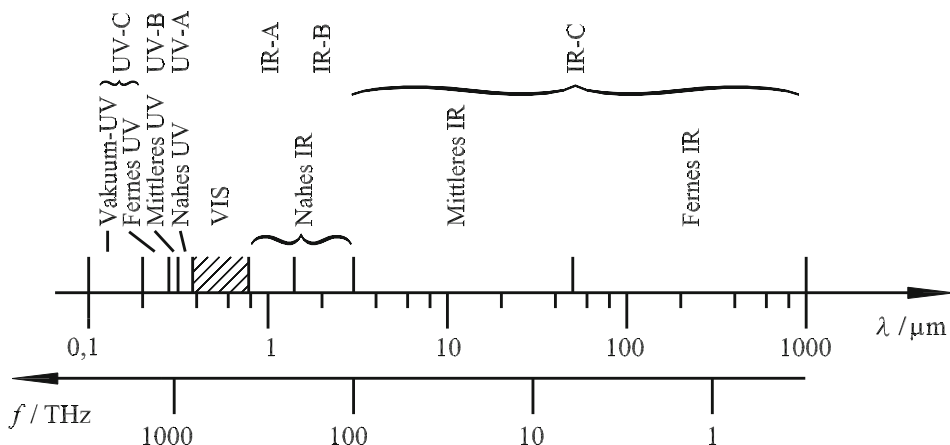


# 1

## Einleitung

Die Optik befasst sich mit der Entstehung, Ausbreitung und Absorption von Licht. Das Wesen des Lichts hat bereits verschiedene Deutungen erfahren. Insbesondere die Phänomene der Interferenz und Beugung führten zur Wellentheorie des Lichts (C. HUYGENS, T. YOUNG, A. FRESNEL). Die Experimente von MALUS zur Polarisation zeigten, dass es sich um eine Transversalwelle handeln muss. Schließlich erkannte J.C. MAXWELL, dass Licht eine elektromagnetische Transversalwelle ist. Experimente im Zusammenhang mit der Absorption und Emission von Licht führten EINSTEIN zur Lichtquantenhypothese. Danach findet der Energieaustausch zwischen einem Strahlungsfeld und Materie in ganzen Quanten statt. Der Dualismus Teilchen/Welle wurde schließlich im Rahmen der Quantenelektrodynamik zu einer einheitlichen Theorie zusammengeführt (Abschnitt 5.2).

Bild 1.1 zeigt die in der Optik relevanten Wellenlängenbereiche. Das sichtbare Licht (VIS, visible spectrum) erstreckt sich von 380 nm bis 780 nm. Die zugehörigen Frequenzen betragen einige Hundert Terahertz. Die benachbarten Spektralgebiete sind die ultraviolette Strahlung (UV, 100 nm bis 380 nm) sowie die infrarote Strahlung (IR, 780 nm bis 1 mm). Insbesondere das nahe Infrarot ist von großer Bedeutung für die Optoelektronik.



**Bild 1.1** Wellenlängenbereiche und Frequenzen optischer Strahlung nach DIN 5031-7

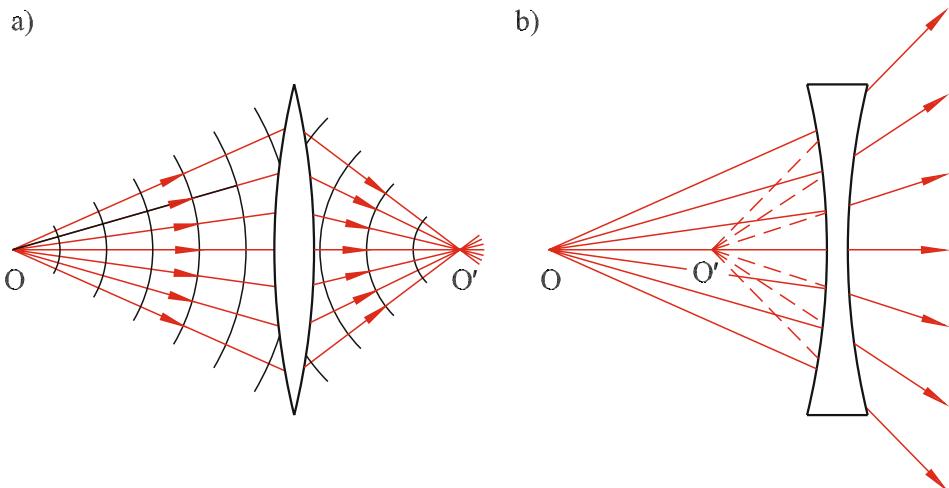
# 2

## Geometrische Optik

Wenn Beugungseffekte keine Rolle spielen – das ist der Fall, wenn die Objekte groß sind gegenüber der Wellenlänge –, dann kann die Ausbreitung des Lichts durch Strahlen beschrieben werden, was in der geometrischen Optik oder Strahlenoptik behandelt wird.

### ■ 2.1 Lichtstrahlen, optische Abbildung

Im homogenen und isotropen Raum sendet ein leuchtender Objektpunkt  $O$  (Bild 2.1) eine Kugelwelle aus. Strahlen sind Normalen auf den kugelförmigen Wellenflächen (Abschnitt 4.1). Sie breiten sich im homogenen Raum vom Gegenstandspunkt geradlinig aus. Werden beispielsweise durch eine Linse die Wellenflächen so transformiert, dass sie wieder auf einen Punkt zulaufen, dann konvergieren die Strahlen ebenfalls in diesem Bildpunkt  $O'$ .



**Bild 2.1** Abbildungen durch Strahlen; a) reelles, b) virtuelles Bild

Treffen sich die Strahlen wirklich wie in Bild 2.1 a) in einem Punkt, so kann das Bild beispielsweise auf einer Mattscheibe aufgefangen werden; es entsteht ein *reelles Bild*. Divergieren die Strahlen wie in Bild 2.1 b), so schneiden sich die gestrichelten rückwärtigen Verlängerungen im *virtuellen Bildpunkt* O'. Obwohl das Bild nicht real existiert, kann es ein Beobachter durchaus sehen, wenn die Augenlinse die divergierenden Strahlen wieder auf der Netzhaut zu einem reellen Bild vereinigt.

## ■ 2.2 Fermat'sches Prinzip

PIERRE FERMAT stellte ein fundamentales Extremalprinzip auf:



Ein Lichtstrahl nimmt zwischen zwei Punkten A und B den Weg, bei dem die benötigte Zeit ein Extremum (meist Minimum) ist.

In einer Anordnung nach Bild 2.2 ist die Zeit, die das Licht von A nach B benötigt,

$$t = \frac{s_1}{c_1} + \frac{s_2}{c_2} + \frac{s_3}{c_3} + \frac{s_4}{c_4} = \sum \frac{s_i}{c_i}$$

Die Lichtgeschwindigkeit  $c$  innerhalb eines Mediums ist verknüpft mit der Vakuumlichtgeschwindigkeit  $c_0$  durch die *Brechzahl*  $n$  (*Brechungsindex*)

$$n = \frac{c_0}{c} \quad (2.1)$$

Damit wird die vom Licht benötigte Zeit

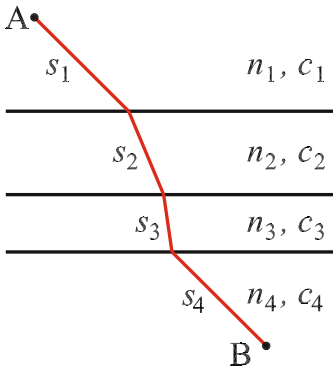
$$t = \frac{1}{c_0} (n_1 s_1 + n_2 s_2 + n_3 s_3 + n_4 s_4) = \frac{1}{c_0} \sum n_i s_i \quad (2.2)$$

