

Auslegung von Kompensationssystemen zur interferometrischen Prüfung asphärischer Flächen *)

B. Dörband, H. J. Tiziani

Institut für Technische Optik der Universität Stuttgart **)

Eingegangen am 22. September 1983

Inhalt

Bei der interferometrischen Prüfung rotationssymmetrischer asphärischer Flächen werden sogenannte Kompensationssysteme verwendet, deren Anpassung an die Asphäre wegen zusätzlicher Verwendung eines Computerhologramms nur näherungsweise erforderlich ist. Beschrieben wird das Vorgehen für den Gaussischen und Seidelschen Entwurf eines ein- und zweilinsigen Kompensationssystems: Die von Einzellinsen abgedeckten Kegelschnittbereiche und Beispiele für die Erweiterung der Bereiche durch zweilinsige Systeme werden diskutiert. An einem Beispiel wird gezeigt, daß bei Abbildung der asphärischen Fläche in das Computerhologramm oftmals eine Gaussische Auslegung genügt. Es werden Beispiele und Hinweise zur Auslegung bei starken Asphären gegeben.

Abstract

Design of compensation-systems for the interferometric testing of aspherical surfaces. In the interferometric testing of rotational symmetric surfaces compensation-systems are used. Their wavefronts – since an additional computer-generated hologram is used – have to fit the aspherical surfaces only approximately. The design of single- and double-lens systems in first- and third-order layout is reported. Regions for the conic constants to be tested by single lenses as well as examples for double-lens systems are discussed. When imaging the aspherical surface onto the computer-generated hologram first-order layout is often sufficient. Examples and descriptions of system designs for strong aspherics are given.

1. Einleitung

Bei der interferometrischen Prüfung rotationssymmetrischer asphärischer Flächen werden in der Regel sogenannte Nullkorrektoren oder Kompensationssysteme verwendet, die die Aufgabe haben, die Aperturen anzupassen sowie Wellenfronten zu erzeugen, deren Form ähnlich oder gleich der der

*) vorgetragen auf der DGaO-Tagung 1983 in Darmstadt.

**) Pfaffenwaldring 9, 7000 Stuttgart 80.

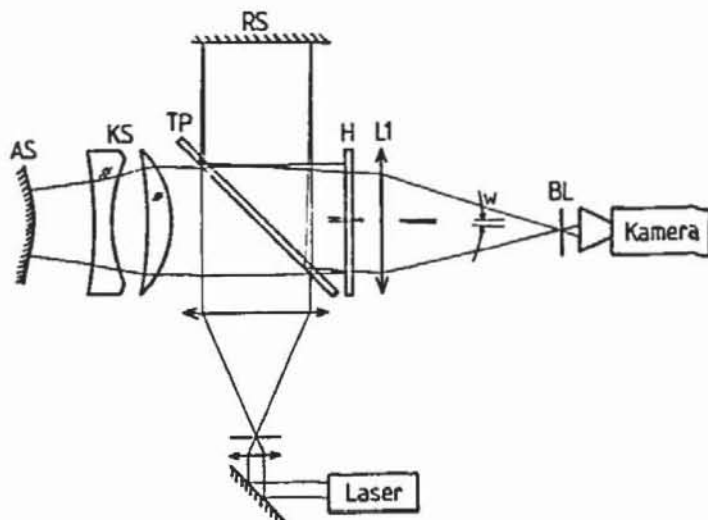


Abb. 1. Twyman-Green-Interferometer zur Prüfung asphärischer Flächen:
 AS asphärische Fläche, KS Kompensationssystem, TP Teilerplatte, RS ebener
 Referenzspiegel, H synthetisches Hologramm, L1 Hilfslinse, BL Blende

Asphäre ist. Man spricht von Nullkorrektoren, wenn die Anpassung exakt erfolgt, so daß am Ausgang des Interferometers idealerweise eine Planwelle austritt [1]. Abweichungen des Prüflings von der Sollform bewirken Abweichungen der Prüfwellenfront von der Ebenheit, was unmittelbar im Interferenzbild sichtbar wird. Nulltests dieser Art sind mit hohen Kosten verbunden, da zu jedem Asphärentyp ein neuer Nullkorrektor ausgelegt, gefertigt, montiert und womöglich geprüft werden muß. Die Prüfung von Nullkorrektoren ist für sich sehr schwierig.

In den letzten Jahren hat sich eine Prüftechnik etabliert, die unter Verwendung von computergenerierten Hologrammen sich als weitaus flexibler und kostengünstiger erweist [2]–[7]. Dabei haben die eingesetzten teilkompensierenden Systeme, oder kurz Kompensationssysteme, die Aufgabe, nur näherungsweise angepaßte Wellenfronten zu erzeugen.

Abb. 1 zeigt den Einsatz eines Kompensationssystems im Twyman-Green-Interferometer. Es sollte aus praktischen Gründen aus möglichst wenig Elementen bestehen. Beachtet werden muß, daß in dieser Anordnung das Hologramm am Interferometerausgang steht und der Mindestabstand vom Kompensationssystem durch die Größe der Teilerplatte gegeben ist. Wir haben uns auf ein festes Hologrammplattenformat festgelegt, so daß es für den Durchmesser des austretenden Lichtbündels eine obere Grenze gibt. Ebenso bestimmt die Auflösung des Plotters beim Aufzeichnen der Hologramme den maximal zulässigen Gradienten der Wellenfront. In unserem Aufbau arbeiten wir mit Hologrammdurchmessern bis 32 mm und erlauben, da wir häufig Off-Axis-Holografie mit $50 \lambda/\text{mm}$ Trägerfrequenz betreiben, Wellenfrontgradienten bis etwa $40 \lambda/\text{mm}$.

2. Darstellung rotationssymmetrischer asphärischer Flächen

Die Meridiankurve einer rotationssymmetrischen asphärischen Fläche wird zweckmäßig beschrieben durch die Gl. (1). Diese Formulierung hat sich seit vielen Jahren in der angelsächsischen Literatur eingebürgert [8].

$$z = \frac{\varrho_0 h^2}{1 + \sqrt{1 - e\varrho_0^2 h^2}} + a_4 h^4 + a_6 h^6 \dots \quad (1)$$

Dabei ist z die Pfeilhöhe parallel und h die Koordinate senkrecht zur optischen Achse. Der erste Summand beschreibt den Kegelschnitttyp mit $\varrho_0 = 1/r_0$ als Scheitelkrümmung und e als Kegelschnittparameter. e hängt mit der häufig benutzten Exzentrizität ε zusammen durch Gl. (2).

$$e = 1 - \varepsilon^2 \quad (2)$$

Der Kegelschnitttyp wird durch die folgenden Wertebereiche für e festgelegt:

$e < 0$	Hyperbel
$e = 0$	Parabel
$0 < e < 1$	Ellipse mit großer Halbachse als Rotationsachse
$e = 1$	Kreis
$e > 1$	Ellipse mit kleiner Halbachse als Rotationsachse.

Die Koeffizienten a_4, a_6, \dots usw. beschreiben die asphärischen Abweichungen vom Kegelschnitt. Die Reihe wird gewöhnlich abgebrochen beim 10. oder 12. Grad.

3. Allgemeine Gaussische Auslegung

Abb. 2 zeigt Grundsätzliches zur Gaussischen Auslegung eines Kompensationssystems oder Nullkorrektors.

Die Abbildungsbedingungen lauten:

- 1) Der Brennpunkt F' des Kompensationssystems falle mit dem Krümmungsmittelpunkt M der Scheitelkugel zusammen.
- 2) Der in der Höhe h_H einfallende achsparallele Randstrahl im Hologramm sei auch Asphärenrandstrahl mit der Höhe h_A .

Damit bestimmt das Öffnungsverhältnis der Asphäre auch das des Kompensationssystems. Wählt man eine bestimmte Hologrammgröße, so liegt damit der Betrag der Brennweite fest. Es gilt Gl. (3), in der u' der halbe Öffnungswinkel der Asphäre bedeutet.

$$|f'| = |h_H \operatorname{ctg} u'| \quad (3)$$

Alle Asphären, sowohl konvexe als auch konkave Flächen, lassen sich prinzipiell mit Systemen positiver und negativer Brennweite testen. Die zuge-

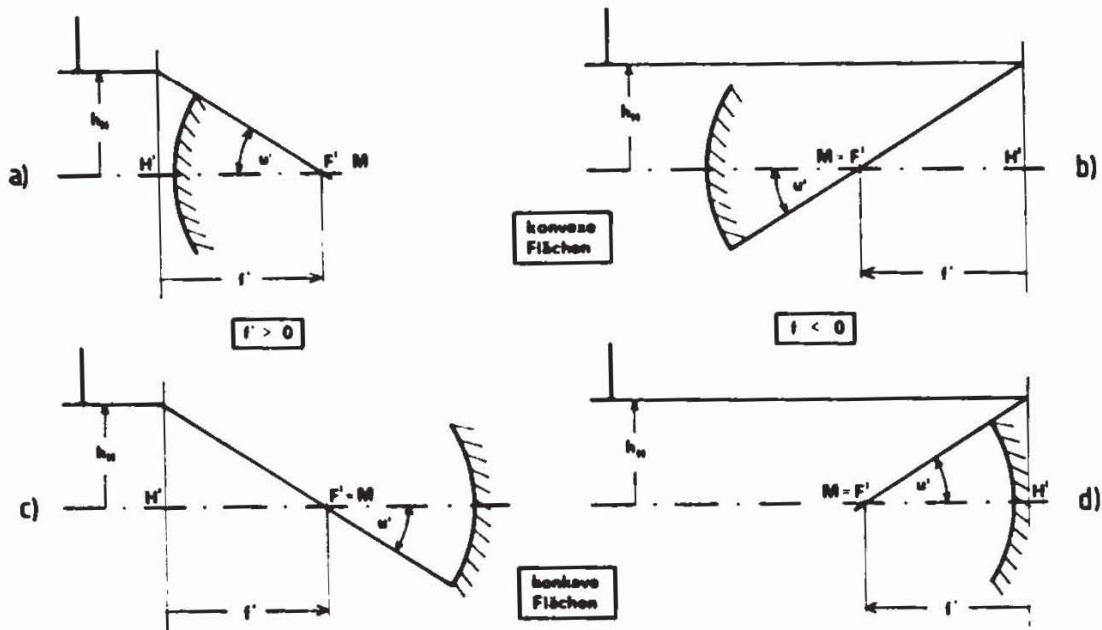


Abb. 2. Gaussische Abbildungsbedingungen für konvexe und konkave Asphären:

- a) K.-System positiver Brechkraft + konvexe Asphäre
- b) K.-System negativer Brechkraft + konvexe Asphäre
- c) K.-System positiver Brechkraft + konkave Asphäre
- d) K.-System negativer Brechkraft + konkave Asphäre

hörigen Hauptpunktlagen für H' sind in Abb. 2 dargestellt. Über die Lage des objektseitigen Hauptpunktes H kann noch frei verfügt werden.

