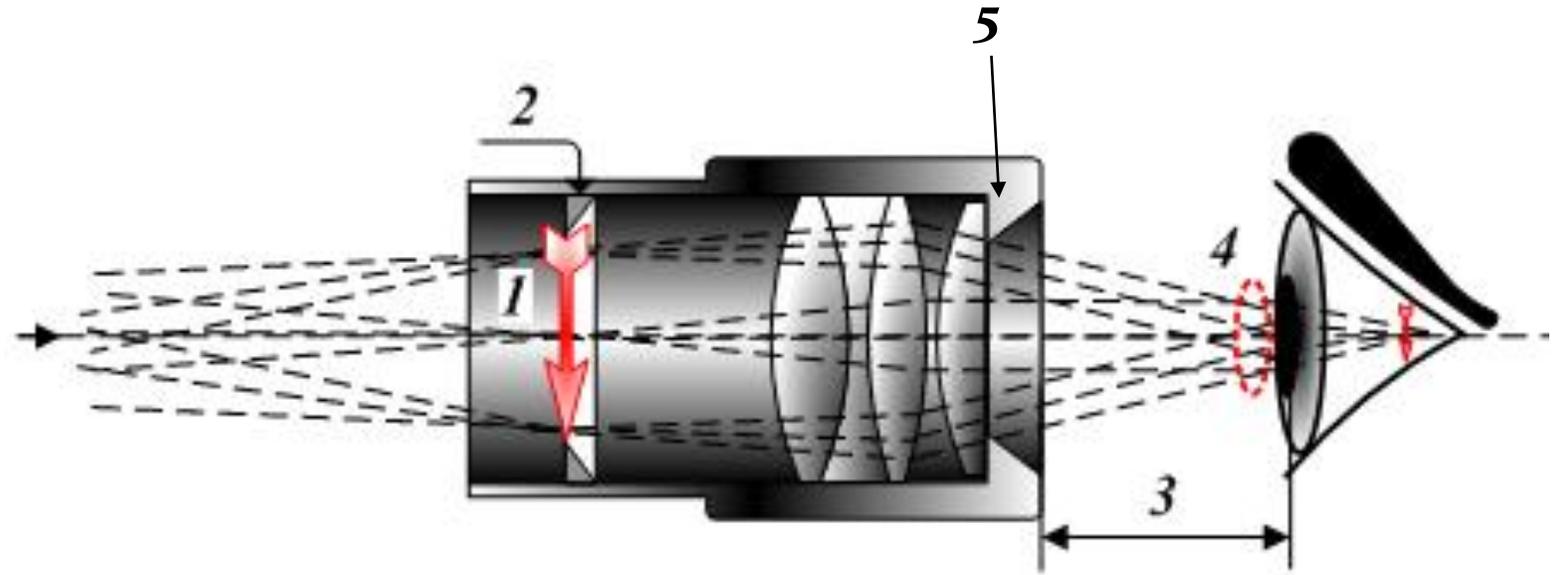
Ein kurzer Abstecher in die Biologie.....



Junge Menschen haben eine Pupillenöffnung von 7 - 7,5mm
Mit zunehmendem Alter wird diese Pupillenöffnung aber kleiner.
Sie schrumpft auf etwa 4 – 5mm.
Es macht daher eigentlich keinen Sinn im höheren Alter Okulare mit einer großen Austrittspupille zu kaufen
Am Tage hat unsere Pupille etwa 1,5mm und in der Nacht den Maximalen Durchmesser

Grundwissen bei einem Okular

- 1: Das wahre Bild vom Objektiv kommend
- 2: Feldblende
- 3: Augenabstand
- 4: Austrittspupille
- 5: Aperturblende



Orthoskopisches Okular

Brennweite und Vergrößerung

Die [Brennweite](#) eines Okulars ist in [Millimetern](#) angegeben und bestimmt zusammen mit der Brennweite des Objektivs die Vergrößerung des optischen Gerätes, in dem es verwendet wird (je kleiner die Brennweite, desto höher die Vergrößerung). Hat ein [Teleskop](#) zum Beispiel eine Brennweite von 2000 mm und das Okular von 20 mm, so ergibt sich eine Vergrößerung von 100x (einhundertfach).

Für die Vergrößerungsberechnung ergibt sich diese Formel:

$$v = \frac{F_{\text{Objektiv}}}{F_{\text{Okular}}}$$

Wahres Gesichtsfeld –Zahl

Aus dem Durchmesser d der Feldblende und der Brennweite f des Fernrohrs kann das wahre [Gesichtsfeld](#) einer Teleskop-Okular-Kombination, also der Ausschnitt am Himmel, einfach berechnet werden:

$$\text{wGF}[^{\circ}] = 2 \cdot \arctan\left(\frac{d}{2 \cdot f}\right)$$

Bei Huygens- und Mittenzwey-Okularen gilt die Formel nicht, da vor der Feldblende eine Optik liegt, welche das durch die Teleskopoptik entworfene Bild in der Größe ändert.

