

# Objektivfehler

ABBILDUNGSFEHLER VON LINSEN



# Abbildungsfehler allgemein

- ▶ Die als Abbildungsfehler benannten Eigenschaften von sphärischen Linsen und Objektiven beschreiben deren unvollkommenen Abbildungseigenschaften.
- ▶ Viele dieser Fehler kann man durch die Formgebung der Linsen (asphärisch) oder bestimmte Beschichtungen mildern oder gar beheben.

# Abbildungsfehler allgemein

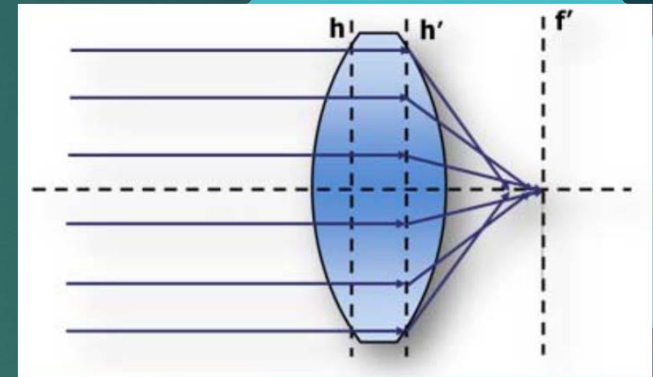
## Übersicht

- ▶ 1. Sphärische Aberration
- ▶ 2. Koma
- ▶ 3. Astigmatismus
- ▶ 4. Bildfeldwölbung
- ▶ 5. Verzeichnung
- ▶ 6. Vignettierung
- ▶ 7. Teilreflexion
- ▶ 8. Chromatische Aberration



# Sphärische Aberration

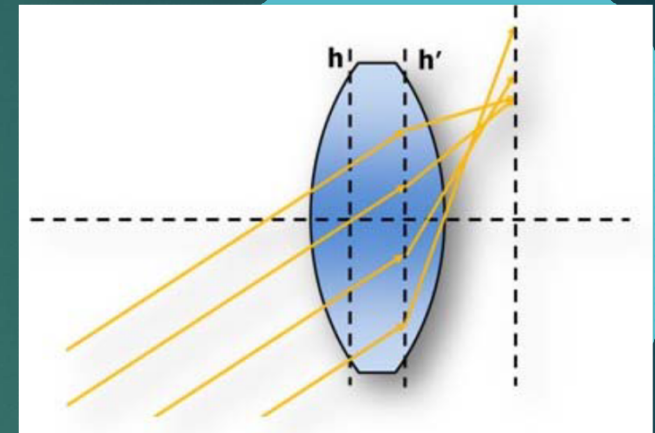
- ▶ Wenn eine Linse eine kreisförmige (sphärisch) Form im Querschnitt hat, ergibt es sich folgendes: Strahlen, die weiter außen auftreffen werden stärker gebrochen, als sie müssten um auf dem Brennpunkt abgebildet zu werden.
- ▶ Sie treffen sich also nicht im selben Punkt wie Strahlen, die weiter innen auftreffen.
- ▶ Dies führt dazu, dass das Bild weichgezeichnet und damit unscharf wird.
- ▶ Gegen sphärische Aberration hilft Abblenden. Dadurch werden nur die mittigen Lichtstrahlen durchgelassen und die Unschärfe wird reduziert.
- ▶ Der Objektivkonstrukteur kann durch den Einsatz von asphärischen Linsen auch etwas gegen diesen Bildfehler machen.
- ▶ Es gibt auch Objektive in denen dieser Abbildungsfehler genutzt wird, um einen Weichzeichnungseffekt auf dem Foto zu erreichen.





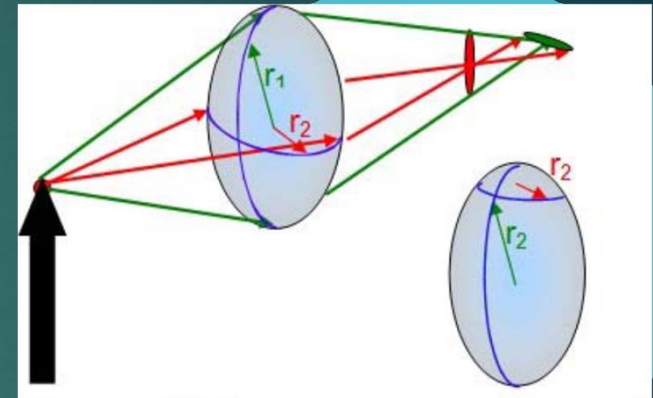
# Koma

- ▶ Koma ist eine verschärfte Form der sphärischen Aberration und fällt dann auf, wenn sich runde Gegenstände am Bildrand befinden. Diese werden dann oval abgebildet.
- ▶ Dies kommt daher, da die Strahlen dieser Objekte schräg auf die Linse auftreffen und dadurch die sphärische Aberration verstärkt wird.
- ▶ Dies wird vor allem auf Fotos vom Sternenhimmel sichtbar.
- ▶ Sterne am Bildrand werden oval und unscharf abgebildet.