Nach dem FERMAT'schen Prinzip muss gelten

$$l = \sum n_i s_i = \text{Min!} \quad (2.3)$$

$l$  wird als *optischer Weg* bezeichnet. Wenn sich der Brechungsindex längs des Weges ändert, gilt

$$l = \int_A^B n(s) ds = \text{Min!} \quad (2.4)$$

**Bild 2.2**

Weg eines Lichtstrahls durch Schichten aus verschiedenen Medien;  $s_i$ : geometrischer Weg im Medium  $i$ ;  $n_i$ : Brechzahl des Mediums  $i$ ;  $c_i$ : Lichtgeschwindigkeit im Medium  $i$

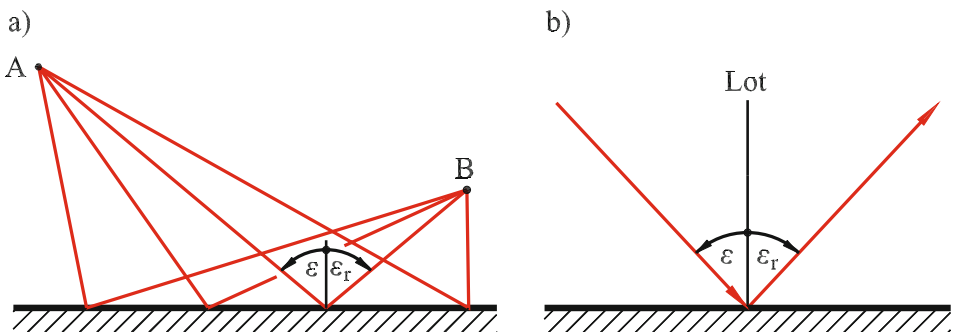
Nach FERMAT ist der Weg eines Lichtstrahls also so, dass nicht der geometrische Weg zwischen zwei Punkten ein Extremum wird, sondern der optische Weg.

Bei der Abbildung eines Objektpunktes  $O$  in einen Bildpunkt  $O'$  (Bild 2.1) gilt nach dem FERMAT'schen Prinzip, dass für alle an der Abbildung teilnehmenden Strahlen der optische Weg gleich lang sein muss.

## ■ 2.3 Reflexion von Lichtstrahlen

### 2.3.1 Reflexion an ebenen Flächen

Der Lichtweg eines Strahls, der an einer ebenen spiegelnden Fläche reflektiert wird, folgt unmittelbar aus dem FERMAT'schen Prinzip (Bild 2.3 a). Von den unendlich vielen denkbaren Lichtwegen von  $A$  nach  $B$  ist der Weg, bei dem die beiden Winkel  $\varepsilon$  und  $\varepsilon_r$  gleich sind, der kürzeste. Es gilt das *Reflexionsgesetz* (Bild 2.3 b):

**Bild 2.3** Reflexion an einer ebenen Grenzfläche

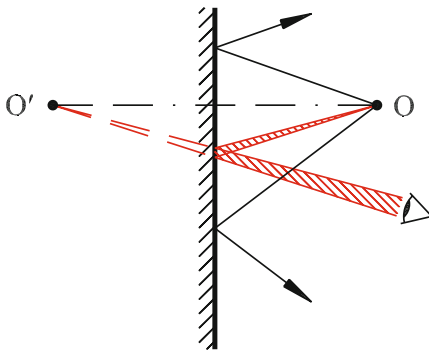


Einfallender Strahl, reflektierter Strahl sowie das Lot auf die Fläche im Auftreffpunkt liegen in einer Ebene; der Einfallswinkel  $\varepsilon$  und der Reflexionswinkel  $\varepsilon_r$  sind betragsmäßig gleich groß.

Mit den in der technischen Optik nach DIN 1335 üblichen Vorzeichen für Winkel ist  $\varepsilon > 0$  und  $\varepsilon_r < 0$ . Damit lautet das Reflexionsgesetz:

$$\varepsilon_r = -\varepsilon \quad (2.5)$$

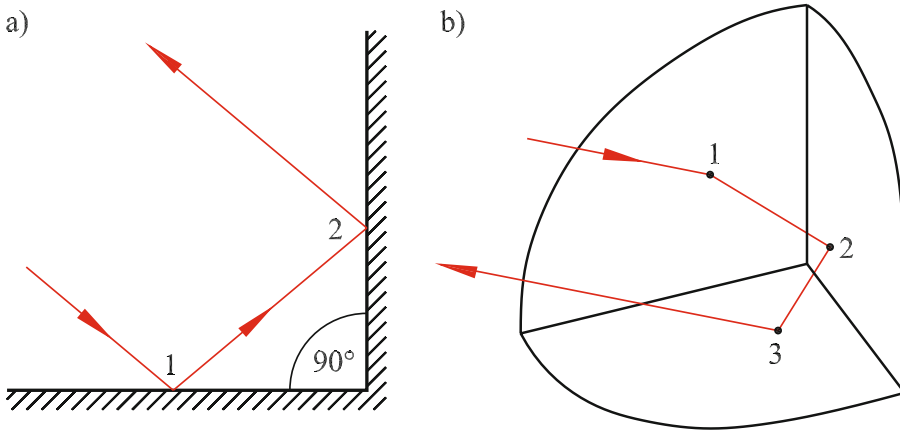
Bild 2.4 zeigt die Bildentstehung am ebenen Spiegel. Von den unendlich vielen Strahlen, die der Gegenstandspunkt  $O$  aussendet, treten die innerhalb des schraffierten Kegels laufenden ins Auge eines Betrachters ein. Die nach rückwärts verlängerten Strahlen ergeben den virtuellen Bildpunkt  $O'$ . Gegenstandspunkt  $O$  und Bildpunkt  $O'$  liegen also auf derselben Normalen zur Spiegelebene und haben von dieser den gleichen Abstand, sie sind „spiegelsymmetrisch“.



**Bild 2.4**  
Bildentstehung am ebenen Spiegel

Technisch besonders interessant ist der *Winkelspiegel* mit einem Winkel von  $90^\circ$  (Bild 2.5 a). Unabhängig vom Einfallswinkel ist nach zwei Reflexionen der ausfallende Strahl parallel zum einfallenden, falls alle Strahlen in der Zeichenebene verlaufen.

Bringt man noch eine dritte Fläche senkrecht zu den beiden anderen an, so wie die Flächen in einer Würfecke, dann wird jeder beliebig einfallende Strahl nach drei Reflexionen parallel zu sich selbst reflektiert (Bild 2.5 b). Derartige *Tripelspiegel* werden beispielsweise als Rückstrahler an Fahrzeugen eingesetzt sowie zur optischen Entfernungsmessung (Bild 10.61).

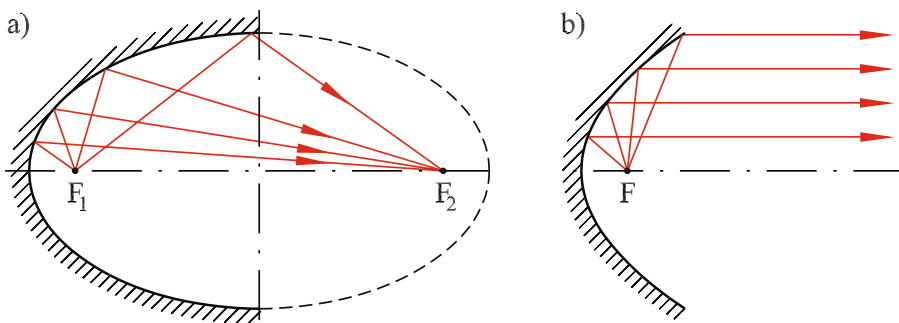


**Bild 2.5** Reflexion an a)  $90^\circ$ -Winkelspiegel, b) Tripelspiegel

### 2.3.2 Reflexion an gekrümmten Flächen

Bei gekrümmten Flächen gilt das Reflexionsgesetz unverändert, wenn im Auftreffpunkt eines Strahls eine Tangentialebene und senkrecht dazu das Lot errichtet werden. Besonders interessante Eigenschaften haben Flächen in Form eines Kegelschnitts (Bild 2.6).

