

## 2. Linsen und Linsensysteme



### 2.1. Sphärische Einzellinsen

#### 2.1.1. Konvexlinsen

Konvexlinsen sind Sammellinsen mit einer positiven Brennweite. Ein paralleles Lichtbündel konvergiert nach dem Durchgang durch eine Linse konvexen Typs.

**Bikonvexlinsen** besitzen zwei sphärische Flächen. Sind die Krümmungsradien beider Flächen identisch, spricht man von einer symmetrischen Bikonvexlinse, im anderen Falle von einer unsymmetrischen Bikonvexlinse. Ein Spezialfall der letzteren stellt die **Plankonvexlinse** dar, bei der eine Seite plan ist, d.h. der Krümmungsradius ist unendlich.

Bikonvexlinsen eignen sich für optische Abbildungen, die Abbildungsmaßstäbe zwischen 0,25 - 5 beinhalten. Bei einer symmetrischen Anordnung von Objekt und Bild (bzgl. der Entfernung von der Linse) wird mit einer symmetrischen Bikonvexlinse die geringste sphärische Abberation erzielt.

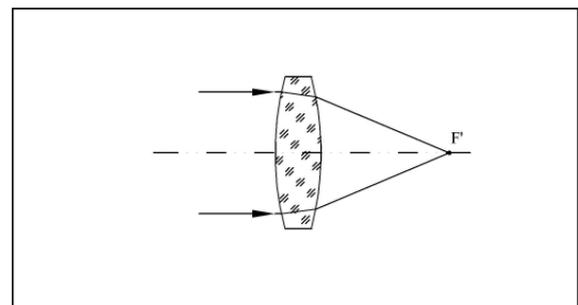
Um mit einer Bikonvexlinse für andere Anordnungen eine minimale sphärische Abberation zu verwirklichen, ist eine unsymmetrische Bikonvexlinse, die sog. **Linse bester Form** erforderlich. Das Radienverhältnis beider Flächen ist abhängig vom Brechungsindex und dem geforderten Abbildungsmaßstab. Es ist darauf zu achten, dass die stärker gekrümmte Fläche dem parallelen Strahlenverlauf zugewandt ist.

Für Abbildungsmaßstäbe  $< 0,25$  oder  $> 5$  sind Plankonvexlinsen besser geeignet. Diese sind z.B. bei der Fokussierung eines Laserstrahls oder der Abbildung aus dem Unendlichen zu bevorzugen. Zur Minimierung der sphärischen Abbildungsfehler

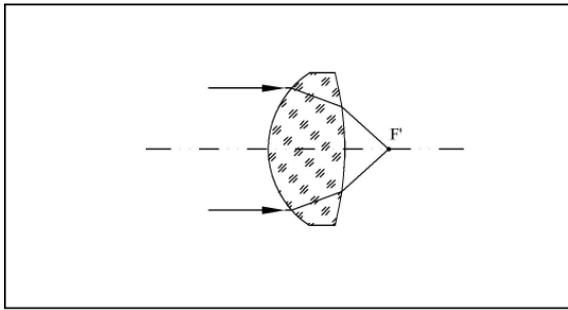
muss die sphärische Fläche dem parallelen Strahlenverlauf zugewandt sein.

Im Vergleich zu der Plankonvexlinse läßt sich mit einer unsymmetrischen Bikonvexlinse die geringste sphärische Abberation mit einer Einzellinse realisieren. Bezogen auf ein Glas mit einem Brechungsindex von 1,5 sind die Wellenfrontqualität und die Fokussierbarkeit um ca. 7 % besser (paralleler Lichteinfall vorausgesetzt). Allerdings sind Plankonvexlinsen i.A. kostengünstiger.

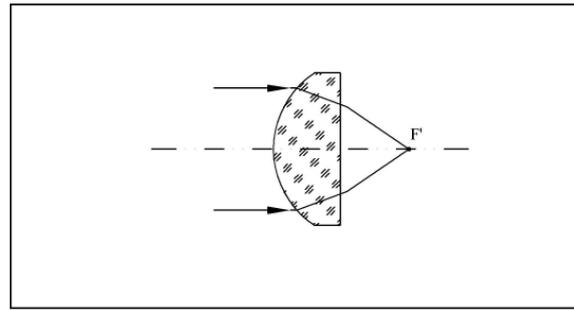
Zu beachten ist bei der Verwendung von Einzellinsen, dass nur die sphärische Abberation minimiert werden kann. Es besteht keine Möglichkeit, die chromatische Abberation zu beeinflussen.