Die Verwendung von Einzellinsen ist nicht möglich in den Fällen a), b) und d) (siehe Abb. 2), nämlich:

- (a) wenn beim Testen konvexer Flächen der Asphärendurchmesser größer als der Hologrammdurchmesser ist.
- (b) für negative Brennweiten beim Testen konvexer Flächen.
- (d) wenn beim Testen konkaver Flächen der Asphärendurchmesser kleiner als der Hologrammdurchmesser ist.

4. Einzellinsen als Kompensationssysteme

Machen die Gaussischen Abbildungsgrößen einen Asphärentest mit einer Einzellinse möglich, so ist zu prüfen, ob der vorliegende Kegelschnitttyp in den Bereich paßt, der von Einzellinsen abgedeckt wird. Abb. 3 zeigt Diagramme, in denen der bestpassende Kegelschnittparameter e über der Durchbiegung X der Linse aufgetragen ist. Die Durchbiegung ist hier definiert durch die Gl. (4) mit r_1 und r_2 als Krümmungsradien

$$X = \frac{r_2 + r_1}{r_2 - r_1} \quad (4)$$

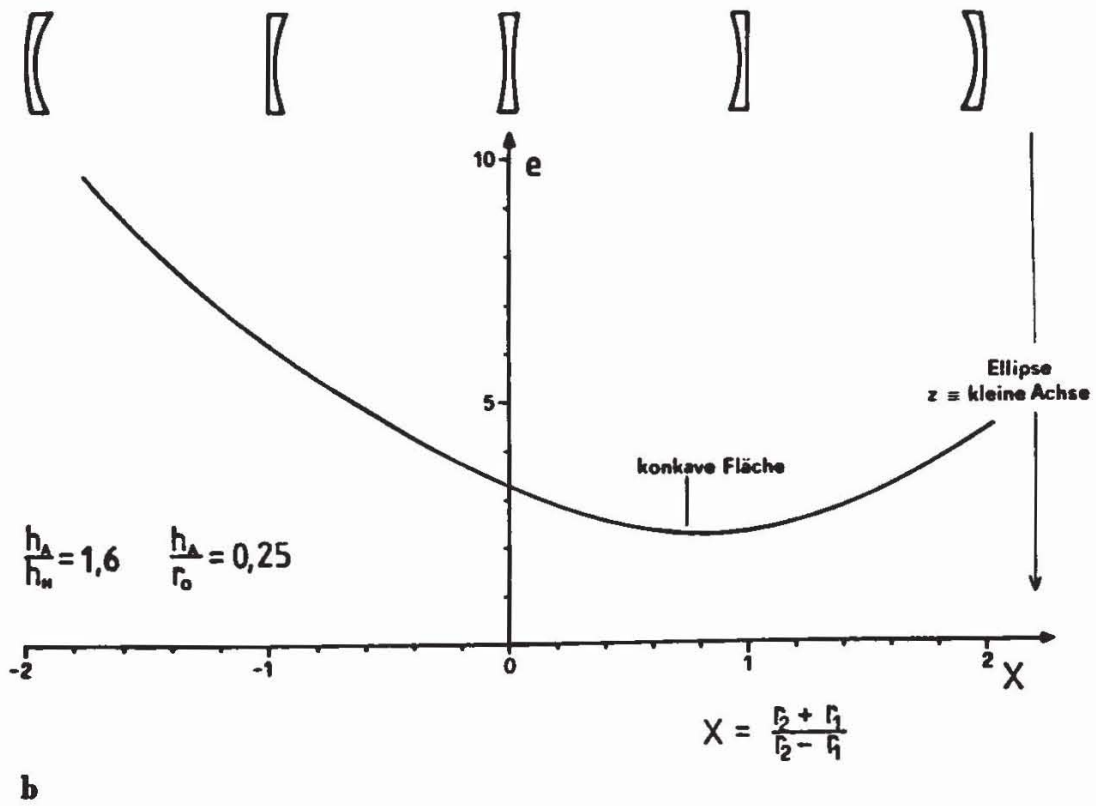
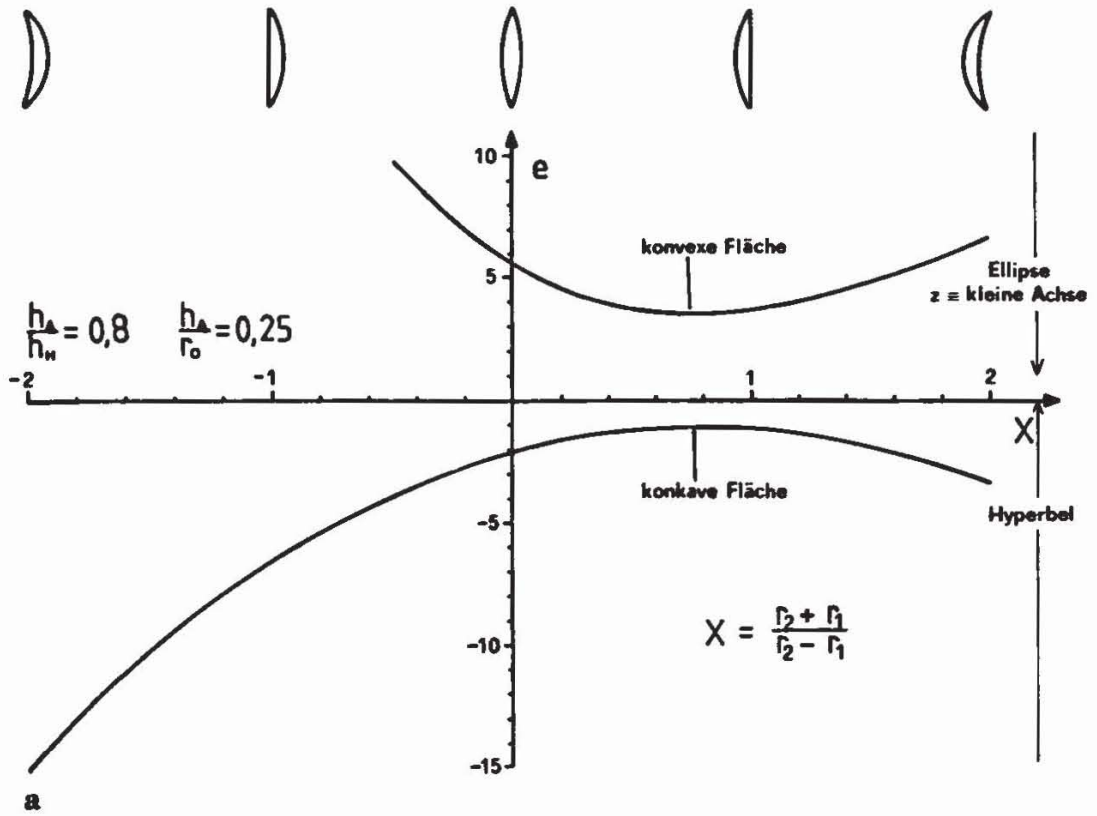
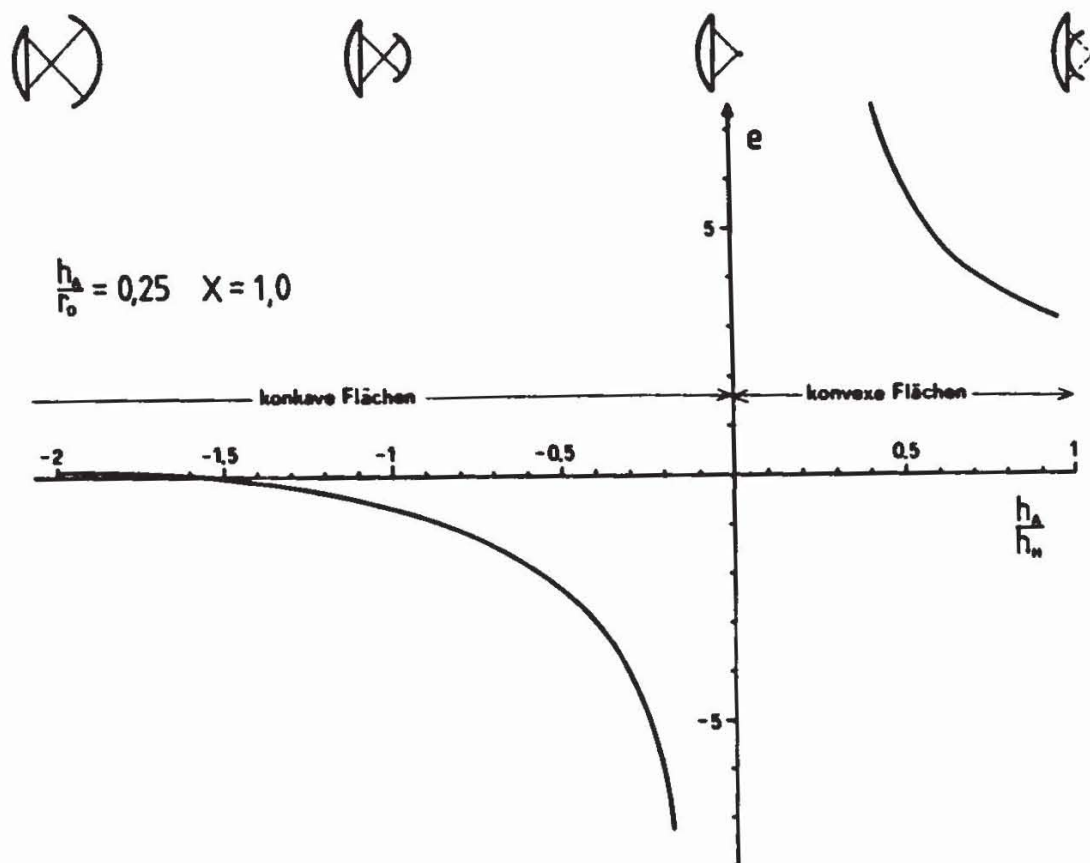