Der *Ellipsoidspiegel* hat zwei *Brennpunkte*. Wenn eine punktförmige Lichtquelle in einem Brennpunkt sitzt, so werden alle von ihr ausgehenden Strahlen, die den Spiegel treffen, im zweiten Brennpunkt fokussiert. Sitzt beim *Paraboloidspiegel* eine punktförmige Lichtquelle im Brennpunkt, so verlassen die Strahlen den Spiegel als Parallelbündel parallel zur *optischen Achse* (Rotationssymmetrieachse). Wegen der grundsätzlichen Umkehrbarkeit des Strahlengangs werden parallel zur optischen Achse in einen Parabolspiegel einfallende Strahlen im Brennpunkt fokussiert.



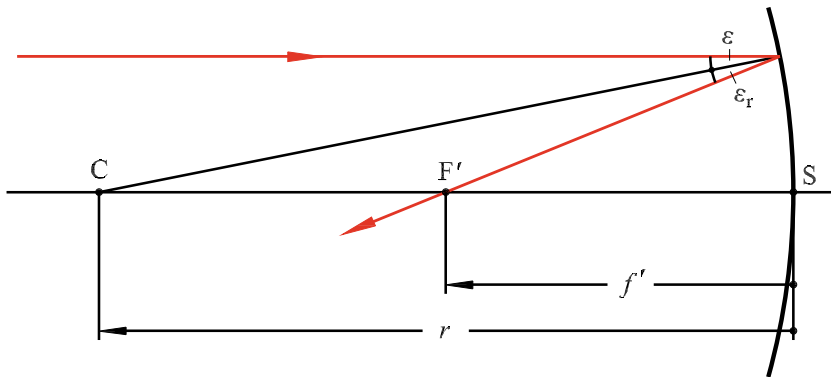
**Bild 2.6** Spiegel mit Kegelschnittflächen; a) Ellipsoid, b) Paraboloid

Die größte praktische Bedeutung haben Spiegel mit kugelförmiger Fläche. Der *sphärische Hohl- oder Konkavspiegel* ist eine innen verspiegelte Kugelkalotte (Bild 2.7).

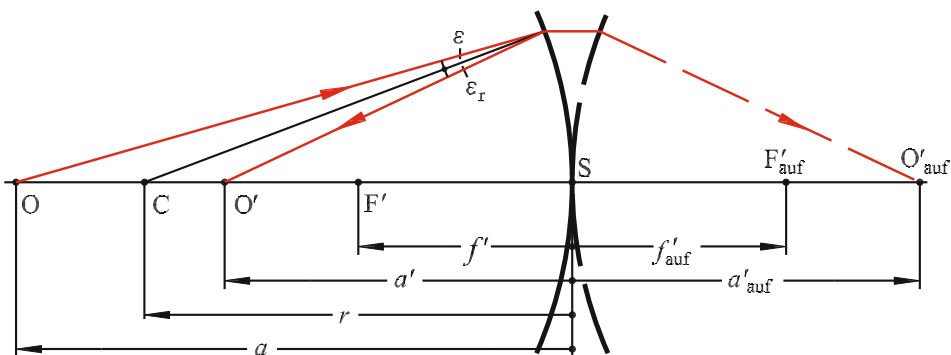
Fällt ein weit geöffnetes paralleles Strahlenbündel in einen Hohlspiegel, so treffen sich nicht alle Strahlen in einem Brennpunkt wie beim Paraboloidspiegel. Verlaufen jedoch die Strahlen relativ nahe an der optischen Achse, sogenannte *Paraxialstrahlen*, so werden mit guter Näherung alle im Brennpunkt fokussiert. Für kleine Winkel  $\varepsilon$  (Bild 2.7) wird die *Brennweite*

$$f' = \frac{r}{2} \quad (2.6)$$

Nach den Vorzeichenregeln der technischen Optik in DIN 1335 (s. Abschnitt 2.5) sind die vom Scheitel S aus nach links gerichteten Strecken negativ, d.h.  $f' < 0$ ,  $r < 0$ .



**Bild 2.7** Reflexion eines paraxialen Strahls parallel zur optischen Achse CS am Hohlspiegel; C: Krümmungsmittelpunkt, F': Brennpunkt, S: Scheitel,  $f'$ : Brennweite,  $r$ : Krümmungsradius



**Bild 2.8** Abbildung eines Objektpunktes O auf der optischen Achse eines Hohlspiegels,  $r < 0$ ,  $f' < 0$ . Rechts ist gestrichelt der aufgefaltete Strahlengang gezeichnet

Die Abbildung eines leuchtenden Objektpunktes auf der optischen Achse eines Hohlspiegels ist in Bild 2.8 dargestellt. Um den Bildpunkt  $O'$  zu finden, genügt es, wenn zwei von  $O$  ausgehende Strahlen verfolgt werden. An ihrem Schnittpunkt liegt der Bildpunkt  $O'$ . Einer dieser Strahlen ist die optische Achse selbst, der andere wird gemäß Reflexionsgesetz konstruiert. Eine kurze trigonometrische Rechnung zeigt, dass bei kleinen Winkeln  $\varepsilon$ , also bei der Verwendung von paraxialen Strahlen, Gegenstandsweite  $a$  und Bildweite  $a'$  mit der Brennweite  $f'$  verknüpft sind durch die *Abbildungsgleichung des Hohlspiegels*:

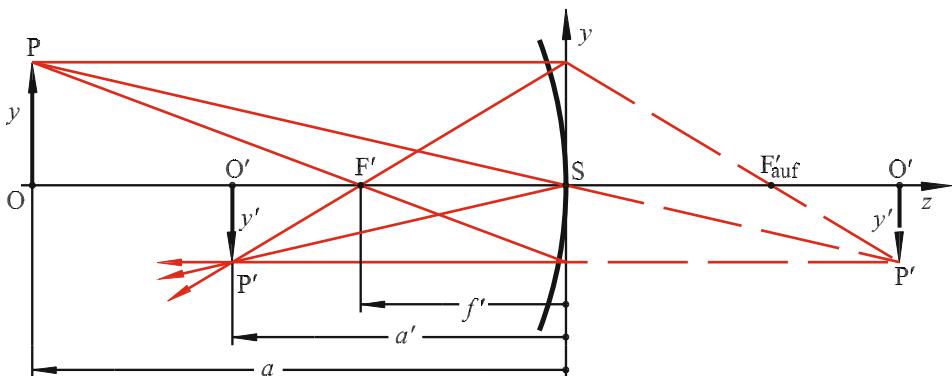
$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f'} \quad (2.7)$$

Beim Durchrechnen von Strahlengängen ist es häufig zweckmäßig, zum *aufgefalteten Strahlengang* überzugehen. Dabei wird der aufgefaltete Bildpunkt  $O'_{\text{auf}}$  symmetrisch zu  $O'$  hinter dem Spiegel gezeichnet. Bei *Auffaltung* gilt die Abbildungsgleichung

$$\frac{1}{a'_{\text{auf}}} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f'_{\text{auf}}} \quad \text{mit} \quad f'_{\text{auf}} = -\frac{r}{2} = -f' > 0 \quad (2.8)$$

