



(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2014 207 328.6

(51) Int Cl.: **A61B 3/14 (2006.01)**

(22) Anmeldetag: 16.04.2014

(43) Offenlegungstag: 23.10.2014

(30) Unionspriorität:  
2013-086790

17.04.2013 JP

(74) Vertreter:  
TBK, 80336 München, DE

(71) Anmelder:

CANON KABUSHIKI KAISHA, Tokio, JP

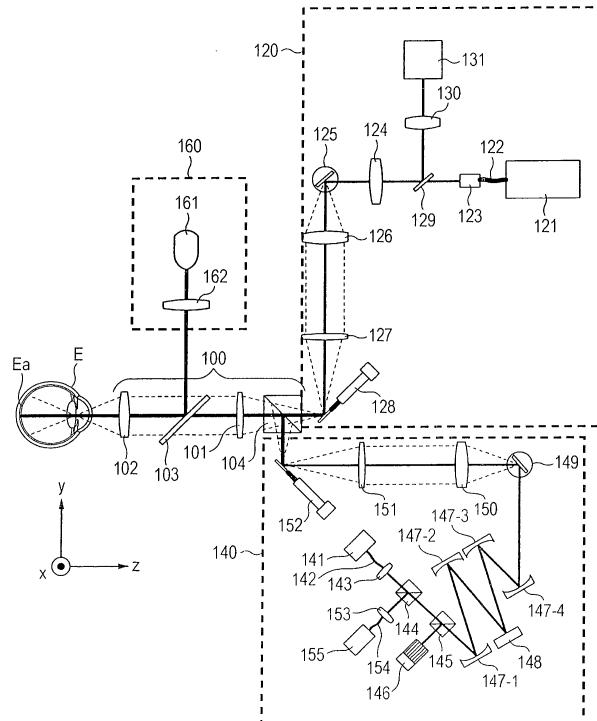
(72) Erfinder:  
Nozato, Koji, Tokio, JP; Makihira, Tomoyuki, Tokio, JP; Miyata, Kazuhide, Tokio, JP

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Fundusbildgebungsvorrichtung und Bildgebungsverfahren**

(57) Zusammenfassung: Ein Bildgebungsverfahren zur Korrektur einer Aberration ist bereitgestellt, die bei der Bildgebung eines Untersuchungsobjekts erzeugt wird. Das Bildgebungsverfahren enthält eine Irradiation eines Abbildungsbereichs mit einem ersten Lichtstrahl, der durch eine Abtasteinheit abgelenkt wird, und Aufnehmen eines Bildes des Untersuchungsobjekts beruhend auf zurückgekehrtem Licht des ersten Lichtstrahls, Erfassen eines Bewegungsausmaßes des Untersuchungsobjekts, Vergleichen des erfassten Bewegungsausmaßes mit einem vorbestimmten Schwellenwert und Anpassen des mit dem ersten Lichtstrahl zu bestrahlenden Abbildungsbereichs. Die Anpassung beinhaltet eine Bestimmung entsprechend einem Ergebnis des Vergleichs zur Änderung des Abbildungsbereichs durch die Verwendung der Abtasteinheit und/oder die Verwendung einer Aberrationskorrekturseinheit.



**Beschreibung****HINTERGRUND DER ERFINDUNG****Gebiet der Erfindung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Fundusbildgebungsvorrichtung und ein Verfahren, und insbesondere auf eine Fundusbildgebungsvorrichtung und ein Bildgebungsverfahren zur Abtastung eines Fundus mit Irradiationslicht zum Erhalten eines Fundusbildes.

**Beschreibung der verwandten Technik**

**[0002]** Seit den vergangenen Jahren ist die Verwendung einer Fundusbildgebungsvorrichtung zur Abtastung mit Irradiationslicht zum Aufnehmen eines Fundusbildes, wie eines Konfokal-Abtastlaserophthalmoskops (SLO), zum Erhalten eines Steh- oder Bewegtbildes hoher Auflösung als Einrichtung zum Aufnehmen eines Fundusbildes verbreitet. Bei dieser Fundusbildgebungsvorrichtung dauert es einige Zeit vom Beginn bis zum Ende der Bildgebung. Die Bildgebung ist daher für unwillkürlichen Augapfelbewegungen, genannt Flackern, Augapfelbewegungen aufgrund schlechter Fixierung oder die Bewegung des Auges anfällig, die die Bewegung des Gesichts begleitet. Dies macht eine Fundusnachführung zur Nachführung der Bewegung eines Fundus noch wichtiger (US-Patent Nr. 7,758,189).

**[0003]** Bei einer derartigen ophthalmologischen Bildgebungsvorrichtung wurde in den vergangenen Jahren ferner eine höhere Auflösung durch die Verwendung einer höheren NA eines Irradiationslasers erreicht. Bei der Aufnahme eines Fundusbildes ist es allerdings erforderlich, das Bild über das optische System des Auges wie Kornea und Linse aufzunehmen. Zusammen mit dem Erreichen einer höheren Auflösung wird der Einfluss von Aberrationen der Kornea und der Linse auf die Bildqualität des aufgenommenen Bildes größer. Daher wurden Studien über ein AO-SLO (Abtastlaserophthalmoskop mit adaptiver Optik) und eine AO-OCT (Optische Kohärenztomographie mit adaptiver Optik) durchgeführt, wobei eine Aberration des Auges gemessen wird und eine adaptive Optik (AO) als optisches Kompensationssystem zum Korrigieren der Aberration in das optische System aufgenommen ist. Beispielsweise beschreibt "Y. Zhang et al., Optics Express, Band 14, Nr. 10, May 15, 2006" ein Beispiel der AO-OCT. Bei dem AO-SLO und der AO-OCT wird für gewöhnlich eine Wellenfront des Auges durch das Shack-Hartmann-Wellenfrontsensorverfahren gemessen, und ein Spiegel mit variabler Form oder ein Ortsphasenmodulator wird zum Korrigieren der gemessenen Wellenfront angesteuert. Durch Aufnahme des Fundusbildes über den Spiegel mit variabler Form oder den Ortsphasenmo-

dulator können das AO-SLO und die AO-OCT ein Bild hoher Auflösung aufnehmen.

**[0004]** Zusammen mit der Verbesserung der Bildgebungsauflösung der Bildgebungsvorrichtung ist es erforderlich, auch die Nachführungsgenauigkeit zur Nachführung einer Bewegung des abzubildenden Fundus zu verbessern. Da die Bewegung des Auges aber kompliziert ist, ist die Durchführung einer Nachführung mit hoher Genauigkeit nur durch die Verwendung der optischen Achsenanpassungseinheit der verwandten Technik, die im US-Patent Nr. 7,758,189 verwendet wird, schwierig.

**KURZZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG**

**[0005]** In Anbetracht des vorstehend angeführten Problems besteht eine Aufgabe der Erfindung in der Realisierung einer sehr genauen Augapfelnachführung in einer Bildgebungsvorrichtung mit hoher Bildgebungsauflösung, wodurch ein Fundusbild mit großer Bildqualität aufgenommen wird.

**[0006]** Zur Lösung dieses Problems ist gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung eine Bildgebungsvorrichtung bereitgestellt, die eine Bildgebungseinheit zur Irradiation eines Abbildungsbereichs eines Untersuchungsobjekts mit einem ersten Lichtstrahl, der durch eine Abtasteinheit abgelenkt wird, und zur Aufnahme eines Bildes des Untersuchungsobjekts beruhend auf zurückkehrendem Licht des ersten Lichtstrahls, eine Aberrationsmessseinheit zur Messung einer in dem Untersuchungsobjekt erzeugten Aberration, eine Aberrationskorrekturseinheit zum Korrigieren der Aberration gemäß der gemessenen Aberration, eine Erfassungseinheit zur Erfassung eines Bewegungsausmaßes des Untersuchungsobjekts, eine Vergleichseinheit zum Vergleichen des erfassten Bewegungsausmaßes mit einem vorbestimmten Schwellenwert, eine Bestimmungseinheit zur Bestimmung entsprechend einem Ergebnis der Bestimmung durch die Bestimmungseinheit zur Änderung des Abbildungsbereichs durch die Verwendung der Abtasteinheit und/oder Verwendung der Aberrationskorrekturseinheit, und eine Steuereinheit zur Änderung des Abbildungsbereichs enthält.

**[0007]** Zur Lösung des vorstehend angeführten Problems ist gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung ferner ein Bildgebungsverfahren zur Korrektur einer bei der Abbildung eines Untersuchungsobjekts erzeugten Aberration bereitgestellt. Das Verfahren enthält eine Irradiation eines Abbildungsbereichs mit einem ersten Lichtstrahl, der durch eine Abtasteinheit abgelenkt wird, und ein Aufnehmen eines Bildes des Untersuchungsobjekts beruhend auf zurückkehrendem Licht des ersten Lichtstrahls, Erfassen eines Bewegungsausmaßes des Untersuchungsobjekts, Vergleichen des erfassten Bewegungsausmaßes mit einem vorbestimmten Schwellenwert, Be-

stimmen gemäß dem Ergebnis des Vergleichs der Änderung des Abbildungsbereichs unter Verwendung der Abtasteinheit und/oder Verwendung einer Aberrationskorrekturseinheit und Ändern des Abbildungsbereichs, der mit dem ersten Lichtstrahl zu bestrahlen ist, entsprechend einem Ergebnis der Bestimmung.

**[0008]** Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung ist es möglich, ein Fundusbild mit hoher Auflösung unter geringem Einfluss einer Augapfelbewegung aufzunehmen.

**[0009]** Weitere Merkmale der Erfindung werden aus der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen ersichtlich. Jedes nachstehend beschriebene Ausführungsbeispiel der Erfindung kann für sich oder als Kombination einer Vielzahl der Ausführungsbeispiele oder Merkmalen davon bei Bedarf, oder wenn die Kombination von Elementen oder Merkmalen aus einzelnen Ausführungsbeispielen in ein einzelnes Ausführungsbeispiel von Vorteil ist, implementiert werden.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0010]** **Fig. 1** zeigt eine schematische Darstellung eines Aufbaus einer Fundusbildgebungs vorrichtung gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

**[0011]** **Fig. 2** zeigt eine schematische Funktionsdarstellung der Fundusbildgebungs vorrichtung gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel.

**[0012]** **Fig. 3** zeigt eine schematische Darstellung eines Prozessablaufs gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel.

**[0013]** Die **Fig. 4A**, **Fig. 4B** und **Fig. 4C** zeigen ausführliche schematische Darstellungen des Prozessablaufs gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel.

**[0014]** **Fig. 5** zeigt eine schematische Darstellung einer GUI gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel.

**[0015]** **Fig. 6** zeigt eine detaillierte schematische Darstellung des Prozessablaufs gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel.

**[0016]** **Fig. 7** zeigt eine schematische Darstellung eines Aufbaus einer Fundusbildgebungs vorrichtung gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

**[0017]** **Fig. 8** zeigt eine schematische Funktionsdarstellung der Fundusbildgebungs vorrichtung gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel.

**[0018]** **Fig. 9** zeigt eine schematische Darstellung eines Prozessablaufs gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel.

#### BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

**[0019]** Nachstehend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung beschrieben. Die Erfindung ist aber nicht durch den jeweiligen Aufbau der folgenden Ausführungsbeispiele beschränkt.

##### Erstes Ausführungsbeispiel

**[0020]** Nachstehend wird ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben.

**[0021]** Bei diesem Ausführungsbeispiel wird ein Beispiel beschrieben, in dem eine erste Fundusbildgebungs vorrichtung als Nachführungs vorrichtung verwendet wird, während eine zweite Fundusbildgebungs vorrichtung als adaptive Optik-(AO)-SLO-Vorrichtung verwendet wird. Ein Strahl der Nachführungs vorrichtung und ein Strahl der AO-SLO-Vorrichtung treten gleichzeitig in einen Fundus ein, und Nachführungsdaten werden bei der Steuerung der AO-SLO-Vorrichtung zum Erhalten eines stabilen AO-SLO-Bildes hoher Qualität verwendet.