Abb. 3. Testbare Asphäritäten als Funktion der Durchbiegung
 a) für Positivlinse b) für Negativlinse



a

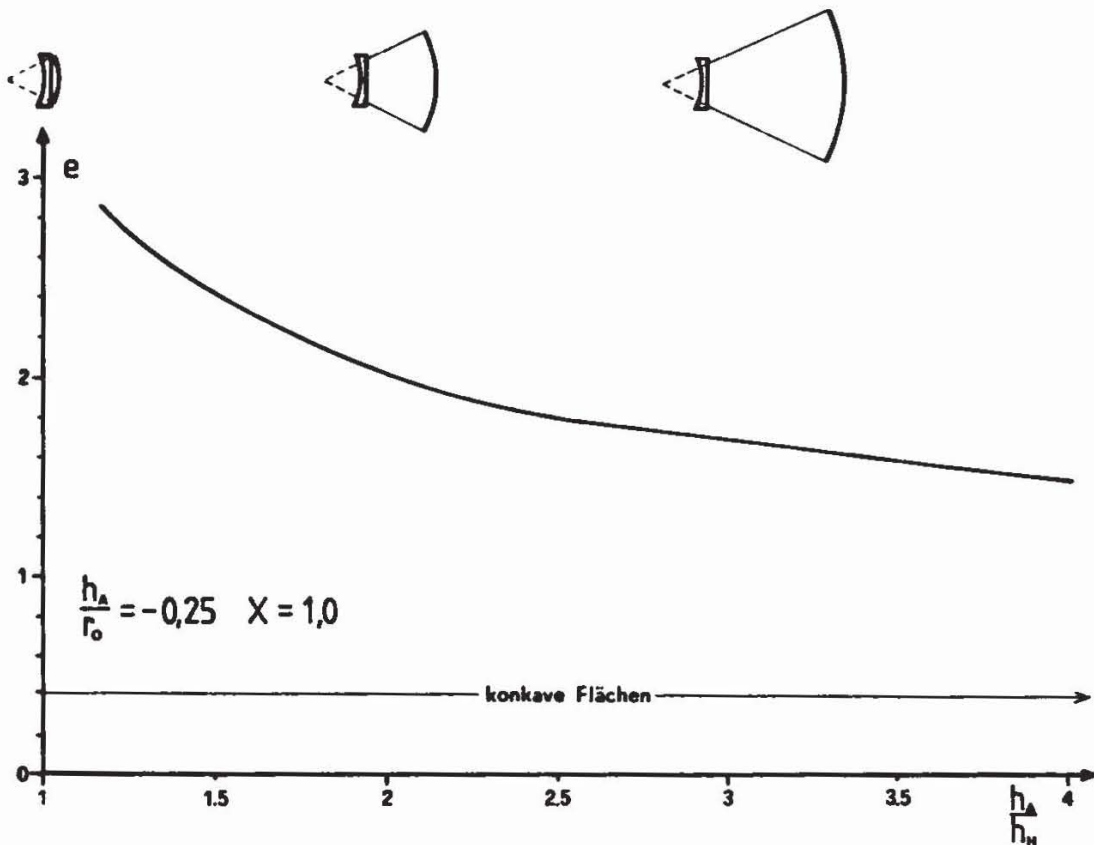
Abb. 4. Testbare Asphäritäten als Funktion des Asphären-Hologrammdurchmesserverhältnisses h_A/h_H
a) für Positivilinse

der Linsenflächen. $X = 0$ entspricht der Bikonvex- oder Bikonkavlinse, $X = \pm 1$ entspricht den Plankonvex- und Plankonkavlinen.

Die Berechnungen wurden gemacht für ein Öffnungsverhältnis von 1:2, was einem Verhältnis h_A/r_0 von 0,25 entspricht. Das Verhältnis Asphärendurchmesser/Hologrammdurchmesser h_A/h_H betrug 0,8 für die Positivilinse und 1,6 für die Negativlinse. BK7 wurde als Glasmaterial und 632,8 nm als Wellenlänge zugrunde gelegt. Die Daten wurden errechnet, indem der Kegelschnittparameter e und der Abstand Linse-Asphäre mit Hilfe eines Optimierungsprogramms so variiert wurden, daß die Terme der Defokussierung und der sphärischen Aberration der resultierenden Wellenfront in der Hologrammebene zu Null gemacht wurden.

Mit stärkerer Durchbiegung wachsen auch die Terme höherer Ordnung in der Wellenfront an, sie sind jedoch in den gezeigten Bereichen immer durch ein Hologramm kompensierbar. Aus den Diagrammen ist ersichtlich:

- konvexe Asphären lassen sich nur mit Positivilinsen testen, und zwar nur, wenn es sich um Ellipsen mit der kleinen Halbachse als Rotationsachse handelt, also $e > 1$ ist.



b

Abb. 4 b) für Negativlinse

- Positivlinsen können hyperboloide Konkavflächen testen ($e < 0$), Negativlinsen ellipsoide Konkavflächen mit der kleinen Halbachse als Rotationsachse ($e > 1$).

Die Kurven der bestpassenden Kegelschnitte verschieben sich für Asphären mit anderen Radien aber gleichem Öffnungsverhältnis. Abb. 4 zeigt die Variation von e mit dem Randstrahlhöhenverhältnis h_A/h_H . Je länger der Radius der Asphäre, desto mehr nähert sich der bestpassende Kegelschnitt dem Kreis mit $e = 1$. Bei langen Radien sind auch ellipsoide und paraboloid konkave Flächen testbar.

Der Bereich für konvexe Flächen, der mit Einzellinsen abgedeckt werden kann, ist im Vergleich zu konkaven Flächen gering und umfaßt lediglich den Bereich mit $e > 1$.

Aus diesem Grund, sowie aus genannten Gründen der Gaussischen Auslegung ist es unvermeidbar, auf zweilinsige Kompensationssysteme überzugehen.

5. Zweilinsige Kompensationssysteme

5.1 Gaussische Auslegung für zweilinsige Systeme

Abb. 5 zeigt die Gaussischen Grundgrößen für ein zweilinsiges Kompensationssystem. Dabei bedeuten:

- h_H Randstrahlhöhe im Hologramm
 h_A Randstrahlhöhe auf der Asphäre
 h_L Randstrahlhöhe auf der 2. Linse
 r_0 Scheitelkrümmungsradius der Asphäre
 d Abstand der Linsen voneinander
 g Abstand 2. Linse-Asphäre

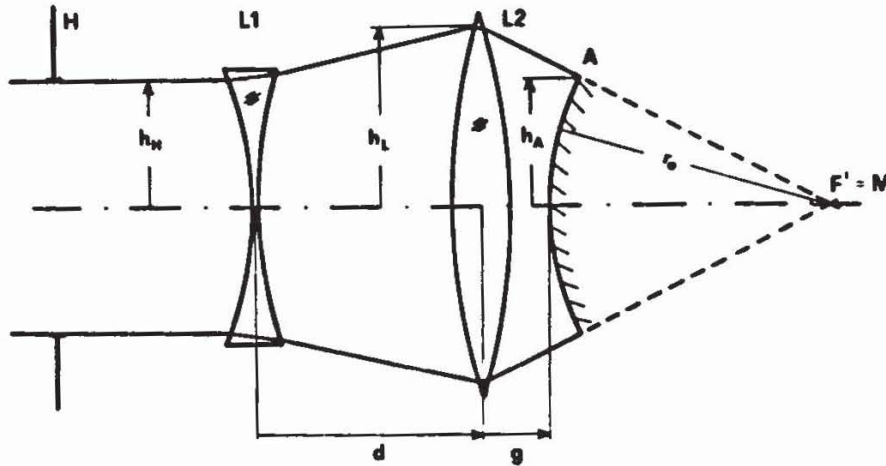


Abb. 5. Zweilinsiges Kompensationssystem: Gaussische Systemgrößen.

