



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 04 020 T2 2004.06.03**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 157 261 B1**

(51) Int Cl.7: **G01J 9/00**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 04 020.8**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/FR00/00063**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 900 571.1**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 00/42401**

(86) PCT-Anmeldetag: **14.01.2000**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **20.07.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **28.11.2001**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **23.07.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **03.06.2004**

(30) Unionspriorität:
9900366 15.01.1999 FR

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(73) Patentinhaber:
Imagine Optic, Orsay, FR

(72) Erfinder:
**LEVECQ, Jean-François, Xavier, F-91190 Gif sur
Yvette, FR; BUCOURT, Henri, Samuel, F-91440
Bures sur Yvette, FR**

(74) Vertreter:
**GRAMM, LINS & PARTNER GbR, 38122
Braunschweig**

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ANALYSE EINER HOCHDYNAMISCHEN WELLENFRONT**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Analyse einer optischen Wellenfront. Sie stellt eine Verbesserung der Verfahren zur Wellenfrontanalyse dar, die auf der örtlichen Messung der Neigung der Wellenfront beruhen.

[0002] Die Analyse einer Wellenfront durch örtliche Messung der Neigung (die der örtlichen Ableitung der Phase der Wellenfront entspricht) ist beispielsweise das Prinzip der "Shack-Hartmann-Matrix-Wellenfrontanalysatoren" (siehe beispielsweise die Patentanmeldung DE 197 05 119 oder den Artikel "Algorithm to increase the largest aberration that can be reconstructed from Hartmann sensor measurements" von M. C. Roggemann et al., erschienen in APPLIED OPTICS, Band 37, Nr. 20). Diese besitzen im Allgemeinen eine Matrix von sphärischen Mikrolinsen und einen Matrixdetektor, wobei jede Mikrolinse die Einzelfläche der Wellenfront, die von der der Mikrolinse entsprechenden Unterpupille eingefangen wird, fokussiert und auf diese Weise auf dem Detektor einen Lichtfleck bildet. Die örtliche Neigung der Einzelfläche wird aus der Lage des Flecks auf dem Detektor bestimmt. Die eigentliche Analyse der Fläche der Wellenfront, d.h. die Rekonstruktion der Phase der Wellenfront, beispielsweise auf einer Basis von Polynomen, kann durch Integration der örtlichen Messungen der Neigung erhalten werden. Andere Typen von Analysatoren arbeiten auf einer Linie der Wellenfront. In diesem Fall verwendet man beispielsweise linear angeordnete zylindrische Mikrolinsen und einen Detektor mit linearer Geometrie. Auf dieselbe Weise wie bei dem Shack-Hartmann-Matrix-Analysator werden die örtlichen Neigungen der Wellenlinie aus den Lagen der von den Mikrolinsen gebildeten Flecke gemessen.

[0003] Das erfindungsgemäße Verfahren ist allgemein auf jeden Typ von Wellenfrontanalysator anwendbar, der auf der Messung der örtlichen Neigung der Wellenfront beruht. Im Nachstehenden bezeichnet man mit "Mikrolinsenmatrix" jede Einheit von Mikrolinsen, die in diesem Typ Analysator verwendet werden kann, wobei die Mikrolinsen linear oder in einer zweidimensionalen Matrix angeordnet sein können. Ferner spricht man von der Analyse einer "Wellenfront", wobei diese Analyse unterschiedslos einen Teil der Fläche der Wellenfront, insbesondere eine Linie der Wellenfront, oder die gesamte Fläche der Wellenfront betreffen kann.

[0004] **Fig. 1** zeigt eine Einheit ML von Mikrolinsen L_i und einen Detektor DET für die Durchführung eines Verfahrens zur Wellenfrontanalyse der oben beschriebenen Art. Wenn eine Wellenfront F_1 in das System eintritt, bildet jede Mikrolinse auf dem Detektor einen Fleck T_i . Zur Bestimmung der Lage der Flecken geht man im Allgemeinen von der Hypothese aus, dass ein Fleck T_i , der von einer bestimmten Mikrolinse L_i gebildet wird, sich in einer vermuteten Lokalisierungszone Z_i befindet. Diese Lokalisierungszone

wird beispielsweise durch die Projektion der der Mikrolinse L_i entsprechenden Unterpupille SP_i auf den Detektor DET definiert, wie dies in **Fig. 1** dargestellt ist. Diese Hypothese hat den Vorteil, dass die Schaltung zur Lokalisierung der Flecke beträchtlich vereinfacht wird und damit das System schneller gemacht wird. Manchmal ist die Struktur der Mikrolinsenmatrix nicht perfekt und kann örtliche Fehler aufweisen, und zwar beispielsweise Fehler der Anordnung der Mikrolinsen oder der Größe einer Mikrolinse bezüglich einer anderen. Dadurch wird ein Fehler in der Lage des gebildeten Flecks eingeführt. Um diese Art von Problem zu beseitigen, subtrahiert man im Allgemeinen von den Lagen der Flecke, die aus der zu analysierenden Wellenfront gebildet werden, die Lagen der Flecke, die aus einem vollkommen bekannten Bezugsstrahl gebildet werden. Um bei diesem Arbeitsgang keinen Fehler einzuführen, ist es natürlich erforderlich, dass die Lagen von zwei Flecken voneinander subtrahiert werden, die von derselben Mikrolinse gebildet werden. Wenn man von vornherein davon ausgeht, dass ein in einer bestimmten Lokalisierungszone erfasster Fleck von der Unterpupille kommt, die diese Zone definiert, besteht die Gefahr, dass bei der Subtraktionsoperation ein Fehler eingeführt wird, wenn eine Wellenfront beispielsweise eine starke Ablenkung aufweist. Wenn eine Wellenfront F_2 , wie beispielsweise aus **Fig. 1** hervorgeht, eine starke Ablenkung aufweist, befindet sich der von Linse L_i gebildete Fleck T_i in der vermuteten Lokalisierungszone Z_{i+1} , der der Linse L_{i+1} entspricht. Es besteht also (im gewählten Beispiel) eine Versetzung um eine Unterpupille zwischen der Unterpupille SP_i , von der der Fleck T_i kommt, und der Unterpupille SP_{i+1} , die die Lokalisierungszone Z_{i+1} definiert, in der sich der Fleck T_i tatsächlich befindet.

[0005] Natürlich bemüht man sich immer, einwandfreie Mikrolinsenmatrizen zu erhalten, und die Technologie macht in dieser Richtung auch Fortschritte. Das Problem, das darin besteht, die Entsprechung zwischen einem erfassten Fleck und der Unterpupille, von der er kommt, mit Sicherheit zu kennen, stellt sich immer, und zwar beispielsweise dann, wenn man eine exakte Messung der Ablenkung mit Hilfe einer Vorrichtung sucht, die eine große Dynamik besitzen soll, d.h. eine Vorrichtung, die Wellenfronten analysieren kann, die unter anderem starke Ablenkungen aufweisen. In diesem Fall ist es, um diese Entsprechung mit Sicherheit zu kennen, erforderlich, die Versetzung zwischen der Unterpupille, von der der Fleck kommt, und der Unterpupille, die die vermutete Lokalisierungszone definiert, in der sich der Fleck befindet, messen zu können.