(Gesamtkonfiguration der Vorrichtung)

**[0022]** Nachstehend wird die Fundusbildgebungs vorrichtung gemäß diesem Ausführungsbeispiel unter Bezugnahme auf die schematische Optikdarstellung in **Fig. 1** beschrieben.

**[0023]** Die bei diesem Ausführungsbeispiel verwendete Fundusbildgebungs vorrichtung enthält die erste Fundusbildgebungs vorrichtung, die zweite Fundusbildgebungs vorrichtung und eine interne Fixiertarget vorrichtung.

**[0024]** Die erste Fundusbildgebungs vorrichtung enthält eine Okularlinseneinheit **100** und ein SLO **120**. Eine Laserlichtquelle **121** kann geeigneter Weise ein Halbleiterlaser oder eine Superlumineszenzdiode (SLD) Lichtquelle sein. Zur Verringerung der Helligkeit eines Subjekts und Aufrechterhalten der Auflösung für eine Fundusbeobachtung ist die zu verwendende Wellenlänge geeigneter Weise eine Nahinfrarotwellenlänge im Bereich von 700 nm bis 1.000 nm. Bei diesem Ausführungsbeispiel wird ein Halbleiterlaser mit einer Wellenlänge von 780 nm verwendet. Das von der Laserlichtquelle **121** emittierte Licht geht durch eine Faser **122** in einen Faserkollimator **123** und wird von dem Faserkollimator **123** als kollimierter Lichtstrahl (Messlicht) emittiert.

**[0025]** Der Lichtstrahl wird zu einer SLO-Abtasteinrichtung (X) **128** über eine Linse **124**, eine SLO-

Abtasteinrichtung (Y) **125** und Weitgabelinsen **126** und **127** geführt. Der Lichtstrahl geht ferner durch eine Abtastlinse **101** und eine Okularlinse **102** zum Eintreten in ein Untersuchungsauge E. Bei diesem Ausführungsbeispiel werden Galvano-Scanner als die SLO-Abtasteinrichtungen (X) **128** und (Y) **125** verwendet.

**[0026]** Die bei diesem Ausführungsbeispiel zu verwendenden z-, x-, und y-Koordinaten entsprechen jeweils einer Augenachsenrichtung und entsprechen einer horizontalen Richtung und einer vertikalen Richtung bezüglich eines Fundusbildes. Bei diesem Ausführungsbeispiel entspricht die x-Richtung einer Hauptabtastrichtung und die y-Richtung entspricht einer Unterabtastrichtung.

**[0027]** Der Lichtstrahl, der in das Untersuchungsauge E eingetreten ist, bestrahlt einen Fundus Ea des Untersuchungsauges E als Punktstrahl. Dieser Punktstrahl wird durch den Fundus Ea des Untersuchungsauges E reflektiert oder gestreut und folgt demselben optischen Weg zur Rückkehr zu einem Ringspiegel **129**. Von dem Licht, das den Fundus Ea bestrahlt und reflektiert und gestreut wird, wird das Licht, das durch einen Abschnitt um die Pupille gegangen ist (reflektiertes Licht) durch den Ringspiegel **129** reflektiert und durch eine Avalanchephotodiode (die nachstehend als APD bezeichnet wird) **131** über eine Linse **130** empfangen.

**[0028]** Die zweite Fundusbildgebungsgerätevorrichtung enthält die Okularlinseneinheit **100** mit demselben Aufbau wie dem der vorstehend beschriebenen ersten Fundusbildgebungsgerätevorrichtung und eine AO-SLO-Einheit **140** mit einer AO-Einrichtung. Eine Lichtquelle **141** ist eine SLD-Lichtquelle mit einer Wellenlänge von 840 nm. Bei diesem Ausführungsbeispiel teilen sich die Fundusbildgebung und Wellenfrontmessung die Lichtquelle **141**, es ist aber möglich, einen Aufbau anzuwenden, bei dem separate Lichtquellen angeordnet sind und Lichtstrahlen in der Mitte optischer Wege kombiniert werden.

**[0029]** Das von der Lichtquelle **141** emittierte Licht wird über eine Faser **142** zu einem Faserkollimator **142** übertragen und von dem Faserkollimator **143** als kollimiertes Messlicht abgestrahlt. Das abgestrahlte Messlicht wird durch einen Strahlsplitter **144** transmittiert und zu einem optischen Kompensationssystem geführt.

**[0030]** Das optische Kompensationssystem enthält einen Strahlsplitter **145**, einen Wellenfrontsensor **146** zur Messung einer Aberration, eine Wellenfrontkorrekturteinrichtung **148** und Reflexionsspiegel **147-1** bis **147-4** zum Führen des Lichts zu diesen Komponenten. Die Reflexionsspiegel **147-1** bis **147-4** sind derart angeordnet, dass zumindest die Pupille des Untersuchungsauges E und jeder Wellenfrontsensor

**146** und die Wellenfrontkorrekturseinrichtung **147** eine optisch konjugierte Beziehung haben. Bei diesem Ausführungsbeispiel wird ferner ein Ortsphasenmodulator unter Verwendung eines Flüssigkristallelements als die Wellenfrontkorrekturseinrichtung **148** verwendet.

**[0031]** Das Messlicht tritt in die Wellenfrontkorrekturseinrichtung **148** ein, um so reflektiert zu werden, und wird zu dem Reflexionsspiegel **147-3** emittiert. Gleichzeitig tritt das Licht, das von dem Fundus Ea des Untersuchungsauges E zurückgekehrt ist, auch in die Wellenfrontkorrekturseinrichtung **148** ein, und wird dann zu dem Reflexionsspiegel **147-2** emittiert. Ferner wird das Messlicht durch eine AO-SLO-Abtasteinrichtung (X) **149** und eine AO-SLO-Abtasteinrichtung (Y) **152** zweidimensional abgelenkt. Bei diesem Ausführungsbeispiel wird ein Hochgeschwindigkeitsresonanzscanner (Abtasteinrichtung für die Hauptabtastung) als AO-SLO-Abtasteinrichtung (X) **149** verwendet, und ein Galvano-Scanner (Abtasteinrichtung für die Unterabtastung) wird als AO-SLO-Abtasteinrichtung (Y) **152** verwendet.

**[0032]** Das durch die AO-SLO-Abtasteinrichtungen (X) **149** und (Y) **152** abgelenkte Messlicht wird durch einen Strahlsplitter **104** reflektiert und über die Abtastlinse **101** und die Okularlinse **102** zum Eintreten in das Untersuchungsauge E transmittiert. Das Messlicht, das in das Untersuchungsauge E eingetreten ist, wird durch den Fundus Ea reflektiert oder gestreut und folgt demselben optischen Weg zurück zu dem Strahlsplitter **145**. Der Strahlsplitter **145** ermöglicht es einem Teil des Messlichts, in den Wellenfrontsensor **146** einzutreten. Der Wellenfrontsensor **146** misst eine Wellenfront des Messlichts und ein Shack-Hartmann-Sensor wird als Wellenfrontsensor **146** verwendet. Ein Teil des reflektierten/gestreuten Lichts, das durch den Strahlsplitter **145** transmittiert wurde, wird dann durch den Strahlsplitter **144** reflektiert und zu einem Lichtintensitätssensor **155**, der eine Photomultipliziererröhre (PM) enthält, über einen Faserkollimator **153** und eine Faser **154** geführt.

**[0033]** Das den Lichtintensitätssensor **155** erreichende geführte Licht wird durch den Lichtintensitätssensor **155** in ein elektrisches Signal umgewandelt und durch einen (nicht gezeigten) Steuerabschnitt einer Abbildungsverarbeitung unterzogen. Wenn der Steuerabschnitt den Resonanzscanner (die AO-SLO-Abtasteinrichtung (X) **149**) und den Galvano-Scanner (die AO-SLO-Abtasteinrichtung (Y) **152**) um einen sehr kleinen Winkel dreht, werden Lichtintensitätsinformationen von einem Abbildungsbereich des Fundus Ea erhalten, und ein Bild wird als das auf einer Anzeigegerätevorrichtung (siehe **Fig. 2**) anzuzeigende Fundusbild unter der Steuerung des Steuerabschnitts aufgebaut. Es wird angemerkt, dass "sehr kleiner Winkel" einen Winkel kleiner als einen Abtastwinkel des SLO **120** bedeutet.

**[0034]** Der Wellenfrontsensor **146** und die Wellenfrontkorrekturseinrichtung **148** sind mit dem Steuerabschnitt verbunden. Der Steuerabschnitt berechnet beruhend auf der durch den Wellenfrontsensor **146** gemessenen Wellenfront ein Modulationsausmaß (Korrekturausmaß) zur Korrektur der Wellenfront in eine Wellenfront ohne Aberration und weist die Wellenfrontkorrekturseinrichtung **148** zur Durchführung der Modulation an. Die Messung der Wellenfront und Anweisung für die Wellenfrontkorrekturseinrichtung **148** werden wiederholt verarbeitet, wodurch eine Rückkopplungssteuerung derart durchgeführt wird, dass immer eine optimale Wellenfront erhalten wird. Infolgedessen wird die in dem Untersuchungsauge erzeugte Aberration entfernt oder verringert. Bei diesem Ausführungsbeispiel wird als Wellenfrontkorrekturseinrichtung **148** ein Reflexionsflüssigkristallortsphasenmodulator von  $600 \times 600$  Bildelementen verwendet. Als weiteres Beispiel der Wellenfrontkorrekturseinrichtung **148** ist ein Spiegel mit variabler Form bekannt, der einen Filmspiegel und eine Vielzahl von Aktuatoren zur Ansteuerung des Spiegels enthält. Sowohl der Flüssigkristallortsphasenmodulator gemäß dem Ausführungsbeispiel als auch der Spiegel mit variabler Form können eine Richtung von Licht lokal auf einer Reflexionsoberfläche oder in einem Durchlassabschnitt ändern, sodass die Wellenfront des durchgelassenen Lichts oder reflektierten Lichts geändert werden kann.

**[0035]** Ein internes Fixiertarget **160** enthält eine Lichtquelle **161** und eine Linse **162**. Als Lichtquelle **161** wird eine Vielzahl von in einer Matrix angeordneten Lichtemissionsdioden (LD) verwendet. Eine Einschaltposition der Lichtemissionsdioden wird unter der Steuerung des Steuerabschnitts entsprechend dem Teil geändert, der abgebildet werden soll. Licht von der Lichtquelle **161** wird durch einen Spektralspiegel **103** über die Linse **162** zu dem Untersuchungsauge E geführt. Das von der Lichtquelle **161** emittierte Licht hat 520 nm, und ein gewünschtes Muster wird durch den Steuerabschnitt angezeigt.

(Funktionsaufbau)

**[0036]** Nachstehend wird ein Funktionsaufbau gemäß diesem Ausführungsbeispiel unter Bezugnahme auf **Fig. 2** beschrieben. Ein Steuerabschnitt (PC) **200** zur Steuerung von Funktionselementen enthält eine Anzeigevorrichtung **212**, eine CPU **201**, eine Speichereinrichtung HDD **202**, einen Fixiertargetsteuerabschnitt **203**, einen SLO-Steuerabschnitt **210** und einen AO-SLO-Steuerabschnitt **209**, die Steuerabschnitte für die jeweilige Vorrichtung darstellen. Unter Anweisungen von der CPU **201** werden eine Anzeigevorrichtung **204** (die der Lichtquelle **161** in **Fig. 1** entspricht) zur Anzeige des Fixiertargets, eine X-Y-Abtasteinrichtung **205** (die den SLO-Abtasteinrichtungen **125** und **128** in **Fig. 1** entspricht), eine SLO-Lichtquelle **206** (die der Laserlichtquelle **121**

in **Fig. 1** entspricht) der SLO-Vorrichtung, eine X-Y-Abtasteinrichtung **208** (die den AO-SLO-Abtasteinrichtungen **149** und **152** in **Fig. 1** entspricht), eine AO-SLO-Lichtquelle **207** (die der Lichtquelle **141** in **Fig. 1** entspricht) der AO-SLO-Vorrichtung jeweils unter der Steuerung des Fixiertargetsteuerabschnitts **203**, des SLO-Steuerabschnitts **210** und des AO-SLO-Steuerabschnitts **209** betrieben. Der Wellenfrontsensor **146** und die Wellenfrontkorrekturseinrichtung **148**, die Komponenten des optischen Kompensationssystems darstellen, werden auch durch den AO-SLO-Steuerabschnitt **209** gesteuert.