Jetzt das ganze mal etwas griffiger.....
Bildlicher.....

26mm Okular 52°



26mm Okular 82°



26mm Okular 100°



Scheinbares Gesichtsfeld

Das scheinbare Gesichtsfeld ist definitionsgemäß der Winkel unter dem einem Betrachter das Bild erscheint – also der Winkel, den die Strahlen vom oberen und unteren Bildrand bilden. Das scheinbare Gesichtsfeld bestimmt, wie "tunnelartig" der Blick durch das optische Instrument ist. Das Gesichtsfeld wird in [Winkelgrad](#) angegeben. Ein großes Gesichtsfeld lässt den Beobachter scheinbar tiefer ins Bild eindringen, weil es am Rand Objekte abbildet, die bei einem kleineren Gesichtsfeld abgeschnitten wären.

Ab einem Gesichtsfeld von ca. 60° spricht man von einem Weitwinkelokular. Derzeit sind für Amateur-Teleskope Okulare mit Gesichtsfeldern von ca. 30° bis 120° verfügbar.

Bei einer Feldblende mit dem Durchmesser d gilt – unter der Annahme einer verzeichnungsfreien Abbildung – analog zur Formel für das wahre Gesichtsfeld:

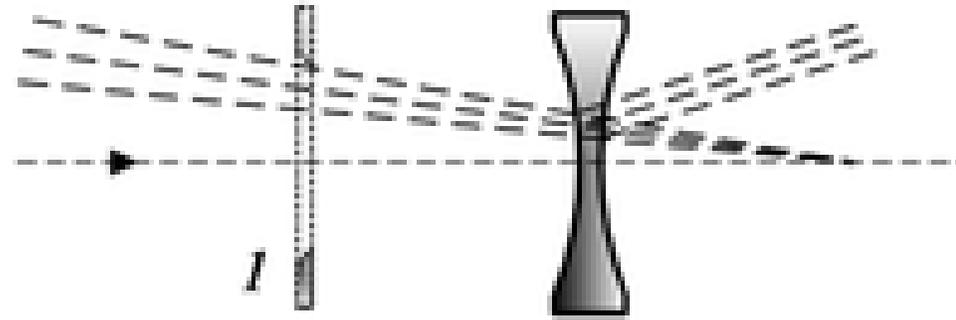
$$\tan \frac{sGF}{2} = \frac{d}{2 \cdot F} \quad \text{und somit} \quad \tan \frac{sGF}{2} = \frac{f}{F} \cdot \tan \frac{wGF}{2}$$

Dabei sind F die Brennweite des Okulars und f die des Objektivs. Bei kleinen Winkeln, z. B. nahe der optischen Achse, ist daher der Faktor die Vergrößerung des Systems. **Bei großen Winkeln gilt dann der Zusammenhang:**

$$sGF = 2 * \arctan \left[\frac{f}{F} \cdot \frac{\tan wGF}{2} \right]$$

Okulartypen

Einlinsige Okulare



Galilei: nur virtuelle Feldblende

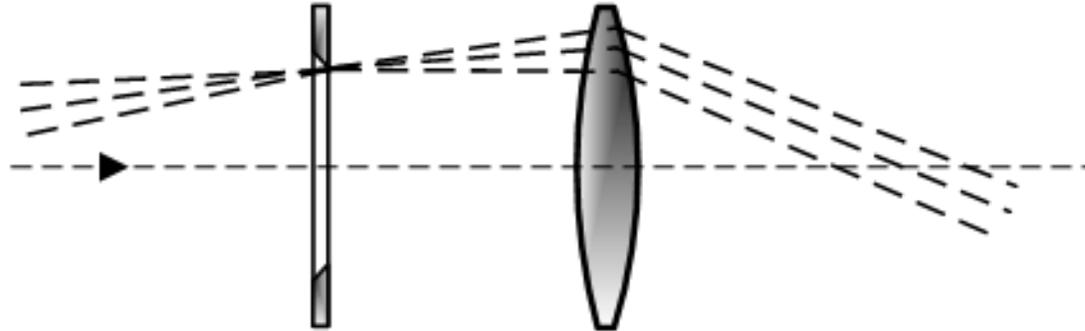
•Galilei-Okular

Das Galilei-Okular besteht aus nur einer [bikonkaven](#) Einzellinse und erlaubt keine

- Pupillenabbildung (und daher auch kein Fadenkreuz). Es wurde als erstes praktisch
- realisiert (1608 in Holland) und von Galilei nacherfunden.

Es wird heute überwiegend in billige Geräte eingesetzt, um ein aufrechtes Bild zu erhalten.

- Doch kommt es auch in Optiken zum Einsatz, wo nur eine schwache Vergrößerung gefragt ist
- beispielsweise beim [Opernglas](#) („Operngucker“).

