



(10) **DE 699 38 027 T9** 2018.10.04

(12)

## Berichtigung der Übersetzung der geänderten europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 990 939 B2**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 38 027.8**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 40 2280.4**

(96) Europäischer Anmeldetag: **17.09.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **05.04.2000**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **23.01.2008**

(97) Veröffentlichungstag

des geänderten Patents beim EPA: **14.03.2018**

(15) Korrekturinformation:

**Beschreibung eingefügt**

(48) Veröffentlichungstag der Berichtigung: **04.10.2018**

(51) Int Cl.: **G02C 7/06** (2006.01)  
**G02C 7/02** (2006.01)

**Das Patent wurde im Einspruchs- oder Beschränkungsverfahren geändert.**

(30) Unionspriorität:

**9812109**

**28.09.1998**

**FR**

(73) Patentinhaber:

**Essilor International, Charenton-le-Pont, FR**

(74) Vertreter:

**24IP Law Group Sonnenberg Fortmann, 80331  
München, DE**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(72) Erfinder:

**Baudart, Thierry, 94340 Joinville le Pont, FR; Le  
Saux, Gilles, 75010 Paris, FR**

(54) Bezeichnung: **Torische ophthalmische Linsen**

Die oben angegebenen bibliografischen Daten entsprechen dem aktuellen Stand zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Berichtigung.

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG (in der Fassung v. 20.12.1991) vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung hat ein Verfahren zur Bestimmung und Erzielung einer einzelnen ophthalmischen Linse zum Gegenstand, welche an einen Träger angepasst ist, dem ein Astigmatismus verschrieben worden ist; solche Linsen werden auch zylindrische ophthalmische genannt; sie stehen im Gegensatz zu sogenannten sphärischen ophthalmischen Linsen, welche für Träger ohne Astigmatismus-Verschreibung bestimmt sind. Das Verfahren kann gleichermaßen für eine unifokale oder multifokale Linse angewandt werden.

**[0002]** Multifokale ophthalmische Linsen sind wohl bekannt; man kann unter diesen multifokalen Linsen Linsen unterscheiden, welche progressive Linsen genannt werden, und Linsen, welche spezifischer für die Nahsicht bestimmt sind.

**[0003]** Multifokale Linsen stellen ein besonderes Problem für den Träger mit Astigmatismus dar. Der Astigmatismus des Trägers ist das Resultat aus drei Komponenten:

- der lokale Zylinder der progressiven Fläche, gekennzeichnet durch seine Amplitude (oder Modul) und seine Achse;
- der verschriebene Zylinder und seine Achse;
- der schräge Astigmatismus.

**[0004]** Derzeit wird, um einen Träger mit Astigmatismus zu korrigieren, eine Linse realisiert, deren vordere Seite für den Fall einer sphärischen Verschreibung optimiert wird und deren hintere Seite ein einfacher Torus ist. Dabei wird den durch den Torus hervorgerufenen Veränderungen nicht Rechnung getragen; man kann bestenfalls dem schrägen Astigmatismus spielen, indem die Basis der vorderen Seite eingestellt wird. Aus ökonomischen Gründen kann die Anzahl der bereits existierenden Basen nicht vervielfältigt werden.

**[0005]** Progressive multifokale ophthalmische Linsen sind derzeit wohl bekannt. Sie werden dazu verwendet Presbyopie zu korrigieren und erlaubt es dem Träger der Brille Gegenstände in einem weiten Bereich von Entfernungen zu beobachten, ohne die Brille abnehmen zu müssen. Solche Linsen umfassen typischerweise einen Fernsichtbereich, welcher oben in der Linse angeordnet ist, einen Nahsichtbereich, welcher unten in der Linse angeordnet ist, einen Zwischenbereich, welcher den Nahsichtbereich und den Fernsichtbereich verbindet, sowie einen Hauptprogressionsmeridian, welcher die drei Bereiche quert.

**[0006]** Das Dokument FR-A-2 699 294 beschreibt in seinem Oberbegriff verschiedene Elemente einer solchen progressiven multifokalen ophthalmischen Linse, sowie auch die von der Anmelderin durchgeführ-

ten Arbeiten um den Komfort des Trägers solcher Linsen zu verbessern. Für weitere Details über diese verschiedenen Punkte wird Bezug auf dieses Dokument genommen.

**[0007]** Die Anmelderin hat auch vorgeschlagen, beispielsweise in den Patenten US-A-5 270 745 oder US-A-5 272 495 den Meridian variieren zu lassen, insbesondere seine Dezentrierung bzw. Dezentration an einem Kontrollpunkt für die Nahsicht, in Abhängigkeit von der Addition und der Ametropie.

**[0008]** Die Anmelderin hat auch verschiedene Verbesserungen vorgeschlagen um den visuellen Bedürfnissen von Presbyopen besser zu genügen und den Komfort progressiver multifokaler Linsen zu verbessern (FR-A-2 683 642, FR-A-2 699 294, FR-A-2 704 327).

**[0009]** Es gibt auch Linsen die spezifischer für die Nahsicht bestimmt sind; diese Linsen weisen keinen Fernsichtbereich mit einem bestimmten Referenzpunkt auf, wie bei klassischen progressiven Linsen. Diese Linsen werden in Abhängigkeit der für den Träger in der Nahsicht notwendigen Stärke verschrieben, unabhängig von der Fernsichtstärke. Eine solche Linse ist in einem Artikel des l'Opticien Lunetier vom April 1988 beschrieben und wird von der Anmelderin unter der Marke Essilor Delta vertrieben; diese Linse ist einfach zu verwenden und ebenfalls leicht zu tragen wie eine progressive Linse und ist für die presbyope Bevölkerung, welche nicht mit progressiven Linsen ausgerüstet ist, attraktiv. Diese Linse ist auch in der Patentanmeldung FR-A-2 588 973 beschrieben. Sie weist einen zentralen Abschnitt auf, welcher dem unifokalen Glas gleichkommt, welches normalerweise verwendet wird um Presbyopie zu korrigieren, so dass eine genügende Nahsicht gewährleistet wird. Sie weist zudem eine leichte Verringerung der Stärke in dem oberen Abschnitt auf, was dem Träger eine klare Sicht außerhalb des gewöhnlichen Nahsichtfelds erlaubt. Schließlich weist die Linse einen Punkt mit einem Stärkewert gleich der nominalen Nahsichtstärke auf, einen Bereich höherer Stärke im unteren Abschnitt des Glases und einen Bereich mit geringerer Stärke im oberen Abschnitt des Glases.

**[0010]** Gewöhnlicherweise umfassen multifokale Linsen, ob es progressive oder für die Nahsicht bestimmte sind, eine asphärische multifokale Seite, beispielsweise die Seite gegenüber dem Träger der Brille, und eine sphärisch oder torische Seite, Verschreibungsseite genannt, auf. Diese sphärische oder torische Seite erlaubt es die Linse an die Ametropie des Anwenders anzupassen, so dass eine multifokale Linse im Allgemeinen nur durch ihre asphärische Fläche definiert ist. Wie es allgemein bekannt ist, ist eine solche asphärische Fläche im Allgemeinen durch die Höhe aller ihrer Punkte definiert. Man verwendet auch Parameter, welche aus minimalen und

maximalen Krümmungen an jedem Punkt bestehen, oder geläufiger ihrer Halbsumme und ihre Differenz. Diese Halbsumme und diese Differenz multipliziert mit einem Faktor  $n-1$ , wobei  $n$  der Brechungsindex des Linsenmaterials ist, werden als mittlere Sphäre und Zylinder bezeichnet.

**[0011]** Für progressive multifokale Linsen wird daher durch die Wahl eines Paares (Addition, Basis) eine Gesamtheit oder ein Satz asphärischer multifokaler Seiten definiert. Gewöhnlicherweise können somit 5 Basiswerte und 12 Additionswerte definiert werden, was 60 multifokale Seiten ergibt. An jeder der Basen wird eine Optimierung für eine gegebene Stärke durchgeführt, insbesondere für eine Seite sphärischer Verschreibung einer gegebenen Krümmung.

**[0012]** Die Verwendung einer sphärischen oder torischen Verschreibung einer Stärke in der Nähe der in Betracht gezogenen Verschreibungsseite mit einer dieser multifokalen Seiten für die Optimierung erlaubt es, die Gesamtheit der Bedürfnisse des Trägers der progressiven multifokalen Linsen abzudecken. Dieses bekannte Verfahren erlaubt es, ausgehend von halbfertigen Linsen, bei denen lediglich die multifokale Seite angepasst ist, an jeden Träger angepasste Linsen herzustellen, durch einfaches Bearbeiten bzw. Herstellen einer torischen oder sphärischen Verschreibungsseite.

**[0013]** Ein analoges Verfahren wird für das Optimieren und die Verschreibungen von für die Nahsicht bestimmten Linsen verwendet.

**[0014]** Dieses Verfahren weist den Nachteil auf, dass es lediglich eine Näherung ist; folglich sind die Resultate, welche mit einer Verschreibungsseite, welche zu der für die Optimierung verwendeten verschieden ist, erhalten werden, weniger gut als diejenigen, welche der für die Optimierung verwendeten Verschreibungsseite entsprechen.

**[0015]** Das Patent US-A-5 444 503 beschreibt eine Linse, welche eine multifokale Fläche und eine Verschreibungsfläche aufweist. Bezüglich des Standes der Technik, welcher nahelegt die Verschreibungsfläche zu definieren, um eine gegebene Stärke zu einem Referenzpunkt der Fernsicht zu erhalten, wird in diesem Dokument vorgeschlagen, die Verschreibungsfläche der Linse in Abhängigkeit der von dem Träger geforderten Stärke in einer Vielzahl von elementaren Flächen zu definieren. Dazu schlägt dieses Dokument vor, die Aberrationen an der ganzen Fläche zu berechnen und eine parametrisierte kontinuierliche Fläche, beispielsweise eine durch Spline definierte Fläche, mit Hilfe von bekannten mathematischen Algorithmen variieren zu lassen. In der Praxis schlägt dieses Dokument über diese Prinzipbehauptung hinaus vor, zum Optimieren der Verschreibungsfläche den Abstand zur Cornea in einer elementaren

Fläche, den Gegenstandsabstand an einer elementaren Fläche, die Neigung der Linse in dem Gestell, die Form des Gestells und die Krümmung der Linse zu verwenden. Dieses Dokument schweigt sich jedoch über die effektive Berechnung der Verschreibungsfläche aus. Nach diesem Dokument erlaubt diese Lösung Fehler auszugleichen, welche von dem Ersetzen der hinteren Seite herrühren, welche der Optimierung mittels einer benachbarten hinteren Seite gedient haben.

**[0016]** Diese Lösung weist den Nachteil auf, die Herstellung der Linsen zu verkomplizieren: sie impliziert eine asphärische hintere Seite zu bestimmen und herzustellen. In diesem Fall müssen zwei komplexe Flächen optimiert und hergestellt bzw. bearbeitet werden. Das vorgeschlagene Verfahren scheint nicht auf physiologischen Daten zu beruhen.

**[0017]** Die Patentanmeldung WO-A-9613748 schlägt auch vor, für multifokale Linsen eine atorische Verschreibungsfläche zu verwenden von der Art, um die Abweichungen oder Fehler bezüglich der für die Optimierung verwendeten Verschreibungsfläche zu begrenzen. Dieses Dokument schlägt Verschreibungsflächen vor, deren Hauptabschnitte bzw. Hauptschnitte Kreise mit durch eine gegebene Gleichung definierte Radien bzw. Strahlen sind, wobei die Parameter der Gleichung von der Sphäre und dem Zylinder des Trägers abhängen. Die in diesem Dokument vorgeschlagene Lösung weist die gleichen Nachteile auf wie die mit Bezug auf die US- A-5 444 503 beschriebenen.

**[0018]** Die Patentanmeldung WO-A-9719382 beschreibt eine progressive ophthalmische Linse, welche eine sphärische oder rotationssymmetrische vordere Seite und eine hintere Seite aufweist, welche erhalten wurde durch Kombinieren einer progressiven Fläche, welche eine Addition hat, und einer torischen Fläche, welche einen Torus aufweist, der an den Astigmatismus des Trägers angepasst ist. Die Formel zum Kombinieren dieser beiden Flächen ist in dem Dokument präzisiert und ergibt die Höhe eines Punkts in Abhängigkeit seiner Koordinaten in einem orthonormalen Koordinatensystem, die mittlere Sphäre der progressiven Fläche an diesem Punkt und Krümmungen der progressiven Fläche in den Richtungen des orthonormalen Koordinatensystems.

**[0019]** Die algebraische Kombination dieser zwei Flächen in diesem Dokument ergibt aufgrund der bereitgestellten Kombinationsformel keine zufriedenstellenden optischen Ergebnisse. Dieses Verfahren erfordert, dass der Hersteller die vordere Fläche der Linsen nachwölbt um eine zufriedenstellende optische Qualität zu haben, was somit die Ästhetik der Linse verringert.

**[0020]** Die Patente des Standes der Technik sind vereinfachend und wenig ausführlich, wenn es um die Berechnungstechniken geht. Diese Techniken erscheinen nicht fundiert bzw. basiert auf physiologischen Daten und verwenden keine Strahlengänge.

**[0021]** Die Erfindung schlägt ein Verfahren zum Bestimmen einer torischen Linse vor, welches auf einem physiologischen Gesetz beruht, was es erlaubt die Torsion des Auges für eine gegebene Blickrichtung einzubeziehen. Für jede Blickrichtung wird es so eingerichtet, dass die Stärke und der Astigmatismus in ihrem Wert wie in der Richtung soweit wie möglich mit der Verschreibung in dem mit dem Auge verbundenen Koordinatensystem übereinstimmen bzw. konform sind. Die Berechnung des Astigmatismus in diesem Koordinatensystem erlaubt es den Effekt der Torsion bzw. Drehung des Auges in Betracht zu ziehen, wenn der Träger in eine Richtung am Rand blickt. Das Verfahren verwendet einen Verlauf von Strahlen bzw. Strahlengänge und somit ein optisches Verfahren.

**[0022]** Die Erfindung schlägt ein Verfahren vor, wie dasjenige, das in dem Anspruch 1 definiert ist, welches es erlaubt, eine für eine torische Verschreibung geeignete Linse zu bestimmen, mit dem Verhalten einer sphärischen Linse zum Ziel; in diesem Kontext wird als eine sphärische Linse eine Linse bezeichnet, welche dazu geeignet ist, einem Träger ohne Astigmatismus verschrieben zu werden; d.h. welche keinen globalen Zylinder aufweist.

**[0023]** Sie erlaubt es somit Linsen zu erhalten, welche den Trägern mit Astigmatismus angepasst sind, und welche bessere optische Merkmale aufweisen als diejenigen des Standes der Technik.

**[0024]** Das vorgeschlagene für jede Art von Linse anwendbare generelle Verfahren erlaubt es, die Nachteile aufgrund des Torus in einer klassischen torischen Verschreibung zu beheben und dem Träger eine Verschreibung gleich derjenigen einer sphärischen Verschreibung zurückzugeben.

**[0025]** Die Erfindung schlägt auch vor eine Linse einzeln für jede Verschreibung zu berechnen und erzielen. Mit Hilfe anderer Parameter, wie die Form des Gestells, des Kornea-Glasabstands, des pantoskopischen Winkels kann ein Glas für jeden Träger berechnet werden.

**[0026]** Zusätzliche Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

**[0027]** Andere Vorteile und Merkmale der Erfindung werden deutlich beim Lesen der folgenden Beschreibung von Ausführungsformen der Erfindung, die lediglich beispielhaft und unter Bezugnahme der Zeichnungen gegeben werden, welche zeigen:

- **Fig. 1** ein Schema eines optischen Auge und Linse-Systems;

- **Fig. 2** und **Fig. 3** Schemata, die ein mit dem Auge verbundenes Koordinatensystem definieren;

- **Fig. 4** bis **Fig. 7** Darstellungen optischer Merkmale einer Linse des Standes der Technik;

- **Fig. 8** bis **Fig. 10** Darstellungen von optischen Merkmalen einer Referenzlinse;

- **Fig. 11** bis **Fig. 14** Darstellungen von optischen Merkmalen einer Linse, deren vordere Seite gemäß der Erfindung optimiert ist, und für eine hintere Seite, welche im Wesentlichen unterschiedlich zu derjenigen der Linse des Standes der Technik ist;

- **Fig. 15** bis **Fig. 17** Darstellungen von Flächenmerkmalen der vorderen Seite einer gemäß der Erfindung optimierten Linse;

- **Fig. 18** bis **Fig. 20** Darstellungen von Flächenmerkmalen der hinteren Seite einer Ausgangslinse in einem zweiten Beispiel;

- **Fig. 21** bis **Fig. 23** Darstellungen von optischen Merkmale einer Referenzlinse;

- **Fig. 24** bis **Fig. 27** Darstellungen von optischen Merkmale einer Linse deren hintere Seite optimiert ist;

- **Fig. 28** bis **Fig. 30** Darstellungen von Flächenmerkmalen der hinteren Seite der optimierten Linse;

- **Fig. 31** bis **Fig. 34** Darstellungen von optischen Merkmale einer analogen Linse des Standes der Technik;

- **Fig. 35** bis **Fig. 38** Darstellungen von optischen Merkmale einer unifokalen Linse, deren vordere Seite gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung optimiert ist;

- **Fig. 39** bis **Fig. 41** Darstellungen von Flächenmerkmalen der vorderen Seite der optimierten unifokalen Linse;

- **Fig. 42** bis **Fig. 45** Darstellungen v optischen Merkmale einer analogen Linse des Standes der Technik.

**[0028]** In an sich bekannter Weise wird in jedem Punkt einer asphärischen Fläche eine mittlere Fläche D durch die Formel:

$$D = \frac{n-1}{2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

wobei  $R_1$  und  $R_2$  die Radien der maximalen und minimalen Krümmung ausgedrückt in Metern sind und klein n der Index des Materials ist, aus dem die Linse besteht.

**[0029]** Es wird ebenfalls ein Zylinder C definiert, gegeben durch die Formel:

$$C = (n - 1) \left| \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right|$$

**[0030]** Für eine gegebene Linse, und beispielsweise für eine multifokale Linse, werden die entsprechenden optischen Größen definiert, d.h. eine Stärke und ein Astigmatismus; die Stärke ist wie unten beschrieben definiert. Der Astigmatismus wird berechnet, wie beispielsweise in B. Bourdoncle et. al., Ray tracing through progressive ophthalmic lenses, 1990 International Lens Design Conference, D.T. Moore ed., Proc. Soc. Phiti. Opt. Instrum. Eng. beschrieben. Es werden somit mögliche Definitionen für die optische Stärke und des Astigmatismus der Linse unter Tragebedingungen erhalten. Unter Tragebedingungen versteht man die Position der Linse bezüglich des Auges des mittleren Trägers bzw. durchschnittlichen Trägers, definiert vor allem durch den pantoskopischen Winkel, der ungefähr 12° ist, durch den Abstand Glas-Auge, den Pupillenabstand.