Bei Vorgabe der Asphärenaten, der Hologrammgröße und Abstände d und g ergeben sich eindeutige Lösungen für die Brennweiten f_1 und f_2 der beiden Linsen sowie für die Randstrahlhöhe auf der 2. Linse. Gl. (5a, b, c) geben die Zusammenhänge an.

$$f_1 = \frac{dh_H r_0}{h_H r_0 - h_A(g + r_0)} \quad (5a)$$

$$f_2 = \frac{dh_A(g + r_0)}{h_A(d + g + r_0) - h_H r_0} \quad (5b)$$

$$h_L = h_A(1 + g/r_0). \quad (5c)$$

Im Gaussischen Sinne sind mit Verwendung zweier Linsen alle Hologramm-Asphären-Durchmesserverhältnisse und Vorzeichen der Gesamtbrennweite realisierbar.

Abb. 6a, b zeigen Lösungsgebiete für Brennweitenkombinationen zweilinsiger Kompensationssysteme für Asphären mit $r_0 = 40$ mm und $r_0 = -40$ mm und jeweiligem Durchmesser von 20 mm.

Ein Hologrammdurchmesser von 30 mm wurde gewählt.

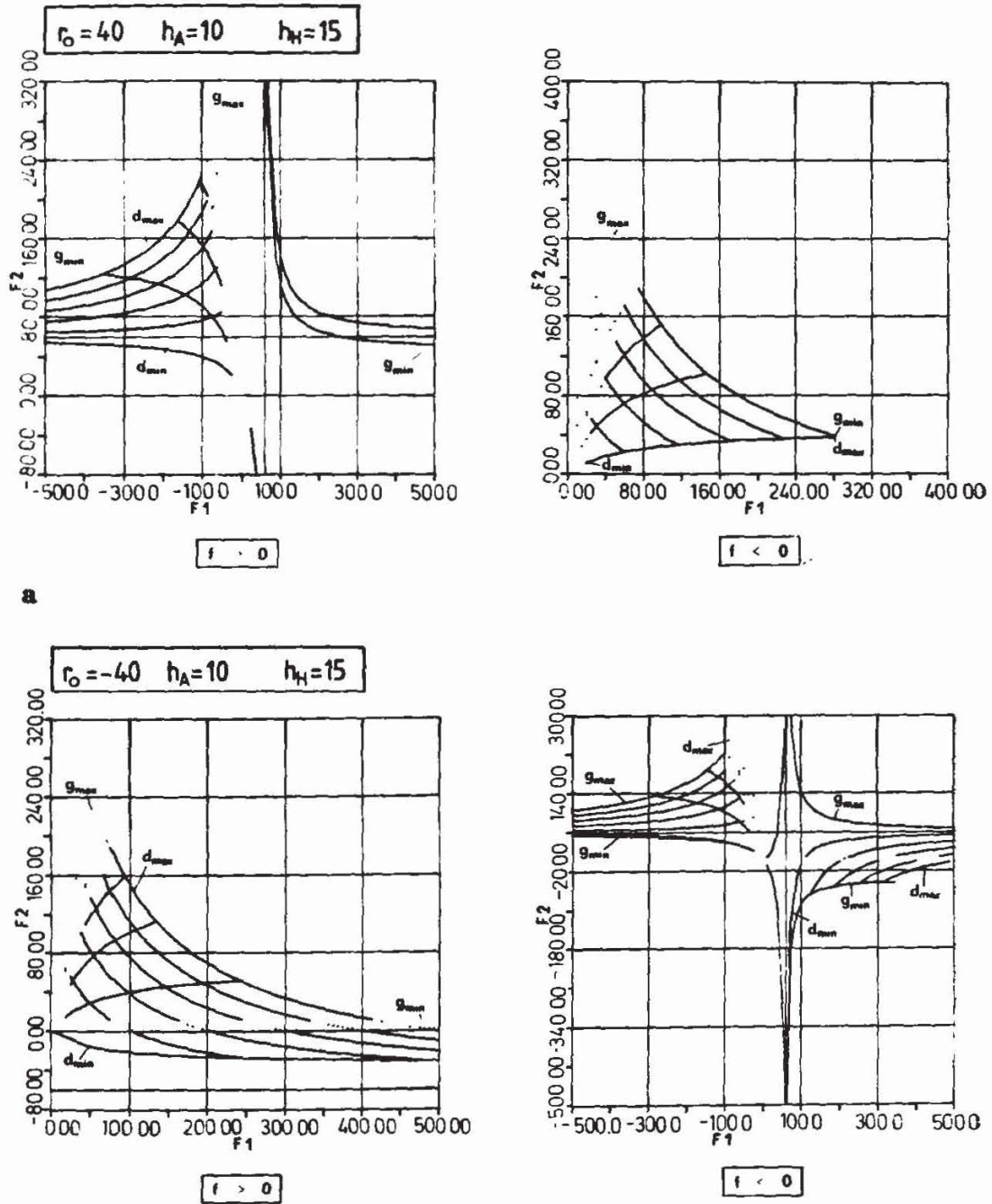

b

Abb. 6. Brennweitenkombination für $h_A = 10$, $h_H = 15$, $r_0 = 40$
 a) konvexe Asphäre, links: positive Brechkraft des K.-Systems
 rechts: negative Brechkraft des K.-Systems
 b) konkave Asphäre, links: positive Brechkraft des K.-Systems
 rechts: negative Brechkraft des K.-Systems.

Aufgetragen in der f_1 - f_2 -Ebene sind Kurven gleichen Linsenabstandes (d -Kurven) und Kurven gleichen Asphärenabstandes (g -Kurven). Die Bereiche, in denen die Randstrahlhöhe auf der 2. Linse kritisch wird, sind punktiert dargestellt. Gezeigt sind Lösungsgebiete für positive und negative Gesamtbrennweiten des Kompensationssystems.

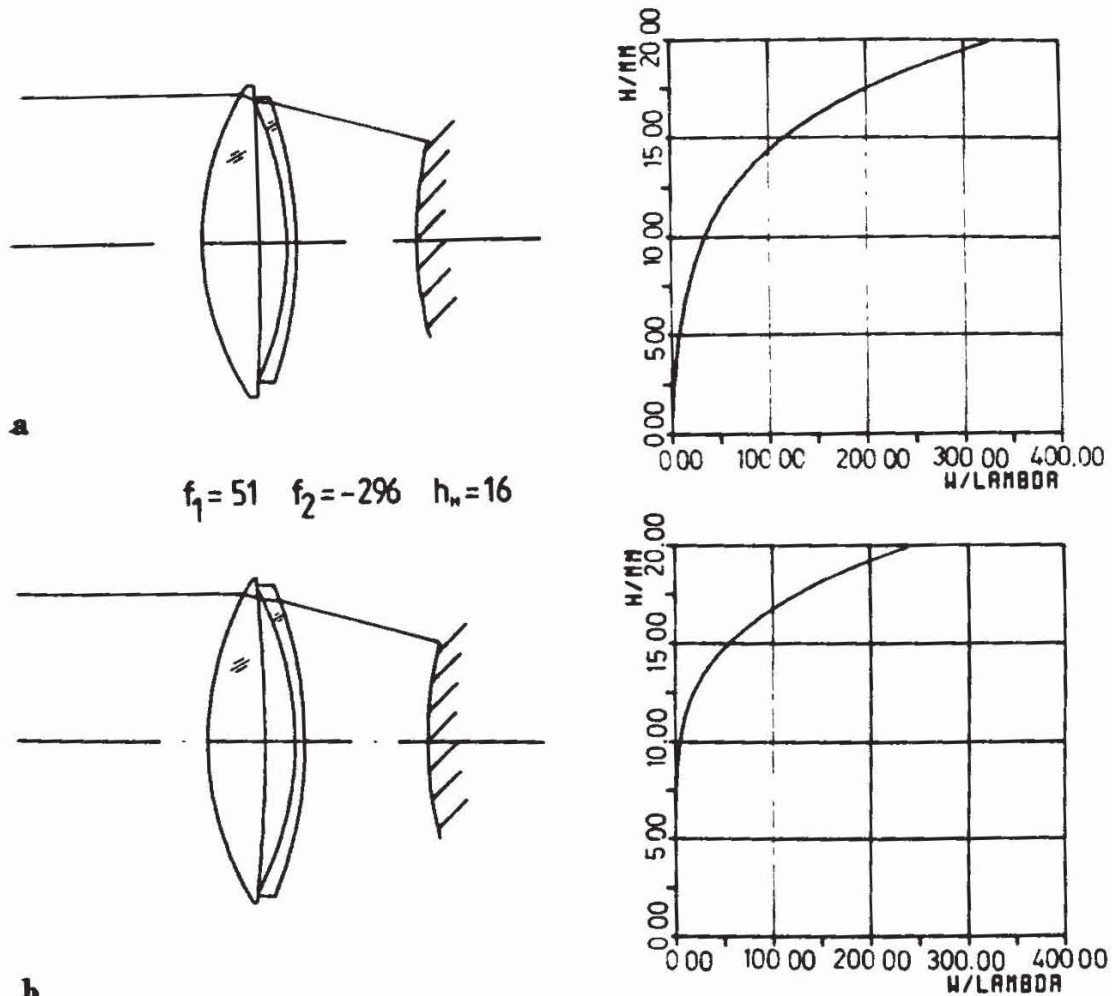


Abb. 7. Seidelsche Entwürfe für $e = 1$, $r_0 = 40$, $h_A = 10$, $h_H = 15$

a) $X_1 = 0,81$ $X_2 = 8,23$

b) $X_1 = 0,66$ $X_2 = 8,23$

Kurven dieser Art sind bei der Ansatzfindung sehr hilfreich und sinnvoll, wenn eine Linsensammlung vorliegt, aus der passende Elemente ausgewählt werden sollen.