Symmetrische Bikonvexlinse



Unsymmetrische Bikonvexlinse



Plankonvexlinse

Technische Daten – Konvexlinsen	
	Standardwerte
Material	Kundenspezifikation
Durchmesserbereich	4 ÷ 100 mm
Durchmessertoleranz	-0,1 mm
Aktive Fläche (Freie Apertur)	90 %
Dickentoleranz	± 0,1 mm
Brennweitenbereich	5 ÷ 3000 mm
Toleranz der Brennweite	± 2 %
Radiustoleranz	± 1 %
Zentrierung	3 arcmin
Formgenauigkeit (633 nm)	$\lambda/4$
Oberflächenqualität (scratch – dig)	60 – 40
Beschichtung	Kundenspezifikation
Fassung	Kundenspezifikation

Konvexlinsen können, angepasst an die Anforderungen, auch in anderen Qualitätsstufen gefertigt werden. Beispiel : 10-5 ;  $\lambda/10$  (633 nm)

## 2.1.2. Konkavlinsen

Konkavlinsen sind Zerstreuungslinsen mit einer negativen Brennweite. Ein paralleles Lichtbündel divergiert nach Durchgang durch eine Konkavlinse. Auf Grund dessen erzeugen Konkavlinsen nur virtuelle Bilder, die durch die Linse hindurch, gegen die Einfallsrichtung des Lichtes, zu beobachten sind.

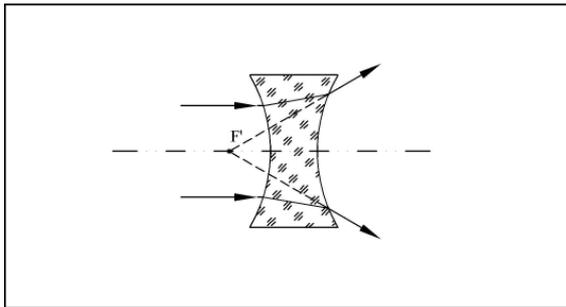
**Bikonkavlinsen** besitzen zwei sphärische Flächen. Sind die Krümmungsradien beider Flächen identisch, spricht man von einer symmetrischen Bikonkavlinse, im anderen Falle von einer unsymmetrischen Bikonkavlinse. Ein Spezialfall der letzteren stellt die **Plankonkavlinse** dar, bei der ein Krümmungsradius unendlich ist, d.h. eine Seite ist plan.

Wie bei den Konvexlinsen sind für Abbildungsmaßstäbe von 0,25 – 5 Bikonkavlinsen vorzuziehen.

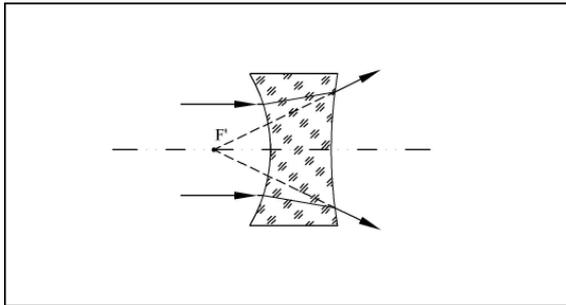
Anderenfalls eignen sich Plankonkavlinsen am besten, um die sphärische Abberation zu minimieren. Bei der Verwendung von Plankonkavlinsen ist darauf zu achten, dass die gekrümmte Fläche dem parallelen Strahlengang zugewandt ist. Plankonkavlinsen haben im Vergleich zu Bikonkavlinsen einen geringeren Öffnungsfehler.

Vorrangige Einsatzgebiete für einzelne Konkavlinsen sind die Aufweitung von Laserstrahlung und die Parallelisierung divergenter Strahlung.

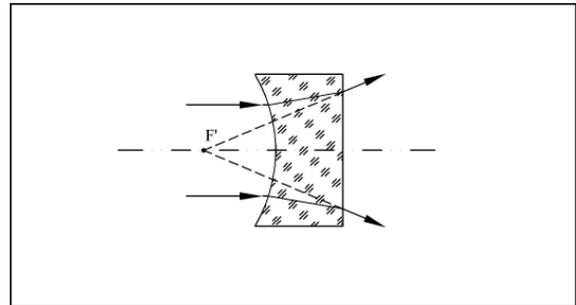
Zu beachten ist bei der Verwendung von Einzellinsen, dass nur die sphärische Abberation minimiert werden kann. Es besteht keine Möglichkeit, die chromatische Abberation zu beeinflussen.



