

(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
17. November 2016 (17.11.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/180960 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G02B 21/36 (2006.01) G06T 5/50 (2006.01)
G02B 21/06 (2006.01) G02B 21/14 (2006.01)
G06T 5/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/060812

(22) Internationales Anmeldedatum:
13. Mai 2016 (13.05.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2015 107 517.2 13. Mai 2015 (13.05.2015) DE

(71) Anmelder: CARL ZEISS AG [DE/DE]; Carl-Zeiss-
Strasse 22, 73447 Oberkochen (DE).

(72) Erfinder: STOPPE, Lars; Karl-Schmid-Ring 3, 07743
Jena (DE). OMLOR, Lars; Alte Heidenheimer Str. 39,
73431 Aalen (DE).

(74) Anwalt: STICHT, Andreas; Kraus & Weisert,
Patentanwälte PartGmbH, Thomas-Wimmer-Ring 15,
80539 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: APPARATUS AND METHOD FOR CAPTURING IMAGES USING LIGHTING FROM DIFFERENT LIGHTING
ANGLES

(54) Bezeichnung : VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR BILDAUFNAHME MITTELS BELEUCHTUNG UNTER
UNTERSCHIEDLICHEN BELEUCHTUNGSWINKELN

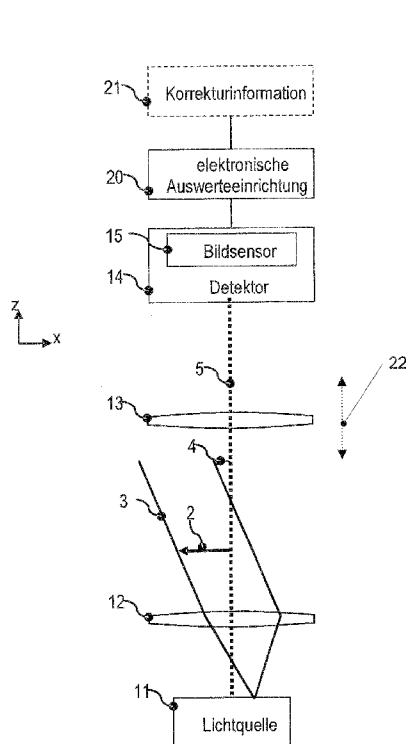


Fig. 1

- 21 Corrective data
- 20 electronic evaluation unit
- 15 Image sensor
- 14 Detector
- 11 Light source

(57) Abstract: Disclosed are methods and apparatuses in which multiple
images are captured from different lighting angles. The multiple images are
combined in order to generate a resulting image having greater depth of field.

(57) Zusammenfassung: Es werden Verfahren und Vorrichtungen
bereitgestellt, bei welchen eine Vielzahl von Bildern unter verschiedenen
Beleuchtungswinkeln aufgenommen wird. Die Vielzahl von Bildern wird
kombiniert, um ein Ergebnisbild mit erhöhter Schärfentiefe zu erzeugen.



DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, 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, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Beschreibung

5 VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR BILDAUFNAHME MITTELS BELEUCHTUNG UNTER UNTERSCHIEDLICHEN BELEUCHTUNGSWINKELN

Die vorliegende Anmeldung betrifft Vorrichtungen und Verfahren zur Bildaufnahme.
Insbesondere betrifft sie derartige Vorrichtungen und Verfahren, bei welchen eine Bildaufnahme
10 mit einer erhöhten Schärfentiefe möglich ist.

Bei verschiedenen Anwendungen, bei denen insbesondere dreidimensionale Objekte mittels
einer Bildaufnahmevorrichtung aufgenommen werden, ist eine hohe Schärfentiefe
wünschenswert, beispielsweise um einen gewünschten Bereich oder das gesamte
15 aufgenommene Objekt scharf in einem zweidimensionalen Bild abbilden zu können. Unter der
Schärfentiefe wird dabei allgemein ein Bereich verstanden, in dem ein Objekt hinreichend
scharf, beispielsweise entsprechend einer Auflösung eines Aufnahmemediums wie einem
Bildsensor, abgebildet wird.

20 In klassischen Systemen kann zur Vergrößerung der Schärfentiefe die numerische Apertur
verringert werden. Dies führt jedoch gleichzeitig zu einer Verringerung der Auflösung und/oder
des zur Verfügung stehenden Lichts.

Eine weitere Möglichkeit, die Schärfentiefe einer Vorrichtung zur Bildaufnahme zu vergrößern,
25 ist der Einsatz von speziellen Pupillen und Feldfiltern. Beispiele hierfür werden in Edward R.
Dowski, Jr., and W. Thomas Cathey, „Extended Depth of field through wave-front coding“,
Applied Optics, Vol. 34, No. 11, 1859-1866, 1995, beschrieben. Derartige Herangehensweisen
haben in der Regel den Nachteil, dass sie den Kontrast bei höheren Ortsfrequenzen deutlich
reduzieren, was aufgrund von Rauschen zu Auflösungsverlust führen kann. Weiterhin kann es
30 bei einer hierbei nötigen digitalen Nachbearbeitung zu Artefaktbildung kommen. Des Weiteren
ist ein spezielles Optikdesign nötig, bei der die Pupillenebene/Zwischenbildebene zugänglich
und optische korrigiert ist, was zu Mehrkosten für die Vorrichtung führt.

Eine dritte herkömmliche Möglichkeit, ein Bild mit erweiterter Schärfentiefe zu erzeugen, ist eine
35 digitale Berechnung eines derartigen Bildes aus einer sogenannten z-Stapelanmessung. Diese
Herangehensweise wird auch als „focus stacking“ bezeichnet. Bei dieser Herangehensweise

wird eine Vielzahl von Bildern mit unterschiedlichem Fokus aufgenommen (beispielsweise durch Verfahren der Probe oder durch eine anderen Änderung der Vorrichtung, beispielsweise durch Änderung der Fokussierung eines optischen Systems). Mittels geeigneter Algorithmen wird dann aus jedem Bild der jeweils schärfste Bereich in das Gesamtbild übertragen. Dabei kann
5 ein Bild erzeugt werden, welches eine nahezu beliebige Schärfentiefe aufweist, ohne dass es zu einem Auflösungsverlust kommt. Nachteilig an dieser Herangehensweise ist, dass der oben genannte z-Stapel, auch als Defokusstapel bezeichnet, durch mechanisches Verfahren einer Komponente der Vorrichtung erzeugt werden muss (beispielsweise Verfahren von Linsen zur Änderung des Fokus und/oder Verfahren der Probe), was relativ lange dauern kann,
10 vergleichsweise kostenintensiv sein kann und/oder im Falle des Verfahrens der Probe die Probe in unerwünschte Bewegungen versetzen kann.

Es ist daher eine Aufgabe, Verfahren und Vorrichtungen bereitzustellen, mit welchen die oben beschriebenen Nachteile zumindest teilweise überwunden oder abgemildert werden können
15 und eine Bildaufnahme mit verglichen einer herkömmlichen Einzelbildaufnahme erhöhter Schärfentiefe möglich ist.

Es werden ein Verfahren nach Anspruch 1 sowie eine Vorrichtung nach Anspruch 11 bereitgestellt. Die Unteransprüche definieren weitere Ausführungsformen.

20 Gemäß einem ersten Aspekt wird ein Verfahren zur Bildaufnahme bereitgestellt, umfassend:
Aufnehmen einer Vielzahl von Bildern, wobei zur Aufnahme der Vielzahl von Bildern ein Objekt unter zwischen den Bildern unterschiedlichen Beleuchtungswinkeln beleuchtet wird, und
Verarbeiten der Vielzahl von Bildern, wobei das Verarbeiten umfasst:
25 Anwenden von Operationen auf die Vielzahl von Bildern, und Kombinieren der Vielzahl von Bildern mit den darauf angewendeten Operationen, um ein Ergebnisbild mit erhöhter Schärfentiefe zu erhalten.

Das Anwenden von Operationen kann ein Anwenden einer Verschiebung auf Bildelemente der
30 Bilder umfassen.

Durch Verwendung von Bildern, die mit verschiedenen Beleuchtungsrichtungen aufgenommen wurden, zum Erzeugen eines Bildes mit erweiterter Schärfentiefe kann ein mechanisches Verfahren zum Einstellen eines Fokus vermieden oder – im Falle von sehr großen gewünschten
35 Schärfentiefenbereichen – verringert werden.

Die Verschiebung kann von dem Beleuchtungswinkel des jeweiligen Bildes und von einer Position eines dem jeweiligen Bildelement entsprechenden Teil des Objekts in einer Richtung parallel zur optischen Achse abhängen.

- 5 Das Anwenden von Operationen kann ein Anwenden von Operationen für eine Vielzahl von Positionen in einer Richtung parallel zu einer optischen Achse und ein Auswählen von Bildteilen für das Ergebnisbild, für welche ein Schärfemaß eine größte Schärfe anzeigt, für das Ergebnisbild umfassen.
- 10 Das Schärfemaß kann dabei auf Basis einer lokalen Varianz bestimmt werden.

Das Verarbeiten kann umfassen:

- Durchlaufen einer Schleife, in der ein Positionsparameter über einen gewünschten Positionsbereich parallel zu einer optischen Achse einer für die Bildaufnahme verwendeten
- 15 Vorrichtung durchläuft, und für jeden Positionsparameter der Schleife:
- Bestimmen eines Zwischenbildes als Summe über die Vielzahl von Bildern, auf die als Operation jeweils eine von dem jeweiligen Höhenparameter und dem jeweiligen Beleuchtungswinkel angewendete Verschiebung angewendet wurde,
- Bilden eines lokalen Varianzwerts für jedes Bildelement des Zwischenbildes, und
- 20 Aufnahme derjenigen Bildelemente des Zwischenbildes in ein Ergebnisbild, bei welchem die lokale Varianz größer ist als eine lokale Varianz vorhergehender Schleifendurchläufe.