**[0031]** Man kann nicht nur diese Definitionen verwenden sondern auch die Stärke und den Astigmatismus ausgehend von dem Zerlegungskoeffizienten der Wellenfläche. Man erhält auch repräsentative Definitionen der Tragebedingungen.

**[0032]** Die **Fig. 1** zeigt ein Schema eines optischen Auge und Linse Systems, und zeigt die im Folgenden der Beschreibung verwendeten Definitionen. Man nennt Q' das Rotationszentrum des Auges und definiert eine Sphäre oder Kugelfläche von Spitzen mit Zentrum Q' und Radius q', welcher eine Tangente an der hinteren Seite der Linse an einem Punkt mit horizontaler Achse ist. Beispielsweise entspricht ein Wert des Radius q' von 27 mm einem gebräuchlichen Wert und stellt zufriedenstellende Resultate beim Tragen der Linse bereit.

**[0033]** Eine gegebene Blickrichtung entspricht einem Punkt J der Sphäre von Spitzen und kann auch in sphärischen Koordinaten gekennzeichnet sein, mittels zweier Winkel  $\alpha$  und  $\beta$ . Der Winkel  $\alpha$  ist der Winkel zwischen der Geraden Q'J und der horizontalen Ebene, welche durch den Punkt Q' geht, während der Winkel  $\beta$  der Winkel gebildet aus der Geraden Q'J und der vertikalen Ebene, welche durch den Punkt Q' geht, ist. Eine gegebene Blickrichtung entspricht damit einem Punkt J der Sphäre von Spitzen oder einem Paar  $(\alpha, \beta)$ . Das Bild eines Punktes des Gegenstandsraumes bzw. in einer Blickrichtung und in einem gegebenen Gegenstands- bzw. Objektabstand bildet sich zwischen zwei Punkten S und T, welche der minimalen und maximalen Brennweite entsprechen, welche die sagitale und tangentielle Brennweite für den Fall von Rotationsflächen sind. An der op-

tischen Achse bildet sich das Bild eines Punktes des Gegenstandsraumes im Unendlichen am Punkt F' ab. Der Abstand D ist die Brennweite des Systems Auge-Linse.

**[0034]** Es wird eine Funktion Ergorama genannt, welche jeder Blickrichtung den Abstand des gewöhnlich betrachteten Objektpunktes zuordnet; für weitere Details einer möglichen Definition einer Ergorama könnte die FR-A-2 753 805 zu Rate gezogen werden. Dieses Dokument beschreibt eine Ergorama, ihre Definition und ihr Modellierungsverfahren. Eine spezielle Ergorama besteht darin nur die Punkte im Unendlichen zu verwenden. Für das verfahren der Erfindung können die Punkte im Unendlichen oder auch nicht in Betracht gezogen werden.

**[0035]** Die **Fig. 2** zeigt die Position des Auges und des mit dem Auge verbundenen Koordinatensystems in der Hauptblickrichtung,  $\alpha=\beta=0$ , genannt primäre Blickrichtung. Die **Fig. 3** zeigt die Position des Auges und des Koordinatensystems, welches mit diesem verbunden ist, in einer Richtung  $(\alpha, \beta)$ .

**[0036]** Ein feststehendes Koordinatensystem wird mit  $\{x, y, z\}$  bezeichnet, dessen Ursprung bzw. Zentrum Q' ist; die Achse x läuft durch das Zentrum der Linse, die Achse y ist die Vertikale und die Achse z ist die Horizontale. Ein mit dem Auge verbundenes Koordinatensystem wird mit  $\{x_m, y_m, z_m\}$  bezeichnet, dessen Zentrum bzw. Ursprung Q' ist, dessen Achse  $x_m$  durch die Blickrichtung gegeben ist, und welches mit dem Koordinatensystem  $\{x, y, z\}$  für die primäre Blickrichtung zusammenfällt. Das Listinggesetz gibt die Relationen zwischen den Koordinatensystemen  $\{x, y, z\}$  und  $\{x_m, y_m, z_m\}$ , siehe Legrand, Optique Physiologique, Band 1, Edition de la Revue d'Optique, Paris 1969.

**[0037]** Es kann somit in dem mit dem Auge verbundenen Koordinatensystem und in einer gegebenen Blickrichtung die Ausrichtung und der Wert des Astigmatismus sowie auch der Wert der Stärke ausgehend von der Zerlegung der Wellenfläche, welche in die Pupille des Auges tritt, definiert werden, zur Vereinfachung als Einheitsstrahl angenommen; dies entspricht dem Wert und der Ausrichtung des Astigmatismus wie auch der effektiv von dem Träger wahrgenommenen Stärke. Die Wellenfläche, welche in die Pupille des Auges in jeder Blickrichtung tritt, kann in an sich bekannter Weise durch Strahlengänge erhalten werden.

**[0038]** In an sich bekannter Weise kann eine Wellenfläche des Einheitsstrahls an einer Pupille durch Zernike-Polynome zerlegt werden; im ophthalmischen Bereich beschränkt man sich allgemein auf die ersten Terme dieser Darstellung. Eine Wellenfläche kann auch durch eine lineare Kombination der Polynome angenähert werden, von der Art:

$$z(x_m, y_m, z_m) = \sum_i a_i p_i$$

wobei die  $P_i$  die Zernike-Polynome und die  $a_i$  reelle Koeffizienten sind. Für jede Blickrichtung kann die Wellenfläche, die in die Pupille des Auges tritt, somit mittels der folgenden Relationen ausgedrückt werden, in denen  $p_i$  die Zernike-Polynome sind zurückversetzt in das mit dem Auge verbundene Koordinatensystem:

$$p_3 = 2x_m y_m$$

$$p_4 = 2(x_m^2 + y_m^2) - 1$$

$$p_5 = x_m^2 - y_m^2$$

$$z(x_m, y_m, z_m) = \sum_i a_i p_i$$

**[0039]** Die Erfindung schlägt vor, diese Zerlegung in einem mit dem Auge verbundenen Koordinatensystem durchzuführen, beispielsweise mit dem oben genannten Koordinatensystem  $\{x_m, y_m, z_m\}$ . In diesem Fall sind die Koeffizienten  $a_3$ ,  $a_4$  und  $a_5$  für die mittlere Stärke und den Astigmatismus repräsentativ, mittels der folgenden Relationen:

- der variable Term der mittleren Stärke ist somit durch  $4a_4$  gegeben,
- das Modul des Astigmatismus ist gegeben durch  $4\sqrt{a_3^2 + a_5^2}$ , und
- die Achse des Astigmatismus ist von dem Verhältnis  $a_3/a_5$  hergeleitet.

**[0040]** Es könnten auch andere Definitionen der Stärke oder des Astigmatismus in dem mit dem Auge verbundenen Koordinatensystem verwendet werden, welche andere Koeffizienten der Zerlegung einbeziehen, aber diese weisen den Vorteil auf einfach zu sein und mit Hilfe eines Programms für Strahlengänge für eine gegebene Linse leicht berechenbar zu sein.

**[0041]** Die Erfindung schlägt vor dieses Modell bzw. Modellierung der Wellenflächen in jeder Blickrichtung für die Definition einer ophthalmischen Linse zu verwenden, wobei die physiologischen Daten des Trägers miteinbezogen werden.

**[0042]** Dazu wird die für den Träger in der Fernsicht in der Stärke und in dem Astigmatismus notwendige Verschreibung in Betracht gezogen, welche in die Koeffizienten  $(A_3, A_4, A_5)$  transformiert werden kann. Diese Koeffizienten sind beschreibend für die Wellenfläche, welche generiert werden muss um den Träger

in der Fernsicht perfekt zu korrigieren. Ausgedrückt in den mit dem Auge verbundenen Listing-Koordinatensystem bleibt das Triplet dieser Koeffizienten für alle Blickrichtungen konstant.

**[0043]** Es wird anschließend eine Referenzlinse in Betracht gezogen, welche eine sphärische Linse ist, d.h. ohne Torus oder Astigmatismus; man kann als Referenzlinse eine Linse wählen, welche eine Addition und eine mittlere Stärke identisch zu denjenigen hat, die verschrieben worden sind; eine Lösung für den Fall einer progressiven multifokalen Linse besteht darin eine sphärische Linse der Anmelderin in Betracht zu ziehen, von der Art wie sie in den Patentanmeldungen FR-A-2 683 642, FR-A-2 683 643 und FR-A-2 699 294 beschrieben und unter der Marke Varilux verkauft wird.

**[0044]** Dieser Referenzlinse entspricht in jeder Blickrichtung eine Wellenfläche, für einen gegebenen Objektraum bzw. Gegenstandsraum und für gegebene Montagebedingungen; man kann somit ein Triplet  $(a_3, a_4, a_5)$  für jede der Blickrichtungen ableiten. Man kann als gegebenen Objektraum ein Ergorama von der weiter oben genannten Art in Betracht ziehen oder jeglichen anderen Objektraum. Für die Montage können klassische Montagebedingungen in Betracht gezogen werden, wie diese in der zuvor genannten Patentanmeldung der Anmelderin beschrieben sind; man könnte auch Montagebedingungen eines gegebenen Trägers in Betracht ziehen.

**[0045]** Man kann ausgehend von diesen verschiedenen Triplets  $(a_3, a_4, a_5)$  und der Verschreibung  $(A_3, A_4, A_5)$  für jede Blickrichtung eine Zielwellenfläche definieren, welche dazu geeignet ist, für eine Optimierung einer Linse verwendet zu werden. In jeder Blickrichtung wird die Zielwellenfläche durch ein Triplet  $(a'_3, a'_4, a'_5)$  dargestellt, mit

$$4a'_4 = 4a_4 \quad (1)$$

$$4\sqrt{(a'_3 - A_3)^2 + (a'_5 - A_5)^2} = 4\sqrt{a_3^2 - a_5^2} \quad (2)$$

**[0046]** Die erste Relation (1) drückt die Tatsache aus, dass erwünscht ist das Stärkeverhalten des Referenzglases zu erhalten.

**[0047]** Die zweite Relation stellt den „residuellen“ Astigmatismus bzw. „Rest“astigmatismus dar, welcher dem Abstand zwischen dem durch die Linse hergestellten Astigmatismus und dem Träger verschriebenen Astigmatismus entspricht; sie vermittelt bzw. übersetzt die Tatsache, dass das Vorhandensein eines Torus nicht die Verformung bzw. Leistungen der Referenzlinse vermindern soll. Es wird angemerkt, dass die Erfindung hier unter der Hypothese be-

schrieben wird, dass der verschriebene Astigmatismus der Fernsicht in der Tat der in jeder Blickrichtung anzuwendende Astigmatismus indem mit dem Auge verbundenen Koordinatensystem ist. Man könnte genauso gut die Werte des Astigmatismus anpassen und das Triplet ( $A_3, A_4, A_5$ ) in Abhängigkeit der Blickrichtungen ändern.

**[0048]** Die dem residuellen Astigmatismus auferlegte Beschränkung ist, dass sie gleich dem Astigmatismus des Referenzglases ist; im Idealfall sollte der residuelle Astigmatismus Null für jede Blickrichtung sein. Es zeigt sich, dass diese ideale Bedingung es nicht immer erlaubt eine physikalische bzw. physische Lösung zu erhalten; die durch die Relation (2) auferlegte Einschränkung ist weniger rigoros, als die ideale Bedingung, und erlaubt eine Lösung zu erhalten. Die Wahl der vorgeschlagenen Referenzlinse gewährleistet, dass in den fovialen Bereichen der Astigmatismus im Wesentlichen Null ist und somit:

$$4\sqrt{(a'_3 - A_3)^2 + (a'_5 - A_5)^2} = 0$$

**[0049]** Dies impliziert, dass

$$a'_3 = A_3$$

und

$$a'_5 = A_5$$

**[0050]** Daher sind die Achse des Astigmatismus und dessen Modul gleich zu der Achse des verschriebenen Astigmatismus und zu seinem Modul, zumindest in dem fovialen Bereich.

**[0051]** Diesen beiden Relationen definieren in der Tat eine Ziellinse, welche für das Optimieren der Linse in einem Optimierungsprogramm, wie weiter unten erklärt, verwendet werden kann. Diese Ziellinse:

- weist das Verhalten in der Stärke der Referenzlinse auf;
- weist einen residuellen Astigmatismus gleich zu dem Astigmatismus der Referenzlinse auf.

**[0052]** In dem oben gegebenen Beispiel weist die Referenzlinse die gleiche Stärke und die gleiche Addition wie die verschriebene Linse auf. Man könnte auch als Referenzlinse eine Linse von unterschiedlicher Stärke oder Addition zu der verschriebenen wählen. In diesem Fall würde sich die Relation (1) schreiben:

$$a'_4 = m + na_4 \quad (1')$$

mit zwei reellen Werten  $m$  und  $n$ , die so gewählt sind, dass die Fernsichtstärke und die Addition die verschriebenen Werte aufweisen. Anders gesagt sind  $m$  und  $n$  die Lösungen von zwei Gleichungen mit zwei Unbekannten in den Blickrichtungen, für die die Verschreibung bekannt ist, d.h. für die Fernsicht und die Nahsicht.

**[0053]** Die Erfindung schlägt vor diese Zielwerte zu verwenden um die Linsen zu definieren, mittels eines an sich bekannten Optimierungsverfahrens. Es sei angemerkt, dass die Erfindung oben für den komplexeren Fall einer multifokalen progressiven Linse beschrieben wurde; sie kann genauso gut für die Optimierung von sphärischen Gläsern verwendet werden, welche einem speziellen Fall entsprechen, in dem

$$4\sqrt{A_3^2 + A_5^2} = 0$$

**[0054]** Die Erfindung bezieht sich auch auf den Fall eines unifokalen Glases, welches  $4A_4 = \text{konstant}$  entspricht.

**[0055]** Schließlich verwendet die Erfindung vorteilhafterweise ein Strahlengangprogramm für die Bestimmung der optimierten Fläche bei physiologischen Bedingungen; sie erlaubt es, eine vordere Seite der Linse zu optimieren, bei einer gegebenen hinteren Seite oder umgekehrt.

**[0056]** Es wird nun ein Optimierungsverfahren beschrieben, welches für die Umsetzung der Erfindung verwendet werden kann. Das Ziel des Optimierungsverfahrens ist es, ausgehend von einer Ausgangslinse die Parameter variieren zu lassen, welche zumindest eine der Flächen einer gewöhnlichen Linse definieren, so dass sie so gut wie möglich die oben definierten Bedingungen (1) und (2) genügen.

**[0057]** Es kann dazu eine Gütefunktion bzw. eine Leistungsfunktion in Betracht gezogen werden, welche repräsentativ für die Abstände zwischen der zu optimierenden Linse und der Referenzlinse ist, wie folgt definiert. Für eine Gesamtheit bzw. ein Ensemble von Linsenpunkten oder Blickrichtungen, indiziert durch eine variable  $i$ , kann die Gütefunktion in der Form beschrieben werden:

$$\sum_i p_i \sum_j w_{ij} (V_{ij} - C_{ij})^2$$

wobei  $p_i$  eine Gewichtung des Punktes  $i$  ist;

$V_{ij}$  entweder der Wert des residuellen Astigmatismus oder die Stärke im Punkt  $i$  ist, für die gewöhnliche Linse;

$C_{ij}$  entweder der Wert für den Referenzastigmatismus oder die Referenzstärke ist;

$W_{ij}$  die Gewichtung des Unterschieds des Astigmatismus oder der Stärke am Punkt  $i$  ist.

**[0058]** Es wird somit ein Ziel und eine Gütefunktion definiert, die repräsentativ für den Unterschied der optischen Merkmale einer Linse bezüglich dieses Ziels sind. Eine solche Gütefunktion ist offensichtlich positiv und soll während dem Optimierungsprozess minimiert werden.

**[0059]** Um mit der Optimierung fortzufahren genügt es somit, eine Ausgangslinse und ein Berechnungsverfahren zu wählen, welches es erlaubt, mittels Iterationen den Wert der Gütefunktion zu verringern. Es kann vorteilhafterweise als Berechnungsverfahren ein Verfahren ammortisierter geringster Quadrate oder auch jedes andere an sich bekannte Optimierungsverfahren verwendet werden. Bei der Verwendung eines Verfahrens ammortisierter geringster Quadrate, einer Gütefunktion von der Art wie weiter oben definiert ist, genügt es mit einigen zehn Iteration fortzufahren um in den allermeisten Fällen eine Linse zu erhalten, welche gute Leistung bzw. Performance aufweist.

**[0060]** Um mit der Optimierung fortzufahren kann vorteilhafterweise für die zu optimierende Linse eine Zerlegung der Wellenfläche an der Pupille des Auges gemäß den Zernike-Polynomen verwendet werden, derart, dass direkt die Bedingungen in der Form der oben genannten Relationen (1) und (2) verwendet werden. In diesem Fall kann von der Ausgangslinse ausgegangen werden und an die entsprechende Fläche eine zu optimierende Lage bzw. Bereich zugefügt werden und lediglich dieser Bereich in dem Optimierungsprozess modifiziert werden, wobei dieser Bereich selbst durch Zernike-Polynome modelliert werden kann.

**[0061]** Es wird nun ein Beispiel der Optimierung gegeben, welches eine solche Zerlegung in Zernike-Polynome verwendet. Die Verschreibung stellt, wie oben angedeutet, ein Triplet ( $A_3, A_4, A_5$ ) bereit; die Referenzlinse stellt in den Blickrichtungen, welche den gewählten Punkten  $i$  entsprechen, Triplets ( $a_3, a_4, a_5$ ) <sub>$i$</sub>  bereit. Das Ziel wird somit in jede Blickrichtung oder für jeden Punkt  $i$  geschrieben:

$$C_{i1} = 4a_4$$

$$C_{i2} = 4\sqrt{a_3^2 + a_5^2}$$

für das entsprechende Triplet ( $a_3, a_4, a_5$ ) <sub>$i$</sub>

**[0062]** Die gängige bzw. gebräuchliche Linse weist in der Blickrichtung, die dem Punkt  $i$  entspricht, einen gängigen Stärkewert von

$$V_{i1} = 4a_4$$

auf und es wird für  $V_{i2}$  der residuelle Astigmatismus verwendet, wie weiter oben erklärt:

$$V_{i2} = 4\sqrt{(a'_3 - A_3)^2 + (a'_5 - A_5)^2}$$

**[0063]** Es werden die Werte von  $a'_3, a'_4, a'_5$  an verschiedenen Punkten  $i$  variiert um die Gütefunktion zu verringern, wie weiter oben erklärt.