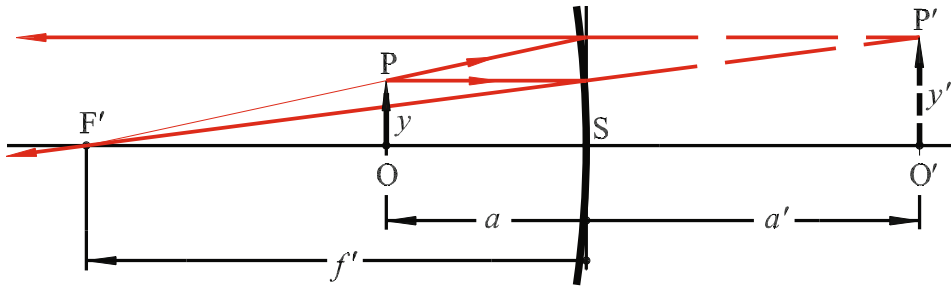
Bei der Abbildung eines ausgedehnten Gegenstandes, dargestellt als Pfeil  $OP$  in Bild 2.9, genügt es, zwei ausgewählte Strahlen von der Pfeilspitze aus zu verfolgen. Dabei wird ausgenutzt, dass Strahlen parallel zur optischen Achse ( $z$ -Achse) nach der Reflexion am Spiegel durch den Brennpunkt gehen und umgekehrt. Für achsennahe Strahlen (*Paraxialstrahlen*) erfolgt die Reflexion praktisch an der  $y$ -Achse. Ein dritter Strahl von der Pfeilspitze zum Scheitel  $S$  wird unter dem gleichen Winkel relativ zur  $z$ -Achse reflektiert. Der Zusammenhang zwischen Objektgröße  $y$  und Bildgröße  $y'$  folgt direkt aus den Strahlensätzen. Der *Abbildungsmaßstab* bzw. die *Lateralvergrößerung* beträgt

$$\beta' = \frac{y'}{y} = -\frac{a'}{a} \quad (2.9)$$



**Bild 2.9** Abbildung eines ausgedehnten Gegenstandes durch einen Hohlspiegel mittels Paraxialstrahlen. Der aufgefaltete Strahlengang ist gestrichelt





**Bild 2.10** Abbildung eines Gegenstandes innerhalb der Brennweite des Hohlspiegels. Das Bild ist virtuell, aufrecht und vergrößert

Mithilfe der Abbildungsgleichung ergibt sich

$$\beta' = \frac{y'}{y} = \frac{f'}{f' - a} = \frac{1}{1 - a/f'} \quad (2.10)$$

Wenn der Gegenstand zwischen Brennpunkt und Scheitel steht, entsteht ein virtuelles Bild (Bild 2.10).

Je nach Abstand des Gegenstandes vom Spiegel ergeben sich die in Tabelle 2.1 zusammengestellten Verhältnisse.

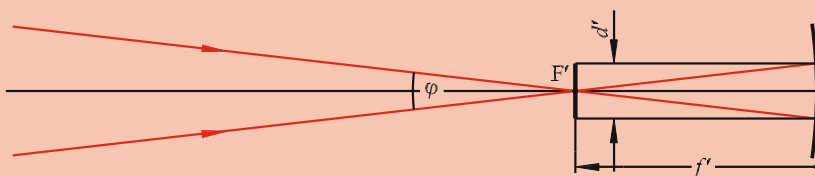
**Tabelle 2.1** Abbildungsverhältnisse beim Hohlspiegel

Gegenstandsweite	Bildweite	Abbildungsmaßstab	Bildart
$ a  > 2 f' $	$ f'  <  a'  < 2 f' $	$-\beta' < 1$	umgekehrt, reell
$a = 2f'$	$a' = 2f'$	$-\beta' = 1$	umgekehrt, reell
$2 f'  >  a  >  f' $	$ a'  > 2 f' $	$-\beta' > 1$	umgekehrt, reell
$a = f'$	$a' = \infty$	$\beta' = \pm \infty$	Bild im Unendlichen
$ a  <  f' $	$a' > 0$	$\beta' > 1$	aufrecht, virtuell



### Beispiel 2.1

Mit einem Hohlspiegel von 10 m Krümmungsradius soll ein Bild der Sonne erzeugt werden. Wo befindet sich das Bild und wie groß ist es, wenn die Sonne von der Erde aus unter einem Sehwinkel von  $\varphi = 32'$  erscheint?



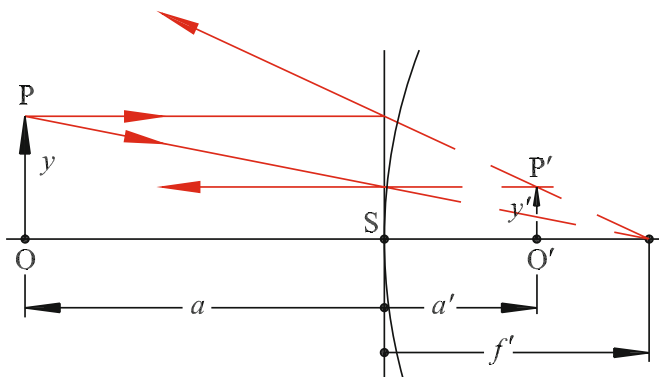
Die Sonne ist praktisch unendlich weit entfernt. Dadurch entsteht ihr Bild in der Brennebene des Spiegels, d. h. 5 m vor dem Spiegel. Strahlen, die vom Sonnenrand durch den Brennpunkt gehen, werden nach der Reflexion am Spiegel zu achsenparallelen Strahlen und bestimmen dadurch die Größe des Bildes. Für den Bilddurchmesser ergibt sich

$$d' = |f'| \cdot \varphi = 5 \text{ m} \cdot 9,31 \cdot 10^{-3} \text{ rad} = 46,6 \text{ mm}$$

Beim *sphärischen Wölb- oder Konvexspiegel* ist die Außenseite einer Kugelkalotte verspiegelt. Die Abbildungsgleichungen für den Hohlspiegel behalten ihre Gültigkeit, lediglich die Brennweite und der Krümmungsradius werden jetzt positiv:

$$f' = \frac{r}{2} \quad \text{mit } r > 0 \quad (2.11)$$

Das Bild ist beim Wölbspiegel immer aufrecht, verkleinert und virtuell (Bild 2.11). Er wird gerne benutzt als Rückspiegel beim Kraftfahrzeug. Der Wölbspiegel macht zwar verkleinerte Bilder der Umwelt, besitzt aber ein großes Gesichtsfeld.



**Bild 2.11** Bildentstehung beim Wölbspiegel. Das Bild ist virtuell, aufrecht und verkleinert

## ■ 2.4 Brechung des Lichts

### 2.4.1 Brechungsgesetz

Wenn eine Lichtwelle schief auf eine Grenzfläche zuläuft, die Medien mit verschiedenen Phasengeschwindigkeiten trennt, dann ändert die Welle ihre Laufrichtung (Bild 2.12). Dadurch ändert sich auch die Richtung der Lichtstrahlen, sie werden gebrochen. Die Richtungsänderung kann sowohl mit der Methode der HUYGENS'schen

# Index

## A

- Abbe-Diagramm 13
- Abbe'sche Invariante 24
- Abbe-Zahl 12, 862, 882
- Abbildung, projektive 802
- Abbildungsfehler 82
- Abbildungsgleichung 31
  - des Hohlspiegels 8
- Abbildungskette 810
- Abbildungsmaßstab 8, 834
- Abbildungsqualität 844, 847ff., 852, 868, 892, 905
- A,B,C,D-Matrix 54
- Aberration
  - axial chromatische 861
  - chromatische 837
  - sphärische 837f., 850
  - Wellen- 837
- ABg-Modell 899
- absolutes Messverfahren 582
- Absorption von Licht 336
- Abstandssensor
  - Triangulation 576
- Abtastung, fotoelektrisch 581
- Achromasiebedingung 862f.
- Achromat 848, 862, 882
- Achromatisierung 862
- Adaptive Correction Method (ACM) 870
- afokales System 52
- Airy-Funktion 277
- Airysche Beugungsscheibe 286
- Akkommodation 100
- akustisches Mikroskop 828
- Akzeptanzwinkel 17
- Ames-Raum 924f.
- Ampel 453
- Analysator 194
- Analyse
  - spektralradiometrische 775
  - spektralradiometrische 775
- Anamorphose
  - Zylinder- 919
- annulare Blende 808
- Ansatz, paraxialer 847
- Apertur 719 f., 834 ff., 844 ff., 864 f.
- Aperturblende 71, 835
- Aperturkoordinate 837
- Array-Detektoren 532
- Asphäre 848, 874 ff., 890 f.
- Asphärenkoeffizient 869, 875, 878
- asphärische Fläche 20
- Astigmatismus 837, 854, 864 f., 876, 890
- Asymmetriefehler 852
- ATR Attenuated total reflectance (ATR)-Spektroskopie 645
- Audience Scanning, Laser in der Unterhaltung 518
- Aufbauten, Transmissions- 719
- Auffaltung 8
- Auflösung 719 f., 798 ff., 807f., 828
  - Sensor 573
- Auflösungsgrenze, Sensor 573
- Auflösungsvermögen 114
  - beugungsbegrenzter Instrumente 287
  - des Mikroskops 290
  - eines Gitters 300

