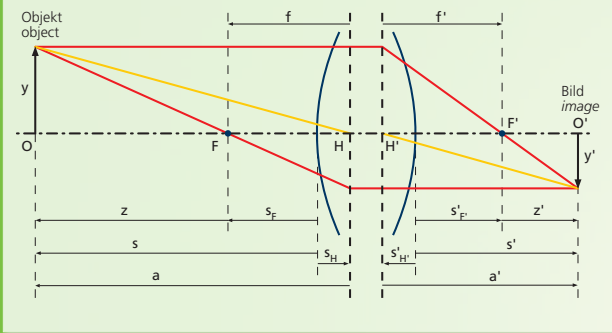
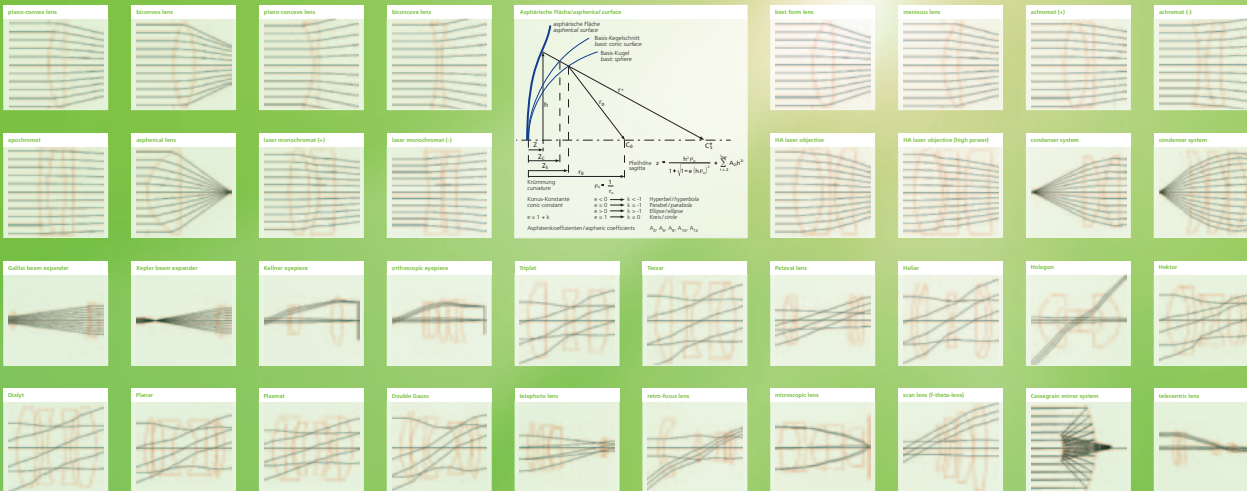
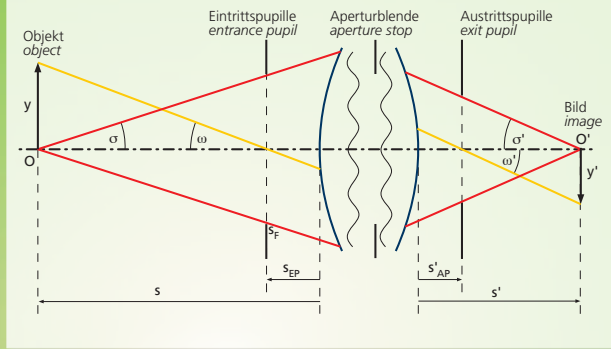


LENS DESIGN ELEMENTS

Paraxiale Grundgerößen/Fundamental paraxial quantities 1



Paraxiale Grundgerößen/Fundamental paraxial quantities 2



Optik Grundlagen/fundamental optics

Brennweite focal length	$f = \frac{1}{\frac{1}{s} + \frac{1}{s'}} = \frac{ss'}{s+s'}$
Seitenvergrößerung lateral magnification	$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{s}{s'}$
Reflexionsgesetz reflection law	$\alpha = \alpha'$
Brechungsgesetz refraction law	$n \sin \alpha = n' \sin \alpha'$
Fächerechtheit surface refractive power	$\Phi = \frac{n-n'}{r} = \frac{n}{r} - \frac{n'}{r'}$
Linsenmacherei lens refractive power	$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 - \frac{d}{n_2} \Phi_1 \Phi_2$
„Linsenmacher“-Formel lensmaker's equation	$\Phi = \frac{n-1}{r_1} + \frac{1-n}{r_2} + \frac{(n-1)d}{n r_1 r_2}$