Symmetrische Bikonkavlinse



Unsymmetrische Bikonkavlinse



Plankonkavlinse

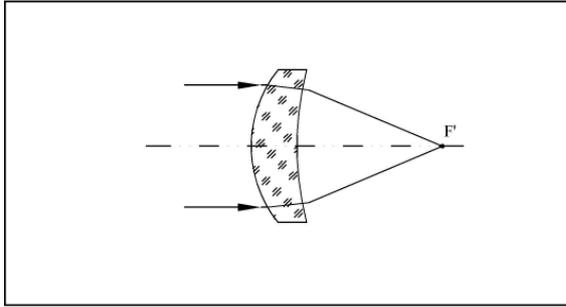
Technische Daten – Konkavlinse	
	Standardwerte
Material	Kundenspezifikation
Durchmesserbereich	4 ÷ 100 mm
Durchmessertoleranz	-0,1 mm
Aktive Fläche (Freie Apertur)	90 %
Dickentoleranz	± 0,1 mm
Brennweitenbereich	Bikonkavlinse : -3 ÷ -500 mm
	Plankonkavlinse : -5 ÷ -200 mm
Toleranz der Brennweite	± 2 %
Radiustoleranz	± 1 %
Zentrierung	3 arcmin
Formgenauigkeit (633 nm)	$\lambda/4$
Oberflächenqualität (scratch – dig)	60 – 40
Beschichtung	Kundenspezifikation
Fassung	Kundenspezifikation

Konkavlinse können, angepasst an die Anforderungen, auch in anderen Qualitätsstufen gefertigt werden. Beispiel : 10-5 ;  $\lambda/10$  (633 nm)

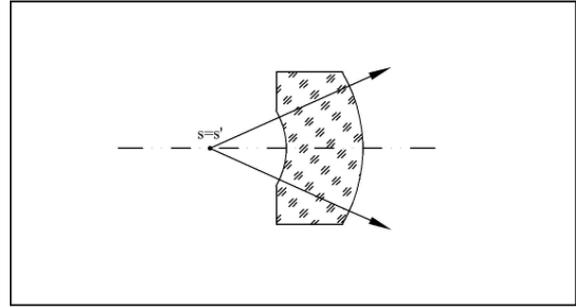
### 2.1.3. Menisken

Menisken sind Linsen mit einer konvexen und einer konkaven Oberfläche. Abhängig vom Krümmungsradius werden positive, negative oder konzentrische Menisken unterschieden.

- a) Ein positiver Meniskus fokussiert das Licht. Der konkave Radius ist größer als der konvexe Radius. Er ist aplanatisch für das bzgl. der ersten Krümmungsfläche im Zentrum platzierte Objekt.

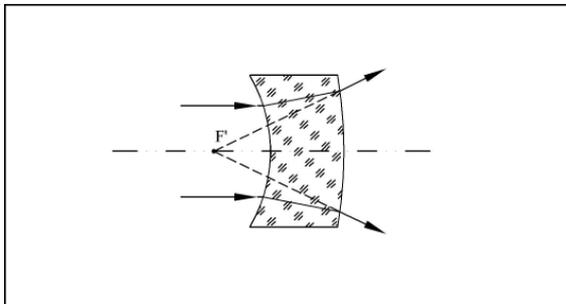


Positiver Meniskus



Konzentrischer Meniskus

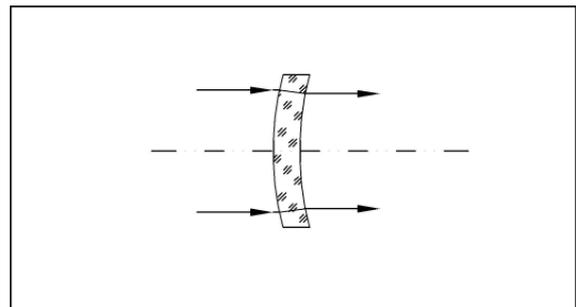
- b) Ein negativer Meniskus erzeugt einen divergenten Lichtstrahl. Der konvexe Radius ist in diesem Fall größer als der konkave Radius. Der Meniskus ist aplanatisch für das Objekt, dessen Bild im Zentrum der zweiten Krümmungsfläche liegt.



Negativer Meniskus

- d) Bei dem Durchgang eines parallelen Lichtstrahls durch einen Null-Meniskus wird die Divergenz nicht geändert. Die Strahlen erfahren einen parallelen Versatz.

