

Optische Gläser mit anomaler Dispersion

Rolf Wartmann

Carl Zeiss Microscopy GmbH, Göttingen

<mailto:rolf.wartmann@zeiss.com>

Für die Korrektur optischer Systeme sind Gläser mit anomaler Dispersion von besonderer Bedeutung. Ohne sie ist eine deutliche Reduktion der chromatischen Aberrationen nicht möglich. Eine klare Charakteristik der Anomalität eines optischen Glases erfordert die Definition des virtuellen Normalglases. Die Anomalität eines konkreten Glases ist dann die Differenz zum entsprechenden Normalglas.

1 Einführung

Die Korrektur des chromatischen Längsfehlers ist ein wichtiger Bestandteil der meisten Optikdesigns. In Abb. 1 werden zweiinsige Achromate hinsichtlich dieser Aberration miteinander verglichen.

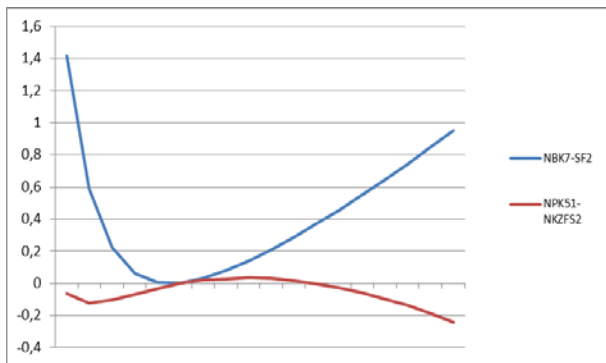


Abb. 1 Chromatischer Längsfehler in mm. Dargestellt sind zwei Achromate; Brennweite 140 mm, num. Apertur 0.1, Wellenlängenbereich 365 – 1045 nm.

Beim ersten Achromaten aus den Gläsern NBK7 und SF2 ist der primäre chromatische Längsfehler korrigiert. Die verbliebene sekundäre chromatische Aberration konnte beim zweiten Achromaten korrigiert werden, weil NPK51 und NKZFS2 anomale Dispersionen besitzen. Das Beispiel illustriert die große Bedeutung der Gläser mit anomaler Dispersion für die Korrektur chromatischer Aberrationen. Gleichzeitig stellt sich die Frage nach der konkreten Charakterisierung der Anomalität der optischen Gläser.

2 Das virtuelle Normalglas

Unter Normalgläsern versteht man landläufig Gläser, durch deren Einsatz die sekundären chromatischen Aberrationen nicht beeinflusst werden. Solche Gläser sind u. a. BK7, KF9 und SSK5. Mit Hilfe dieser drei Gläser soll der Begriff des virtuellen Normalglases definiert werden. Dazu wird die Dispersionsformel

$$n^2(\lambda) = A_0 + A_1\lambda^2 + A_2\lambda^{-2} + A_3\lambda^{-4} + A_4\lambda^{-6} + A_5\lambda^{-8} = F_A(\lambda) \quad (1)$$

aus [1] verwendet. Das Dispersionsverhalten eines Glases ist durch die sechs Koeffizienten dieser Formel vollständig beschrieben. Wenn sowohl $A_0 \dots A_5$, als auch $B_0 \dots B_5$ und $C_0 \dots C_5$ Normalgläser beschreiben, dann ist auch

$$F_D(\lambda) = (1 - \alpha - \beta)F_A(\lambda) + \alpha F_B(\lambda) + \beta F_C(\lambda) \quad (2)$$

ein Normalglas. Es versteht sich von selbst, dass zu dieser Darstellung nicht unbedingt ein reales Glas existiert. Deshalb handelt es sich um ein virtuelles Normalglas. Zur weiteren Konkretisierung seien nun $A_0 \dots A_5$ die Koeffizienten von KF9, $B_0 \dots B_5$ die Koeffizienten von BK7 und $C_0 \dots C_5$ die Koeffizienten von SSK5. Mit Hilfe von (2) können durch Vorgabe von α und β beliebige virtuelle Normalgläser generiert werden. Insbesondere können Normalgläser erzeugt werden, die die gleiche Grundbrechzahl n_e und die gleiche Grunddispersion η_e besitzen wie die zugehörigen realen Gläser (Definition von n_e und η_e siehe [1]). Tab. 1 zeigt einige Beispiele.