**[0037]** Ferner wird ein Signal von dem Untersuchungsauge E über einen PM **214** (der dem Lichtintensitätssensor **155** in **Fig. 1** entspricht), der ein Lichtaufnahmeelement der AO-SLO-Vorrichtung ist, und eine APD **215** (die der APD **131** in **Fig. 1** entspricht) erhalten, die ein Lichtaufnahmeelement der SLO-Vorrichtung ist. Das erhaltene Signal wird durch die CPU **201** in ein Bild umgewandelt und auf der Anzeigevorrichtung **212** angezeigt.

(Ablauf)

**[0038]** Bei der vorstehend angeführten Vorrichtung wird die SLO-Vorrichtung als erste Fundusbildgebungs vorrichtung zur Nachführung verwendet, und das Nachführungsergebnis wird zu den Abtasteinrichtungen der AO-SLO-Vorrichtung und der Wellenfrontkorrekturseinrichtung zurückgeführt, um so das AO-SLO-Bild einer gewünschten Position stabil zu erhalten. Ein entsprechender Ablauf ist in **Fig. 3** dargestellt. Es wird angemerkt, dass die Verarbeitung durch die CPU **201** ausgeführt wird, wenn nichts anderes gesagt ist.

**[0039]** Zuerst erhält die erste Fundusbildgebungs vorrichtung ein SLO-Fundusbild durch Ausgabe von Licht von der Laserlichtquelle **121** und empfängt das reflektierte Licht durch die APD **131** in einem Zustand, in dem das Fixiertarget **161** zum Präsentieren für das Untersuchungsauge E eingeschaltet ist (Schritt **301**). Die erste Fundusbildgebungs vorrichtung arbeitet als Einheit zur Aufnahme eines Fundusbildes des gesamten Fundus des Untersuchungsauges.

**[0040]** Beruhend auf einer Anweisung von einem Bediener von einer (nicht gezeigten) Eingabeeinrichtung wird ein AO-SLO-Abbildungsbereich in dem SLO-Bild bestimmt (Schritt **302**). Diese Verarbeitung wird durch einen Modulbereich der CPU **201** ausgeführt, der als erste Bereichseinstelleinheit zum Einstellen eines ersten Bereichs des Untersuchungsauges arbeitet, der mit AO-SLO-Licht als erstem Strahl bestrahlt wird. Der erste Bereich wird beruhend auf dem vorab erhaltenen Fundusbild eingestellt. Der mit dem AO-SLO-Licht abzubildende eingestellte Be-

reich wird in einem Speicher der CPU **201** gespeichert (Schritt **303**).

**[0041]** Aus dem aufgenommenen Fundusbild wird zumindest eine Vorlage zur Nachführung extrahiert (Prozess A: Schritt **304**). Insbesondere wird beruhend auf dem durch die erste Bereichseinstelleinheit eingestellten ersten Bereich ein zweiter Bereich des Untersuchungsauges, der mit SLO-Licht zur Nachführung als zweiter Strahl zu bestrahlen ist, eingestellt und als Vorlage extrahiert. Die Einstellung des zweiten Bereichs wird durch einen Modulbereich der CPU **201** ausgeführt, der als zweite Bereichseinstelleinheit arbeitet. Ein bestimmter Bereich um die extrahierte Vorlage wird als Nachführungsabtastbereich bestimmt (Schritt **305**).

**[0042]** Die Bildgebung für ein Fundusbild wird gestartet (Schritt **306**), und die AO-SLO-Vorrichtung und die SLO-Vorrichtung werden betrieben. Die AO-SLO-Vorrichtung steuert die X-Y-Abtasteinrichtung **208** zur Abtastung des in Schritt **302** bestimmten Abbildungsbereichs an (Schritt **307**), und ein AO-SLO-Signal wird erhalten und in ein Bild umgewandelt (Schritt **309**). Insbesondere wird beruhend auf zurückgekehrtem Licht des AO-SLO-Lichts als erster Strahl ein AO-SLO-Bild als erstes Bild des Untersuchungsauges erzeugt. Die Bilderzeugung wird durch einen Modulbereich der CPU **201** ausgeführt, der als erste Erzeugungseinheit arbeitet. Danach wird das AO-SLO-Bild in der HDD **202** gespeichert (Schritt **310**).

**[0043]** Bei diesem Ausführungsbeispiel wird in Schritt **308** ein Aberrationskorrekturprozess ausgeführt. In dem Aberrationskorrekturprozess wird eine Aberration beruhend auf einem Signal von dem Wellenfrontsensor gemessen, und die Wellenfrontkorrektureinrichtung wird gemäß einem Ergebnis der Aberrationsmessung zur Korrektur der Aberration angesteuert.

**[0044]** Bei diesem Ausführungsbeispiel wird die gemessene Wellenfront durch eine Zernike-Funktion modelliert und Koeffizienten der Ordnungen werden berechnet. Dann wird ein Modulationsausmaß der Wellenfrontkorrektureinrichtung **148** beruhend auf dem Koeffizienten berechnet. Bei der Berechnung des Modulationsausmaßes wird beruhend auf einem Referenzmodulationsausmaß zum Erzeugen von Formen von Zernike-Ordnungen durch die Wellenfrontkorrektureinrichtung **148** das Referenzmodulationsausmaß mit allen Koeffizienten der gemessenen Zernike-Ordnungen multipliziert, und die Ergebnisse ferner alle zum Erhalten eines endgültigen Modulationsausmaßes integriert. Beim Aufbauen eines optischen Augenkorrektursystems wird im Allgemeinen ein Bereich ungefähr von der ersten bis zur sechsten Ordnung der Zernike-Funktion der gemessenen Wellenfront für die Modellierung verwendet.

Beispielsweise gibt die erste Ordnung der Zernike-Funktion horizontale und vertikale Ausbreitungsrichtungen an, und die zweite Ordnung gibt einen Fokus oder Astigmatismus an.

**[0045]** In Schritt **308** wird der vorstehend beschriebene Prozess mit einem bestimmten Ausmaß wiederholt und fortgesetzt, bis ein Aberrationsausmaß auf einen willkürlichen Schwellenwert oder darunter verringert wurde. Außerdem kann der Aberrationskorrekturprozess ohne Synchronisation mit der Bildgebung ausgeführt werden.

**[0046]** Unter Verwendung der X-Y-Abtasteinrichtung **205** der SLO-Vorrichtung wird gleichzeitig der in Schritt **305** bestimmte Bereich zum Erhalten eines SLO-Bildes abgetastet (Schritt **311**). Das heißt, ein zweites Bild des Untersuchungsauges für die Nachführung wird beruhend auf zurückgekehrtem Licht von dem Untersuchungauge des vorstehend beschriebenen zweiten Strahls erzeugt. Die Bilderzeugung wird durch einen Modulbereich der CPU **201** ausgeführt, der als zweite Erzeugungseinheit arbeitet.

**[0047]** Bei dem erhaltenen SLO-Bild wird eine Vorlagenüberseinstimmungsanpassung ausgeführt. Durch Vergleichen von Koordinaten der Vorlage mit angepassten Koordinaten wird eine Bewegung des Augapfels (Bewegungsausmaß und Richtung) berechnet (Prozess B: Schritt **312**). Dieser Berechnungsprozess wird durch einen Modulbereich der CPU **201** ausgeführt, der als Erfassungseinheit zur Erfassung der Bewegung des Untersuchungsauges beruhend auf dem zweiten Bild arbeitet. Es wird angemerkt, dass die Erfassungseinheit das Bild der als Vorlage extrahierten Region mit dem zweiten Bild vergleicht, das an dieser Stufe neu erzeugt und erhalten wird, um die Bewegung zu erfassen, und auch eine Einheit zur Erfassung der Bewegung des Untersuchungsauges durch den Vergleich enthält.

**[0048]** Als Nächstes werden das erfasste Bewegungsausmaß als das Bewegungsausmaß des Untersuchungsauges und ein vorgeschriebener Wert (m) um des Bewegungsausmaßes verglichen (Schritt **313**). Der vorgeschriebene Wert (m) entspricht einem vorbestimmten Schwellenwert, der mit dem Bewegungsausmaß in dem Vergleichsschritt in Schritt **313** verglichen wird. Der Vergleichsschritt wird durch einen Modulbereich der CPU **201** ausgeführt, der als Vergleichseinheit arbeitet. Wenn das Bewegungsausmaß den vorgeschriebenen Wert (m) nicht überschreitet, geht der Prozess zu Schritt **315** über. Wenn das Bewegungsausmaß den vorgeschriebenen Wert (m) überschreitet, wird das Bewegungsausmaß zur Steuerung einer Korrektur des Abbildungsbereichs der AO-SLO-Vorrichtung verwendet (JA in Schritt **313**). Die Korrektur des Abbildungsbereichs wird beruhend auf der erfassten Bewegung des Untersu-

chungsauges ausgeführt, und dieser Prozess wird durch einen Modulbereich der CPU **201** ausgeführt, der als Korrekturseinheit zur Korrektur des ersten Bereichs arbeitet. Das heißt, der hier beschriebene vorgeschriebene Wert (m) wird als Referenzwert zur Bestimmung eingestellt, ob die Anpassung des Abbildungsbereichs durch Nachführung der Bewegung des Augapfels erforderlich ist oder nicht. Außerdem hat der vorgeschriebene Wert (m) einen vorbestimmten Standardwert, kann aber entsprechend dem Untersuchungsauge eingestellt werden. Beispielsweise kann der vorgeschriebene Wert (m) für jedes Untersuchungsauge eingestellt werden, oder kann aus in der Speichereinrichtung HDD **202** gespeicherten Daten gelesen werden.

**[0049]** Die in Schritt **314** ausgeführte Korrektur des Abbildungsbereichs (Prozess C), d. h. die Anpassung des Abbildungsbereichs, wird durch Korrektur eines Abtastbereichs einer Abtasteinrichtung als Abtasteinheit und eine Schwenkkorrektur durch eine Aberrationskorrektur einrichtung ausgeführt. Es wird angemerkt, dass die Korrektur des Abtastbereichs als Lichtstrahlirradiationsbereich bei diesem Ausführungsbeispiel geeigneterweise durch Ändern einer Lichtstrahlirradiationsrichtung ausgeführt wird, die Erfindung aber nicht auf dieses Änderungsverfahren beschränkt ist.

**[0050]** Wenn die AO-SLO-Bildgebung abgeschlossen ist, ist die Verarbeitung beendet (Ja in Schritt **315**).

**[0051]** Prozess A von Schritt **304** wird unter Bezugnahme auf **Fig. 4A** beschrieben. Das SLO-Bild und der verbotene Bereich der SLO-Bildgebung werden ausgelesen (Schritt **401**). Die Vorlage wird aus dem SLO-Bild außerhalb des verbotenen Bereichs extrahiert (Schritt **402**). Die Vorlagenkoordinaten und das Bild werden im Speicher gespeichert (Schritt **403**).

**[0052]** Prozess B wird unter Bezugnahme auf **Fig. 4B** beschrieben. Das Vorlagenbild und die Koordinaten werden aus dem Speicher ausgelesen (Schritt **410**). Das ausgelesene Vorlagenbild und ein neu erhaltenes SLO-Bild werden zur Ausführung der Vorlagenübereinstimmungsanpassung verwendet (Schritt **411**). Ein angepasstes Bild und Koordinaten werden im Speicher gespeichert (Schritt **412**). Die Bewegung des Fundus (Bewegungsausmaß und Richtung) wird beruhend auf den Vorlagenkoordinaten und den angepassten Koordinaten berechnet (Schritt **413**).