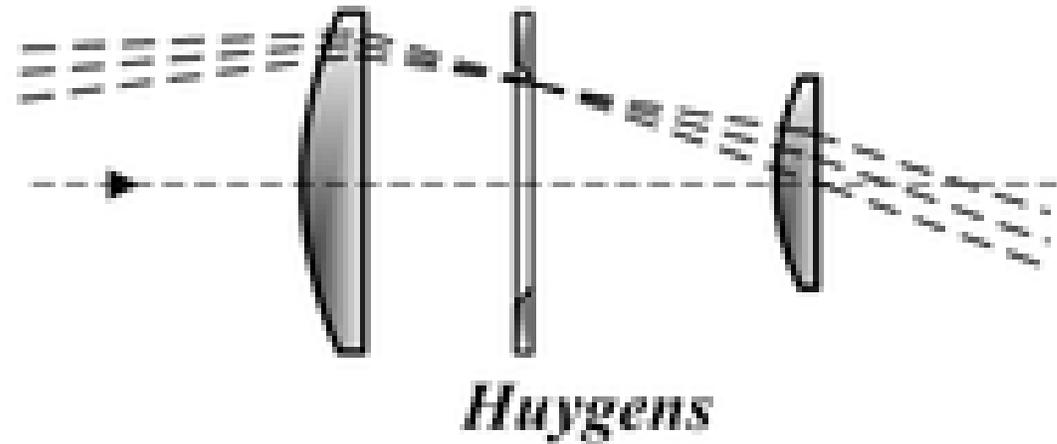


Kepler-Okular: reelle Feldblende

- **Kepler-Okular**

Das Kepler-Okular besteht aus einer einfachen bikonvexen oder [plankonvexen Sammellinse](#) und erlaubt die Pupillenabbildung (reelles Bild im Brennpunkt der Linse, dadurch Möglichkeit eines [Fadenkreuzes](#)). Allerdings steht das Bild auf dem Kopf. Das [Bildfeld](#) ist durch die Fehler einer Einzellinse beschränkt, es findet keine Farbkorrektur statt. Diese ist erst bei der Kombination von mindestens zwei Linsen möglich:

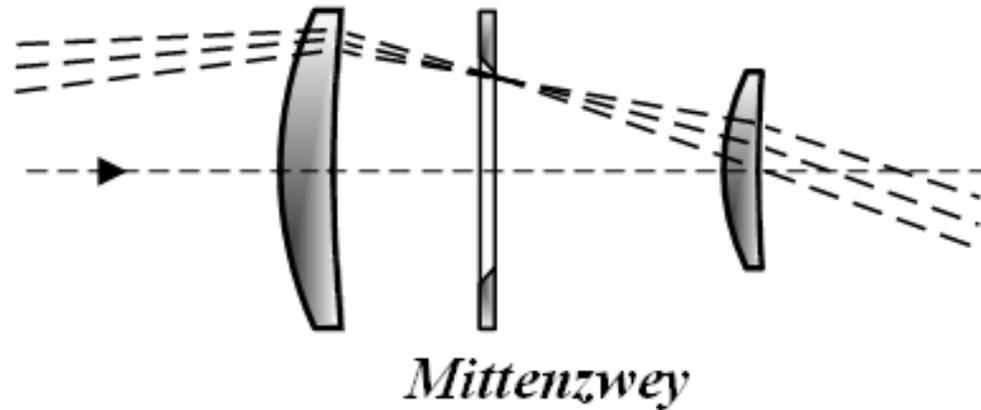
Mehrlinsige Okulare



- **Huygens-Okular**

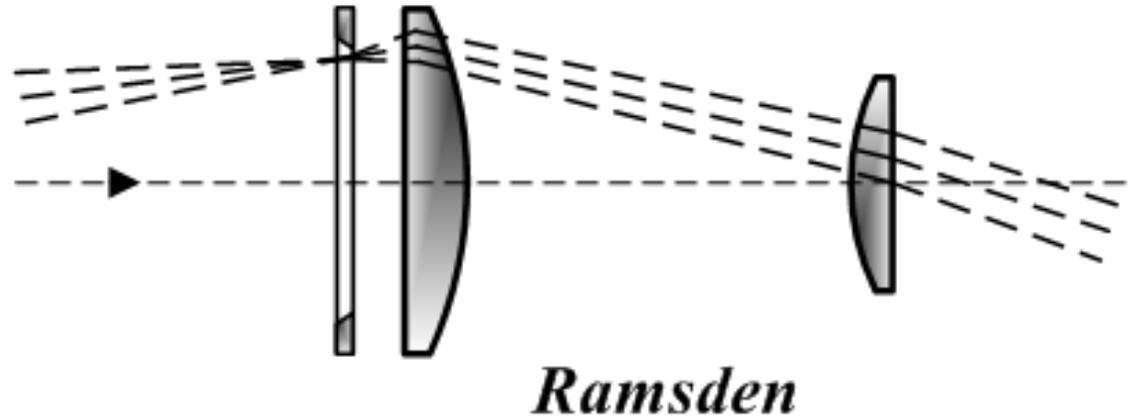
Huygens hat um 1670 durch Berechnungen bewiesen, dass sich die Farbfehler, die chromatische Aberration

- im achsnahen Bereich deutlich verringern lassen, wenn man die einfache Okularlinse durch ein System zweier
- plankonvexer Linsen im geeigneten Abstand ersetzt. Dieser Okulartyp findet immer noch Verwendung in preisgünstigen Geräten.



