

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
24. Juni 2010 (24.06.2010)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2010/069987 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation:  
**G02B 26/10** (2006.01) **G02B 21/00** (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2009/067269
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
16. Dezember 2009 (16.12.2009)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
08172450.2 19. Dezember 2008 (19.12.2008) EP
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **DEUTSCHES KREBSFORSCHUNGSZENTRUM** [DE/DE]; Im Neuenheimer Feld 280, 69120 Heidelberg (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **ENGELHARDT, Johann** [DE/DE]; Schießmauerweg 6, 76669 Bad Schönborn (DE).
- (74) Anwalt: **REHBERG HÜPPE + PARTNER**; Nikolausberger Weg 62, 37073 Göttingen (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Veröffentlicht:  
— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR DYNAMICALLY SHIFTING A LIGHT BEAM RELATIVE TO AN OPTIC WHICH FOCUSES THE LIGHT BEAM

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR DYNAMISCHEN VERLAGERUNG EINES LICHTSTRAHLS GEGENÜBER EINER DEN LICHTSTRAHL FOKUSSIERENDEN OPTIK

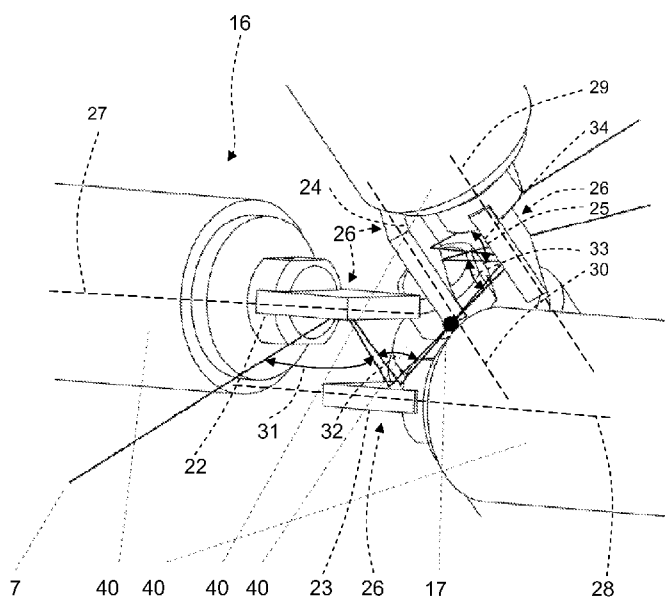


Fig. 1

(57) Abstract: In order to dynamically shift a light beam (7) relative to an optic which focuses the light beam so that an object can be scanned by the focused light beam (7) in a two-dimensional scanning field, the light beam (7) is deflected in two different directions relative to the optical axis of the optic to two points one after the other per direction, said deflections being done by two deflection angles (31 and 32 or 33 and 34) which change dynamically independent of one another.

(57) Zusammenfassung: Zur dynamischen Verlagerung eines Lichtstrahls (7) gegenüber einer den Lichtstrahl fokussierenden Optik, um ein Objekt mit dem fokussierten Lichtstrahl (7) in einem zweidimensionalen Abtastbereich abzutasten, wird der Lichtstrahl (7) gegenüber der optischen Achse der Optik in zwei verschiedenen Richtungen in zwei hintereinander liegenden Punkten je Richtung um zwei sich unabhängig voneinander dynamisch verändernde Ablenkwinkel (31 und 32 bzw. 33 und 34) abgelenkt.

WO 2010/069987 A1

## **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR DYNAMISCHEN VERLAGERUNG EINES LICHTSTRAHLS GEGENÜBER EINER DEN LICHTSTRAHL FOKUSSIERENDEN OPTIK**

### **TECHNISCHES GEBIET DER ERFINDUNG**

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur dynamischen Verlagerung eines Lichtstrahls gegenüber einer den Lichtstrahl fokussierenden Optik mit den Merkmalen des Oberbegriffs des unabhängigen Patentanspruchs 1 sowie auf ein entsprechendes Verfahren zur dynamischen Verlagerung eines Lichtstrahls gegenüber einer den Lichtstrahl fokussierenden Optik mit den Merkmalen des Oberbegriffs des unabhängigen Patentanspruchs 8.

Die Erfindung fällt dabei insbesondere auf das Gebiet der Lichtrastermikroskopie, bei der ein Objekt mit dem fokussierten Lichtstrahl, in der Regel einem fokussierten Laserstrahl, abgetastet wird. Dieses Abtasten wird auch als Scannen oder Rastern bezeichnet, und eine entsprechende Vorrichtung ist auch als Strahlscanner, Laserscanner oder Rasterscanner bekannt.

### **STAND DER TECHNIK**

In der frühen konfokalen Lichtrastermikroskopie, die den Vorteil hat, dass außerhalb der Fokalebene des Mikroskopobjektivs liegende Objektteile nicht unscharf und damit störend dem Bild des interessierenden Objekts in der Fokalebene überlagert werden, wurden sogenannte Objektscanner verwendet, die das jeweilige Objekt relativ zu dem ruhenden Lichtstrahl bewegen. Eine solche Anordnung ist in der US 3,013,467 beschrieben. Die Verwendung eines Objektscanners erlaubt zwar eine einfache, statische Optik. Trägheitsbedingt ermöglicht ein Objektscanner jedoch nur vergleichsweise geringe Abtastgeschwindigkeiten und entsprechend

geringe Bildraten. Praktisch sind die Abtastgeschwindigkeiten in der Biologie oder Medizin nur für tote fixierte Proben ausreichend.

Für die Abbildung lebender Zellstrukturen in biologischen Proben werden in konfokalen Lichtrastermikroskopen daher Strahlrasterverfahren angewandt, bei denen der Lichtstrahl, in  
5 aller Regel ein Laserstrahl, gegenüber der ihn anschließend fokussierenden Optik mit Strahlableitungsmitteln so abgelenkt wird, dass er um einen Punkt in der Pupillenebene der fokussierenden Optik verdreht wird, die hier kurz als Pupille bezeichnet wird, um ihn in der Fokalebene des Mikroskopobjektivs zu verlagern. Bei Mikroskopobjektiven höherer Vergrößerung liegt jedoch die Pupille im Objektiv selbst und ist somit mechanisch nicht  
10 zugänglich. Daher muss der verwendete Rastermechanismus in eine optische Abbildung der Pupille des Objektivs verlegt werden. Wenn der Strahldrehpunkt nicht genau in der Pupille der fokussierenden Optik liegt, nimmt die Bildhelligkeit zum Rand des Abtastbereichs hin stark ab, was nicht tolerabel ist.

In der Pupille der fokussierenden Optik bzw. einer Abbildung der Pupille der Optik kann jeweils  
15 nur ein Strahlableitungsmittel angeordnet werden. Um mit einem solchen einzigen Strahlableitungsmittel in Form eines Spiegels den Abtastbereich in zwei Richtungen abzutasten, ist es aus der DE 84 28 200 U1 bekannt, den Spiegel kardanisches so zu lagern, dass er um den Auftreffpunkt des einfallenden Lichtstrahls in zwei zueinander senkrechten Richtungen verschwenkbar ist. Die mechanische Ausführung dieses bekannten Rasterscanners erlaubt  
20 aber keine hohen Abtastgeschwindigkeiten, und auch die mögliche Präzision ist begrenzt.

Grundsätzlich ist es möglich, zwei Abbildungen der Pupille der fokussierenden Optik vorzusehen und in jeder Pupillenabbildung ein Strahlableitungsmittel anzuordnen, das den Lichtstrahl in einer von zwei Richtungen gegenüber der fokussierenden Optik ablenkt. Hierdurch wird jedoch der optische Aufbau komplex, mit negativen Auswirkungen auf die optische Trans-  
25 mission.

Wird einer von zwei getrennte Drehspiegel, die um orthogonale Schwenkachsen verschwenkbar sind, oder werden diese sogar beide nur nahe einer einzigen Abbildung der Pupille einer nachgeschalteten fokussierenden Optik angeordnet, resultieren hieraus neben einer variierenden Bildhelligkeit geometrische Verzeichnung und chromatische Fehler.

