

Auswahl der optimalen Linse

Oft steht der Anwender vor der Frage, welche Linse für seine Abbildung am Besten geeignet ist. Im Folgenden sind gängige Linsentypen dargestellt und die gebräuchlichsten Anwendungen beschrieben.

Sammel- und Zerstreungs-Linsen

Generell wird zwischen positiven, d.h. bündelnden Sammellinsen und negativen, d.h. streuenden Linsen unterschieden. Linsen mit konvexen Flächen sind Positivlinsen; die Brennweite der Linse wird mit positiven Vorzeichen beschrieben. Linsen mit konkaven Flächen sind Negativlinsen; diese Linsen haben eine negative Brennweite. Die Meniskus-Linse tritt sowohl als Positiv- als auch als Negativlinse auf.

Einzellinsen

Plankonvex- und Plankonkav-Linsen

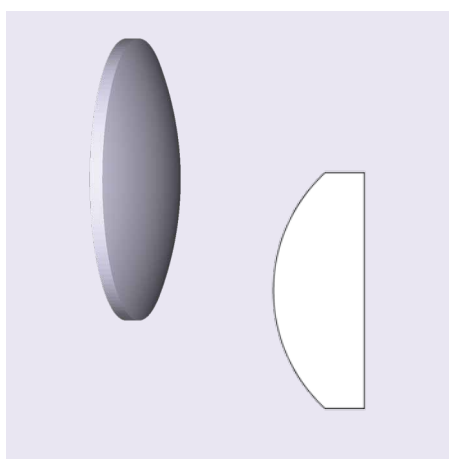
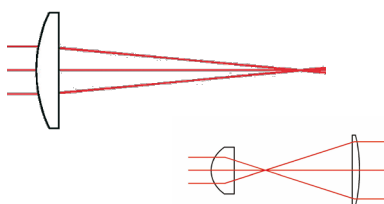
Plankonvex- bzw. Plankonkav-Linsen haben, verglichen zu Linsen mit zwei gekrümmten Flächen, den Vorteil der einfacheren Fertigung und damit des günstigeren Stückpreises. Außerdem sind sie sehr gut geeignet zur Fokussierung, bzw. Kollimierung von Laserstrahlen. Die sphärischen Aberrationen der Plankonvex- bzw. Plankonkav-Linsen werden reduziert, indem die gekrümmte Linsenfläche zum kollimierten Strahl zeigt.

Plankonvex-Linse

Hauptanwendung

- Fokussierung von kollimierten Laserstrahlen
- Strahlauflösung und Kollimation
- Abbildung bei langen Brennweiten

Anwendungsbeispiel

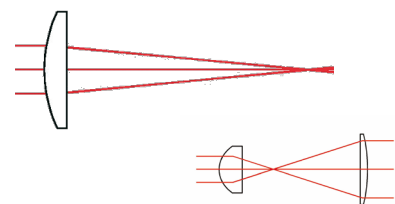


Planoconvex Linse

Main application

- Focussing of collimated laser beams
- Beam expansion and collimation
- Imaging over long focal distances

Application example



Selecting the Optimal Lens

Often a user is faced with the question of which lens is best suited for his image. In the following, standard lens types are introduced and their most common applications described.

Converging and Dispersing Lenses

In general, there are positive (i.e. converging) lenses and negative (i.e. dispersing) lenses. Lenses with convex surfaces are positive lenses: the focal distance of the lens is described with a positive sign. Lenses with concave surfaces are negative lenses: these lenses have a negative focal distance. The meniscus lens can be both a positive lens and a negative lens.

Singlet Lenses

Plano-convex and Plano-concave Lenses

Compared to lenses with two curved surfaces, plano-convex and plano-concave lenses have the advantage of being easier to manufacture and therefore cheaper. In addition, they are particularly well suited for focussing and collimating laser beams. The spherical aberrations of plano-convex and plano-concave lenses are reduced by letting the curved side of the lens face the collimated beam.