5.2 Seidelsche Auslegung für zweilinsige Systeme

Sind mit Hilfe der Gaussischen Auslegung Brennweiten und Abstände der Linsen und die Höhen eines paraxialen Randstrahls bestimmt, müssen geeignete Durchbiegungen für die Linsen gefunden werden. Dies kann – innerhalb eines begrenzten Gültigkeitsbereiches – mit der Seidelschen Näherungsrechnung für dünne Linsen erfolgen. Da lediglich axiale Abbildungen vorliegen, beschränkt man sich auf die Betrachtung der sphärischen Aberration dritter Ordnung.

Die Gl. (6a–6d) beschreiben die sphärische Aberration einer dünnen Linse in Luft in der Seidelschen Theorie [9]–[11].

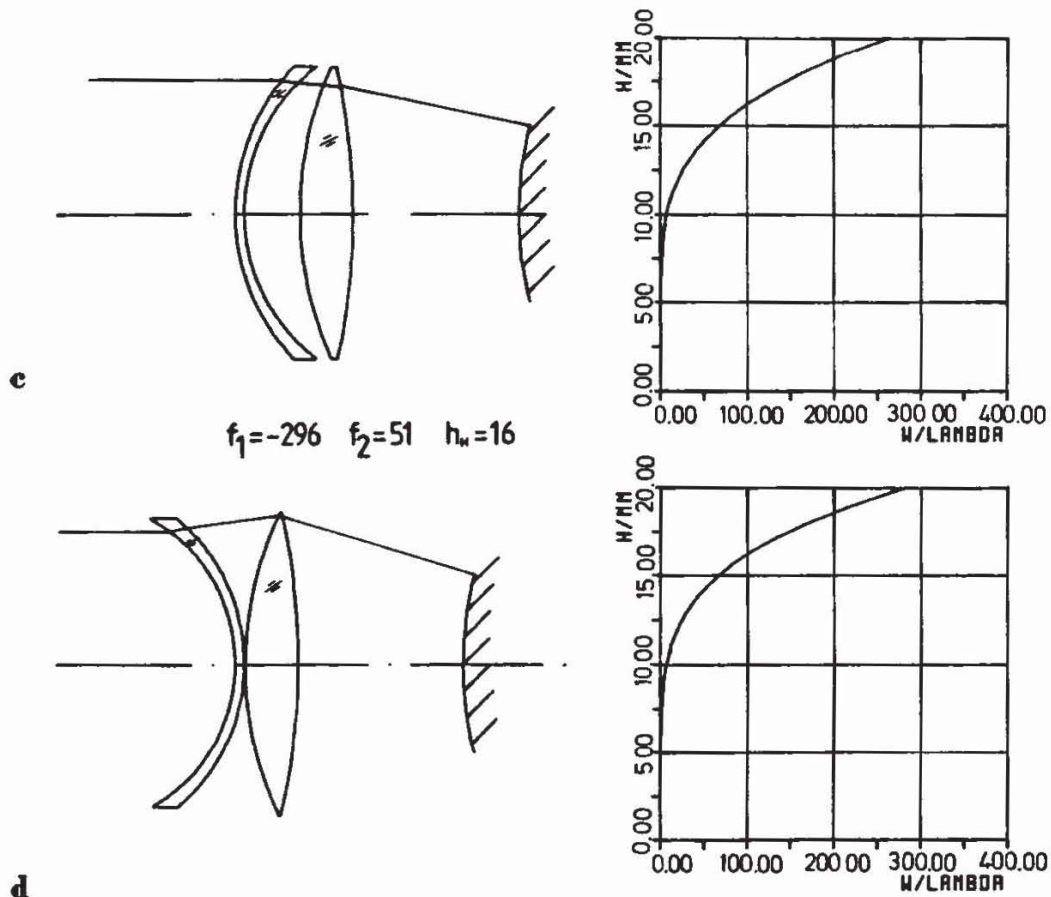


Abb. 7. c) $X_1 = -13,80$ $X_2 = 0,31$
 d) $X_1 = 15,27$ $X_2 = 0,31$

$$S_{IL} = aX^2 + bX + c \quad (6a)$$

mit der Durchbiegung $X = \frac{r_2 + r_1}{r_2 - r_1} = \frac{\varrho_1 + \varrho_2}{\varrho_1 - \varrho_2}$

$r_{1/2}$ Flächenradien, $\varrho_{1/2}$ Flächenkrümmungen.

Die Faktoren a , b und c sind durch paraxiale Größen und die Brechzahl des Linsenmaterials bestimmt:

$$a = \frac{(n + 2) h^4}{4f'^3 n (n - 1)^2} \quad (6b)$$

$$b = - \frac{(n + 1) (u_1 + u_2) h^3}{f'^2 n (n - 1)} \quad (6c)$$

$$c = \left\{ \frac{(3n + 2) (u_1 + u_2)^2}{nh^2} + \frac{n^2}{f'^2 (n - 1)^2} \right\} \frac{h^4}{4f'} \quad (6d)$$

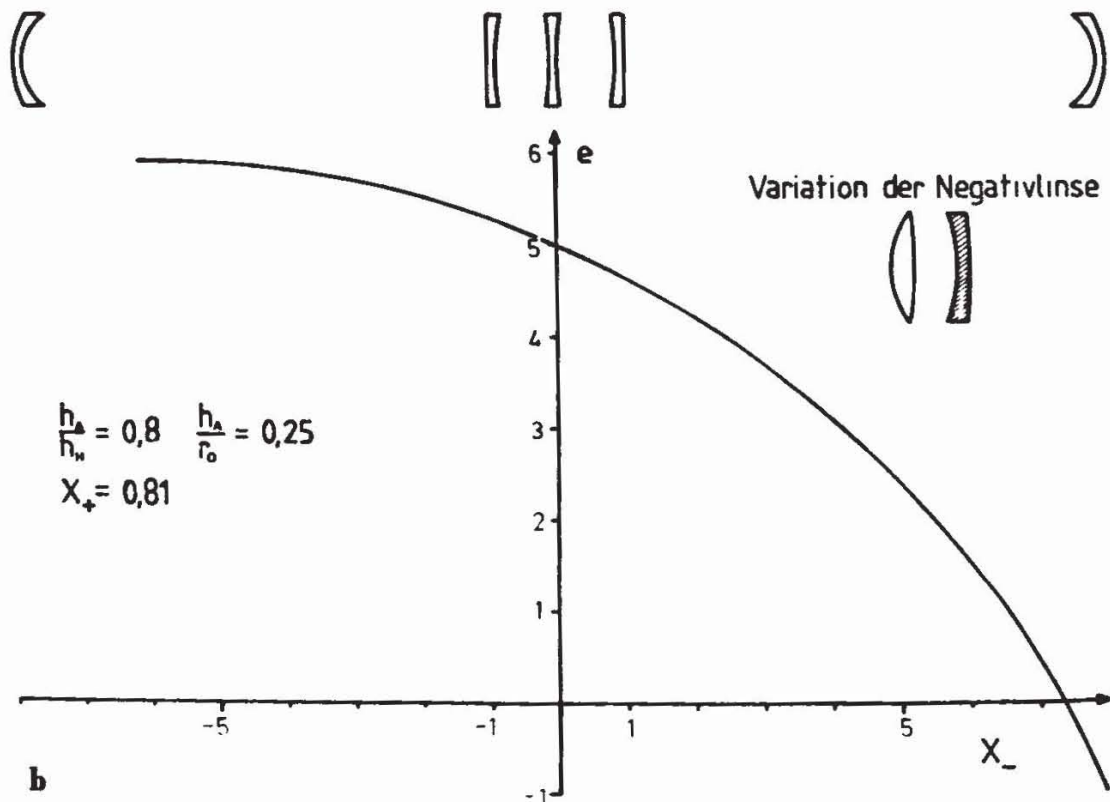
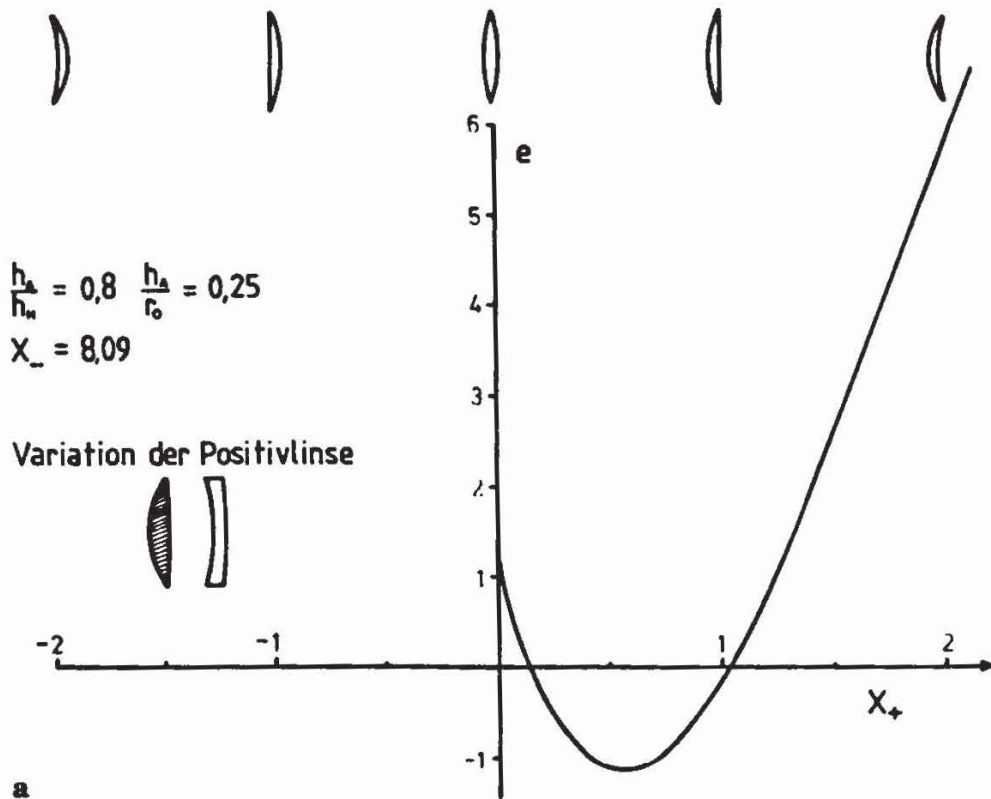