Einen Überblick über bekannte Laserscanner gibt James B. Pawley: "Handbook of Biological Confocal Microscopy", 3. Auflage, Springer Verlag, ISBN 10. 0-387-25921-X, ISBN 13: 987-0387-25921-5.

5 Aus der DE 40 26 130 A1 sind eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Oberbegriffs des unabhängigen Patentanspruchs 1 und ein Verfahren mit den Merkmalen des Oberbegriffs des unabhängigen Patentanspruchs 8 bekannt, bei denen ein Laserstrahl durch zwei Drehspiegel, deren Schwenkbewegung um parallele Schwenkachsen gemäß einer festen mathematischen Beziehung gekoppelt ist, in einer Richtung so abgelenkt wird, dass er um einen festen Auftreffpunkt auf einen weiteren Drehspiegel verdreht wird. Durch Verschwenken dieses  
10 weiteren Drehspiegels wird der Laserstrahl in der zweiten Richtung abgelenkt. Wenn der Auftreffpunkt dabei in der Eintrittspupille der nachgeschalteten fokussierenden Optik liegt, fällt der gemeinsame Drehpunkt des Laserstrahls in beide Richtungen in die Pupille der fokussierenden Optik.

15 Eine weitere Vorrichtung mit den Merkmalen des Oberbegriffs des unabhängigen Patentanspruchs 1 und ein weiteres Verfahren mit den Merkmalen des Oberbegriffs des unabhängigen Patentanspruchs 8 sind aus der DE 196 54 210 A1 bekannt. Hier sind zum Ablenken des Lichtstrahls in der ersten Richtung zwei in einer vorgegebenen Winkelposition drehfest zueinander angeordnete Spiegel vorgesehen, die so gemeinsam um die optische Achse eines einfallenden Laserstrahls verschwenkbar sind, dass dieser in einem festen Punkt  
20 auf einer auf der verlängerten optischen Achse des einfallenden Laserstrahls angeordneten weiteren Drehspiegel fällt, der um eine orthogonal zu dem einfallenden Lichtstrahl und dem abgelenkten Lichtstrahl verlaufenden Schwenkachse verschwenkbar ist. Durch Anordnung des weiteren Drehspiegels in einer Abbildung der Pupille der nachgeschalteten fokussierenden Optik wird der Lichtstrahl in beiden Richtungen um einen einzigen Punkt in dieser  
25 Pupillenabbildung verdreht. Bei dieser bekannten Vorrichtung können weitere Spiegel vorgesehen sein, um den fokussierten Laserstrahl um die optische Achse des einfallenden Laserstrahls zu verdrehen.

In jüngerer Zeit sind Verfahren der hochauflösenden Lichtstrahlmikroskopie aufgekommen, mit denen Auflösungen jenseits der Beugungsgrenze erreicht werden. Ein Beispiel hierfür ist die  
30 STED (Stimulated Emission Depletion)-Mikroskopie, wie sie in der WO 95/21393 A beschrieben ist. Diese neueren Verfahren stellen an die Abbildung des Laserstrahls, mit dem der

Abtastbereich abgetastet wird, in die Pupille einer fokussierenden Optik wesentlich höhere Anforderungen als die herkömmliche Lichtstrahtermikroskopie. So wird in der STED-Mikroskopie ein erster Fluoreszenzanregungslaserstrahl zur Fluoreszenzanregung wie bei der konfokalen Lichtstrahtermikroskopie verwendet. Zusätzlich wird jedoch ein zweiter Stimulationslaserstrahl eingesetzt, der die Fluoreszenz im Randbereich des beugungsbegrenzten Lichtflecks des Anregungslichts löscht. Dazu wird die Intensitätsverteilung des Stimulationslichts in der Fokalebene z. B. ringförmig gestaltet. Um in der Mitte der Intensitätsverteilung des Stimulationslichts eine Nullstelle zu erreichen, wird das elektrische Feld des Stimulationslaserstrahls mit sogenannten Phasenplatten oder -modulatoren räumlich so in einer Abbildung der Pupille des Objektivs moduliert, dass das Integral des elektrischen Felds über der Pupille verschwindet. Für die praktische Durchführung der STED-Mikroskopie muss die Restlichtintensität in der Nullstelle des Stimulationsstrahls unter einem Prozent der maximalen Umgebungshelligkeit liegen, um nicht auch das interessierende Messsignal aus dem Fokuspunkt zu löschen. Die räumliche Phasenstruktur des Stimulationsstrahls in der Pupille darf sich entsprechend beim Abtasten des Abtastbereichs durch Ablenken des Lichtstrahls nur um geringste Bruchteile, in der Praxis maximal etwa ein Tausendstel des Pupillendurchmessers, verschieben. Dieses Kriterium ist mittels der bekannten Laserscanner falls überhaupt nur mit extremem Aufwand, d. h. hochwertigsten optischen Komponenten für die Drehspiegel und die fokussierende Optik, zu erreichen.

Aus der US 2006/0151449 A1 sind ein System und ein Verfahren zum Abtasten einer Oberfläche mit einem parallelen Strahl bekannt. Ein kollimierter Lichtstrahl, beispielsweise von einem Laser, wird mit zwei Paaren von Lichtablenkungsmitteln, wie beispielsweise Spiegeln, lateral zu seiner optischen Achse parallelverschoben. Die Strahlablenkungsmittel sind nacheinander um zwei zueinander parallele und quer zu dem Lichtstrahl verlaufende Schwenkachsen und um zwei weitere zueinander parallele und quer zu dem Lichtstrahl, aber auch quer zu den ersten Schwenkachsen verlaufende Schwenkachsen verschwenkbar. Dabei werden die beiden Strahlablenkungsmittel, die um zueinander parallele Schwenkachsen verschwenkbar sind, jeweils um gleiche Winkel gleichsinnig verschwenkt, um die Parallelverschiebung des Laserstrahls zu bewirken, so dass beispielsweise Drehspiegel als Strahlablenkungsmittel in jeder Betriebsstellung des bekannten Systems bezüglich ihrer Oberflächennormalen paarweise antiparallel zueinander ausgerichtet sind. Eine Fokussierung des Lichtstrahls erfolgt nicht.

### **AUFGABE DER ERFINDUNG**

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Oberbegriffs des unabhängigen Patentanspruchs 1 und ein Verfahren mit den Merkmalen des Oberbegriffs des unabhängigen Patentanspruchs 8 aufzuzeigen, mit denen es ohne großen praktischen oder apparativen Aufwand möglich ist, den Lichtstrahl um einen festen Drehpunkt in der Pupille der fokussierenden Optik in zwei Richtungen zu verdrehen, um den zweidimensionalen Abtastbereich ohne Variation der optischen Verhältnisse über dem Abtastbereich abzutasten.

### **LÖSUNG**

Die Aufgabe der Erfindung wird durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des unabhängigen Patentanspruchs 1 und durch ein Verfahren mit den Merkmalen des unabhängigen Patentanspruchs 8 gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen der neuen Vorrichtung sind in den abhängigen Patentansprüchen 2 bis 7 beschrieben, während die abhängigen Patentansprüche 9 bis 15 bevorzugte Ausführungsformen des neuen Verfahrens betreffen.

### **BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG**

Bei der neuen Vorrichtung sind je Richtung, in der der Lichtstrahl gegenüber der optischen Achse der fokussierenden Optik abgelenkt werden soll, um ihn in dieser Richtung innerhalb des Abtastbereichs zu verschieben, mindestens und auch vorzugsweise zwei Strahlablenkungsmittel hintereinander geschaltet. Die beiden Strahlablenkungsmittel lenken den Lichtstrahl zwar in derselben Ebene, aber an zwei hintereinander liegenden Punkten um jeweils einen Ablenkwinkel ab. Dabei sind diese beiden Ablenkwinkel unabhängig voneinander dynamisch veränderbar. Aus der Kombination der unabhängigen dynamischen Veränderbarkeit der beiden Ablenkwinkel heraus kann sowohl die Strahlage des Lichtstrahls in der jeweiligen Richtung in der Pupille der fokussierenden Optik als auch der Winkel des Lichtstrahls zu der optischen Achse der fokussierenden Optik und damit die Lage des fokussierten Lichtstrahls in dem Abtastbereich eingestellt werden. Dies bedeutet insbesondere, dass die Strahlage in der Pupille beim Abtasten des Abtastbereichs festgehalten werden kann. Diese Möglichkeit besteht für beide Richtungen, in denen der Lichtstrahl abgelenkt werden muss, um den Abtastbereich abzutasten, grundsätzlich unabhängig davon, wie nahe die Ablenkmittel von der Pupille oder einer Pupillenabbildung der fokussierenden Optik entfernt sind. Die Ablenkmittel können damit

insbesondere an einer sowieso freien Stelle des Strahlengangs angeordnet werden. Es muss für sie kein extra Platz geschaffen und insbesondere müssen für sie keine extra Pupillenabbildungen durchgeführt werden.