**[0053]** Prozess C wird unter Bezugnahme auf **Fig. 4C** beschrieben. Das in Schritt **312** berechnete Bewegungsausmaß des Augapfels wird ausgelesen (Schritt **414**). Wenn das Bewegungsausmaß des Fundus innerhalb eines vorbestimmten Bereichs liegt, passt die Aberrationskorrektur einrich-

tung bei diesem Beispiel eine Abbildungsposition an. Wenn das Bewegungsausmaß des Fundus den vorbestimmten Bereich überschreitet, wird der Abtastbereich der Strahlabtasteinheit angepasst. Das heißt, in Schritt **415** wird bestimmt, ob das Bewegungsausmaß des Augapfels einen gegebenen Schwellenwert (n) um überschreitet. Wenn das Bewegungsausmaß (n) um überschreitet, geht der Prozess zu Schritt **416** über, und ein Abtastzentrum der Abtasteinrichtung wird beruhend auf dem Bewegungsausmaß des Untersuchungsauges angepasst, um den Strahlirradiationsbereich anzupassen. Der Vorgang in Schritt **415** wird auch als eine Form des erfindungsgemäßen Vergleichsschritts betrachtet. Wenn das Bewegungsausmaß des Augapfels den Schwellenwert (n) nicht überschreitet, wird ein Kippen für die Aberrationskorrektur einrichtung in Schritt **417** angewiesen. Das heißt, der hier beschriebene Schwellenwert (n) wird als Referenzwert zur Bestimmung eingestellt, was für den Nachführungsvorgang des Untersuchungsauges geeigneter ist, eine Betätigung des Galvano-Scanners oder dergleichen zur Änderung des Abbildungsbereichs zur Durchführung der Nachführung oder ein Anwesen eines Kippens durch die Aberrationskorrekturvorrichtung zur Durchführung der Nachführung. Ferner entspricht der Schwellenwert (n) einer Form des vorbestimmten Schwellenwerts im Vergleichsschritt. Wird das Kippen für die Aberrationskorrektur einrichtung angewiesen, kann die Aberrationskorrektur einrichtung zur prompten Ansteuerung gesteuert werden, oder die Korrektur einrichtung kann gesteuert werden, dass sie nach einer Addition einer Aberration erster Ordnung nach Zernike zu der durch den Wellenfrontsensor in dem AO-Prozess in Schritt **308** gemessenen Wellenfront entsprechend dem Bewegungsausmaß des Augapfels gesteuert wird. Der vorstehend beschriebene Schritt **415** entspricht einem Bestimmungsschritt der Bestimmung zur Durchführung einer Änderung des Irradiationsbereichs durch Ändern der Strahlirradiationsrichtung und/oder Änderung des Strahlirradiationsbereichs durch die Aberrationskorrektur einrichtung entsprechend einem Ergebnis des Vergleichs in Schritt **313**, und wird durch einen Modulbereich der CPU **201** ausgeführt, der als Bestimmungseinheit arbeitet. Außerdem entsprechen Schritt **416** und Schritt **417** einem Anpassungsschritt der Anpassung des Strahlirradiationsbereichs und werden durch einen Modulbereich der CPU **201** ausgeführt, der als Anpassungseinheit arbeitet. Nach der Ausführung des vorstehend angeführten Prozesses für die Bewegung des Auges wird eine Steuerung zur Abtastung des Abbildungsbereichs in Schritt **418** ausgeführt.

**[0054]** Ein weiteres Beispiel des Prozesses C wird unter Bezugnahme auf **Fig. 6** beschrieben. Eine Historie des in Schritt **312** berechneten Bewegungsausmaßes des Augapfels ist gespeichert, und die Historie wird in Schritt **601** ausgelesen. Eine Frequenzseparation der Augenbewegung wird beru-

hend auf der Historie des ausgelesenen Bewegungsausmaßes ausgeführt (Schritt 602). Das heißt, erfasste Positionsinformationen werden einer Frequenzzerlegung wie einer Fourier-Transformation unterzogen, sodass Hochfrequenzkomponenten und Niederfrequenzkomponenten getrennt und aus den Komponenten der Augenbewegung erhalten werden. Es wird angemerkt, dass bei dieser Zerlegung Komponenten mit Frequenzwerten größer als einem bestimmten Schwellenwert als Hochfrequenzkomponenten betrachtet werden, und Komponenten mit Frequenzwerten geringer als dem bestimmten Schwellenwert als Niederfrequenzkomponenten betrachtet werden. Allerdings wird bevorzugt, dass dieser Schwellenwert entsprechend einem Aufbau der Vorrichtung, einem Subjekt und dergleichen geändert wird. Bei diesem Ausführungsbeispiel beträgt der bestimmte Schwellenwert 10 Hz als Anfangswert. Im Allgemeinen ist die Bewegung des Auges hauptsächlich durch eine sogenannte Drift mit einer niedrigen Frequenz und einer großen Bewegung oder Amplitude, einen sogenannten Tremor mit hoher Frequenz und geringer Amplitude und eine sogenannte Saccade mit einer ausfallenden Bewegung belegt. Daraus werden durch das vorstehend angeführte Verfahren eine hochfrequente Mikrobewegung und eine niederfrequente große Bewegung getrennt, und jeweils durch verschiedene Einrichtungen korrigiert. In Schritt 603 wird die Kippanweisung für die Aberrationskorrekturereinrichtung ausgegeben, um die Hochfrequenzkomponenten zu korrigieren. Die Korrektur kann bei diesem Ausführungsbeispiel auch prompt ausgeführt werden, oder kann zu einem Zeitpunkt der AO-Steuerung ausgeführt werden. Da die Aberrationskorrekturereinrichtung im Allgemeinen keine große Bewegung korrigieren kann, kann außerdem ein Verfahren mit einer weiteren Bestimmung des Bewegungsausmaßes und einer Anweisung für die Aberrationskorrekturereinrichtung zur Ausführung der Korrektur in einem begrenzten möglichen Bereich angewendet werden, während der verbleibende Teil durch die Steuerung einer anderen Einrichtung korrigiert wird. In Schritt 604 wird eine Mittenposition der Abtastung durch die Abtasteinrichtung eingestellt, um die Niederfrequenzkomponenten zu korrigieren.

**[0055]** Während die AO-SLO-Bildgebung durchgeführt wird, wird auf diese Weise die Nachführung derart durchgeführt, dass ein Bild einer gewünschten Position erhalten werden kann. Dies ermöglicht eine Fotorezeptoranalyse durch Überlagerung von Bildern und eine Blutflussanalyse durch Beobachtung von Blutgefäßen. Während der Bildgebung werden Bilder wie in **Fig. 5** veranschaulicht auf der Anzeigevorrichtung 212 angezeigt. Ein jüngstes Nachführungsbild 505, ein jüngstes Bild 405, das durch die AO-SLO-Vorrichtung aufgenommen wird, und eine Fixiertargetposition 506 werden auf einem zu Anfang erhaltenen SLO-Bild 501 auf demselben Bildschirm angezeigt, und ein Graph 504 des Bewegungsausma-

ßes des Augapfels, Wellenfrontsensorinformationen 503 und ein AO-SLO-Bild 502 werden auf der Anzeigevorrichtung angezeigt. Bei diesem Ausführungsbeispiel werden das zu Anfang erhaltene SLO-Bild 501 mit einem Weitwinkel und die Fixiertargetposition 506 als Verfahren der Anzeige der jüngsten Informationen angezeigt, während sie zusammen mit der Bewegung des Augapfels bewegt werden. Als Anzeigeverfahren kann ein Anzeigeverfahren verwendet werden, das eine Bewegung des jüngsten Nachführungsbildes 505 und des AO-SLO-Bildes in dem SLO-Bild 501 mit einem Weitwinkel beinhaltet.

**[0056]** Eine unwillkürliche Augapfelbewegung des Untersuchungsauges ist eine Kombination von Komponenten des Tremors, der Drift und der Saccade. Wird daher ein Versuch zur Korrektur des von der unwillkürlichen Augapfelbewegung betroffenen Bildes durch einen Galvano-Scanner als Anpassungseinheit einer einzigen optischen Achse wie im Stand der Technik unternommen, gibt es eine Schwierigkeit bei der Nachführungsgenauigkeit. Dagegen wird beispielsweise angedacht, die Nachführungsgenauigkeit durch eine weitere optische Achsenanpassungseinheit zu verbessern. Allerdings kann beispielsweise ein Resonanzscanner nicht für eine Nachführung verwendet werden, da die Steuerung einer festen Position schwierig ist. Dagegen korrigiert die Aberrationskorrekturereinrichtung von sich aus eine Kippkomponente und hat auch eine optische Achsenanpassungsfunktion, sodass sie eine feine optische Achsenanpassung vornehmen kann. Erfindungsgemäß führt diese Aberrationskorrekturereinrichtung eine Nachführung in einer Richtung durch, in der die Abtastung bisher unter Verwendung des Resonanzscanners ausgeführt wurde, wodurch die Nachführungsgenauigkeit in einer Vielzahl von Richtungen verbessert wird.

**[0057]** Wie vorstehend beschrieben ist es möglich, eine sehr genaue Nachführung in einem Hochauflösungs-AO-SLO durch die Verwendung einer Vielzahl von Einrichtungen für eine Abbildungspositionsanpassung durchzuführen, und es ist möglich, ein AO-SLO-Bild mit hoher Bildqualität zu erhalten. Das heißt, erfindungsgemäß wird die Aberrationskorrekturereinrichtung als Wellenfrontkorrekturereinrichtung des optischen Kompensationssystems auch als Abbildungspositionsanpassungseinheit verwendet, und so kann eine Augapelnachführung mit hoher Genauigkeit realisiert werden, und ein Fundusbild mit hoher Bildqualität kann erhalten werden.

## Zweites Ausführungsbeispiel

**[0058]** Nachstehend wird ein zweites Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben.

**[0059]** Bei diesem Ausführungsbeispiel wird ein Beispiel beschrieben, in dem eine Fundusposition aus ei-

nem AO-SLO-Bild berechnet wird, und Funduspositionsdaten in einer AO-SLO-Abbildungsbereichsteuerung reflektiert werden, um ein stabiles AO-SLO-Bild mit hoher Bildqualität zu erhalten.

(Gesamtaufbau der Vorrichtung)

**[0060]** Die Fundusbildgebungs vorrichtung gemäß diesem Ausführungsbeispiel wird unter Bezugnahme auf eine schematische Darstellung der Optik in **Fig. 7** beschrieben.

**[0061]** Die AO-SLO-Vorrichtung und die interne Fixiertargetvorrichtung entsprechen jenen im ersten Ausführungsbeispiel und somit wird auf ihre Beschreibung verzichtet.

**[0062]** Allerdings tritt bei diesem Ausführungsbeispiel Wellenfrontmesslicht für eine Aberrationskorrektur in das Auge E ein. Eine Laserlichtquelle **170** kann geeigneter Weise ein Halbleiterlaser oder eine Superlumineszenzdioden-(SLD)Lichtquelle sein. Die geeigneter Weise zu verwendende Wellenlänge liegt in einem Nahinfrarotwellenlängenbereich von 700 nm bis 1000 nm, der so nahe wie möglich an dem in dem AO-SLO verwendeten liegt. Bei diesem Ausführungsbeispiel wird eine SLD mit einer Wellenlänge von 760 nm verwendet. Das von der Laserlichtquelle **170** emittierte Licht wird durch eine Faser **171** zu einem Faserkollimator **172** transmittiert, und wird von dem Faserkollimator **172** als kollimierter Lichtstrahl (Messlicht) emittiert. Der kollimierte Lichtstrahl wird dann durch den Strahlsplitter **104**, die Abtastlinse **101** und die Okularlinse **102** zum Eintreten in das Untersuchungauge E wie das AO-SLO-Messlicht transmittiert. Beispielsweise ist der Strahlsplitter **104** zum Durchlassen von 50% des Wellenfrontmesslichts und zum Reflektieren von 100% des AO-SLO-Messlichts aufgebaut. Dann ist es möglich, AO-SLO-Signallicht mit minimalem Verlust zu empfangen.