- **Mittenzwey-Okular**

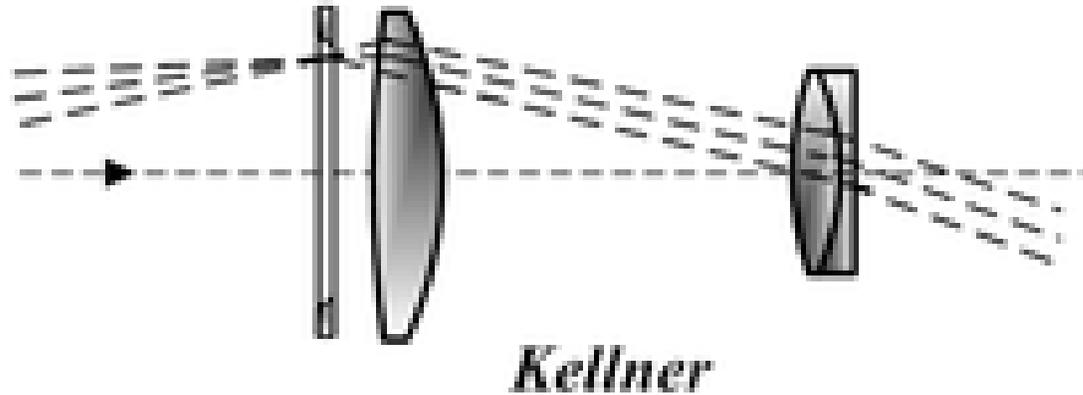
von [Moritz Mittenzwey](#), 18. Jahrhundert. Es ähnelt dem Huygens-Okular, hat aber statt der Planlinsen zwei Menisken. Dadurch vergrößert sich das Gesichtsfeld auf bis zu 50° .



- **Ramsden-Okular**

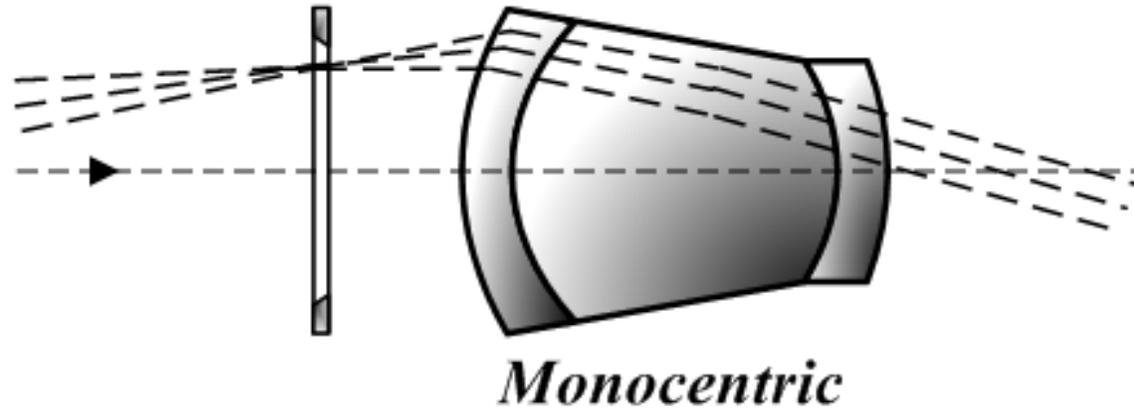
- Das Ramsden-Okular wurde von [Jesse Ramsden](#) (1735–1800) entwickelt, wahrscheinlich ohne Kenntnisse des Huygens-Okulars. Wie dieses hat es zwei plankonvexe Linsen, doch ist die erste Linse umgedreht, sie zeigt mit ihrer planen Seite zum [Objektiv](#). Das Okular hat ähnliche Eigenschaften wie das Huygens-Okular, allerdings liegt eine [Zwischenbildfläche](#) auf der Planseite der ersten Linse, so dass sich für ein [Fadenkreuzokular](#) Strichmarken für Messzwecke einsetzen lassen. Die Austrittspupille liegt auf der Planseite der Augenlinse, weshalb das Gesichtsfeld nicht vollständig zu überblicken ist. Durch Zusammenrücken der Linsen kann man das ändern, wobei aber die Achromasiebedingung nicht mehr erfüllt ist. Abhilfe bietet das [Kellner-Okular](#).