5 Durch die mit Hilfe der zwei unabhängig voneinander wirkenden Strahlablenkungsmittel bereitgestellten Freiheitsgrade sind nicht nur Abstände der Ablenkungsmittel zu der Pupille oder einer Pupillenabbildung der fokussierenden Abbildung kompensierbar, sondern auch Linsenfehler der fokussierenden Optik und/oder Fehler der Strahlablenkungsmittel selbst. Das heißt, bei der neuen Vorrichtung sind die Kriterien des Verschwenkens des Lichtstrahls um  
10 einen festen Punkt in der Pupille der Optik sogar genauer einzuhalten als mit einem idealen Spiegel in deren Pupille, da ein solcher Spiegel Abbildungsfehler der Optik anders als die hintereinander geschalteten zwei Strahlablenkungsmittel je Richtung nicht kompensieren kann. Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann der Drehpunkt des abgelenkten Lichtstrahls auch gezielt in axialer Richtung vorgegeben, beziehungsweise verlegt werden, um so z. B. unterschiedliche axiale Lagen verschiedener Objektive zu berücksichtigen.

15 Um diese Kompensationsmöglichkeiten auszunutzen, ist eine Steuerung für die Strahlablenkungsmittel vorgesehen, die die vier Ablenkwinkel der insgesamt mindestens vier Strahlablenkungsmittel für jeden Punkt des Abtastbereichs festlegt. Dabei gehört zu jedem Punkt des Abtastbereichs ein fester Wert für jeden der vier Ablenkwinkel. Insoweit sind die vier Ablenkwinkel untereinander korreliert. Sie ändern sich jedoch beim Abtasten des  
20 Abtastbereichs nicht in festen Beziehungen zueinander, sondern so, dass jeweils für jeden Punkt die idealen vier Ablenkwinkel eingestellt werden.

Die idealen Ablenkwinkel für jeden Punkt des Abtastbereichs werden von der Steuerung so festgelegt, dass der Lichtstrahl immer an derselben Stelle durch die Pupille der fokussierenden Optik verläuft. Vorzugsweise verläuft er mit seinem Schwerpunkt durch das Zentrum der Pupille.

25 Die beim Abtasten des Abtastbereichs aufeinander folgenden Werte der vier Ablenkwinkel werden von der Steuerung vorzugsweise so festgelegt, dass der Abtastbereich mit dem fokussierten Lichtstrahl in einem vorgegebenen Muster abgetastet wird. Dieses vorgegebene Muster besteht z. B. aus exakt parallelen Linien gleichen Abstands, längs derer der fokussierte Laserstrahl mit konstanter Geschwindigkeit bewegt wird. Ein solches verzerrungsfreies Muster

erlaubt es, ein aus dem Bereich des fokussierten Lichtstrahls kommendes Messsignal allein aufgrund seines Zeitpunkts exakt einem bestimmten Ort des Abtastbereichs zuzuordnen.

Um bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung die Werte der vier Ablenkwinkel für jeden Punkt des Abtastbereichs zu gewinnen, können eine Strahlageerfassungseinrichtung zur Erfassung  
5 einer Strahlage in der Pupille oder einer Abbildung der Pupille der Optik und eine weitere Strahlageerfassungseinrichtung zur gleichzeitigen Erfassung einer Strahlage in dem Abtastbereich oder einer Abbildung des Abtastbereichs vorgesehen sein. So kann überwacht werden, dass die Strahlage in der Pupille konstant bleibt und den dabei eingestellten Ablenkwinkeln eine bestimmte Strahlage in dem Abtastbereich zugeordnet wird. Hieraus können in um-  
10 gekehrter Richtung die Abfolgen der Werte der vier Ablenkwinkel festgelegt werden, die erforderlich sind, um den Abtastbereich in einem gewünschten Muster abzutasten.

Die Strahlablenkungsmittel der erfindungsgemäßen Vorrichtung können grundsätzlich an beliebiger Stelle auf den Lichtstrahl einwirken, um diesen abzulenken. Verschiedene Stellen des Lichtstrahls erweisen sich jedoch als besonders günstig, um den Lichtstrahl genau in der  
15 hier gewünschten Weise abzulenken. Hierzu zählen alle Stellen, an denen der Lichtstrahl kollimiert ist. Anders als bei dem aus der US 2006/0151449 A1 bekannten Verfahren wird ein kollimierter Lichtstrahl bei der vorliegenden Erfindung jedoch gegenüber der optischen Achse der ihn anschließend fokussierenden Optik verkippt, um das Kriterium einzuhalten, dass der Lichtstrahl immer an derselben Stelle durch die Pupille der Optik verläuft.

20 Wenn die Strahlablenkungsmittel der erfindungsgemäßen Vorrichtung auf einen zuvor fokussierten Lichtstrahl einwirken, verschieben sie den fokussierten Lichtstrahl gegenüber der optischen Achse der Optik lateral, um dasselbe Kriterium einzuhalten. Die hierbei auftretende Änderung der Strahllänge des Lichtstrahls wirkt sich jedoch nicht in eine axiale Verlagerung des Fokus des Lichtstrahls von gleicher Größe aus. Die effektive laterale Verlagerung des Fokus ist  
25 proportional zur Bildverkleinerung der fokussierenden Optik zwischen den Strahlablenkungsmitteln und dem Fokus des Lichtstrahls. Die axiale Verlagerung des Fokus ist hingegen proportional zum Quadrat der Bildverkleinerung. Das bedeutet, dass bei der vorliegenden Vorrichtung der axiale Fokusfehler im Objektraum um den Vergrößerungsfaktor der Optik zwischen dem Objektraum und den Strahlablenkungsmitteln reduziert ist. In einem  
30 Mikroskop mit einem beispielsweise 100-fach vergrößernden Objektiv, durch das hindurch der Lichtstrahl in Verkleinerungsrichtung fokussiert wird, wird der im Objektraum wirksame axiale

Fokusfehler, der durch die laterale Auslenkung des Lichtstrahls verursacht wird, auf ein Hundertstel und damit auf vernachlässigbar kleine Werte reduziert.

Bei zuvor fokussiertem Lichtstrahl können die Strahlablenkungsmittel um eine Abbildung der Pupille der Optik herum angeordnet sein, wobei nichts dagegen spricht, eines der  
5 Strahlablenkungsmittel genau in der Pupillenabbildung vorzusehen. Besonders günstig ist es bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung jedoch, dass die Strahlablenkungsmittel auch um ein Zwischenbild des Abtastbereichs herum angeordnet sein können, wobei auch hier eines der Strahlablenkungsmittel genau in dem Zwischenbild angeordnet sein kann. Ein solches  
10 Zwischenbild ist in Rastermikroskopen häufig frei zugänglich, was die typische Größe von Strahlablenkungsmitteln z. B. in Form galvanometergetriebener Drehspiegel anbelangt. Derartige Drehspiegel sind bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorzugsweise so ausgebildet, dass sie um eine in ihrer Spiegelebene verlaufende Schwenkachse verschwenkbar sind. Die beiden Strahlablenkungsmittel jeder Richtung in Form von Drehspiegeln sind dann entsprechend um parallele Schwenkachsen verschwenkbar.