- Das Verfahren kann weiter ein Erstellen einer Höhenkarte auf Basis der Vielzahl von Bildern
- 25 umfassen.

Das Verarbeiten kann ein Stitching umfassen.

Das Verarbeiten kann ein Anwenden einer Bildkorrektur umfassen.

- 30 Das Ergebnisbild kann ein Phasenkontrastbild umfassen.

Gemäß einem zweiten Aspekt wird eine Vorrichtung zur Bildaufnahme bereitgestellt, umfassend:

- 35 eine Beleuchtungseinrichtung, die ansteuerbar ist, eine Mehrzahl unterschiedlicher Beleuchtungswinkel für eine Beleuchtung eines Objekts einzustellen,

eine Bildaufnahmeeinrichtung, welche eingerichtet ist, eine Vielzahl von Bildern des Objekts aufzunehmen, wobei sich die Beleuchtungswinkel für verschiedene der Vielzahl von Bildern unterscheiden, und

5 eine Auswerteeinrichtung zur Verarbeitung der Vielzahl von Bildern, wobei die Auswerteeinrichtung eingerichtet ist, auf jedes Bild der Vielzahl von Bildern eine Operation anzuwenden und die Bilder mit den darauf angewendeten Operationen zu kombinieren, um ein Ergebnisbild mit vergrößerter Schärfentiefe zu erzeugen.

10 Die Vorrichtung kann zur Durchführung eines der oben beschriebenen Verfahren eingerichtet sein.

Im Folgenden werden verschiedene Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

15 Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel,

Fig. 2 ein Flussdiagramm zur Veranschaulichung eines Verfahrens gemäß einem Ausführungsbeispiel,

20 Fig. 3 ein Flussdiagramm zur Veranschaulichung eines Verfahrens gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel,

Fig. 4 ein Diagramm zur Veranschaulichung von manchen Ausführungsbeispielen,

25 Fig. 5A und 5B Beispiele für ein Bild ohne und mit der Anwendung eines Verfahrens gemäß einem Ausführungsbeispiel, und

Fig. 6 ein Diagramm zur Veranschaulichung der Funktionsweise von Ausführungsbeispielen.

30 In den Figuren bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche oder ähnliche Elemente. Die Figuren sind schematische Darstellungen verschiedener Ausführungsbeispiele der Erfindung. In den Figuren dargestellte Elemente sind nicht notwendigerweise maßstabsgetreu dargestellt. Vielmehr sind die verschiedenen in den Figuren dargestellten Elemente derart wiedergegeben, dass ihre Funktion und ihr Zweck dem Fachmann verständlich wird.

Während Ausführungsbeispiele mit einer Vielzahl von Merkmalen oder Elementen beschrieben werden, ist dies nicht dahingehend auszulegen, dass alle diese Merkmale oder Elemente zur Implementierung des jeweiligen Ausführungsbeispiels notwendig sind. Vielmehr können bei anderen Ausführungsbeispielen manche der dargestellten Elemente oder Merkmale
5 weggelassen sein und/oder durch alternative Merkmale oder Elemente ersetzt werden. Zudem oder alternativ können neben den dargestellten Merkmalen oder Elementen zusätzliche, nicht explizit dargestellte oder beschriebene, Merkmale oder Elemente bereitgestellt sein, beispielsweise herkömmliche optische Komponenten. Merkmale oder Elemente verschiedener Ausführungsbeispiele können miteinander kombiniert werden, sofern nichts anderes angegeben
10 ist.

Nachfolgend werden Techniken beschrieben, mit welchen eine Bildaufnahme mit erhöhter Schärfentiefe möglich ist. Hierzu werden insbesondere mehrere Bildaufnahmen mit verschiedenen Beleuchtungswinkeln verwendet. Die Beleuchtungswinkel können sich dabei
15 hinsichtlich des Betrages und/oder der Richtung unterscheiden. Erhöhte Schärfentiefe bedeutet in diesem Zusammenhang insbesondere, dass die Schärfentiefe höher ist als die Schärfentiefe einer einzelnen Bildaufnahme. Optional können dabei auch zusätzlich Abbildungsfehler, die durch einen Defokus hervorgerufen werden, rechnerisch korrigiert werden. Unter einer Korrektur und einem Korrigieren von Abbildungsfehlern werden dabei Maßnahmen verstanden,
20 mit denen die Güte eines erzeugten Ergebnisbildes verbessert und wenigstens bestimmte Abbildungsfehler, wie beispielsweise durch Bildfeldwölbung und/oder Astigmatismus hervorgerufene Defokusfehler, verringert werden können.

Wie nachfolgend ausführlicher beschrieben werden wird, werden bei Ausführungsbeispielen sequentiell mehrere Bilder eines Objekts aufgenommen. Ein Beleuchtungswinkel für eine
25 Beleuchtung des Objekts wird zur Aufnahme der mehreren Bilder auf unterschiedliche Werte eingestellt. Eine Fokuseinstellung einer verwendeten Vorrichtung kann dabei für die Aufnahme der mehreren Bilder unverändert bleiben, sodass keine mechanische Bewegung von Komponenten notwendig ist. Auf zumindest einen Teil der Bilder wird eine Operation angewandt, insbesondere eine Verschiebung von Bildelemente (z.B. Pixeln). Die Verschiebung
30 kann abhängig von der jeweiligen Beleuchtungsrichtung und abhängig von einer Lage eines auf das jeweilige Bildelement abgebildeten Objekts teils in z-Richtung sein, wobei die z-Richtung im Wesentlichen eine Richtung parallel zu einer optischen Achse einer Aufnahmevorrichtung (beispielsweise eines Mikroskopobjektivs oder dergleichen) bezeichnet. Die so mit der
35 Operation veränderten Bilder können miteinander kombiniert werden, um ein Bild mit erhöhter

Schärfentiefe zu erzeugen. Zusätzlich kann mittels der Operation eine Korrektur von Abbildungsfehlern wie oben erwähnt vorgenommen werden.

Fig. 1 ist eine schematische Darstellung einer Bildaufnahmeverrichtung 1 gemäß einem Ausführungsbeispiel. Die Bildaufnahmeverrichtung der Fig. 1 kann zur automatischen Ausführung von Verfahren gemäß verschiedenen Ausführungsbeispielen, beispielsweise nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren 2 und 3 erläuterten Verfahren, ausgestaltet sein. Die Bildaufnahmeverrichtung 1 kann ein Mikroskopsystem sein oder kann ein Mikroskop umfassen, das mit einer noch ausführlicher beschriebenen steuerbaren Beleuchtungseinrichtung, einer Kamera mit einem Bildsensor und einer elektronischen Auswerteeinrichtung zur Erzeugung von Bildern mit erhöhter Schärfentiefe und optional auch zur Bildkorrektur versehen ist.

Die Bildaufnahmeverrichtung 1 umfasst eine Beleuchtungseinrichtung mit einer Lichtquelle 11. Eine Kondensorlinse 12 ist bereitgestellt, um das von der Lichtquelle 11 abgegebene Licht auf ein abzubildendes Objekt 2 zu lenken. Die Beleuchtungseinrichtung ist so ausgestaltet, dass Licht unter einer Vielzahl unterschiedlicher Beleuchtungswinkel 4 auf das Objekt 2 eingestrahlt werden kann. Dazu kann beispielsweise die Lichtquelle 11 eine Anordnung mehrerer Lichtquellenelemente, beispielsweise Leuchtdioden, umfassen, die einzeln ansteuerbar sein können. Beispielsweise können derartige Lichtquellenelemente ringförmig angeordnet sein. Alternativ kann ein steuerbares Element in einer Zwischenbildebene, in die eine herkömmliche Lichtquelle vergrößert abgebildet wird, angeordnet sein, um unterschiedliche Beleuchtungswinkel bereitzustellen. Das steuerbare Element kann eine bewegliche Lochblende, eine Mikrospiegelanordnung, eine Flüssigkeitskristallmatrix oder einen räumlichen Lichtmodulator umfassen.

Die Beleuchtungseinrichtung kann so eingerichtet sein, dass der Betrag des Beleuchtungswinkels 4, der mit einer optischen Achse 5 eingeschlossen wird, verändert werden kann. Zusätzlich oder alternativ kann die Beleuchtungseinrichtung so eingerichtet sein, dass der Beleuchtungswinkel hinsichtlich der Richtung verändert werden kann, d.h., dass eine Richtung des Strahls 3, mit dem das Objekt unter dem Beleuchtungswinkel 4 beleuchtet werden kann, in Polarrichtung um die optische Achse 5 herum bewegt werden kann. Unter einem veränderbaren Beleuchtungswinkel ist somit ein Beleuchtungswinkel zu verstehen, welcher hinsichtlich des Betrags und/oder hinsichtlich der Richtung veränderbar ist.

Ein Detektor 14 der Bildaufnahmevorrichtung 1 ist eingerichtet, für jeden von mehreren verschiedenen Beleuchtungswinkeln, unter denen das Objekt 2 beleuchtet wird, jeweils mindestens ein Bild des Objekts 2 zu erfassen. Ein Bildsensor 15 des Detektors 14 kann beispielsweise als CCD-Sensor, CMOS-Sensor oder als ein TDI („Time Delay Integration“)-
5 CCD-Sensor ausgestaltet sein. Eine Abbildungsoptik, beispielsweise ein nur schematisch dargestelltes Mikroskopobjektiv 13 einer Mikroskopanordnung, kann ein Abbild des Objekts 2, insbesondere auch ein vergrößertes Abbild, an dem Bildsensor 15 erzeugen. Der Bildsensor 15 kann eine ebene Fläche zur Bildaufnahme umfassen.