Kellner- und monozentrische Okulare



Kellner-Okular

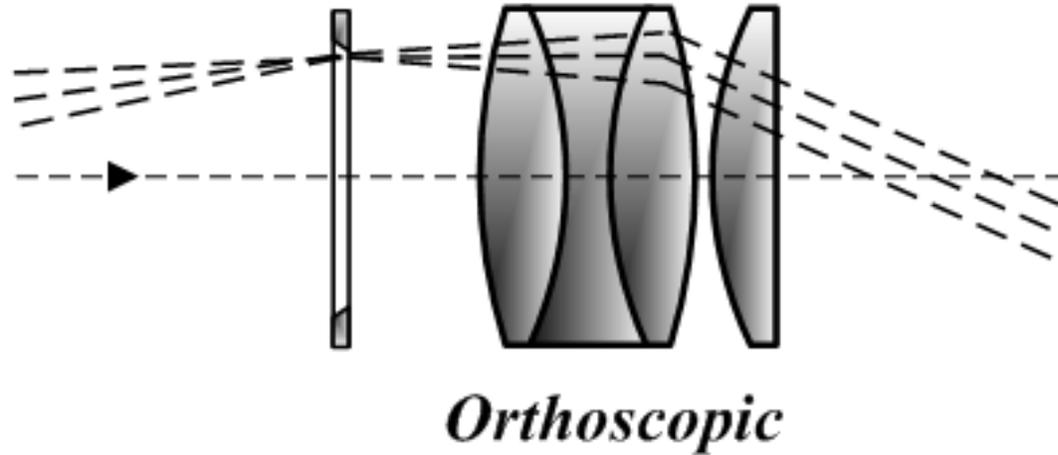
Das Ramsden-Okular wurde 1847 durch [Carl Kellner](#) dadurch verbessert, dass er die augenseitige Linse durch ein verkittetes Linsenpaar ([Achromat](#)) zur Farbkorrektur ersetzte. Die [Feldlinse](#) blieb eine einfache, bikonvexe Sammellinse. Die Linsenkombination verringerte neben den Farbrändern die bei den damaligen [Mikroskopen](#) normalen Verzerrungen. In der [Amateurastronomie](#) gehörte das kostengünstige Okular bis in die 1970er-Jahre zur Grundausrüstung einfacher Fernrohre und auch heute in Kartonbausätzen.



Monozentrisches Okular

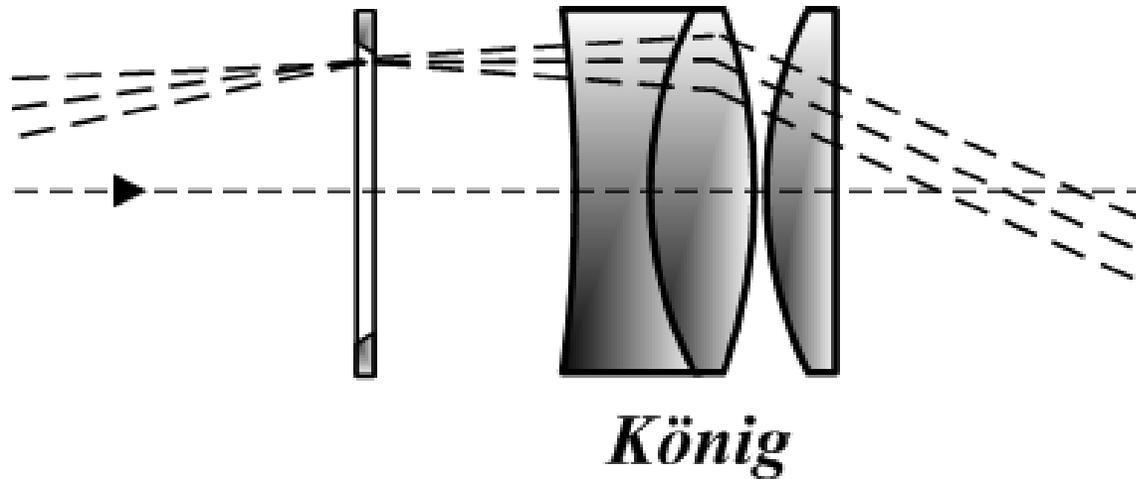
Das Monozentrische Okular wurde von Steinheil etwa um 1880 erfunden. Es besteht aus einer symmetrischen bikonvexen Barium-Kronglaslinse, die von zwei Flintglasmenisken eingeschlossen wird. Wie beim Steinheil-Aplanat haben die Linsenoberflächen einen gemeinsamen Mittelpunkt. Hier wird der Farbfehler vollständig berichtigt. Da die Linsen verkittet sind, ist dieses Okular sehr Streulicht- und reflexarm. Der Augenabstand liegt bei dem 0,85-fachen der Brennweite, das scheinbare Sichtfeld bei 28° . Für lichtstarke Teleskope ist es ungeeignet.

