

# GESTALTUNGSPROBLEME DER FRONTBLENDENOBJEKTIVE

Z. TURI

Institut für Feinmechanik und Optik,  
Technische Universität H—1521 Budapest  
Eingegangen am 10. März 1988

## Abstract

The author is dealing with the investigation of the front stop objectives, which obtain in the last time more and more significance. The most important applications and the characteristic foreign results were reported. The author proposes a new design method too.

## Einleitung

Frontblendenobjektive finden auf zahlreichen Gebieten der Wissenschaft und der Technik Anwendung. Charakteristisch dafür ist, daß sich die Aperturblende vor dem Objektiv befindet. Die Asymmetrie der optischen Konstruktion erschwert die Gestaltung des Objektivs, besonders dadurch, daß die Eintrittspupille bedeutend nach Vorne versetzt wird. Durch die Erhöhung der Lichtstärke, und des Bildfeldes wachsen die relativen Öffnungen der Linsen, und die Vignettierung der breiten, schrägen Strahlen schnell. Des Informationsverlustes wegen ist z. B. in kohärenten optischen Computern die Vignettierung der Strahlen nicht zugelassen.

Die Ansprüche und die Qualität der fotografischen Systeme werden durch den Bildempfänger bestimmt. Bei den Grundtypen der Objektive haben das die Konstrukteure schon früher untersucht. Für die kohärenten optischen Computern braucht man lichtstarke Objektive, mit einer gesteigerten Bildfläche, und geminderter Abberation. Die optimale Kapazität der optischen Memorie kann mit Frontblendenobjektiven erreicht werden. So mußten die wichtigsten Ansprüche gestaltet werden. Diese sind: Vorschub der Aperturblende (bis  $0,5 f$ , wobei  $f$  die Brennweite des Objektivs ist), vergrößerte Lichtstärke (1:2, und größer), das Sichtfeld (Min.  $40^\circ$ ) und die gute Bildqualität. Bei den kohärenten optischen Computern sind um 15—20% höhere schräge Aberrationen zugelassen, als bei der Airy-Scheibe mit einer  $0,01 \mu\text{m}$  Ringverzerrung auf dem ganzen Bildfeld. Die Asymmetrie der Frontblendenobjektive erschwert die Korrektionsaufgabe der ungeraden Aberrationen: bei Koma, Verzerrung und Farbengrößerung.

Die meisten Frontblendenobjektive wurden im letzten Jahrzehnt durch die Analyse bekannter optischen Systeme entwickelt. Diese Objektive besitzen eine bedeutende, bleibende Feldaberration, und am Rande dessen eine größere Vignettierung von 50%. Untersuchen wir die theoretische Systemmethodik der existierenden Frontblendenobjektive, und die Verbesserungsmöglichkeiten ihrer Charakteristik. Wir machen darauf aufmerksam, daß bei der Korrektion des Astigmatismus kann als Teleobjektiv ein Meniskussystem mit ausgesetzter Anastigmablende verwendet werden, zur Korrektion der ungeraden Aberrationen werden lichtstarke Anastigmaten aus zwei symmetrischen Teilen hergestellt, bezogen auf die Blende. Die spezielle Aufgabe der Frontblendenobjektive ist in einer Reihe von Patenten enthalten. Bei der Wahl des beginnenden optischen Schemas kann folgende Methode verwendet werden:

- die Berechnung der Hälfte des Anastigmaten (Diafragma der Apertur) geschieht bei mittlerer und großer Brennweite, und durch die Abberationstheorie dritter Ordnung;
- konstruktive Gestaltung von Teleobjektiven durch die Konkavität der blendebezogenen brechenden Oberflächen, so daß man bei den schrägen Strahlen nicht große Fall-, und Brechwinkeln, und begrenzte Aberrationen höherer Ordnung enthält,
- Synthese der Objektive aus längst des Hauptstrahles aplanatischen Flächen (diese Methode betrifft Frontblendenobjektive mit kurzer Brennweite). Optimal sind auch jene lichtbrechende Oberflächen, bei denen die Einfallswinkel für breite, schräge Bündel jenem Gebiet nahe stehen, — oder sich innerhalb dessen befinden, — die durch die Strahlen entsteht, welche durch den normalen und den aplanatischen Punkt der Oberfläche laufen.
- Zur Korrektion der verschiedenen Aberrationen kann der Objektiv aus Hochleistungselementen mit bekannter Eigenschaft zusammengestellt, und mit entsprechenden Korrektionselementen versehen werden (diese Methode scheint rationell für eine ständige Entwicklung der Lichtstärke und des Sichtfeldes bei Frontblendenobjektiven zu sein).

