Abbildungsfehler an einem Fernrohr

1 Aufgabe

a) Untersuchung von sphärischer und chromatischer Aberration bei einem Fernrohr mit plankonvexem, sphärischem und achromatischem Objektiv mit zwei verkitteten Linsen bei der Abbildung aus dem Unendlichen. Ein Okular wird aus Komplexitätsgründen nicht mit untersucht.
b) Simulation des Systems in der Optikdesignsoftware WinLens.

2 Theoretische Grundlagen

Die Brennweite von Objektiven gilt in der Regel nur für paraxiale Strahlen. Dies sind einfallende Strahlen, die mit sehr kleiner Einfallshöhe zu einer Abbildung aus dem Unendlichen beitragen. Alle Objektive mit großer Öffnungsweite haben jedoch einen Öffnungsfehler: die sphärische Aberration ist die durch Linsen mit sphärischen Oberflächen bedingte negative Auswirkung auf die Qualität einer optischen Abbildung. Strahlen, die parallel zur optischen Achse auf sphärische Sammellinsen einfallen, haben eine umso kürzere Schnittweite, je größer die Einfallshöhe wird. Diese sphärische Aberration kann reduziert werden, indem das Objektiv abgeblendet und die maximale Einfallshöhe somit begrenzt wird. Dabei verringert sich notwendiger Weise der Lichtstrom durch das Objektiv.
Durch den Einsatz von asphärischen Linsen kann die sphärische Aberration auch eines geöffneten Objektivs vermieden oder zumindest deutlich reduziert werden. In diesem Fall wird auch von einem asphärisch korrigierten Objektiv gesprochen.

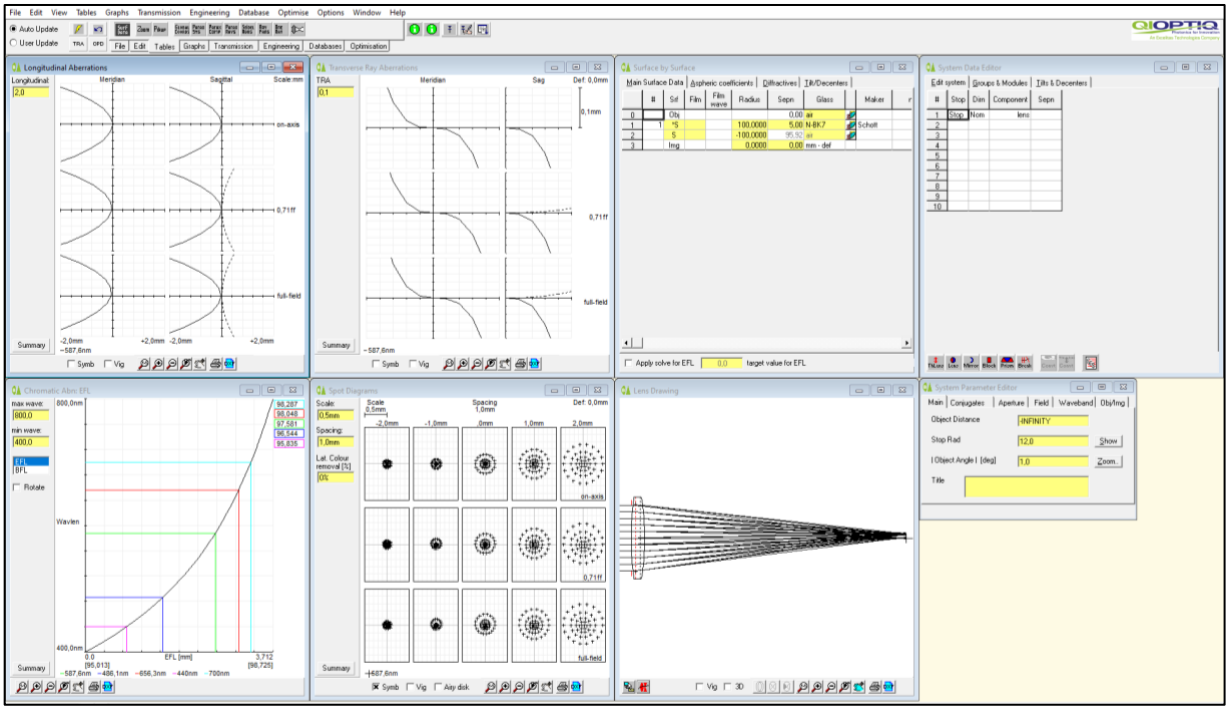

Abbildung 1 Simulation einer bikonvexen Linse in der Optikdesignsoftware WinLens Basic