[0006] Eine Lösung wird diesbezüglich von der Firma Adaptive Optics Associates (AOA, Cambridge, MA), vorgeschlagen. Diese Lösung wird in Anwendung auf einen Wellenfrontanalysator vom Typ Shack-Hartmann-Matrix in dem Artikel "Hartmann sensors detect optical fabrication errors" (LASER FOCUS WORLD, April 1996) erläutert. Sie besteht

darin, dass der Detektor während der Messung der Matrix von Mikrolinsen so angenähert wird, dass der gesamte von einer Unterpupille gesammelte Fluss, unabhängig von der örtlichen Neigung der Wellenfront, die man analysiert, sich vollständig auf der von dieser Unterpupille definierten vermuteten Lokalisierungszone befindet. Dann entfernt man den Detektor von der Mikrolinsenmatrix bis in seine normale Arbeitsstellung, indem man der Lage des Flecks folgt. Man kann auf diese Weise feststellen, ob er die Zone wechselt. Diese Lösung besitzt Nachteile. Sie erfordert insbesondere eine Verschiebung des Detektors, was mechanische Belastungen im System mit sich bringt, sowie die Gefahr, dass infolge eines eventuellen Ablenkens des Detektors oder einer schlechten axialen Rückstellung bei der Bewegung bei der Messung ein Fehler eingeführt wird. Andererseits muss diese Kalibrierungsoperation bei jeder Analyse einer neuen Wellenfront wiederholt werden. Da die Entsprechung zwischen dem Fleck und der Mikrolinse, von der er kommt, bestimmt wird, indem man der Lage dieses Flecks folgt, ist die Entsprechung selbst während der Analyse einer Wellenfront nicht mehr sicher, wenn diese Lage verloren wird (beispielsweise weil der Fluss momentan unerbunden ist), so dass die Kalibrierung zu wiederholen ist.

[0007] Um diese Nachteile zu beseitigen, schlägt die Erfindung eine andere Lösung vor, die eine exakte Messung der Parameter der Wellenfront und insbesondere ihrer Ablenkung gestattet. Sie besteht darin, dass eine Mikrolinsenmatrix gewählt wird, die eine oder mehrere örtliche Änderungen ihrer Struktur aufweist. Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann jede örtliche Änderung eine Positionierungsabweichung einer oder einiger Mikrolinsen sein. Diese Änderung kann ein nicht gewünschter Fehler der Matrix oder eine bei der Herstellung gesteuert eingeführte örtliche Änderung sein. Indem man die Lagen der von einer zu analysierenden Wellenfront gebildeten Flecke mit den Lagen der Flecken vergleicht, die beispielsweise aus einer bekannten Bezugswellenfront gebildet werden, kann man dank des Vorhandenseins der örtlichen Änderung der Struktur, durch die beispielsweise Änderungen in den Lagen von manchen Flecken eingeführt wird, die eventuelle Versetzung zwischen der Unterpupille, von der ein erfasster Fleck kommt, und der Unterpupille messen, die die vermutete Lokalisierungszone definiert, in der sich der Fleck befindet.

[0008] Die Erfindung betrifft, genauer gesagt, ein Verfahren zur Analyse einer Wellenfront, das auf der örtlichen Messung der Neigung der Wellenfront beruht und das einen Schritt der Erfassung der Wellenfront umfasst, der im Folgenden besteht:

- einen Schritt der Erfassung der Wellenfront insbesondere mit Hilfe einer Matrix von Mikrolinsen, eines Detektors und von Mitteln zur Verarbeitung des Signals; jede Mikrolinse bildet eine indexierte Unterpupille und fokussiert eine von der Unterpupille eingefangene Einzelfläche der Wellenfront;

ein Fleck wird auf dem Detektor gebildet, der ein Signal liefert; für jede Unterpupille wird eine vermutete Zone der Lokalisierung des Flecks auf dem Detektor bestimmt.

- einen Schritt der Verarbeitung des von dem Detektor gelieferten Signals, der insbesondere die Erstellung einer Messdatei gestattet; diese Datei ordnet insbesondere jeder Unterpupille, in deren Lokalisierungszone ein Fleck erfasst wird, die Lage dieses Flecks zu, wobei jede Unterpupille durch ihren Index gekennzeichnet ist.

[0009] Das Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass es außerdem folgendes umfasst:

- die vorhergehende Wahl einer Matrix von Mikrolinsen, die mindestens eine örtliche Änderung ihrer Struktur aufweist,
- einen vorhergehenden Schritt der Charakterisierung dieser Matrix, der die Erstellung einer Bezugsdatei gestattet, die insbesondere jeder durch ihren Index gekennzeichneten Unterpupille die Lage des Flecks zuordnet, der von dieser Unterpupille kommt, wenn die Unterpupille durch eine bekannte Wellenfront beleuchtet wird, wobei die Daten der Datei einen Anteil umfassen, der durch die örtliche Änderung der Struktur der Matrix verursacht wird,
- bei jeder Analyse einer Wellenfront
 - die Erstellung einer Messdatei, wobei die Daten der Datei auch einen durch die örtliche Änderung der Struktur der Matrix verursachten Anteil umfasst,
 - den Vergleich dieser in jeder der beiden Dateien genommenen Anteile, wobei dieser Vergleich gestattet, die eventuelle Versetzung in der Anzahl von Unterpupillen zwischen diesen beiden Anteilen zu bestimmen und daraus auf sichere Weise die Entsprechung zwischen dem erfassten Fleck und der Unterpupille, von der er kommt, abzuleiten,
 - wenn diese Entsprechung bekannt ist, die Berechnung der mittleren Neigung der Wellenfront auf jeder Einzelfläche, die von jeder durch die Wellenfront beleuchteten Unterpupille eingefangen wird, aus der Messdatei und aus der Bezugsdatei.

[0010] Das erfindungsgemäße Verfahren gestattet auf diese Weise ohne Bewegung des Detektors, die Entsprechung zwischen einem erfassten Fleck und der Unterpupille, von der er kommt, zu bestimmen, ohne dass bei jeder Analyse einer Wellenfront eine neue Kalibrierungsoperation vorgenommen werden muss. Dies gestattet insbesondere die genaue Messung der Ablenkung einer einfallenden Wellenfront und verleiht auf diese Weise dem Analysator eine sehr hohe Messdynamik. Die Erfindung betrifft ferner eine Vorrichtung zur Analyse einer Wellenfront zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, die in Anspruch 8 definiert wird. Weitere Vorteile und

Merkmale der Erfindung ergeben sich klarer aus der folgenden Beschreibung, die durch die folgenden beiliegenden Figuren illustriert wird, in denen zeigen: [0011] **Fig. 1** (bereits beschrieben) eine Mikrolinsenmatrix und einen Detektor zur Durchführung eines Verfahrens zur Wellenfrontanalyse gemäß dem Stand der Technik,

