

KONSTRUKTION EINES REPRODUKTIONSOBJEKTIVS

FRAU L. POLNAUER

Ungarische Optische Werke (MOM)

Budapest

Eingegangen am 10. März 1988

Vorgelegt von Prof. Dr. O. Petrik

Abstract

Requirements raised against copying lenses. The analysis and aberration curves of an existing product with specifications of $2W=34^\circ$ and $f=500$ mm. Computing, designing phases, and aberration curves of the new objective of $2W=62^\circ$ and $f=350$ mm.

Im Mittelpunkt der Reprotechnik stehen die Reproduktionsobjektive, die die Abbildung besorgen. An diese Objektive werden verschiedene Ansprüche gestellt. Eine ebene Fläche soll auf eine ebene Fläche abgebildet werden. Das ist eine besondere Eigenheit, und deswegen müssen die Repr. Objektive auf die Bildfeldkrümmung besonders gut korrigiert sein. Die Farb- und Feinstrichvorlagen verlangen eine viel größere Leistung als die Grobstrichvorlagen. Die Repr. Objektive müssen auf verschiedene Maßstäbe korrigiert sein, vor allem auf die Abbildung 1:1. Außerdem sind die Ansprüche an Bildwinkel und an relative Öffnung verschieden.

Selbstverständlich kann ein einziger Objektivtyp allen diesen Ansprüchen nicht gewachsen sein. Die Firma MOM stellt schon seit Jahren Repr. Objektive her. Hier sind die Angaben eines Objektivs, das für eine Firma, die Kopiergeräte herstellt, geliefert wurde. Brennweite $F=500$ mm, $\beta=1:1$, Relative Öffnung: 1:6,8, Objektgröße: 620 mm, Bildwinkel: $2\omega=34^\circ$, Auflösung: 10–15 Lp/mm.

Der Aufbau des Systems und die Leistungskurven sind in Abb. 1. zu sehen.

Das Objektiv weist einen fast symmetrischen Aufbau auf und besteht aus 6 Linsen. Es ist auf Öffnungsfehler und Astigmatismus gut korrigiert. Die Bildfeldwölbung ist fast gleich 0. Die Auflösung beträgt 10–12 Linienpaare/mm. Bei der Blende 6,8 tritt eine Vignettierung auf. Das ist die Beschneidung der Randstrahlen durch den Fassungsstabus. Erst bei einer relativen Öffnung von 1:12 verschwindet diese Vignettierung.

Vor kurzem hat die Verwenderfirma den Wunsch geäußert, in der Zukunft ein neues Objektiv mit neuen Parametern zu bekommen, da sie vorhaben, ihre Kopiergeräte zu verkleinern. Das Objektiv mit $F=500$ mm hat eine Baulänge von ca 2000 mm. Das ist zu lang.

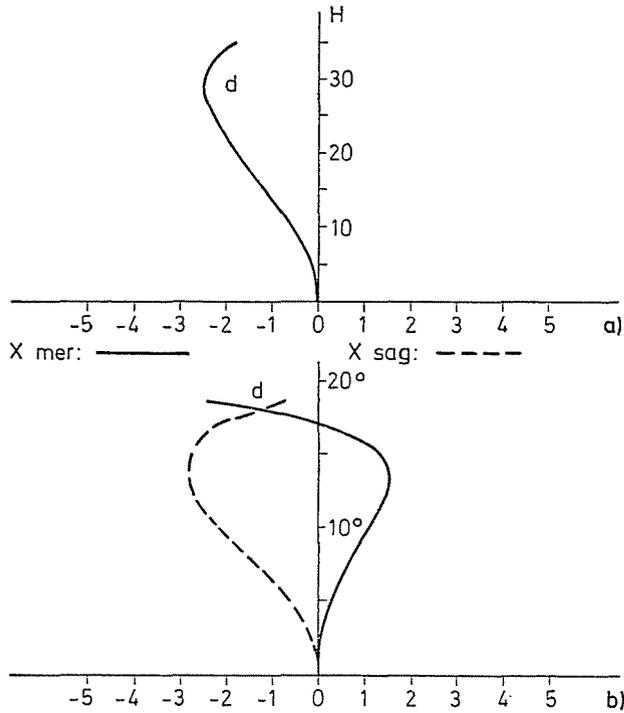
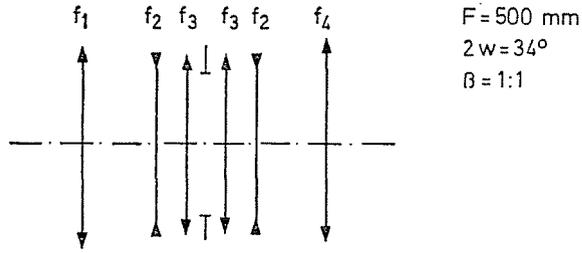