Die Analyse der bekannten Frontblendenobjektive hat gezeigt, daß diese aus Tripletten, durch Einfügung von plankonkaven aplanatischen Linsen, oder konkaven Meniskuslinsen zur Korrektion der Krümmung des Bildfeldes entwickelt wurden. Zur Laserregistrierung werden in den kohärenten optischen Computern Frontblendenobjektive verwendet, bei denen die Hauptstrahlen telezentrisch verlaufen.

### Fontblendenobjektive, konstruiert zur Photographie

Patentdaten weisen darauf hin, daß die ersten Frontblendenobjektive aus Tripletten durch die konsequente Verbesserung der Eigenschaften wohlbekannter optischen Systeme entstanden. Die Aperturentfernung, die Lichtstärke und das Bildfeld wurden größer, dadurch daß die negative Komponente des Triplettstufenmäßig dicker

wurde, und durch die Verwendung weiterer Korrektionslinsen. So wurde das Objektiv immer zusammengesetzter. Man suchte die günstige Lösung durch Kleben oder Teilung von einfachen Linsen bei den Positivlinsen, und durch das sehr schwere Kronenglas. Aperturdurchmesser bei den bekannten Frontblendenobjektiv-Tripletten beträgt  $0,14-0,3 f$ , die Lichtstärke  $1:5-1:1,2$ , das Sichtfeld  $28-40^\circ$ , die Verzerrung  $1-3\%$ , die Vignettierung der lichtstarken Objektivs ist über  $50\%$ , am Rande des Bildfeldes. Zur Korrektion von Koma, und besonders Verzerrung müssen ergänzende Korrektionselemente dem Frontblendenobjektiv beigefügt werden. So z. B. bei den Unterwasserobjektiven ein dünner Linsenvorsatz vor dem Diafragma, oder eine Oberfläche der dicken Negativlinse mit vergrößerter Brechkraft, die die breiten schrägen Strahlen bedeutend vignettiert.

Zur Lösung der Aufgabe — besonders in der Phase der Vorplanung — kann die Bekanntmachung der verwirklichten und bewährten Konstruktionen beitragen. Die Literatur [6] beschreibt ein Frontblenden-Triplett (Abb. 1.). Konstruktionsparameter sind die Folgenden.

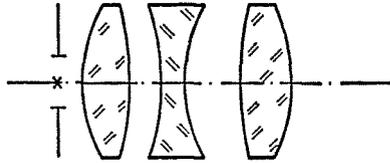


Abb. 1

- Blendenentfernung von der ersten Oberfläche,  $S_d = 14,3$  mm;
- Brennpunktentfernung,  $f = 100$  mm;
- relative Öffnung  $R_o = 1:1,6$ ;
- Sichtfeld:  $2\omega = 28^\circ$ .

Berechnungen haben gezeigt, daß die bleibenden Aberrationen des Objektivs im ganzen Bildfeld nicht über  $1$  mm sind, der Verzerrungswert beträgt  $1,2\%$ , die Vignettierung ist bei einem Sichtfeld  $\omega = 15^\circ$  über  $50\%$ .

Die Literatur [7] beschreibt ein amerikanisches Patent (Abb. 2.), ein Frontblendenobjektiv mit großer Relativöffnung, mit folgenden Konstruktionsparametern:

$$S_d = 0,1429 f, \quad 2\omega = 28^\circ, \quad R_o = 1:1,2.$$

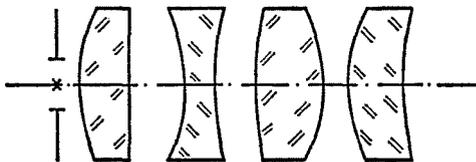


Abb. 2

Bei der vergrößerten Relativöffnung (1:1,2) ändert sich die Verzerrung auf — 1,5%, und die Vignettierung steigt über 60%.