Menisken werden vorrangig in Linsensystemen oder als Kondensoren in Beleuchtungssystemen eingesetzt. Als Einzellinsen finden sie in Laserresonatoren eine spezielle Anwendung.



Null-Meniskus

- c) Beide Flächen sind konzentrisch. Diese Linse ändert nicht die Divergenz des Lichtes (Null-Meniskus). Objekt und Bild befinden sich im Zentrum der Krümmung.

### Technische Daten – Menisken

	Standardwerte
Material	Kundenspezifikation
Durchmesserbereich	5 ÷ 100 mm
Durchmessertoleranz	-0,1 mm
Aktive Fläche (Freie Apertur)	90 %
Dickentoleranz	± 0,1 mm
Brennweitenbereich	Positiver Meniskus : 20 ÷ 3000 mm
	Negativer Meniskus : -20 ÷ -3000 mm
Toleranz der Brennweite	± 2 %
Radiustoleranz	± 1 %
Zentrierung	3 arcmin
Formgenauigkeit (633 nm)	$\lambda/4$
Oberflächenqualität (scratch – dig)	60 – 40
Beschichtung	Kundenspezifikation
Fassung	Kundenspezifikation

Menisken können, angepasst an die Anforderungen, auch in anderen Qualitätsstufen gefertigt werden.  
Beispiel : 10-5 ;  $\lambda/10$  (633 nm)

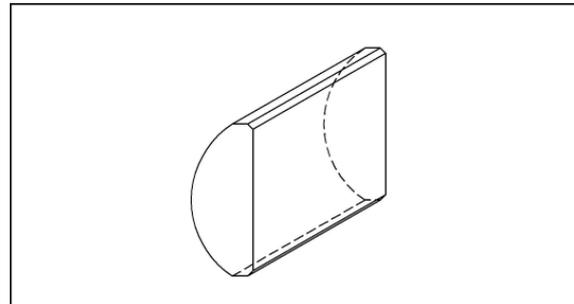
## 2.2. Zylinderlinsen

Zylinderlinsen besitzen eine sphärische Fläche, die nur in eine Richtung verläuft. Aus diesem Grund wird Licht nur in eine Richtung abgelenkt und punktförmige Objekte werden linienförmig abgebildet. In der Praxis haben plankonvexe und plankonkave Zylinderlinsen Bedeutung.

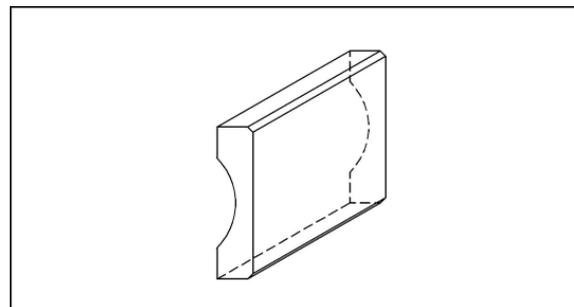
Plankonvexe Zylinderlinsen erzeugen aus einem einfallenden Lichtbündel eine Fokuslinie. Wie bei sphärischen Linsen gilt, dass der gekrümmten Fläche der parallele Strahlengang zuzuwenden ist, um Abbildungsfehler zu minimieren.

Plankonkave Zylinderlinsen dienen der Aufweitung von Strahlung in eine Richtung (z.B. um unsymmetrische Ausgänge von Laserdioden zu kompensieren).

Zylinderlinsen finden ihre Anwendung u.a. bei der Beleuchtung von linearen Detektoranordnungen oder Spaltblenden in der Spektroskopie und im Zusammenhang mit Scan-Techniken. In der Medizintechnik werden Zylinderlinsen zur Erzeugung von Markierungsmustern (Linien, Kreuze) angewandt.



Plankonvexe Zylinderlinse



Plankonkave Zylinderlinse

Technische Daten – Zylinderlinsen	
	Standardwerte
Material	Kundenspezifikation
Maßbereich (Durchmesser, Kantenlänge)	5 ÷ 100 mm
Maßtoleranz	± 0,1 mm
Aktive Fläche (Freie Apertur)	90 %
Dickentoleranz	± 0,1 mm
Brennweitenbereich	Plankonvex-Zylinderlinse : 10 ÷ 50 mm
	Plankonkav-Zylinderlinse : -10 ÷ -50 mm
Toleranz der Brennweite	± 5 %
Radiustoleranz	± 5 %
Keilfehler	< 15 arcmin
Oberflächenqualität (scratch – dig)	60 – 40
Beschichtung	Kundenspezifikation
Fassung	Kundenspezifikation

Zylinderlinsen können, angepasst an die Anforderungen, auch in anderen Qualitätsstufen gefertigt werden. Beispiel : 40-20

## 2.3. Achromate

Achromate bestehen aus zwei sphärischen Linsen, die aus unterschiedlichen Materialien bestehen. Typische Materialkombinationen sind z.B.:

Flintglas + Kronglas  
 $\text{CaF}_2$  + Quarzglas

Achromate können positive oder negative Brennweiten haben und somit als Sammellinse oder Zerstreuungslinse in der optischen Abbildung fungieren.