Abb. 8. Testbare Asphäritäten für spezielles zweilinsiges Kompensationssystem
 a) als Funktion der Durchbiegung der vorderen Linse
 b) als Funktion der Durchbiegung der hinteren Linse

Darin bedeuten:

- f' Brennweite der Linse
- n Brechzahl des Linsenmaterials
- h paraxiale Höhe des Randstrahls
- $u_{1/2}$ paraxialer Winkel des einfallenden/gebrochenen Randstrahls gegen die optische Achse.

Die Brennweite f' einer dünnen Linse berechnet sich aus der Brechzahl und den Flächenradien bzw. -krümmungen nach Gl. (7).

$$f' = \frac{1}{(n-1)(1/r_1 - 1/r_2)} = \frac{1}{(n-1)(\rho_1 - \rho_2)} \quad (7)$$

Die Wahl der Brechzahl und der Durchbiegung legt mit Gl. (7) und (6b) bei vorgegebener Brennweite die dünne Linse eindeutig fest.

Der Flächenteilkoeffizient der sphärischen Aberration für die reflektierende asphärische Fläche in Luft wird durch Gl. (8) beschrieben [12], [13].

$$S_{IA} = -16 h^4 \left(\frac{e-1}{8r_0^3} + a^4 \right) \quad (8)$$

Für das zweilinsige Kompensationssystem ergibt sich somit die Gl. (9).

$$\begin{aligned} S_{IA} &= 2S_{IL1} + 2S_{IL2} \\ &= 2(a_1 X_1^2 + b_1 X_1 + c_1 + a_2 X_2^2 + b_2 X_2 + c_2) \end{aligned} \quad (9)$$

Die Wahl einer Durchbiegung sowie die Gaussischen Daten und die der Asphäre ergeben eine Doppellösung für die Durchbiegung der zweiten Linse entsprechend Gl. (11).

$$X_2 = \frac{1}{a_2} \left[-\frac{b_2}{2} \pm \sqrt{\frac{b_2^2}{4} + a_2(S_{IA}/2 - a_1 X_1^2 - b_1 X_1 - c_1 - c_2)} \right] \quad (11)$$

Der Übergang auf reale Systeme erfolgt durch Einführung praktikabler Dicken und Änderung der Abstände entsprechend der neuen Hauptpunktlagen.

Auslegungen dieser Art liefern oftmals auf Anhieb brauchbare Ergebnisse, z. B. bei nicht zu stark geöffneten konvexen Asphären in den Kegelschnittbereichen $1 \leq e \leq 7$. Hierzu sind Beispiele in den Abb. 7a-7d. Es handelt sich um einen Kegelschnitt $e = 1$, also eine Sphäre, mit $r_0 = 40$, $h_A = 10$ und $h_H = 15$. Aus dem Gaussischen Lösungsgebiet wurden zwei Lösungen gewählt, denen das gleiche Brennweitenpaar, jedoch in verschiedener Reihenfolge zugrunde liegt. Bei Wahl einer geeigneten Durchbiegung für eine Linse

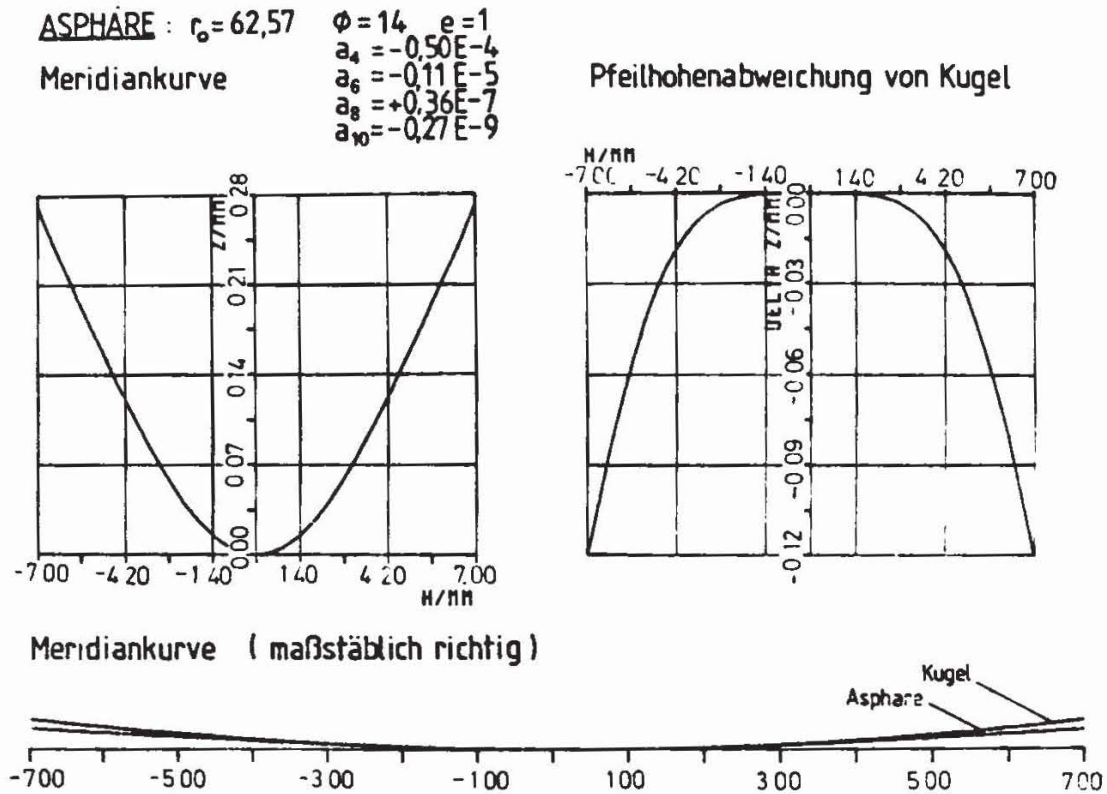


Abb. 9. Meridiankurve einer Asphäre höherer Ordnung und ihre Pfeilhöhenabweichung von der Scheitelkugel.

lieferte die Seidelsche Auslegung zu jeder Konfiguration jeweils zwei Lösungen, so daß insgesamt vier Seidelsche Entwürfe entstanden. Die Wellenfronten in der Hologrammebene, die nach Einführung realer Dicken aus der Strahldurchrechnung folgten, sind ebenfalls dargestellt.

Die Ergebnisse können alle für die Aufzeichnung der Hologramme verwendet werden, da der maximal zulässige Gradient der Wellenfront bei keiner der Lösungen überschritten ist. Durch nachfolgende Optimierung können die Wellenfronten noch wesentlich verbessert werden.

5.3 Testbare Asphäritäten

Abb. 8a–8b sollen qualitativ veranschaulichen, welchen Gewinn ein zwei-linsiges Kompensationssystem in bezug auf die Erweiterung des Asphäritätenbereichs bringt. Für eine konvexe Asphäre mit einem Öffnungsverhältnis von 1:2 und dem Verhältnis Asphären–Hologrammdurchmesser von 0,8 wurde ein System aus Positiv- und Negativlinse gewählt, deren Durchbiegung variiert wurde.