**[0064]** Nach dem Ende der Optimierung erhält man eine Höhenkarte der optimierten Fläche, welche die zu realisierende Fläche definiert.

**[0065]** Die folgenden Beispiele geben verschieden Ausführungsformen der Erfindung an (Beispiele 1 und 3).

#### Beispiel 1

**[0066]** In diesem Beispiel wird die vordere Fläche einer Linse optimiert, deren hintere Fläche eine torische Fläche von der Art ist, die im Stand der Technik verwendet werden, aber welche nicht notwendigerweise der torischen Verschreibung des Trägers entspricht. Es soll eine multifokale Linse für die folgende Verschreibung erhalten werden:

- Stärke in der Fernsicht: 3 Dioptrien;
- Astigmatismus: 2 Dioptrien;
- Achse des Astigmatismus: 135°;
- Addition: 2 Dioptrien;
- Brechungsindex gleich 1,502.

**[0067]** Die **Fig. 4** bis **Fig. 7** zeigen optische Charakteristika bzw. Merkmale einer Linse des Standes der Technik; die **Fig. 4** zeigt die Stärke entlang des Meridians mit der oben angegebenen Definition der Stärke. Die Abszissen sind in Dioptrien unterteilt und die Ordinaten geben die Höhe an dem Glas in Grad an; die durchgezogene Linie zeigt die Stärke und die unterbrochenen Linien die Größen  $1/JT$  und  $1/JS$ , die in der **Fig. 1** definiert sind, für Gegenstandsabstände, welche einer repräsentativen Ergorama der Objektpunkte in jeder Blickrichtung entsprechen, um für den Träger einen optimalen Komfort zu gewährleisten. Die **Fig. 5** ist eine Darstellung der Linien gleicher Stärke, d.h. der Linien, die aus Punkten gebildet sind, die einen identischen Stärkewert haben. Die Achsen der Abszissen und der Ordinaten ergeben



die Winkel  $\beta$  bzw.  $\alpha$ . Die **Fig. 6** zeigt mit den gleichen Achsen, Linien des gleichen schrägen Astigmatismus. Die **Fig. 7** zeigt den residuellen Astigmatismus wie oben definiert.

**[0068]** Diese Linse ist eine Linse des Standes der Technik, bei welcher die hintere Seite den Torus trägt, während die vordere Seite eine progressive multifokale Fläche ist, wie diese in den Patenten der Anmelderin beschrieben ist. Diese Linse weist eine Basis von 6,20 Dioptrien, eine Stärke in der Fernsicht von 2,97 Dioptrien, eine Addition der Stärke von 1,97 Dioptrien und einen Astigmatismus von 2,11 Dioptrien mit einer Achse von  $135^\circ$  auf.

**[0069]** Die **Fig. 8 bis Fig. 10** zeigen Darstellungen optischer Charakteristika bzw. Merkmale der für die Optimierung verwendeten Referenzlinse; diese Linse ist eine sphärische Linse der gleichen Stärke 2,97 Dioptrien in Fernsicht, der gleichen Addition 1,98 Dioptrien und ohne Astigmatismus. Die **Fig. 8 bis Fig. 10** zeigen analoge Darstellungen zu denjenigen der **Fig. 4 bis Fig. 6** mit den gleichen Konventionen.

**[0070]** Die **Fig. 11 bis Fig. 14** zeigen Darstellungen optischer Merkmale bzw. Charakteristika einer gemäß der Erfindung optimierten Linse; die **Fig. 11 bis Fig. 14** zeigen ebenfalls analoge Darstellungen zu denjenigen der **Fig. 4 bis Fig. 7** mit den gleichen Konventionen. Wie oben angegeben, wurde die vordere Seite optimiert, wobei die Ausgangslinse mit der gleichen vorderen Seite verwendet wurde wie die Linse des Standes der Technik, aber mit einer angenähert torischen hinteren Seite und die Linse der **Fig. 8 bis Fig. 10** wie die Referenzlinse. Die Figuren zeigen, dass die optischen Merkmale der gemäß der Erfindung optimierten Linse sehr nahe an denjenigen der Referenzlinse sind. Es wurden somit die durch die torische hintere Seite induzierten Aberrationen der Linse des Standes der Technik vermieden. Die Linse weist eine Basis von 6,63 Dioptrien, eine Stärke in der Fernsicht von 3,02 Dioptrien, einer Addition der Stärke von 1,94 Dioptrien und einen Astigmatismus von 1,99 Dioptrien der Achse  $135^\circ$  auf.

**[0071]** Die **Fig. 15 bis Fig. 17** zeigen Darstellungen von Flächenmerkmalen bzw. Charakteristika der vorderen Seite der Linse der **Fig. 11 bis Fig. 14**. Die **Fig. 15** zeigt die Flächenstärke oder mittlere Sphäre  $D$  wie diese weiter oben definiert ist: die durchgezogene Linie gibt die mittlere Sphäre, und die unterbrochenen Linien die Werte  $C_1=(n-1)/R_1$  und  $T_2=(n-1)/R_2$  mit  $R_1$  und  $R_2$  als Hauptkrümmungsradien. Die Abszissen sind in Dioptrien unterteilt und die Ordinaten geben die Höhe an der vorderen Fläche in mm an. Die mittlere Sphäre am Referenzpunkt der Fernsicht ist 6,63 Dioptrien für einen Zylinder von 0,63 Dioptrien; die mittlere Sphäre am Referenzpunkt der Nahsicht ist 8,63 Dioptrie für einen Zylinder von 0,64 Dioptrien. Man stellt aus dieser einzigen Darstellung fest, dass

die Erfindung zu einer Aufteilung des Zylinders oder des Tores an den zwei Seiten der optimierten Linse führt.

**[0072]** Die **Fig. 16** zeigt die Linien gleicher mittlerer Sphäre bzw. mittlerer Isosphären der vorderen Seite der Linse; die Achsen sind in mm unterteilt; die **Fig. 17** zeigt die Linien gleicher Zylinder/Isozylinder mit den gleichen Achsen. Diese Figuren zeigen, dass die vordere Seite der erfindungsgemäßen Linse sehr unterschiedlich von den vorderen Seiten klassischer Linsen ist.

**[0073]** Die Erfindung, wie sie in diesem Beispiel umgesetzt ist, zeigt die Aberrationen, welche von den Verfahren des Standes der Technik induziert werden, und zeigt wie die Erfindung durch das Einbeziehen der physiologischen Daten des Trägers und aufgrund der optischen Berechnungen es erlaubt diese Aberrationen zu verringern. Es werden somit die induzierten Aberrationen für den Torus bei den Linsen des Standes der Technik korrigiert und es wird dem Träger eine foviale Sicht gleich zu derjenigen eines emmetropen Trägers gleicher Addition gegeben. Es wird auch gezeigt, dass der fehlende torische Abschnitt an der Ausgangslinse auf die vordere Seite transferiert wird.

#### Beispiel 2 (nicht gemäß der Erfindung)

**[0074]** In diesem Beispiel wird die hintere Seite einer progressiven multifokalen Linse optimiert, für welche der Torus und die Degression bzw. Verminderung sich an der hinteren Fläche der Linse befinden.

**[0075]** Die Verschreibung ist die folgende:

- Stärke in der Fernsicht: 3 Dioptrien;
- Astigmatismus: 2 Dioptrien;
- Achse des Astigmatismus:  $45^\circ$ ;
- Addition: 2 Dioptrien;
- Brechungsindex 1,502 Dioptrien.

**[0076]** Die vordere Seite der Linse ist sphärisch bzw. gewölbt.

**[0077]** Die **Fig. 18 bis Fig. 20** zeigen mit den gleichen Konventionen wie die **Fig. 15 und Fig. 17** Darstellungen der Flächenmerkmale der hinteren Seite der Ausgangslinse; die vordere Seite ist sphärisch; die hintere Seite wird näherungsweise berechnet durch Summieren der Höhen einer klassischen progressiven multifokalen Fläche und einer torischen Fläche, wobei die vordere Seite mit einbezogen wird. Genauer gesagt werden die drei folgenden Flächen in Betracht gezogen:

$S_1$ : progressive Fläche einer Addition von 2,00 Dioptrien und einer Basis 6,20 Dioptrien;

$S_2$ : Kugel mit einem Radius identisch zu dem Radius der in der Fernsicht der klassischen progressiven Fläche;

$S_3$ : torische Fläche, welche einen Astigmatismus von 2,00 Dioptrien und eine Stärke von 3,00 Dioptrien für die in Betracht gezogene vordere Seite gewährleistet.

**[0078]** Die Höhe eines Punktes der hinteren Ausgangsseite ist gegeben durch

$$z = -z_1 + z_2 + z_3$$

wobei  $z_1$ ,  $z_2$  und  $z_3$  die Höhen der drei Flächen  $S_1$ ,  $S_2$  bzw.  $S_3$  sind; die Terme  $-z_1+z_2$  definieren näherungsweise eine Fläche, die eben in der Fernsicht und degressiv in der Nahsicht ist; der Term  $z_3$  fügt den erwarteten torischen Effekt hinzu. Es wird damit eine hintere Seite von mittlerer Kugel in der Fernsicht von 3,34 Dioptrien mit einer Degression von 2,18 Dioptrien erhalten. Am Referenzpunkt der Fernsicht weist die hintere Seite einen Zylinder von 1,99 Dioptrien auf und am Referenzpunkt der Nahsicht weist sie einen Zylinder von 2,07 Dioptrien auf. Die vordere Seite der Linse weist eine sphärische Fläche vom Radius 6,20 Dioptrien auf.

**[0079]** Die **Fig. 21** bis **Fig. 23** zeigen, mit den gleichen Konventionen wie die Figuren **8** bis **10**, Darstellungen optischer Merkmale bzw. Charakteristika der Referenzlinse. Als Referenzlinse wird eine Linse verwendet, welche eine klassische progressive vordere Seite und eine sphärische hintere Seite aufweist; die Linse weist eine Stärke Null in der Fernsicht, eine Addition der Stärke von 2,19 Dioptrien und eine Basis von 6,20 Dioptrien auf, wie oben angegeben.

**[0080]** Die **Fig. 24** bis **Fig. 27** zeigen Darstellungen optischer Merkmale bzw. Charakteristika der optimierten Linse mit den gleichen Konventionen wie die **Fig. 11** bis **Fig. 14**. Die optimierte Linse weist eine Stärke im Referenzpunkt der Fernsicht von 2,98 Dioptrie, einen Astigmatismus am selben Punkt von 1,94 Dioptrie, eine Stärke am Referenzpunkt der Nahsicht von 5,12 Dioptrie und einen Astigmatismus am selben Punkt von 1,97 Dioptrie auf. Diese Linse wird an eine Stärke von 3 Dioptrie zu der verwendeten Referenzlinse hinzugefügt.

**[0081]** Die **Fig. 28** bis **Fig. 30** zeigen Darstellungen der Flächencharakteristika bzw. Merkmale der hinteren Seite der optimierten Linse mit den gleichen Konventionen wie die **Fig. 15** bis **Fig. 17**. Die hintere Seite weist am Kontrollpunkt der Fernsicht eine mittlere Kugel von 3,34 Dioptrien und einen Zylinder von 1,79 Dioptrien auf. Am Referenzpunkt der Nahsicht weist die hintere Seite eine mittlere Kugel von 1,49

Dioptrien und einen Zylinder von 1,59 Dioptrien auf. Die Degression der hinteren Seite ist bei 1,85 Dioptrien.

**[0082]** Die **Fig. 31** bis **Fig. 34** zeigen zum Vergleich Darstellungen optischer Merkmale einer Linse des Standes der Technik. Die Konventionen sind die gleichen wie diejenigen der **Fig. 24** bis **Fig. 27**. Man stellt erneut fest, in dem Beispiel der **Fig. 11**, dass die optimierte Linse geringere Aberrationen aufweist als diejenigen der Linse des Standes der Technik. Zudem ist der residuelle Astigmatismus wie er vom Träger wahrgenommen wird nahe am Astigmatismus der Referenzlinse.

### Beispiel 3

**[0083]** In diesem Beispiel wird die vordere Fläche einer unifokalen Linse optimiert, deren hintere Seite einen klassischen Torus umfasst.

**[0084]** Die Verschreibung ist die folgende:

- Kugel: 0 Dioptrie;
- Zylinder: 2,75 Dioptrien;
- Achse des Zylinders: 90°;
- Brechungsindex 1,604 Dioptrien.

**[0085]** Die Ausgangslinse weist eine sphärische vordere Seite auf, deren Basis von 4,58 Dioptrien ist. Die hintere Seite ist diejenige, welche der Verschreibung gemäß dem Stand der Technik entspricht.

**[0086]** In diesem sehr einfachen Fall sind die Ziele des resultierenden Astigmatismus als Null angenommen und die Ziele der Stärke sind identisch oder gleich 1,375 Dioptrien.

**[0087]** Die **Fig. 35** bis **Fig. 38** zeigen, mit den gleichen Konventionen wie die **Fig. 4** bis **Fig. 7**, die optischen Merkmale bzw. Charakteristika der gemäß der Erfindung optimierten Linse. Am Kontrollpunkt ist die Stärke 1,39 Dioptrien und der Astigmatismus ist 2,74 Dioptrien.

**[0088]** Die **Fig. 39** bis **Fig. 41** zeigen, mit den gleichen Konventionen wie die Figuren **28** bis **30**, Darstellungen der Flächenmerkmale bzw. -charakteristika der vorderen Seite der optimierten unifokalen Linse. Die mittlere Kugel am Kontrollpunkt ist 4,58 Dioptrien und der Zylinder ist 0,02 Dioptrien.

**[0089]** Zum Vergleich zeigen die **Fig. 42** bis **Fig. 45** Darstellungen von optischen Charakteristika bzw. Merkmalen einer asphärischen Linse des Standes der Technik für die gleiche Verschreibung. Die Konventionen der Darstellungen sind die gleichen wie diejenigen der **Fig. 35** bis **Fig. 38**.

**[0090]** Man stellt erneut fest, dass die Erfindung es erlaubt die Aberrationen zu reduzieren und eine Linse zu erhalten, für welche der vom Träger wahrgenommen residuelle Astigmatismus im Wesentlichen Null ist.

**[0091]** Die Erfindung erlaubt es für multifokale oder unifokale Linsen optische Merkmale bzw. Charakteristika zu erhalten, die ähnlich zu denjenigen besserer Linsen des Standes der Technik sind und das trotz der Verschreibung eines Astigmatismus. Das Verfahren der Erfindung gewährleistet bessere Resultate als die in der WO-A-9719382 vorgeschlagene Lösung: in der Tat erlaubt es die optischen Eigenschaften der Linse mit einzubeziehen, wie sie der Träger effektiv wahrnimmt, und nicht nur eine notwendigerweise Näherung einer algebraischen Nä-Berechnung.

**[0092]** Es ist klar, dass in allen diesen Beispiel die Rolle der vorderen und hinteren Flächen leicht ausgetauscht werden kann. Auch kann die Stärke, der Torus und die Progression an einer oder beiden der zwei Seiten der Linse anders an einer Fläche und der anderen anders aufgeteilt werden. Für den Fall progressiver Linsen kann als Ziel eine ebene Linse der gleichen Addition wie in dem Beispiel 1 verwendet werden; man könnte genauso gut eine progressive Linse verwenden, welche eine zu der verschriebenen Stärke äquivalente Stärke aufweist.

**[0093]** Es versteht sich, dass es möglich ist andere Optimierungsverfahren zu verwenden und andere Darstellungen der Flächen als das vorgeschlagene Verfahren und als die Darstellungen in zerlegten Termen der Wellenflächen in Zernike-Polynome.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- FR 2699294 A [0006, 0008, 0043]
- US 5270745 A [0007]
- US 5272495 A [0007]
- FR 2683642 A [0008, 0043]
- FR 2704327 A [0008]
- FR 2588973 A [0009]
- US 5444503 A [0015, 0017]
- WO 9613748 A [0017]
- WO 9719382 A [0018, 0091]
- FR 2753805 A [0034]
- FR 2683643 A [0043]

**Zitierte Nicht-Patentliteratur**

- Bourdoncle et. al., Ray tracing through progressive ophthalmic lenses, 1990 International Lens Design Conference, D.T. Moore ed., Proc. Soc. Phiti. Opt. Instrum. Eng. beschrieben [0030]

**Patentansprüche**

1. Verfahren zum Bestimmen durch Optimieren und Erzielung einer ophthalmischen Linse für einen Träger, mit einer Verschreibung in Stärke, in Astigmatismus, und gegebenenfalls in Addition mit den folgenden Schritten:

- Auswahl einer Ausgangslinse und Definition einer geläufigen Linse gleich der Ausgangslinse,
- Auswahl einer Referenzlinse, die an einen Träger ohne Astigmatismusverschreibung angepaßt ist, und eine identische Stärke und gegebenenfalls eine identische Addition wie die verschriebene hat;

Ändern der geläufigen Linse derart, daß in mehrere Richtungen des Blicks und in einer Markierung verbunden mit dem Auge:

der Unterschied zwischen der Stärke der geläufigen Linse und der Stärke der Referenzlinse, der Unterschied zwischen dem Restastigmatismus und dem Astigmatismus der Referenzlinse minimiert wird,

wobei der Restastigmatismus als der Unterschied zwischen dem verschriebenen Astigmatismus und dem Astigmatismus definiert wird, der von der geläufigen Linse sowohl in die Amplitude als auch in die Achse in der mit dem Auge verbundenen Markierung und für jede Blickrichtung erzeugt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Stärke, der Astigmatismus und der restliche Astigmatismus durch Strahlenverlauf berechnet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der verschriebene Astigmatismus durch seine Aufschlüsselung ( $A_3, A_4, A_5$ ) auf Zernike-Polynomen dargestellt wird und bei dem in jede Blickrichtung die Wellenfläche, die von der geläufigen Linse erzeugt wird, durch ihre Aufschlüsselungen ( $a'_3, a'_4, a'_5$ ) auf Zernike-Polynomen dargestellt wird, und daß die Amplitude des Restastigmatismus in die Richtung des Blicks gleich

$$4\sqrt{(a'_3 - A_3)^2 + (a'_5 - A_5)^2} \text{ ist.}$$

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, bei dem in jede Blickrichtung die von der geläufigen Linse erzeugte Wellenfläche durch ihre Aufschlüsselung ( $a'_3, a'_4, a'_5$ ) auf Zernike-Polynomen dargestellt ist, und daß die Stärke in die Blickrichtung gleich  $4a'_4$  ist.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die ophthalmische Linse eine Progressivlinse ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem die ophthalmische Linse eine Nahsichtlinse ist.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem die Ausrichtung der mit dem Auge verbundenen Markierung in eine Blickrichtung ( $\alpha, \beta$ ) von der der Markierung in die Richtung  $\alpha = \beta = 0$  mittels des Listing-Gesetzes abgeleitet wird.