Paraxiale Optik/paraxial optics

Abbildungsmaßstab magnification	$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{s}{s'}$
Objektweite object distance	$s = f \left(\frac{1}{\beta} + 1 \right)$
Bildweite image distance	$s' = f(\beta + 1)$
Abbildungsgleichung object-image relation	$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$
Newton-Gleichung Newton's equation	$zs = z's' = f^2$
Objekt-Bildrichtung object-image distance	$oo = f^2 \left(\frac{1}{s} - \frac{1}{s'} \right) = H'H$

Apertur/aperture

Numerische Apertur numerical aperture	$NA = \sin \alpha \approx NA' \approx \frac{1}{2} \frac{D}{f}$
Blendenwert F-number	$F = \frac{1}{2 NA}$

Dispersion / dispersion

Sellmeier-Formel
Sellmeier formula

$$n^2(\lambda) = 1 + \frac{B_1}{\lambda^2 - C_1} + \frac{B_2}{\lambda^2 - C_2} + \frac{B_3}{\lambda^2 - C_3}$$

Abbe-Zahl
Abbe value

$$V_d = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C} = \frac{d}{n_F - n_C}$$

Wellenlängenbereich / wavelength range

Wellenlängenbereich wavelength range	Name name	Unterbereich sub range	Name name
3 µm - 1 mm	IR - C	1450 - 1650 nm	L-Band
1400 - 3000 nm	IR - B	1570 - 1610 nm	L-Band
		1530 - 1570 nm	C-Band
		1490 - 1530 nm	S-Band
780 - 1400 nm	IR - A	1450 - 1490 nm	S-Band
380 - 780 nm	VIS	400 - 780 nm	VIS photopic
		380 - 650 nm	VIS scotopic
315 - 380 nm	UV - A		
280 - 315 nm	UV - B		
100 - 280 nm	UV - C	190 - 280 nm	DUV
		100 - 190 nm	VUV
S - 100 nm	EUV		

Symbolschlüssel / symbol key

s	Objektweite/object distance
s'	Bildweite/image distance
s_H	Objektweite der Strahlhöhe object beam waist position
s'_H	Bildweite der Strahlhöhe image beam waist position
n	Brechungsindex refractive index
r	Flächenelement surface radius
d	Linsendicke lens thickness
f	Brennpunkt (objektseitig) focal point (object space)
f'	Brennpunkt (bildseitig) focal point (image space)
H	Hauptpunkt (objektseitig) principal point (object space)
H'	Hauptpunkt (bildseitig) principal point (image space)
H''	Hauptpunkt (Bildraum) principal point separation
s_p	Brennpunktschneitweite (objektseitig) front focal distance
s'_p	Brennpunktschneitweite (bildseitig) back focal distance
s_{p0}	Hauptpunktschneitweite (objektseitig) principal point distance (object space)
s'_{p0}	Hauptpunktschneitweite (bildseitig) principal point distance (image space)
s_{p1}	Objektweite/object size
s'_{p1}	Bildweite/image size
s_{p2}	Objektweite von F image distance from F
s'_{p2}	Bildweite von F' image distance from F'
s_{p3}	Objektweite/height/object distance
s'_{p3}	Bildweite/height/image distance
s_{p4}	Entfernungsbrennpunktschneitweite entrance pupil distance
s'_{p4}	Austrittsbrennpunktschneitweite numerical aperture (image space)
s_{p5}	Bildweite von F' image distance from F'
s'_{p5}	Entfernungsbrennpunktschneitweite entrance pupil distance
s_{p6}	Objektweite/object size