[8] berichtet über ein BRD-Patent, bei dem im Frontblendensystem die positive Linse aus superschweren Kronenglas besteht, und so konnte die Aberration herabgesetzt werden (Abb. 3). Bei einer 1:2 Relativöffnung, und auf 44° erhöhtem Sicht-

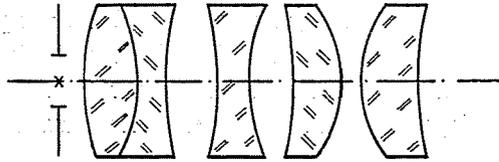


Abb. 3

feld beträgt das Durchmesser des Streungsflecks auf der Achse 0,16 mm, und 0,2 mm am Rande des Bildes in der Meridianebene. Das Spotdiagramm verweist auf verbleibende Koma. Die Verzerrung kann auf 0,38% herabgesetzt werden, durch ein, dem Bild konkaven Korrekptionsmeniskus.

Die Parameter des Systemes mit verbesserter Bildqualität sind die folgenden:

$$S_d = 6,45 \text{ mm}, \quad f = 10 \text{ mm}, \quad R_s = 1:2, \quad 2\omega = 44^\circ.$$

Eine weitere Vergrößerung der Relativöffnung der Frontblendenobjektive — ohne das optische System komplizierter zu gestalten — ist bei den einzelnen Objektivoberflächen durch asphärische Oberflächen möglich. USA Patent 3944337/1986 zeigt ein Triplet, wobei die zweite, dritte und vierte Oberfläche des Systems asphärische ist. Diese Elemente werden aus nichtteuerem Kunststoff hergestellt ( $n_d = 1,49 - 1,59$ ). Die erwähnten Objektive wurden zu Photozwecken entworfen wo die Brennweite 12 mm, die Lichtstärke 1:1,4 und das Sichtfeld 33° beträgt.

Es wurden auch Frontblendenobjektive zu Photozwecken — mit 0,1—0,5f Blendentfernung, 1:5—1:1,8 Relativöffnung und 32—70° Sichtfeld — und Verwendung von Plan-Konvex-Linsen hergestellt. Objektiv auf Abb. 4. wurde mit ausgesetzter Blende, 1:4 Lichtstärke und  $2\omega = 70^\circ$  Sichtfeld verwirklicht. Berechnungen haben gezeigt, daß die verbleibenden Aberrationen des Objektivs bedeutend sind. Es scheint, daß mit Plan-Konvex-Linse die große Blendentfernung und die gute Bildqualität schwer gleichzeitig gewährleistet werden kann, und die Relativöffnung hängt mit der Kompliziertheit des optischen Systems zusammen.

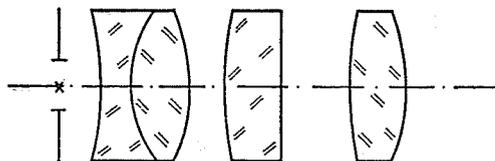


Abb. 4

Die Parameter eines Objektivs mit einer Plan-Konkav-Linse von Abb. 4. sind:

$$S_d = -0,3f; \quad P_0 = 1:4; \quad 2\omega = 70^\circ.$$

Man erhält ein Frontblendenobjektiv mit kurzer Brennweite, wenn die Brechkraft des Basiselements durch eine Positivlinse erhöht wird. Objektiv in Abb. 5. baut sich auf eine Plan-Konvex-Linse, die den Hauptstrahl entlang isoplanatische Oberflächen besitzt. Zur Komakorrektion nimmt die erste Oberfläche konvexe Gestalt an, die Korrektur der Krümmung benötigte zwei negative Schmidtsche-Linsen nahe der Bildebene, und die verbleibende Verzerrung ist bedeutend ( $-10\%$ ).

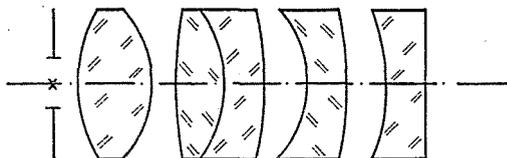


Abb. 5

Ein englisches Patent, 1333185/10.19.73. berichtet über ein mehrkomponentiges, superlichtstarkes Frontblendenobjektiv ( $1:1-1:0,714$ ), bei kleiner Blendentfernung ( $0,05-0,083f$ ) und  $53^\circ$  Sichtfeld. Korrektur der Aberrationen ist gut, die Vignettierung ist minimal, zur Korrektur der Feldkrümmung wird eine Linse aus Plan-Konvex-Faseroptik benutzt, die sich in der Brennweitebene befindet.