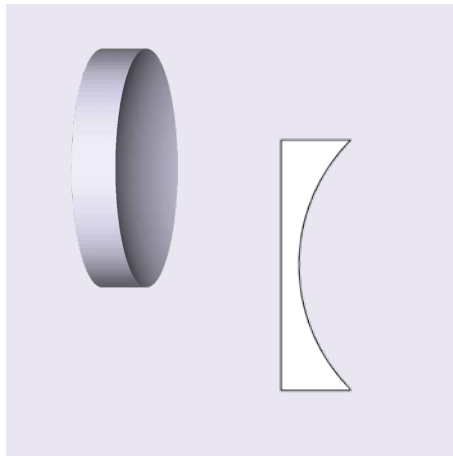


Plankonkav-Linse

Hauptanwendung

- Strahlaufweitung
 - Galilei Prinzip bei hohen Leistungen
 - Kein Zwischenfokus wie beim Einsatz von zwei plankonvexen Linsen
 - Kürzere Baulänge als bei der Kepler Aufweitung

Anwendungsbeispiel



Plano-concave Lens

Main application

- Beam expansion
 - Galileo's principle at high power levels
 - No intermediate focus like in the application of two plano-convex lenses
 - Shorter assembly length than in the Kepler expansion

Application example



Bikonvex- und Bikonkav-Linsen

Bikonvexe Linsen werden bevorzugt verwendet, wenn nahezu 1:1 Abbildungen durchgeführt werden sollen. Auch werden bikonvexe und bikonkave Linsen gern eingesetzt, wenn sehr kurze Brennweiten notwendig sind. Aufgrund der beiden gekrümmten Oberflächen wird eine kürzere Fokusslänge bei größeren Radien möglich. Sehr stark gekrümmte Flächen sind kostenintensiv in der Herstellung, da nur wenige Linsen gleichzeitig poliert werden können.

Biconvex and Biconcave Lenses

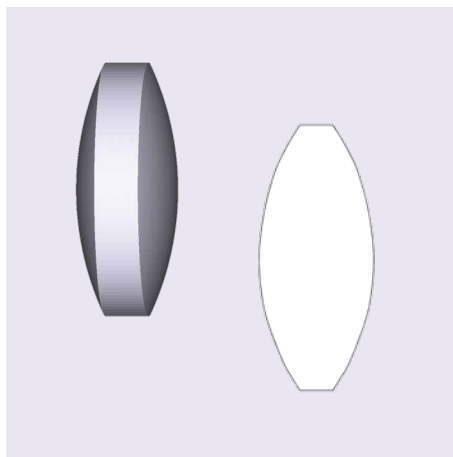
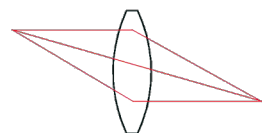
Biconvex lenses are preferred when close to 1:1 images are required. Biconvex and biconcave lenses are also used if very short focal distances are needed. Because both surfaces are curved, a shorter focus length with larger radii is possible. Very heavily curved surfaces are expensive to manufacture because only a few lenses can be polished at the same time.

Bikonvex-Linse

Hauptanwendung

- Fokussierung bei sehr kurzen Brennweiten
- Strahlaufweitung für $F_2/F_1 = 0.2 \dots 5$
- 1:1 Abbildung, da hierbei die sphärische Aberration gering ist

Anwendungsbeispiel

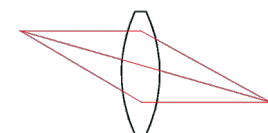


Biconvex Lens

Main application

- Focussing over very short focal distances
- Beam expansion for $F_2/F_1 = 0.2 \dots 5$
- 1:1 image because the spherical aberration in this case is low.

Application example

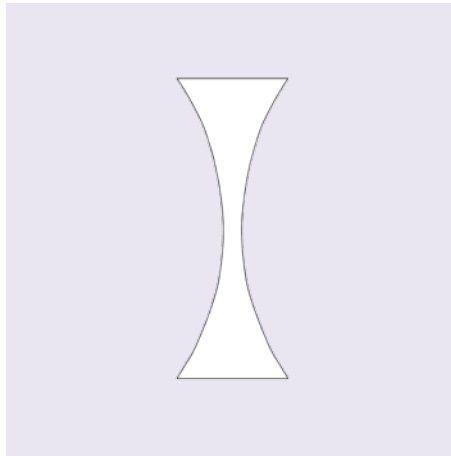
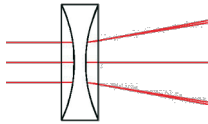


Bikonkav-Linse

Hauptanwendung

- Einsatz, wenn sehr kurze negative Fokusslängen benötigt werden und eine Plankonkavlinse einen zu starken Krümmungsradius haben würde.

Anwendungsbeispiel

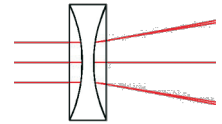


Biconcave Lens

Main application

- Used if very short negative focus lengths are required and a plano-concave lens would require a radius of curvature that is too large.