**[0063]** Der Strahlsplitter **145** genau vor dem Shack-Hartmann-Sensor **146** als Wellenfrontsensor reflektiert 100% des Wellenfrontmesslichts und lässt 100% des AO-SLO-Messlichts durch. Dann ist es möglich, sowohl die Wellenfrontmessung als auch die Fundusbildgebung mit hoher Leistungsfähigkeit durchzuführen.

**[0064]** Das durch den Fundus Ea reflektierte und gestreute Wellenfrontmesslicht erreicht den Strahlsplitter **145** auf demselben Weg wie das AO-SLO und tritt in den Wellenfrontsensor **146** ein. Der Wellenfrontsensor **146** misst eine Aberration anhand des einfallenden Wellenfrontmesslichts und führt eine AO-Steuerung beruhend auf der Aberration durch.

(Funktionsaufbau)

**[0065]** Nachstehend wird ein Funktionsaufbau gemäß diesem Ausführungsbeispiel unter Bezugnahme auf **Fig. 8** beschrieben. Ein Steuerabschnitt (PC **200**) zur Steuerung von Funktionselementen enthält eine Anzeigevorrichtung **212**, eine CPU **201**, eine Speichereinrichtung HDD **202** und einen Fixiertargetsteuerabschnitt **203** und einen AO-SLO-Steuerabschnitt **209**, die Steuerabschnitte für die jeweilige Vorrichtung darstellen. Unter Anweisungen von der CPU **201** werden eine Anzeigevorrichtung **204** (die der Lichtquelle **161** in **Fig. 7** entspricht) zur Anzeige des Fixiertargets, eine X-Y-Abtasteinrichtung **208** (die den AO-SLO-Abtasteinrichtungen **149** und **152** in **Fig. 7** entspricht), eine AO-SLO-Lichtquelle **207** (die der Lichtquelle **141** in **Fig. 7** entspricht) der AO-SLO-Vorrichtung und eine Wellenfrontmesslichtquelle (die der Lichtquelle **170** in **Fig. 7** entspricht) jeweils unter der Steuerung des Fixiertargetsteuerabschnitts **203** und des AO-SLO-Steuerabschnitts **209** betrieben. Der Wellenfrontsensor **147** und die Wellenfrontkorrekturseinrichtung **148**, die Komponenten des optischen Kompensationssystems sind, werden durch den AO-SLO-Steuerabschnitt **209** gesteuert.

**[0066]** Ferner wird ein Signal von dem Untersuchungauge E für einen PM **214** (der dem Lichtintensitätssensor **155** in **Fig. 7** entspricht) erhalten, der ein Lichtaufnahmeelement der AO-SLO-Vorrichtung ist. Das erhaltene Signal wird durch die CPU **201** in ein Bild umgewandelt und auf der Anzeigevorrichtung **212** angezeigt.

(Ablauf)

**[0067]** Bei der vorstehend beschriebenen Vorrichtung werden Positionsinformationen aus einem AO-SLO-Bild berechnet und eine entsprechende Positionsänderung wird zu den Abtasteinrichtungen der AO-SLO-Vorrichtung und der Wellenfrontkorrekturseinrichtung zurückgeführt, um dadurch das AO-SLO-Bild einer gewünschten Position stabil zu erhalten. Ein entsprechender Ablauf ist in **Fig. 9** veranschaulicht. Es wird angemerkt, dass die Verarbeitung durch die CPU **201** ausgeführt wird, wenn nichts anderes gesagt ist.

**[0068]** Beruhend auf einer Anweisung von einem Bediener von einer (nicht gezeigten) Eingabeeinrichtung wird zuerst ein AO-SLO-Abbildungsbereich in dem SLO-Bild bestimmt (Schritt **901**). In der Praxis wird eine Einschaltposition des Fixiertargets **161** zur Anpassung einer Abbildungsposition verändert.

**[0069]** Die Bildgebung wird in Schritt **902** gestartet. In diesem Schritt bestrahlt das Wellenfrontmesslicht den Fundus. In Schritt **903** wird ein sequenzieller AO-Prozess ausgeführt. Das heißt, die Wellenfrontkorrekturseinrichtung wird beruhend auf dem Signal

von dem Wellenfrontsensor zur Korrektur der Aberration angesteuert. In diesem Schritt wird der vorstehend angeführte Prozess mit einem bestimmten Ausmaß wiederholt und wird fortgesetzt, bis ein Aberrationsausmaß auf einen willkürlichen Schwellenwert oder darunter verringert ist. Der Zustand der Aberrationskorrektur einrichtung kann beibehalten werden, wenn das Aberrationsausmaß auf einen bestimmten Schwellenwert verringert wurde, oder der AO-Prozess in der AO-SLO-Bildgebung kann fortgesetzt werden.

**[0070]** In Schritt **904** wird das AO-SLO-Bild als Referenz erhalten. Das erhaltene Bild wird als Referenzbild gespeichert. Dieses Referenzbild wird insgesamt als die Vorlage verwendet.

**[0071]** Die AO-SLO-Vorrichtung steuert die X-Y-Abtasteinrichtung **208** zur Abtastung des in Schritt **901** bestimmten Abbildungsbereichs an und erhält ein AO-SLO-Signal zur Erzeugung eines Bildes (Schritt **905**). Insbesondere erzeugt die AO-SLO-Vorrichtung das AO-SLO-Bild als erstes Bild des Untersuchungsauges beruhend auf zurückkehrendem Licht des AO-SLO-Lichts als erster Strahl. Danach wird das AO-SLO-Bild in der HDD **202** gespeichert (Schritt **906**).

**[0072]** Zum weiteren Erhalten eines AO-SLO-Bildes wird eine Vorlagenübereinstimmungsanpassung bei dem erhaltenen AO-SLO-Bild ausgeführt, und Koordinaten der Vorlage werden mit den angepassten Koordinaten zur Berechnung der Bewegung des Augapfels (Bewegungsausmaß und Richtung) verglichen (Prozess B: Schritt **908**). Ferner erfasst die Erfassungseinheit die Bewegung durch Vergleichen des als die Vorlage gespeicherten Referenzbildes mit dem an dieser Stufe erhaltenen neu erzeugten Bild und enthält auch eine Einheit zur Erfassung der Bewegung des Untersuchungsauges anhand des Vergleichs. Der Vorgang in Schritt **908** als Prozess B ist derselbe wie der Vorgang von Prozess B im ersten Ausführungsbeispiel.

**[0073]** Da das AO-SLO-Bild im Allgemeinen einen kleinen Abbildungsbereich aufweist, kann bei einer großen Bewegung des Auges das aufgenommene Bild außerhalb des Abbildungsbereichs des Referenzbildes liegen. Daher kann die große Bewegung des Auges anhand einer Überwachungsfunktion oder dergleichen zur Überprüfung einer Gesichtsposition oder Pupillenposition gemessen werden. Ferner ist es möglich, eine Parallelbewegung und Rotation der Pupillenposition auch durch die Verwendung des Wellenfrontsensors **146** zu erfassen. Daher ist es möglich, eine sehr genaue Positionserfassung unter Verwendung des gemessenen Werts des Wellenfrontsensors zusammen mit dem Fundusbild zur Berechnung der Positionsinformationen durchzuführen.

**[0074]** Das hier berechnete Bewegungsausmaß wird zur Steuerung der Abbildungsbereichskorrektur der AO-SLO-Vorrichtung verwendet. Diese Korrektur wird durch eine Abtastbereichskorrektur der Abtasteinrichtung als die Abtasteinheit und der Aberrationskorrektur einrichtung ausgeführt (Prozess C: **909**). Der Vorgang in Schritt **909** als Prozess C ist derselbe wie der Vorgang von Prozess C im ersten Ausführungsbeispiel.

**[0075]** Wenn das Bewegungsausmaß des Fundus einwillkürlicher Schwellenwert ( $o$ )  $\mu\text{m}$  oder größer ist (Schritt **910**), wird angenommen, dass sich ein Aberrationszustand stark verändert. Daher geht der Prozess zu Schritt **911** über, und der AO-Prozess wird erneut ausgeführt. Der AO-Prozess ist derselbe wie der in Schritt **903**. Allerdings ist dieser Schritt nicht erforderlich, wenn der AO-Prozess auch während der AO-SLO-Bildgebung ausgeführt wird. Das heißt, der hier beschriebene willkürliche Schwellenwert ( $o$ )  $\mu\text{m}$  ist ein Schwellenwert zur Bestimmung, ob ein gutes Bild aufgrund einer Änderung der Aberration erhalten werden kann oder nicht, wenn sich der Abbildungsbereich ändert. Wenn das Bewegungsausmaß der Schwellenwert oder kleiner ist, wird erkannt, dass das erhaltene Fundusbild für eine Diagnose verwendet werden kann.

**[0076]** Danach geht der Prozess zu Schritt **905** über, und die AO-SLO-Bildgebung wird fortgesetzt.

**[0077]** Wenn die AO-SLO-Bildgebung beendet ist, ist die Verarbeitung beendet (JA in Schritt **907**).

**[0078]** Ohne Verwendung einer weiteren Fundusbildgebungseinheit, die von dem AO-SLO verschieden ist, ist es wie vorstehend beschrieben möglich, die Abbildungsposition nachzuführen. Durch die Verwendung einer Vielzahl von Einrichtungen für eine Abbildungspositionsanpassung kann eine sehr genaue Nachführung auch in dem Hochauflösungs-AO-SLO ausgeführt werden, und ein AO-SLO-Bild mit hoher Bildqualität kann erhalten werden.

(Weitere Ausführungsbeispiele)

**[0079]** Die Erfindung kann auch durch die Durchführung der folgenden Verarbeitung realisiert werden. Das heißt, die Verarbeitung beinhaltet die Zufuhr einer Software (eines Programms) zur Realisierung der Funktionen der vorstehend angeführten Ausführungsbeispiele zu einem System oder einer Vorrichtung über ein Netzwerk oder verschiedene Speichermedien und Veranlassen eines Computers (oder einer CPU, einer MPU oder dergleichen) des Systems oder der Vorrichtung zum Lesen und Ausführen des Programms.

**[0080]** Es wird angemerkt, dass die Erfindung nicht auf die vorstehend angeführten Ausführungsbeispie-

le beschränkt ist, und verschiedentlich modifiziert oder verändert werden kann, ohne von der Erfindung abzuweichen. Beispielsweise wurde in den vorstehend angeführten Ausführungsbeispielen der Fall beschrieben, dass ein zu messendes Objekt ein Auge ist, jedoch kann die Erfindung auch bei zu messenden Objekten wie von Haut oder einem Organ verschieden von einem Auge angewendet werden. In diesem Fall hat die Erfindung ein Ausführungsbeispiel als medizinische Ausrüstung, wie ein Endoskop, anstelle einer ophthalmologischen Vorrichtung. So mit wird bevorzugt, dass die Erfindung als Untersuchungsvorrichtung verstanden wird, die als Beispiel eine ophthalmologische Vorrichtung hat, und das Untersuchungsauge als Ausführungsbeispiel eines Untersuchungsobjekts verstanden wird.

**[0081]** Obwohl die Erfindung unter Bezugnahme auf Ausführungsbeispiele beschrieben wurde, ist ersichtlich, dass die Erfindung nicht auf die offensichtlichen Ausführungsbeispiele beschränkt ist.

**[0082]** Ein Bildgebungsverfahren zur Korrektur einer Aberration ist bereitgestellt, die bei der Bildgebung eines Untersuchungsobjekts erzeugt wird. Das Bildgebungsverfahren enthält eine Irradiation eines Abbildungsbereichs mit einem ersten Lichtstrahl, der durch eine Abtasteinheit abgelenkt wird, und Aufnehmen eines Bildes des Untersuchungsobjekts beruhend auf zurückgekehrtem Licht des ersten Lichtstrahls, Erfassen eines Bewegungsausmaßes des Untersuchungsobjekts, Vergleichen des erfassten Bewegungsausmaßes mit einem vorbestimmten Schwellenwert und Anpassen des mit dem ersten Lichtstrahl zu bestrahlenden Abbildungsbereichs. Die Anpassung beinhaltet eine Bestimmung entsprechend einem Ergebnis des Vergleichs zur Änderung des Abbildungsbereichs durch die Verwendung der Abtasteinheit und/oder die Verwendung einer Aberrationskorrekturseinheit.