s'_{p6}	Bildweite/image size
s_{p7}	Objektweite von F image distance from F
s'_{p7}	Bildweite von F' image distance from F'
s_{p8}	Objektweite/object size
s'_{p8}	Bildweite/image size
s_{p9}	Objektweite/object size
s'_{p9}	Bildweite/image size
s_{p10}	Objektweite/object size
s'_{p10}	Bildweite/image size
s_{p11}	Objektweite/object size
s'_{p11}	Bildweite/image size
s_{p12}	Objektweite/object size
s'_{p12}	Bildweite/image size
s_{p13}	Objektweite/object size
s'_{p13}	Bildweite/image size
s_{p14}	Objektweite/object size
s'_{p14}	Bildweite/image size
s_{p15}	Objektweite/object size
s'_{p15}	Bildweite/image size
s_{p16}	Objektweite/object size
s'_{p16}	Bildweite/image size
s_{p17}	Objektweite/object size
s'_{p17}	Bildweite/image size
s_{p18}	Objektweite/object size
s'_{p18}	Bildweite/image size
s_{p19}	Objektweite/object size
s'_{p19}	Bildweite/image size
s_{p20}	Objektweite/object size
s'_{p20}	Bildweite/image size
s_{p21}	Objektweite/object size
s'_{p21}	Bildweite/image size
s_{p22}	Objektweite/object size
s'_{p22}	Bildweite/image size
s_{p23}	Objektweite/object size
s'_{p23}	Bildweite/image size
s_{p24}	Objektweite/object size
s'_{p24}	Bildweite/image size
s_{p25}	Objektweite/object size
s'_{p25}	Bildweite/image size
s_{p26}	Objektweite/object size
s'_{p26}	Bildweite/image size
s_{p27}	Objektweite/object size
s'_{p27}	Bildweite/image size
s_{p28}	Objektweite/object size
s'_{p28}	Bildweite/image size
s_{p29}	Objektweite/object size
s'_{p29}	Bildweite/image size
s_{p30}	Objektweite/object size
s'_{p30}	Bildweite/image size
s_{p31}	Objektweite/object size
s'_{p31}	Bildweite/image size
s_{p32}	Objektweite/object size
s'_{p32}	Bildweite/image size
s_{p33}	Objektweite/object size
s'_{p33}	Bildweite/image size
s_{p34}	Objektweite/object size
s'_{p34}	Bildweite/image size
s_{p35}	Objektweite/object size
s'_{p35}	Bildweite/image size
s_{p36}	Objektweite/object size
s'_{p36}	Bildweite/image size
s_{p37}	Objektweite/object size
s'_{p37}	Bildweite/image size
s_{p38}	Objektweite/object size
s'_{p38}	Bildweite/image size
s_{p39}	Objektweite/object size
s'_{p39}	Bildweite/image size
s_{p40}	Objektweite/object size
s'_{p40}	Bildweite/image size
s_{p41}	Objektweite/object size
s'_{p41}	Bildweite/image size
s_{p42}	Objektweite/object size
s'_{p42}	Bildweite/image size
s_{p43}	Objektweite/object size
s'_{p43}	Bildweite/image size
s_{p44}	Objektweite/object size
s'_{p44}	Bildweite/image size
s_{p45}	Objektweite/object size
s'_{p45}	Bildweite/image size
s_{p46}	Objektweite/object size
s'_{p46}	Bildweite/image size
s_{p47}	Objektweite/object size
s'_{p47}	Bildweite/image size
s_{p48}	Objektweite/object size
s'_{p48}	Bildweite/image size
s_{p49}	Objektweite/object size
s'_{p49}	Bildweite/image size
s_{p50}	Objektweite/object size
s'_{p50}	Bildweite/image size