15 Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird der Lichtstrahl je Richtung, in der der Abtastbereich abzutasten ist, an zwei hintereinander liegenden Punkten um zwei sich unabhängig voneinander dynamisch verändernde Ablenkwinkel abgelenkt. Dabei wird der Lichtstrahl um die insgesamt vier Ablenkwinkel vorzugsweise so abgelenkt, dass er immer an derselben Stelle durch die Pupille der ihn fokussierenden Optik hindurch tritt. Weiter ist es bevorzugt, dass der  
20 Lichtstrahl um die insgesamt vier Ablenkwinkel so abgelenkt wird, dass der Abtastbereich mit dem fokussierten Lichtstrahl in einem vorgegebenen verzerrungsfreien Muster abgetastet wird. Um dies zu ermöglichen, müssen die vier Ablenkwinkel für jeden Punkt des Abtastbereichs bestimmt und gespeichert werden, weil ihre Idealwerte auch Abbildungsfehler der Optik und Fehler der zum Ablenken des Lichtstrahls verwendeten Ablenkmittel berücksichtigen. Um die  
25 vier Ablenkwinkel für jeden Punkt des Abtastbereichs zu bestimmen, kann eine Strahllage des Lichtstrahls in der Pupille oder eine Abbildung der Pupille erfasst werden, um sie konstant zu halten, während gleichzeitig eine Strahllage in dem Abtastbereich oder einer Abbildung des Abtastbereichs erfasst wird, um für die jeweils eingestellten Ablenkwinkel den mit dem Lichtstrahl erreichten Ort des Abtastbereichs zu erfassen. Hieraus kann dann in umgekehrter  
30 Richtung eine Abfolge der vier Ablenkwinkel festgelegt werden, um den Abtastbereich in einem gewünschten Muster abzutasten.

Bereits im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung wurde darauf hingewiesen, dass bei der vorliegenden Erfindung der Ort des Ablenkens des Lichtstrahls nicht besonders kritisch ist, wenn auch bestimmte Orte hierfür bevorzugt sind. Dazu zählen die Bereiche, in denen der Lichtstrahl kollimiert ist. Ein weiterer günstiger Ort liegt bei der Pupille der Optik (falls  
5 zugänglich) oder jeder Abbildung der Pupille der Optik. Insbesondere ist es aber mit der vorliegenden Erfindung auch möglich, die Ablenkung des Lichtstrahls im Bereich eines Zwischenbilds des Abtastbereichs vorzunehmen und dennoch den effektiven Drehpunkt des Lichtstrahls gegenüber der optischen Achse der fokussierenden Optik in die Pupille zu verschieben.

Während die vorliegende Erfindung nicht auf bestimmte Anwendungen beschränkt ist, erweist  
10 sie sich doch bei der hochauflösenden Rasterlichtmikroskopie als besonders vorteilhaft, wenn das elektrische Feld bei mindestens einer Komponente des kohärenten Lichtstrahls derart moduliert wird, dass das Integral des elektrischen Felds über der Pupille der fokussierenden Optik null ist. Dieses Kriterium für das Integral des elektrischen Felds, mit dem z. B. eine Intensitätsverteilung eines Stimulationslaserstrahls bei der STED-Mikroskopie eingestellt wird,  
15 die eine Nullstelle am geometrischen Fokuspunkt des Lichtstrahls aufweist, ist extrem empfindlich gegenüber einem mit der vorliegenden Erfindung leicht vermeidbaren Versatz des Lichtstrahls gegenüber der Pupille der fokussierenden Optik. Dabei ist die vorliegende Erfindung nicht auf sehr hochwertige optische Bauteile für die fokussierende Optik oder die Strahlablenkungsmittel angewiesen, weil durch den Freiheitsgrad aufgrund der jeweils zwei  
20 Strahlablenkungen je Richtung, in der der Abtastbereich abgetastet wird, alle auftretenden Fehler kompensiert werden können.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Patentansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Die in der Beschreibungseinleitung genannten Vorteile von Merkmalen und von Kombinationen mehrerer Merkmale sind lediglich beispielhaft und  
25 können alternativ oder kumulativ zur Wirkung kommen, ohne dass die Vorteile zwingend von erfindungsgemäßen Ausführungsformen erzielt werden müssen. Weitere Merkmale sind den Zeichnungen - insbesondere den dargestellten Geometrien und den relativen Abmessungen mehrerer Bauteile zueinander sowie deren relativer Anordnung und Wirkverbindung - zu entnehmen. Die Kombination von Merkmalen unterschiedlicher Ausführungsformen der  
30 Erfindung oder von Merkmalen unterschiedlicher Patentansprüche ist ebenfalls abweichend von den gewählten Rückbeziehungen der Patentansprüche möglich und wird hiermit angeregt. Dies betrifft auch solche Merkmale, die in separaten Zeichnungen dargestellt sind oder bei deren

Beschreibung genannt werden. Diese Merkmale können auch mit Merkmalen unterschiedlicher Patentansprüche kombiniert werden. Ebenso können in den Patentansprüchen aufgeführte Merkmale für weitere Ausführungsformen der Erfindung entfallen.

### **KURZBESCHREIBUNG DER FIGUREN**

5 Die Erfindung wird im Folgenden anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert und beschrieben.

**Fig. 1** zeigt eine Anordnung von vier galvanometergetriebenen Drehspiegeln, wie sie bei der vorliegenden Erfindung als Strahlablenkungsmittel zur Anwendung kommen können.

10 **Fig. 2** skizziert ein konfokales Lichtrastermikroskop, bei dem die Erfindung im Bereich einer Abbildung der Pupille der fokussierenden Optik realisiert ist.

**Fig. 3** zeigt den Aufbau eines STED-Rasterlichtmikroskops, bei dem die Erfindung im Bereich eines Zwischenbilds der fokussierenden Optik realisiert ist.

15 **Fig. 4** skizziert ein Lichtrastermikroskop mit Detektion im Durchlichtverfahren, bei dem die Erfindung im Bereich einer Abbildung der Pupille der fokussierenden Optik realisiert ist; und

**Fig. 5** skizziert die aufgrund der Erfindung gegebene Möglichkeit eines adaptiven Abtastverfahrens.

### **FIGURENBESCHREIBUNG**

20 **Fig. 1** zeigt eine Scananordnung 16 von vier jeweils durch ein Galvanometer 40 getriebenen Drehspiegeln 22 bis 25, die bei der vorliegenden Erfindung als Strahlablenkungsmittel 26 für einen Lichtstrahl 7 zum Einsatz kommen können. Dabei lenken jeweils zwei Ablenkungsmittel 26, hier die Drehspiegel 22 und 23 einerseits und die Drehspiegel 24 und 25 andererseits, den Lichtstrahl 7 in zwei aufeinander folgenden Punkten um Ablenkwinkel 31 und 32 bzw. 33 und  
25 34, in jeweils einer Richtung um, d. h. die Ablenkwinkel 31 und 32 einerseits und die

Ablenkwinkel 33 und 34 andererseits liegen im Wesentlichen in einer Ebene. Dazu sind die Drehspiegel 22 und 23 um zwei parallele Schwenkachsen 27 und 28 verschwenkbar, während die Drehspiegel 24 und 25 um zwei zu den Schwenkachsen 27 und 28 im Wesentlichen orthogonal und zueinander parallel verlaufende weitere Schwenkachsen 29 und 30 verschwenkbar sind. Alle Schwenkbewegungen der Drehspiegel 22 bis 25 um die Schwenkachsen 27 bis 30 sind dabei unabhängig voneinander möglich. Dadurch ist nicht nur die Winkel-  
lage des austretenden Lichtstrahls 7 zu der optischen Achse einer sich an die Scananordnung 16 anschließenden, den Lichtstrahl 7 fokussierenden Optik in beiden lateralen Richtungen einstellbar, sondern auch die Lage des Drehpunkts des Lichtstrahls 7 in Längsrichtung der optischen Achse. So kann dieser Drehpunkt durch die Ansteuerung der Ablenkmittel 26 bei allen Veränderungen der Winkel-  
lage des Lichtstrahls 7 ortsfest gehalten werden. Insbesondere kann er an dem Ort einer Abbildung 17 der Pupille der sich anschließenden fokussierenden Optik festgehalten werden. Dies ist besonders einfach möglich, wenn die Ablenkmittel 26 um diesen Ort der Abbildung 17 herum angeordnet sind, wie dies in Fig. 1 dargestellt ist. Die in Fig. 1 als Strahlablenkungsmittel 26 wiedergegebenen galvanometergetriebenen Drehspiegel 22 bis 25 sind nur ein konkretes Beispiel für die Umsetzung der vorliegenden Erfindung. Alternativ können als Strahlablenkungsmittel 26 auch akustooptische oder elektrooptische Strahlablenkungsmittel, piezoelektrisch angetriebene Spiegel, sogenannte MEMS (Micro-Electro-Mechanical-Systems) und dergleichen eingesetzt werden.