Aufweitungsoptik 455  
 Augenschutz, Normen 930  
 Ausbreitungskonstante 396  
 Austrittsluke 77  
 Austrittspupille (AP) 73, 835 f., 892, 907  
 Auswertung  
 – modellbasiert 800  
 Autokollimationsoptik 575  
 Avalanche-Dioden 532  
 axiale chromatische Aberration 861  
 Azimutwinkel 895

## B

Babinetsches Theorem 285  
 Bayer-Pattern 635  
 Beleuchtung 798, 807 ff.  
 – Fassaden 447  
 – Klassen 447  
 – schiefe 808  
 – Straßen 447  
 Beleuchtungsstärke 164  
 Belichtung 164  
 Benham-Scheibe 922  
 Bessel-Verfahren 41  
 Bestrahlungsstärke 142  
 Beugung 281  
 – am Doppelspalt 295  
 – am Gitter 293  
 – an einer Lochblende 286  
 – kaskadierte 907  
 Beugungseffizienz 883 ff.  
 Beugungsgitter 298, 719 f.  
 Beugungsordnung 880 ff., 893  
 Beugungswinkel 880  
 Bewegungstäuschung 921  
 Bezugssehweite 100  
 biaxiale Optik 575  
 Bidirectional Scattering Distribution  
 Function (BSDF) 894  
 Bildfehler 836 ff., 850, 859, 864 f., 891  
 Bildfeldkorrektur 719  
 Bildfeldkrümmung 837, 864 f.  
 bildgebende Verfahren 798, 829  
 Bildqualität 807

Bildraum 834 f., 838  
 Bildverarbeitung, Time of flight (TOF)  
 809  
 Bildweite 27  
 Bildwiedergabe 810  
 Biosensoren 660  
 Bitrate-Länge-Produkt 418  
 Blaze-Profil 886 f.  
 Blende 71  
 – annulare 808  
 Blendenlage 858, 864 f.  
 Blendenzahl 75  
 Blendung 450  
 – physiologisch 438  
 – psychologisch 438  
 Blendungswert GR 450  
 Blindbereich, Sensor 575  
 Bouguer-Lambert'sches Gesetz 411, 637  
 Bouguer-Lambertsches Gesetz 342  
 Brechkraft 851, 854, 857 ff., 862 f.,  
 879 ff.  
 – der dicken Linse 37  
 Brechungsgesetz 10  
 Brechungsindex 3, 719  
 Brechzahl 3  
 Brechzahlmessung 717  
 Bremsstrahlen 808  
 Brennpunkt 28  
 Brennweite 28, 850, 858 ff.  
 Brennweitenbestimmung nach Bessel 41  
 Brillouin-Spektrometer 773  
 BSDF 894 ff.

## C

Candela 165  
 CCD-Detektor 532  
 Charge Coupled Device (CCD) 576  
 Chemosensoren 660  
 chromatische Längsaberration 837, 865  
 chromatische Queraberration 837, 865  
 CIE-Lab-Farbraum 623  
 CMOS-Detektor 532  
 CMYK-Farbraum 625  
 CO<sub>2</sub>-Laser 805

Code Aster-Programm 906  
 Codenummer 14  
 CODEV®-Optikprogramm 906, 909  
 Colorimetrie 645  
 Colour Rendering Index (CRI) 450  
 Computertomografie (CT) 800, 826  
 COMSOL Multiphysics®-Optikprogramm 906  
 Constraint 869  
 Cooke-Triplet 67, 836, 854, 857ff., 869  
 CO<sub>2</sub>-Gaslaser 479  
 CO<sub>2</sub>-Laser 809  
 cutoff frequency 844

## D

Damped Least Square Method (DLS) 871  
 Dämpfung in Lichtwellenleitern 411  
 Dämpfungskoeffizient 412  
 Dämpfungsterm 871  
 Defokussierung 808  
 Depth of Field (DOF) 801  
 Desensitivierung 873  
 Design to cost 873  
 Detektionsprinzipien 658  
 Detektionsvermögen 531  
 Detektor 719  
 – Array- 532  
 – CCD- 532  
 – CMOS 532  
 – Flächen- 532, 719  
 – Zeilen 719  
 Detektormaterial 530  
 Dichteschwankung 803  
 Difference Frequency Mixing (DFM) 809  
 diffraktive Optik 880ff.  
 diffraktives Element 882  
 diffraktive Struktur 888  
 diffraktiv optische Komponente (DOE) 879  
 diffraktiv optisches Bauelement (DOE)  
 – geblaztes 884  
 Dioden, Avalanche- 532  
 Diodenlaser 478

Diodenlaserspektrometer (TDL) 643  
 Dioptrie 28  
 Dispersion 12, 718ff.  
 – extreme 881  
 – im Lichtwellenleiter 416  
 Display-Messtechnik 625  
 Divergenzwinkel 308  
 Doppelbrechung 195  
 Doppel-Gauß-Objektiv 854, 859  
 Doppelspalt 246  
 dünne Linsen 26

## E

Ebene  
 – meridional 854  
 – sagittal 854  
 Echellespektrometer 773  
 Edlén-Formel 717  
 Effizienz, optische 885  
 Eindringtiefe 803, 828  
 Einfall, streifender 793  
 Eintrittsluke 77  
 Eintrittspupille (EP) 72, 835f.  
 elektromagnetische Wellen 802ff.  
 Element  
 – diffraktives 882  
 – fokussierendes 880  
 elliptische Polarisation 185  
 Emissionen radioaktiver Substanzen 799  
 Emissionsgrad 147  
 Energiedichte 183  
 Energie-Effizienzfaktoren 448  
 Energiesparlampe 440  
 Energiestromdichte 183  
 Entladungslampe 440  
 Escape-Funktion 871  
 Escher Treppauf – Treppab 923  
 Étendue 153  
 Euludat-Format 443  
 evaneszentes Feld 397  
 Excimerlaser 479, 808  
 extreme Dispersion 881f.  
 Extrem-Ultraviolett (EUV) 799, 808  
 Eyebox 810

## F

Fabry-Perot-Interferometer 276  
 Fabry-Perot-Laser 363  
 Falschfarbendarstellung 445  
 Faraday-Effekt 204  
 Farben  
 – Pantone 634  
 – RAL- 634  
 Farbfilter Sensoren 634  
 Farbkorrektur 636  
 Farblängsfehler 848, 859 ff.  
 Farbmessung 177  
 Farbmetrik 167  
 Farbmodell 623  
 – RGB- 623  
 Farbquerfehler 864  
 Farbraum  
 – CIE-Lab- 623  
 – CMYK- 625  
 – Lab- 623  
 – LCh- 624  
 – Luv- 624  
 Farbreizfunktion 169  
 Farbsysteme 634  
 Farbtafel 171  
 Farbtäuschung 922  
 Farbton (Hue) 625  
 Farbwiedergabeindex 178  
 Farbwiedergabewert  $R_a$  450  
 Faserlaser 476  
 Fehler  
 – Asymmetrie- 852  
 – Farblängs- 860  
 – Farbquer- 864  
 – Öffnungs- 850  
 – Perspektive 801  
 – Telezentrie- 801  
 Fehlsichtigkeit 777  
 Feld 834 ff., 846 ff., 857, 864 f., 908  
 Feldblende 76  
 Feldlinse 80  
 Feldwinkel 77, 833 ff., 850, 859 f.  
 Fermat'sches Prinzip 3  
 Fernfeldnäherung 907