10 Die Bildaufnahmevorrichtung 1 umfasst weiter eine elektronische Auswerteeinrichtung 20. Die elektronische Auswerteeinrichtung 20 verarbeitet die Mehrzahl von Bildern weiter, die von dem Objekt für die mehreren Beleuchtungswinkel 4 erfasst wurden. Die elektronische Auswerteeinrichtung 20 kann beispielsweise durch entsprechende Programmierung einer Computervorrichtung mit einem oder mehreren Prozessoren implementiert sein. Es können
15 jedoch auch spezielle Hardwareimplementierungen, beispielsweise anwendungsspezifische integrierte Schaltungen (ASICs) zum Einsatz kommen. Die elektronische Auswerteeinrichtung 20 wendet insbesondere Operationen auf die Bilder an und kombiniert dann die Bilder, um ein Ergebnisbild mit erhöhter Schärfentiefe zu erhalten. Die Operationen können insbesondere ein Verschieben von Bildpunkten (Pixeln) umfassen, wobei die Verschiebung von dem
20 Beleuchtungswinkel sowie von der Lage des Teils des Objekts, welches auf den jeweiligen Bildpunkt abgebildet wurde, in z-Richtung abhängen kann. Zudem kann durch eine derartige Operation oder Verschiebung optional ein feldpunktabhängiger Versatz, der durch Bildfeldwölbung oder Astigmatismus oder einen anderen feldpunktabhängigen Defokusfehler hervorgerufen wird, reduziert werden. Für eine derartige Korrektur kann eine
25 feldpunktabhängige Verschiebung, mit der der jeweilige Bildpunkt in der Bildebene verschoben werden, abhängig von einer feldpunktabhängigen Defokussierung festgelegt sein. Korrekturwerte zur Durchführung derartiger Korrekturen können in einem Speichermedium 21 als Korrekturinformation gespeichert werden. Details derartiger Korrekturen von Bildfehlern sind beispielsweise in der deutschen Patentanmeldung DE 10 2014 112 666 A1 beschrieben. Die im
30 Folgenden näher beschriebenen Verfahren zur Erhöhung der Schärfentiefe können mit diesen Korrekturen kombiniert werden, können jedoch auch für sich genommen angewendet werden.

In Fig. 2 ist ein Verfahren zur Bildaufnahme gemäß einem Ausführungsbeispiel dargestellt. Das Verfahren der Fig. 2 kann beispielsweise mittels der Vorrichtung der Fig. 1 durchgeführt
35 werden, kann jedoch auch unabhängig hiervon verwendet werden.

Bei Schritt 31 wird ein aufzunehmendes Objekt unter einem ersten Beleuchtungswinkel beleuchtet. Beispielsweise kann bei Verwendung der Vorrichtung der Fig. 1 die Beleuchtungseinrichtung von der elektronischen Auswerteeinrichtung 20 so angesteuert werden, dass das Objekt unter dem ersten Beleuchtungswinkel beleuchtet wird. Zudem wird bei
5 Schritt 31 ein erstes Bild erfasst, beispielsweise durch den Bildsensor 15 der Fig. 1.

Bei Schritt 31 wird das Objekt unter einem zweiten Beleuchtungswinkel beleuchtet, der hinsichtlich des Betrages und/oder der Richtung von dem ersten Beleuchtungswinkel verschieden ist. Dazu kann wiederum eine verwendete Beleuchtungseinrichtung entsprechend
10 angesteuert werden. Des Weiteren wird ein entsprechendes zweites Bild, beispielsweise durch den Bildsensor 15 erfasst.

Dies kann mit unterschiedlichen Beleuchtungswinkeln wiederholt werden, bis bei Schritt 32 das Objekt unter einem N-ten Beleuchtungswinkel beleuchtet wird und ein N-tes Bild aufgenommen
15 wird. N kann dabei größer als 2 sein, beispielsweise zwischen 10 und 40 liegen.

Bei Schritt 33 wird auf jedes oder zumindest einen Teil der N-Bilder eine jeweilige Operation angewendet, wobei die Operationen auch mehrere Teiloperationen für jedes Bild umfassen können. Die Operationen können insbesondere Verschiebungen von Bildpunkten (Pixeln)
20 umfassen, wobei ein Betrag und/oder eine Richtung der Verschiebung zum einen von dem verwendeten Beleuchtungswinkel abhängen kann, also von Bild zu Bild variieren kann, und von einem zum anderen von einer z-Koordinate eines abgebildeten Objekts abhängen kann, wobei die z-Richtung die Richtung senkrecht zur Bildebene bzw. parallel zu der optischen Achse
5 sein kann, wie dies in Fig. 1 dargestellt ist. In Schritt 34 werden die Bilder, auf die in Schritt 33 die Operationen angewendet wurden, kombiniert, beispielsweise summiert, um ein Bild mit vergrößertem Schärfentiefenbereich zu erhalten. Wie bereits erläutert können die Operationen bei 33 zusätzlich dazu dienen, Bildfehler zu korrigieren. Das Anwenden der Operationen bei 33 und das Kombinieren der Bilder bei 34 muss nicht in der dargestellten Reihenfolge geschehen, sondern kann auch miteinander verwoben sein, sodass beispielsweise für verschiedene Teile
30 der Bilder die Operationen angewendet und die Bilder kombiniert werden.

In Fig. 3 ist ein Verfahren gemäß einem Ausführungsbeispiel dargestellt, welches insbesondere ein Beispiel für die Schritte 33 und 34 der Fig. 2 darstellt.

Bei 36 werden optimierte Verschiebungsvektoren für Bildpunkte für verschiedene z-Ebenen und verschiedene Beleuchtungsrichtungen bestimmt. Diese optimierten Verschiebungsvektoren

können dann auch zur späteren Verwendung für weitere Bildaufnahmen abgespeichert werden, beispielsweise in dem Speicher 21 der Fig. 1. Bei 37 werden die Verschiebungsvektoren auf die Bilder angewendet. Schließlich werden bei 38 die Bilder kombiniert, um ein Bild mit vergrößerter Schärfentiefe zu erhalten.

5

Im Folgenden wird die Anwendung von Operationen auf die Bilder und das Kombinieren der Bilder zur Erhöhung der Schärfentiefe noch näher erläutert. Grundlage der Erzeugung von Bildern mit vergrößerter Schärfentiefe gemäß manchen Ausführungsbeispielen ist die Erkenntnis, dass bei einer Beleuchtung unter verschiedenen Beleuchtungswinkeln wie oben
10 beschrieben der Ort, an dem jeweilige Teile eines aufzunehmenden Objekts auf dem Bildsensor abgebildet werden, im defokussierten Fall von der Beleuchtungsrichtung abhängt. In anderen Worten werden Teile des aufzunehmenden Objekts, welche in einer Fokusebene der optischen Anordnung (beispielsweise in einer Fokusebene des Mikroskopobjektivs 13 der Fig. 1) liegen, unabhängig von dem Beleuchtungswinkel immer am gleichen Ort des Bildsensors 15 erfasst.
15 Für Teile des Objekts, die außerhalb der Fokusebene liegen, erfolgt die Abbildung auf dem Bildsensor 15 jedoch von Beleuchtungswinkel zu Beleuchtungswinkel gegeneinander verschoben, wobei die Größe der Verschiebung davon abhängt, wie weit der jeweilige Teil des Objekts außerhalb der Fokusebene liegt, oder in anderen Worten, sie hängt von der z-Position des jeweiligen Teils des Objekts ab.

20

Auf dieser Basis kann beispielsweise bei manchen Ausführungsbeispielen für jede Beleuchtungsrichtung und jede z-Position eine entsprechende Verschiebung bestimmt werden, welche beispielsweise auf Bildpunkte (Pixel) des Bildes angewendet wird. Diese Verschiebung kann insbesondere derart gewählt sein, dass der Versatz zwischen verschiedenen
25 Beleuchtungsrichtungen kompensiert wird. Wenn die so bearbeiteten Bilder dann summiert werden, entsteht ein Bild mit vergrößerter Schärfentiefe.

Zu bemerken ist, dass mit derartigen Herangehensweisen die Schärfentiefe bis auf einen Bereich ausdehnbar ist, welcher der kohärenten Schärfentiefe einer verwendeten Vorrichtung entspricht. Wenn eine noch höhere Schärfentiefe benötigt wird, kann zusätzlich der Fokus der
30 Vorrichtung (beispielsweise wie durch einen Pfeil 22 in Fig. 1 angedeutet) verändert werden. Hier ist dann verglichen mit herkömmlichem Fokus-Stacking eine Bewegung des Fokus in weniger verschiedene Positionen nötig. Beispielsweise kann eine Schrittweite im Wesentlichen entsprechend der kohärenten Schärfentiefe gewählt werden. Als Ausgangsbasis für das Fokus-
35 Stacking können dann die mit den oben diskutierten Verfahren erzeugten Bilder dienen, welche über einen jeweiligen kohärenten Schärfentiefenbereich scharf sind.

Das oben erläuterte Grundprinzip kann auf verschiedene Weise angewendet werden, um ein Bild mit vergrößerter Schärfentiefe zu erzeugen.