**Fig. 2** skizziert die Integration der Scananordnung 16 in ein konfokales Rasterlichtmikroskop. Ein Fluoreszenzanregungslaser 1 gibt einen Fluoreszenzanregungslaserstrahl 2 ab, der über einen Farbstrahlteiler 3 als Lichtstrahl 7 durch die Scanneranordnung 16 in eine fokussierende Optik 4 gelenkt wird, die ihn in ein Objekt 6 fokussiert. Die fokussierende Optik 4 ist hier aus einer Abtastlinse 21, einer Tubuslinse 19 und einem Objektiv 5 aufgebaut und bildet das Objekt 6 in einem Zwischenbild 18 ab. Das von dem Objekt 6 zurücklaufende Detektionslicht 11 wird von der Scananordnung 16 entscannt und von einem Detektor 8 in konfokaler Anordnung erfasst, die durch eine Fokussierlinse 10 und eine dahinter angeordnete Lochblende 9 realisiert ist.

Das in **Fig. 3** skizzierte STED-Fluoreszenzlichtmikroskop erfasst das Detektionslicht 11 von dem Objekt 6 ebenfalls mit dem Detektor 8 in konfokaler Anordnung hinter der Fokussierlinse 10 und der Lochblende 9. Hier ist zusätzlich zu dem Aufbau gemäß Fig. 2 ein Stimulationslaser 12 vorgesehen, der einen Stimulationslaserstrahl 14 abgibt. Der Stimulationslaserstrahl 14

bildet hier eine weitere Komponente des Lichtstrahls 7 aus und wird dazu über einen weiteren Farbstrahlteiler 15 eingekoppelt. Zuvor wird jedoch das elektrische Feld des Stimulationlaserstrahls 14 in der Abbildung 17 der Pupille der Optik 4 mit einer Phasenplatte 13 derart moduliert, dass das Integral des elektrischen Felds über dieser Abbildung 17 der Pupille null ist. Wenn diese Bedingung exakt eingehalten wird, weist die Intensitätsverteilung des Stimulationlaserstrahls 14 an dem geometrischen Fokuspunkt des Lichtstrahls 7 in dem Objekt 6 eine Nullstelle auf, an der er die Anregung von Fluoreszenzfarbstoff in dem Objekt 6 durch den Anregungslaserstrahl 2 anders als in der Umgebung des geometrischen Fokuspunkts nicht auslöscht. Hierdurch wird der räumliche Bereich, aus dem das Detektionslicht 11 stammen kann, bis unter die Beugungsgrenze eingegrenzt. Weiterhin ist in Fig. 3 abweichend von Fig. 2 die Scanneranordnung 16 nicht um die Abbildung 17 der Pupille der Optik 4 herum angeordnet, sondern um das Zwischenbild 18. Dieser Bereich ist bei einem Rasterlichtmikroskop üblicherweise besonders gut zugänglich. Durch die Freiheitsgrade der Scanneranordnung 16 bezüglich der Lage des Drehpunkts, um den herum der Lichtstrahl 7 effektiv verdreht wird, kann dieser Drehpunkt trotzdem in der hier nicht eingezeichneten Pupille der Optik 4 liegen, damit die Bedingung, dass das Integral des elektrischen Felds des Stimulationlaserstrahls 14 über die Pupille der fokussierenden Optik Null ist, auch beim Abtasten des Objekts 6 erhalten bleibt. Durch die Verlagerung der Scanneranordnung 16 ist die erste Linse der fokussierenden Optik 4 hier keine Abtastlinse im engeren Sinne und wird hier daher als Kollimationslinse 20 bezeichnet.

Das in **Fig. 4** skizzierte Rasterlichtmikroskop weist den Detektor 8 in Durchlichtanordnung hinter dem Objekt 6 und einem weiteren Objektiv 39 auf. Das heißt, das Detektionslicht 11 von dem Objekt 6 wird hier nicht mit der Scanneranordnung 16 entscannt. Entsprechend befindet sich der Detektor 8 nicht in einer konfokalen Anordnung, sondern kann ein zweidimensionales Sensorarray zur Aufzeichnung einer Abbildung des Objekts 6 aufweisen, wobei die räumliche Zuordnung über die Bildpunkte des Sensorarrays erfolgt. Ansonsten entspricht der Aufbau des Rasterlichtmikroskops gemäß Fig. 4 demjenigen gemäß Fig. 2.

Für jeden abzutastenden Punkt des Objekts 6 sind die vier Ablenkwinkel 31 bis 34 gemäß Fig. 1 zu ermitteln, mit denen die Bedingungen erfüllt werden, dass der gewünschte Punkt im Objektraum getroffen wird und dass der Lichtstrahl 7 durch das Zentrum der Pupille der fokussierenden Optik 4 verläuft. Diese Ablenkwinkelquadrupel sind mit herkömmlichen Mitteln bestimmbar und in einer zugehörigen Steuerung für die Strahlableitungsmittel 26, die hier nicht

separat dargestellt sind, speicher- und nutzbar. So können z. B. in einer Kalibrierphase oder auch während des jeweiligen Abbildungsprozesses Detektoren, wie beispielsweise Vier-Quadrantendioden, positionssensitive Dioden, CCD-Kameras oder dergleichen in die Pupille bzw. den Ortsraum oder Abbilder derselben eingebracht werden, um die notwendigen Ansteuerraten oder Funktionen derselben zu ermitteln und zu speichern. Im Allgemeinen werden diese dann bei der eigentlichen Objektabbildung genutzt, um die für die Strahlablenkungsmittel notwendigen Ablenkwinkelquadrupel Punkt für Punkt oder auch interpolierend festzulegen. Dabei ist eine punktweise Bestimmung der interpolierenden Festlegung vorzuziehen, da eine Interpolation von zumindest stetigen Verhältnissen ausgeht, die beispielsweise bei lokalen Abbildungsfehlern nicht vorliegen müssen. Die Kalibrierung eliminiert so weitgehend sowohl optische Abbildungsverzeichnungen, wie auch durch mechanische Ungenauigkeiten im Aufbau verursachte Ungenauigkeiten der Strahllagen. Durch die Anwendung der Erfindung werden die Anforderungen an die inhärenten Genauigkeiten der verwendeten Teile, wie auch beim opto-mechanischen Systemaufbau und bei der Justage wesentlich reduziert.

Gleichzeitig wird im Betrieb eine wesentlich präzisere Strahlkontrolle möglich. So sind bei Verwendung von kleinen Drehspiegeln 22 bis 25 mit geringer Trägheit als Strahlablenkungsmittel 26 schnelle adaptive Rastermuster 36, in denen der jeweilige Abtastbereich 35 des Objekts 6 mit dem fokussierten Lichtstrahl 7 abgetastet wird, möglich. Auf diese Weise können beispielsweise dunkle Hintergrundbereiche oder aus anderen Gründen uninteressante Objektbereiche ausgelassen werden, um durch die reduzierte Bildpunkteanzahl eine höhere Bildwiederholungsrate zu erreichen. Dies ist in **Fig. 5** skizziert, wo das Rastermuster 36 in dem Abtastbereich 35 so adaptiert ist, dass es eine Zelle 37 mit einem Kern 38 als Objekt 6 zwar abdeckt, aber nicht signifikant darüber hinausgeht.