[0012] **Fig. 2A bis 2D** ein Beispiel der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0013] **Fig. 3** ein Übersichtsschema eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0014] Die erfindungsgemäße Vorrichtung besitzt insbesondere eine Matrix ML von Mikrolinsen L_i (vgl. **Fig. 1**), einen Detektor DET und Mittel (nicht dargestellt) zur Verarbeitung des von dem Detektor gelieferten Signals. Jede Mikrolinse L_i bildet eine Unterpupille SP_i , die beispielsweise durch eine ganze Zahl von 1 bis n indexiert ist, wobei n die Anzahl von Mikrolinsen der Matrix ist. Bei der Analyse einer Wellenfront fokussiert jede durch die Wellenfront beleuchtete Mikrolinse L_i eine Einzelfläche der Wellenfront, die von der von dieser Mikrolinse gebildeten Unterpupille SP_i eingefangen wird, um auf dem Detektor einen Fleck T_i zu bilden. Die Verarbeitungsmittel gestatten die Verarbeitung des von dem Detektor gelieferten Signals, um insbesondere eine Messdatei zu erstellen, die jeder Unterpupille, in deren Lokalisierungszone ein Fleck erfasst wird, die Lage dieses Flecks zuzuordnen. Die Lage jedes Flecks auf dem Detektor wird beispielsweise bestimmt, indem der Schwerpunkt der den Fleck bildenden räumlichen Lichtenergieverteilung betrachtet wird. Wir haben oben gesehen, dass die einer Unterpupille SP_i entsprechende vermutete Lokalisierungszone (in **Fig. 1** mit Z_i bezeichnet) durch die Projektion der Unterpupille SP_i auf den Detektor DET definiert werden kann. In diesem Fall ist sie von der einfallenden Wellenfront unabhängig. Die Lokalisierungszone kann anders definiert werden. Sie kann beispielsweise "schwimmend" sein, d.h. man definiert die vermutete Lokalisierungszone einer Unterpupille ausgehend von der Lage des Flecks, der von einer benachbarten Unterpupille kommt. In diesem Fall hat jede Lokalisierungszone beispielsweise dieselbe Abmessung, die Lage der Lokalisierungszone jeder Unterpupille hängt jedoch von der Form der einfallenden Wellenfront ab. Gemäß einem Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung geht man davon aus, dass diese Mikrolinsen im Wesentlichen gleiche Abmessungen haben und dass der Schritt der Matrix, der durch den Abstand zwischen den optischen Mittelpunkten von zwei benachbarten Mikrolinsen definiert wird, im Wesentlichen konstant ist.

[0015] Im erfindungsgemäßen Verfahren besitzt die Matrix ML von Mikrolinsen mindestens eine örtliche Änderung ihrer Struktur. Die Struktur der Matrix betrifft die Anordnung der Mikrolinsen zueinander sowie die mikrolinseneigenen Parameter: Größe, Transmission usw. Unter örtlicher Änderung der Struktur versteht man auch beispielsweise eine Änderung der

Positionierung, der Größe oder der Transmission einer der Mikrolinsen oder einiger benachbarter Mikrolinsen. Diese Änderung kann beispielsweise ein nicht gewollter Fehler der Matrix der Mikrolinsen, ein Fehler aufgrund der Nicht-Reproduzierbarkeit des Verfahrens zur Herstellung der Matrix, sein. Es kann sich auch um eine vollkommen gesteuerte Änderung handeln, die man bei der Herstellung absichtlich einführt. Im Folgenden betrachten wir das Beispiel einer Mikrolinsenmatrix mit im Wesentlichen konstantem Schritt, wobei die örtliche Änderung in einer Abweichung der Positionierung von einigen benachbarten Mikrolinsen bezüglich der erwarteten Lage dieser Mikrolinsen besteht.

[0016] In diesem Beispiel äußert sich eine Änderung der Struktur bei der Analyse einer Wellenfront durch Abweichungen der Lagen der Flecken auf dem Detektor, die von den Unterpupillen kommen, die an dieser Änderung beteiligt sind. Bei dem gewählten Ausführungsbeispiel betrachtet man eine örtliche Änderung der Struktur der Matrix, die bei der Herstellung gesteuert eingeführt wurde. **Fig. 2A** zeigt, wenn die Mikrolinsenmatrix durch eine ebene Wellenfront beleuchtet wird, ein Beispiel einer Verteilung der Abweichungen der Lagen der Flecke bezüglich ihrer erwarteten Lagen, wenn der Schritt der Matrix vollkommen konstant war, in Abhängigkeit von dem Index (von 1 bis n) der Unterpupillen, von denen die Flecke kommen. Die Lageabweichung, die in **Fig. 2A** in willkürlichen Einheiten (w.E.) angegeben wird, wird beispielsweise durch einen Abmessungsbruchteil eines Einzeldetektors gemessen. Allgemein darf die in der erfindungsgemäßen Vorrichtung verwendete örtliche Änderung der Matrix, die sich hier in einer bestimmten Verteilung der Abweichungen der Lagen der Flecke äußert, bei der Analyse einer Wellenfront nicht als eine Komponente dieser Wellenfront interpretiert werden können. Mit anderen Worten, die Verteilung der Abweichungen der Lagen der Flecken, die sich aus der Erfassung der zu analysierenden Wellenfront ergibt, muss von der aus der örtlichen Änderung resultierenden Verteilung unterschieden werden können. Dies ist möglich, denn um richtig analysiert werden zu können, muss eine einfallende Wellenfront langsame Änderungen ihrer Neigung bezüglich der Größe der Unterpupillen aufweisen, was sich in langsamen Schwankungen der Verteilung der Abweichungen der Lagen der Flecke in Abhängigkeit von dem Index der Unterpupillen äußert. Auf diese Weise muss bei dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung die Änderung der Struktur der Matrix so beschaffen sein, dass sie sich in der Verteilung der Abweichungen der Lagen der Flecke durch schnellere Schwankungen äußert, oder sie muss sich, wenn man sich auf der Frequenzebene bewegt, indem man die Spektralverteilung der Abweichungen betrachtet, durch Frequenzkomponenten äußern, die höher als die durch die zu analysierende Wellenfront erzeugten Frequenzkomponenten sind. Die Form der in **Fig. 2A** dargestellten

Verteilung bildet ein Beispiel; sofern die Änderung örtlich bleibt, sind auch andere Formen von Verteilungen akzeptabel.

[0017] Bei dem in **Fig. 2A** dargestellten Beispiel betrachtet man eine einzige örtliche Änderung der Struktur. Die Matrix kann vorteilhafterweise davon mehrere aufweisen, so dass, selbst wenn sie durch die einfallende Wellenfront nicht ganz beleuchtet wird, mindestens eine dieser örtlichen Änderungen beleuchtet ist. In diesem Fall muss die Gesamtheit der Änderungen so beschaffen sein, dass sie sich auch in der Spektralverteilung der Abweichungen in Frequenzen äußert, die höher als die Frequenz der zu analysierenden Wellenfront sind.

[0018] **Fig. 3** zeigt ein Übersichtsschema eines Beispiels der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, das an das oben beschriebene Beispiel angepasst ist. Erfindungsgemäß umfasst das Verfahren, abgesehen von der vorhergehenden Wahl **30** der Matrix ML, die mindestens eine örtliche Änderung seiner Struktur aufweist, einen Schritt **31** der Charakterisierung dieser Matrix ML. Dieser Schritt gestattet die Erstellung einer Bezugsdatei (**32**), die in dem gewählten Beispiel jeder durch ihren Index gekennzeichneten Unterpupille die Lage des Flecks zuordnet, der von dieser Unterpupille kommt, wenn diese von einer bekannten Wellenfront beleuchtet wird. Die Daten der Bezugsdatei umfassen einen Anteil, der durch die örtliche Änderung der Struktur der Matrix verursacht wird. Auf diese Weise kann man bei der Analyse einer Wellenfront den Anteil dieser örtlichen Änderung in den Lagen der Flecke auf dem Detektor kennen. Dieser Schritt der Charakterisierung der Mikrolinsenmatrix wird einmal vor oder bei Einbau der Matrix in den Analysator durchgeführt und muss im Laufe der normalen Verwendung des Analysators nicht wiederholt werden. Es genügt, die Bezugsdatei gespeichert zu halten. Sie wird bei jeder Analyse einer Wellenfront verwendet. Es sind mehrere Methoden zur Charakterisierung der Matrix möglich. Wenn das Herstellungsverfahren vollkommen gesteuert ist, so dass man die Struktur der Matrix genau kennt und die in diese Struktur eingeführten örtlichen Änderungen beherrscht, kann die Bezugsdatei theoretisch erstellt werden, indem man die Lage des Flecks errechnet, der von jeder Unterpupille kommt, wenn die Matrix beispielsweise von einer ebenen Wellenfront und ohne Ablenkung beleuchtet wird. Wie in dem Beispiel von **Fig. 2A** kann die Lage der Flecke als Lageabweichung ausgedrückt werden, wenn beispielsweise der Schritt der Mikrolinsenmatrix konstant ist. In dem Beispiel von **Fig. 2A** wird die Abweichung der Lage jeder Unterpupille in Abhängigkeit von dem Index dieser Unterpupille in dem Fall bestimmt, in dem die Matrix von einer ebenen Wellenfront ohne Ablenkung beleuchtet wird. Wenn das Herstellungsverfahren nicht vollständig gesteuert ist, muss man die Struktur der Matrix nach Herstellung analysieren. Dies kann mit jedem bekannten Charakterisierungsmittel vorgenommen werden. Auf vorteilhafte Weise ist es mög-