Wie bei den Einzellinsen ist zu beachten, dass die am stärksten gekrümmte Fläche dem parallelen Strahlengang zugewandt ist.

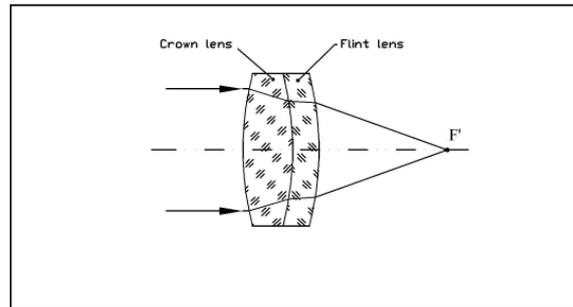
Gegenüber Einzellinsen bieten Achromate eine größere Anzahl freier Parameter (2 Brechungsindizes, 3 Radien, 2 Dicken). Daraus resultiert die Möglichkeit einer besseren Optimierung der zu realisierenden Abbildung.

Das betrifft :

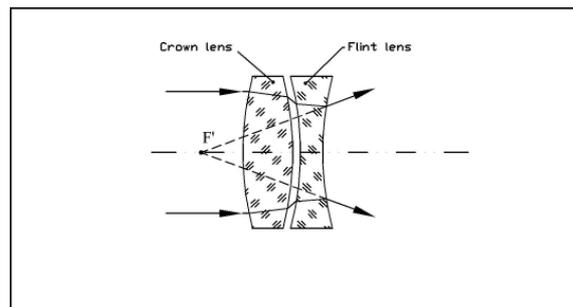
- Verringerung der chromatischen Abberation
- Verringerung der sphärischen Abberation
- Minimale Fokussierung für eine Wellenlänge (beugungsbegrenzt)
- Vermeidung eines Kommas

Die Linsen können miteinander verbunden sein (Kittgruppe) oder aber in gefaßter Form, um einen definierten Luftabstand zu fixieren, geliefert werden.

Die Achromate mit Luftabstand bieten zusätzlich freie Parameter (ein weiterer Radius, Breite des Luftspaltes), wodurch die Fehlerkorrektur noch ver-



Achromat als Kittglied



Achromat mit Luftspalt

bessert werden kann. Weitere Vorteile, die aus dem Entfall des Klebers folgen, sind die höhere und spektral erweiterte Transmission und die stärkere Temperaturbelastbarkeit (größere Laserleistungsdichten), die der Achromat ausgesetzt werden kann. Eine bei Scantechniken häufig verwendete Form ist der streifenförmige Achromat. Eine andere Option ist eine zentrale oder auch dezentrale Bohrung im Achromaten.

Technische Daten – Achromate	
	Standardwerte
Material	Kundenspezifikation
Durchmesser	Kittglied : 5 ÷ 80 mm
	Luftspalt : 5 ÷ 100 mm
Durchmessertoleranz	-0,1 mm
Aktive Fläche (Freie Apertur)	90 %
Dickentoleranz	± 0,2 mm
Brennweitenbereich	10 ÷ 3000 mm
Toleranz der Brennweite	± 2 %
Radiustoleranz	± 1 %
Zentrierung	3 arcmin
Formgenauigkeit (633 nm)	$\lambda/4$
Oberflächenqualität (scratch – dig)	60 – 40
Beschichtung	Kundenspezifikation
Fassung	Kundenspezifikation

Achromate können, angepasst an die Anforderungen, auch in anderen Qualitätsstufen gefertigt werden. Beispiel : 10-5 ;  $\lambda/10$  (633 nm), Optionen : Streifenform, Bohrungen

## 2.4. Linsensysteme



Wir fertigen auf Kundenspezifikation komplette Linsensysteme. Das schließt sowohl die Herstellung der einzelnen Linsen und Kittgruppen ein als auch die Vergütung und Montage in Fassungen.