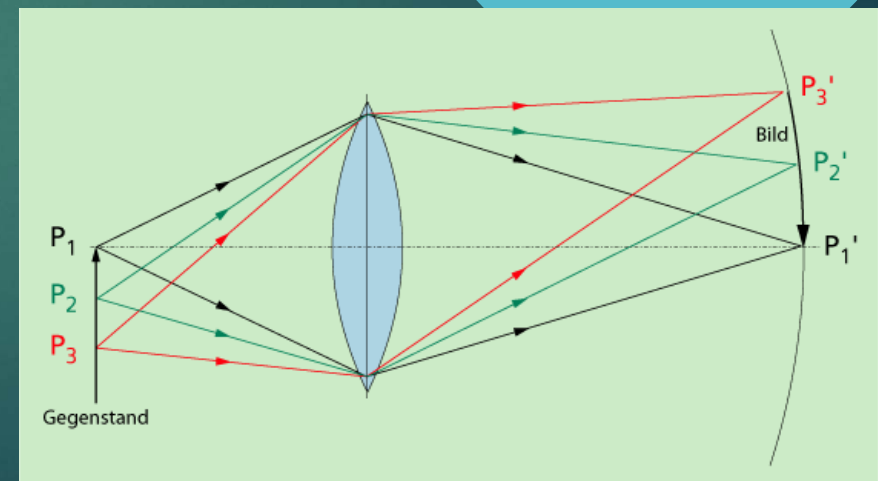
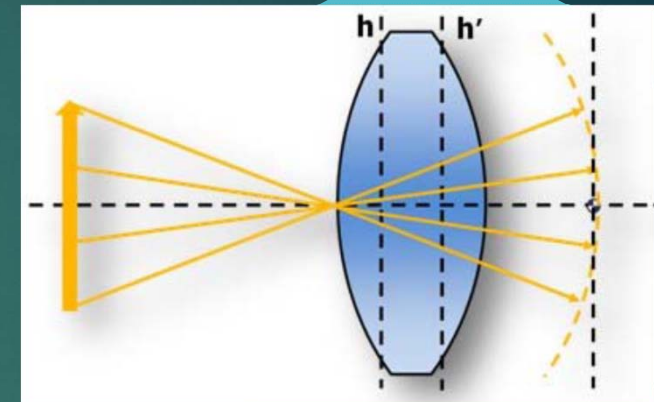
# Astigmatismus

- ▶ Wenn eine Linse nicht perfekt kugelförmig ist, sondern in einer Schnittebene einen anderen Krümmungsradius hat, als in der dazu senkrechten Schnittebene, führt dies zu Astigmatismus.
- ▶ Dies ist z.B. eine bekannte Sehstörung beim Menschen, welche dazu führt, dass sich für die beiden Ebenen unterschiedliche Brennpunkte ergeben.
- ▶ Dadurch wird es unmöglich den Punkt scharf abzubilden. "Astigma" bedeutet so viel wie "ohne Punkt". Man sieht also immer unscharf.
- ▶ Treffen nun Lichtstrahlen eines Objektes schräg in der Nähe des Randes der normal sphärischen Linse auf, ergeben sich zwangsläufig zwei unterschiedlich große Radien und dadurch entsteht auch hier ein Astigmatismus.
- ▶ Der Fehler äußert sich als Schärfeabfall zum Rand hin. Abblenden hilft.
- ▶ Durch geschickte Kombination von Glassorten kann man diesen Fehler fast beseitigen.