**BEZUGSZEICHENLISTE**

1	Fluoreszenzanregungslaser	31	Ablenkwinkel
2	Fluoreszenzanregungslaserstrahl	32	Ablenkwinkel
3	Farbstrahlteiler	33	Ablenkwinkel
4	fokussierende Optik	34	Ablenkwinkel
5	Objektiv	35	Abtastbereich
6	Objekt	36	Muster
7	Lichtstrahl	37	Zelle
8	Detektor	38	Kern
9	Lochblende	39	Objektiv
10	Fokussierlinse	40	Galvanometer
11	Detektionslicht		
12	Stimulationslaser		
13	Phasenplatte		
14	Stimulationslaserstrahl		
15	Farbstrahlteiler		
16	Scanneranordnung		
17	Abbild der Pupille		
18	Zwischenbild		
19	Tubuslinse		
20	Koordinationslinse		
21	Abtastlinse		
22	Drehspiegel		
23	Drehspiegel		
24	Drehspiegel		
25	Drehspiegel		
26	Strahlableitungsmittel		
27	Schwenkachse		
28	Schwenkachse		
29	Schwenkachse		
30	Schwenkachse		

## PATENTANSPRÜCHE

1 1. Vorrichtung zur dynamischen Verlagerung eines Lichtstrahls gegenüber einer den  
2 Lichtstrahl fokussierenden, eine Pupille aufweisenden Optik, um mit dem fokussierten  
3 Lichtstrahl ein Objekt in einem zweidimensionalen Abtastbereichs abzutasten, wobei die  
4 Vorrichtung Strahlableitungsmittel aufweist, die den Lichtstrahl gegenüber der optischen  
5 Achse der Optik in zwei verschiedenen Richtungen um dynamisch veränderbare Ablenkwinkel  
6 ablenken, **dadurch gekennzeichnet**, dass je Richtung mindestens zwei Strahlableitungsmittel  
7 (26) hintereinander geschaltet sind, die den Lichtstrahl (7) um zwei unabhängig voneinander  
8 dynamisch veränderbare Ablenkwinkel (31, 32 bzw. 33, 34) ablenken, und dass eine Steuerung  
9 für die Strahlableitungsmittel (26) vorgesehen ist, die die vier Ablenkwinkel (31 bis 34) für  
10 jeden Punkt des Abtastbereichs (35) so festlegt, dass der Lichtstrahl (7) immer an derselben  
11 Stelle durch die Pupille der Optik (4) verläuft.

1 2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuerung die vier  
2 Ablenkwinkel (31 bis 34) auf solche aufeinanderfolgende Werte festlegt, dass der Abtastbereich  
3 (35) mit dem fokussierten Lichtstrahl (7) in einem vorgegebenen Muster (36) abgetastet wird.

1 3. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekenn-**  
2 **zeichnet**, dass eine Strahlageerfassungseinrichtung zur Erfassung einer Strahlage in der  
3 Pupille oder einer Abbildung (17) der Pupille der Optik (4) und eine weitere  
4 Strahlageerfassungseinrichtung zur gleichzeitigen Erfassung einer Strahlage in dem  
5 Abtastbereich (35) oder einer Abbildung des Abtastbereichs vorgesehen sind.

1 4. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekenn-**  
2 **zeichnet**, dass die Optik (4) den Lichtstrahl (7) vor seinem Auftreffen auf die  
3 Strahlableitungsmittel (26) kollimiert und dass die Strahlableitungsmittel den kollimierten  
4 Lichtstrahl (7) gegenüber der optischen Achse der Optik (4) verkippen.

1 5. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 3, **dadurch**  
2 **gekennzeichnet**, dass die Optik (4) den Lichtstrahl (7) vor seinem Auftreffen auf die

3 Strahlableitungsmittel (26) fokussiert und dass die Strahlableitungsmittel den fokussierten  
4 Lichtstrahl (7) gegenüber der optischen Achse der Optik (4) lateral verschieben.

1 6. Vorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die  
2 Strahlableitungsmittel (26) um eine Abbildung (17) der Pupille der Optik (4) herum oder um ein  
3 Zwischenbild (18) des Abtastbereichs (35) herum angeordnet sind.

1 7. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekenn-**  
2 **zeichnet**, dass die Strahlableitungsmittel (26) Drehspiegel (22 bis 25) umfassen, die um eine  
3 in ihrer Spiegelebene oder parallel dazu verlaufende Schwenkachse (27 bis 30) verschwenkbar  
4 sind.

1 8. Verfahren zur dynamischen Verlagerung eines Lichtstrahls gegenüber einer den  
2 Lichtstrahl fokussierenden Optik, um das Objekt mit dem fokussierten Lichtstrahl in einem  
3 zweidimensionalen Abtastbereich abzutasten, insbesondere unter Verwendung einer  
4 Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Lichtstrahl  
5 gegenüber der optischen Achse der Optik in zwei verschiedenen Richtungen um sich  
6 dynamisch ändernde Ablenkwinkel abgelenkt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass der  
7 Lichtstrahl (7) je Richtung an zwei hintereinander liegenden Punkten um zwei sich unabhängig  
8 voneinander dynamisch verändernde Ablenkwinkel (31 bis 34) so abgelenkt wird, dass der  
9 Lichtstrahl (7) immer an derselben Stelle durch die Pupille der Optik (4) verläuft.

1 9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Lichtstrahl (7) derart  
2 abgelenkt wird, dass er mit seinem Schwerpunkt durch das Zentrum der Pupille der Optik (4)  
3 verläuft.

1 10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Lichtstrahl (7)  
2 um die vier Ablenkwinkel (31 bis 34) so abgelenkt wird, dass der Abtastbereich (35) mit dem  
3 fokussierten Lichtstrahl (7) in einem vorgegebenen Muster (36) abgetastet wird.

1 11. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass zuvor die vier  
2 Ablenkwinkel (31 bis 34) für jeden Punkt des Abtastbereichs (35) bestimmt und gespeichert  
3 werden, wobei eine Strahlage in der Pupille oder einer Abbildung (17) der Pupille der Optik (4)

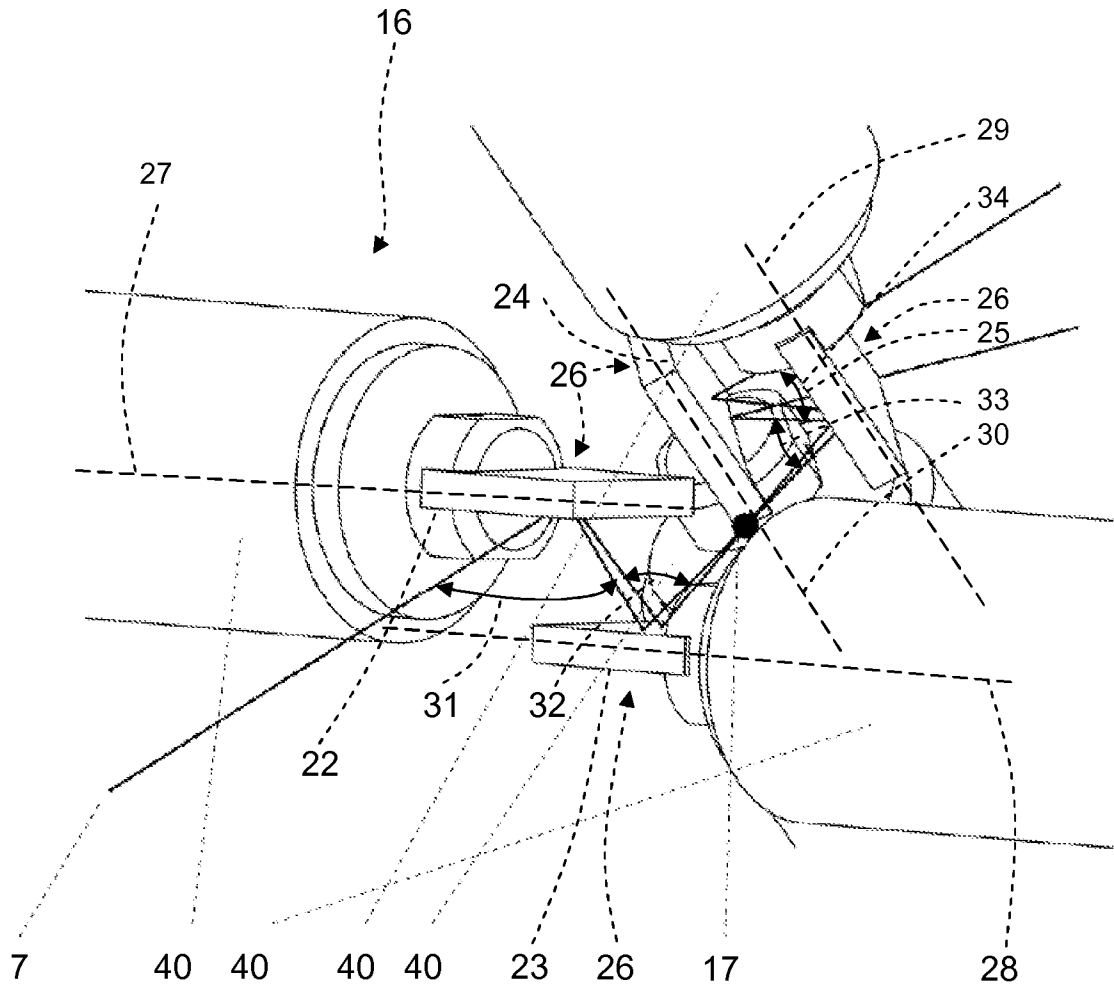
4 und eine Strahllage in dem Abtastbereich (35) oder einer Abbildung des Abtastbereichs  
5 gleichzeitig erfasst werden.