lich, die Bezugsdatei zu erstellen, indem man an den Analysator, in dem sich die Matrix befindet, eine bekannte Wellenfront anlegt. Dies hat den Vorteil, dass die Matrix charakterisiert werden kann, nachdem sie in dem Analysator angeordnet wurde. Diese Wellenfront ist beispielsweise eine sphärische Wellenfront, deren Kenngrößen genau beherrscht werden. Die Bezugsdatei gestattet also die Identifizierung der örtlichen Änderung, gleichgültig, ob sie nun ein nicht gesteuerter Fehler der Struktur oder eine bei der Herstellung eingeführte Änderung ist. Die Bezugsdatei enthält auch den Anteil von eventuellen langsamen Änderungen der Struktur der Matrix, die bei der Analyse einer Wellenfront zu berücksichtigen sind.

[0019] Darauf folgt die Analyse **33** einer in den Analysator einfallenden Wellenfront. Das zur Veranschaulichung des erfindungsgemäßen Verfahrens gewählte Beispiel ist das Beispiel einer Wellenfront, die Krümmung und Ablenkung aufweist. Der erste Schritt der Analyse ist die Erfassung **34** der Wellenfront. Sie besteht in einer Erfassung der Wellenfront mit Hilfe insbesondere der Matrix ML der erfindungsgemäßen Vorrichtung, dann einem Schritt der Verarbeitung des von dem Detektor gelieferten Signals, der durch die Verarbeitungsmittel der erfindungsgemäßen Vorrichtung durchgeführt wird und die Erstellung der Messdatei **35** gestattet. Die Messdatei ordnet jeder Unterpupille, in dessen vermuteten Lokalisierungszone ein Fleck erfasst wurde, die Lage dieses Flecks zu. Die Messdatei enthält auf diese Weise für jede dieser durch ihren Index gekennzeichneten Unterpupillen die Lage des entsprechenden Flecks. **Fig. 2B** zeigt den Inhalt der Messdatei im Fall des Beispiels der gewählten Wellenfront in Form einer Kurve **22**, die mit Hilfe der Mikrolinsenmatrix analysiert wurde, die durch die Bezugsdatei charakterisiert wird (dargestellt durch die Kurve **21** von **Fig. 2A**). Die Krümmung der Wellenfront äußert sich in einer linearen Verteilung der Abweichung der Lage der Flecke in Abhängigkeit von dem Index der Unterpupille. Die Ablenkung äußert sich in einer konstanten Abweichung der Lage jedes Flecks auf der gesamten Matrix. Zur Vereinfachung des Schemas geht man davon aus, dass die Ablenkung eine konstante Abweichung von zwei Unterpupillen mit sich bringt. Auf diese Weise lässt die Kurve **22** den durch die Wellenfront (Krümmung und Ablenkung) verursachten Anteil erkennen, zu dem der Anteil hinzukommt, der durch die örtliche Änderung der Struktur (ähnliche Änderungen der Abweichungen wie die der Kurve **21**) hinzukommt. Man versteht also durch dieses einfache Beispiel, dass die Kurve **22** ohne örtliche Änderung eine Gerade wäre, die Kennlinie der Krümmung der Wellenfront, dass es jedoch nicht möglich wäre, den genauen Wert der Ablenkung zu bestimmen, die in diesem Beispiel als Null betrachtet würde. Infolgedessen gäbe es einen Korrespondenzfehler zwischen einem erfassten Fleck und der Unterpupille, von dem er kommt; dieser Fehler kann die Berechnung der örtlichen Neigung der Wellenfront aus der

Lage jedes Flecks verfälschen.

[0020] Im erfindungsgemäßen Verfahren gestattet die örtliche Änderung der Struktur der Matrix, die eventuelle Versetzung (**37**) (gemessen in einer ganzen Anzahl von Unterpupillen) zwischen der Unterpupille, von der ein erfasster Fleck kommt, und der Unterpupille, die die vermutete Lokalisierungszone definiert, in der sich dieser Fleck befindet, zu bestimmen und daraus diese Entsprechung auf sichere Weise mit Hilfe eines Schritts **36** des Vergleichs der durch die örtliche Änderung verursachten Anteile in jeder der beiden Dateien (Bezugsdatei und Messdatei) abzuleiten. Wenn man dann diese Entsprechung aus der Bezugsdatei und der Messdatei kennt, kann man die mittlere Neigung der Wellenfront auf jeder Einzelfläche, die von jeder durch die Wellenfront beleuchteten Unterpupille eingefangen wird, errechnen (Schritt **38**). Bei dieser Rechnung subtrahiert man beispielsweise die Lagen der in der Bezugsdatei registrierten Flecke von denjenigen, die in der Messdatei registriert sind und den von denselben Unterpupillen kommenden Flecken entsprechen, so dass man sich in der Analyse der Wellenfront von den durch die Struktur der Matrix verursachten Anteilen frei macht. Man kann dann aus den Messungen der örtlichen Neigung gegebenenfalls die Rekonstruktion der Phase der Wellenfront (Schritt **39**) mit Hilfe von bekannten Mitteln vornehmen. Dieser Schritt gestattet beispielsweise die klassischen geometrischen Aberrationen der einfallenden Wellenfront zu liefern und insbesondere die Messung der Ablenkung der Wellenfront, wobei diese Messung mit Hilfe des bekannten Werts der Versetzung exakt vorgenommen werden kann.

[0021] Der Vergleich **36** der Anteile kann auf verschiedene Weisen durchgeführt werden. Gemäß der ersten Methode versucht man, die Dateien miteinander zu vergleichen. Es ist dabei vorzuziehen, dass diese Dateien nur die durch die örtlichen Änderungen verursachten Abweichungen enthalten, d.h. Anteile mit hohen Frequenzen verglichen mit den Niederfrequenzanteilen, die die Anteile sind, die durch die Wellenfront, die man analysiert, verursacht werden. Man kann von vorne herein wissen, dass die Bezugsdatei nur die durch die örtlichen Änderungen verursachten Anteile enthält, und zwar entweder weil die Bezugsdatei direkt erstellt worden war, um nur diese Anteile zu enthalten, oder weil die durch die langsamen bekannten Änderungen verursachten Anteile zuvor subtrahiert wurden. Man kann dann an die Messdatei (Schritt **361**) ein Hochpassfilter anlegen, das an die örtlichen Änderungen angepasst ist, so dass im Wesentlichen nur die durch diese Änderungen verursachten Anteile behalten werden, und die Messdatei nach Filterung (**362**) direkt mit der Bezugsdatei vergleichen. In **Fig. 3** ist dieser Vergleich mit **363** bezeichnet. Dieser Vergleich gestattet die Bestimmung einer eventuellen Versetzung (**365**). Wenn die Bezugsdatei Niederfrequenzanteile enthält, beispielsweise wenn sie mit Hilfe einer in den Analysator einfallenden, nicht ebenen Wellenfront, die bekannt ist,