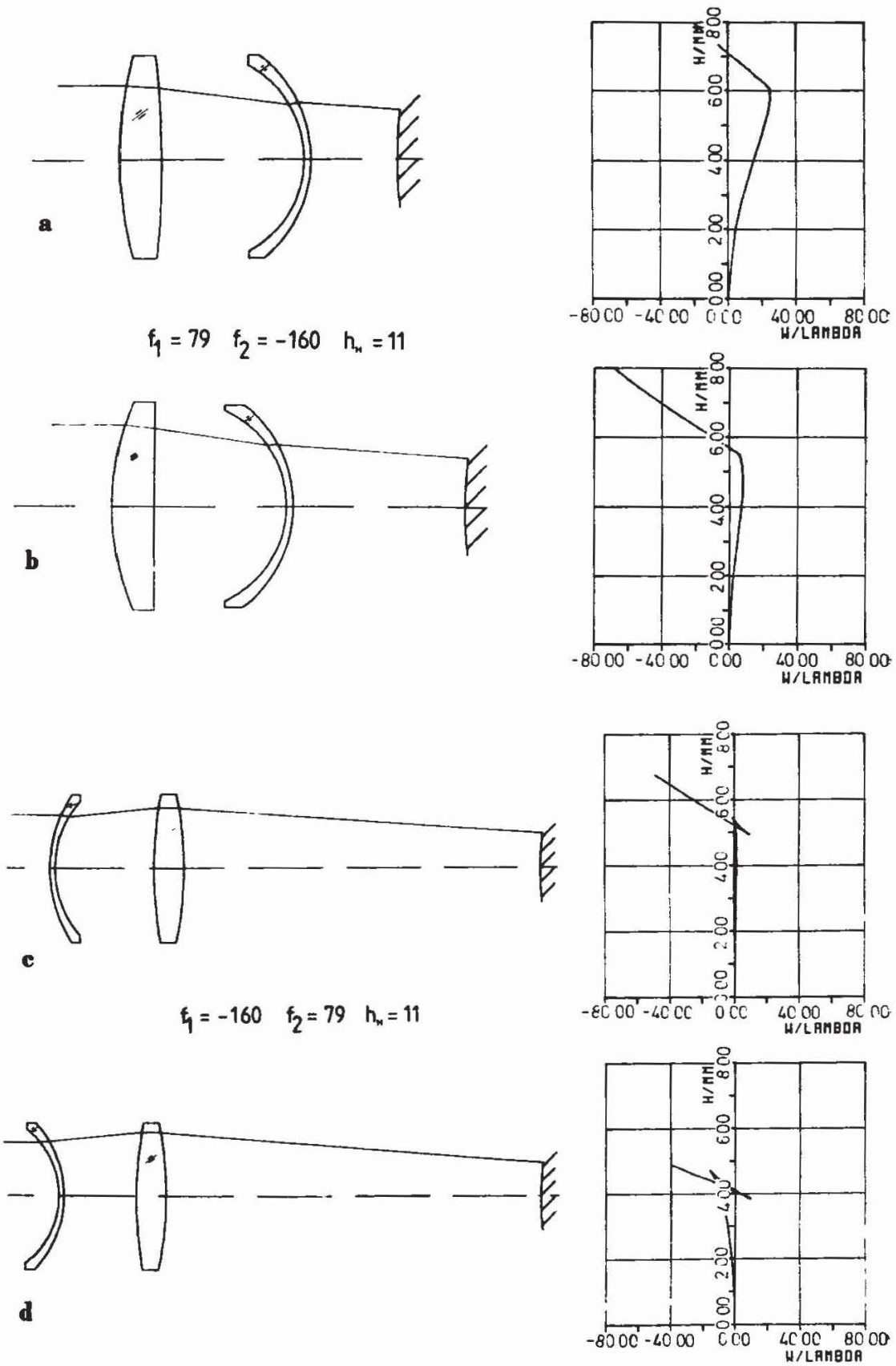


Abb. 10. Seidelsche Entwürfe für Asphäre höherer Ordnung

a) $X_1 = 0,37 \quad X_2 = 9,97$
 c) $X_1 = -6,89 \quad X_2 = -0,10$

b) $X_1 = 1,10 \quad X_2 = 9,97$
 d) $X_1 = 8,36 \quad X_2 = -0,10$

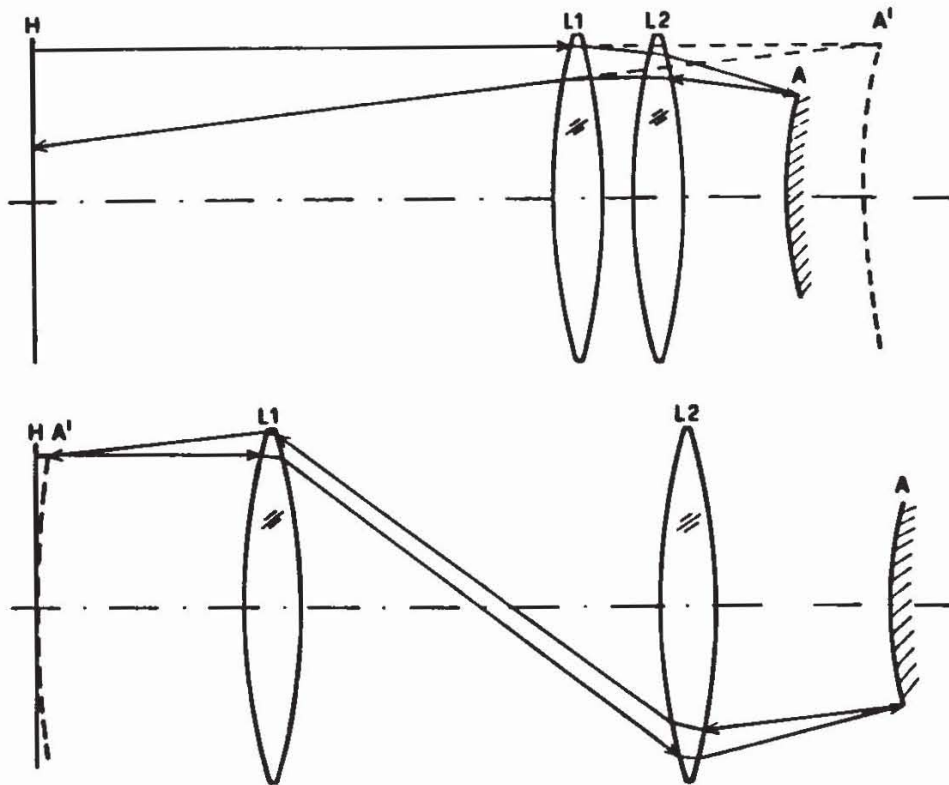


Abb. 11. Entstehung stetiger und unstetiger Wellenfronten.

Wie bei den Einzellinsen wurden jeweils der Kegelschnittparameter und die Fokussierung so gewählt, daß die Defokussierungs- und Öffnungsfehlerterme in der Wellenfront zu Null wurden. Natürlich sind die höheren Terme je nach Durchbiegung mehr oder weniger stark, was ausgenutzt werden kann, wenn kein reiner Kegelschnitt vorliegt. Für die Variation der vorderen Positivlinse wurde eine Negativlinse mit der Durchbiegung $X = 8,09$ gewählt, welche den niedrigsten e -Wert liefert. Für die Variation der Negativlinse wurde die „günstigste“ Durchbiegung der Positivlinse mit $X = 0,81$ gewählt. Man erkennt, daß nunmehr der testbare Bereich von den flachen Ellipsen bis zu den Hyperbeln reicht.

6. Asphäritäten höherer Ordnung

Überwiegen die Asphäritäten höherer Ordnung, so sind Seidelsche Entwürfe allenfalls grobe Ansätze. Plotbare Wellenfronten können in vielen Fällen dennoch erzielt werden, wenn der Nullkorrektor-Ansatz aufgegeben wird und statt dessen die Asphäre in das Hologramm abgebildet wird. Die folgenden Abbildungen sollen dies näher erläutern.

Als Beispiel dient eine Asphäre mit einer Kugel als Kegelschnitt-Grundtyp und Asphäritäten in den höheren Ordnungen. In Abb. 9 ist die Meridiankurve und die Pfeilhöhenabweichung von der Kugel dargestellt. Sie beträgt

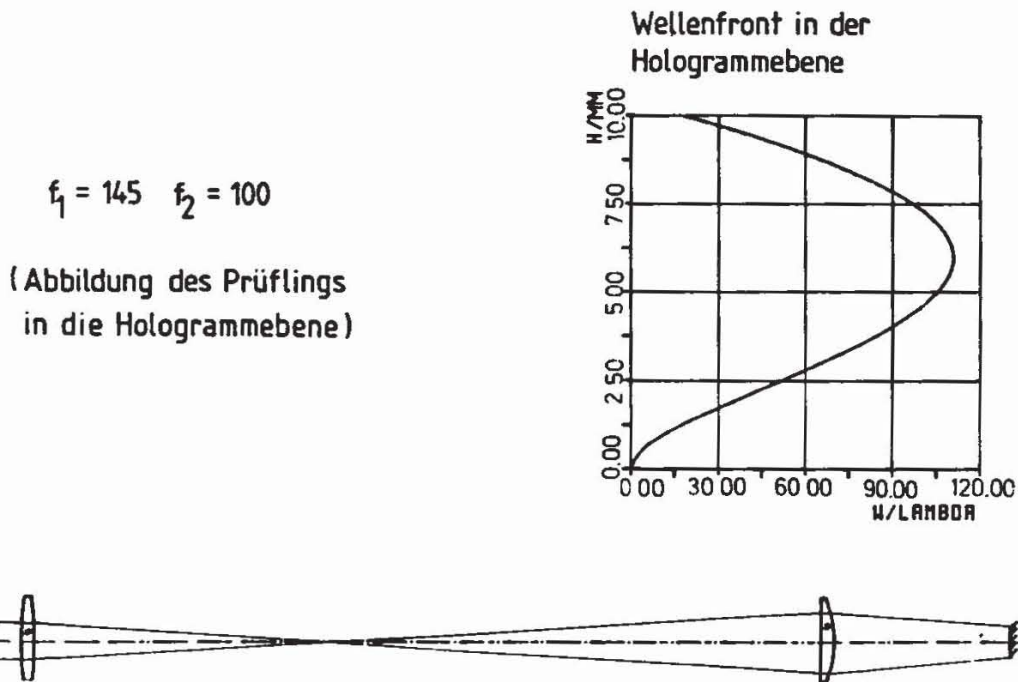


Abb. 12. Gaussischer Entwurf mit Abbildung der Asphäre ins Hologramm, resultierende Wellenfront in der Hologrammebene.