1 12. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche 8 bis 11, **dadurch**  
2 **gekennzeichnet**, dass der Lichtstrahl (7) vor dem Ablenken kollimiert und durch das Ablenken  
3 gegenüber der optischen Achse der Optik (4) verkippt wird.

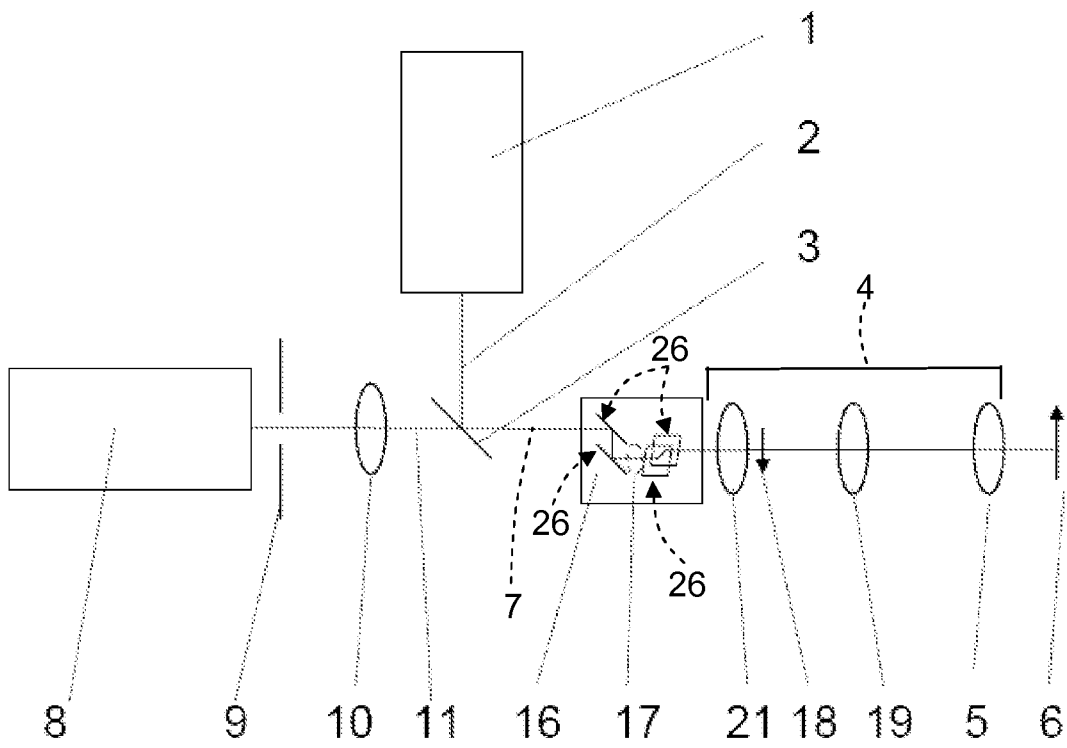
1 13. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche 8 bis 11, **dadurch**  
2 **gekennzeichnet**, dass der Lichtstrahl (7) vor dem Ablenken fokussiert und durch das Ablenken  
3 gegenüber der optischen Achse der Optik (4) lateral verschoben wird.

1 14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Lichtstrahl (7) in  
2 Punkten abgelenkt wird, die um eine Abbildung (17) der Pupille der Optik (4) herum oder um ein  
3 Zwischenbild (18) des Abtastbereichs (35) herum angeordnet sind

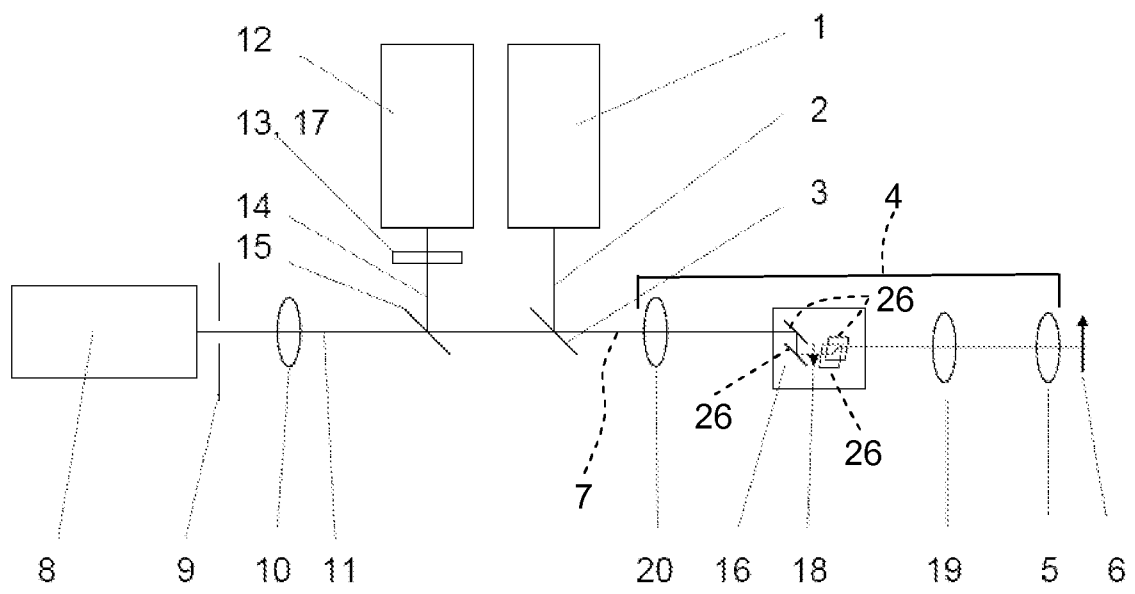
1 15. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche 8 bis 14, **dadurch**  
2 **gekennzeichnet**, dass das elektrische Feld bei mindestens einer Komponente des kohärenten  
3 Lichtstrahls (7) derart moduliert wird, dass das Integral des elektrischen Felds über der Pupille  
4 der fokussierenden Optik (4) null ist.