Abb. 1. a. Sphärische Aberration; b. Astigmatismus, Bildfeldwölbung

Die neuen Parameter sind die folgenden:

Brennweite: $F = 350 \text{ mm}$, Objektgröße: 840 mm , Bildwinkel: $2\omega = 62^\circ$, Relative
 Öffnung: $1:9$, Auflösung: $10\text{--}15 \text{ Lp/mm}$, Abbildungsmaßstab: $1:1$.

Bald, schon bei den ersten Berechnungen, hat es sich herausgestellt, daß ein
 Objektiv mit hoher relativer Öffnung und mit großem Bildwinkel nicht zu verwirk-
 lichen ist.

Natürlich möchte der Verwender ein lichtstarkes Objektiv bei diesem großen Bildwinkel haben. Mit wachsendem Winkel nimmt die Bestrahlungsstärke gegenüber der Bildmitte rasch ab. Der Lichtabfall beträgt \cos^3 des halben Bildwinkels. Das ist ein Naturgesetz. In diesem Fall beträgt der Lichtabfall 37% ($\cos^3 \omega = 0,63$). Natürlich muß das bei der Beleuchtung der Vorlage berücksichtigt werden. Was die relative Öffnung angeht, das ist noch eine Diskussionsfrage. Man hat sich für einen symmetrischen Aufbau entschieden. Damit werden nämlich automatisch 3 Fehler (beim Abbildungsmaßstab 1:1) die Koma, der Farbquerfehler und die Verzeichnung 0 gesetzt. Zuerst hat man versucht, das Objektiv aus 4 Linsen aufzubauen. Es wurde festgestellt, daß man nicht über den Bildwinkel von 40° gehen kann, weil Vierlinsler nur einen engeren Bildwinkel auszeichnen. So wurde eine 6 — linsige Variation gewählt. Auswahl der optischen Gläser: Für die Korrektur der Bildfehler ist es erforderlich, im Fall einer Positivlinse optisches Glas mit hohem Brechungsindex und mit hoher Abbe-Zahl und im Fall einer Negativlinse optisches Glas mit niedrigem Brechungsindex und niedriger Abbe-Zahl zu verwenden.

Wahl der Teilbrennweiten: Für die Optikkonstrukteure ist es eine Faustregel, daß man große Teilbrennweiten wählt, um die Fehler kleinhalten zu können. Aber das widerspricht der Petzval-Bedingung, die für die anastigmatische Bildfeldebnung sorgt.

$$P_{F=1} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{f_i \cdot n_i} = 0$$

Man mußte einen entsprechenden Kompromiß zwischen den Teilbrennweiten und der Petzval-Summe finden.

Die ersten Berechnungen haben bewiesen, daß schalenförmige Linsen — also positive und negative Menisken — für diese Aufgabe geeignet sind. Zu der Korrektur des Systems gab es eine interessante Erkennung. Zwischen den zwei Hälften des Objektivs ist der Strahlengang unendlich. Man könnte denken, daß es genüge, eine Hälfte des Objektivs aus Unendlichen auszukorrigieren und dann das Objektiv aus zwei Hälften zusammenzustellen.

Aber das war erfolglos. Die Fehler haben sich jedesmal ungefähr vervierfacht. So mußte man bei der Korrektur das ganze System berücksichtigen.