Feuchtemessung 637  
 – LWL Lichtwellenleiter 641  
 – NIR Nahes Infrarot 639  
 – UV Ultraviolett 641  
 Filter  
 – Normen 930  
 Finite-Elemente (FEM)-Optik-Programme 906  
 first order layout 847f.  
 Fisheye 860  
 Flächendetektor 532, 719  
 Flächenformen 874  
 Fließinjektionsanalyse (FIA) 657  
 Flimmerfarben, musterinduzierte 922  
 Fluoreszenzmikroskopie 808  
 Fluoreszenz-Spektroskop 772  
 F-Number 76  
 Fokuslänge 718  
 fokussierendes Element 880, 888  
 Fotoeffekt 377  
 fotoelektrische Abtastung 581  
 Fotogrammetrie 859, 906  
 Fotometrie 138, 645  
 fotometrische Grenzentfernung 140  
 fotometrisches Entfernungsgesetz 142  
 fotometrisches Grundgesetz 142  
 fotometrisches Strahlungsäquivalent 164  
 Fotoobjektiv, Weitwinkel- 838  
 Fourier-Transformation 844, 907f.  
 Fraunhofer-Integral 908  
 Fraunhofer-Linien 13  
 Fraunhofer-Näherung 907  
 Freiformfläche 874, 879, 890 f.  
 Freiraumausbreitung 907  
 Fresnel-Linse 885  
 Fresnel'sche Gleichungen 217  
 Fresnelsches Parallelepiped 226  
 Fresnelsche Zonenplatte 318  
 Funktion, Escape- 871

## G

Gasentladungslampe 440  
 Gaslaser 479

Gauß'sche Optik 24  
 Gauß'sche Strahlen 305  
 Gaußsche Strahlen 908  
 Gauß'sche Linsengruppen 859  
 Gauß'sche Normalengleichung 870  
 geblaztes diffractives optisches Element  
 (DOE) 884  
 Gegenstandsweite 27  
 geometrische Optik 2  
 Gesetz von Malus 195  
 Gitter-Dispersion 301  
 Gitterfunktion 294  
 Gittergleichung 721  
 Gitterkoppler 658  
 Gitterspektrometer 720  
 Glan-Thompson-Prisma 198  
 Glare Rating (GR) 450  
 Glassorten 14  
 globales Optimierungsverfahren 871  
 Glühlampe 440  
 gonioskopisches Messverfahren 633  
 Gradientenfaser 408  
 Gradientenindex 869, 889 f.  
 Gradientenvektor 889  
 Graugrade 637  
 Grauwertverschiebung 574  
 Gravitationsfeldmessung 798  
 grazing incidence 793  
 Grenzflächenübergang 907 f.  
 Grenzfrequenz 844 ff.  
 Grenzwinkel der Totalreflexion 15  
 GRIN-Linse 890 f., 905  
 Größenkonstanz 925  
 Größentäuschung 925  
 Gruppengeschwindigkeit 248  
 Güteermkmale 447

## H

Halbleiter-Detektoren 377  
 Halbleiterlaser 366, 478  
 Halbwellenplatten 200  
 Halogen-Glühlampe 440  
 Halogen-Metaldampf 440  
 Hauptstrahl 74, 833 ff., 852

Heisenbergsche Unschärferelation 801  
 Helligkeit (Brightness) 625  
 Helligkeits-Täuschung 920  
 Helmholtz-Gleichung 907  
 Helmholtz-Lagrange-Invariante 26  
 Hermann-Gitter 920 f.  
 Hintergrundstrahlung 530  
 Höhenrelief 802  
 Hohlgesichter 920  
 Hohlraumstrahler 145  
 Hohlspiegel 7  
 Hubble-Space-Teleskop 794  
 Huygens-Fresnelsches Prinzip 281  
 Hybridelement 880 ff.  
 Hygenschches Prinzip 907

## I

ideales Punktbild (*PSF*) 808  
 imaging correction 719  
 Indexellipsoid 197  
 infrarote Strahlung 1  
 Infrarothygrometer 638  
 Infrarot (IR) 809  
 Injektionslaser 362  
 inkrementales Messverfahren 582  
 Intensität 183  
 Interferenz 809  
 Interferenzbedingungen 242  
 Interferenzen 240  
 Interferenzfilter 279  
 Interferenzholografie 325  
 Interferenzmuster, parasitär 809  
 Interferenzspektroskopie, reflektometrisch 659  
 Interferometrie, Weißlicht 809  
 interferometrische Längenmessung 580  
 Invariante der Brechung 12  
 Inzidenz, senkrechte 880  
 Inzidenzwinkel 850 ff., 859, 873, 897 f.  
 Ionenstrahlen 799  
 IR, Feuchtebestimmung 638  
 IR-Spektroskopie 645

**J**

Jones-Matrix 188  
 Jones-Vektor 187

**K**

Kardinalpunkte 64  
 kaskadierte Beugung 907  
 Kaustik 850  
 Kegelschnitt 875  
 Kellner-Okular 109  
 Kennlinie, Sensor 573  
 Kernspin 799  
 Kerr-Effekt 206, 210  
 Kirchhoffsches Beugungsintegral 907  
 Knotenpunkt 65  
 Kohärenz 243, 808 f.  
 Kohärenz-Gating 809  
 Kohärenzgrad 246  
 Kohärenzlänge 243  
 Kohärenzzeit 243  
 Koma 837 f., 852 ff., 859, 864 f., 873, 876, 890  
 Komponenten  
 – optisch diffraktiv (DOE) 879  
 Kondensator 80  
 Konkavspiegel 7  
 Kontrastfunktion 844  
 Kontrasttäuschung 920  
 Konuswinkel 718  
 Korrektur, Bildfeld 719  
 korrelative Mikroskopie 804

**L**

Lab-Farbraum 623  
 Lambert-Beer'sches Gesetz 637  
 Lambert-Bouguersches Gesetz 233  
 Lambert-Strahler 141, 895 f.  
 Lambert'sche Reflexionscharakteristik 600  
 Lampe 439  
 Längenmessung, interferometrisch 580  
 Längsaberration, chromatische 837

Laser 341  
 – CO<sub>2</sub>-Gas 479  
 – Dioden 478  
 – Excimer 479  
 – Faser 476  
 – Gas 479  
 – Halbleiter 478  
 – Quantenkaskaden 809  
 – Scheiben 475  
 – Slab 475  
 Laserbedingungen 342  
 Laser-Chirp 375  
 Laserdioden 362  
 Laser-Resonatoren 309  
 Lasertypen 347  
 Laufzeitunterschied 798, 803  
 LCD  
 – Schwellwert 633  
 LCh-Farbraum 624  
 LED 354, 440, 774  
 Leistung, reale optische 872  
 Leuchtdichte 164, 450  
 Leuchte 439  
 Leuchtenkatalog 465  
 Leuchtenstückliste 445  
 Leuchtenverteilung 444  
 Leuchtstofflampe 440  
 Licht  
 – Immission 470  
 – Therapie 468  
 – Verschmutzung 468  
 – Wirkung auf Menschen 467  
 Lichtaustrittsfläche 443  
 Lichtdruck 332  
 lichtelektrischer Effekt 330  
 Lichtlaufzeitmessung 573  
 Lichtleiter 719  
 Lichtleitwert 719  
 Lichtquanten 329  
 Lichtquelle 439, 807 f.  
 – Halogen 454  
 – LED 454  
 – unkorreliert 808  
 Lichtsignalanlage 453  
 Lichtstärke 164, 720