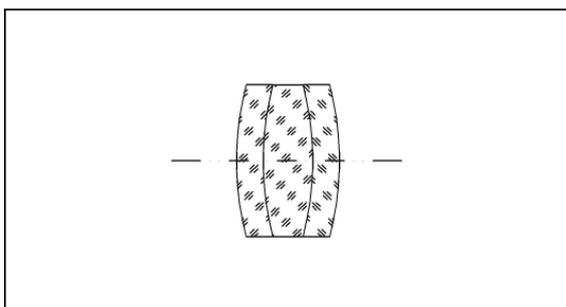
Wir fertigen nach Ihren Vorgaben, übernehmen aber auch die Berechnung und Konstruktion von Linsensystemen.

Die Übermittlung der Idee oder Aufgabenstellung ist in der Regel ausreichend, um mit einem Projekt zu starten. Wir erfragen die notwendig zu wissenden Randbedingungen, erstellen einen Lösungsansatz und ein kostenfreies Angebot als Basis für die weitere Projektbearbeitung.

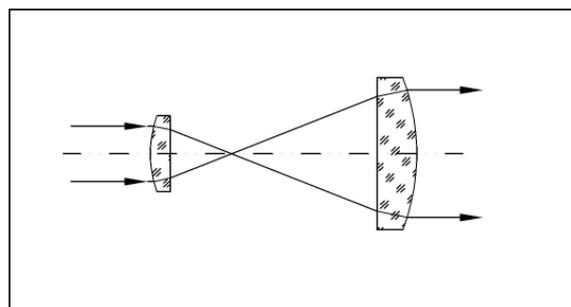
Zu unseren Fertigungsmöglichkeiten gehören :

- Triplets
- Apochromate
- Hochauflösende Objektive
- Mikroskopobjektive
- CCD-Kamera-Objektive
- Okulare
- Kondensoren
- Fernrohre
- Laseraufweitungssysteme
- Zoom-Module
- Spezielle Optik-Systeme

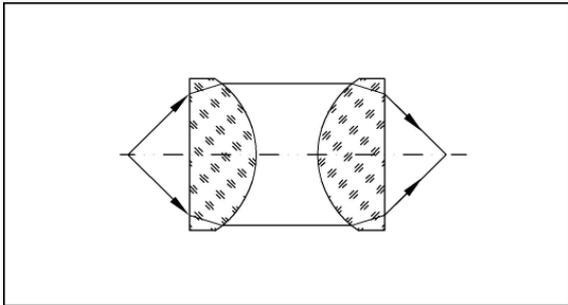
### Beispiele für Linsensysteme



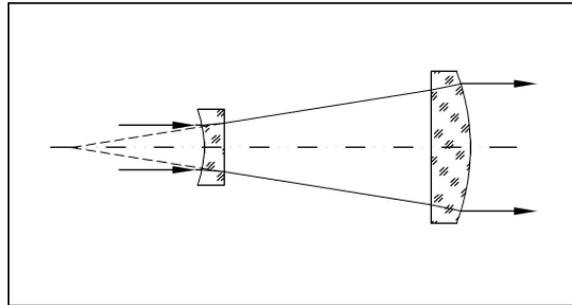
Triplet



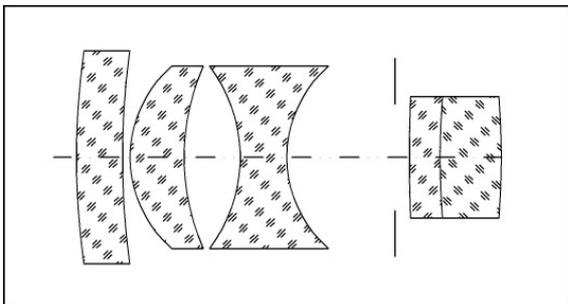
Expander (Kepler-Fernrohr)



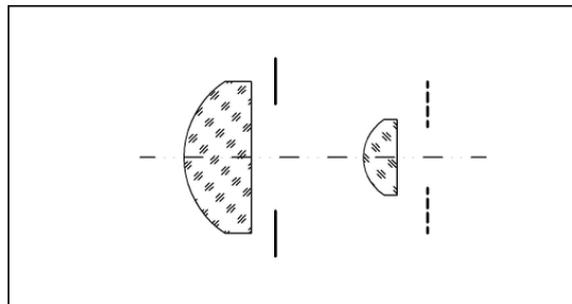
Kondensor



Expander (Umgekehrtes Galileo-Fernrohr)



Objektiv



Huygens Augenglas

