



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 135 521.4**
(22) Anmeldetag: **20.12.2019**
(43) Offenlegungstag: **24.06.2021**

(51) Int Cl.: **G01B 9/04** (2006.01)
G02B 21/24 (2006.01)
G02B 27/00 (2006.01)
G01B 11/24 (2006.01)
G01B 11/14 (2006.01)
G01B 11/22 (2006.01)
G03B 13/30 (2021.01)

(71) Anmelder:
Carl Zeiss Microscopy GmbH, 07745 Jena, DE

(74) Vertreter:
Kraus & Weisert Patentanwälte PartGmbH, 80539 München, DE

(72) Erfinder:
Gaiduk, Alexander, Dr., 07749 Jena, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2017 000 296	A1
US	2016 / 0 357 004	A1
WO	2013/ 059 665	A1
WO	2016/ 193 037	A1

ANG, Kar Tien; FANG, Zhong Ping; TAY, Arthur.
Note: development of high speed confocal 3D profilometer. Review of Scientific Instruments, 2014, 85. Jg., Nr. 11, S. 116103; <https://doi.org/10.1063/1.4901518>

Aiko K. Ruprecht, Klaus Koerner, Tobias F. Wiesendanger, Hans J. Tiziani, Wolfgang Osten,
"Chromatic confocal detection for high-speed microtopography measurements," Proc. SPIE 5302, Three-Dimensional Image Capture and Applications VI, (16 April 2004); <https://doi.org/10.1117/12.525658>

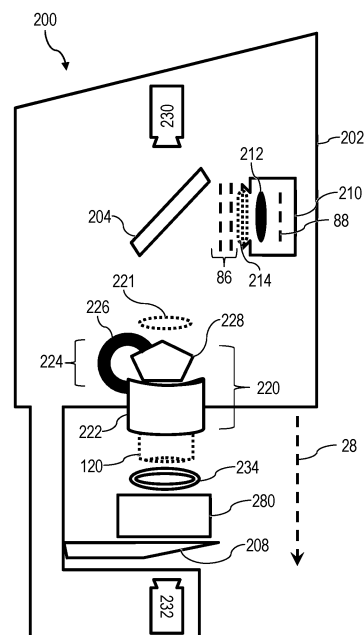
Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Messanordnung, Lichtmikroskop und Messverfahren zur bildgebenden Tiefenmessung**

(57) Zusammenfassung: Eine Aufgabe der Erfindung ist es, Messverfahren, Messanordnungen und Lichtmikroskope zur bildgebenden Tiefenmessung zu verbessern.

Hierfür wird ein Objekt in einem Messbereich bei einem Objektiv angeordnet. Zudem ist eine Abbildungsanordnung, welche das Objektiv aufweist oder mittels eines Objektivhalters damit verbunden ist, eingerichtet, ein vom Objekt ausgehendes Licht für mehrere Objektebenen bezüglich des Objekts zu einem Weitfeldzwischenbild abzubilden, wobei mittels einer chromatischen Längsaberration der Abbildungsanordnung die Objektebenen abhängig von einer Wellenlänge des Lichts vom Objekt entlang einer Tiefenachse gestaffelt sind. Außerdem ist eine Bilderfassungseinrichtung eingerichtet, das Weitfeldzwischenbild bildgebend und aufgelöst bezüglich eines oder mehrerer auswählbarer spektraler Anteile, welche jeweils einer der Objektebenen entsprechen, zu erfassen. Anhand von „focus stacking“ werden dann mehrere solcher Weitfeldzwischenbilder für unterschiedliche Objektebenen zusammengesetzt, wobei eine Veränderung/Variation des Fokus durch Änderung/Auswählen der jeweiligen spektralen Anteile und damit Wellenlängen erzielt wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung liegt auf dem Gebiet der Messtechnik und betrifft insbesondere eine Messanordnung, ein Lichtmikroskop und ein Messverfahren zur bildgebenden Tiefenmessung.

[0002] Üblicherweise wird bei einem abbildenden optischen System ein abzubildendes Objekt oder Teile davon nur in einem bestimmten Entfernungsbereich vom optischen System im Wesentlichen scharf abgebildet. Die Ausdehnung dieses Entfernungsbereichs wird als Schärfentiefe bezeichnet. Außerhalb dieses bestimmten Entfernungsbereichs werden etwaige weitere Teile des Objekts oder andere Objekte unscharf abgebildet.