Wellenlänge / wavelength

Wellenlänge Index wavelength spectro line	Wellenlänge Index wavelength spectro line	Wellenlänge Index wavelength spectro line	Wellenlänge Index wavelength spectro line
2940.0 nm Erbitum-YAG:Lasertubum YAG laser EryAG	488.0 nm Argon-Ion-Gaslasertargen ion gas laser Ar+	488.1327 nm F blaues Wasserstoffemissionshydrogen line H	479.9914 nm F blaues Cadmiumlinienbar cadmium line Cd
2325.42 nm Infrarote Quecksilberlinie infrared mercury line Hg	457.8 nm Argon-Ion-Gaslasertargen ion gas laser Ar+	435.8343 nm g blaues Quecksilberemissionsmercury line Hg	441.6 nm HeCd-Gaslasertargen HeCd gas laser HeCd
1930.09 nm Infrarote Quecksilberlinie infrared mercury line Hg	404.6565 nm h violette Quecksilberemissionsmercury line Hg	404.6565 nm h violette Quecksilberemissionsmercury line Hg	404.6565 nm h violette Quecksilberemissionsmercury line Hg
1528.582 nm Infrarote Quecksilberlinie infrared mercury line Hg	400 - 415 nm Laserdiodearray diode GaIn	365.0146 nm i ultraviolette Quecksilberlinie ultraviolet mercury line Hg	355.0 nm Neodym-YAG-Laser (3. Harmonische) Nd:YAG laser (3rd harmonic) Nd:YAG
1064.1 nm Neodym-YAG-Laser/neodymium YAG laser Nd:YAG	351.0 nm Xenon-Fluorid-Gaslaser xenon fluoride gas laser XeF	337.1 nm Stickstoff-Gaslasertubum nitrogen gas laser N ₂	334.1428 nm ultraviolette Quecksilberlinie ultraviolet mercury line Hg
1060.0 nm Neodym-Gaslasertubum glas laser Nd:GAS	308.0 nm Xenon-Chlorid-Gaslaser xenon chloride gas laser XeCl	308.0 nm Xenon-Chlorid-Gaslaser xenon chloride gas laser XeCl	308.0 nm Xenon-Chlorid-Gaslaser xenon chloride gas laser XeCl
1031.98 nm i Infrarote Quecksilberlinie infrared mercury line Hg	296.7228 nm ultraviolette Quecksilberlinie ultraviolet mercury line Hg	296.7228 nm ultraviolette Quecksilberlinie ultraviolet mercury line Hg	296.7228 nm ultraviolette Quecksilberlinie ultraviolet mercury line Hg
1000 - 1900 nm Laserdiodearray diode InGaAsP	280.3953 nm Neodym-YAG-Laser (4. Harmonische) Nd:YAG laser (4th harmonic) Nd:YAG	280.3953 nm Neodym-YAG-Laser (4. Harmonische) Nd:YAG laser (4th harmonic) Nd:YAG	280.3953 nm Neodym-YAG-Laser (4. Harmonische) Nd:YAG laser (4th harmonic) Nd:YAG
980 nm Laserdiodearray diode InGaAsP	266.0 nm Krypton-Fluorid-Gaslaser krypton fluoride gas laser KrF	266.0 nm Krypton-Fluorid-Gaslaser krypton fluoride gas laser KrF	266.0 nm Krypton-Fluorid-Gaslaser krypton fluoride gas laser KrF
852.11 nm i Infrarote Calciumnitridemaser calcium line Cs	248.4 nm Neodym-YAG-Laser (2. Harmonische) Nd:YAG laser (2nd harmonic) Nd:YAG	248.4 nm Neodym-YAG-Laser (2. Harmonische) Nd:YAG laser (2nd harmonic) Nd:YAG	248.4 nm Neodym-YAG-Laser (2. Harmonische) Nd:YAG laser (2nd harmonic) Nd:YAG
788.1943 nm A rote Kallium-Doppelte Linie (Zentrum) red potassium double line (center) K	248.3275 nm ultraviolette Quecksilber-Doppelte Linie (Zentrum) ultraviolet mercury double line (center) Hg	248.3275 nm ultraviolette Quecksilber-Doppelte Linie (Zentrum) ultraviolet mercury double line (center) Hg	248.3275 nm ultraviolette Quecksilber-Doppelte Linie (Zentrum) ultraviolet mercury double line (center) Hg
656.2725 nm i rote Wasserstoffemissionshydrogen line H	213.0 nm Neodym-YAG-Laser (1. Harmonische) Nd:YAG laser (1st harmonic) Nd:YAG	213.0 nm Neodym-YAG-Laser (1. Harmonische) Nd:YAG laser (1st harmonic) Nd:YAG	213.0 nm Neodym-YAG-Laser (1. Harmonische) Nd:YAG laser (1st harmonic) Nd:YAG
656.2725 nm i rote Wasserstoffemissionshydrogen line H	193.0 nm Argon-Fluorid-Gaslasertargen argon fluoride gas laser ArF	193.0 nm Argon-Fluorid-Gaslasertargen argon fluoride gas laser ArF	193.0 nm Argon-Fluorid-Gaslasertargen argon fluoride gas laser ArF
643.8469 nm C rote Cadmiumemissionscadmium line Cd	157.0 nm Fluor-Fluorid-Fluor gas laser F ₂	157.0 nm Fluor-Fluorid-Fluor gas laser F ₂	157.0 nm Fluor-Fluorid-Fluor gas laser F ₂
632.8 nm Helium-Neon-Gaslaser helium neon gas laser HeNe	126.0 nm Argon-Ion-Gaslasertargen ion gas laser Ar+	126.0 nm Argon-Ion-Gaslasertargen ion gas laser Ar+	126.0 nm Argon-Ion-Gaslasertargen ion gas laser Ar+
632.8 nm Helium-Neon-Gaslaser helium neon gas laser HeNe			
589.2936 nm D gelbes Natrium-Doppelte Linie (Zentrum) yellow sodium double line (center) Na			
589.2936 nm D gelbes Natrium-Doppelte Linie (Zentrum) yellow sodium double line (center) Na			
589.2936 nm D gelbes Natrium-Doppelte Linie (Zentrum) yellow sodium double line (center) Na			
543.5 nm Helium-Neon-Gaslaser helium neon gas laser HeNe			
532.0 nm Neodym-YAG-Laser (D. Harmonische) Nd:YAG laser (2nd harmonic) Nd:YAG			
514.5 nm Argon-Ion-Gaslasertargen ion gas laser Ar+			