- 5 Bei einer Herangehensweise wird ein z-Stapel mit verschiedenen Fokusebenen „simuliert“, d.h. auf Basis der mit verschiedenen Beleuchtungswinkeln aufgenommenen Bilder errechnet. Dieser z-Stapel kann dann mit herkömmlichen für z-Stapel bekannten Algorithmen zu einem Bild mit vergrößertem Schärfentiefenbereich verrechnet werden. Beispielsweise kann auf die Einzelbilder eine sukzessive Verschiebung als Operation angewendet werden, wobei jede
- 10 Verschiebung dann einem anderen z-Wert entspricht. Für jeden Bildpunkt kann dann der Verschiebungswert verwendet werden und gespeichert werden, in der das Bild um den jeweiligen Bildpunkt herum am „schärfsten“ ist. Als Kriterium kann hier beispielsweise eine lokale Varianz verwendet werden. Andere mögliche Kriterien sind zum Beispiel lokale Kantensteilheit, lokale Bildschärfemaße und ähnliche Maße, wie sie beispielsweise auch zur
- 15 Einstellung eines Autofokus in der Fotografie verwendet werden.

Unten stehend ist ein Pseudocode dargestellt, welcher veranschaulicht, wie eine derartige Erzeugung eines Bildes mit vergrößerter Schärfentiefe von statten gehen kann.

```

20  EDof = zeros(n);
    Zmap = zeros(n);
    BesteVarianz = zeros(n);

    For z = z_min : z_max
25      Bild = Summe( [Shift] _((z,φ) )(Einzelbilder));
        LokalerErwartungswert = Filter(Bild,lokaler Mittelungsfiler);
        LokaleVarianz = Filter( (Bild - LokalerErwartungswert).^2 , lokaler
Mittelungsfiler);
        Indizees = (LokaleVarianz > BesteVarianz);
30      BesteVarianz(Indizees) = LokaleVarianz(Indizees);

        EDoF(Indizees) = Bild(Indizees);
        Zmap(Indizees) = z;

    end
35
```

Zunächst werden Variablen EDof, Zmap und BesteVarianz auf Null initialisiert. Diese Variablen sind beispielsweise zweidimensionale Matrizen, wobei für jeden Bildpunkt (oder bei anderen Ausführungsbeispielen für jeden Farbkanal jedes Bildpunkts) ein Element der Matrix vorgesehen ist.

5

Dann folgt eine Schleife, die eine Variable z , welche einer z -Koordinate (entsprechend der Definition der z -Richtung der Fig. 1) von einem minimalen Wert $z_{\min}$ zu einem maximalen Wert $z_{\max}$ durchlaufen lässt. $z_{\min}$ und $z_{\max}$ liegen dabei innerhalb der bereits erwähnten kohärenten Schärfentiefe des Systems, müssen diesen jedoch nicht vollständig ausnutzen.

10 Vielmehr kann auch nur ein Teilbereich bearbeitet werden, wenn nur dieser Teilbereich in einem bestimmten Fall von Interesse ist.

Für jeden z -Wert in der Schleife wird dann ein Bild als Summe von Einzelbildern berechnet, wobei die Bildpunkte der jeweiligen Einzelbilder um einen Betrag verschoben werden (Shift),

15 welcher vom z -Wert z und dem jeweiligen Beleuchtungswinkel φ des jeweiligen Einzelbildes abhängt. Dann wird durch Anwendung eines lokalen Mittelungsfilters (welcher beispielsweise über einen gewissen Bereich von Bildpunkten, beispielsweise in der Größenordnung von 3×3 Bildpunkten mitteln kann) ein lokaler Erwartungswert für jeden Bildpunkt bestimmt. Auf Basis von diesem lokalen Erwartungswert wird dann eine lokale Varianz für jeden Bildpunkt bestimmt,

20 indem der Unterschied zwischen dem Bild und dem jeweiligen lokalen Erwartungswert (für jeden Bildpunkt) quadriert wird und hierauf wiederum der lokale Mittelungsfiler angewendet wird. Die Variablen LokaleErwartungswert und LokaleVarianz sind also Matrizen mit einem Element für jeden Bildpunkt (oder jeden Farbkanal jedes Bildpunktes). Diese lokale Varianz stellt ein Maß für die Schärfe dar. Dann werden alle Indizes, d.h. alle Bildpunkte, bestimmt, für

25 die die lokale Varianz größer ist als die (bisher) beste Varianz. In anderen Worten werden hier diejenigen Bildpunkte bestimmt, bei welchen die bei dem jetzigen Durchlauf der z -Schleife erzeugte Schärfe besser ist als bei vorherigen Durchläufen erzielte Schärfewerte, jeweils gemäß dem Maß der lokalen Varianz.

30 Für diese Indizes, d.h. diese Bildpunkte, wird die beste Varianz dann auf die lokale Varianz des jeweiligen Durchgangs gesetzt. Das Endbild EDof wird dann für die so bestimmten Indizes auf die Bildpunkte des jeweiligen Bildes (Variable Bild) aktualisiert, sodass nach dem kompletten Durchlauf der z -Schleife das Bild EDof nur aus den jeweils „besten“ Bildpunkten besteht. Optional kann auch die Variable Zmap entsprechend auf den jeweiligen z -Wert gesetzt werden,

35 sodass nach Durchlauf der Schleife Zmap eine Karte der z -Werte für die Bildpunkte des Bildes

darstellt, wobei der z-Wert für jeden Bildpunkt dann der Wert ist, bei welchem die lokale Varianz, d.h. der für die Schärfenbestimmung benutzte Parameter, am größten ist.

Bei dem in dem Pseudoprogrammcode dargestellten Verfahren können die Verschiebungen in Abhängigkeit von z und φ beispielsweise vorher durch eine Kalibrierung gewonnen werden und abgespeichert werden. Bei anderen Herangehensweisen ist es auch möglich, beispielsweise durch Durchspielen verschiedener Verschiebungsvektoren für jeden Bildpunkt den optimalen Verschiebungsvektor zu finden. Die Verschiebungen können wie bereits erwähnt zusätzlich benutzt werden, um Bildfehler zu korrigieren.

Auch andere Herangehensweisen können verwendet werden. Beispielsweise können mittels lokaler Sticking-Verfahren die Einzelbilder segmentiert werden und in jedem Teilbereich (Segment) eine automatische „Defokus“-Suche durchgeführt werden, d.h. für jeden Teilbereich eine automatisierte „Defokus“-Suche durchgeführt werden. Dabei werden die Einzelbilder, d.h. die unter den verschiedenen Beleuchtungswinkeln beleuchteten Bilder, in den jeweiligen Segmenten so verschoben, dass einander entsprechende Strukturen in den Segmenten bestmöglich übereinander liegen. Ähnliche Verfahren sind beispielsweise in der deutschen Patentanmeldung DE 10 2014 109 687 A1 zum Zwecke einer Einstellung eines Autofokus beschrieben. Eine derartige Defokus-Suche kann beispielsweise mittels einer lokalen Korrelation mit SSIM („structural similarity“)-Bewertung durchgeführt werden. Bei einer derartigen Herangehensweise wird nicht nur ein Defokus korrigiert, d.h. für jedes Segment eine optimierte Schärfe erreicht, sondern es können auch andere Defokus abhängige Bildfehler korrigiert werden.

Bei wieder einer anderen Herangehensweise wird zunächst eine 3D-Karte der Probe berechnet, im Wesentlichen entsprechend der Zmap in dem oben erläuterten Pseudocode. Eine derartige 3D-Karte kann im Wesentlichen basierend darauf bestimmt werden, dass abhängig von der z-Koordinate wie bereits erläutert Bildbereich in Abhängigkeit von dem Beleuchtungswinkel verschiedene Verschiebungen erfahren, sodass von der Verschiebung auf die z-Koordinate rückgeschlossen werden kann. Derartige Verfahren sind beispielsweise in der DE 10 2014 109 687 A1 oder der DE 10 2014 113 433 A1 näher beschrieben. Bei derartigen Verfahren kann beispielsweise der Versatz von gleichen Strukturen zueinander für verschiedene Beleuchtungswinkel bestimmt werden, beispielsweise durch Bilderkennungsverfahren, und abhängig von diesem Versatz kann die z-Koordinate bestimmt werden, beispielsweise basierend auf einer vorhergehenden Kalibrierung. Das Bild mit erweiterter Schärfentiefe kann dann auf Basis der 3D-Karte der Probe entsprechend einer feldabhängigen Defokus-Korrektur

mit entsprechenden Verschiebungen von Bildelementen für jede z-Ebene beschrieben werden, ähnlich einer Defokus-Korrektur, wie sie beispielsweise in der DE 10 2014 112 666 A1 oder der DE 10 2014 112 648 A1 (dort zum Zwecke der Korrektur von Bildfehlern) beschrieben ist.

5 Zu bemerken ist, dass die hier beschriebenen Techniken nicht nur auf herkömmliche Bilder anwendbar sind. Vielmehr können sie auch auf Phasenkontrastbilder angewendet werden, die ebenfalls durch Beleuchtung unter verschiedenen Beleuchtungswinkeln erzeugt werden können. Beispielsweise ist in der DE 10 2014 112 242 A1 beschrieben, wie durch Beleuchtung unter verschiedenen Beleuchtungswinkeln, insbesondere verschiedenen
10 Beleuchtungsrichtungen, Phasenkontrastbilder erzeugt werden können. Dabei können beispielsweise immer zwei Beleuchtungsrichtungen ein Paar geben und Intensitätsbilder (d.h. herkömmliche Bilder) aus zwei oder drei oder mehreren beliebigen Beleuchtungsrichtungen kombiniert werden, wobei die Beleuchtungsrichtungen unterschiedliche Winkel mit der optischen Achse einschließen.

15 Zur Veranschaulichung sind in Fig. 4 die angewendeten Prinzipien nochmals schematisch dargestellt. Bei der vereinfachten schematischen Darstellung der Fig. 4 werden drei Bilder 41, 42 und 43 unter verschiedenen Beleuchtungswinkeln aufgenommen. Wie zu sehen ist, erscheinen verschiedene Teile des Objekts zueinander verschoben, insbesondere außerhalb
20 eines Fokus liegende Teile, was an den unterschiedlichen Beleuchtungsrichtungen liegt.