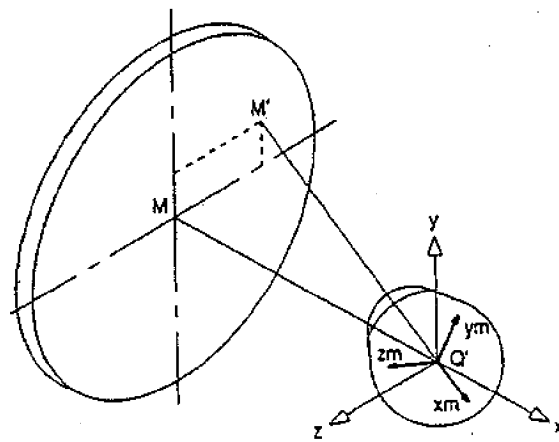
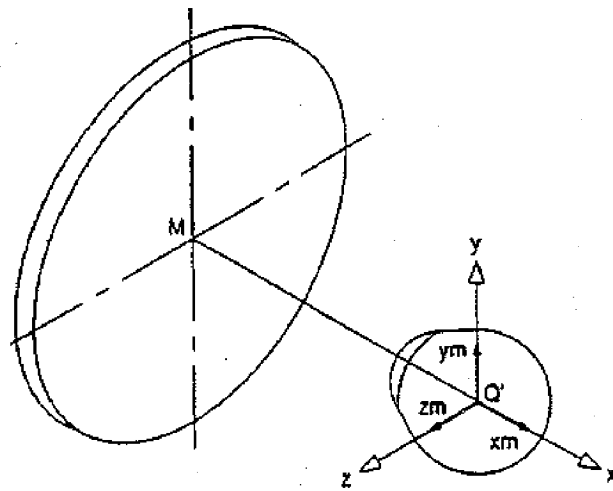
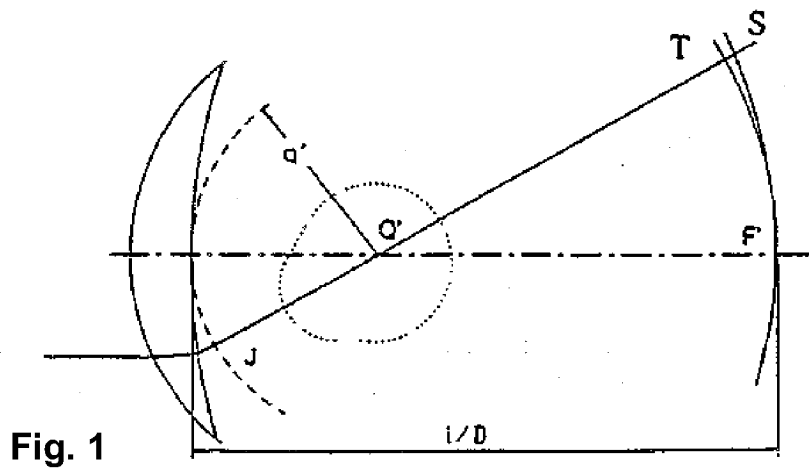
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem die Referenzlinse eine sphärische Linse ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem der Änderungsschritt derart wiederholt wird, daß die Unterschiede sinken.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem der Änderungsschritt das Ändern einer einzigen der Flächen der geläufigen Linse aufweist.