	NLAK8	SFPL53	NKZFS4	NKZFS2	F2
α	-0.4594	1.7720	-0.9080	0.3100	-2.647
β	1.4498	-0.5009	0.6144	0.2652	0.5831

Tab. 1 Parameter von virtuellen Normalgläsern, die bezüglich n_e und η_e zu realen Gläsern passen

3 Abweichung der realen Gläser von den zugehörigen virtuellen Normalgläsern

Wurde über die richtige Auswahl von α und β das zugehörige virtuelle Normalglas ermittelt, kann die Differenz zwischen den Brechzahlen von realem und virtuellem Normalglas betrachtet werden:

$$\Delta(\lambda) = n(\lambda) - \sqrt{F_D(\lambda)} \quad (3)$$

Hierbei ist es unerheblich ob $n(\lambda)$ über die Dispersionsformel (1) oder über die Sellmeier-Formel berechnet wurde. $\Delta(\lambda)$ beschreibt die konkrete

Anomalität eines Glases. Je nach Glasfamilie bzw. Glassorte ergeben sich charakteristische Verläufe dieser Funktion.

4 Charakteristik der realen Normalgläser

Abb. 2 zeigt die Brechzahldifferenzen zwischen einigen realen Normalgläsern und den entsprechenden virtuellen. Wie nicht anders zu erwarten, ist die Differenz gering.

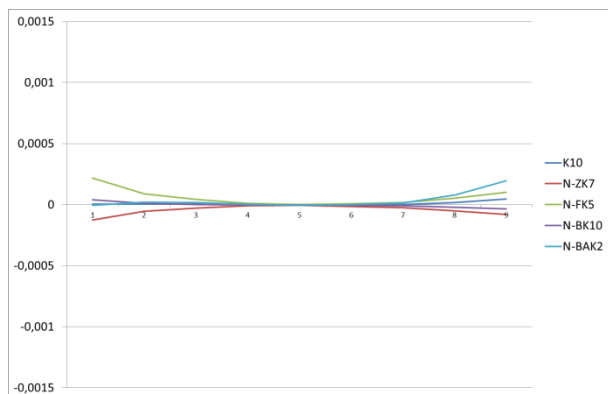


Abb. 2 Brechzahldifferenzen zwischen einigen realen Normalgläsern und den entsprechenden virtuellen im Wellenlängenbereich 365 nm – 1014 nm

5 Charakteristik der Lanthan- und Kurzflintgläser

Abb. 3 zeigt die Brechzahldifferenz zwischen einigen Lanthan- bzw. Kurzflintgläsern und den entsprechenden virtuellen Normalgläsern.

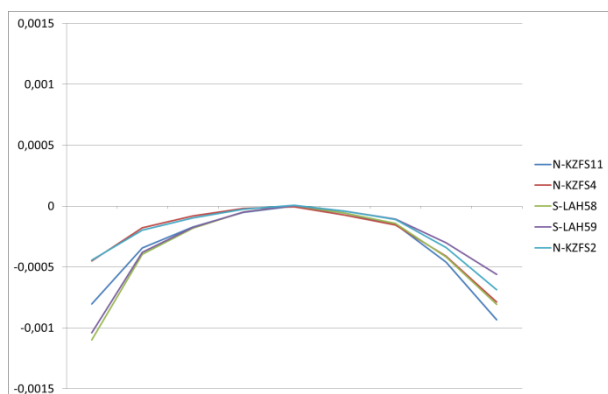


Abb. 3 Brechzahldifferenz zwischen fünf Lanthan- bzw. Kurzflintgläsern und den entsprechenden virtuellen Normalgläsern im Wellenlängenbereich 365 nm – 1014 nm

Die betrachtete Glasgruppe weicht sowohl im UV- als auch im IR-Bereich bezüglich des zugehörigen virtuellen Normalglases deutlich ins Negative ab.