Die chromatische Aberration ist die durch die Dispersion von Glaslinsen bedingte negative Auswirkung auf die Qualität einer optischen Abbildung. Einfallende Strahlen haben eine umso kürzere Schnittweite, je kürzer die Wellenlänge des verwendeten Lichts ist. Bei weißem Licht ergeben sich für alle auftretenden Wellenlängen also unterschiedliche Schnittweiten, so dass bei der Abbildung von schwarz-weißen Objekten im Bild Farbsäume sichtbar werden. Die chromatische Aberration kann deutlich reduziert werden, indem ein Objektiv aus Linsen mehrerer Glassorten mit unterschiedlicher Brechzahl und Dispersion zusammengesetzt wird.
Der Farblängsfehler beschreibt Farbsäume, die an nicht radialen Kanten von Gegenständen hervorgerufen werden, die außerhalb der Bildebene scharf abgebildet werden. Farbsäume zeigen sich beim Farbquerfehler auch durch wellenlängenabhängige Abbildungsmaßstäbe in der Bildebene. Durch den Einsatz von zwei Linsen unterschiedlicher Dispersion können die Schnittweiten eines Objektivs für zwei Wellenlängen angeglichen werden. In diesem Fall wird ein Objektiv auch als Achromat bezeichnet.
Durch die Verwendung von drei Linsen unterschiedlicher Dispersion können die Schnittweiten eines Objektivs sogar für drei Wellenlängen angeglichen werden. In diesem Fall wird ein Objektiv auch Apochromat genannt.

3 Hinweise zur Durchführung

a) Vorgaben: Brennweiten im Bereich von *f'* = 500 bis 5000 mm, Öffnungsverhältnis *V* = *D/f* von 1/8 bis 1/16, Brech- und Abbezahlen der Glassorten Flintglas (SF10) und Kronglas (N-BK7)
b) Optimierung eines plankonvexen achromatischen Systems durch die Variation der Krümmungen der gemeinsamen (verkitteten) Linsenfläche