Es folgen 22 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



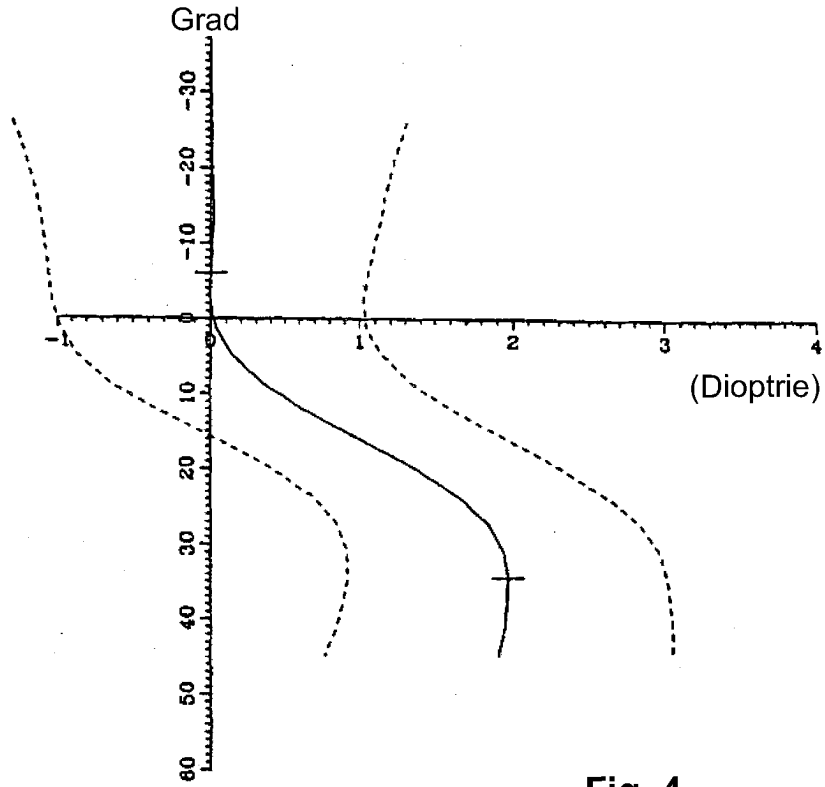


Fig. 4

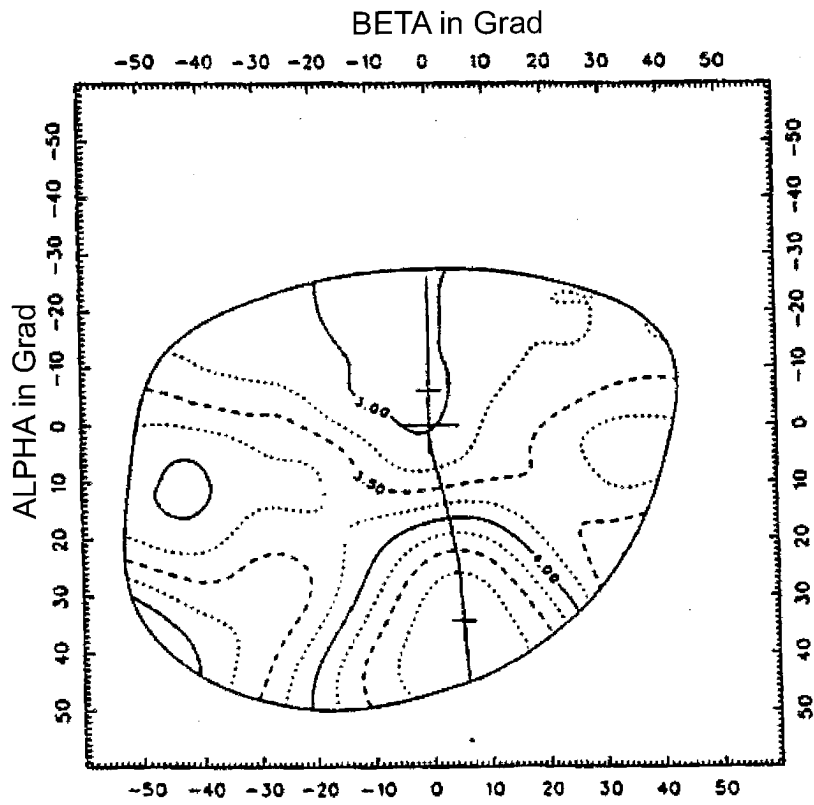


Fig. 5

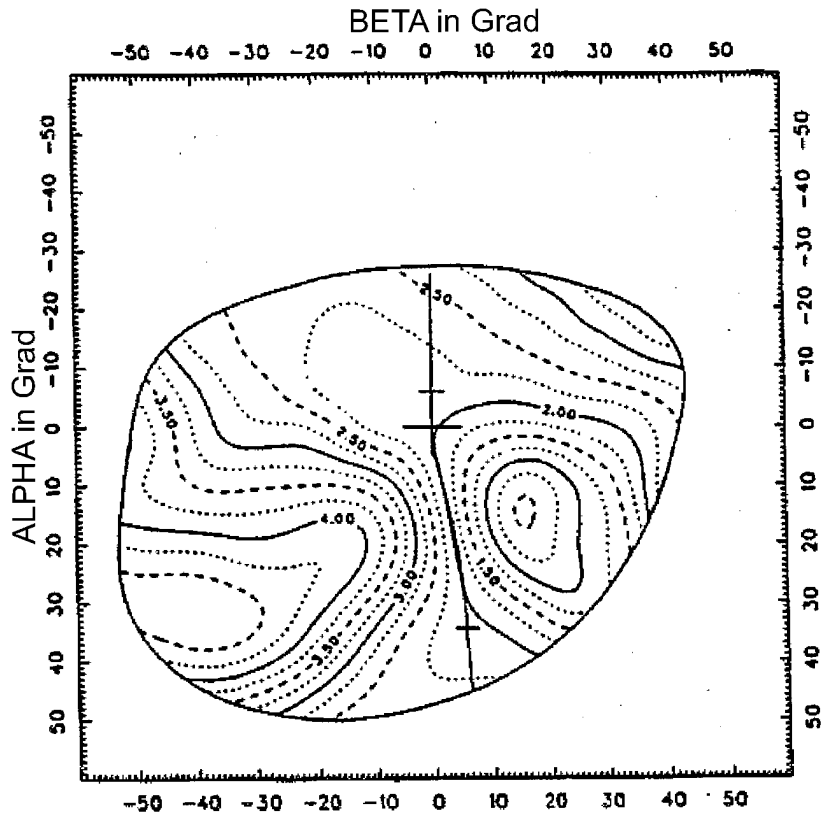


Fig. 6

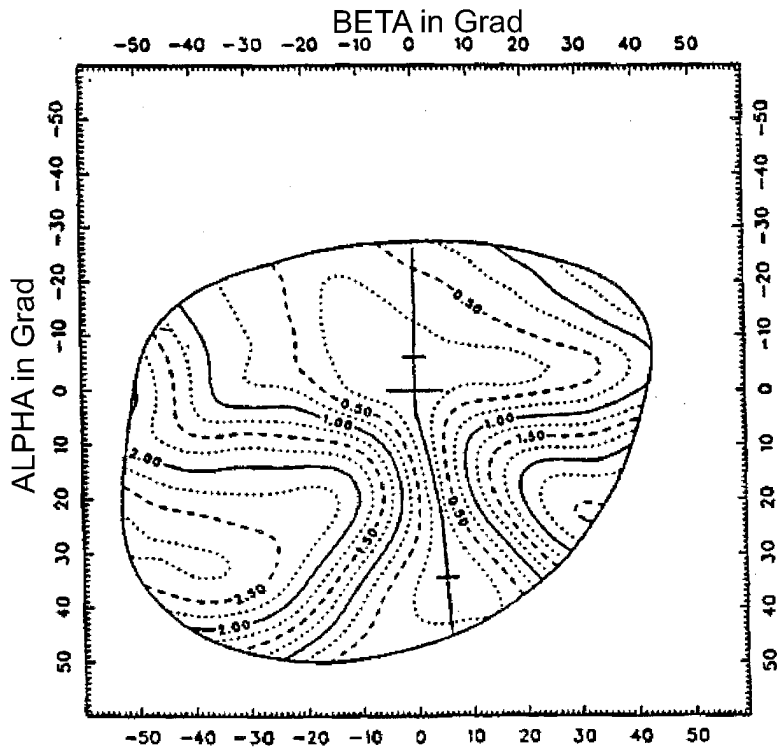


Fig. 7



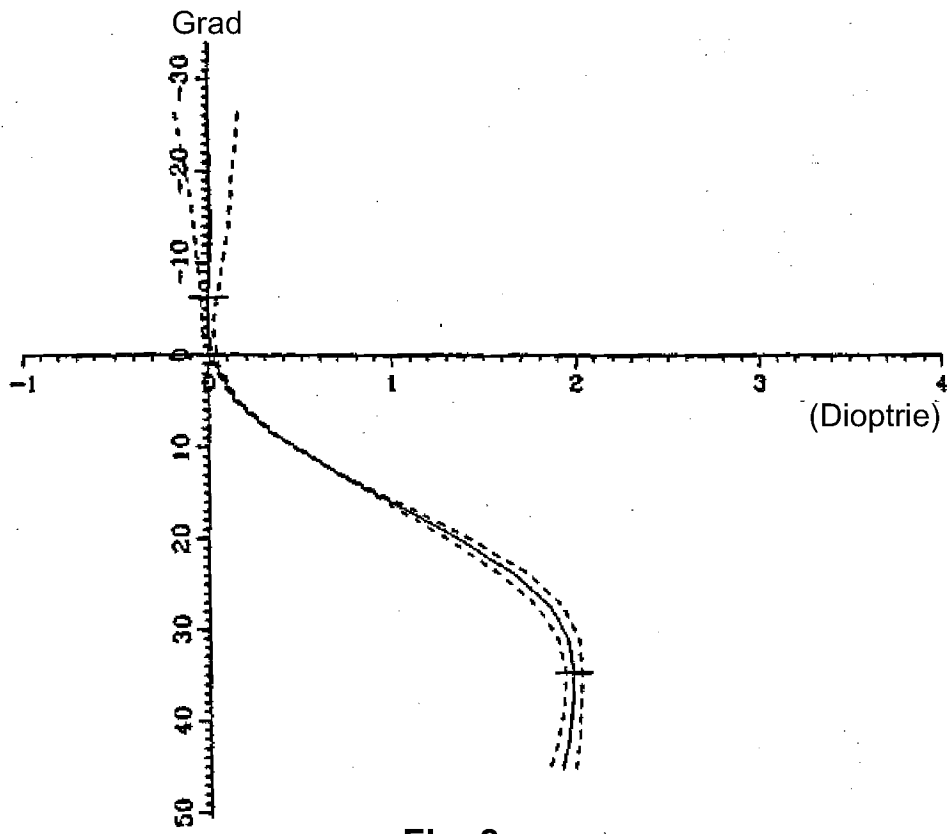


Fig. 8

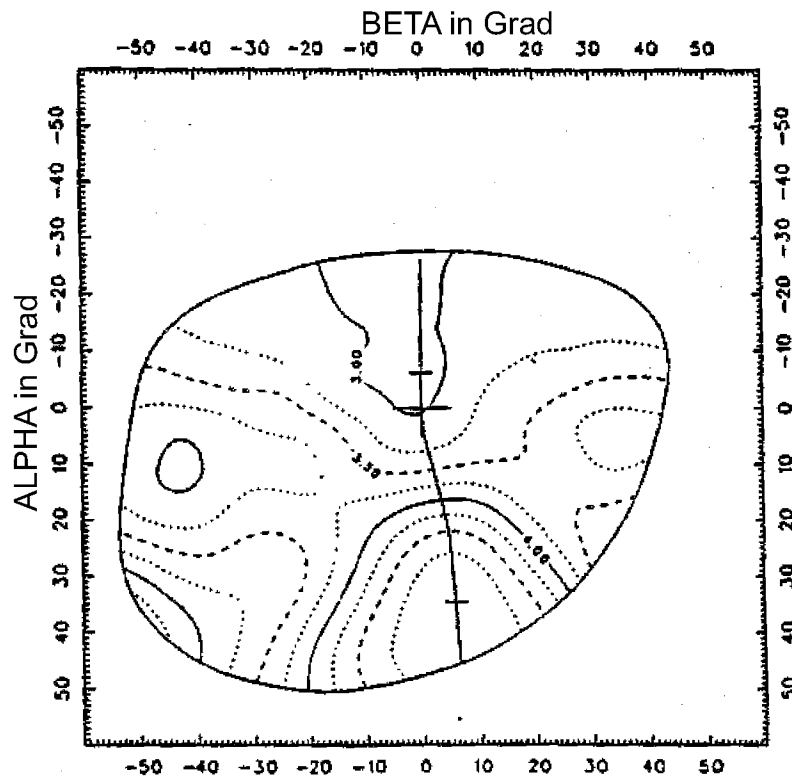


Fig. 9

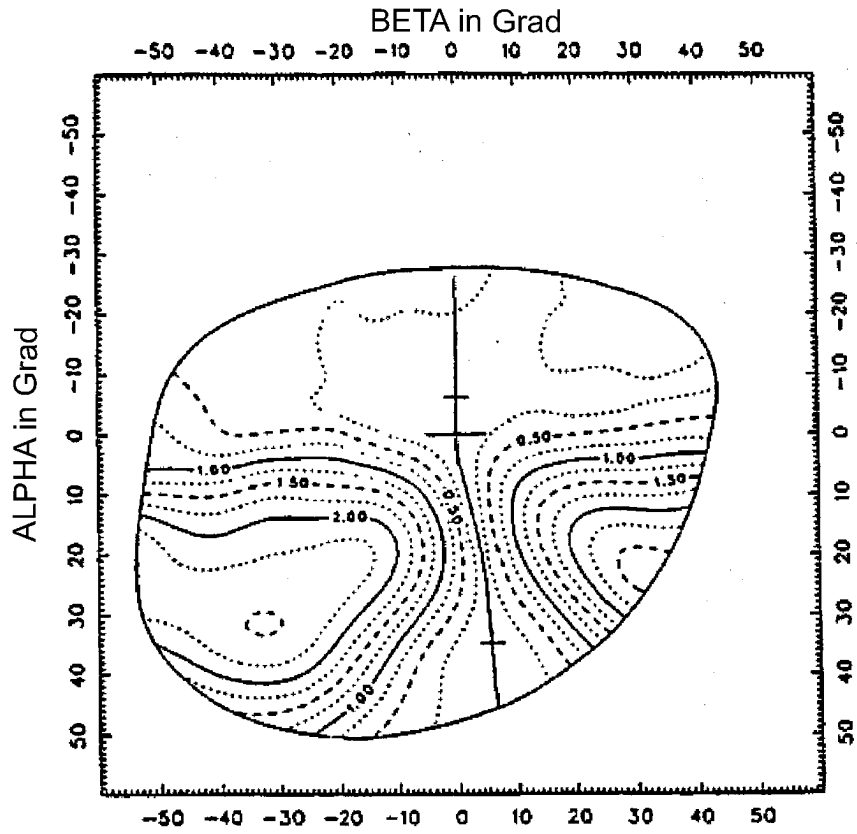


Fig. 10

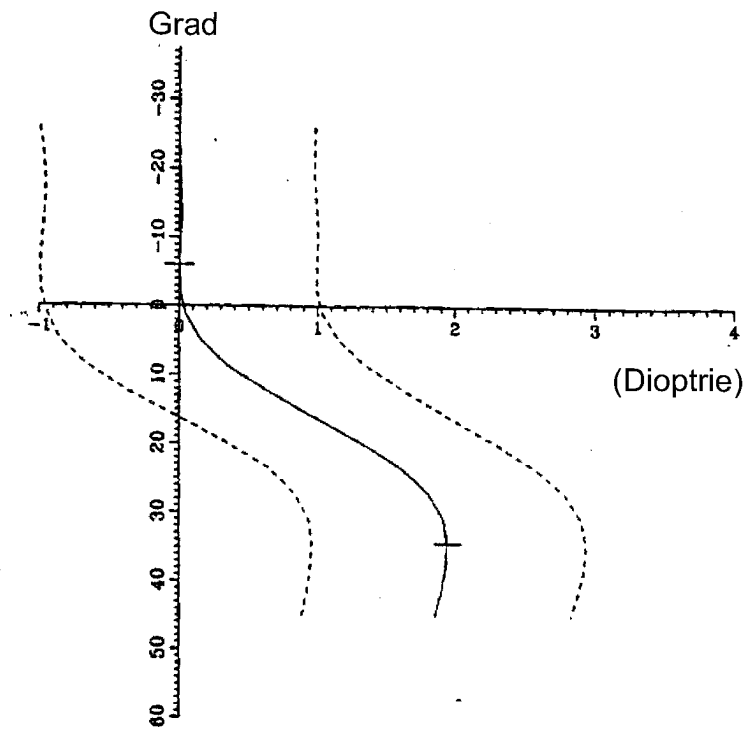


Fig. 11

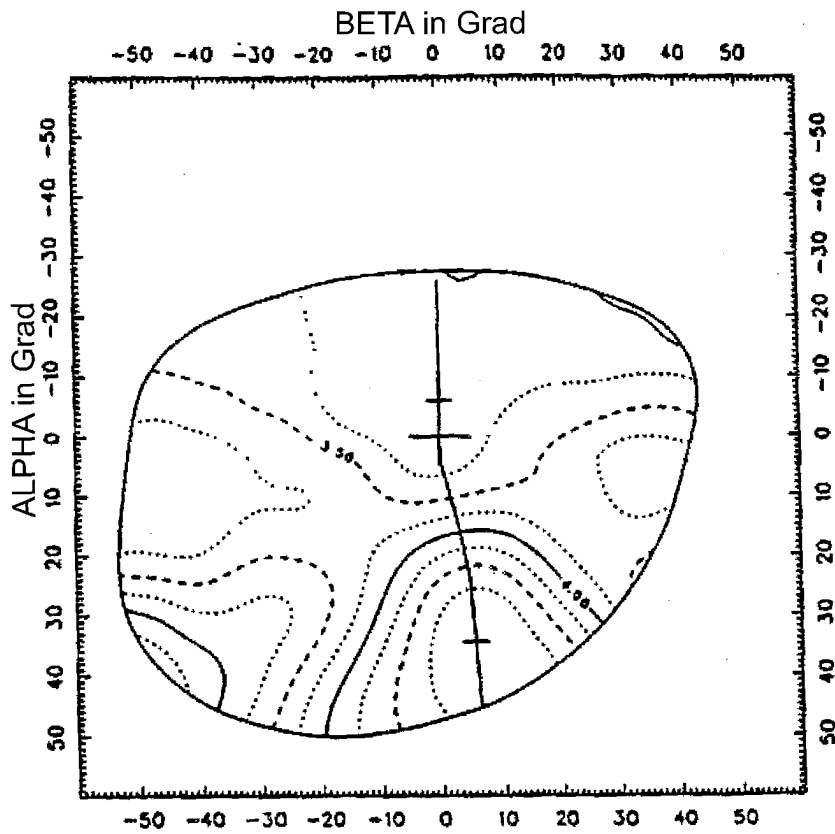


Fig. 12

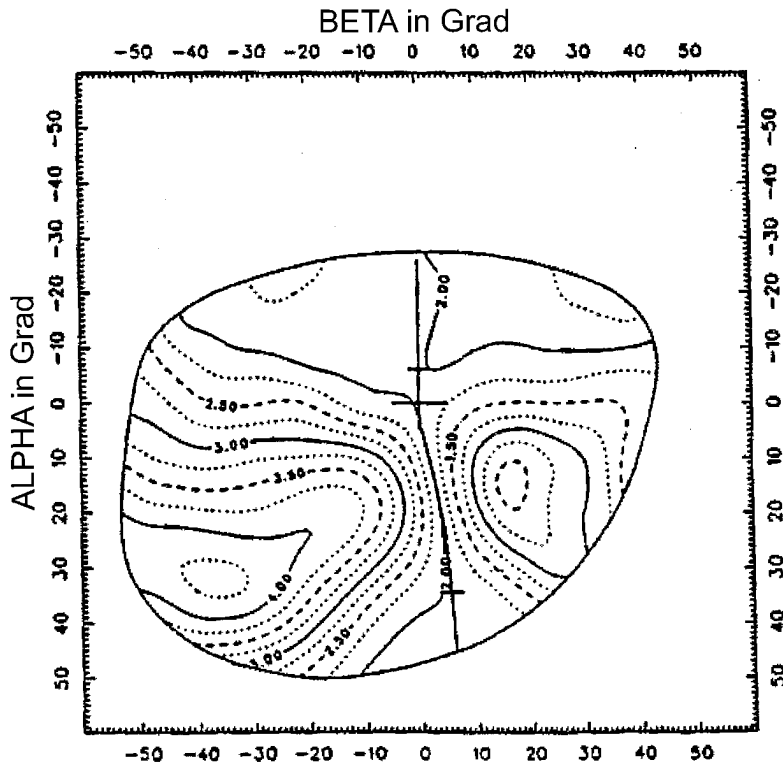