Das Frontblendenobjektiv kann aus Meniskus und davorstehenden konzentrischen Linsen hergestellt werden. Abb. 6. zeigt das Schema eines solchen Objektivs. Astigmatismus ist korrigiert bei  $2\omega=40^\circ$  Sichtfeld, und die Bildfeldkrümmung ist kleiner als  $-0,2$  mm. Der konzentrische Meniskus vor dem System erhöht die Lichtstärke, und hilft bei der Korrektur der Bildfeldkrümmung, während die Verzerrung groß ist ( $-8\%$ ).

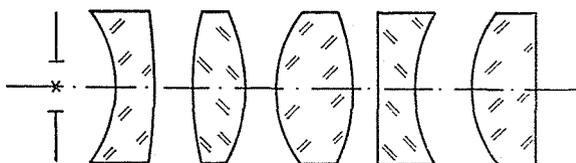


Abb. 6

Systemparameter sind (Abb. 6):

$$S_d = -5 \text{ mm}; \quad f = 12,28 \text{ mm}; \quad R_0 = 1:4; \quad 2\omega = 40^\circ.$$

Im französischen Patent Nr. 2141525/1973. ist ein Frontblendenobjektiv mit großen Blickwinkel (Sichtfeld  $80^\circ$ ) und  $1:3,5$  Lichtstärke gegeben, das aus zwei Meniskus-Linsengruppen, und der sich dazwischen befindenden plan-konvexen Korrektionslinse besteht. Das Objektiv besitzt den schrägen Hauptstrahl entlang aplanatische Oberflächen.

### Frontblendenobjektive für kohärente optische Computer

In den vergangenen Jahren hat die Entwicklung der kohärenten optischen Registrierung und Informationsverarbeitung zur Gestaltung Frontblendenobjektive mit telezentrischen Hauptstrahlengang in der Bildebene geführt. Diese werden bei Bündelkorrektoren mit Laser in Registrierungssystemen und kohärenten optischen Computern verwendet. Dieser Objektivtyp ist von der Konstruktion her vielseitig. Die Aperturblende fällt meistens mit dem ersten Brennpunkt des Basiselementes zusammen, und die Objektive bestehen aus Oberflächen, die auf den schrägen Hauptstrahl konzentrisch und aplanatisch sind. Bei telezentrischen Frontblendenobjektiven ist eine große Blendenentfernung möglich, die ungefähr mit der ersten Schnittentfernung gleich ist, Koma und Verzerrung kann schwer korrigiert werden (mehr, als 1%). Um die Qualität des Objektivs zu verbessern müssen ergänzende Korrektionelemente konstruiert werden, das zur Kompliziertheit des optischen Systemes führt. Solche Systeme werden für kohärente optische Computer- und Frontblendenlinsen mit monochromatischer Korrektur hergestellt, damit sie auch für Laser verwendet werden können.

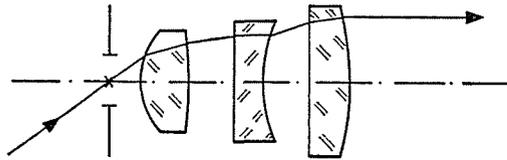


Abb. 7

Abb. 7. zeigt ein telezentrisches Objektiv. Die Lösung ist triplettartig aber kann auch als ein zweielementiger Korrektor aufgebaut auf eine Sammellinse aufgefaßt werden. Das System hat eine kleine Lichtstärke ( $R_0=1:10$ ), das Sichtfeld ist klein, und besitzt bedeutende verbleibende Aberrationen. In diesem Falle ist das hintere Glied die Basislinse, und die davor sind die Korrektionelemente.

Bei den orthoskopischen Frontlinsenobjektiven (Abb. 8.) haben die Hauptstrahlen in der Bildebene einen telezentrischen Gang. Das Objektiv baut sich auf eine parabolische plan-konvexe Basislinse auf. Diese sichert eine entsprechende Blendenentfernung die der Brennpunktentfernung der Linse entspricht, die Telezentrität der Strahlen und die große hintere Schnittentwicklung. Die planparabolische Linse ist —