# Bildfeldwölbung

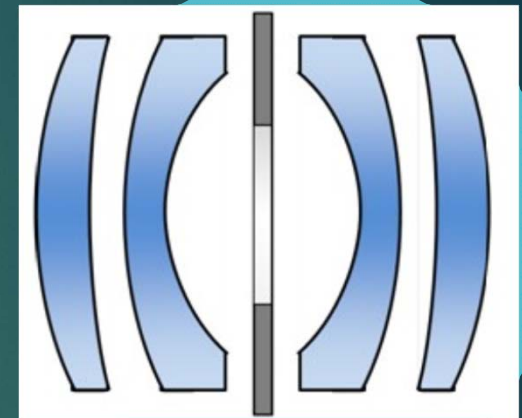
- ▶ Die Punkte eines geraden Objekts haben unterschiedlichen Abstand zur Linse. Dadurch ergibt sich auch, dass die Punkte in unterschiedlichem Abstand zur Linse fokussiert werden müssten.
- ▶ Vor allem bei Weitwinkelobjektiven kann man einen durch die Bildfeldwölbung verursachten Abfall der Schärfe am Rand beobachten.
- ▶ Auch hier hilft Abblenden.





# Verzeichnung (1)

- ▶ Verzeichnung tritt auf, wenn die Blende nicht in der Nähe der bildseitigen Hauptebene ist.
- ▶ Ist die Blende vor der bildseitigen Hauptebene, ist das Bild tonnenförmig verzeichnet, ist sie dahinter, wird es kissenförmig verzeichnet.
- ▶ Tonnenförmig heißt, gerade Linien am Bildrand werden nach außen gebogen abgebildet.
- ▶ Bei der kissenförmigen Verzeichnung werden sie nach innen gebogen abgebildet.
- ▶ Diesen Fehler kann man vermeiden, in dem man Objektive symmetrisch aufbaut und die Blende in der Nähe der bildseitigen Hauptebene positioniert. Dies kann natürlich nur bei Objektiven mit einer festen Brennweite geschehen. Wobei sich diese Art der Konstruktion z.B. negativ auf die Baulänge auswirkt.
- ▶ Die meisten Objektivkonstruktion zeigen deswegen immer eine leichte Verzerrung: Weitwinkelobjektive verzeichnen tonnenförmig und Teleobjektive kissenförmig.



*Symmetrisches Objektiv mit der Blende in der Mitte*



# Verzeichnung (2)

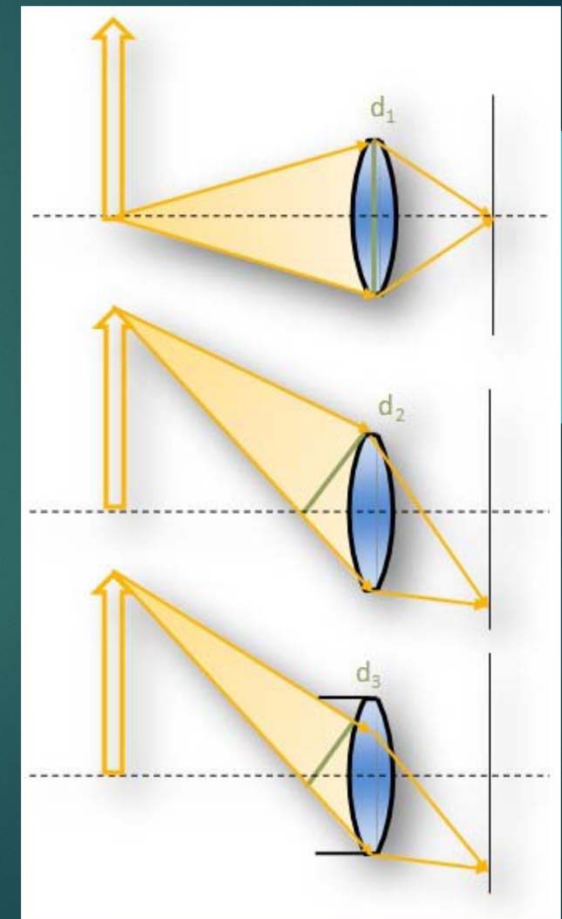
- ▶ Wie stark diese Verzeichnung ausfällt und wie stark sie sich im Bild auswirkt hängt von der Qualität des Objektivs ab.
- ▶ Abblenden hilft leider nicht. Einige Kameras rechnen die Verzeichnung schon aus den Fotos heraus. Hat die eigene Kamera diese Funktion nicht, dann kann man sich immer noch mit einer passenden Nachbearbeitung helfen.
- ▶ Will man mit einem Zoomobjektiv verzeichnungsfreie Aufnahmen machen, muss man sich durch ausprobieren die Brennweite ohne Verzeichnung suchen.