Orthoskopische Okulare



Orthoskopisches Okular nach [Ernst Abbe](#)

Dieses Okular besteht aus einer [Feldblende](#), einer verkitteten Dreiergruppe und einer plankonvexen Linse. Das Okular korrigiert sehr gut durch die [vier Glas-Luft-Flächen](#). Die Dreiergruppe besteht aus einer bikonkaven Linse, die von zwei bikonvexen Linsen eingeschlossen wird. Dieses Okular gilt als Standard für astronomische Beobachtungen.

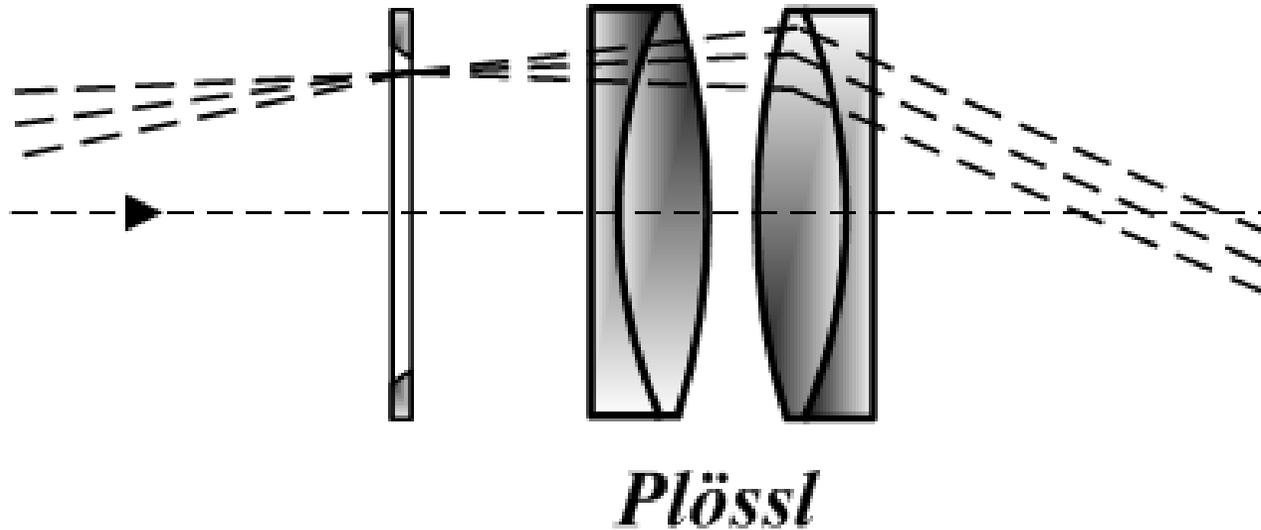


- **Orthoskopisches Okular nach Albert König**

-

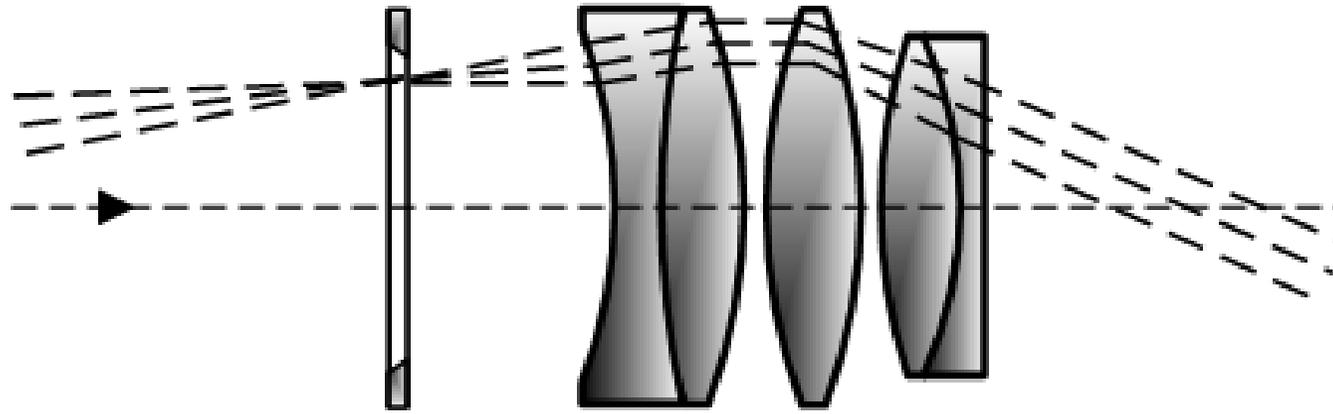
Es besteht ebenfalls aus einer Feldblende und einer plankonvexen Linse auf der Augenseite. Die verkittete Zweiergruppe besteht aus einer plankonkaven und einer bikonvexen Linse. Die Bauweise spart eine Linse ein, verlangt aber hochwertigere Gläser. Ansonsten sind die Eigenschaften vergleichbar mit der Konstruktion nach Abbe.