Lichtstärkeverteilung 443  
 Lichtstrom 164, 443  
 Lichttaster 600  
 Lichtwellenleiter 16  
 – Normen 929  
 Light Emitting Diode 440  
 Lineare Polarisation 185  
 Lingelbach und Schraufsches  
 Scintillating-grid 920  
 Linsendurchbiegung 854, 865  
 Linsenformen 31  
 Linsengruppen, Gauß'sche 859  
 Linse, refraktive 881  
 Lithografie 808f.  
 Lithografieobjektiv 838, 849, 869  
 Littrow-Aufbau 721  
 Lokalisation 801  
 Lorentz-Profil 338  
 LP-Moden 399  
 Luken 77  
 Luminanz 623  
 Lumineszenz 645  
 Lumineszenzdiode 354  
 Luminosität 719  
 Luv-Farbraum 624  
 LWL (Lichtwellenleiter), Feuchtemessung  
 641

## M

Mach-Zehnder-Chip 658  
 Mach-Zehnder-Interferometer 273  
 Magnetresonanztomografie (MRT)  
 798 ff.  
 Marechal-Kriterium 844  
 Markersubstanzen 645  
 Matrixmethoden der Gaußschen Optik  
 53  
 Matrizen für Linsen 57  
 Maxwell-Gleichungen 888, 907f.  
 Melanopsin 467  
 Melatonin 467  
 Meridionalebene 854  
 Meritfunktion 868 ff., 879  
 Messgenauigkeit 807

Messtechnik  
 – Display- 625  
 Messung  
 – Brechzahl 717  
 – Feuchte- 637  
 – Multianalyt- 660  
 Messverfahren  
 – absolutes 582  
 – gonioskopisches 633  
 – inkremental 582  
 Methode  
 – adaptive Korrections- (ACM) 870  
 – Damped Least Square (DLS) 871  
 – Sattelpunkt- 872  
 Mikroskop, Scanning Electron (SEM)  
 804  
 Mie-Streuung 637, 644  
 Mikroskop 110, 838  
 – akustisches 828  
 – Fluoreszenz 808  
 Mikroskopie  
 – korrelative 804  
 Mikroskopobjektiv 846  
 Modell, ABg- 899  
 modellbasierte Auswertung 798 ff.  
 Modendispersion 417  
 Modenkopplung 349  
 Modulation Transfer Function (MTF) 360  
 Modulation Transfer Function (MTF)  
 844 ff.  
 Moiré-Effekt 904  
 Monochromator 719  
 MTF 844 ff., 903 f.  
 Multianalytmessung 660  
 musterinduzierte Flimmerfarben 922

## N

Nahfeldmikroskopie 230  
 NASTRAN-Optikprogramm 906  
 Natriumdampflampe 440  
 Newton'sche Abbildungsgleichung 31  
 NIR (Nahes Infrarot) 639  
 – Feuchtemessung 639  
 Normalengleichung, Gauß'sche 870

## Normen

- Augenschutz 930
  - Filter 930
  - Optik 927
  - Optikfertigung 928
  - optische Bauelemente 928
  - Optoelektronik 929
  - Radio- und Fotometrie 929
- Normvalenzsystem 169  
numerische Apertur 17, 801  
Nyquist-Frequenz 904

## O

Oberflächenplasmonenresonanz (SPR),  
Surface Plasmon Resonance 645,  
658

Oberflächenrauigkeit 893, 897f.

Objektfeld 833 f., 837

Objekthöhe 834 f., 848

Objektiv

- Doppel-Gauß- 859
- Lithografie- 838, 849
- Petzval 858
- Weitwinkel-Foto- 838

Objektpunkt 833 f., 837, 864, 874

Objektraum 834 f.

Observable 798 ff.

Öffnungsfehler 850

Öffnungszahl 859 f.

OLED 440

Optical Coherence Tomography (OCT)  
809

Optik

- Autokollimations 575
- biaxial 575
- diffraktive 880

Optikdesign 836 ff., 847 ff., 868, 871,  
874 ff., 889 ff., 903 ff.

Optikfertigung, Normen 928

Optiknormen 927

Optikprogramm 906

Optiksimulation 891 f., 908

Optimierung 847 ff., 852, 868 ff., 876,  
879

optische Abbildung 2

optische Aktivität 201

optische Bauelemente, Normen 928

optische Berechnung, Hybridmethoden  
909

optische Effizienz 885 ff.

optische Geräte, Normen 928

optische Komponenten (DOE), diffraktiv  
879

optische Normen

- Augenschutz 930
  - Beleuchtung 927
  - Filter 930
  - Lichtwellenleiter 929
  - Optikfertigung 928
  - optische Bauelemente 928
  - optische Geräte 928
  - Optoelektronik 929
  - Radio- und Fotometrie 929
- optische Performance 872 f., 905 f.  
optische Phänomene
- Ames-Raum 924
  - Benham-Scheibe 922
  - Bewegungstäuschung 921
  - Escher Treppauf - Treppab 923
  - Farbtäuschung 922
  - Helligkeits-Täuschung 920
  - Hermann-Gitter 920
  - Hohlgesichter 920
  - Kontrast-Täuschung 920
  - Lingelbach und Schraufsches  
Scintillating-grid 920
  - musterinduzierte Flimmerfarben 922
  - Penrose-Dreieck 923
  - Penrose-Treppe 923
  - Pinna'sche Täuschung 921
  - Schuster, unmögliches Tor 924
  - Shepard, Elefant mit vier Füßen 924
  - unmögliche Objekte 922
  - Zylinderanamorphose- 919
- optischer Weg 3, 21, 836  
optische Simulationsrechnung 906  
optische Täuschungen 922  
Optoelektronik 351
- Normen 929

Optometrie 777  
 Ordnungen, spektrale 720  
 Organic Light Emitting Diode (OLED)  
 440  
 Orthogonalitätsrelation 877f.

## P

Pantone-Farben 634  
 parasitäre Interferenzmuster 809  
 paraxialer Ansatz 847  
 Paraxialstrahlen 7  
 Pegel 412  
 Penrose-Dreieck 923  
 Penrose-Treppe 923  
 Performance, optische 905  
 Perspektiven-Fehler 801  
 Petzval-Krümmung 859  
 Petzval-Objektiv 858  
 Phoropter 779  
 Photonen 330  
 Photonendrehimpuls 333  
 Photonenimpuls 332  
 Pinna'sche Täuschung 921  
 Planck'sches Strahlungsgesetz 145  
 Plancksches Strahlungsgesetz 339, 530  
 Pockels-Effekt 206  
 POF-Fasern 415  
 Polarisation 185  
 Polarisationsdrehung 189  
 Polarisationsgrad 194  
 Polarisationszustand 187  
 Polarisator 189  
 Polychromator 719  
 Power Spectral Density (PSD) 896  
 Poyntingscher Vektor 184  
 Prisma 18  
 projektive Abbildung 801f.  
 PSD-Halbleiter (Position Sensitive  
 Detector) 576  
 psychologische Blendung *UGR* 438  
 Pulslaufzeitverfahren  
 – Sensor 578  
 Punktbild 891f., 907  
 – ideales (*PSF*) 808

Pupille 71  
 Pupillensampling 846  
 Purkinje-Effekt 162  
 python 907

## Q

Q-Asphäre 876 ff.  
 Quantenkaskadenlaser 809  
 Quecksilberdampf 440  
 Queraberration 837f., 864  
 – chromatische 837

## R

Radarstrahlung 799  
 Radiometrie 138  
 – spektrale 773  
 Radio- und Fotometrie, Normen 929  
 RAL-Farben 634  
 Ramsden-Okular 109  
 Raumhöhe 444  
 Raumwinkel 140, 718  
 Rayleigh-Kriterium 288  
 Rayleigh-Länge 307  
 Rayleigh-Linie 772f.  
 Rayleigh-Rice-Störungstheorie 897  
 Rayleigh-Streuung 413  
 Raytracing 889, 892, 907ff.  
 reale optische Leistung 872  
 reelles Bild 3  
 Reflektometrie 645, 659  
 reflektometrische Interferenzspektro-  
 skopie (RIFS) 659  
 Reflexion  
 – an ebenen Flächen 4  
 – Lichtstrahl 4  
 – Schleier 450  
 – spekulare 893  
 Reflexionscharakteristik, Lambertsche  
 600  
 Reflexionsgesetz 4  
 Reflexionsgrad 220  
 – von Metallen 236  
 refraktive Linse 881