Der Wellenlängenbereich ist 440—600 mm. So wurde die Korrektur für die g und d Linien durchgeführt. Die Korrektur des Öffnungsfehlers hat keine große Schwierigkeiten verursacht. Nicht aber die Korrektur des Astigmatismus und der Bildfeldwölbung. Durch Biegen der Radien und mit der Änderung des Luftabstandes hat man aber zum Schluß einen gut korrigierten Zustand bekommen. Der Aufbau des Systems und die Leistungskurven sind in Abb. 2 zu sehen.

Der letzte Schritt der Berechnung war die Auswahl der besten Varianten mit Hilfe der *MTF*, der Modulations-oder Kontrastübertragungsfunktion. Die *MTF* gibt an, wieviel Linienpaare/mm ein System auflöst. Das ist folglich eine eindeutige Methode für die Qualitätsbestimmung eines Systems.

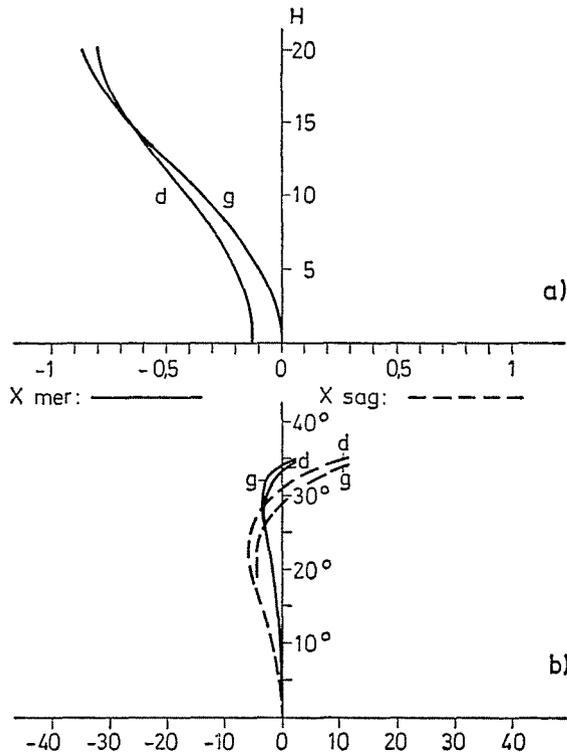
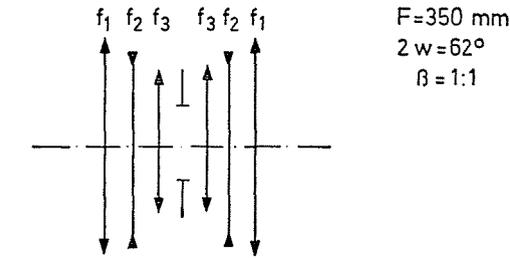


Abb. 2. a. sphärische Aberration; b. Astigmatismus, Bildfeldwölbung

Es wurden mehrere hundert Strahlen durch das Objektiv im Raum geführt. An der Bildseite wurden die engste Einschnürungsstelle der Strahlen und der Zerstreungskreis berechnet. Aus dem Zerstreungskreis wurde die Auflösung bestimmt. (Abb. 3.)

Bei einer relativen Öffnung 1:18 hat das Objektiv eine Auflösung von 15 Lp/mm, bei 1:14 10 Lp/mm. Eine veränderbare Blende erlaubt dem Verwender den optimalsten Öffnung-Auflösung — Zustand einzustellen.

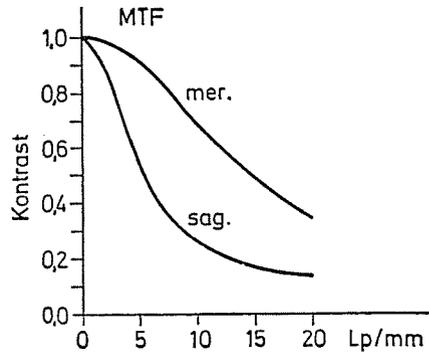


Abb. 3. Kontrastübertragungsfunktion

Frau L. POLNAUER H-1026 Budapest, Kiss János alt. u. 39.