Application example



Bestform-Linse

Die Bestform-Linse ist eine Einzellinse, bei der die sphärisch gekrümmten Flächen so optimiert werden, dass für eine Einzellinse die minimale sphärische Aberration entsteht.

Hauptanwendung

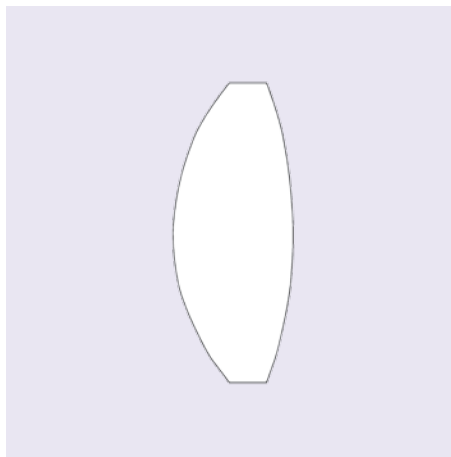
- Einsatz bei hohen Anforderungen an das Spotbild

Bemerkungen

Die Radien rcx_1 und rcx_2 sind abhängig von der Brennweite und dem Brechungsindex des Glases.

Beispiel für $n \approx 1.5$:

- $f = 125 \text{ mm}$,
 $rcx_1 = 73.7 \text{ mm}$, $rcx_2 = 492.0 \text{ mm}$
- $f = 25 \text{ mm}$,
 $rcx_1 = 14.4 \text{ mm}$, $rcx_2 = 96.0 \text{ mm}$



Best Form Lens

Best form lenses are singlet lenses in which the spherically curved surfaces are optimized to exhibit the least spherical aberration possible for a singlet lens.

Main application

- Application with high demands of the spot image

Remarks

The radii R_1 and R_2 depend on the focal distance and the refractive index of the glass.

Example for $n \approx 1.5$:

- $f = 125 \text{ mm}$,
 $rcx_1 = 73.7 \text{ mm}$, $rcx_2 = 492.0 \text{ mm}$
- $f = 25 \text{ mm}$,
 $rcx_1 = 14.4 \text{ mm}$, $rcx_2 = 96.0 \text{ mm}$



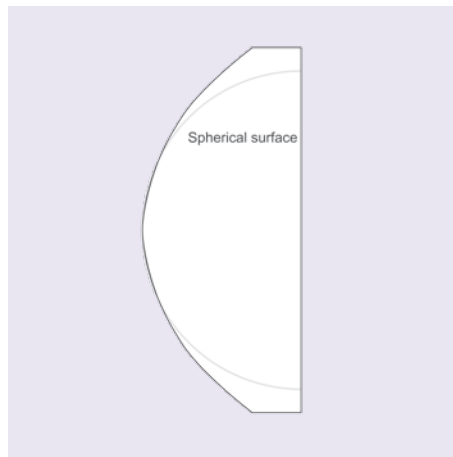
Asphärische Linse

Eigenschaften

Einsatz, wenn keine sphärische Aberration auftreten darf. Die Linsen haben eine weniger starke Krümmung in den Randbereichen, wodurch auch die achsenfernen Strahlen im Brennpunkt auftreffen. Die Optimierung dieser Linsen erfolgt durch Optik-Design Simulationsprogramme.

Bemerkungen

Aufgrund des aufwändigen Fertigungsprozesses sind die asphärischen Linsen sehr kostenintensiv.



Aspherical Lens

Features

Aspherical lenses are used if spherical aberrations must be avoided. These lenses have a smaller curvature at the edges, causing even marginal rays to intersect at the focal point. Optimization of these lenses is done through the use of optic design simulation programs.

Remarks

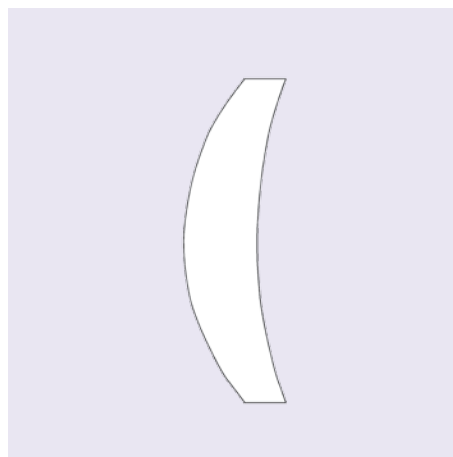
As a result of the complex manufacturing process, aspherical lenses are very expensive.

Meniskus-Linse

Meniskus-Linsen sind Linsen, mit einer konkaven und konvexen Krümmung. Sie werden in Linsensystemen zur Korrektur von sphärischen Aberrationen und Astigmatismus verwendet.