[0003] So werden etwa bei einem Lichtmikroskop in einer Objektebene dort befindliche Teile eines abzubildenden Objekts scharf abgebildet, während weitere Teile des Objekts oder andere Objekte mit zunehmender Entfernung von der Objektebene unschärfer abgebildet werden. Um auch die weiteren Teile des Objekts oder andere Objekte scharf abbilden zu können, lässt sich üblicherweise das Objekt oder lassen sich die Objekte entlang einer Tiefenachse relativ zum Mikroskop verschieben, sodass ihre Entfernung vom Mikroskop - also etwa von einem Objektiv des Mikroskops - verändert und diese in die Objektebene verschoben werden. Auch lässt sich oft eine Fokussierung des Lichtmikroskops durch Verschieben optischer Elemente des Lichtmikroskops einstellen und damit die Objektebene verschieben.

[0004] Auch bei üblichen Kameras - wie etwa Fotoapparaten oder Videokameras - lässt sich eine Fokussierung durch Verschieben von optischen Elementen und somit jeder Entfernungsbereich, in welchem Objekte scharf abgebildet werden, einstellen.

[0005] Allerdings wird damit bei jeder Abbildung und Aufnahme/Erfassung eines abgebildeten Objekts jeweils nur ein bestimmter Entfernungsbereich scharf abgebildet. Zur Erweiterung des Entfernungsbereichs, in welchem Objekte scharf abgebildet werden, werden bei einer Schärfentiefeerweiterung - also etwa einem sogenannten „focus stacking“ oder einer sogenannten Fokusvariation - mehrere Abbildungen des Objekts/der Objekte für unterschiedliche jeweils scharf abgebildete Entfernungsbereiche - etwa Objektebenen - erfasst - etwa mittels Variation der Fokussierung und/oder mittels Verschiebung des Objekts/der Objekte entlang der Tiefenachse - und von diesen mehreren Abbildungen jeweils jene Bereiche ausgewählt, welche jeweils scharf abgebildet sind, und diese ausgewählten Bereiche zu einer gemeinsamen Abbildung mit einer besonders hohen Schärfentiefe zusammengesetzt.

[0006] Eine Erfassung eines Objekts mit einer besonders hohen Auflösung lässt sich außerdem mittels konfokaler Mikroskopie erzielen, bei welcher - im Gegensatz zur Weitfeldmikroskopie - jeweils nur ein kleiner Ausschnitt des Objekts fokussiert, beleuchtet und erfasst wird. Dabei wird zum Bestimmen eines zweidimensionalen oder dreidimensionalen Abbilds des Objekts ein entsprechender Messbereich schrittweise über eine Vielzahl an solchen kleinen Ausschnitten abgerastert, sodass eine Abbildung des Objekts aus den einzelnen Ausschnitten rekonstruiert werden kann, ohne dass bei den einzelnen Schritten des Abrasterns ein vollständiges Abbild des Objekts - mit etwaigen Unschärfen aufgrund einer etwaigen Entfernung von der Objektebene - entsteht.

[0007] Über die Abhängigkeit der Schärfe der Abbildung von der Entfernung des Objekts von der Objektebene - also etwa der Schärfenebene - oder entsprechend über eine rekonstruierte Abbildung aus mehreren Abbildungen für unterschiedliche Entfernungsbereiche oder aus einer Vielzahl von jeweils scharf abgebildeten Ausschnitten lässt sich eine Tiefenmessung erzielen, also etwa eine Bestimmung einer absoluten oder relativen Entfernung eines Objekts oder eines Teils davon oder etwa bei einer bildgebenden Erfassung auch eine - etwaig dreidimensionale - Abbildung des Objekts mit voller Schärfentiefe.

[0008] Es besteht Bedarf, Messverfahren, Messanordnungen und Lichtmikroskope zur Tiefenmessung zu verbessern sowie insbesondere eine bildgebende Tiefenmessung zu ermöglichen, einen Zeitbedarf für eine Tiefenmessung zu reduzieren, ein Durchführen einer Tiefenmessung bzw. einen Messaufbau, beispielsweise eine Messanordnung oder ein Lichtmikroskop, zur Tiefenmessung zu vereinfachen und/oder ein solches Durchführen bzw. einen solchen Messaufbau anpassungsfähiger zu machen.

[0009] Die Erfindung erfüllt diesen Bedarf jeweils durch eine Messanordnung zur bildgebenden Tiefenmessung, durch ein Lichtmikroskop sowie durch ein Messverfahren zur bildgebenden Tiefenmessung jeweils gemäß der Lehre eines der Hauptansprüche. Vorteilhafte Ausführungsformen, Weiterbildungen und Varianten der vorliegenden Erfindung sind insbesondere Gegenstand der Unteransprüche.