6 Charakteristik der Fluorkrone

Abb. 4 zeigt die Brechzahldifferenz zwischen einigen Fluorkrongläsern und den entsprechenden virtuellen Normalgläsern. Diese Gruppe von Gläsern weicht vom Normalglas im UV- und im IR-Bereich deutlich ins Positive ab. Somit ist das anomale Dispersionsverhalten dieser Glasgruppe

dem Verhalten der Lanthan- und Kurzflintgläser genau entgegengesetzt.

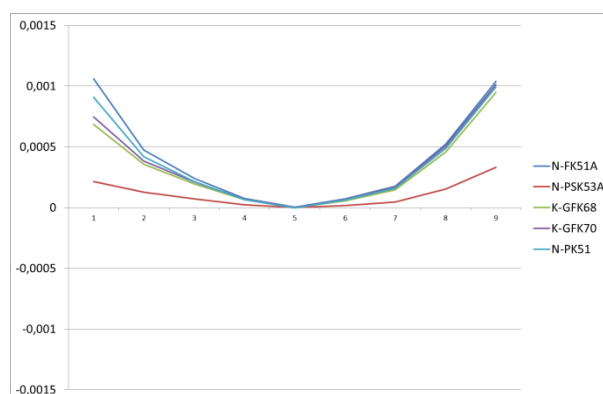


Abb. 4 Brechzahldifferenz zwischen fünf Fluorkrongläsern und den entsprechenden virtuell generierten Normalgläsern im Wellenlängenbereich 365 nm – 1014 nm

7 Charakteristik der Flintgläser

Abb. 5 zeigt, dass auch diese Glasgruppe vom virtuellen Normalglas deutlich abweicht. Im UV-Bereich ist diese Abweichung positiv und im IR-Bereich negativ. Sie unterscheidet sich damit prinzipiell von den beiden vorangegangenen Glasgruppen.

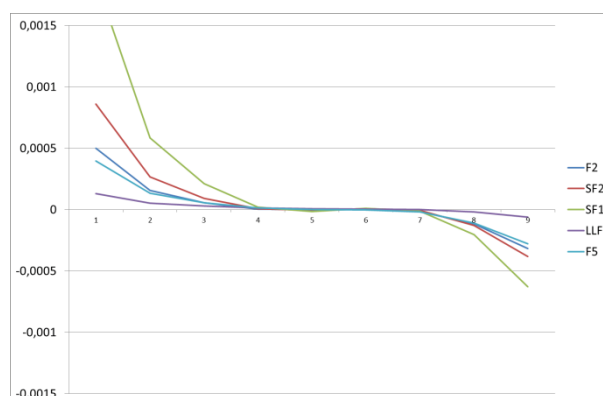


Abb. 5 Brechzahldifferenz zwischen fünf Flintgläsern und den entsprechenden virtuell generierten Normalgläsern im Wellenlängenbereich 365 nm – 1014 nm

8 Zusammenfassung

Das hier eingeführte virtuelle Normalglas ermöglicht es, die anomale Dispersion eines optischen Glases über einen großen Wellenlängenbereich vollständig zu charakterisieren. Die drei Glasgruppen Lanthan- und Kurzflintglas, Fluorkron und Flint weichen deutlich vom virtuellen Normalglas ab. Die Abweichung ist charakteristisch ausgeprägt. Normalgläser weichen vom virtuellen Normalglas nur wenig ab.

Literatur

[1] Jenaer Glaswerk Schott & Gen.: „Optisches Glas“, Katalog, Geschäftsbereich Optik, Mainz, 1984