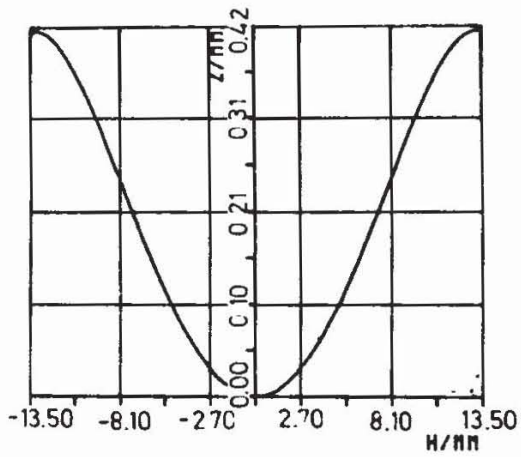
am Rand ca. 200λ . Wie aus der maßstäblich richtigen Darstellung der Meridiankurve ersichtlich, ist die Asphäre merklich flacher als die Scheitelkugel. Abb. 10 zeigt Seidelsche Entwürfe entsprechend dem – im Sinne der kleinsten Fehlerquadratsumme – bestpassenden Kegelschnitt. Es wurden wiederum zwei Gaussische Lösungen gewählt, die dasselbe Brennweitenpaar in verschiedener Reihenfolge aufweisen. Für eine gewählte Durchbiegung der zweiten Linse ergaben sich jeweils zwei Durchbiegungen der ersten Linse. Die Darstellungen der Wellenfronten in der Hologrammebene zeigen, daß sämtliche Lösungen unbrauchbar sind, da sich Knicke und Unstetigkeiten ergeben, die für eine Polynomdarstellung der Wellenfront, wie sie zur Aufzeichnung der Hologramme benötigt wird, ungeeignet sind.

Die Erklärung der Unstetigkeiten und der Schlüssel zu ihrer Beseitigung liegt in der Lage des Asphärenbildes. Abb. 11 zeigt einen Fall, in dem Strahlen die Asphäre unter einem merklichen Winkel gegen die Flächennormale treffen. Nach Rücklauf scheinen die Strahlen aus dem Bild des Auftreffpunktes zu kommen. Liegt das Bild der Asphäre weit vom Hologramm entfernt, so kann die Reihenfolge der Strahlen nach Rücklauf in der Hologrammebene durcheinandergeraten, so daß das Hologramm innerhalb der Kaustik liegt. Die Folge ist eine unstetige Wellenfront. Gelingt es, die Asphäre in das Hologramm abzubilden, so ist der Unstetigkeit weitgehend vorgebeugt.

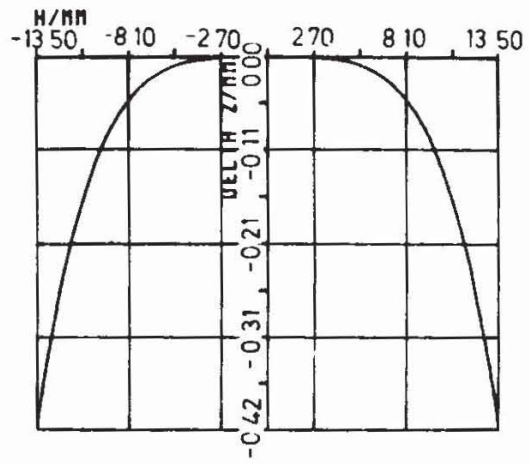
Abb. 12 zeigt die resultierende, plotbare Wellenfront für die oben erwähnte Asphäre bei lediglich Gaussischer Auslegung und willkürlicher Realisation mit einer Bikonvex- und Plankonvexlinse unter Abbildung der Asphäre ins Hologramm.

SCHMIDT - PLATTE

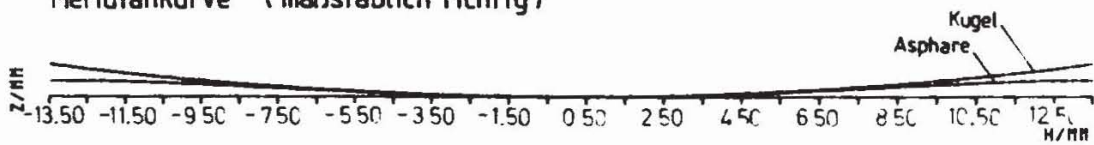
Meridiankurve



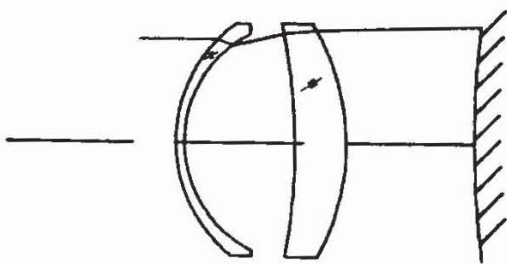
Pfeilhöhenabweichung von Kugel



Meridiankurve (maßstäblich richtig)



Kompensationssystem



Wellenfront in der Hologrammebene

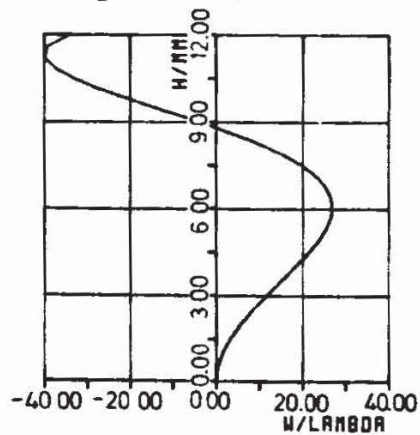


Abb. 13. Schmidt-Platte: Meridiankurve, Pfeilhöhenabweichung von der Scheitelkugel, entworfenes Kompensationssystem, Wellenfront in der Hologrammebene.

Bei großen Asphäritäten ist diese Abbildungsmethode allein wirkungslos. In Abb. 13 ist ein abschließendes Beispiel gezeigt, für das eine einfache Auslegung wie im vorgenannten Fall nicht in Frage kommt. Es handelt sich um eine Schmidt-Platte, deren Meridiankurve nicht monoton verläuft, vielmehr Wendepunkte besitzt, so daß der innere Teil eine konvergierende, der äußere Bereich eine divergierende Wellenfront erfordert. Die Pfeilhöhendifferenz am Rand gegenüber der Scheitelkugel beträgt ca. 600λ .

Die Entwurfsmethode bestand darin, zunächst eine Seidelsche Auslegung auf den bestpassenden Kegelschnitt auszuführen, anschließend die Linsen schrittweise durchzubiegen und jeweils mit Hilfe eines Optimierungsprogramms die bestpassenden Asphäritätskoeffizienten höherer Ordnung zu bestimmen, um die Richtungen herauszufinden, in denen mögliche Lösungen liegen. Die gezeigte Konfiguration zeigt eine Möglichkeit, die eine plotbare Wellenfront generiert.

7. Zusammenfassung

Es wurde berichtet über das Vorgehen bei der Gaussischen und Seidelschen Auslegung von ein- und zweilinsigen Kompensationssystemen, wie sie zur interferometrischen Prüfung asphärischer Flächen unter zusätzlicher Verwendung von Computerhologrammen benötigt werden. Untersuchungen über die mit Einzellinsen testbaren Kegelschnittbereiche ergaben, daß konvexe Asphären nur in dem Bereich $e > 1$, konkave Asphären dagegen in den Bereichen $e < 0$ und $e > 1$, bei langen Radien sogar zusätzlich im Bereich $0 \leq e \leq 1$ testbar sind. Zweilinsige Systeme erweitern nicht nur die testbaren Kegelschnittbereiche, sondern ermöglichen auch die Verwendung von Kompensationssystemen mit sowohl negativer als auch positiver Gesamtbrechkraft und beseitigen im Prinzip die Einschränkungen in bezug auf den Asphärendurchmesser. Seidelsche Entwürfe mit dünnen Linsen können für schwächere Asphären auf Anrieb verwendbare Lösungen bringen. Für stärkere Asphären wird empfohlen, die Asphäre in das Hologramm abzubilden, um Unstetigkeiten in der Wellenfront zu vermeiden. Bei dieser Verfahrensweise genügt oftmals ein Gaussischer Ansatz. Für Asphären vom Typ einer Schmidt-Platte, deren Meridiankurve nicht monoton verläuft, ist eine Seidelsche Auslegung auf den bestpassenden Kegelschnitt allenfalls ein grober Ansatz, von dem ausgehend man sich schrittweise an die Lösung herantasten muß.

Literatur

- [1] P.L. Ruben, Appl. Opt. **15** (1976) 3080.
- [2] J.C. Wyant, V.P. Bennett, Appl. Opt. **11** (1972) 2833.
- [3] A.F. Fercher, M. Kriese, Optik **35** (1972) 168.
- [4] M. Foulde, A.F. Fercher, R. Torge, R.N. Wilson, Opt. Commun **7** (1973) 363.
- [5] R.S. Sirohi, H. Blume, K.-J. Rosenbruch, Opt. Acta **23** (1976) 229.
- [6] J. Schwider, J. Grzanna, R. Spolaczyk, R. Burow, Opt. Acta **27** (1980) 683.

- [7] H.J. Tiziani, Proc. SPIE **235** (1980) 72.
- [8] D. Malacara, Optical Shop Testing. John Wiley & Sons, New York (1978).
- [9] M. Berek, Grundlagen der praktischen Optik. Walter de Gruyter & Co., Berlin (1930).
- [10] R. Kingslake, Lens design fundamentals. Academic Press, New York (1978).
- [11] T. H. Jamieson, Optimization Techniques in Lens Design. Adam Hilger, London (1971).
- [12] W. T. Welford, Aberrations of the symmetrical optical system. Academic Press, New York (1974).
- [13] S. Flügge, Handbuch der Physik, Band XXIX. Springer-Verlag, Berlin (1967).