Auf die Bilder werden verschiedene Operationen T1 bis T3 angewendet, wobei die auf einen jeweiligen Bildpunkt angewendete Verschiebung zum einen von der z-Koordinate und zum anderen von der Beleuchtungsrichtung abhängt, wie oben erläutert. Dies führt zu
25 entsprechenden Bildern 44-46, bei welchen einander entsprechende Teile im Wesentlichen am gleichen Ort sind. Durch Kombination, beispielsweise Summierung, dieser Bilder kann dann ein Bild 47 mit erhöhter Schärfentiefe erzeugt werden, wobei gleichzeitig Bildfehler korrigiert werden können. Wie bereits erläutert kann die dargestellte Vorgehensweise auch miteinander verschoben oder verschachtelt durchgeführt werden, beispielsweise wie in dem obigen
30 Pseudocode, wo nacheinander die Summen von Bildern, auf die Verschiebungsoperationen angewendet wurden, für verschiedene z-Koordinaten gebildet werden und jeweils die „schärfsten“ Teile in das endgültige Bild übernommen werden. Bei anderen Ausführungsbeispielen können auch andere Metriken als dem obigen Pseudocode verwendet werden.

35

Zur Veranschaulichung der Wirkung der beschriebenen Verfahren und Vorrichtungen zeigt Fig. 5A ein Einzelbild, welches beispielsweise mit einem Beleuchtungswinkel aufgenommen wurde. Fig. 5B zeigt ein mit einem Verfahren gemäß einem Ausführungsbeispiel erzeugtes Ergebnisbild, bei welchem die Schärfentiefe erhöht wurde. Wie zu sehen ist, sind viele Strukturen deutlich schärfer als in dem Bild der Fig. 5A zu erkennen.

Nunmehr wird noch unter Bezugnahme auf Fig. 6 die Funktionsweise der oben beschriebenen Ausführungsbeispiele erläutert, d.h. es wird dargestellt, warum mit den dargestellten und erläuterten Ausführungsbeispielen in der Tat eine Erhöhung der Schärfentiefe erfolgen kann. In anderen Worten wird unter Bezugnahme auf die Fig. 6 die Ursache der oben bereits beschriebenen Effekte erläutert.

Die Fig. 6 zeigt als Beispiel ein einfaches optisches System mit zwei Linsen 61, 62. Punkte P1 bis P3 in einer Fokusebene 60 des optischen Systems 61, 62 werden auf Punkte P1' bis P3' in einer Bildebene 63, in der sich beispielsweise eine Kamera befindet, abgebildet.

Zur weiteren Erläuterung wird der Einfachheit halber als Objekt von einem Punkt P ausgegangen, der wie dargestellt außerhalb der Fokusebene 60 liegt und nacheinander aus drei verschiedenen Richtungen B1, B2 und B3 beleuchtet wird. Bei einer Beleuchtung aus der Beleuchtungsrichtung B1 gelangt Licht von dem Punkt P im Wesentlichen bei dem Punkt P1 in die Fokusebene (abgesehen gegebenenfalls von Streuungen) und wird entsprechend den Gesetzen der Strahlenoptik auf den Punkt P1' abgebildet. Bei der Beleuchtungsrichtung B2 gelangt Licht von dem Punkt P bei dem Punkt P2 in die Fokusebene und wird entsprechend auf den Punkt P2' abgebildet. Bei der Beleuchtungsrichtung B3 gelangt Licht von dem Punkt P bei dem Punkt P3 zu der Fokusebene und wird auf den Punkt P3' abgebildet.

So bewirkt eine Beleuchtung aus unterschiedlichen Beleuchtungswinkeln (B1, B2, B3) eine Verschiebung des Punktes P in der Bildebene (P1', P2' bzw. P3'), wie oben bereits erläutert. Durch die oben bereits beschriebenen Verschiebungen der jeweils (z.B. in der Bildebene 63) aufgenommenen Bilder können die Punkte dann wieder zur Deckung gebracht werden.

Ergänzend ist zu bemerken, dass im Falle einer nicht gerichteten Beleuchtung, also einer Beleuchtung, die nicht unter einem speziellen Beleuchtungswinkel erfolgt, der Punkt P sowohl auf P1' als auch auf P2' als auch auf P3' als auch auf dazwischenliegende Punkte abgebildet wird, was die übliche unscharfe Abbildung für außerhalb der Fokusebene 60 liegende Objekte

ist. Die Verschiebung der Bildebene liegt also gerade daran, dass nicht beliebig beleuchtet wird, sondern unter bestimmten Winkeln, wie oben bereits beschrieben.

Es entsteht somit durch die gerichtete Beleuchtung unter verschiedenen Beleuchtungswinkeln gerade kein ausgedehnter Unschärfebereich, sondern vielmehr wird ein Objekt wie der Punkt P in dem Beispiel an verschiedenen Stellen in der Bildebene je nach Beleuchtungswinkel abgebildet. Die einzelnen Abbildungen erfolgen dabei im Wesentlichen scharf. Allerdings wird für jede Beleuchtungsrichtung wie ebenso aus Fig. 6 ersichtlich, nur ein kleiner Teil der Apertur der optischen Vorrichtung genutzt, was zu einer Erniedrigung der Auflösung führt. Durch das Verschieben und Kombinieren der verschiedenen Bilder wie oben beschrieben wird dieser Nachteil wieder aufgehoben, da mehrere Beleuchtungsrichtungen kombiniert werden, und so zumindest ein größerer Teil der gesamten Apertur genutzt wird.

Die dargestellten Ausführungsbeispiele bieten verschiedene Vorteile gegenüber herkömmlichen Verfahren und Vorrichtungen zur Bildaufnahme mit erhöhter Schärfentiefe. Beispielsweise kann die Messung schneller sein als ein herkömmlicher z-Stapel, da keine mechanische Einstellung des Fokus möglich ist. Unter Umständen ist auch eine Zahl benötigter Messungen geringer als bei herkömmlichen Verfahren. Abhängig von der zur Verfügung stehenden Rechenleistung kann die Erstellung des Ergebnisbildes mit erhöhter Schärfentiefe schnell erfolgen.

Zudem können gleichzeitig wie bereits erläutert auch andere Bildfehler korrigiert werden, beispielsweise Defokus, Astigmatismus, Bildfeldwölbung und Farbblängsfehler, wobei dies auch feldabhängig erfolgen kann.

Innerhalb der kohärenten Schärfentiefe der verwendeten Vorrichtung kann das Bild mit erhöhter Schärfentiefe ohne Auflösungsverlust (mit Einschränkungen, falls Bildfehler mit korrigiert werden) erfolgen. Wie bereits erläutert, können zudem die dargestellten Techniken zur Erzeugung eines Ergebnisbildes mit vergrößerter Schärfentiefe auf Phasenkontrastbilder, welche gleichzeitig digital erzeugt werden können, angewendet werden. Die Techniken sind auch offline durchführbar. Dies bedeutet beispielsweise, dass die Auswerteeinrichtung 20 der Fig. 1 auch separat von dem Rest der Vorrichtung bereitgestellt werden kann, solange ihr die Bilder entsprechend zugeführt werden. Gleichzeitig mit der Berechnung des Ergebnisbildes kann eine z-Karte erstellt werden, beispielsweise wie in dem oben diskutierten Pseudocode. Die dargestellten Verfahren und Vorrichtungen sind mit verschiedenen anderen Verfahren und Vorrichtungen auf einfache Weise kombinierbar.

Wenn ein höherer Schärfentiefenbereich als die kohärente Schärfentiefe der entsprechenden Vorrichtung benötigt wird, kann zusätzlich der Fokus verändert werden, wobei hier weniger Fokusänderungen notwendig sind als bei einem herkömmlichen z-Stapel.

- 5 Die oben diskutierten Ausführungsbeispiele dienen lediglich der Veranschaulichung und sind nicht einschränkend auszulegen.

Patentansprüche

5

1. Verfahren zur Bildaufnahme, umfassend:

Aufnehmen einer Vielzahl von Bildern (41-43), wobei zur Aufnahme der Vielzahl von Bildern ein Objekt (2) unter zwischen den Bildern (41-43) unterschiedlichen Beleuchtungswinkeln (4) beleuchtet wird, und

10

Verarbeiten der Vielzahl von Bildern (41-43), wobei das Verarbeiten umfasst:

Anwenden von Operationen auf die Vielzahl von Bildern, und Kombinieren der Vielzahl von Bildern mit den darauf angewendeten Operationen, um ein Ergebnisbild mit erhöhter Schärfentiefe zu erhalten.

15

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Anwenden von Operationen ein Anwenden einer Verschiebung auf Bildelemente der Bilder umfasst.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die Verschiebung von dem Beleuchtungswinkel des jeweiligen Bildes und von einer Position eines dem jeweiligen Bildelement entsprechenden Teil des Objekts (2) in einer Richtung parallel zur optischen Achse (5) abhängt.

20

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei das Anwenden von Operationen ein Anwenden von Operationen für eine Vielzahl von Positionen in einer Richtung parallel zu einer optischen Achse und ein Auswählen von Bildteilen für das Ergebnisbild, für welche ein Schärfemaß eine größte Schärfe anzeigt, für das Ergebnisbild umfasst.

25

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei das Schärfemaß auf Basis einer lokalen Varianz bestimmt wird.