erstellt wurde, kann man auch an die Bezugsdatei eine Hochpassfilterung anlegen. Diese Filterung ist vorteilhafterweise dieselbe, wie sie in **Fig. 3** dargestellt ist. Der Vergleich **363** findet dabei zwischen den beiden Dateien nach Filterung statt (in **Fig. 3** mit **362** und **364** bezeichnet). Bei dem in den **Fig. 2A** bis **2D** dargestellten Beispiel sind die Dateien vor Vergleich in **Fig. 2C** dargestellt. Die Kurve **23** entspricht der Bezugsdatei; es ist dieselbe, wie die Kurve **21** von **Fig. 2A**, da die Bezugsdatei nur den durch die örtliche Änderung verursachten Anteil enthält. Dagegen wird die Kurve **24** nach Hochpassfilterung der Kurve **22** von **Fig. 2B** erhalten; bei diesem einfachen Beispiel führt die Filterung gerade zur Unterdrückung des durch die Krümmung verursachten Anteils. Der Vergleich **363** kann beispielsweise durch eine Korrelationsoperation zwischen den beiden Dateien nach Filterung vorgenommen werden. Das Ergebnis dieser Operation ist bei dem gewählten Beispiel durch die Kurve **25** von **Fig. 2D** dargestellt. Diese Kurve liefert das Ergebnis der Korrelation in Abhängigkeit von möglichen Versetzungswerten (dec), wobei die Versetzung in Anzahl von Unterpupillen angegeben wird. Es geht also dabei darum, die Funktion

$$\sum_i \frac{f(i) \cdot xg(i - \text{dec})}{i}$$

zu errechnen, in der $f(i)$ beispielsweise der Wert der Abweichung der Stellung des von der Unterpupille SP_i kommenden Flecks in der Bezugsdatei (gegebenenfalls nach Filterung) und $g(i - \text{dec})$ der Wert der Abweichung der Lage des von der Unterpupille SP_i kommenden Flecks in der Messdatei nach Filterung ist, an die man eine Versetzung dec anlegt. Bei diesem Beispiel ist der Korrelationspeak bei einer Versetzung von gleich zwei Unterpupillen.

[0022] Die an die Messdatei und/oder an die Bezugsdatei angelegte Hochpassfilterung **361** kann eine herkömmliche Filterung an den Dateien von Punkten sein, indem eine Grenzfrequenz gewählt wird, die an die örtliche Änderung der Struktur der Matrix angepasst ist. Diese Frequenz ist beispielsweise gleich dem Kehrwert des mittleren Schritts der Matrix, multipliziert mit einer bestimmten Zahl N. N wird dabei so groß gewählt, dass der durch die örtliche Änderung verursachte Anteil beibehalten wird, und so klein, dass der durch die einfallende Wellenfront verursachte Anteil maximal unterdrückt wird. Die Filterung kann auch im Fall einer Wellenfront mit einem bestimmten Träger, beispielsweise mit einem kreisförmigen Träger, der sich gut für eine Zerlegung der Phase der Wellenfront auf einer Basis von bekannten Polynomen eignet, darin bestehen, dass in den Dateien die Anteile subtrahiert werden, die durch eine gegebene Anzahl dieser Polynome verursacht werden. Es kann sich beispielsweise im herkömmlichen Fall von Wellenfronten mit kreisförmigem Träger um Zernike-Polynome handeln.

[0023] Gemäß einer anderen Methode für den Vergleich (**36**) der durch die örtliche Änderung verur-

sachten Anteile ist es nicht erforderlich, an die eine und/oder die andere der beiden Dateien eine Hochpassfilterung anzulegen. Man kann beispielsweise in einem ersten Schritt an eine der beiden Dateien einen hypothetischen Versetzungswert anlegen, und zwar beispielsweise an die Messdatei **35**, und dann von der auf diese Weise erhaltenen Datei die Bezugsdatei **32** abziehen. Man sucht dann, indem man den Wert der angelegten Versetzung iteriert, bei welchem Versetzungswert der durch die örtliche Änderung verursachte Anteil (hohe Frequenz) in der aus der Subtraktion hervorgehenden Datei der niedrigste ist.

[0024] Es können natürlich auch andere mathematische Methoden verwendet werden, um in den beiden Dateien die durch die örtliche Änderung der Struktur verursachten Anteile zu vergleichen und daraus die Versetzung abzuleiten.

[0025] Im Nachstehenden wird ein anderes Beispiel von örtlichen Änderungen beschrieben, die in die Struktur einer Matrix der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens eingeführt werden. Wenn man die allgemeine Form der Frequenzverteilung der Lagen der den einfallenden Wellenfronten entsprechenden Flecke oder, was auf dasselbe herauskommt, die Form der Frequenzverteilung der Neigungen der Wellenfronten kennt, kann man versuchen, die örtlichen Änderungen zu optimieren, um die größte Wahrscheinlichkeit der Bestimmung der Versetzung zu erhalten. Diese Optimierung wird vorgenommen, indem man diese Methode heranzieht, die beispielsweise an Wellenfronten mit kreisförmigem Träger angewandt werden kann, von der man weiß, dass die Phase in eine begrenzte Anzahl von Zernike-Polynomen zerfällt. Man sucht dann nicht periodische örtliche Änderungen, die einen Hochfrequenzanteil erzeugen, von dem man eine theoretische Frequenzverteilung angeben kann, da man die allgemeine Form der Anteile der Wellenfronten, die man analysiert, kennt. Zur Berechnung der Struktur der Matrix, die diesen örtlichen Änderungen entspricht, kann man beispielsweise an der Gesamtheit der Unterpupillen eine zufällige Ziehung der Lagen der jeder Unterpupille entsprechenden Flecke vornehmen. Auf der Frequenzebene äußert sich dies in einer konstanten Verteilung, die man mit der theoretischen Verteilung der örtlichen Änderungen, die man sucht, multipliziert. Nimmt man die inverse Fourier-Transformation dieser neuen Verteilung, so erhält man neue Werte der Abweichungen der den Unterpupillen entsprechenden Flecke. Diese Werte werden in einer willkürlichen Einheit angegeben, die nun in eine metrische Skala zu übersetzen ist, damit dies praktisch an die Fertigung der Matrix angelegt werden kann.

[0026] In der gesamten vorstehenden Beschreibung wurde davon ausgegangen, dass die örtliche Änderung der Struktur in einer Positionierungsabweichung von einer oder von mehreren benachbarten Mikrolinsen besteht.

[0027] Man kann jedoch auch eine Größenänderung von einer oder mehreren Mikrolinsen in Betracht ziehen. Dies äußert sich auch auf der Ebene des Detektors durch Abweichungen der Lagen der Flecke, die von den diesen Mikrolinsen entsprechenden Unterpupillen kommen.

[0028] Es können jedoch auch andere der mikrolinseneigene Parameter zur Bildung der örtlichen Änderung der Struktur verwendet werden.