Beugungsgrenze/diffraction limit

Any-Durchmesser
any dia diameter

$$D_{min} = 2.44 \lambda / k$$

Gratzfrequenz
frequency limit

$$f = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{2 \Delta x}$$

Gauß-Strahl/Gaussian beam

Abhängigkeiten von
dependencies on

Apertur und Feld
aperture and field

Sphärische Querverbreiterung
spherical lateral aberration

Koma
coma

Bildfeldwölbung
field curvature

Artgenauigkeit
astigmatism

Verzeichnung (Drehwinkel)
distortion (pitch-angle)

Chromatische Querverbreiterung
lateral chromatic aberration

Chromatische Längsverbreiterung
longitudinal chromatic aberration

Bildformate/image formats

Type	Format	Diagonale diagonal
	[mm x mm]	[mm]
Miniaturbild micro film (8mm)	1.0 x 1.0	1.4
Super-8-Film super 8 film	4.2 x 5.7	7.1
16 mm KinoFilm 16 mm cine film	7.5 x 10.3	12.7
35 mm KinoFilm 35 mm cine film	16 x 22	27.2
35 mm KinoFilm 35 mm cine film	23 x 53	57.7
Mini-Film mini film	8 x 11	13.6
Pocket-Film pocket film	13 x 17	21.4
35mm-Bild 35 mm photo film	18 x 24	30.0
APS	17 x 30	34.5
35mm-Film 35 mm film	36 x 48	60.0
35mm-Film 35 mm film	60 x 60	84.9
35mm-Film 35 mm film	60 x 90	108.0
35mm-Film 35 mm film	60 x 80	80.0
Foto-Größtformat photo large format	80 x 120	150.0
Foto-Größtformat photo large format	180 x 240	300.0
Fernsehformat TV format	15"	1.6 x 2.1
	15"	1.9 x 2.6
	14"	2.4 x 3.2
	13"	2.6 x 4.8
	12"	4.8 x 6.4
	10"	6.6 x 8.8
	21"	9.6 x 12.8
	14"	12.9 x 17.1
	14"	12.9 x 17.1

Wellenlängenbereich / wavelength range

Wellenlängenbereich wavelength range	Name name	Unterbereich sub range	Name name
3 µm - 1 mm	IR - C	1450 - 1650 nm	L-Band
1400 - 3000 nm	IR - B	1570 - 1610 nm	L-Band
		1530 - 1570 nm	C-Band
		1490 - 1530 nm	S-Band
780 - 1400 nm	IR - A	1450 - 1490 nm	S-Band
380 - 780 nm	VIS	400 - 780 nm	VIS photopic
		380 - 650 nm	VIS scotopic
315 - 380 nm	UV - A		
280 - 315 nm	UV - B		
100 - 280 nm	UV - C	190 - 280 nm	DUV
		100 - 190 nm	VUV
S - 100 nm	EUV		

Symbolschlüssel / symbol key

s	Objektweite/object distance
s'	Bildweite/image distance
s_H	Objektweite der Strahlhöhe object beam waist position
s'_H	Bildweite der Strahlhöhe image beam waist position
n	Brechungsindex refractive index
r	Flächenelement surface radius
d	Linsendicke lens thickness
f	Brennpunkt (objektseitig) focal point (object space)
f'	Brennpunkt (bildseitig) focal point (image space)
H	Hauptpunkt (objektseitig) principal point (object space)
H'	Hauptpunkt (bildseitig) principal point (image space)
H''	Hauptpunkt (Bildraum) principal point separation
s_p	Brennpunktschneitweite (objektseitig) front focal distance
s'_p	Brennpunktschneitweite (bildseitig) back focal distance
s_{p0}	Hauptpunktschneitweite (objektseitig) principal point distance (object space)
s'_{p0}	Hauptpunktschneitweite (bildseitig) principal point distance (image space)
s_{p1}	Objektweite/object size
s'_{p1}	Bildweite/image size
s_{p2}	Objektweite von F image distance from F
s'_{p2}	Bildweite von F' image distance from F'
s_{p3}	Objektweite/height/object distance
s'_{p3}	Bildweite/height/image distance
s_{p4}	Entfernungsbrennpunktschneitweite entrance pupil distance
s'_{p4}	Austrittsbrennpunktschneitweite numerical aperture (image space)
s_{p5}	Bildweite von F' image distance from F'
s'_{p5}	Entfernungsbrennpunktschneitweite entrance pupil distance
s_{p6}	Objektweite/object size
s'_{p6}	Bildweite/image size
s_{p7}	Objektweite von F image distance from F
s'_{p7}	Bildweite von F' image distance from F'
s_{p8}	Objektweite/object size