**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**

- US 7758189 [0002, 0004]

**Zitierte Nicht-Patentliteratur**

- Y. Zhang et al., Optics Express, Band 14, Nr. 10, May 15, 2006 [0003]

**Patentansprüche**

1. Bildgebungsverfahren zur Korrektur einer bei einer Abbildung eines Untersuchungsobjekts erzeugten Aberration, mit Bestrahlen eines Abbildungsbereichs mit einem ersten Lichtstrahl, der durch eine Abtasteinheit abgelenkt wird, und Aufnehmen eines ersten Bildes des Untersuchungsobjekts beruhend auf zurückgekehrtem Licht des ersten Lichtstrahls, Erfassen eines Bewegungsausmaßes des Untersuchungsobjekts, Vergleichen des erfassten Bewegungsausmaßes mit einem vorbestimmten Schwellenwert, Bestimmen einer Änderung des Abbildungsbereichs entsprechend dem Ergebnis des Vergleichs unter Verwendung der Abtasteinheit und/oder unter Verwendung einer Aberrationskorrekturseinheit und Ändern des mit dem ersten Lichtstrahl zu bestrahenden Abbildungsbereichs entsprechend dem Ergebnis der Bestimmung.
2. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 1, wobei das Erfassen des Bewegungsausmaßes beruhend auf dem zurückgekehrten Licht des ersten Lichtstrahls ausgeführt wird.
3. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 1, wobei das Erfassen des Bewegungsausmaßes durch Bestrahlen des Untersuchungsobjekts mit einem zweiten Lichtstrahl ausgeführt wird, der von dem ersten Lichtstrahl verschieden ist, und beruhend auf einem zweiten Bild des Untersuchungsobjekts ausgeführt wird, das beruhend auf zurückgekehrtem Licht des zweiten Lichtstrahls erzeugt wird.
4. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 1, wobei eine Aberration beruhend auf zurückkehrendem Messlicht von dem Untersuchungsobjekt gemessen wird, wobei das zurückkehrende Licht durch Bestrahlen des Untersuchungsobjekts mit Messlicht zur Messung der Aberration erhalten wird.
5. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 1, ferner mit einem Separieren des Bewegungsausmaßes des Untersuchungsobjekts in eine Variation mit großer Amplitude und niedriger Frequenz und eine Variation mit kleiner Amplitude und hoher Frequenz, wobei das Ändern des zu bestrahenden Abbildungsbereichs ein Verarbeiten der Variation mit großer Amplitude und niedriger Frequenz zur Änderung des Abbildungsbereichs unter Verwendung der Abtasteinheit und ein Verarbeiten der Variation mit kleiner Amplitude und hoher Frequenz zur Änderung des Abbildungsbereichs unter Verwendung der Aberrationskorrekturseinheit umfasst.
6. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 1, wobei das Ändern des zu bestrahenden Abbildungsbereichs ein Ausführen der Änderung des Abbildungsbereichs umfasst, wenn das Bewegungsausmaß als größer oder gleich dem vorbestimmten Schwellenwert bestimmt wird.

7. Bildgebungsverfahren nach Anspruch 1, wobei das Ändern des zu bestrahenden Abbildungsbereichs ein Vermeiden der Änderung des Abbildungsbereichs umfasst, wenn das Bewegungsausmaß als kleiner als der vorbestimmte Schwellenwert bestimmt wird.
8. Dauerhaftes materielles Medium mit einem darauf aufgezeichneten Programm zur Veranlassung eines Computers zur Durchführung der Schritte des Bildgebungsverfahrens nach Anspruch 1.
9. Bildgebungsvorrichtung mit einer Bildgebungseinheit zum Bestrahlen eines Abbildungsbereichs eines Untersuchungsobjekts mit einem ersten Lichtstrahl, der durch eine Abtasteinheit abgelenkt wird, und zur Aufnahme eines Bildes des Untersuchungsobjekts beruhend auf zurückgekehrtem Licht des ersten Lichtstrahls, einer Aberrationsmeseinheit zur Messung einer in dem Untersuchungsobjekt erzeugten Aberration, einer Aberrationskorrekturseinheit zum Korrigieren der Aberration entsprechend der gemessenen Aberration, einer Erfassungseinheit zur Erfassung eines Bewegungsausmaßes des Untersuchungsobjekts, einer Vergleichseinheit zum Vergleichen des erfassten Bewegungsausmaßes mit einem vorbestimmten Schwellenwert, einer Bestimmungseinheit zur Bestimmung einer Änderung des Abbildungsbereichs gemäß dem Ergebnis des Vergleichs durch die Vergleichseinheit unter Verwendung der Abtasteinheit und/oder unter Verwendung der Aberrationskorrekturseinheit, und einer Steuereinheit zur Änderung des Abbildungsbereichs entsprechend einem Ergebnis der Bestimmung durch die Bestimmungseinheit.
10. Bildgebungsvorrichtung nach Anspruch 9, ferner mit einer zweiten Lichtstrahlirradiationseinheit zur Bestrahlung des Untersuchungsobjekts mit einem vom ersten Lichtstrahl verschiedenen zweiten Lichtstrahl, wobei die Erfassungseinheit das Bewegungsausmaß des Untersuchungsobjekts unter Verwendung eines Bildes des Untersuchungsobjekts erfasst, das beruhend auf zurückgekehrtem Licht des zweiten Lichtstrahls erhalten wird.
11. Bildgebungsvorrichtung nach Anspruch 9, ferner mit einer Einheit zur Änderung der Irradiationsrichtung des ersten Lichtstrahls, wobei das Bewegungsausmaß des Untersuchungsobjekts bezüglich seiner Frequenz getrennt wird, und die Einheit zur Änderung der Irradiationsrichtung des ersten Lichtstrahls und die Aberrationskorrekturseinheit beruhend auf der getrennten Frequenz gesteuert werden.

12. Bildgebungsvorrichtung wie beschrieben und in den beiliegenden Zeichnungen veranschaulicht.

13. Verfahren zur Korrektur einer Aberration, die bei einer Abbildung eines Untersuchungsobjekts erzeugt wird, wie hier beschrieben und in den beiliegenden Zeichnungen veranschaulicht.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