[0029] So kann die örtliche Änderung der Struktur bei einem anderen Beispiel einer Mikrolinsenmatrix für die erfindungsgemäße Vorrichtung eine Änderung der Transmission einer oder mehrerer benachbarter Mikrolinsen sein. In diesem Fall äußert sich die örtliche Änderung nicht in Abweichungen von Lagen von Flecken, sondern in Änderungen der Lichtstärke dieser Flecke. Das gemäß dem vorhergehenden Beispiel beschriebene erfindungsgemäße Verfahren kann jedoch ebenso gut durchgeführt werden. Es sind in der Bezugsdatei und der Messdatei lediglich jeder Unterpupille zusätzlich zur Lage der Flecke deren Stärken zuzuordnen, und dabei sind die durch die örtliche Änderung der Struktur der Matrix verursachten Anteile in den Stärken der Flecken zu vergleichen (Schritt **36** in **Fig. 3**), um die eventuelle Versetzung (**37**) in Anzahl von Unterpupillen zwischen diesen Anteilen zu bestimmen.

[0030] Natürlich können die verschiedenen Arten von örtlichen Änderungen der Struktur der Matrix der erfindungsgemäßen Vorrichtung miteinander kombiniert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Analyse einer Wellenfront, das auf der örtlichen Messung der Neigung der Wellenfront beruht und das einen Schritt (**34**) der Erfassung der Wellenfront umfaßt, der in folgendem besteht:

– einem Schritt der Erfassung der Wellenfront insbesondere mit Hilfe einer Matrix (ML) von Mikrolinsen (L_i), eines Detektors (DET) und von Mitteln zur Verarbeitung des Signals, wobei jede Mikrolinse (L_i) eine indexierte Unterpupille (SP_i) bildet und eine von der Unterpupille eingefangene Einzelfläche der Wellenfront fokussiert, um einen Fleck (T_i) auf dem Detektor zu bilden, der ein Signal liefert, wobei für jede Unterpupille eine vermutete Zone (Z_i) der Lokalisierung des Flecks auf dem Detektor bestimmt wird,

– einem Schritt der Verarbeitung des von dem Detektor gelieferten Signals, der insbesondere die Erstellung einer Meßdatei (**35**) gestattet, die insbesondere jeder Unterpupille, in deren Lokalisierungszone ein Fleck erfaßt wird, die Lage dieses Flecks zuordnet, wobei jede Unterpupille durch ihren Index gekennzeichnet ist,

wobei das Verfahren **dadurch gekennzeichnet** ist, daß es außerdem folgendes umfaßt:

- die vorhergehende Wahl (**30**) einer Matrix (ML) von Mikrolinsen, die mindestens eine örtliche Änderung ihrer Struktur aufweist,

- einen vorhergehenden Schritt (31) der Charakterisierung dieser Matrix, der die Erstellung einer Bezugsdatei (32) gestattet, die insbesondere jeder durch ihren Index gekennzeichneten Unterpupille die Lage des Flecks zuordnet, der von dieser Unterpupille kommt, wenn die Unterpupille durch eine bekannte Wellenfront beleuchtet wird, wobei die Daten der Datei einen Anteil umfassen, der durch die örtliche Änderung der Struktur der Matrix verursacht wird,
- bei jeder Analyse (33) einer Wellenfront
 - die Erstellung der Meßdatei (35), wobei die Daten der Datei auch einen durch die örtliche Änderung der Struktur der Matrix verursachten Anteil umfaßt,
 - den Vergleich (36) dieser in jeder der beiden Dateien genommenen Anteile, wobei dieser Vergleich gestattet, die eventuelle Versetzung (37) in der Anzahl von Unterpupillen zwischen diesen beiden Anteilen zu bestimmen und daraus auf sichere Weise die Entsprechung zwischen dem erfaßten Fleck und der Unterpupille, von der er kommt, abzuleiten,
 - wenn diese Entsprechung bekannt ist, die Berechnung (38) der mittleren Neigung der Wellenfront auf jeder Einzelfläche, die von jeder durch die Wellenfront beleuchteten Unterpupille eingefangen wird, aus der Meßdatei und aus der Bezugsdatei.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bezugsdatei (32) nur einen durch die örtliche Änderung verursachten Anteil umfaßt und daß der durch die örtliche Änderung verursachte Anteil in der Meßdatei durch Anlegen einer an diese Änderung angepaßten Hochpassfilterung (361) an diese Datei erhalten wird, wobei die Versetzung (37) zwischen den beiden Anteilen nun durch Vergleich (363) der Bezugsdatei (32) und der Meßdatei nach Filterung (362) bestimmt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die durch die örtliche Änderung verursachten Anteile in der Meßdatei und in der Bezugsdatei durch Anlegen einer gleichen Hochpassfilterung (361) an die beiden Dateien erhalten werden, wobei die Versetzung (37) zwischen den beiden Anteilen durch Vergleich (363) der beiden Dateien nach Filterung (362, 364) bestimmt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Phase der zu analysierenden Wellenfront auf einer Basis von bekannten Polynomen zerlegt werden kann und die an eine Datei angelegte Hochpaßfilterung (361) darin besteht, daß von dieser Datei die durch eine bestimmte Anzahl dieser Polynome verursachten Anteile subtrahiert werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Vergleich (363) der Dateien nach Filterung mit Hilfe einer Korrelationsoperation durchgeführt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Vergleich (36) durchgeführt wird, indem an eine der beiden Dateien (32, 35) ein hypothetischer Versetzungswert angelegt wird, indem eine Subtraktion zwischen der auf diese Weise erhaltenen Datei und der anderen Datei durchgeführt wird und indem der Wert der angelegten Versetzung so iteriert wird, daß bestimmt wird, bei welchem Versetzungswert der durch die örtliche Änderung verursachte Anteil in der aus der Subtraktion hervorgehenden Datei der kleinste ist.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es außerdem einen Schritt (39) der Rekonstruktion der Phase der Wellenfront umfaßt, der insbesondere die Bestimmung des genauen Werts des Kippens der Wellenfront gestattet.

8. Vorrichtung zur Analyse einer Wellenfront, umfassend insbesondere eine Matrix (ML) von Mikrolinsen (L_i), einen Detektor (DET) und Mittel zur Verarbeitung des Signals, wobei jede Mikrolinse (L_i) eine indizierte Unterpupille (SP_i) bildet und eine von dieser Unterlinse eingefangene Einzelfläche der Wellenfront fokussiert, um einen Fleck (T_i) auf dem Detektor zu bilden, der ein Signal liefert, wobei eine vermutete Zone (Z_i) der Lokalisierung des Flecks auf dem Detektor für jede Unterpupille definiert wird, wobei die Verarbeitungsmittel die Verarbeitung des von dem Detektor gelieferten Signals gestatten, um insbesondere eine Meßdatei (35) zu erstellen, die insbesondere jeder Unterpupille, in deren Lokalisierungszone ein Fleck erfaßt wird, die Lage dieses Flecks zuordnet, wobei jede Unterpupille durch ihren Index gekennzeichnet ist, wobei diese Vorrichtung dadurch gekennzeichnet ist, daß

- ihre Matrix (ML) von Mikrolinsen mindestens eine örtliche Änderung ihrer Struktur aufweist, wobei diese Matrix zuvor charakterisiert wird, damit eine Bezugsdatei (32) erstellt wird, die insbesondere jeder durch ihren Index gekennzeichneten Unterpupille die Lage des Flecks zuordnet, der von dieser Unterpupille kommt, wenn die Unterpupille von einer bekannten Wellenfront beleuchtet wird, wobei die Daten der Datei einen durch die örtliche Änderung der Struktur der Matrix verursachten Anteil aufweisen,
- die Meßdatei (35) ebenfalls einen durch die örtliche Änderung der Struktur der Matrix verursachten Anteil aufweist,
- die Verarbeitungsmittel ferner folgendes gestatten:
 - die Erstellung der Meßdatei (35), wobei die Daten der Datei auch einen durch die örtliche Änderung der Struktur der Matrix verursachten Anteil aufweisen,
 - den Vergleich dieser in jeder der beiden Dateien genommenen Anteile, wobei dieser Vergleich gestattet, eine eventuelle Versetzung (37) in der Anzahl von Unterpupillen zwischen diesen beiden Anteilen zu bestimmen und daraus auf sichere Weise die Entsprechung zwischen einem erfaßten Fleck und der

Unterpupille, von der er kommt, abzuleiten,
– wenn man diese Entsprechung kennt, die Berechnung der mittleren Neigung der Wellenfront auf jeder Einzelfläche, die von jeder von der Wellenfront beleuchteten Unterpupille eingefangen wird, aus der Meßdatei und aus der Bezugsdatei.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine örtliche Änderung der Struktur der Matrix ein nicht gesteuerter Fehler der Matrix ist, der durch die Nichtreproduzierbarkeit des Verfahrens zur Herstellung der Matrix verursacht wird.

10. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine örtliche Änderung der Struktur der Matrix eine gesteuerte Änderung ist, die bei der Herstellung der Matrix eingeführt wurde.

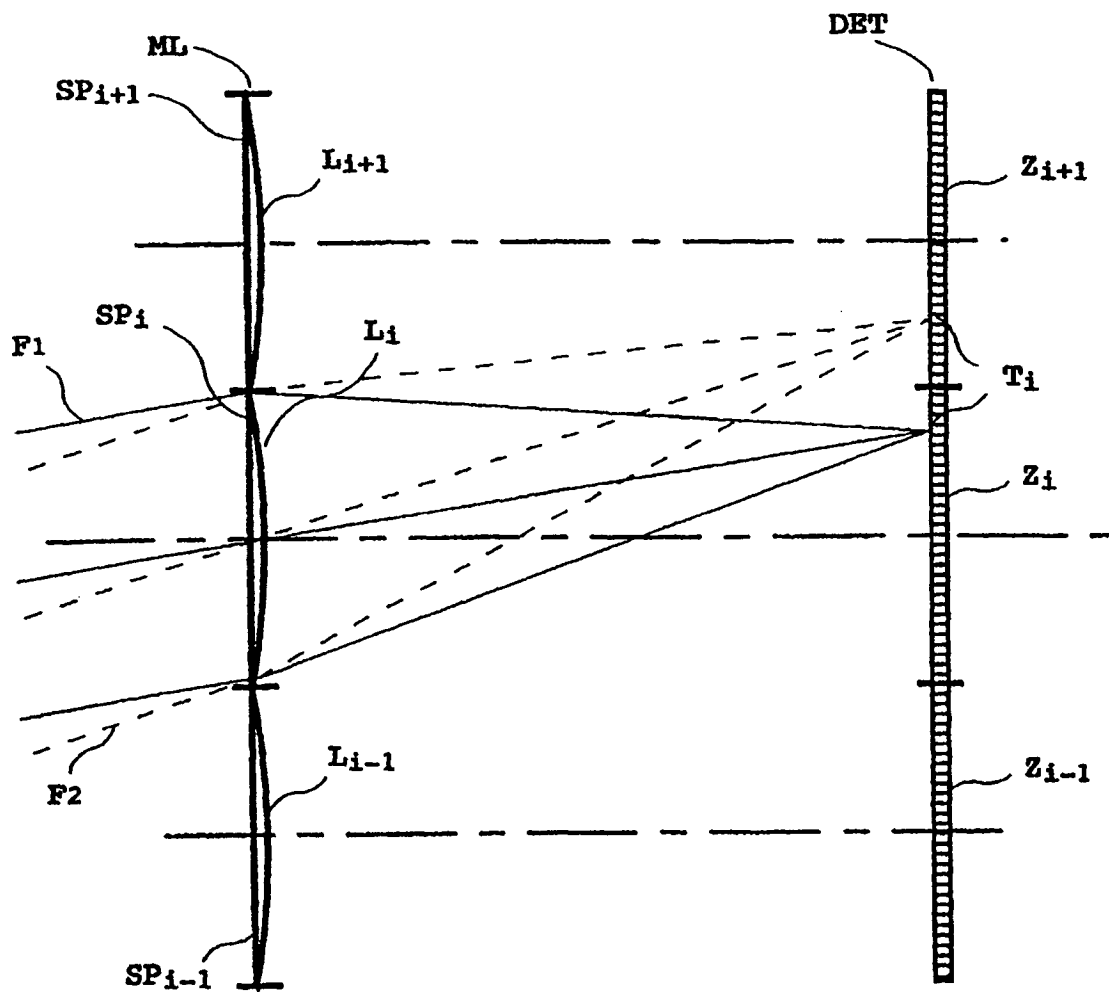
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die allgemeine Form der frequenziellen Verteilung der Neigungen der Wellenfront bekannt ist und örtliche Änderungen in der Struktur der Matrix so eingeführt werden, daß die frequenzielle Verteilung des durch diese örtlichen Änderungen verursachten Anteils an diese allgemeine Form angepaßt ist.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine örtliche Änderung der Struktur in einer Abweichung in der Stellung einer oder einiger benachbarter Mikrolinsen besteht, wobei die Anteile, die in jeder der beiden Dateien genommen werden, um verglichen zu werden (**36**), die Anteile sind, die durch die örtliche Änderung in den Lagen der Flecken verursacht werden.

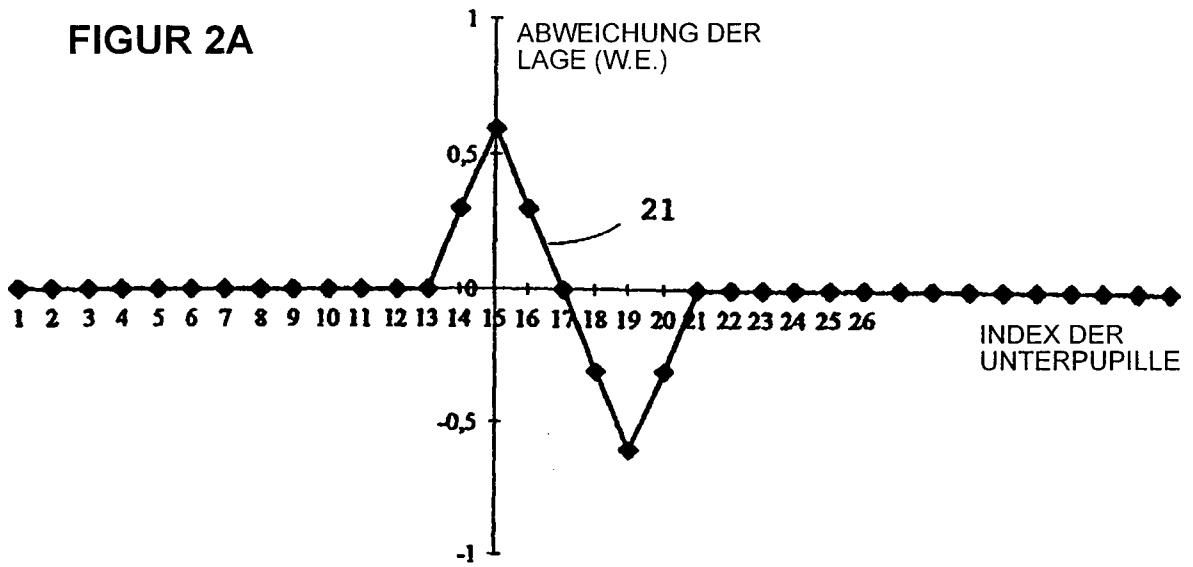
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine örtliche Änderung der Struktur in einer Änderung der Übertragung einer oder einiger benachbarter Mikrolinsen besteht, wobei die Dateien (**32, 35**) außerdem jeder Unterpupille die Stärke des von dieser Unterpupille kommenden Flecks zuordnen, wobei die Anteile, die in jeder der beiden Dateien genommen werden, um verglichen zu werden (**36**), die Anteile sind, die durch die örtliche Änderung in den Stärken der Flecken verursacht werden.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