Hauptanwendung

- Linsensysteme
Einsatz, wenn die geringste sphärische Aberration gefordert wird
- Bei kurzen Brennweiten kann als Abschlusslinse des Systems eine Meniskus-Linse statt eines Linsensystems eingesetzt werden. Hierdurch verringert sich die sphärische Aberration.



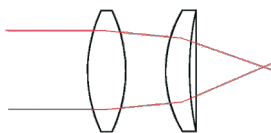
Meniscus Lens

Meniscus lenses are lenses with a concave and convex curvature. They are used in lens systems to correct spherical aberrations and astigmatism.

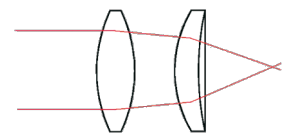
Main application

- Lens systems
This lens is used if the lowest spherical aberration is required.
- For short focal distances a meniscus lens can be used instead of a lens system as an end lens. With this meniscus lens, the spherical aberration is reduced.

Anwendungsbeispiel



Application example

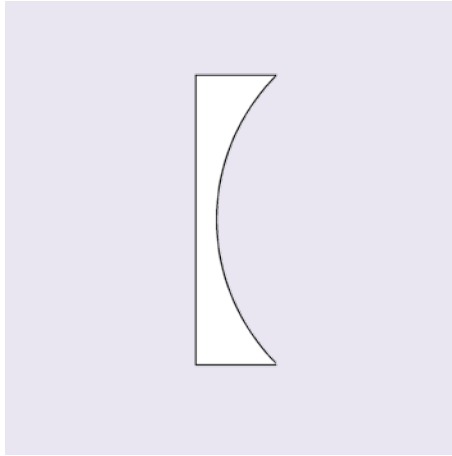
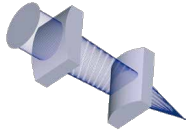


Zylinder-Linse

Hauptanwendung

- Kollimation von asymmetrischen Strahlengängen
- Linienfokussierung
- Korrektur des Astigmatismus

Anwendungsbeispiel

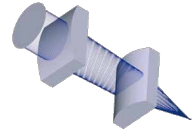


Cylindrical Lens

Main application

- Collimation of asymmetrical beam paths
- Line focussing
- Astigmatism correction

Application example



Linsen-Systeme

Ist die Abbildungsqualität einer „einfachen“ Linse nicht ausreichend, so können verschiedene Standard-Linsen-Systeme eingesetzt werden, die häufig für einen Test von Prototypen oder Aufbauten im Labor ausreichen. Folgende bestehende Systeme sind in der Lasertechnik von Bedeutung:

- Aplanate, Triplets (Verminderung der sphärischen Aberration)
- Zoomobjektive
- Telezentrische Objektive (konstanter Abbildungsmaßstab z. B. für Objekterkennung)
- F-Theta Objektive (Scan-Objektive)
- Strahlaufweitungen
- Kollimatorobjektive

Abbildungsfehler

Die unterschiedlichen Linsen werden für verschiedene Einsatzgebiete verwendet. Die Entscheidung für ein Linsensystem hängt von den zu vermeidenden Abbildungsfehlern ab. Die folgenden Abbildungsfehler spielen in der Laseroptik eine Rolle.

Lens Systems

If the imaging quality of a “simple” lens is inadequate, different standard lens systems can be used that have often proven adequate in the laboratory during the testing of prototypes or assemblies. The following existing systems are of importance in laser technology:

- Aplanatic lenses, triplets (Reduction of spherical aberrations)
- Zoom objectives
- Telecentric objectives (constant imaging scale, e.g. for object recognition)
- F-Theta objectives (Scanning objectives)
- Beam expanders
- Collimator objectives

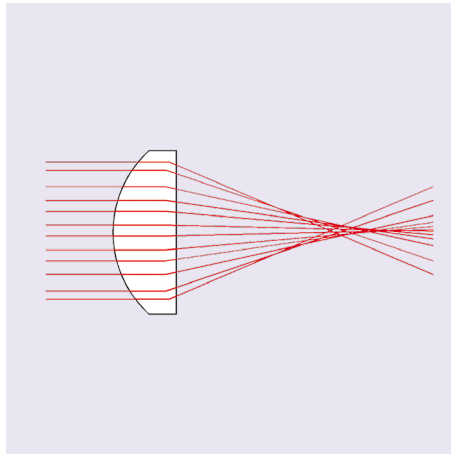
Aberrations

Different lenses are used for different application fields. The decision as to which lens system to use depends on the aberrations that should be avoided. The following aberrations play a defining role in laser optics.