Plössl- und Erfle-Okulare



Plössl-Okular

Das von [Simon Plössl](#) erfundene Plössl-Okular besteht aus zwei gegeneinander gerichteten [Achromaten](#), also zwei verkitteten Zweiergruppen zur Farbkorrektur. Die Farbfehler sind vollständig korrigiert. Die Leistung ist vergleichbar mit dem orthoskopischen Okular nach Abbe, während die Kosten kleiner sein können. Heutzutage sind die meisten Okulare von dieser Bauart.



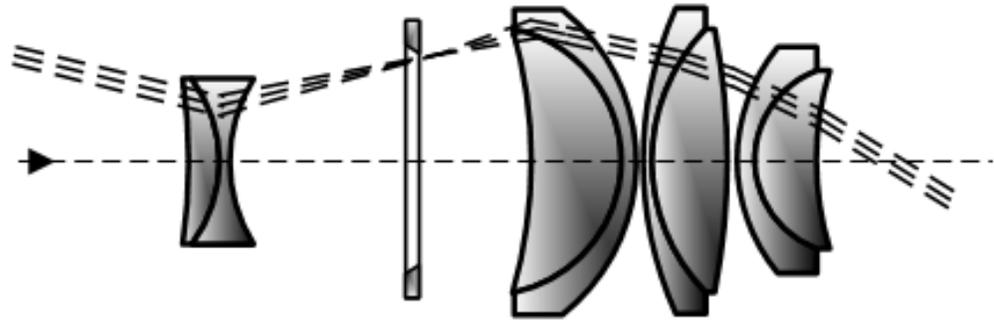
Erfle

Erfle-Okular

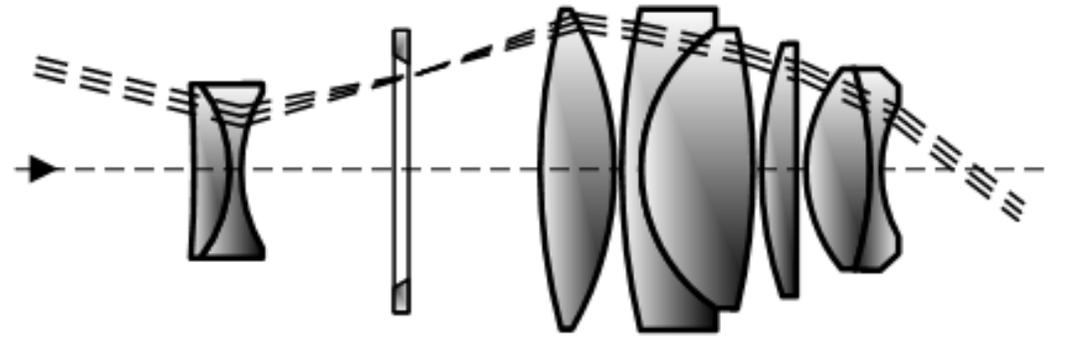
Die vom deutschen Optiker [Heinrich Erfle](#) erfundenen Erfle-Okulare bestehen aus drei Linsengruppen. Insbesondere ist zwischen zwei gegenüber liegenden [Doublets](#) eine [Sammellinse](#) eingefügt. Es erscheint damit als eine Erweiterung des [Plössl-Okulars](#) um eine weitere Linse. Das "Erfle" gibt typischerweise ein [scheinbares Gesichtsfeld](#) von bis zu 68° und war damit das erste echte Weitwinkel-Okular. Die ersten Anwendungen erfolgten in [Feldstechern](#) und [Periskopen](#). Das Erfle wird in der Ausführung als Fünflinser oft als *Superplössl* oder *Ultima* bezeichnet. Das *Panoptic*-Okular ist eine sechslinsige Ausführung.

Erfles neigen am Rand des Gesichtsfeldes zu [Astigmatismus](#), einer ellipsenförmigen Verzerrungen von Lichtquellen. Außerdem kommen leicht interne [Reflexionen](#) vor ("Geisterbilder"). Dies macht Erfle-Okulare für die Beobachtung heller Objekte, z. B. von [Planeten](#), in der [beobachtenden Astronomie](#) weniger geeignet. Sie eignen sich hingegen gut für lichtschwache, ausgedehntere Objekte wie [offene Sternhaufen](#) und [Reflexionsnebel](#).