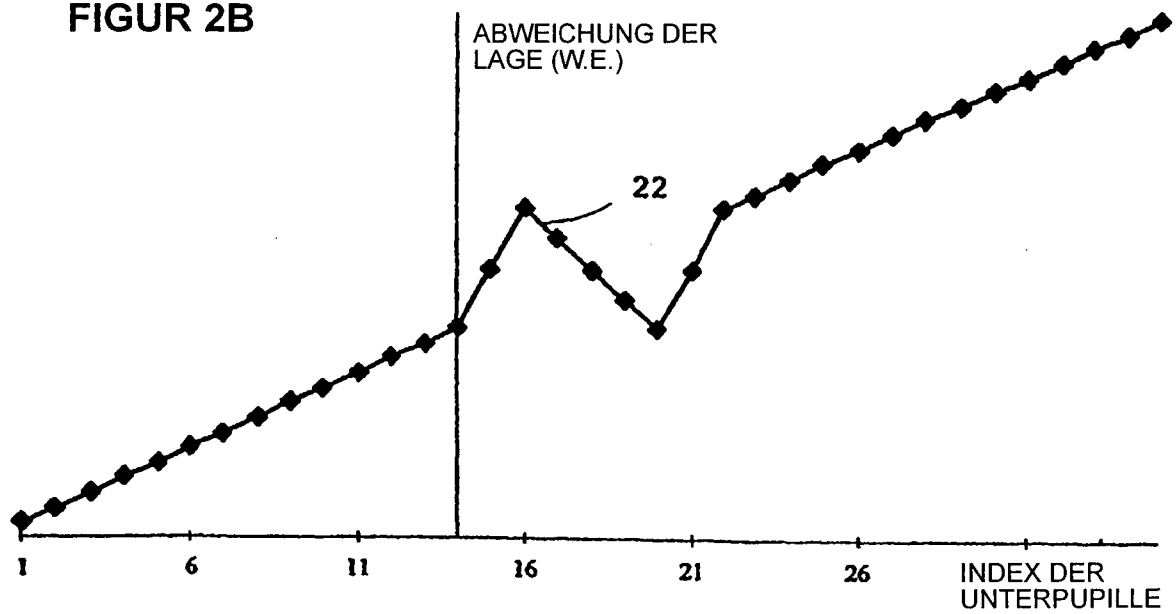
FIGUR 1



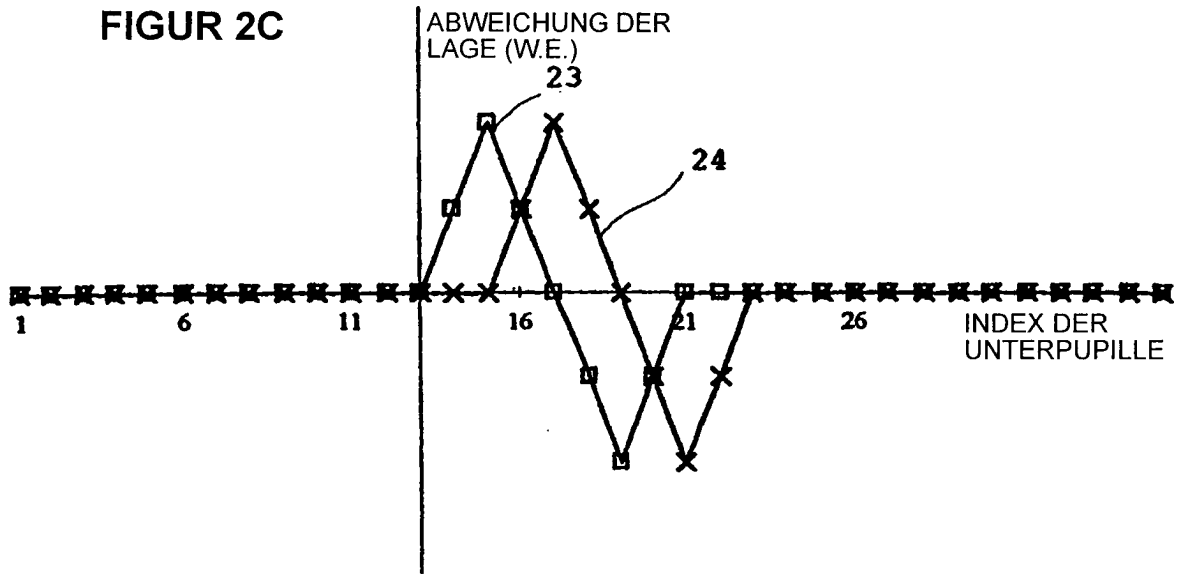
FIGUR 2A



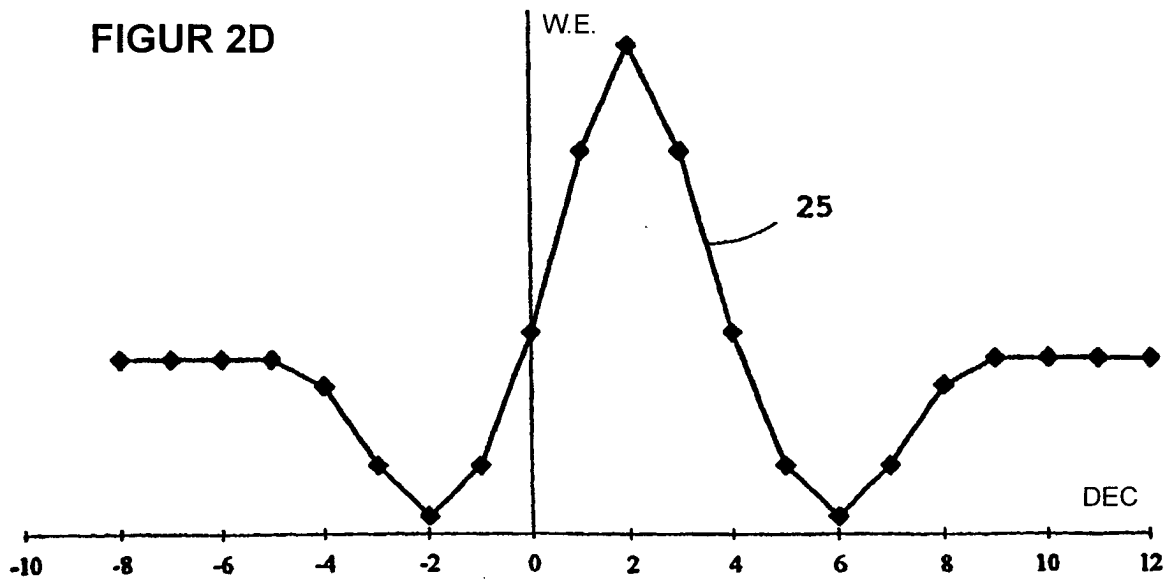
FIGUR 2B



FIGUR 2C



FIGUR 2D



FIGUR 3