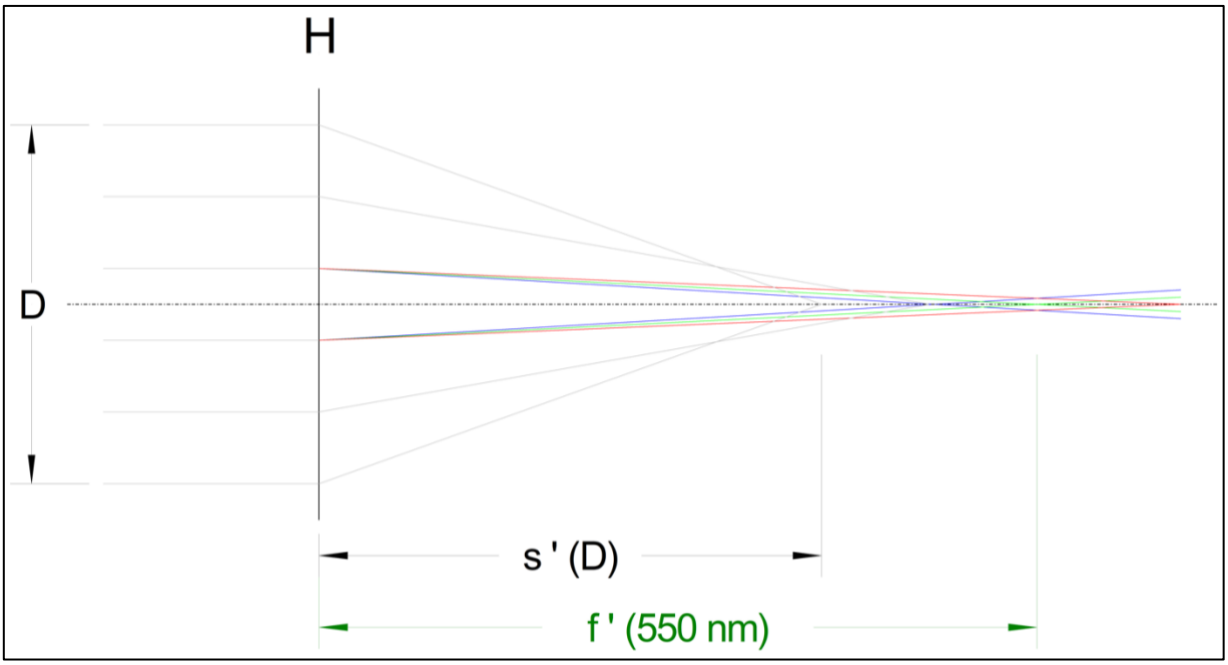

Abbildung 2 Aberration bei einem Fernrohr bei der Abbildung aus dem Unendlichen. *s'(D)* ist die von der Öffnungsweite *D* abhängige, von der Hauptebene *H* gemessene minimale bildseitige Schnittweite. *f'* (550 nm) ist die von der Wellenlänge des Lichts (hier für grünes Licht der Wellenlänge 550 Nanometer) abhängige, von der Hauptebene *H* gemessene bildseitige Brennweite für paraxiale Strahlen.

4 Auswertung

Bestimmen Sie die Größen unter a) bis d) für Abbildungen von Objekten aus dem Unendlichen an einer plankonvexen Linse aus Flintglas und bei einem achromatisch korrigierten plankonvexen Objektiv mit einer verkitteten Linse aus Kron- und Flintglas, bei denen die gekrümmte Oberfläche jeweils objektseitig liegt.

a) Öffnungsfehler (Schnittweitendifferenz $\Delta s = s'(0) - s'(D)$), Zerstreuungskreisdurchmesser für $s'(D)$ an der Stelle $s'(0)$
b) Farblängsfehler (Schnittweitendifferenz $\Delta s = s'(644\ \mathrm{nm}) - s'(480\ \mathrm{nm})$), Zerstreuungskreisdurchmesser für $s'(480\ \mathrm{nm})$ und $s'(644\ \mathrm{nm})$ an der Stelle $s'(546\ \mathrm{nm})$
c) Farbquerfehler beim Einfallswinkel $\gamma_B = 0°$ für eine in der Brennebene geometrisch scharfe Abbildung mit blauem Licht (Wellenlänge bei λ = 480 nm), indem die Einfallswinkel für grünes Licht γ_G (λ = 546 nm) und für rotes Licht γ_R (λ = 644 nm) bei scharfer Abbildung in der Brennebene ermittelt werden
d) Unschärfe in der Bildebene durch Beugungsbegrenzung (Durchmesser des Beugungsscheibchens)

5 Literaturhinweise

[1] SCHRÖDER, G.; TREIBER, H.: *Technische Optik*. 10. Aufl. Würzburg: Vogel, 2007, S. 86 ff., S. 212 ff.
[2] VORLESUNG: *Optik Design und Optische Techniken in der Mechatronik*. Berlin: BHT Berlin.
[3] WIKIBOOKS: *Sphärische Aberration*. https://de.wikibooks.org/wiki/Digitale_bildgebende_Verfahren:_Bildaufnahme#Sphärische_Aberration – Datum: 07.11.2022
[4] WIKIBOOKS: *Chromatische Aberration*. https://de.wikibooks.org/wiki/Digitale_bildgebende_Verfahren:_Bildaufnahme#Chromatische_Aberration – Datum: 07.11.2022
[5] WIKIMEDIA: *Achromat*. https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Chromatic_aberration_diagrams_for_achromatic_lenses#/media/File:Achromat_de.svg – Datum: 07.11.2022
[6] QIOPTIQ: *WinLens Basic*. Vers. 1.2.11 Göttingen: Qioptiq Photonics GmbH, 2019-04 https://www.qioptiq-shop.com/Optik-Software/Winlens-Optical-Design-Software/Free-Winlens-Basic/Free-Software-Winlens-Basic.html – Datum: 07.11.2022