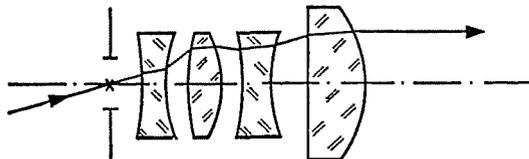


Abb. 8

bei großem Sichtfeld frei von Verzerrung und Astigmatismus, die sphärische Aberration ist begrenzt, und das Koma ist nicht zu groß. Zur Korrektur der Bildkrümmung und zur Minderung der sphärischen Aberration kann im Objektiv ein Kompensator aus drei Linsen verwendet werden. Blendenentfernung des Objektivs ist  $S_D = -15,6$  mm, Brennpunktentfernung  $f = 300$  mm, Sichtfeld  $2\omega = 30^\circ$  und die relative Öffnung 1:10. Die Aberrationen des Objektivs sind auf die Strahlen der Blende und des Feldrandes korrigiert, die sphärische Aberration beträgt in der Zone  $-0,69$  mm. Die meridionale Krümmung ist  $-0,77$  mm. Verzerrung ist kleiner, als 0,01 %, entlang des ganzen Bildfeldes. Der Streuungsfleck ist auf der Achse  $\varnothing 0,04$  mm, das meridionale Maß ist am Rande des Bildfeldes 0,32 mm, wegen verbleibenden Komen. So ein Frontblendenobjektiv ist zur optischen Registrierung — zur Ablesung, und Verarbeitung mit kleinen Fehlern — von dichten Informationen geeignet. Die optischen, holografischen und opto-elektronischen Elemente der kohärenten optischen Computer können in ihren äusseren Eigenschaften (Input-Output) durch Frontblendenobjektive mit kleiner Aberration, und erweitertem Sichtfeld einander richtig angepaßt werden. In kohärenten optischen Computern können die Informationen durch den telezentrischen Hauptstrahlengang im Memoriebereich, und durch die gute Korrektur der orthoskopischen Objektive im ganzen Ablesebereich dicht abgelesen werden. Bei den kohärenten optischen Computern ist die Vignettierung der schrägen Strahlen nicht erlaubt, weil so Informationen der Randbereiche beeinträchtigt werden.

Die Konstruktionsschemen der Frontblendenobjektive hängen von der Bestimmung und von den verlangten Parametern ab. Es scheint zweckmäßig zu sein, wenn das Frontblendenobjektiv aus kapazitätsstarken, korrigierten Elementen besteht, ohne dabei es komplizierter zu gestalten. Diese Methode ist bei solchen kohärenten optischen Computern günstig, wo das Frontblendenobjektiv nur eine minimale Zahl von Oberflächen enthalten darf, da die Dispersion der Linse die Genauigkeit der optischen Prozesse beeinträchtigt. Die Zusammenstellung von Objektiven aus Basis-elementen bekannter Charakteristik und die geteilte Korrektur der Aberrationen kann die Entwicklung neuer Frontblendenobjektive beschleunigen.

### Folgerung

Die Analyse verschiedener Frontlinsenobjektive haben gezeigt, daß bei der Entwicklung solcher Objektivkonstruktionen die folgenden Tendenzen zu beobachten sind:

1. Am häufigsten werden Frontblendenobjektive zu Photozwecken auf Tripletbasis, mit Hilfe von Plankonvex-Linsen, oder blendenzentrischem Meniskus aufgebaut.
2. Die Schwierigkeit der asymmetrischen Konstruktionen bei Frontblendenlinsen besteht in der Korrektur der schrägen Aberrationen.
3. Die Charakteristik und Korrektur der Aberrationen von Frontblendenobjek-

tiven kann oft durch Positivlinsen, schweren Kronengläser und asphärischen Flächen und durch die Kompliziertheit des Objektivs verbessert werden.

4. Bei Laserregistrierung, und in kohärenten optischen Computern ist die Verwendung solcher Frontblendenobjektive nützlich, bei denen die Hauptstrahlen des Memoriengebietetes telezentrisch sind.

5. Die Verwendung von planparabolischen Linsen, als Basiselement ermöglicht die Konstruktion von orthoskopischen und telezentrischen Frontblendenobjektiven, die für die gute Qualität des ganzen Bildfeldes sorgen.

