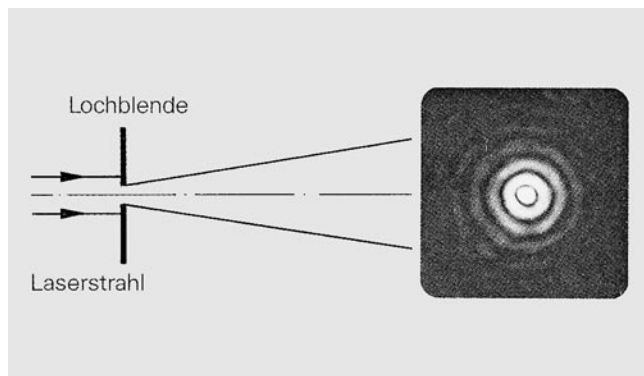


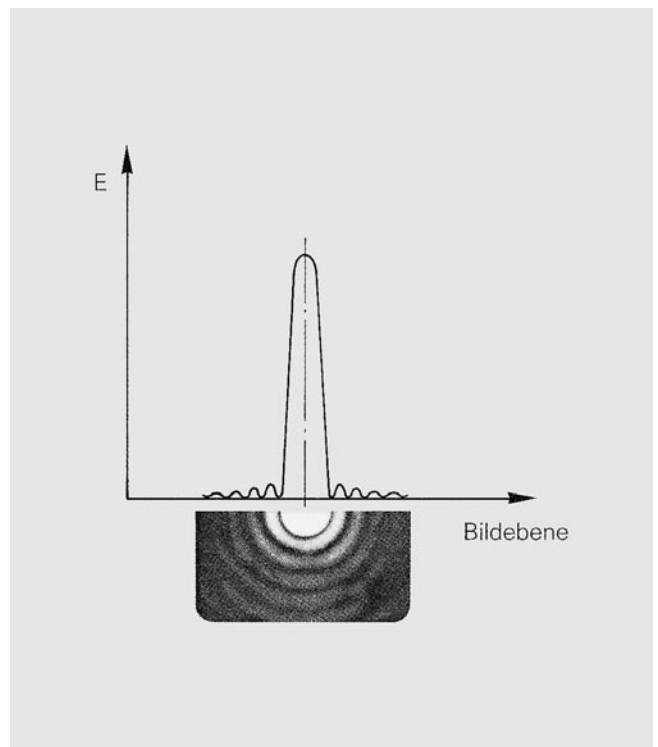
Optische Auflösung

Das Auflösungsvermögen eines perfekten, fehlerfrei gefertigten optischen Systems wird nur durch die wellenlängenabhängige Beugung des Lichts begrenzt.

Die folgende Abbildung zeigt die Beugung an einer kreisförmigen Blende. Ein paralleler Laserstrahl trifft auf die Blende und das auftreffende Licht wird am Blendenrand gebeugt. Hinter der Blende entsteht eine Intensitätsverteilung mit konzentrischen Ringen. Diese Erscheinung gilt für sämtliche optischen Systeme.



Beugung an einer Blende



Lichtverteilung im Beugungsbild

Tritt ein paralleles Lichtbündel durch eine Linse, so wird in der Bildebene (im Fokus) wieder die Beugungserscheinung beobachtet, ergänzt durch Einflüsse, die von der Lichtbrechung am Linsenmedium (z.B. Glas) herrühren. Die in der Abbildung dargestellte Lichtverteilung weist im zentralen Maximum 84 Prozent des gesamten Lichts auf. Die verbleibenden 16 Prozent verteilen sich auf die Nebenmaxima.