30

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-5, wobei das Verarbeiten umfasst:
Durchlaufen einer Schleife, in der ein Positionsparameter über einen gewünschten Positionsbereich parallel zu einer optischen Achse einer für die Bildaufnahme verwendeten Vorrichtung durchläuft, und für jeden Positionsparameter der Schleife:

Bestimmen eines Zwischenbildes als Summe über die Vielzahl von Bildern, auf die als Operation jeweils eine von dem jeweiligen Höhenparameter und dem jeweiligen Beleuchtungswinkel angewendete Verschiebung angewendet wurde,

Bilden eines lokalen Varianzwerts für jedes Bildelement des Zwischenbildes, und

Aufnahme derjenigen Bildelemente des Zwischenbildes in das Ergebnisbild, bei welchem die lokale Varianz größer ist als eine lokale Varianz vorhergehender Schleifendurchläufe.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiter umfassend Erstellen einer Höhenkarte auf Basis der Vielzahl von Bildern.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Verarbeiten ein Sticking umfasst.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei Verarbeiten ein Anwenden einer Bildkorrektur umfasst.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Ergebnisbild ein Phasenkontrastbild umfasst.

11. Vorrichtung zur Bildaufnahme, umfassend:

eine Beleuchtungseinrichtung (11, 12), die ansteuerbar ist, eine Mehrzahl unterschiedlicher Beleuchtungswinkel (4) für eine Beleuchtung eines Objekts einzustellen, eine Bildaufnahmeeinrichtung (14, 15), welche eingerichtet ist, eine Vielzahl von Bildern (41-43) des Objekts aufzunehmen, wobei sich die Beleuchtungswinkel für verschiedene der Vielzahl von Bildern unterscheiden, und

eine Auswerteeinrichtung (20) zur Verarbeitung der Vielzahl von Bildern, wobei die Auswerteeinrichtung (20) eingerichtet ist, auf jedes Bild der Vielzahl von Bildern (41-43) eine Operation anzuwenden und die Bilder mit den darauf angewendeten Operationen zu kombinieren, um ein Ergebnisbild mit vergrößerter Schärfentiefe zu erzeugen.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, wobei die Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1-10 eingerichtet ist.