### Die Konstruktionsmethode von Frontblendenobjektiven

Bei der Wahl des Ausgangs-optischen-Systemes der Frontblendenobjektive bestehen folgende Bedingungen: der Mittelpunkt der Krümmung der brechenden Oberflächen ist die Frontblende, also der Mittelpunkt der Eintrittspupille. Der Einfall- und Brechwinkel jener schrägen Strahlenbündel, die durch die Randpunkte der entsprechenden Oberflächen läuft ist minimal. Die einfachere Konstruktion dieses Types gewährt die Korrektur der Aberrationen dritten Ranges. Es enthält eine dicke, alleinstehende Linse und dünne Kompensationsglieder. Ein entsprechendes ekvivalentes System besteht aus solchen dünnen Komponenten, wo der Luftspalt  $d_1 = d/n$  ist, wobei  $n$  die Brechungszahl der alleinstehenden Linse bedeutet. Bezeichnen wir die optische Brechkraft der dünnen Komponente des ekvivalenten Systemes mit  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$ . Ohne die Allgemeinheit der Folgerung zu verletzen kann der Luftspalt zwischen den dünnen Komponenten 2. und 3., und darin die Winkel der paraxialen Strahlen als  $\theta$  betrachtet werden.

Wenn der gegebene Winkel  $\theta$  ist, kann man schnell zur folgenden Gleichung kommen;

$$\varphi_2 = \frac{\varphi_1}{\varphi_1 d_1 - 1}. \quad (1)$$

Wenn man die entstehende Brennpunktentfernung in Betracht zieht (1) kann die Gleichung folgende Form haben:

$$\varphi_1 + \frac{\varphi_1^2 d_1}{\varphi_1 d_1 - 1} + \varphi_3 - \varphi_1 \varphi_3 d_1 = 1. \quad (2)$$

Dabei sind  $h_1 = 1$ ,  $h_2 = 1 - \varphi_1 d_1$ ,  $h_3 = h_2$  die Höhenwerte des ersten paraxialen Strahles.

Gleichung (2) hat nach einer einfachen Umformung folgende Gestalt:

$$(\varphi_1 d_1 - 1)(\varphi_3 - \varphi_1 \varphi_3 d_1 - 1) = 0.$$

Die Bedingung  $\varphi_1 d_1 - 1 = 0$  wird nicht erwogen, da  $d_1$  gleichzeitig die Werte von  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  und  $\varphi_3$  bestimmt, und so bleiben bei der Aberration dritter Ordnung zur Systemkorrektur zwei freie Parameter ( $P$  und  $W$ ; die Grundparameter der dünnen

Komponente) übrig. Im Falle der Gleichung (3)

$$\varphi_3 - \varphi_1 \varphi_3 d_1 - 1 = 0. \quad (3)$$

Gibt es neben den Parameter  $P$  und  $W$  zwei unabhängige Parameter,  $\varphi_1$  und  $d_1$ , dann folgt

$$\varphi_3 = \frac{1}{1 - \varphi_1 d_1}.$$

Die Seidel-Koeffizienten  $S_1$ ,  $S_1^I$ ,  $S_1^H$  können beim analysierten System folgende Form haben

$$S_I = \sum_1^3 h_i P_i + \Pi_I$$

$$S_{II} = \sum_1^3 y_1^2 P_i - J \sum_1^3 W_i + \Pi_{II} \quad (4)$$

$$S_{III} = \sum_1^3 \frac{y_i^2}{h_i} P_i - 2J \sum_1^3 \frac{y_i}{h_i} W_i + A + \Pi_{III}$$

$P_i$  und  $W_i$  sind Parameter der dünnen Komponente  $P$  und  $W_i$ ,  $h_i$ ,  $y_i$  sind die Höhen der 1. und 2. paraxialen Strahlen der dünnen Komponente;  $\Pi$  ist jenes Glied der Koeffizienten  $S_1$ ,  $S_1^I$  und  $S_1^H$  die sich auf die reduzierte Dicke der Linsen bezieht:

$$A = \frac{1 - \frac{\varphi_1^2}{n} d_1}{1 - \varphi_1 d_1}$$

Wenn man die ersten zwei Gleichungen von (4) löst, und „ $h$ “ und „ $y$ “ mit  $\varphi_1$  und  $d_1$  ausdrückt, erhält man „ $P_3$ “ und „ $W_3$ “:

$$P_3 = \frac{1}{1 - \varphi_1 d_1} S_1 + \frac{\frac{\varphi_1^4 d_1}{1 - \varphi_1 d_1} \left( \frac{n^2 - 1}{n^2} - \bar{P} \right)}{I} \quad (5)$$

$$W_3 = S_n - \left( x_1 - \frac{d_1}{1 - \varphi_1 d_1} \right) S_1 + \frac{\frac{\varphi_1^3 d_1}{1 - \varphi_1 d_1} \left( \frac{n^2 - 1}{n^2} - P \right)}{II} \quad (6)$$