Sphärische Aberration/Öffnungsfehler

Die sphärische Aberration, auch als Öffnungsfehler bekannt, ergibt sich bei weit geöffneten Strahlen, welche symmetrisch zur optischen Achse verlaufen. Eine optimale Fokussierung in einem Punkt erfolgt lediglich für paraxiale Strahlen. Strahlen, die weiter von der optischen Achse entfernt sind, werden kürzer gebrochen, d. h. der Brennpunkt von Randstrahlen liegt vor dem Brennpunkt von Mittenstrahlen. Dies wird als sphärische Aberration bezeichnet. Diese nimmt bei kürzeren Brennweiten und größerem Strahldurchmesser zu.

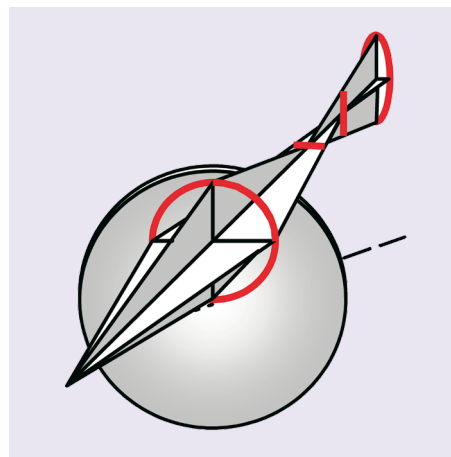


Spherical Aberrations

Spherical aberrations are caused by wide open beams that run symmetrically to the optical axis. An optimal focusing in a single point only occurs for paraxial beams. Beams that are farther from the optical axis are refracted at a shorter distance, i.e. the focal point of edge beams comes before the focal point of central beams. This is known as a spherical aberration. It grows with shorter focal distances and larger beam diameter.

Astigmatismus

Astigmatismus tritt z. B. durch eine Strahlumlenkung eines konvergierenden Strahls auf; d. h. die Eingangsstrahlen verlaufen unsymmetrisch zur optischen Achse der Linse. Teilt man das Strahlenbündel in zwei Ebenen auf (Meridian- und Sagittal-Schnitt), so erhält man unterschiedliche Brennweiten für Strahlen dieser beiden Ebenen. Ein Punkt wird nicht mehr als Punkt, sondern in Form zweier Bildlinien abgebildet. Astigmatismus kann durch Meniskus- und Zylinderlinsen korrigiert werden.



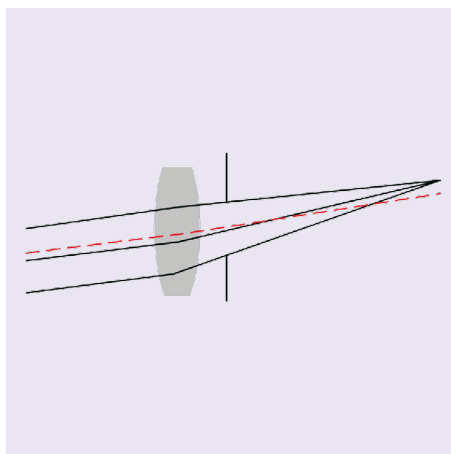
Astigmatism

An astigmatism occurs, for instance, during the deflection of a converging beam, i.e. the incident beams run asymmetrically to the optical axis of the lens. If the beam is split into two planes (meridian and sagittal plane), the rays of each plane will have different focal distances. A dot no longer appears as a dot, but rather in the form of two lines. An astigmatism can be corrected by both meniscus and cylindrical lenses.

Koma/Unsymmetrischer Öffnungsfehler

Der Koma-Fehler entsteht, wenn der kollimierte Strahl schräg zur optischen Achse verläuft. Der Strahlengang verläuft sehr unsymmetrisch durch die Linse und ist als starke Verzeichnung (Tropfen- oder Kometenform) in der Bildebene zu erkennen.

Der unsymmetrische Öffnungsfehler kann durch die Auswahl einer geeigneten Blende verringert werden. Die Blende muss so positioniert werden, dass nur symmetrische Strahlenteile durchgelassen werden.



Coma

The coma error occurs when the collimated beam runs at an angle to the optical axis. The beam path runs pretty asymmetrically through the lens and causes heavy distortions (teardrop or comet shaped) in the imaging plane.

The coma error can be reduced by selecting a suitable aperture. The aperture has to be positioned to only allow symmetrical beam parts to pass through.