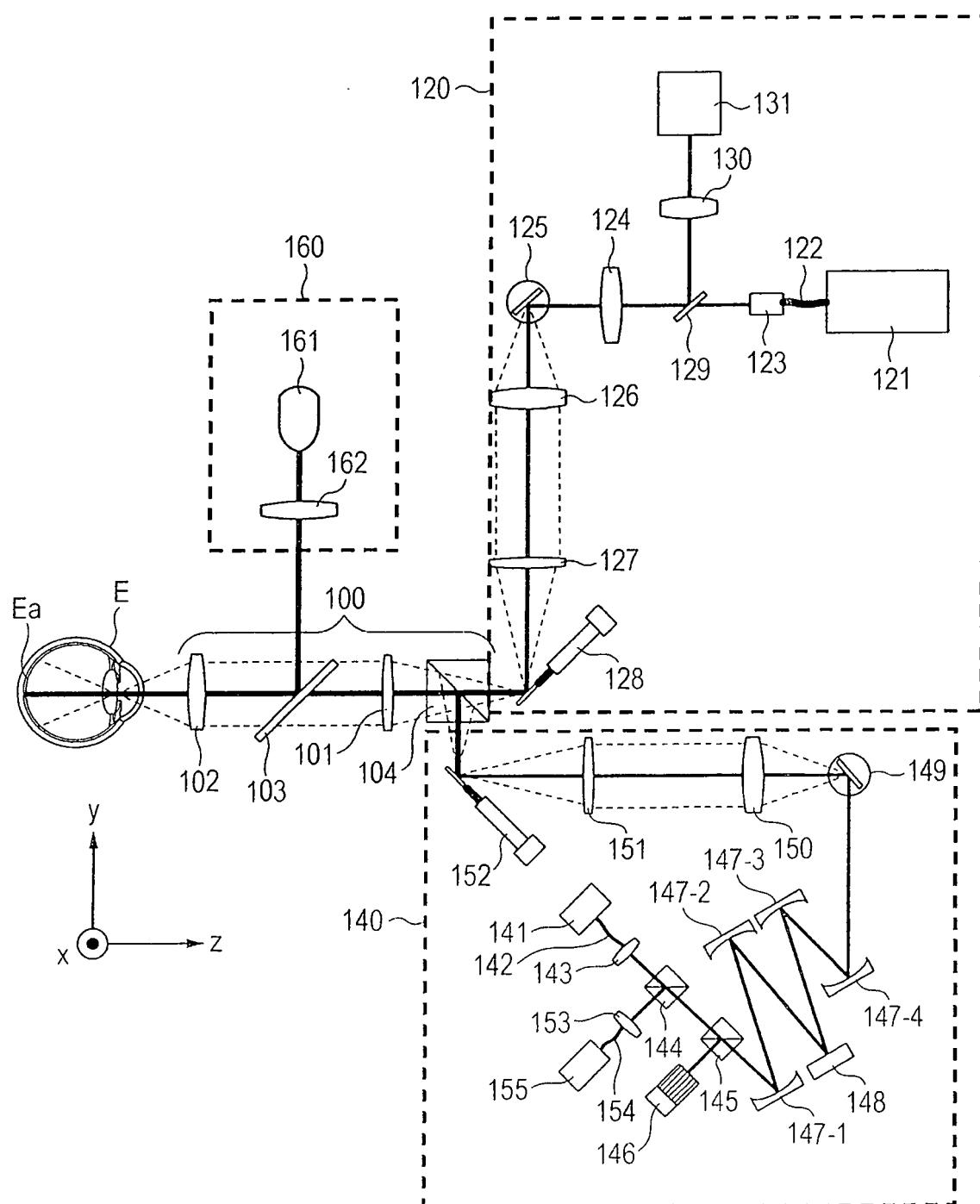


FIG. 2

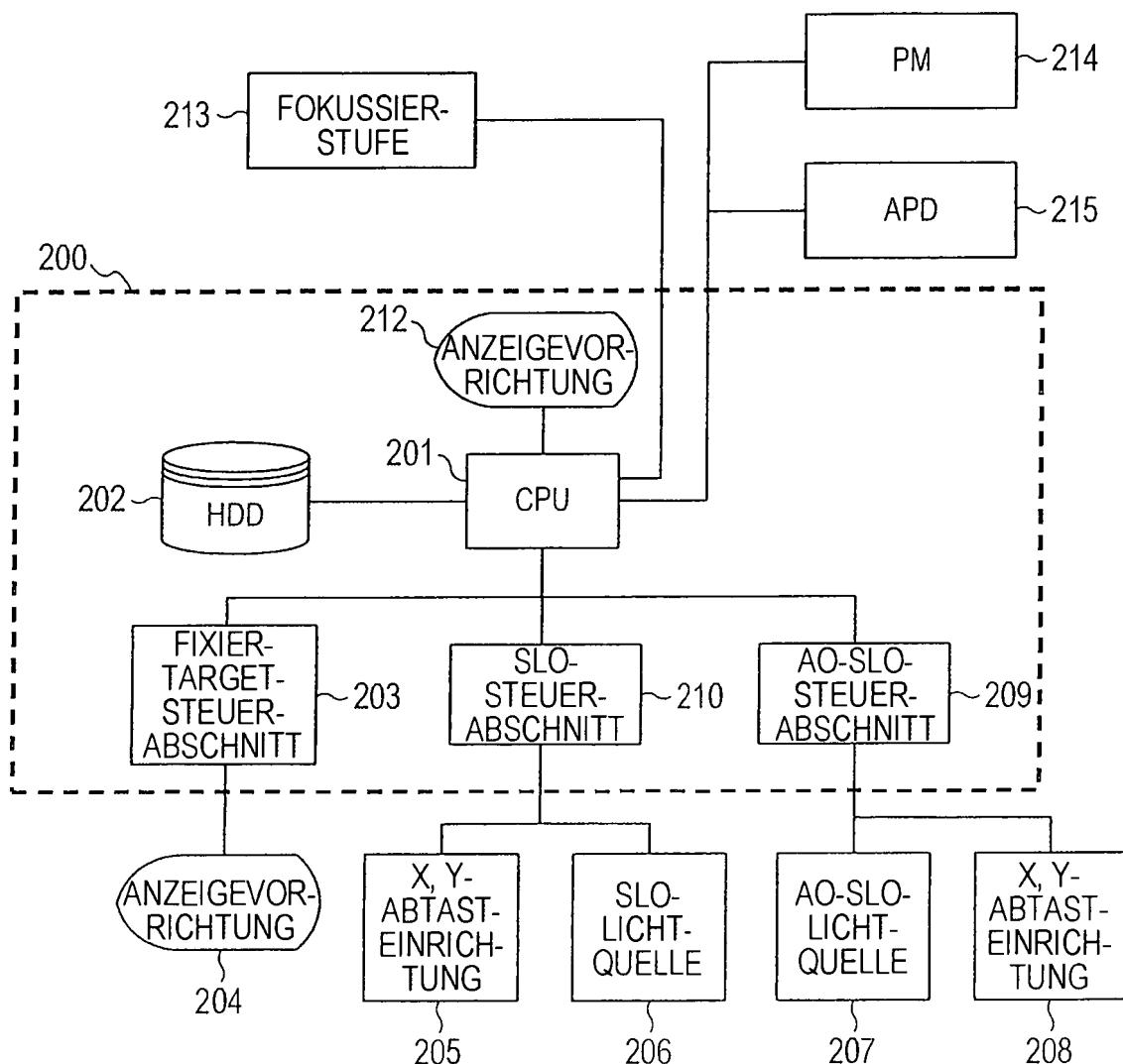


FIG. 3

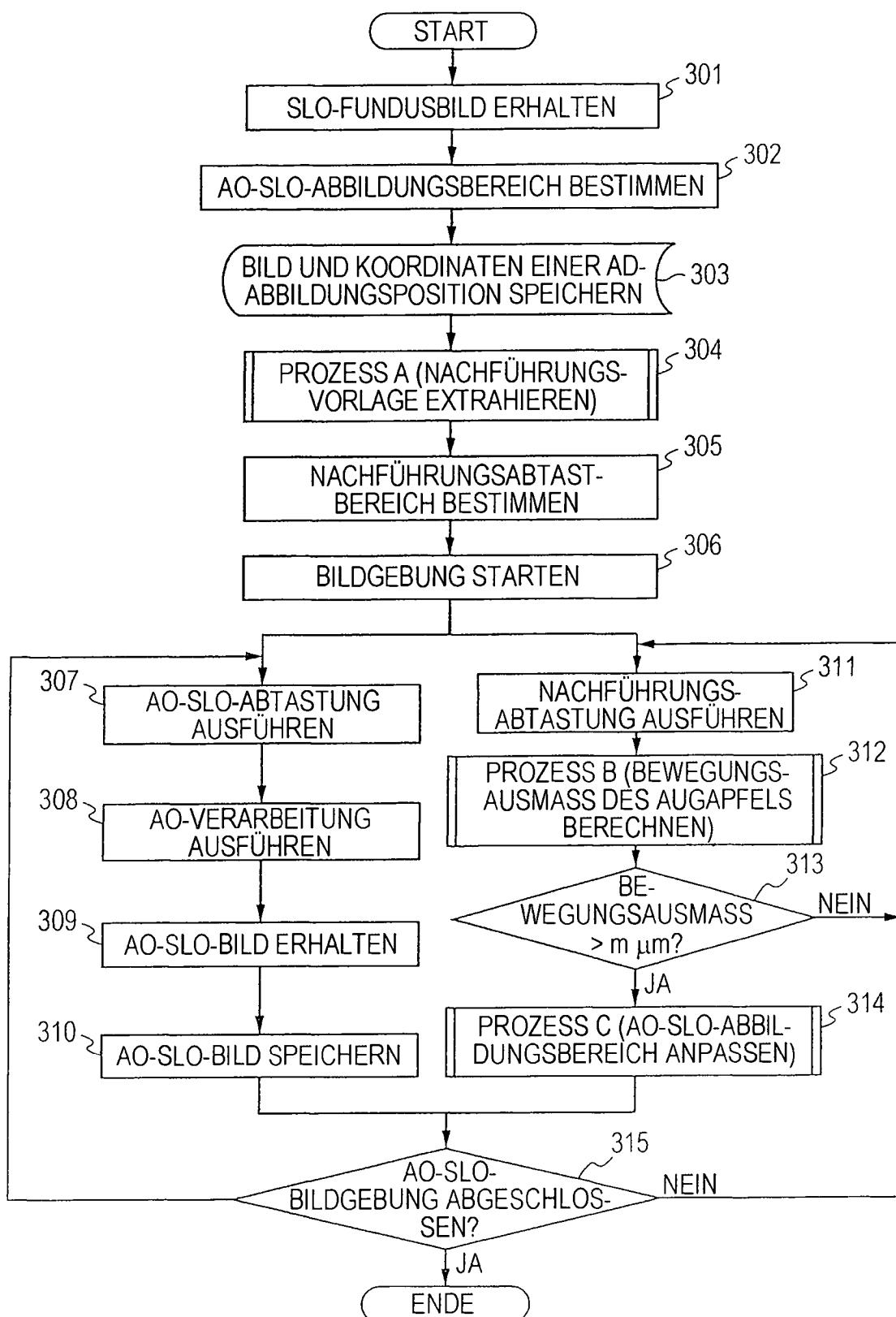


FIG. 4A

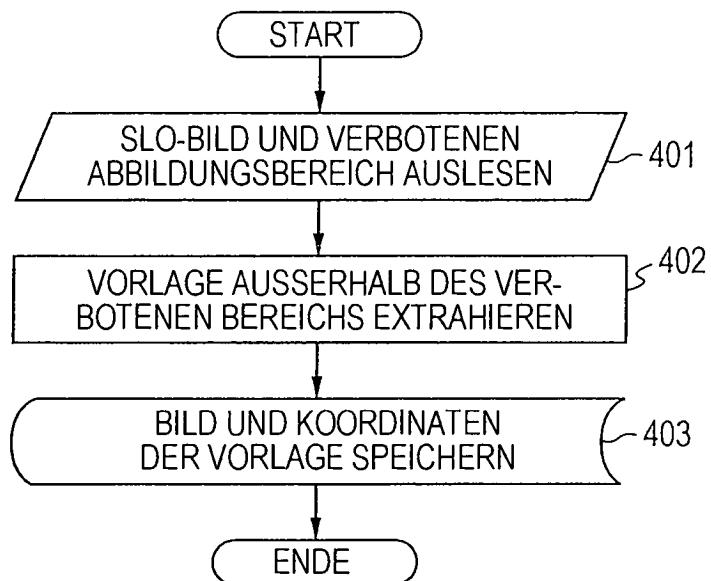


FIG. 4B

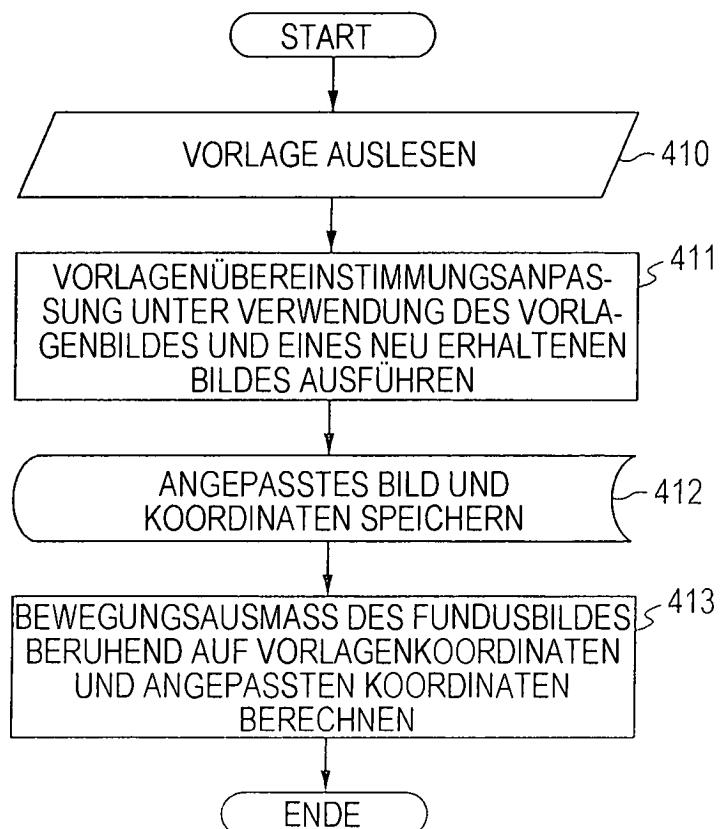


FIG. 4C