Fig. 13

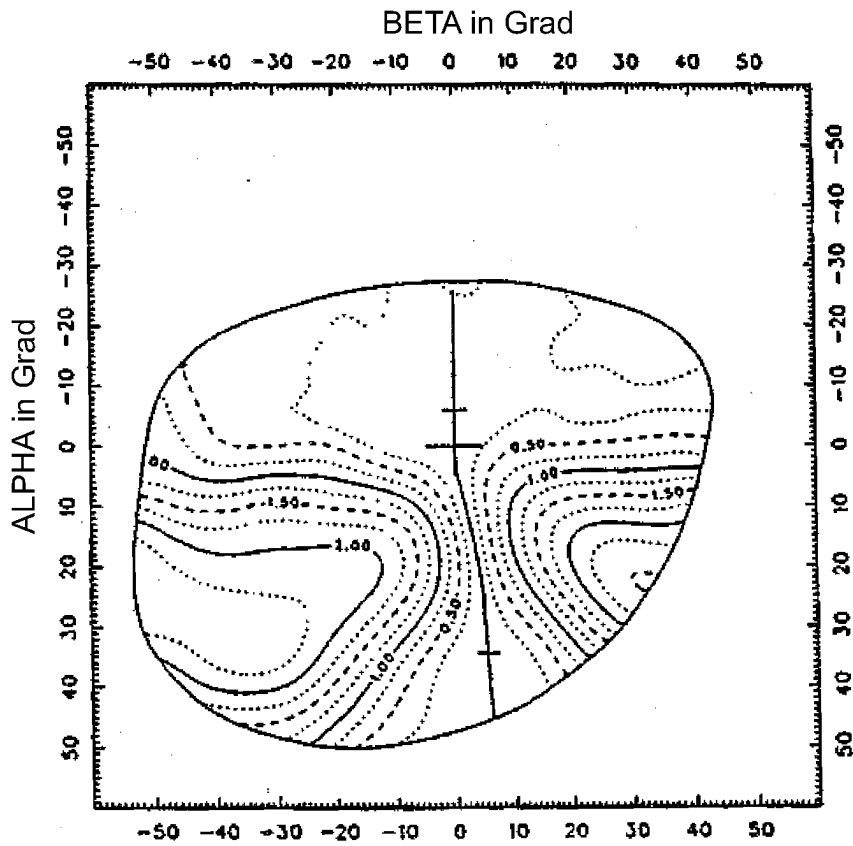


Fig. 14

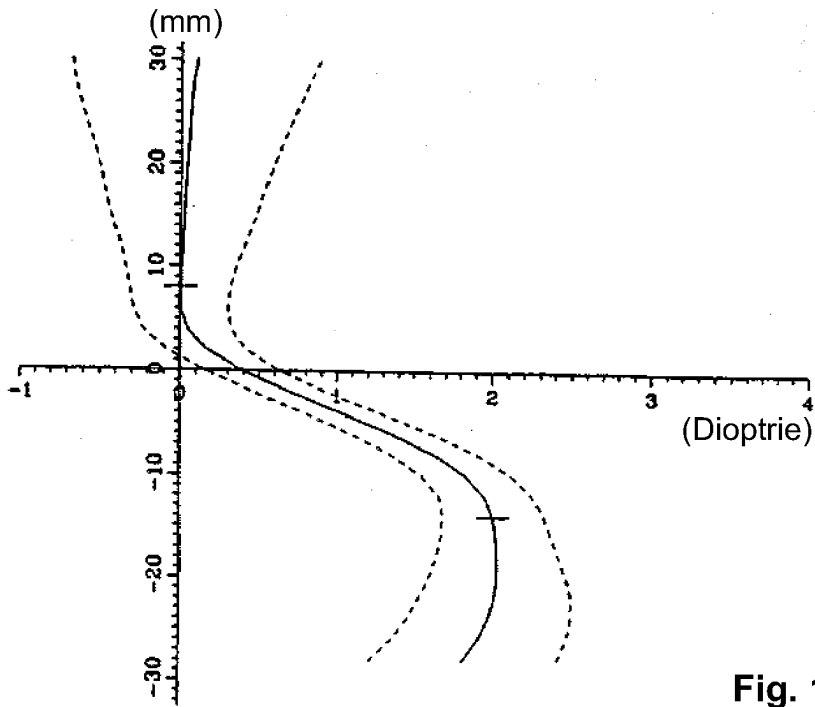


Fig. 15

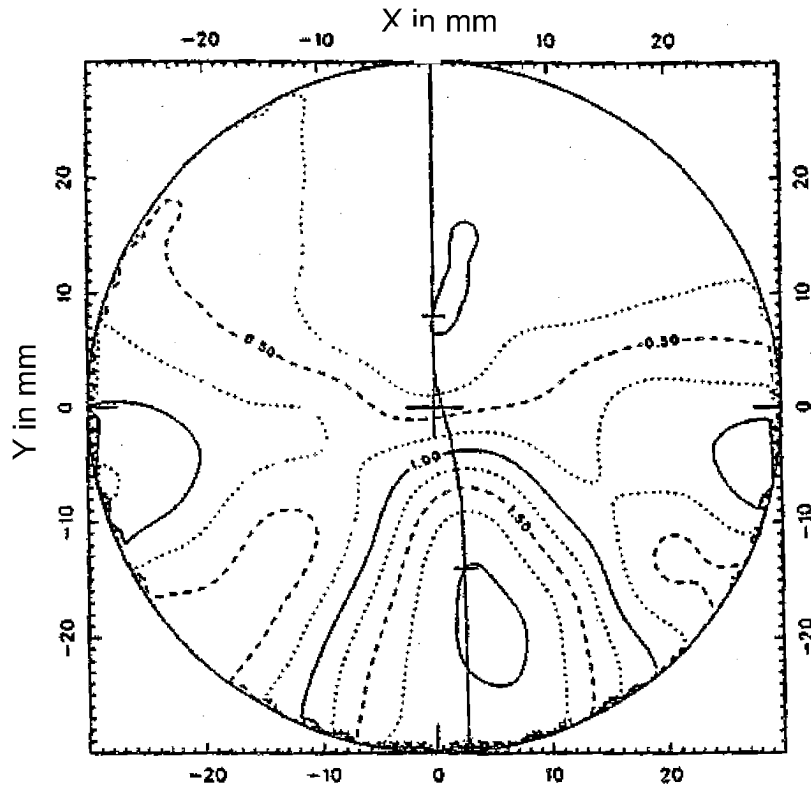


Fig. 16

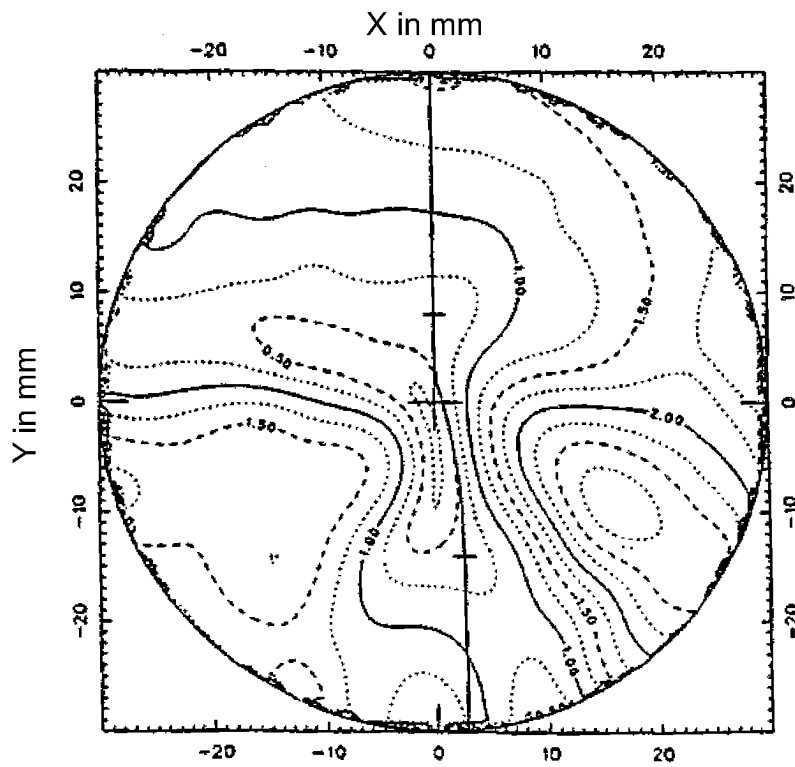


Fig. 17

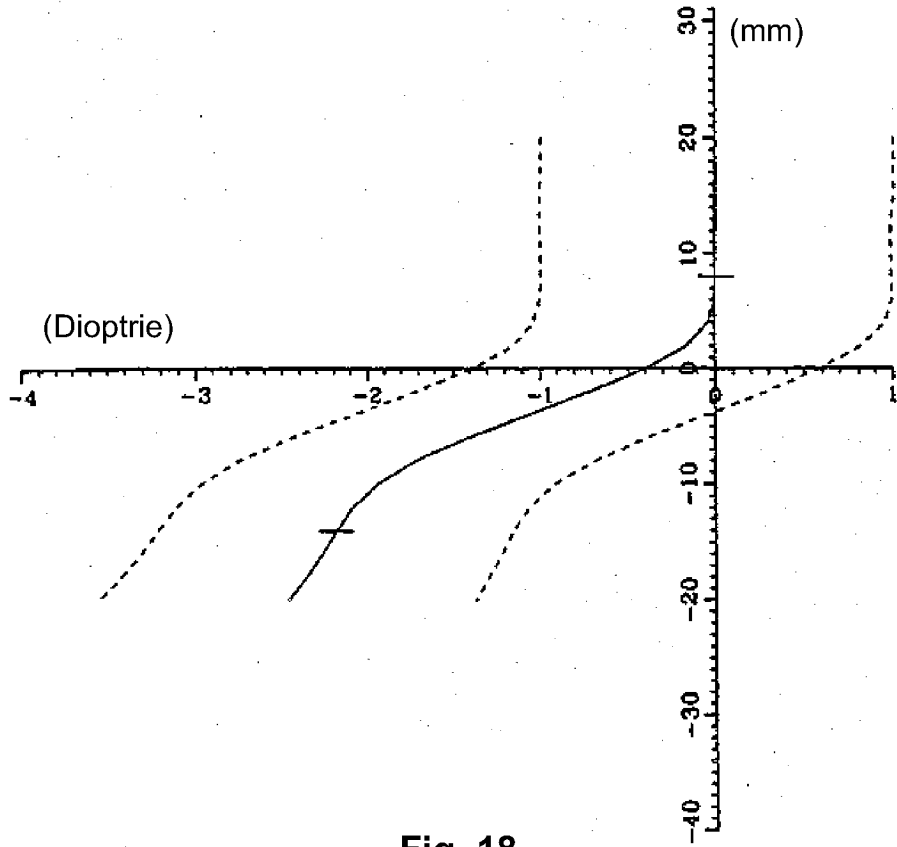


Fig. 18

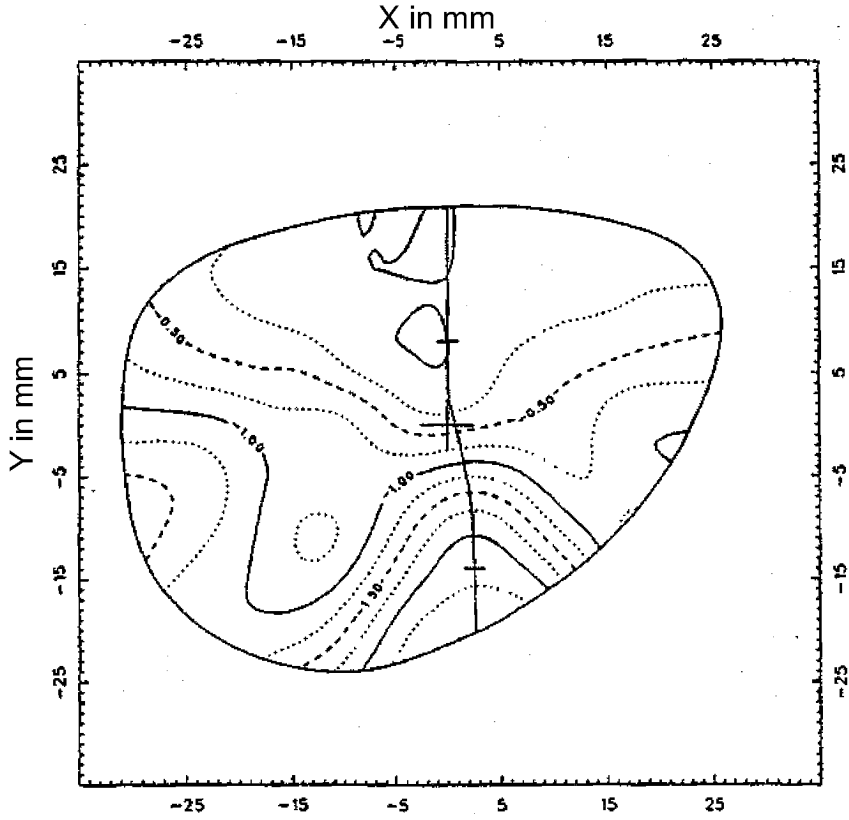


Fig. 19

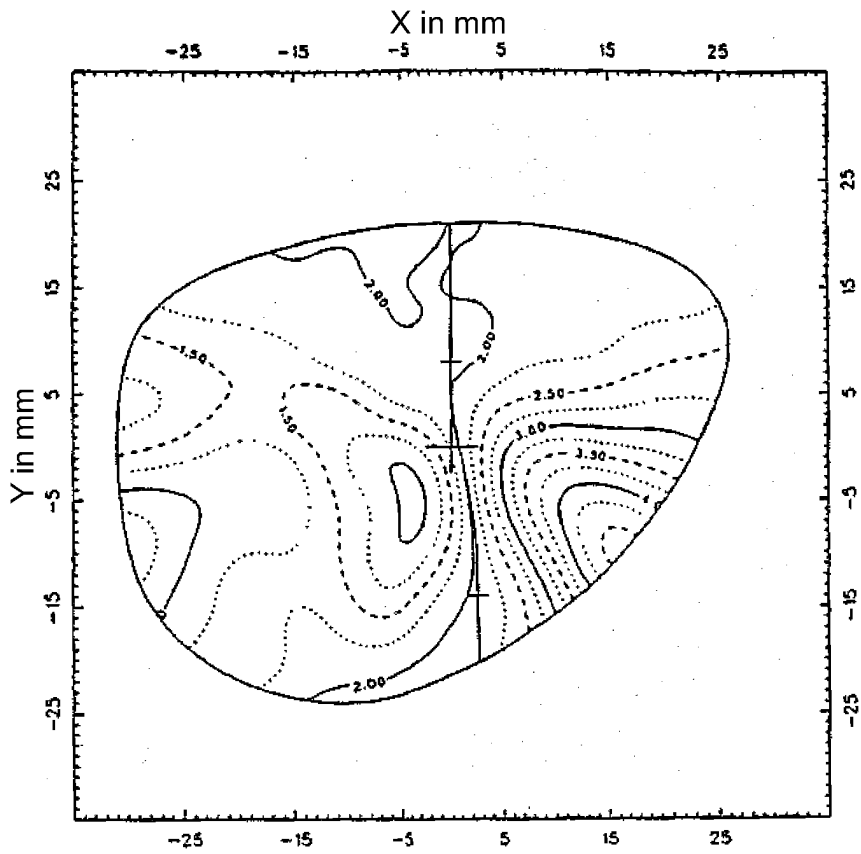


Fig. 20

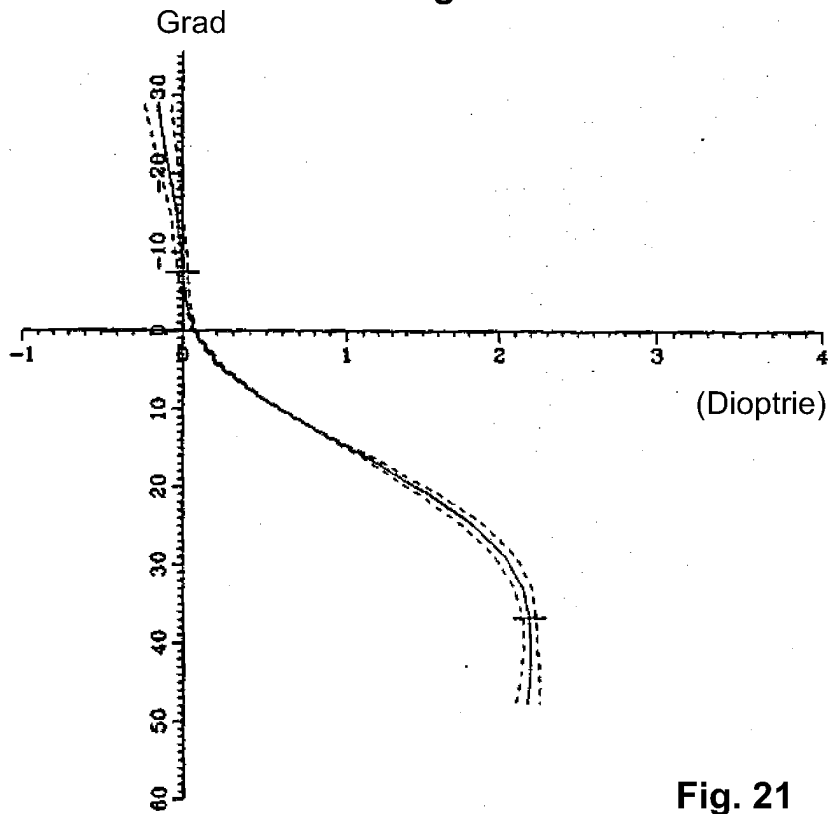


Fig. 21

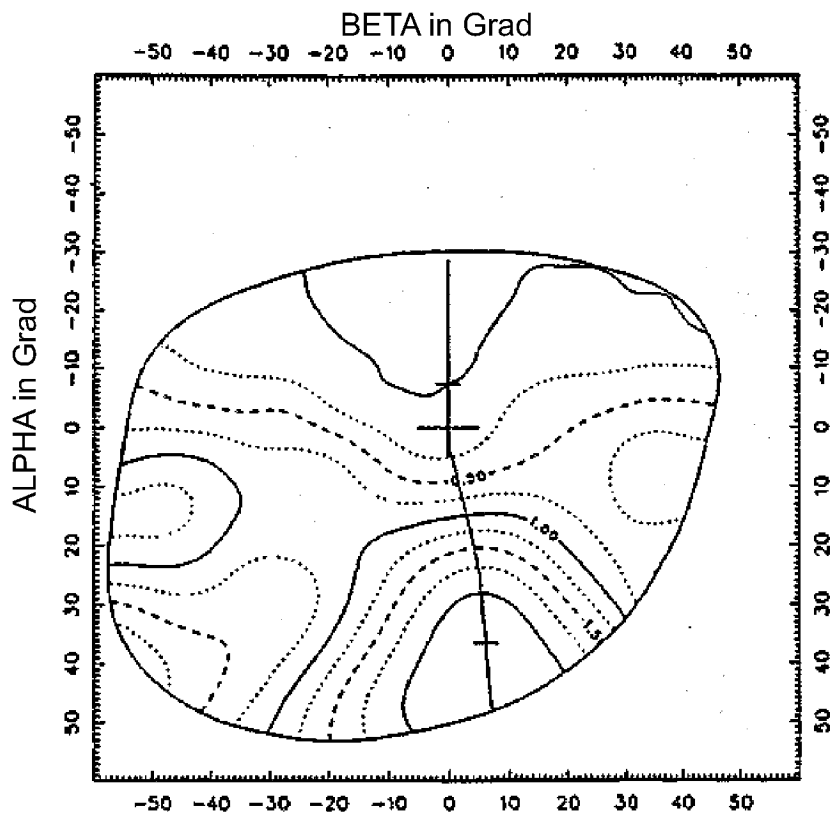


Fig. 22

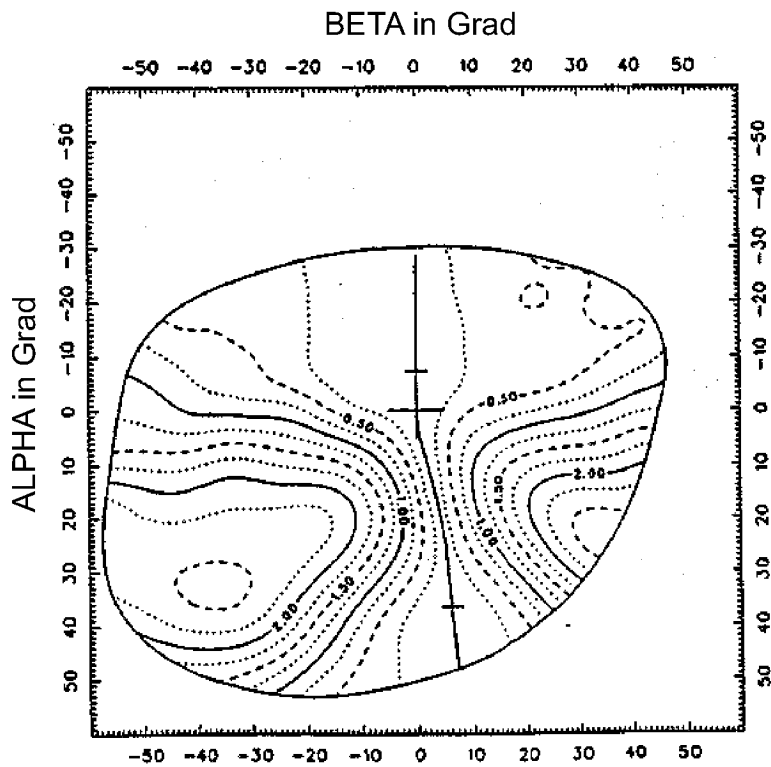


Fig. 23



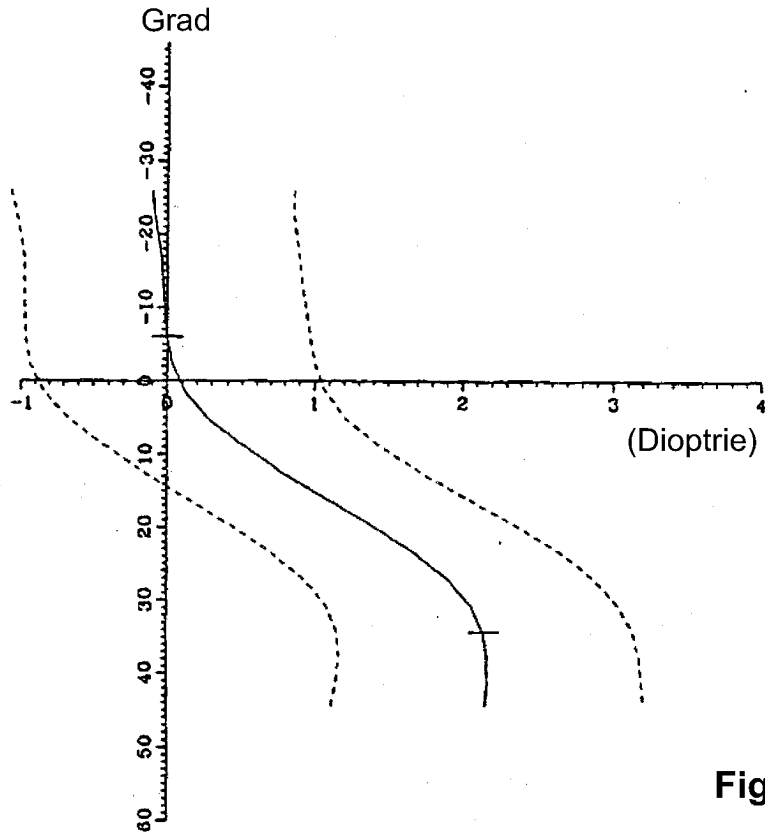