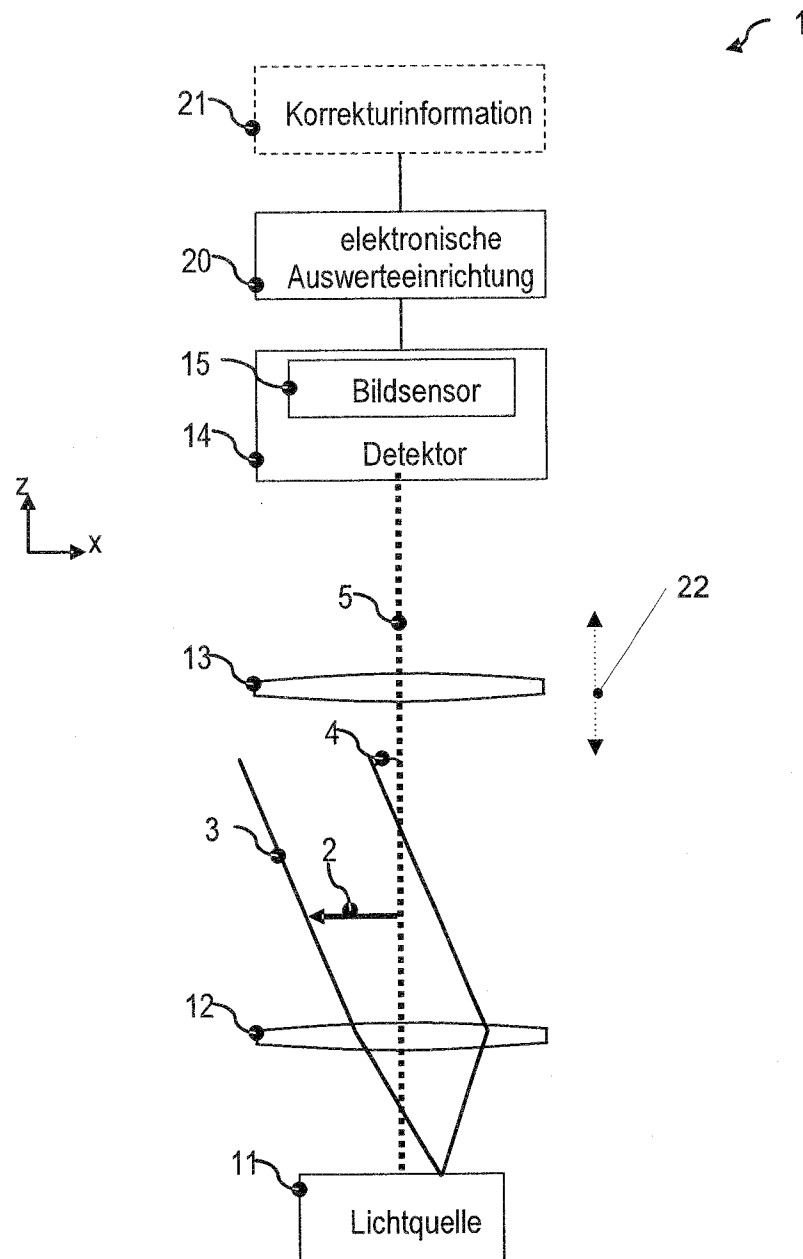


Fig. 1

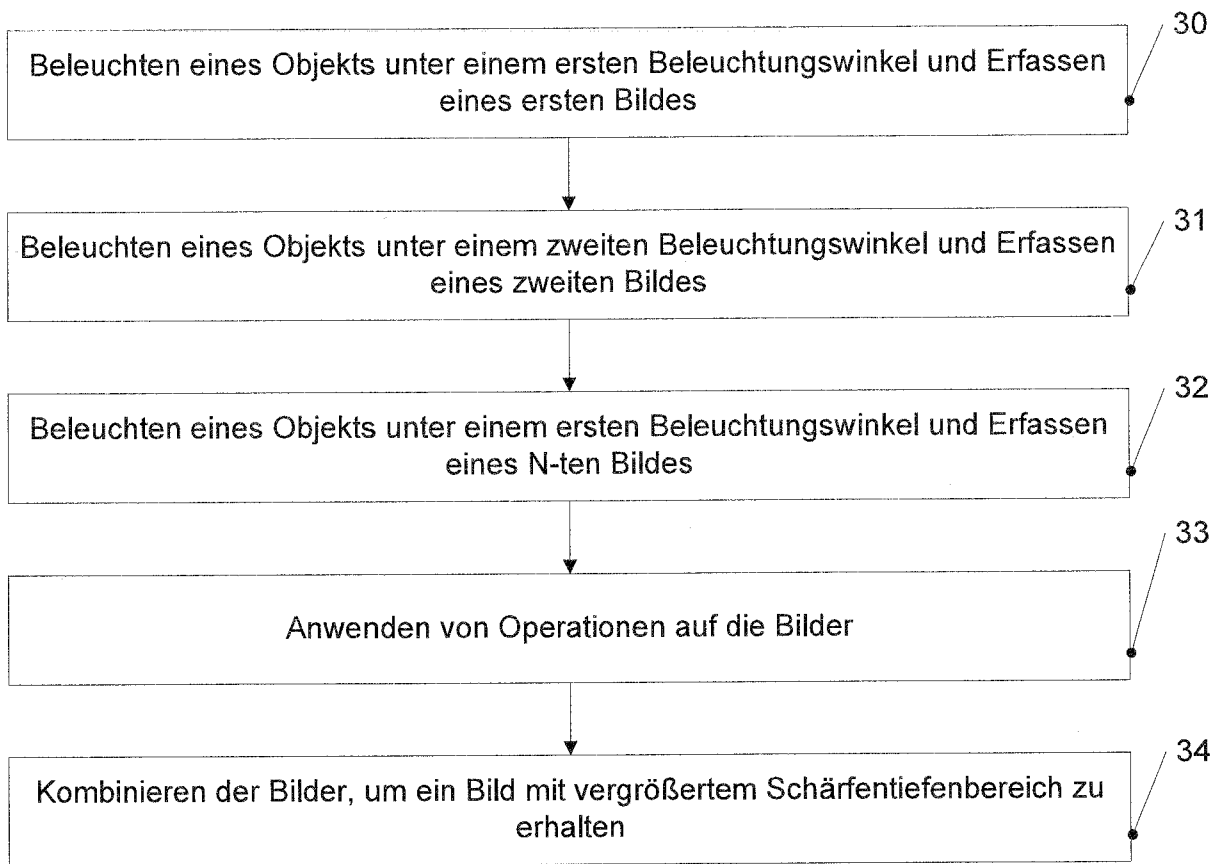


Fig. 2

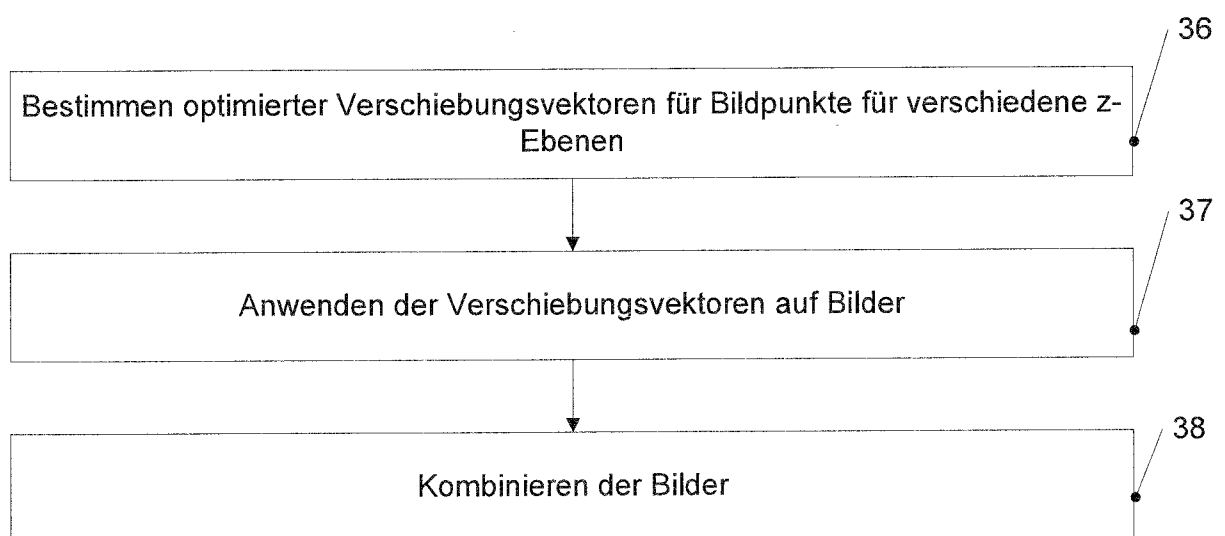


Fig. 3

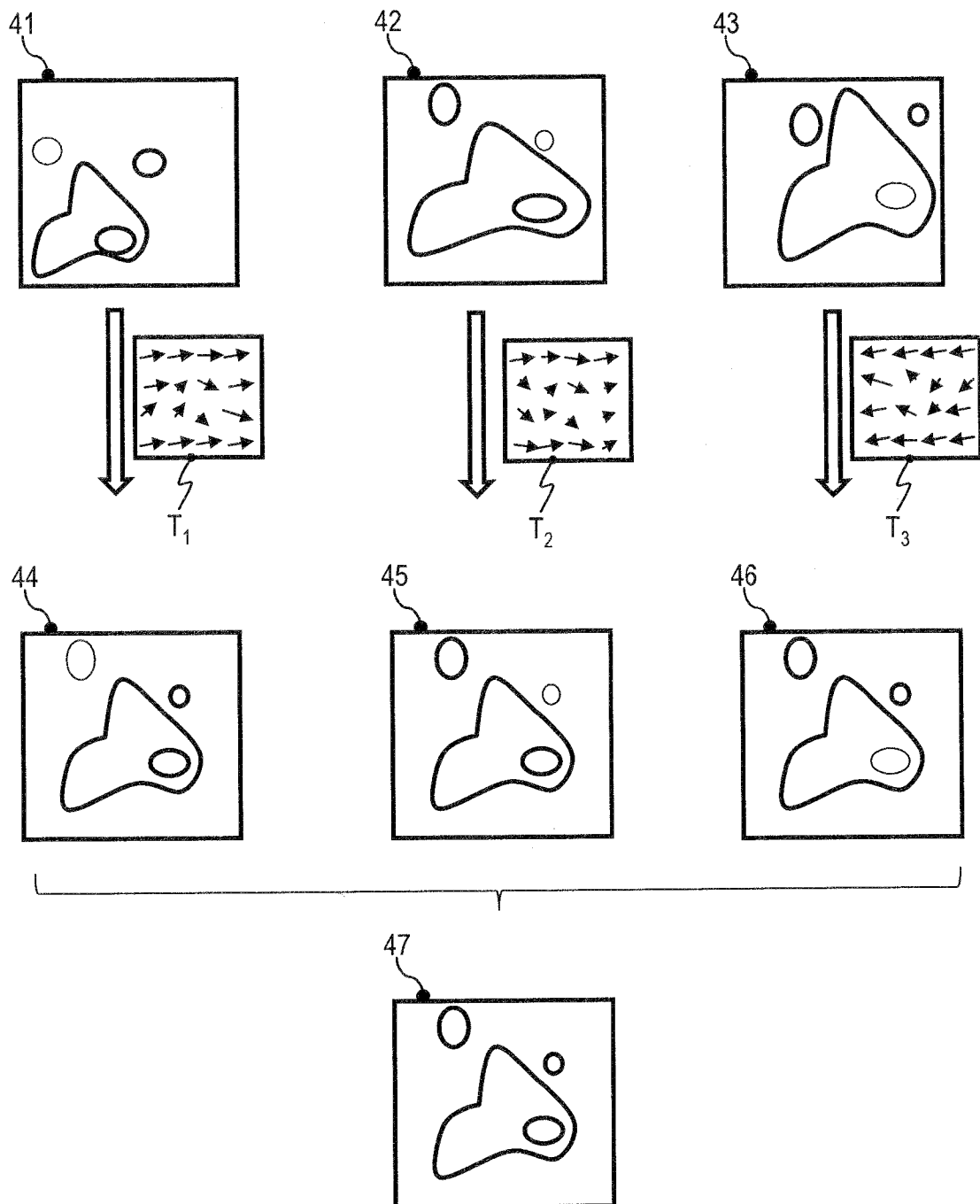


Fig. 4

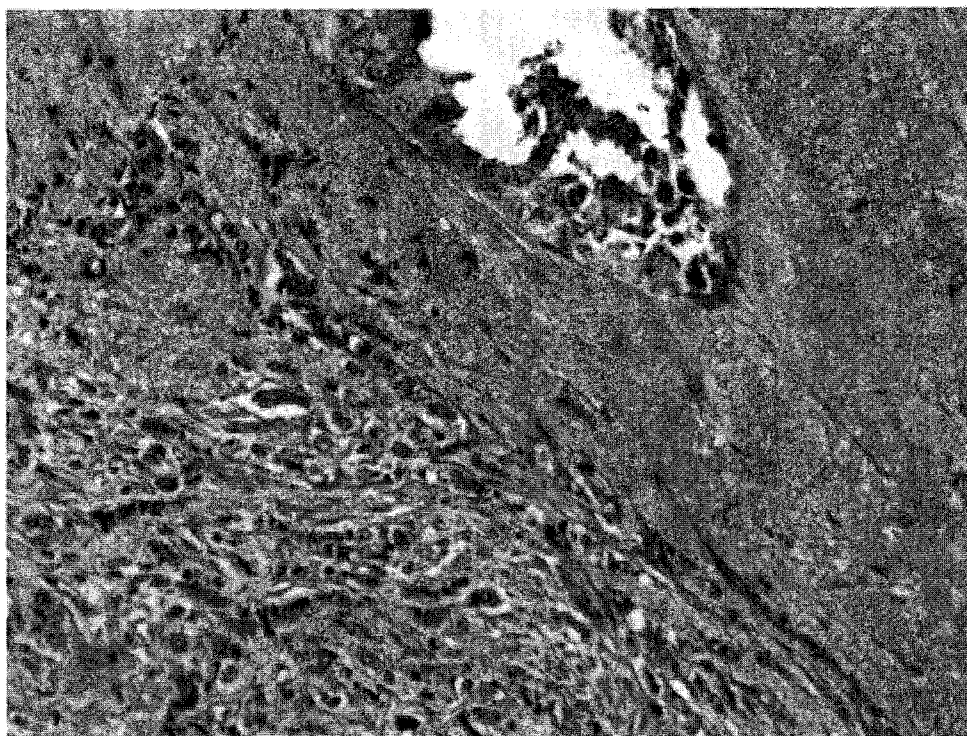


Fig. 5A

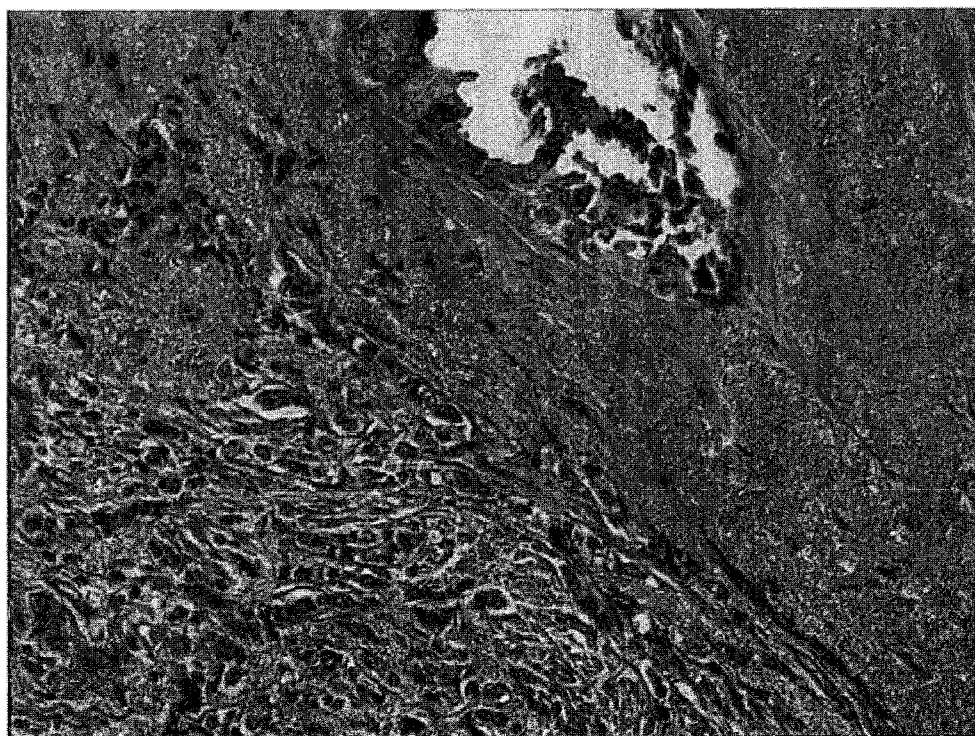


Fig. 5B

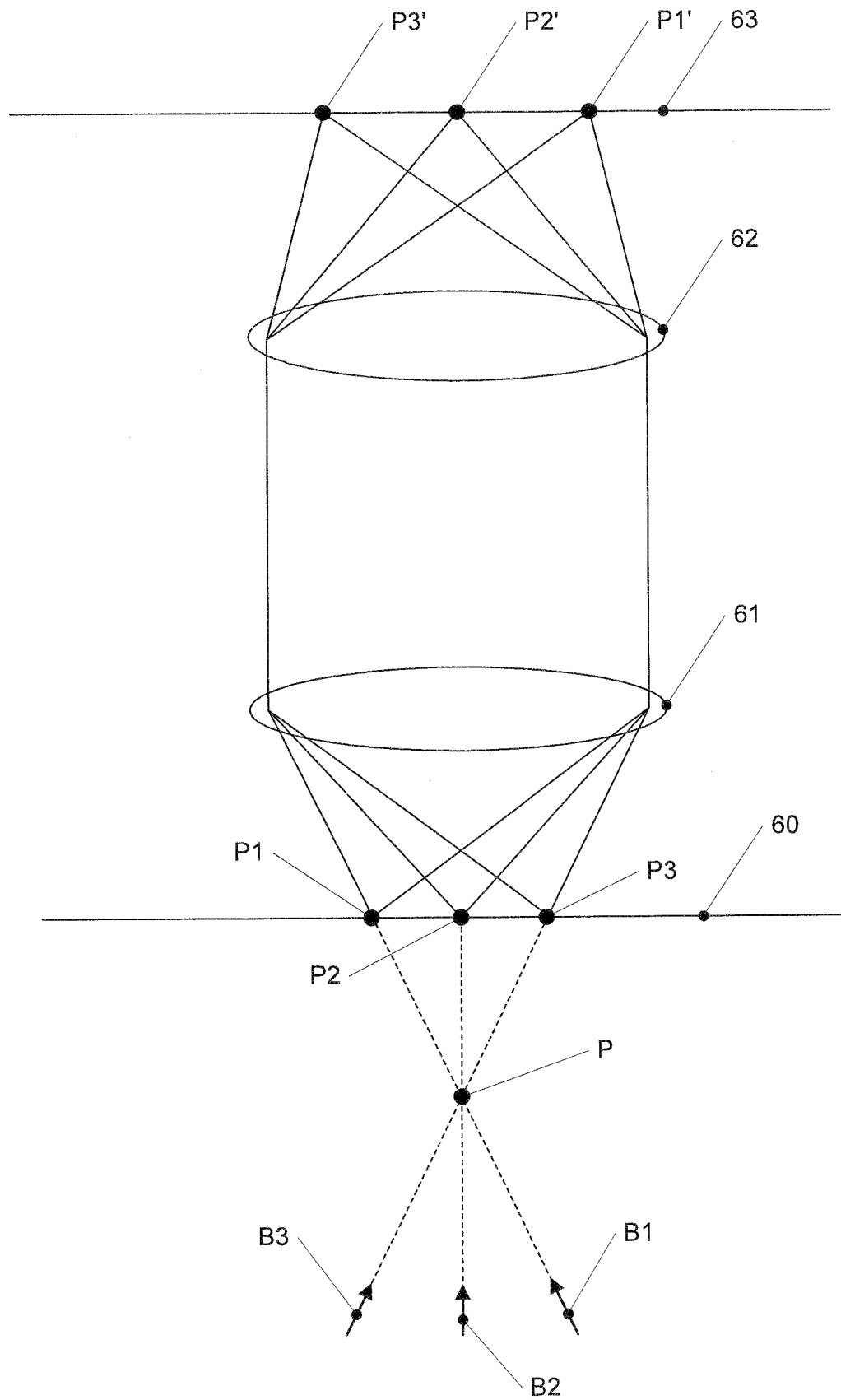


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/060812

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G02B21/36 G02B21/06 G06T5/00 G06T5/50
ADD. G02B21/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02B G06T

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 practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	US 2013/280752 A1 (OZCAN AYDOGAN [US] ET AL) 24 October 2013 (2013-10-24) figures 1A,2,13A-F paragraph [0011] - paragraph [0019] paragraph [0089] - paragraph [0117] paragraph [0142] - paragraph [0147] paragraph [0173]	1,2,7-9, 11,12 3-6
X	----- S. KAWATA ET AL: "Optical microscope tomography. I. Support constraint", JOURNAL OF THE OPTICAL SOCIETY OF AMERICA A, vol. 4, no. 1, 1 January 1987 (1987-01-01), page 292, XP055226123, ISSN: 1084-7529, DOI: 10.1364/JOSAA.4.000292	1,7,11, 12
Y	the whole document ----- -/-	2-6,8



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* 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 application or patent 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

27 July 2016

Date of mailing of the international search report

04/08/2016

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

Beutter, Matthias

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/060812

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	GUOAN ZHENG ET AL: "Wide-field, high-resolution Fourier ptychographic microscopy", NATURE PHOTONICS, vol. 7, no. 9, 28 July 2013 (2013-07-28), pages 739-745, XP055181687, ISSN: 1749-4885, DOI: 10.1038/nphoton.2013.187	1,9,11,12
Y	the whole document	2-8
Y	US 2011/025880 A1 (NANDY SHIDDHARTA [GB]) 3 February 2011 (2011-02-03) figures 2-9 paragraph [0041] - paragraph [0049]	2-8
Y	US 2013/016885 A1 (TSUJIMOTO TAKUYA [JP]) 17 January 2013 (2013-01-17) figures 3,6,7 paragraph [0052] - paragraph [0054] paragraph [0095] - paragraph [0105]	4,7,8
Y	US 2015/087902 A1 (MERTZ JEROME CHARLES [US] ET AL) 26 March 2015 (2015-03-26) figures 1-20 paragraph [0012] - paragraph [0045]	10
Y	DE 10 2011 054106 A1 (PIPER JOERG [DE]; PIPER TIMM [DE]) 4 April 2013 (2013-04-04) paragraph [0004] - paragraph [0037]; figures 1-13	10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/060812

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2013280752 A1	24-10-2013	EP 2661603 A2	13-11-2013
		JP 2014507645 A	27-03-2014
		KR 20140039151 A	01-04-2014
		US 2013280752 A1	24-10-2013
		WO 2012094523 A2	12-07-2012
US 2011025880 A1	03-02-2011	EP 2284592 A1	16-02-2011
		EP 3029507 A1	08-06-2016
		US 2011025880 A1	03-02-2011
US 2013016885 A1	17-01-2013	JP 5780865 B2	16-09-2015