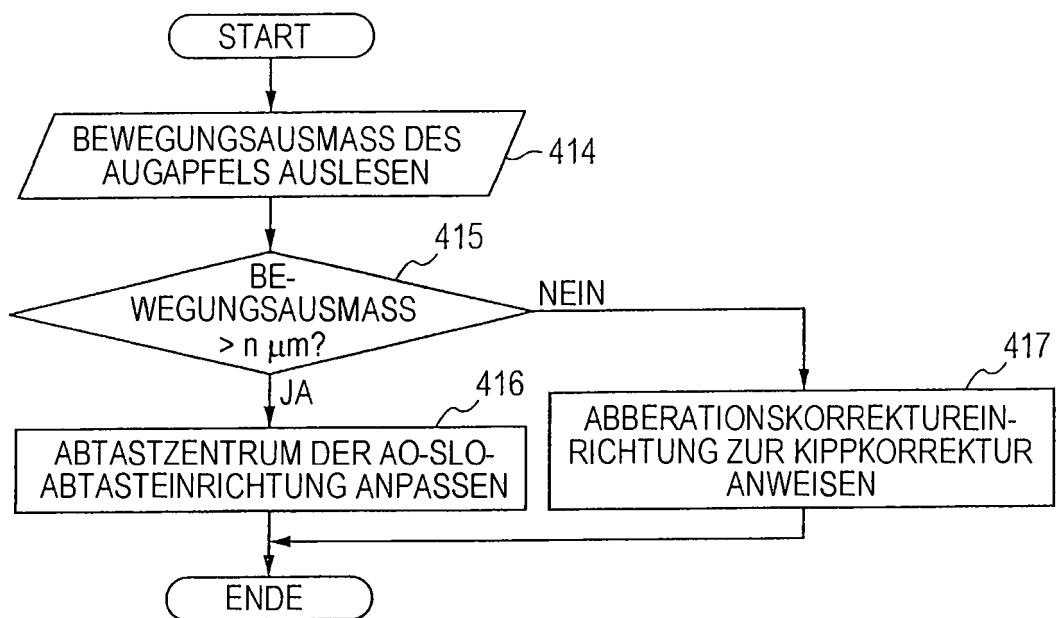


FIG. 5

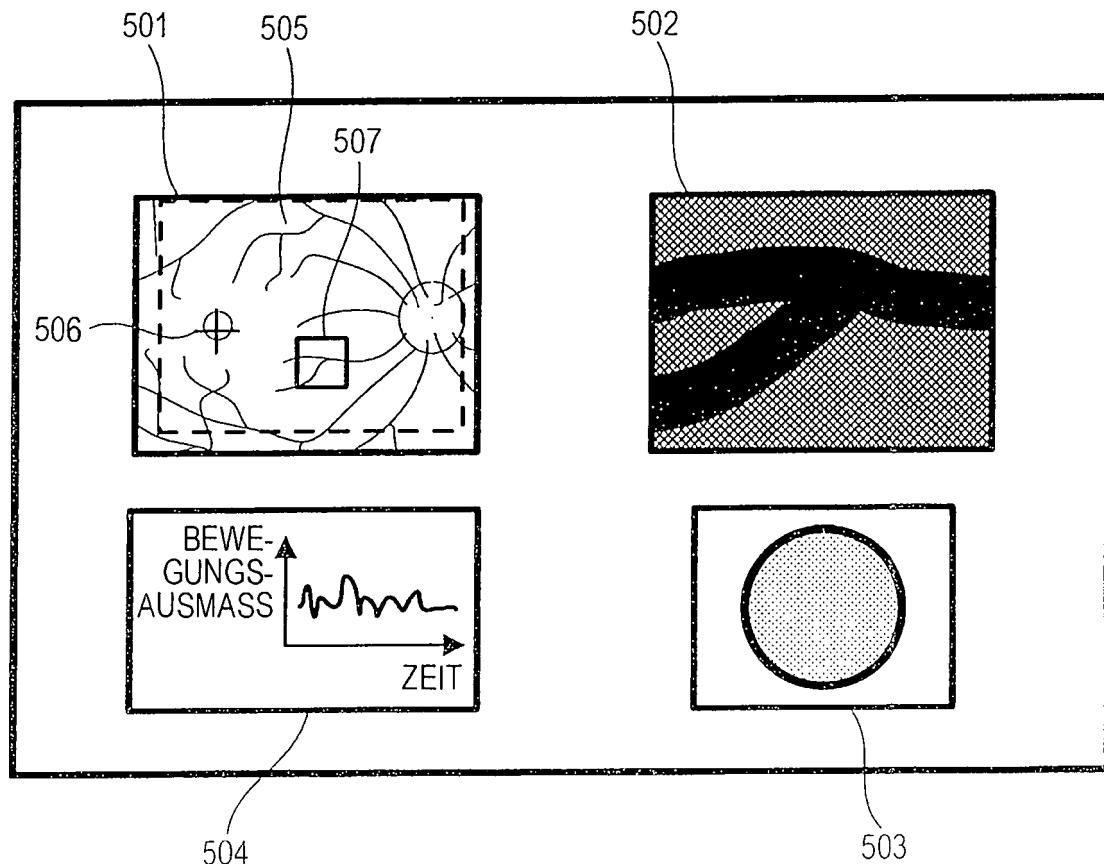


FIG. 6

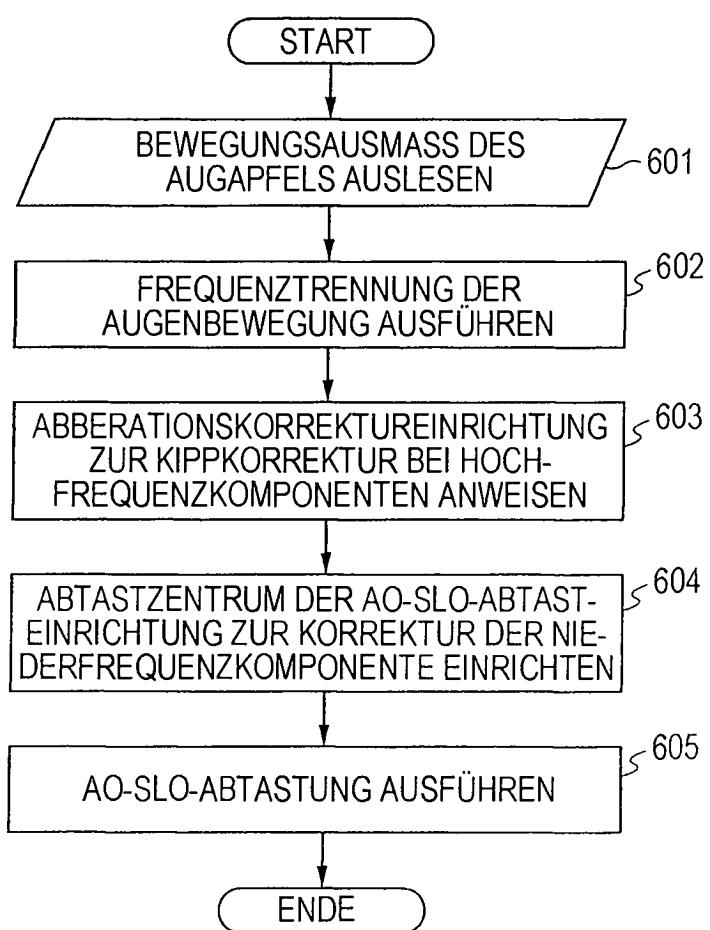


FIG. 7

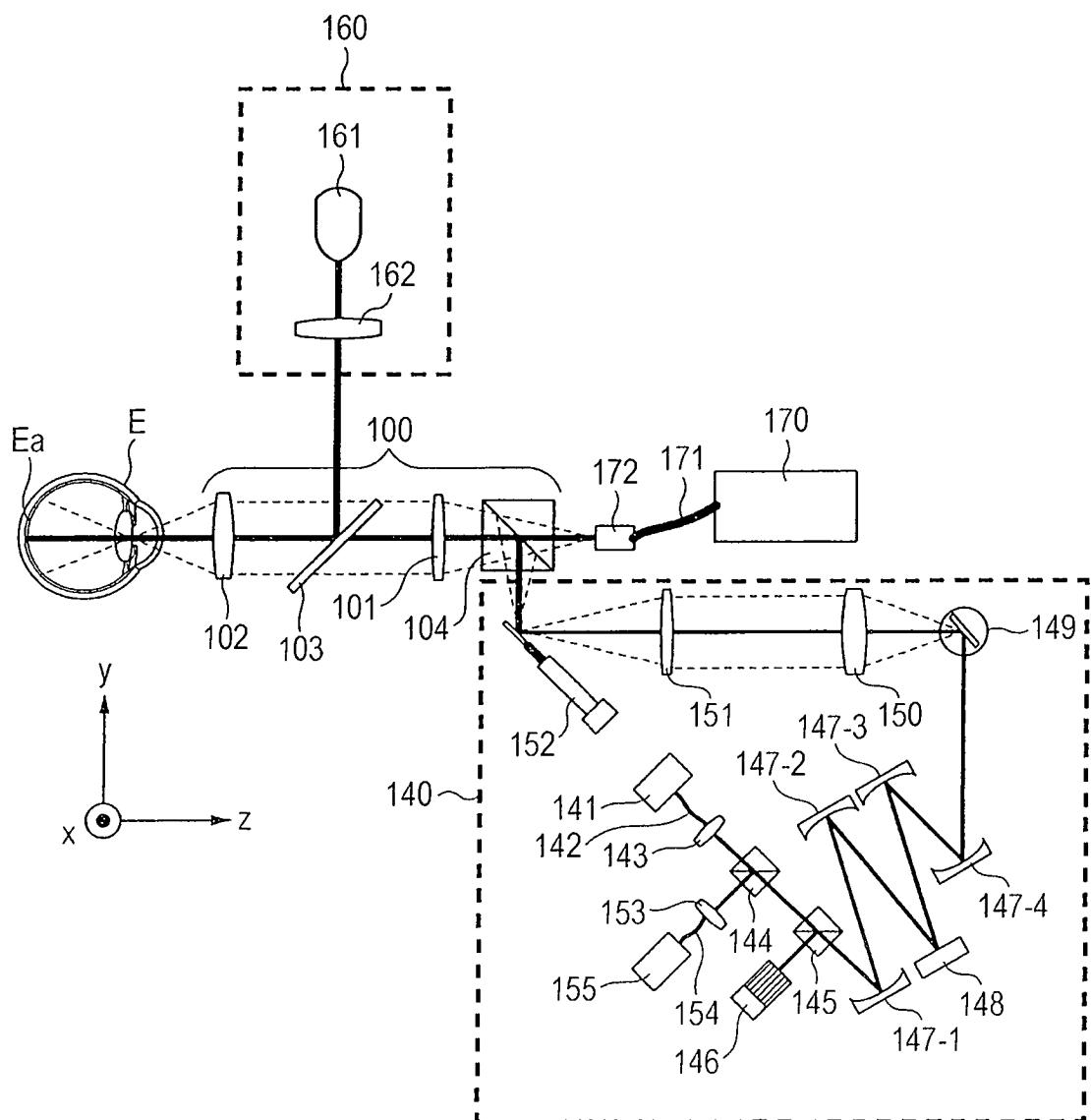


FIG. 8

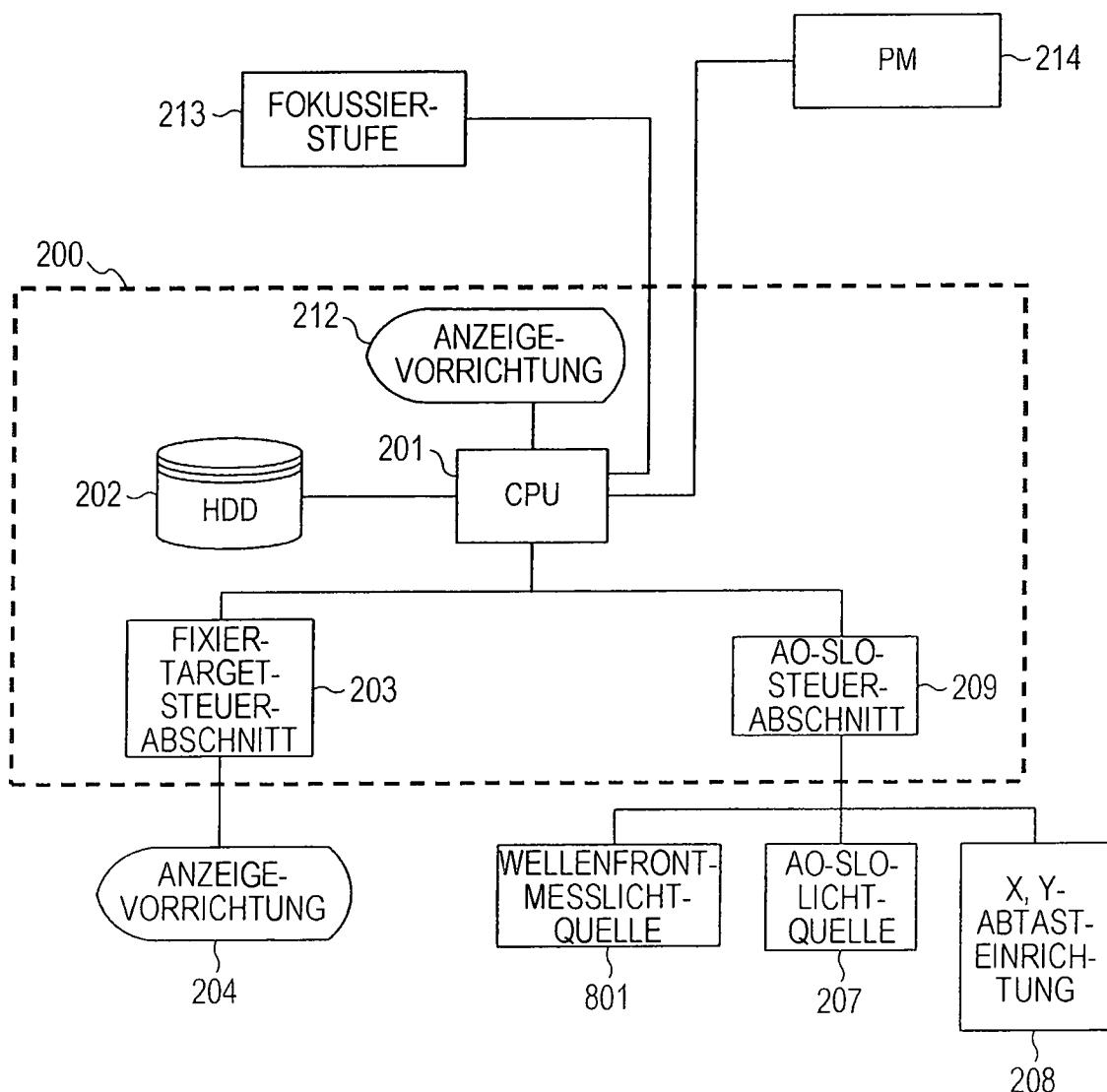


FIG. 9