Refraktometrie 659, 778  
 Rekombination 352  
 relative Öffnung 76  
 ReluxSuite 466  
 Remissionsgrad, Lichtschranke 600  
 Rendering 3D 445  
 Resonant Mirror 658  
 RGB-Farbmodell 623  
 RMS-Wert 844 ff., 877, 898  
 Röntgenstrahlung 799, 808  
 Röntgenteleskop 793

## S

Sagittalebene 853 f.  
 Sammellinse 28  
 Sattelpunktmethode 872  
 Sättigung (Saturation) 625  
 Satz von Malus 837  
 Scanning, Audience- 518  
 Scanning Electron Microscope (SEM)  
 804  
 Schärfentiefe 801  
 Scheibenlaser 475  
 schiefe Beleuchtung 808  
 Schleierleuchtdichte 450  
 Schuster Unmögliches Tor 924  
 schwarzer Strahler 145  
 Schwellenwerterhöhung TI 450  
 Schwellwert, LCD 633  
 Scintillating-grid, Lingelbach und  
 Schraufsches 920  
 Sehfeldzahl 109  
 Sehleistung 777 ff.  
 Sehtest 778  
 sekundäres Spektrum 861 ff.  
 Sellmeier-Gleichung 13  
 senkrechte Inzidenz 880  
 Sensor  
 – Bio- 660  
 – Chemo- 660  
 – Farbfilter 634  
 Sensorkennlinie 573  
 Shepard, Elefant mit vier Füßen Shepard  
 924  
 sichtbares Licht 1, 799  
 sichtbares nahes Infrarot (VIS-NIR:  
 Visible Near Infra Red) 808  
 Signal  
 – Flächenhomogenität 455  
 – Lichtstärke 455  
 – Straßenverkehr 455  
 Signaldynamik, Spektrometer 775  
 Signalisation 453  
 Signalleuchte, Fahrzeug 455  
 Simulated Annealing 872  
 Simulation  
 – Optik 873, 891 ff., 905, 908  
 – Streulicht- 892  
 Skriptsprache 907  
 Slablaser 475  
 Smart City Lights 453  
 Smooth Surface Limit (SSL) 897  
 Snellius'sches Brechungsgesetz 12  
 Snelliussches Brechungsgesetz 891,  
 908  
 Sonografie 798 ff., 803  
 Speckle 809  
 Spektralapparate 718  
 spektrale Ordnung 720  
 spektrale Radiometrie 773  
 spektralradiometrische Analyse 775  
 Spektrometer 718 f.  
 – Brillouin- 773  
 – Diodenlaser 643  
 – Gitter 720  
 – Signaldynamik 775  
 Spektroskopie  
 – ATR (attenuated total reflectance)  
 645  
 – IR- 645  
 – reflektometrische Interferenz (RfS)  
 659  
 Spektrum, sekundäres 863  
 spekulare Reflexion 893  
 spezifische Ausstrahlung 139  
 sphärische Aberration 83, 837 f.,  
 850 ff., 863 ff., 875  
 spontane Emission 337  
 Spurenanalytik 660

- Stefan-Boltzmann'sches Gesetz 146  
 stimulierte Emission 337  
 Störlicht 893  
 Strahldichte 142  
 Strahlen  
 – Brems- 808  
 – Extrem-Ultra-Violett (EUV) 808  
 – Ionen- 799  
 – Synchrotron- 808  
 – Ultraviolett (UV)- 808  
 Strahlparameterprodukt 308  
 Strahlquellen 799  
 Strahlstärke 141  
 Strahlung  
 – Extrem-Ultraviolett (EUV)- 799  
 – Infrarot (IR)- 799  
 – Radar- 799  
 – Röntgen- 799  
 – sichtbares Licht (VIS) 799  
 strahlungsphysikalische Größen 138  
 Straßenlaterne, intelligente 453  
 Strehl'sche Definitionshelligkeit  
 843 ff.  
 streifender Einfall 793  
 Streulicht 720  
 Streulichtprobleme 893  
 Streulichtsimulationen 892  
 Streuung, Mie- 637  
 Struktur  
 – binäre 886  
 – Blaze- 886  
 – diffraktive 888  
 Stufenindex-Faser 398  
 Substanzen, Emissionen radioaktiver  
 799  
 Surface Plasmon Resonance (SPR)  
 658  
 Symmetrieprinzip 838, 859, 865  
 Synchrotronstrahlung 808  
 Systemmatrix 61
- T**
- Taper 432  
 Teilchenstrahlung 799  
 Teleskop  
 – Hubble-Space 794  
 – Röntgen 793  
 – Weltraum 793  
 Telezentriablende 802  
 Telezentriefehler 801  
 Temperaturstrahler 145, 439  
 Terahertz Difference Frequency Mixing  
 (DFM) 809  
 TE-Welle 217  
 Threshold Increment (TI) 450  
 Time of flight (TOF)-Imaging 809  
 TIS-Wert 895 ff.  
 TM-Welle 217  
 Toleranzwerte 873  
 Tolerierung 847 ff., 872 f.  
 Tomografie  
 – Computer (CT) 800  
 – Magnetresonanz (MRT) 798  
 – Optical Coherence (OCT) 809  
 Total Integrated Scatter (TIS) 895  
 Totally Internal Reflection Fluorescence  
 (TIRF) 645, 660  
 Totalreflexion 15  
 Totalreflexionsfluoreszenz 645  
 Tracer 799  
 Transducer 645, 828 f.  
 Transmissionsaufbau 719  
 Transmissionsfaktor 719  
 Transmissionsgrad 220  
 Triangulation 573  
 – Abstandssensor 576  
 Tubuslänge 111  
 Tunnelstrom 799
- U**
- Ulbrichtkugel 773 ff.  
 Ultraschall 799  
 ultraviolette Strahlung 1  
 Ultraviolett (UV)-Strahlen 808  
 Unbuntpunkt 624  
 Unified Glare Rating 438  
 unkorrelierte Lichtquelle 808  
 unmögliche Objekte 922

Unschärferelation 335  
Untersuchung, Ultraschall 798  
UV (Ultraviolett), Feuchtemessung 641

## V

Verfahren  
– bildgebende 798  
– globales Optimierungs- 871  
verflochtener Strahlengang 82  
Verkehr  
– Fluss 453  
– Sicherheit 453  
Verschmutzung, Licht 468  
Verzeichnung 802, 837f., 858 ff., 864 f.,  
875 f., 890  
Verzeichnungsfehler 801  
Verzögerungsplatten 189  
Vielstrahlinterferenzen 274  
Viertelwellenplatten 200  
Vignettierung 77, 846  
virtuelles Bild 3  
Visible Near Infra Red (VIS-NIR) 808  
Visus 778

## W

Wartungsfaktor (*MF*) 439, 451  
Weg, optischer 836  
Weißabgleich 636

Weißlichtinterferometrie 809  
Weitwinkelobjektiv 838, 860  
Welle  
– elektromagnetische 804  
Wellenaberration 837  
Wellenfront 837, 844 ff., 898  
Wellenfrontabweichung 837  
Wellenlängenbereiche 1  
Wellenlängenwandler 810  
Wellenoptik 180  
Wellenwiderstand 184  
Wellenzahl 181  
Welle-Teilchen-Dualismus 334  
Weltraumteleskop 793 ff.  
Wiedergabequalität 720  
Wiederholgenauigkeit, Sensor 573  
Wien'sches Verschiebungsgesetz 146  
Winkelspiegel 5  
Wölb- oder Konvexspiegel 10  
Wollaston-Prisma 199  
Workplane 442

## Z

Zeilen-Detektor 719  
Zerstreuungslinse 30  
zirkulare Polarisation 185  
Zweilinser 859  
Zylinderanamorphose 919