Fig. 24

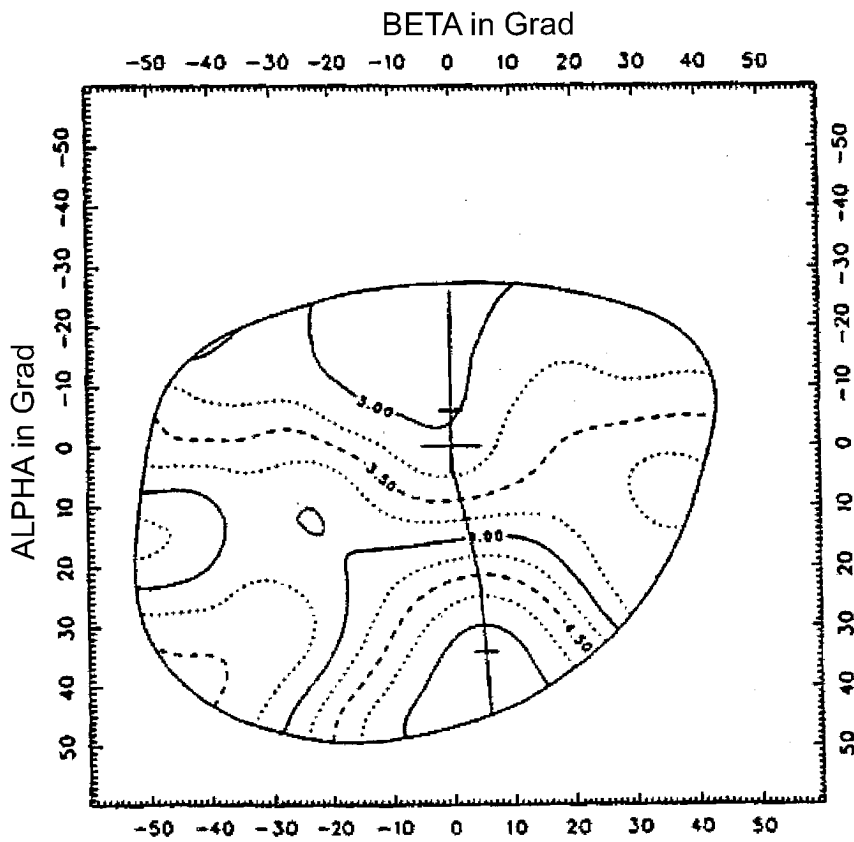


Fig. 25

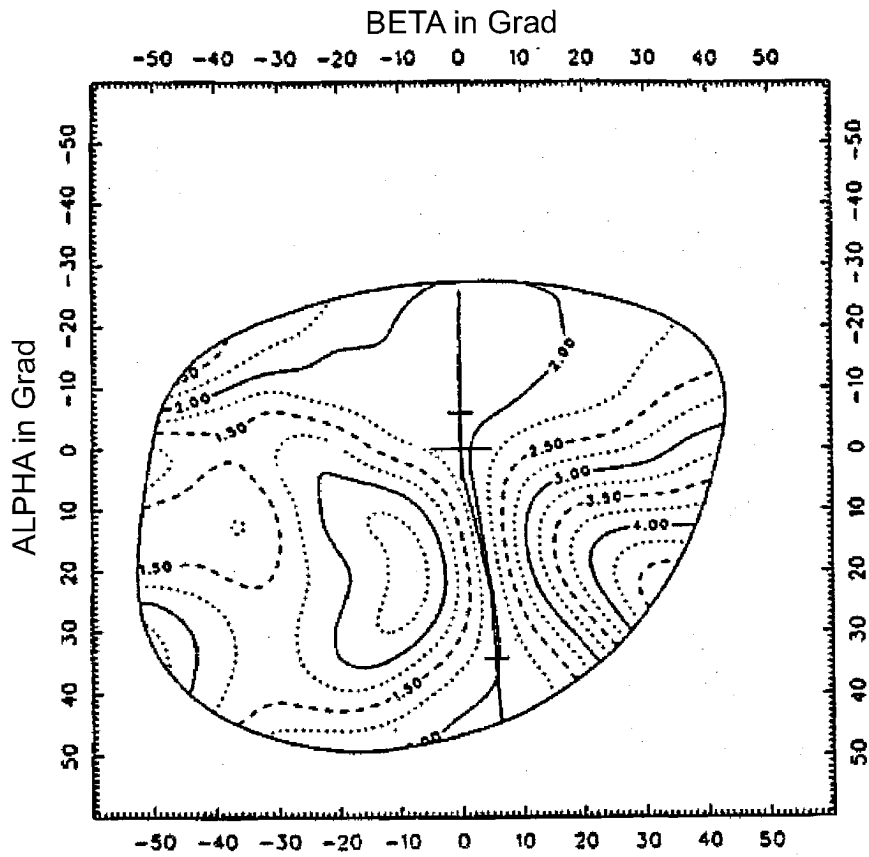


Fig. 26

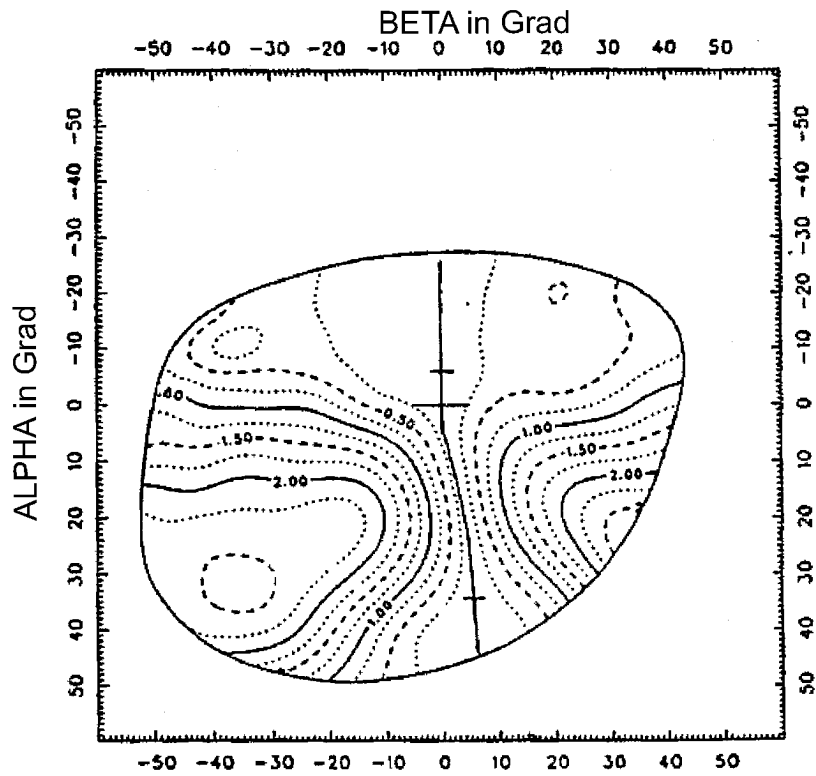


Fig. 27

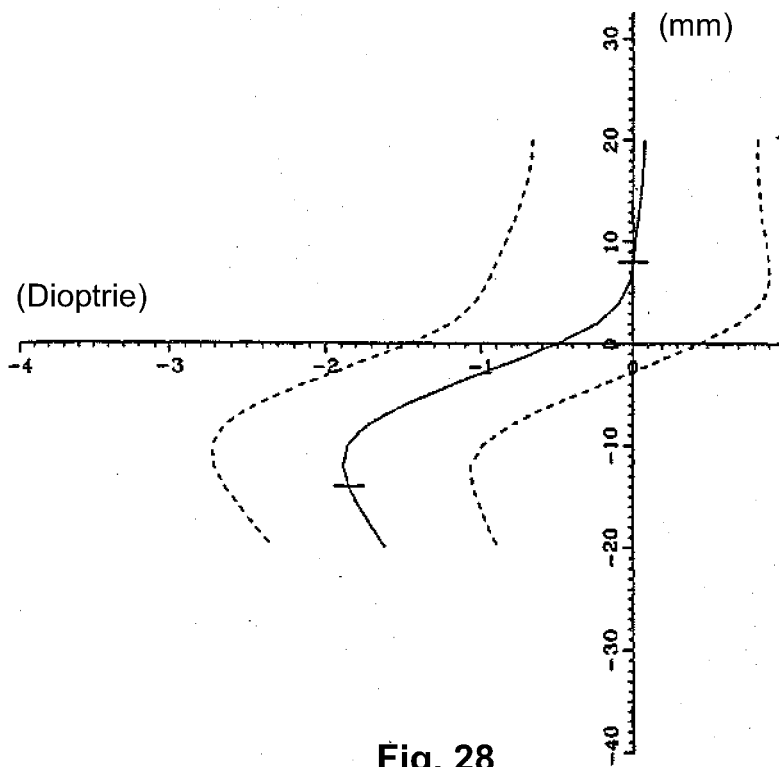


Fig. 28

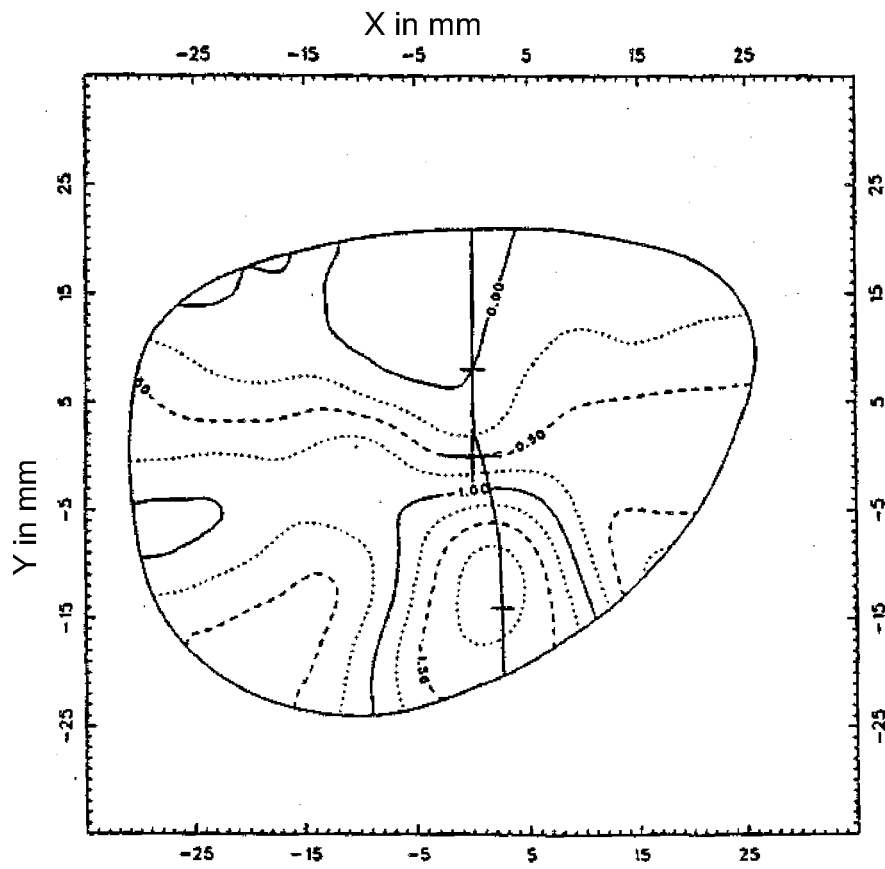


Fig. 29

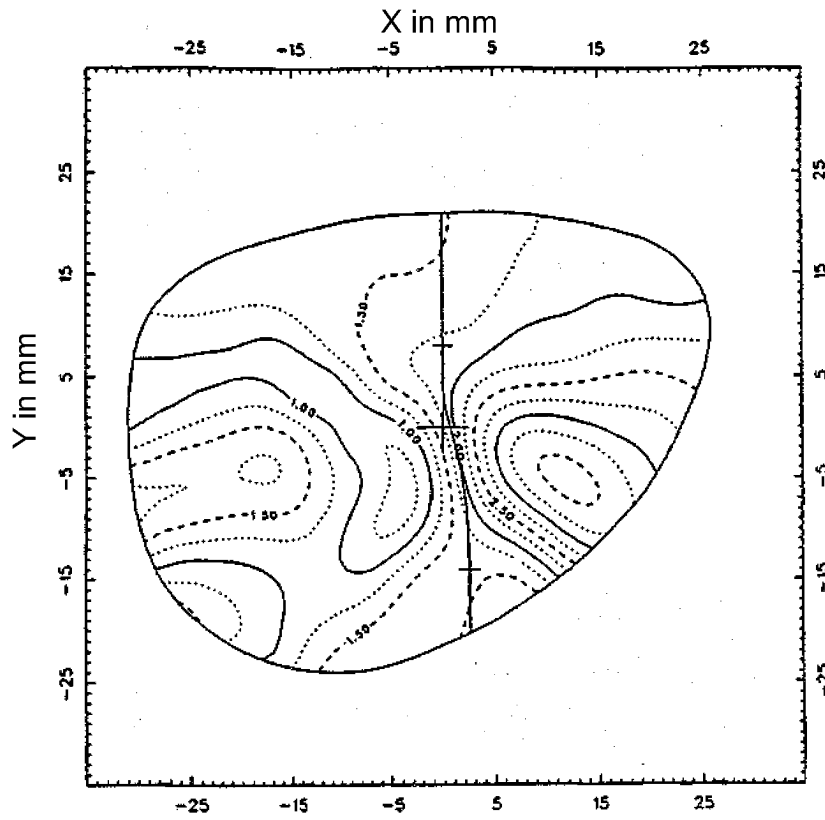


Fig. 30

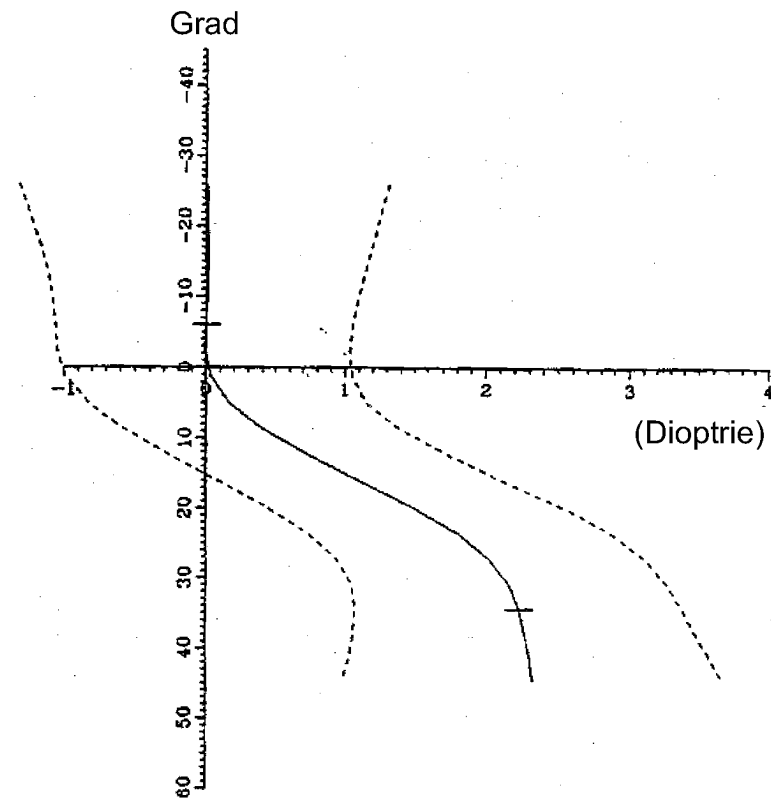


Fig. 31

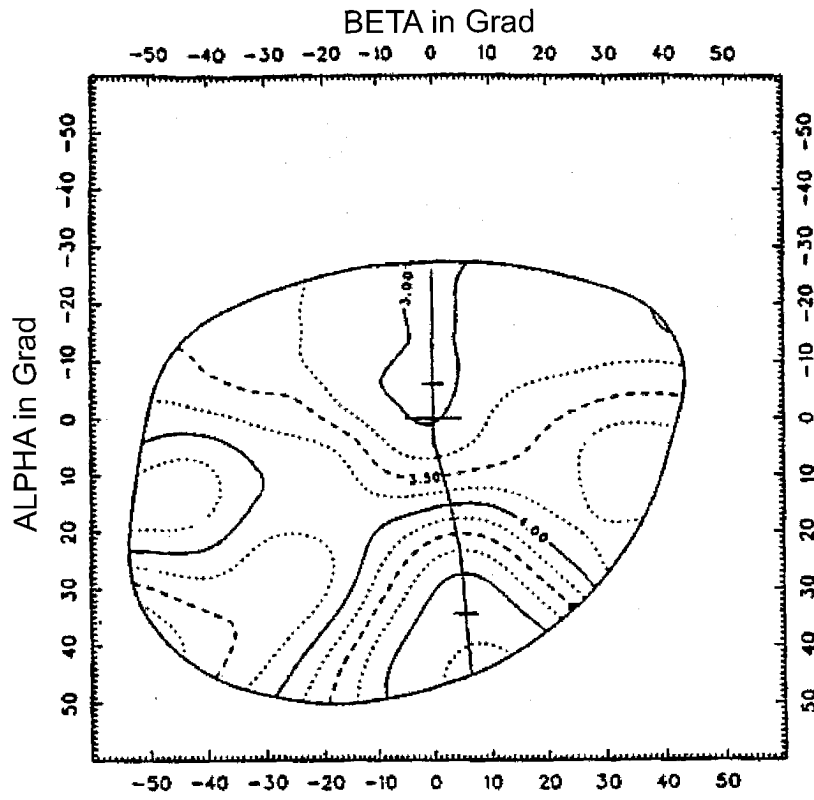


Fig. 32

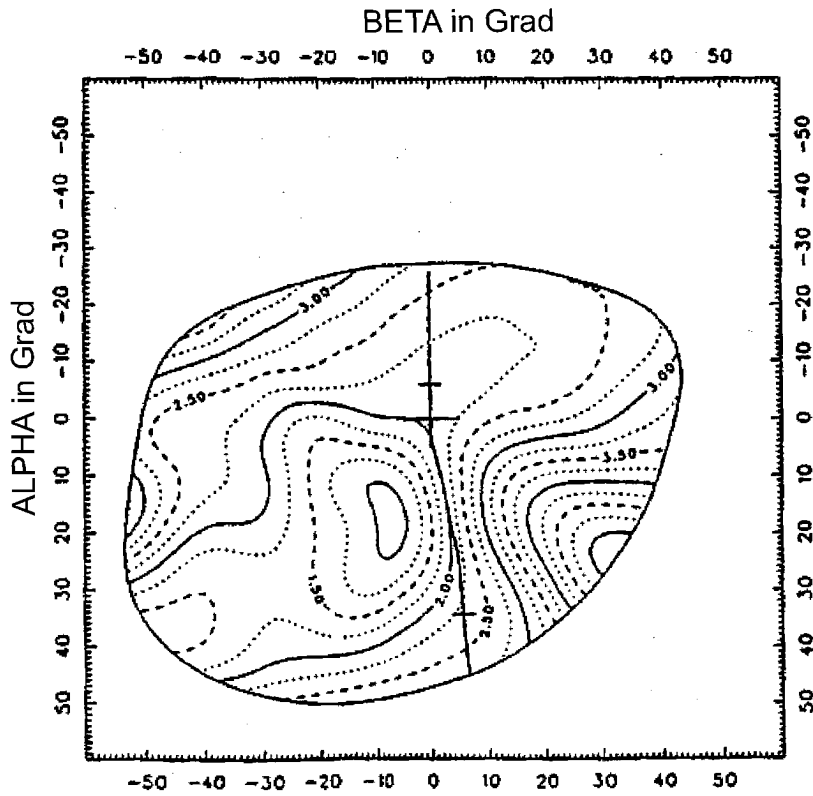


Fig. 33

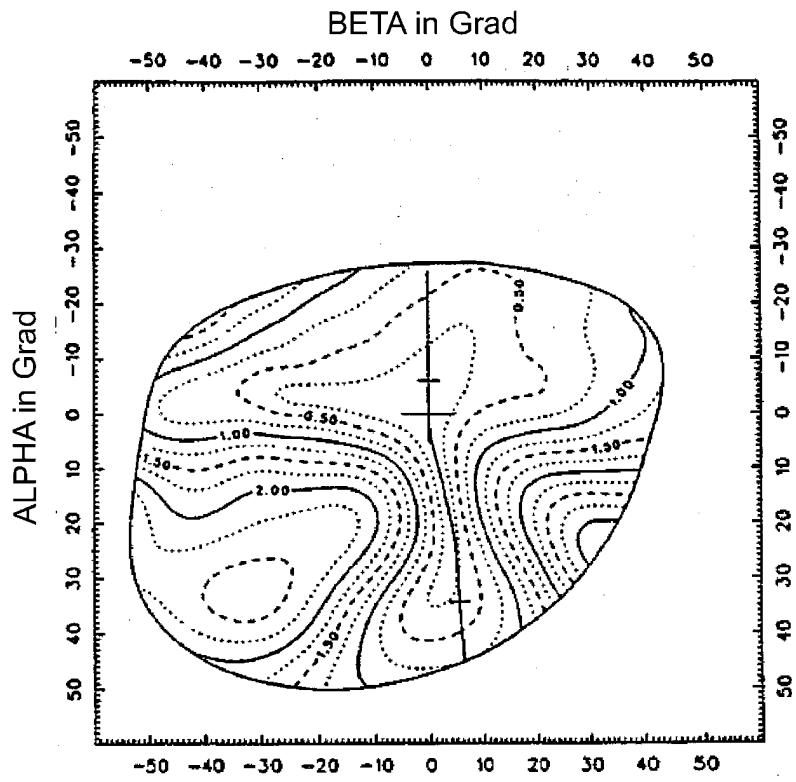


Fig. 34