Der Durchmesser des ersten Rings wird als Beugungs- oder Airy-Scheibchen bezeichnet. Sein Durchmesser berechnet sich zu:

$$D_{\text{Airy}} = 2,44 \lambda \cdot k$$

mit Blendenzahl

$$k = \frac{f'}{\varnothing_{\text{EP}}}$$

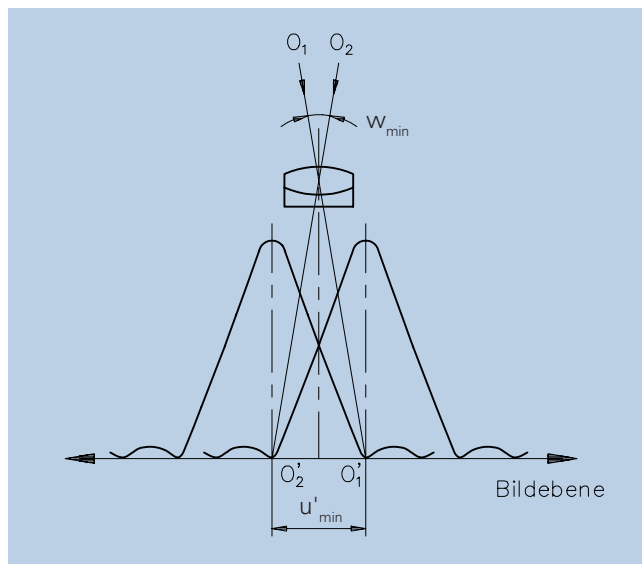
λ Wellenlänge

f' Brennweite

\varnothing_{EP} Durchmesser Eintrittspupille (freie Öffnung)

Das Beugungsscheibchen begrenzt das Auflösungsvermögen der optischen Abbildung. Unter Auflösungsvermögen wird der minimale auflösbare Abstand von abgebildeten Objektpunkten in der Bildebene bezeichnet. Bei einem astronomischen Fernrohr wäre die Trennbarkeit zweier benachbarter Sterne das Auflösungsvermögen. Wie aus der Formel für den Durchmesser des Airy-Scheibchens ersichtlich ist, bestimmt das Verhältnis von freiem Durchmesser eines optischen Systems und dessen Brennweite im Wesentlichen das Auflösungsvermögen.

Die folgende Abbildung zeigt die Überlagerung zweier Airy-Scheibchen in der Bildebene. Überdecken sich die beiden Intensitätsmaxima gerade zur Hälfte, so können visuell die beiden Airy-Scheibchen noch getrennt wahrgenommen werden.



Auflösung zweier Bildpunkte

Dieser Abstand legt die minimale Bildstrukturauflösung und damit das Auflösungsvermögen fest und berechnet sich zu:

$$u'_{\min} = 1.22 \lambda \cdot k$$

Häufig wird auch der Winkelabstand der beiden Objektpunkte als Auflösungsvermögen bezeichnet. Unter der Voraussetzung kleiner Winkel ergibt sich dann:

$$w_{\min} = 1.22 \frac{\lambda}{\varnothing_{EP}} ; \sin w_{\min} \approx \tan w_{\min} \approx w_{\min}$$

Zur einfachen Abschätzung des Auflösungsvermögens im visuellen Spektralbereich (z.B. für HeNe-Laser 633 nm) gilt die Faustformel:

$$u'_{\min} = 1.5 k (\mu\text{m})$$

In der Praxis wird das Auflösungsvermögen neben der Beugungsbegrenzung durch die Material- und Fertigungstoleranzen mitbestimmt.

Aufgrund der hier aufgeführten Zusammenhänge wird deutlich, dass das Auflösungsvermögen optischer Systeme nicht beliebig steigerbar ist. Das Verhältnis von Brennweite zu Durchmesser ist für ein optisches System entsprechend zu optimieren.

Bei Laseranwendungen mit parallelem Strahlbündel ist der Strahldurchmesser selbst die beugende Öffnung. Tritt der Laserstrahl durch ein optisches System, so reduziert sich die freie Öffnung des Systems auf den Strahldurchmesser. Die Besonderheiten der Ausbreitung sowie der Fokussierung und Kollimierung von Laserstrahlung ist im Folgenden beschrieben.