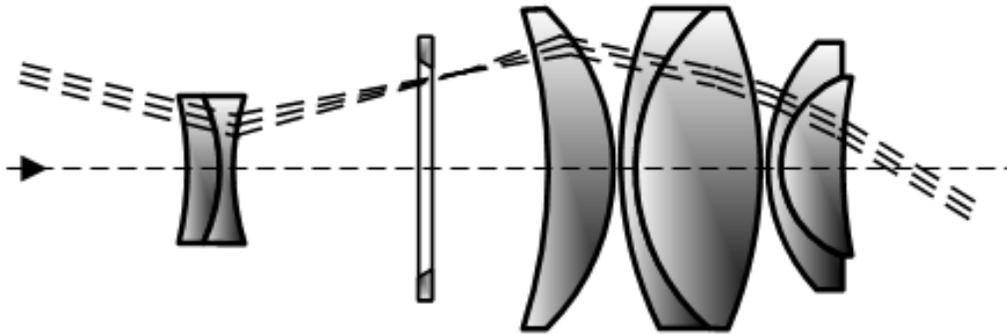
Erfle-Okulare sind vergleichsweise günstig herzustellen. Sie werden daher noch heute für die [Amateur-Astronomie](#) oder Weitwinkel-Ferngläser produziert.



Nagler (1979)



Nagler_2



Nagler (1981)

Nagler-Okulare

Das Nagler besteht aus 3 verkitteten Zweiergruppen und einer Plankonvexlinse. Die Nagler-Okulare werden als Weitwinkelokulare mit 82° scheinbarem Gesichtsfeld gebaut. Hohe Bildgüten werden nur mit Varianten mit [asphärischer](#) Fläche oder einer zusätzlichen 8. Linse erreicht. Diese Okulare sind auch an sehr lichtstarken Teleskopen einzusetzen, noch mehr als die Panoptic des gleichen Herstellers.

Zoom-Okulare

Zoom-Okulare bilden aufgrund ihrer variablen Brennweite nicht so gut ab wie Okulare mit fester Brennweite. Das liegt daran, dass Abbildungsfehler erzeugende und korrigierende Linsen nur bei bestimmten Abständen voneinander optimal zusammenarbeiten. Bei variablen Brennweiten sind jedoch auch die Abstände der Linsen – und somit die Effektivität der Fehlerkorrektur – variabel. Für die Astronomie angebotene Zoomokulare haben einen größten Zoomfaktor bis 3, man hat also bei minimaler Brennweite die dreifache Vergrößerung wie bei der maximalen.

Allerdings weisen die meisten Zoom-Okulare ein recht kleines Gesichtsfeld auf, welches mit sinkender Brennweite, also wachsender Vergrößerung, allmählich steigt. Ein weiterer Nachteil ist die fehlende Homofokalität, man muss deshalb nach Veränderung der Brennweite die Schärfe neu einstellen.

Des Weiteren gibt es noch erweiterte Typen mit asphärischen Flächen. Die Hyperbelflächen treiben herstellungsbedingt die Kosten hoch.



TS-SW 32mm



Meade 24,5mm



Nagler 13mm T6



Nagler 7mm T2



Radian 5mm



TS SWM20mm



TS SWM9mm



Ke 20mm



Plössl 25mm



Plössl 15mm



Plössl 7mm

Ein paar Tips zum Okularkauf aus diesem

Vortrag:

- Okulare sind etwas sehr persönliches, der eine braucht großen Augenabstand, dem anderen ist das Bildfeld oder die Korrektur wichtiger. Ein Kauf nach Katalog ist nur sehr schwer möglich. Da hilft nur zuerst überlegen und wählen und dann testen, testen, testen.
- Beim Kauf des Fernrohrs schon an die Okulare denken: für einen 1:5 Newton kann man noch mit Mittelklasse Okularen ganz gut beobachten, 1:4 ruft nach der Spitzenklasse. Da liegt dann viel Geld. 2“ Okulare sollten bei einem normal großen Teleskop aber immer möglich sein.
- Lieber einige Okulare der Mittelklasse kaufen, als eine Brennweite lange unbesetzt lassen. Der persönliche Geschmack und die Vorlieben entwickeln sich erst langsam.
- Wenn möglich, Okulare von Sternfreunden probieren, eventuell auch mal eines (gebraucht ?) kaufen und vielleicht auch wieder verkaufen.

Welche Okulare braucht man den, bzw wieviele Okulare sind sinnvoll.....

Es gibt dazu viel Meinungen, es ist halt abhängig von der Nutzungshäufigkeit, den genutzten Teleskopes und zuletzt vom Geldbeutel.

Zum Aufsuchen der Objekte braucht man ein Übersichtsokular.....26-40mm

Dann eins um mehr Details zu sehen.....12-20mm

Um ganz nah heran zu kommen noch eines.....3-10mm

30mm 52°



13mm 52°



7mm 52°



Literatur

Harry Rutten, Telescope Optics

Wikipedia

G. D. Roth, Handbuch für Sternfreunde, Band 1

Arnold Egger, Amateurastronom

Noch einen Tipp zum Abschluss:

Okularrechner Sternfreunde Münster: <http://www.sternfreunde-muenster.de/orechner.php>

Vielen Dank für
eure
Aufmerksamkeit