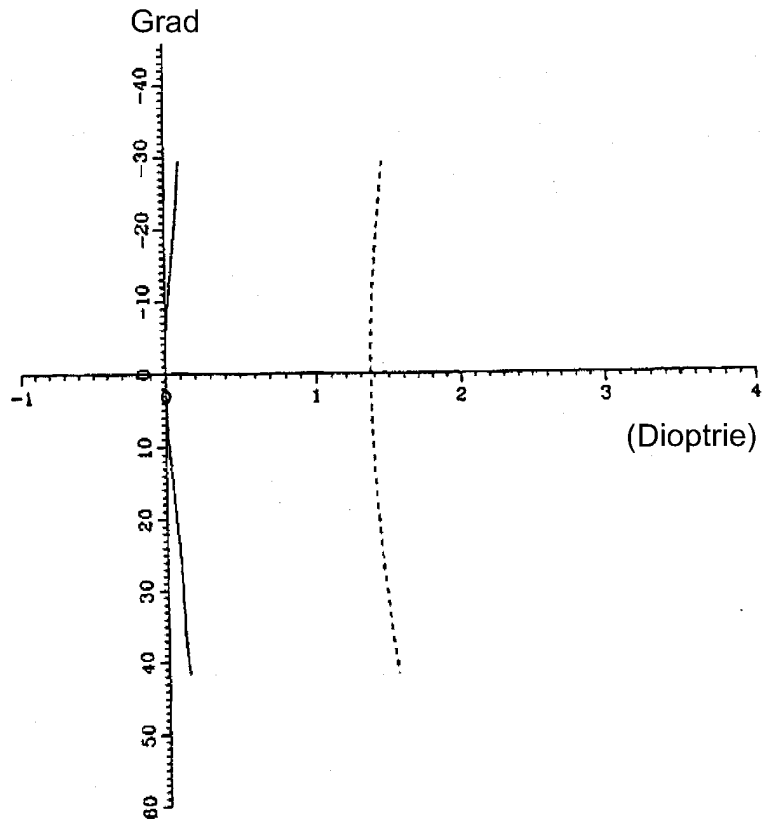


Fig. 35

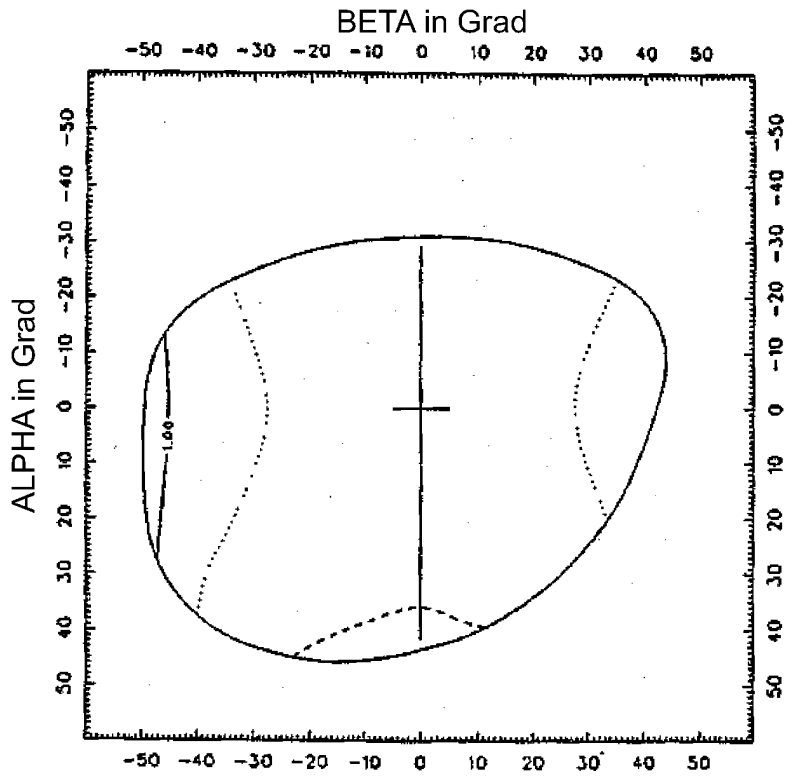


Fig. 36

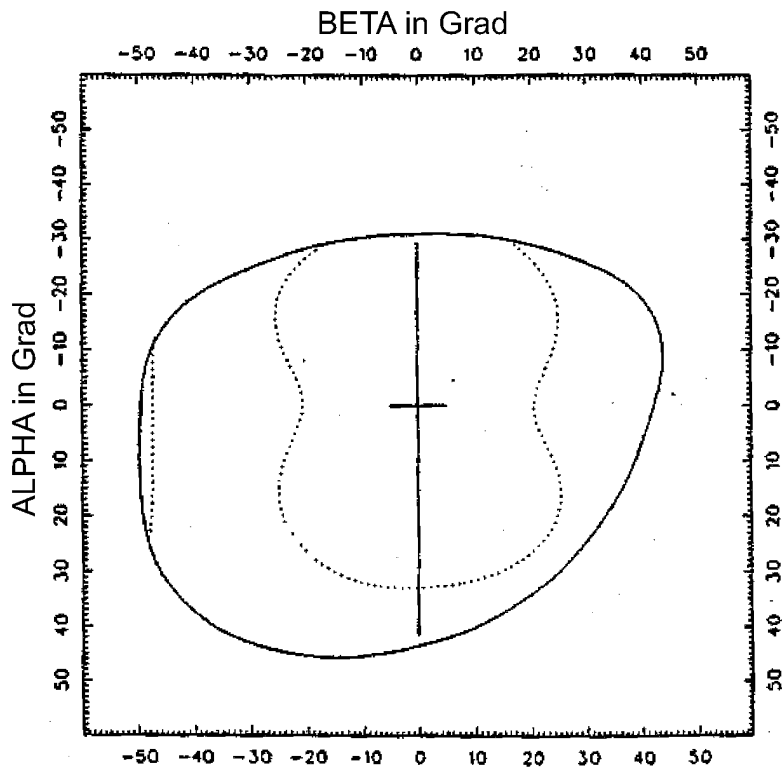


Fig. 37

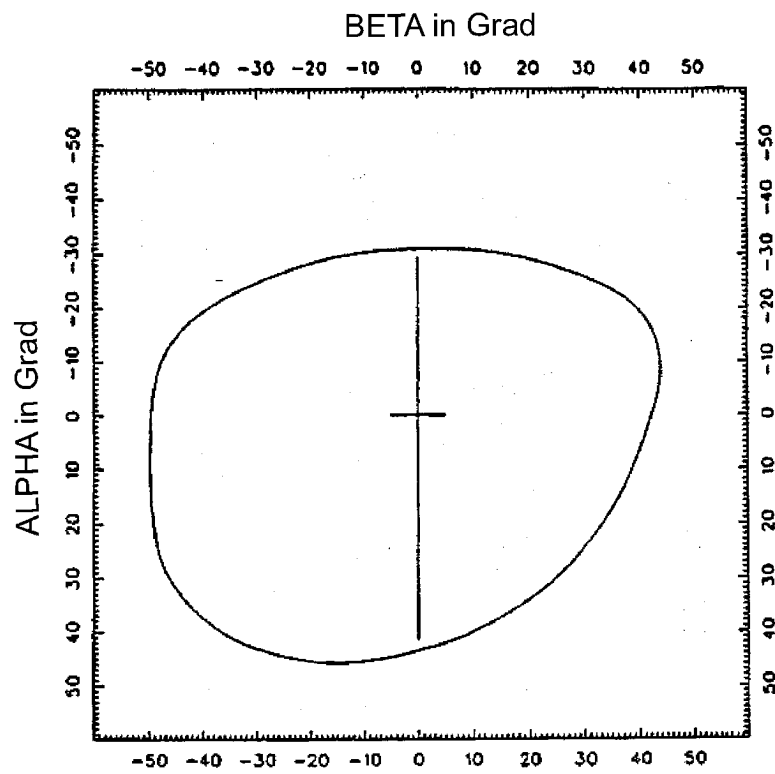


Fig. 38

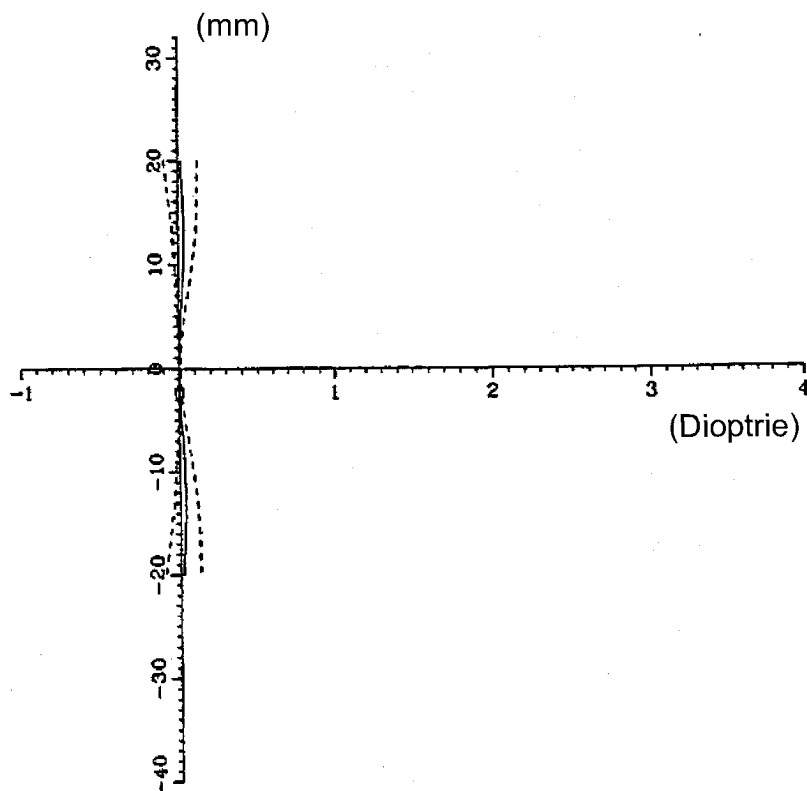
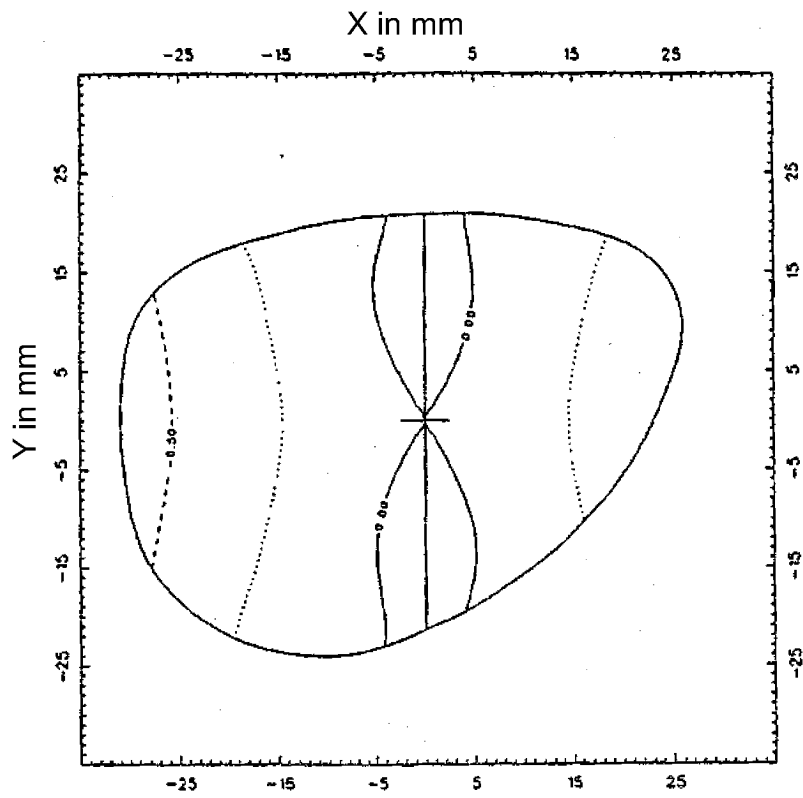
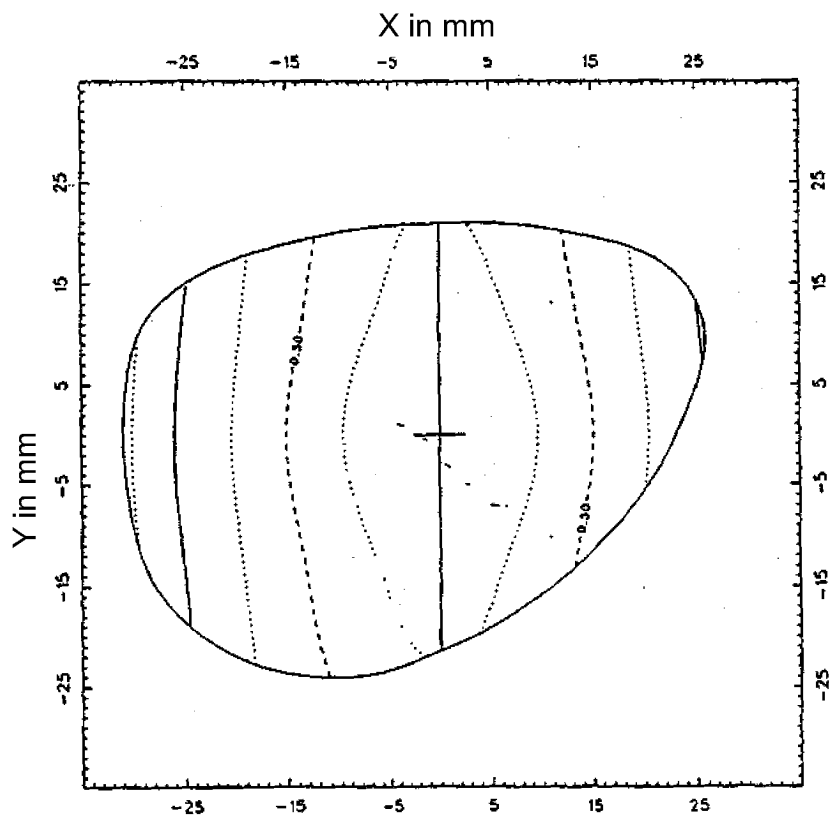


Fig. 39





**Fig. 40**



**Fig. 41**

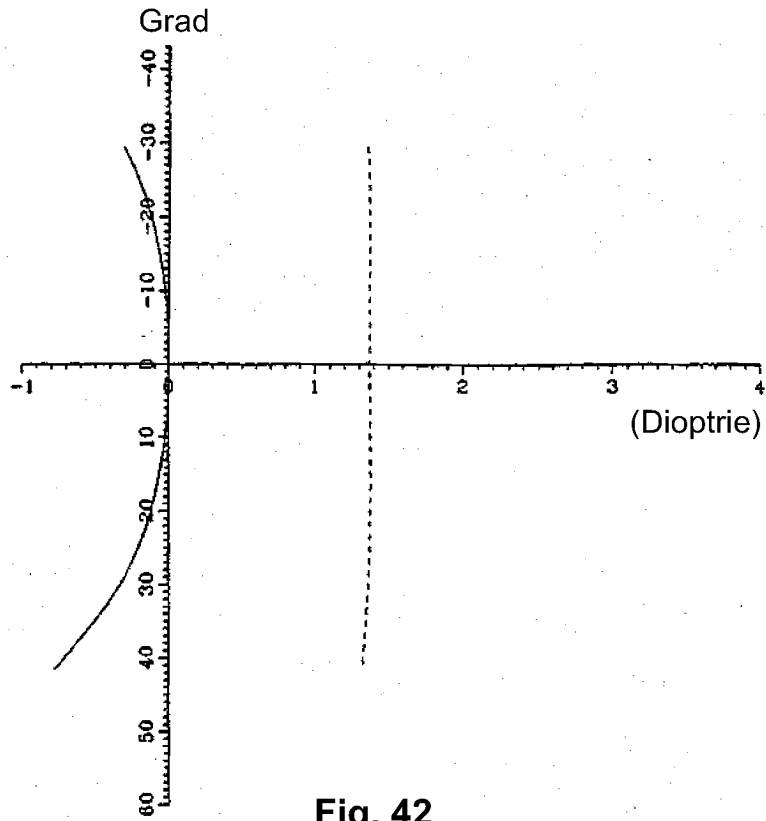


Fig. 42

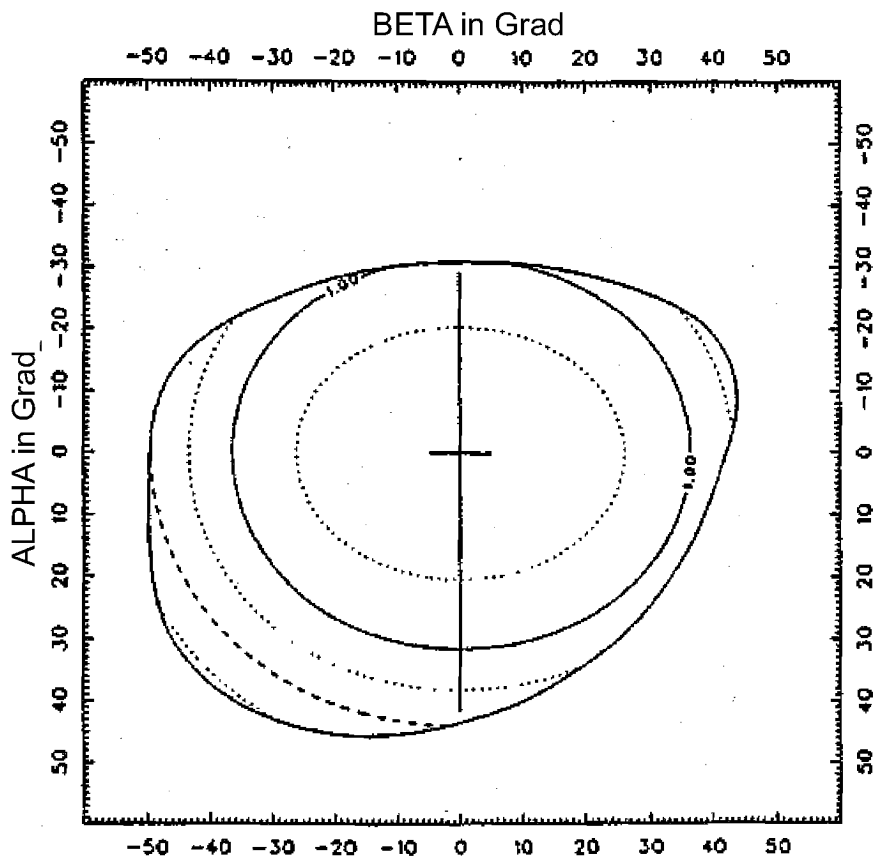


Fig. 43

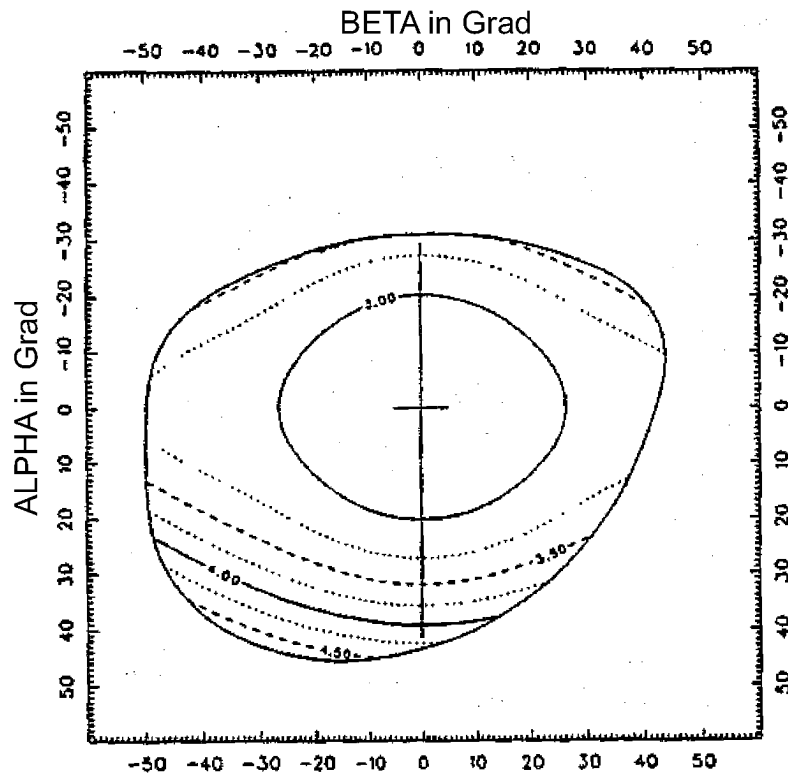


Fig. 44

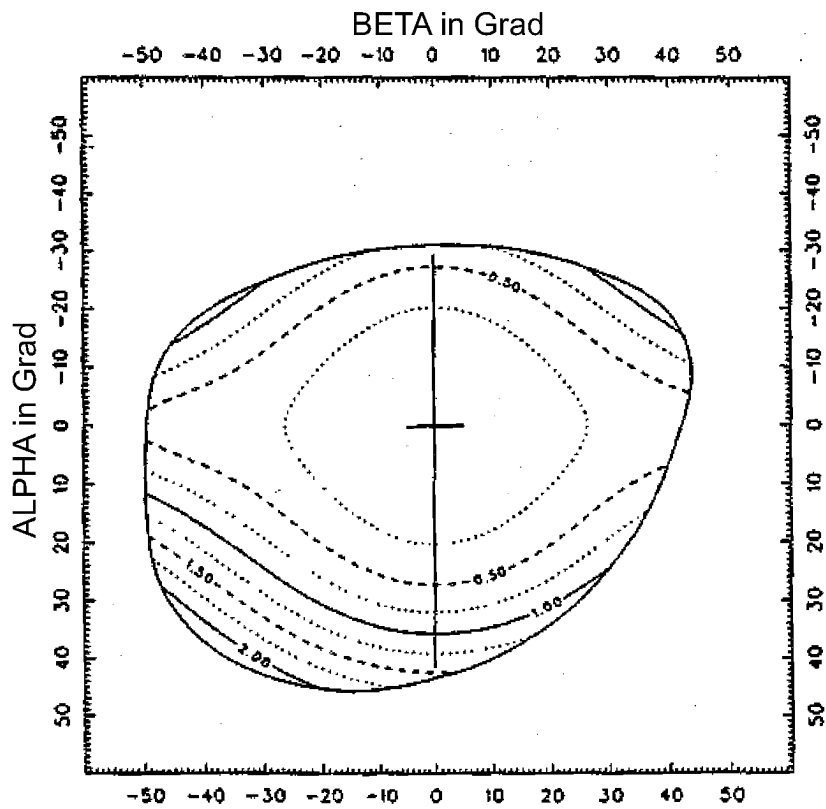


Fig. 45