[0010] Es werden eine Messanordnung nach Anspruch 1, ein Lichtmikroskop nach Anspruch 8 sowie ein Messverfahren gemäß Anspruch 9 bereitgestellt. Die Unteransprüche definieren weitere Ausführungsformen.

[0011] Ein erster Aspekt der Erfindung betrifft eine Messanordnung zur bildgebenden Tiefenmessung. Die Messanordnung weist eine Abbildungsanordnung mit einem Objektiv und eine Bilderfassungseinrichtung auf. Die Abbildungsanordnung ist eingerich-

tet, ein von einem Objekt ausgehendes Licht für mehrere Objektebenen bezüglich des Objekts zu einem Weitfeldzwischenbild abzubilden, wobei mittels einer chromatischen Längsaberration der Abbildungsanordnung die Objektebenen abhängig von einer Wellenlänge des Lichts vom Objekt entlang einer Tiefenachse gestaffelt sind. Die Bilderfassungseinrichtung ist eingerichtet, das Weitfeldzwischenbild bildgebend und aufgelöst bezüglich eines oder mehrerer auswählbarer spektraler Anteile - wobei in einigen Varianten genau ein spektraler Anteil, zwei spektrale Anteile, drei spektrale Anteile, vier spektrale Anteile oder mehr als vier spektrale Anteile zugleich auswählbar sind -, welche jeweils einer der Objektebenen entsprechen, zu erfassen.

[0012] Ein Vorteil der chromatischen Längsaberration in Kombination mit der Auflösung bezüglich der spektralen Anteile kann insbesondere darin liegen, dass die Objektebenen gestaffelt sind, wodurch sich verschiedene Ebenen eines Objekts - also etwa verschiedene Höhen von dem Objekt bezüglich der Tiefenachse - über die jeweiligen den Objektebenen entsprechenden spektralen Anteile scharf abbilden lassen und/oder sich ein Entfernungsbereich entlang der Tiefenachse, in welchem Objektebenen zumindest im Wesentlichen scharf abgebildet werden, vergrößern lässt. Ein Vorteil des Auswählens des jeweiligen spektralen Anteils und damit einer entsprechenden Objektebene kann insbesondere darin liegen, dass eine derartige Auswahl präziser als ein mechanisches Verstellen eines Fokus der Messanordnung bzw. eines Lichtmikroskops mit einer solchen Messanordnung erfolgen kann, womit eine höhere Auflösung bezüglich der Tiefenachse ermöglicht wird. Auch lässt sich somit ein derartiges Auswählen beschleunigen, womit sich Tiefenmessungen effizienter durchführen lassen. Ein Vorteil davon, dass kein mechanisches Verstellen des Fokus erforderlich ist, kann auch darin liegen, dass ein Aufbau der Messanordnung vereinfacht wird. Ein Vorteil der bildgebenden zweidimensionalen Erfassung des Weitfeldbilds bzw. des Weitfeldzwischenbilds kann insbesondere darin liegen, dass zweidimensionale Informationen über das Objekt mit einem Erfassungsschritt erfasst werden können, womit eine schnellere Durchführung von Messungen ermöglicht wird.

[0013] In einigen Ausführungsformen ist die Abbildungsanordnung eingerichtet, abhängig von der Wellenlänge des Lichts vom Objekt je eine der Objektebenen auf das Weitfeldzwischenbild scharf abzubilden, wobei einige oder alle der Objektebenen bei einer jeweiligen entsprechenden Wellenlänge auf genau ein gemeinsames Weitfeldzwischenbild scharf abgebildet werden. Ein Vorteil des Abbildens der Objektebenen auf ein gemeinsames Weitfeldzwischenbild kann insbesondere darin liegen, dass für die - in einigen Varianten scharfe - Erfassung des gemeinsamen Weitfeldzwischenbild keine verschiedenen Bild-

ebenen für verschiedene spektrale Anteile und/oder verschiedene Objektebenen erforderlich sind, sondern vielmehr ermöglicht wird, die unterschiedlichen spektralen Anteile des Weitfeldzwischenbilds, welche jeweils einer Objektebene entsprechen, bezüglich genau einer Bildebene des gemeinsamen Weitfeldzwischenbild mit der Bilderfassungseinrichtung - etwaig gefiltert oder aufgelöst nach jeweils ausgewählten spektralen Anteilen - zu erfassen.