**Fig. 1**

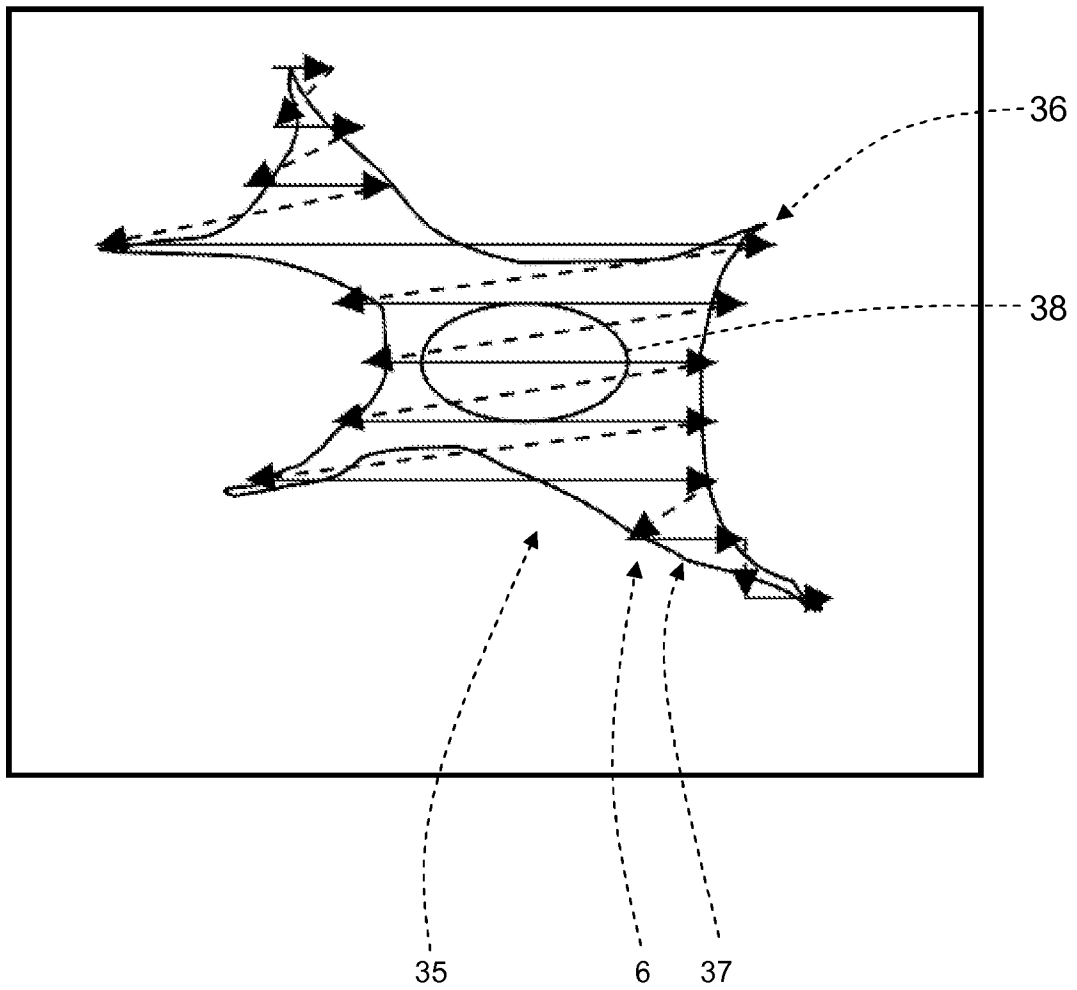


**Fig. 2**



**Fig. 3**





**Fig. 5**

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No  
PCT/EP2009/067269

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> INV. G02B26/10 G02B21/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G02B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2006/151449 A1 (WARNER RAYMOND M JR [US] ET AL WARNER JR RAYMOND M [US] ET AL) 13 July 2006 (2006-07-13) cited in the application abstract paragraph [0025] - paragraph [0027] paragraph [0060] - paragraph [0077] figures 2,3A,3B,6A,6B	1-15
A	DE 40 26 130 A1 (SIEMENS AG [DE] ROFIN SINAR LASER GMBH [DE]) 20 February 1992 (1992-02-20) cited in the application abstract; figure	1-15
A	US 5 225 923 A (MONTAGU JEAN I [US]) 6 July 1993 (1993-07-06) abstract; figures 3,6	1-15
	-/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <span style="margin-left: 200px;"><input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.</span>		
* Special categories of cited documents :		
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "&" document member of the same patent family	
Date of the actual completion of the international search  <p align="center">4 February 2010</p>	Date of mailing of the international search report  <p align="center">12/02/2010</p>	
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  <p align="center">Seibert, Joachim</p>	

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2009/067269

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 1 584 310 A (20 10 PERFECT VISION OPTISCHE [DE]) 12 October 2005 (2005-10-12) abstract; figures 2,4 -----	1-15
A	WO 03/075069 A (LEICA MICROSYSTEMS [DE]; ENGELHARDT JOHANN [DE]) 12 September 2003 (2003-09-12) abstract; figure 5 -----	1-15
A	EP 1 970 744 A (NIPPON KOGAKU KK [JP]) 17 September 2008 (2008-09-17) abstract; figures -----	1-15
A	DE 103 21 829 A1 (LEICA MICROSYSTEMS [DE]) 16 December 2004 (2004-12-16) abstract; figure 1 -----	1-15

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2009/067269

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2006151449 A1	13-07-2006	US 2008192316 A1	14-08-2008
DE 4026130 A1	20-02-1992	NONE	
US 5225923 A	06-07-1993	DE 4322694 A1	13-01-1994
		GB 2268596 A	12-01-1994
		JP 6202023 A	22-07-1994
EP 1584310 A	12-10-2005	JP 2005296624 A	27-10-2005
		US 2008147051 A1	19-06-2008
		US 2005228366 A1	13-10-2005
WO 03075069 A	12-09-2003	AU 2003210395 A1	16-09-2003
		DE 10209322 A1	25-09-2003
EP 1970744 A	17-09-2008	WO 2007077710 A1	12-07-2007
		US 2008316561 A1	25-12-2008
DE 10321829 A1	16-12-2004	NONE	

<b>A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES</b> INV. G02B26/10 G02B21/00		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
<b>B. RECHERCHIERTE GEBIETE</b>		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G02B		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal		
<b>C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN</b>		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 2006/151449 A1 (WARNER RAYMOND M JR [US] ET AL WARNER JR RAYMOND M [US] ET AL) 13. Juli 2006 (2006-07-13) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung Absatz [0025] - Absatz [0027] Absatz [0060] - Absatz [0077] Abbildungen 2, 3A, 3B, 6A, 6B	1-15
A	DE 40 26 130 A1 (SIEMENS AG [DE] ROFIN SINAR LASER GMBH [DE]) 20. Februar 1992 (1992-02-20) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildung	1-15
A	US 5 225 923 A (MONTAGU JEAN I [US]) 6. Juli 1993 (1993-07-06) Zusammenfassung; Abbildungen 3, 6	1-15
	-/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
<p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :</p> <p>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)</p> <p>"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist</p> <p>"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist</p> <p>"&amp;" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p>		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
4. Februar 2010		12/02/2010
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Seibert, Joachim

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 1 584 310 A (20 10 PERFECT VISION OPTISCHE [DE]) 12. Oktober 2005 (2005-10-12) Zusammenfassung; Abbildungen 2,4 -----	1-15
A	WO 03/075069 A (LEICA MICROSYSTEMS [DE]; ENGELHARDT JOHANN [DE]) 12. September 2003 (2003-09-12) Zusammenfassung; Abbildung 5 -----	1-15
A	EP 1 970 744 A (NIPPON KOGAKU KK [JP]) 17. September 2008 (2008-09-17) Zusammenfassung; Abbildungen -----	1-15
A	DE 103 21 829 A1 (LEICA MICROSYSTEMS [DE]) 16. Dezember 2004 (2004-12-16) Zusammenfassung; Abbildung 1 -----	1-15

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2009/067269

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2006151449 A1	13-07-2006	US 2008192316 A1	14-08-2008
DE 4026130 A1	20-02-1992	KEINE	
US 5225923 A	06-07-1993	DE 4322694 A1	13-01-1994
		GB 2268596 A	12-01-1994
		JP 6202023 A	22-07-1994
EP 1584310 A	12-10-2005	JP 2005296624 A	27-10-2005
		US 2008147051 A1	19-06-2008
		US 2005228366 A1	13-10-2005
WO 03075069 A	12-09-2003	AU 2003210395 A1	16-09-2003
		DE 10209322 A1	25-09-2003
EP 1970744 A	17-09-2008	WO 2007077710 A1	12-07-2007
		US 2008316561 A1	25-12-2008
DE 10321829 A1	16-12-2004	KEINE	