Hier bedeutet  $x_1$  die Entfernung vom höchsten Punkt der ersten Oberfläche des Objektivs bis zur Eintrittspupille. Wenn man die Gleichungen (5) und (6) in Gleichung (4)  $S_m$  einsetzt bekommt man:

$$S_m = 2 \left( x_1 - \frac{1}{1 - \varphi_1 d_1} \right) S_n - \left( x_1 - \frac{d_1}{1 - \varphi_1 d_1} \right)^2 S_1 + A - \varphi_1^3 \left( \frac{d_1}{1 - \varphi_1 d_1} \right)^2 \left( \frac{n^2 - 1}{n^2} - P \right) + \varphi_1^2 \left( \frac{2d_1}{1 - \varphi_1 d_1} \right) \left( \frac{n^2 - 1}{n^2} - \bar{W} \right),$$

wo  $\bar{P}$  und  $\bar{W}$  Grundparameter der ersten und zweiten dünnen Systemkomponenten sind. Die Petzval-Koeffiziente hat folgende Form:

$$S_{IV} \cong \frac{\varphi_1^2 - 1}{n(\varphi_1 d_1 - 1)} \quad (7)$$

Die Annäherung  $S_w(7)$  kann damit erklärt werden, daß die Brechzahl der dünnen Kompensationskoeffiziente, hier mit „ $n$ “ gleich, gleich mit der Brechzahl der endlich dicken Linse ist. Dies ist der gesuchte Wert bei der Berechnung der kompensierenden Komponente, aber  $S_w$  des Objektivs muß genauer bestimmt werden. Der Berechnungsvorgang für das analysierte Objektiv kann so zusammengefaßt werden:

1. Wenn die Petzval-Bedingung erfüllt wird kann das entsprechende  $\varphi_1$  Wertspektrum entstehen, bei gegebenen  $d_1$  Werten.

2. Aus diesem Spektrum kann man bei grundlegenden  $\varphi_1$  Werten durch Gleichungen (5) und (6) jene  $P_s$  und  $W_s$  Parameter enthalten, die nach  $S_I$  und  $S_{II}$  der Korrektur entsprechen.

3. Für diese  $\varphi_1$  Werte wird  $S_{III}$  berechnet, und festgestellt wie  $S_{III}$  von  $\varphi_1$  abhängt. So kann  $\varphi_1$  der Korrektur, zusammen mit den Koeffizienten  $S$  und  $S_{II}$ , und die  $S_{III}$  Seidel-Koeffiziente bestimmt werden. Die erwähnten Zusammenhänge können auch in einfache Tabellenrechnungsform umgestaltet werden (Tabelle 1.). Als Beispiel sieht man hier die Berechnungsdaten eines Objektivs mit einer  $d_1 = 0,3$  Linsendicke, und  $S_I$  und  $S_{II}$  (1.0) Koeffizienten.

Abb. 8. zeigt die Berechnungsergebnisse der Tabelle. Parameter  $P_s$ , wie aus (5) ersichtlich, hängt nicht von der Lage der  $x_1$  Blende ab. Der  $W_g$  Parameter ändert sich durch die Lage der Eintrittspupille (Frontblende) um den  $S_{II}$  Wert. Die  $W_s$  Kurve wird in Verhältniss zu  $\varphi_1$  parallel um den  $S_1$  Wert, mit entsprechendem Vorzeichen, verschoben. So kann jene Kurve, die das Abhängnis von  $S_{III}$  von der Lage der Eintrittspupille (Frontblende) einstellt, bestimmt werden.

Im gezeigten Beispiel wurde das Spektrum der akzeptablen Lösungen von  $\varphi_1 = 0,7$  auf  $\varphi_1 = -1,2$  ausgeschoben. In diesem Spektrum bestimmen alle  $\varphi_1$  Werte, bei entsprechendem Stand der Eintrittspupille (Frontblende) das System der Koeffizienten der Aberration dritten Ranges ( $S_I$ ,  $S_{II}$ ,  $S_{III}$ ).

Bei der Berechnung wurde die Korrektur der Verzerrung dritten Rangens und die Koeffiziente der kromatischen Aberration ersten Rangens nicht berücksichtigt. Die Korrektur der Verzerrung ist in den untersuchten Systemen, besonders in den asymmetrischen Systemen schwer, und die Feldwinkeln über  $40^\circ$  benötigen spezielle Parameter und/oder die Anwendung asphärischer Flächen ist benötigt.