		JP 2013020212 A	31-01-2013
		US 2013016885 A1	17-01-2013
US 2015087902 A1	26-03-2015	US 2015087902 A1	26-03-2015
		WO 2013148360 A1	03-10-2013
DE 102011054106 A1	04-04-2013	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G02B21/36 G02B21/06 G06T5/00 G06T5/50
 ADD. G02B21/14

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

G02B G06T

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, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2013/280752 A1 (OZCAN AYDOGAN [US] ET AL) 24. Oktober 2013 (2013-10-24)	1,2,7-9, 11,12
Y	Abbildungen 1A,2,13A-F Absatz [0011] - Absatz [0019] Absatz [0089] - Absatz [0117] Absatz [0142] - Absatz [0147] Absatz [0173]	3-6
X	----- S. KAWATA ET AL: "Optical microscope tomography. I. Support constraint", JOURNAL OF THE OPTICAL SOCIETY OF AMERICA A, Bd. 4, Nr. 1, 1. Januar 1987 (1987-01-01), Seite 292, XP055226123, ISSN: 1084-7529, DOI: 10.1364/JOSAA.4.000292	1,7,11, 12
Y	das ganze Dokument ----- -/-	2-6,8



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"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)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"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

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

27. Juli 2016

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

04/08/2016

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

Beutter, Matthias

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	GUOAN ZHENG ET AL: "Wide-field, high-resolution Fourier ptychographic microscopy", NATURE PHOTONICS, Bd. 7, Nr. 9, 28. Juli 2013 (2013-07-28), Seiten 739-745, XP055181687, ISSN: 1749-4885, DOI: 10.1038/nphoton.2013.187	1,9,11, 12
Y	das ganze Dokument	2-8
Y	----- US 2011/025880 A1 (NANDY SHIDDHARTA [GB]) 3. Februar 2011 (2011-02-03) Abbildungen 2-9 Absatz [0041] - Absatz [0049]	2-8
Y	----- US 2013/016885 A1 (TSUJIMOTO TAKUYA [JP]) 17. Januar 2013 (2013-01-17) Abbildungen 3,6,7 Absatz [0052] - Absatz [0054] Absatz [0095] - Absatz [0105]	4,7,8
Y	----- US 2015/087902 A1 (MERTZ JEROME CHARLES [US] ET AL) 26. März 2015 (2015-03-26) Abbildungen 1-20 Absatz [0012] - Absatz [0045]	10
Y	----- DE 10 2011 054106 A1 (PIPER JOERG [DE]; PIPER TIMM [DE]) 4. April 2013 (2013-04-04) Absatz [0004] - Absatz [0037]; Abbildungen 1-13	10

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/060812

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2013280752 A1	24-10-2013	EP 2661603 A2	13-11-2013
		JP 2014507645 A	27-03-2014
		KR 20140039151 A	01-04-2014
		US 2013280752 A1	24-10-2013
		WO 2012094523 A2	12-07-2012
US 2011025880 A1	03-02-2011	EP 2284592 A1	16-02-2011
		EP 3029507 A1	08-06-2016
		US 2011025880 A1	03-02-2011
US 2013016885 A1	17-01-2013	JP 5780865 B2	16-09-2015
		JP 2013020212 A	31-01-2013
		US 2013016885 A1	17-01-2013
US 2015087902 A1	26-03-2015	US 2015087902 A1	26-03-2015
		WO 2013148360 A1	03-10-2013
DE 102011054106 A1	04-04-2013	KEINE	