# Vignettierung (1)

- ▶ Die Vignettierung bedeutet, als dass die Ränder des Bildes abgedunkelt sind.  
Dies liegt daran, dass Licht, das schräg auf die Linse fällt, mit einer geringeren Helligkeit auf die Bildebene auftrifft, wie Licht, das senkrecht auf die Linse fällt.
- ▶ Den Zusammenhang verdeutlicht folgende Darstellung:  

Jeder der zwei Punkte an den Pfeilspitzen leuchtet gleich hell. Der Abstand zur Linse ist auch annähernd gleich groß. Der Lichtkegel, der von jedem Punkt auf die Linse fällt und damit zum Bild beiträgt, hat jeweils einen Durchmesser  $d_n$ .
- ▶ Der Lichtkegel der vom unteren Punkt kommt und somit senkrecht auf die Linse fällt, hat den größten Durchmesser. Der Kegel vom oberen Punkt hat effektiv einen kleineren Durchmesser und deswegen fällt sein Abbild dunkler aus.



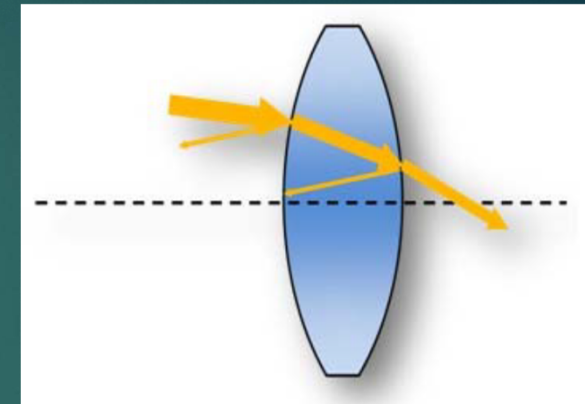
# Vignettierung (2)

- ▶ Diesen Effekt nennt man auch "natürliche" Vignettierung, da sie immer auftritt und sozusagen in der Natur der Abbildung mit Linsen liegt.
- ▶ Im Gegensatz dazu wird die "künstliche Vignettierung" vom Objektiv verursacht. Das bedeutet, dass das Objektivgehäuse den Lichtkegel noch weiter einengt.
- ▶ Die natürliche Vignettierung kann man nicht vermeiden. Bei der künstlichen hilft Abblenden. Dabei muss die Blende so eingestellt werden, dass der senkrecht einfallende Lichtkegel annähernd denselben Durchmesser hat, wie der schräg einfallende – der Durchmesserunterschied durch die natürliche Vignettierung bleibt natürlich erhalten.



# Teilreflexion

- ▶ Wie auch bei einer Glasscheibe wird bei einer Linse nicht alles Licht durchgelassen sondern es wird ein kleiner Teil reflektiert. Wie viel das ist, hängt vom Glas der Linse und vom Einfallswinkel der Lichtstrahlen ab.
- ▶ Dabei wird nicht nur beim Eintritt des Lichtes in die Linse ein Teil reflektiert, sondern auch wieder beim Austritt.
- ▶ Was dann dazu führt, dass dieses reflektierte Licht dann auch auf das Bild trifft. Bei Objektiven mit mehreren Linsen wird die Sache noch schlimmer. Es ergeben sich dann Lichtflecken oder Phantombilder.
- ▶ Das ganze lässt sich durch eine Vergütung der Linsen deutlich verbessern. Dazu wird eine Metallsalzverbindung auf die Linsen aufgedampft. Das ist im Prinzip dasselbe wie die Entspiegelung von Brillen.
- ▶ Wenn es der Hersteller gut meint, dann lässt er die Linsen mehrfach bedampfen um die Bildqualität weiter zu verbessern. Man nennt solche Objektive auch "Multicoated-Objektive".



# Chromatische Aberration

- ▶ Licht wird je nach Wellenlänge unterschiedlich stark gebrochen.
- ▶ Da sich normalerweise Licht aus verschiedenen Farben zusammen setzt (siehe auch: Farbenlehre), kommen auch verschiedene Wellenlängen darin vor, die unterschiedlich stark gebrochen werden.
- ▶ Dadurch ergibt sich für jede Farbe/ Wellenlänge eine andere Brennweite bei der gleichen Linse.
- ▶ Wie Die Spreizung der Wellenlängen ist abhängig vom verwendeten Glas und durch eine geschickte Kombination von zwei verschiedenen Gläsern als Streu- und Sammellinse kann man den Fehler zum größten Teil korrigieren. Es lassen sich zwei Farben auf einen Fokuspunkt legen. Ein Objektiv welches dieses kann nennt man Achromat.
- ▶ Um das gesamte Spektrum auf einem Punkt zu fokussieren, muss eine dritte Glassorte verwendet werden. Objektive dieser Bauart nennt man Apochromaten.