Wenn man die begrenzten Korrektionsmöglichkeiten des Systems betrachtet, kann dessen Kromatismus in der letzten Berechnungsphase durch die Wahl geeigneter Gläser und durch die Verwendung geklebter Linsen korrigiert werden.

Die Grundthesen der Berechnungsmethode kurz zusammengefaßt kann bei Frontblendenobjektiven im Bereich der Aberration dritten Rangens festgestellt werden

Tabelle 1

$\varphi_1$	$\varphi_1 d_1$	$1 - \varphi_1 d_1$	$\frac{1}{1 - \varphi_1 d_1}$	$\frac{d}{1 - \varphi_1 d_1}$	$\frac{\varphi_1^2 d_1}{1 - \varphi_1 d_1}$	$\frac{\varphi_1^4 d_1}{1 - \varphi_1 d_1}$	I.	II.
-0,7	-0,21	1,21	0,8264	0,2479	-0,0850	0,0595	-0,0610	0,0871
-0,9	-0,27	1,27	0,7874	0,2362	-0,1722	0,1550	-0,1588	0,1764
-1,2	-0,36	1,36	0,7353	0,2206	-0,3812	0,4574	-0,4687	0,3900
-1,5	-0,45	1,45	0,6896	0,2069	-0,6983	1,0474	-1,0733	0,7155

$x_1$	$x_1 - \frac{d_1}{1 - \varphi_1 d_1}$	$P_3$	$W_3$	$A$	$S_{III}$	$x_1$
-0,2	-0,4479	0,7654	0,5350	0,7797	0,4050	-0,3
-0,2	-0,4362	0,6286	0,6126	0,7138	0,2416	-0,3
-0,2	-0,4206	0,2666	0,8112	0,6131	-0,0488	-0,3
-0,2	-0,4069	-0,3837	1,1224	0,5106	-0,3874	-0,3

$x_1 - \frac{d_1}{1 - \varphi_1 d_1} \left( x - \frac{d_1}{1 - \varphi_1 d_1} \right)^2$	$W_3$	$S_{III}$	$x_1$	$W_3$	$S_{III}$	$x_1$	$W_3$	$S_{III}$	
-0,5479	0,3002	0,6350	0,3054	-0,4	0,7450	0,1858	-0,5	0,8350	0,0462
-0,5362	0,2875	0,7126	0,1444	-0,4	0,8126	0,0271	-0,5	0,9126	-0,1101
-0,5206	0,2710	0,9112	-0,1429	-0,4	1,0112	-0,2570	-0,5	1,1112	-0,3912
-0,5069	0,2569	1,2224	-0,4781	-0,4	1,3224	-0,5901	-0,5	1,4224	-0,7215

daß durch die gegebene Methode die Anfangsphase der Konstruktion erfüllt werden kann. Es werden die akzeptablen Spektren der Aufgabenlösung gezeigt. Im Bereich der Aberration dritten Ranges können die Konstruktionsparameter des korrigierten Systems in Abhängigkeit von  $x_1$ ,  $d$  und  $n$  bestimmt werden. Die Methode ist ganz einfach, und es kann keine prinzipielle Schwierigkeit festgestellt werden, daß die Automatisierung der Berechnungsprozesse solcher Objektivs behindern würde.

Literatur

1. NIKOLOV, I. D.: (1980) Objektivü sz vüneszennüm zratcechkom; Optiko-mechanicheskaja promüslennosty, 12, 12—15.
2. TARABUKIN, V. V.: Rastsot objektiva sz vünesennüm vhodnüm zratskom; Optiko-mechanicheskazkaja promüslennoszt, 1983., 5. 25—27.
3. NIKOLOV, I. D.: (1985) Orthoscopic telecentric lenses; Optica Acta, Vol. 32., NO. 1., 107—119.

4. Französisches Patent. 11 N° de publication 2. 141525 21 N° d'enregistrement national 71. 21445. Institut National de la Propriété Industrielle. Paris.
5. Japanische Patent in der BDR. Auslegeschrift 2432589. Aktenzeichen P 2432589 1—51. Anmelder, Canon K. K. Tokio, Bezeichnung: Photo-Objektiv.
6. USA Patent N° 3438696/1969.
7. USA Patent N° 3466115/1969.
8. BRD Patent N° 2432589/1977.
9. USA Patent N° 8773404/1973.
10. Französischer Patent N° 2141525/1973.

Dr. Zoltán TURI H-1521 Budapest