[0014] In einigen dazu alternativen Ausführungsformen ist die Abbildungsanordnung eingerichtet, bei einer jeweiligen entsprechenden Wellenlänge je eine der Objektebenen auf ein jeweiliges Weitfeldzwischenbild scharf abzubilden, wobei die Bilderfassungseinrichtung eingerichtet ist, das jeweilige Weitfeldzwischenbild für die jeweilige entsprechende Wellenlänge - also etwa aufgelöst bezüglich eines spektralen Anteils, welcher die jeweilige Wellenlänge umfasst - und bildgebend sowie scharf - also mit einer vorbestimmten räumlichen Auflösung oder einer höheren räumlichen Auflösung - zu erfassen. Hierbei lassen sich vorteilhaft die chromatische Längsaberration der Abbildungsanordnung mit etwaigen weiteren chromatischen Aberrationen der Bilderfassungseinrichtung derart kombinieren, dass ein resultierendes zu erfassendes Weitfeldbild scharf abgebildet wird und erfasst werden kann.

[0015] In einigen Ausführungsformen weist die Messanordnung weiterhin einen, insbesondere dreidimensionalen, Messbereich zur Anordnung des Objekts auf. Dabei liegen in einigen Varianten die Objektebenen innerhalb des Messbereichs. In einigen Varianten erstrecken sich die Objektebenen durch den Messbereich. In anderen Varianten liegen bzw. erstrecken sich nur ein Teil der Objektebenen, etwa wenigstens eine Objektebene durch den Messbereich. In einigen Varianten wird das Objekt derart im Messbereich angeordnet, dass sich wenigstens eine der Objektebenen durch das Objekt erstreckt. Dabei erstreckt in einigen Varianten davon eine Vielzahl der Objektebenen sich durch das Objekt bzw. liegt zumindest teilweise an einer Oberfläche des Objekts, während in anderen Varianten davon eine oder mehrere, insbesondere eine Vielzahl an Objektebenen der Objektebenen bezüglich der Tiefenachse vom Objekt entfernt sind - also etwa jeweils oberhalb oder unterhalb des Objekts liegen bzw. sich dort erstrecken. Ein Vorteil der Vielzahl an Objektebenen, welche sich durch das Objekt erstrecken bzw. dort liegen, kann insbesondere darin liegen, dass sich eine höhere Auflösung bezüglich der Tiefenachse erzielen lässt. Ein Vorteil der Vielzahl an Objektebenen, welche sich bezüglich der Tiefenachse vom Objekt entfernt erstrecken bzw. dort liegen, kann insbesondere darin liegen, dass sich ein Entfernungsbereich bezüglich der Tiefenachse, innerhalb welchem Objekte zumindest im Wesentlichen scharf erfassen lassen, erweitern lässt, also etwa entlang der Tiefenachse über einen

größeren Entfernungsbereich eine Fokussierung von Objekten ermöglicht wird.

[0016] In einigen Ausführungsformen weist die Messanordnung weiterhin einen Lichteintrittsbereich für Beleuchtungslicht zum Beleuchten des Objekts und/oder eine oder mehrere Lichtquellen, die eingerichtet sind, Beleuchtungslicht zum Beleuchten des Objekts zu erzeugen, auf, wobei das Beleuchtungslicht ohne Durchgang durch die Bilderfassungseinrichtung oder Teile davon vom Lichteintrittsbereich zum Objekt gelangt.

[0017] In einigen Ausführungsformen ist die Bilderfassungseinrichtung als hyperspektrale Bilderfassungseinrichtung ausgebildet. In einigen Varianten ist die hyperspektrale Bilderfassungseinrichtung eingerichtet, zehn oder mehr spektrale Anteile zugleich - also zumindest im Wesentlichen gleichzeitig - spektral aufgelöst sowie zweidimensional aufgelöst, also etwa als Farbbild mit zehn oder mehr unterschiedlichen Farben, zu erfassen. In einigen weiteren dazu alternativen Varianten ist die hyperspektrale Bilderfassungseinrichtung eingerichtet, zehn oder mehr spektrale Anteile zweidimensional aufgelöst, zu erfassen, wobei die verschiedenen spektralen Anteile zeitlich versetzt zueinander erfasst werden.

[0018] In einigen Ausführungsformen weist die Bilderfassungseinrichtung eine Bildsensoreinrichtung auf, wobei die Bildsensoreinrichtung eingerichtet ist, ein zu erfassendes Weitfeldbild zweidimensional sowie aufgelöst bezüglich einer Vielzahl an spektralen Anteilen zu erfassen. In einigen Varianten weist die Bildsensoreinrichtung eine Vielzahl an Gruppen - etwa wenigstens fünf oder wenigstens elf Gruppen - von jeweils zweidimensional verteilt angeordneten Sensorelementen auf, wobei jede der Gruppen für einen bestimmten spektralen Anteil der Vielzahl an spektralen Anteilen sensitiv ist. Auf diese vorteilhafte Weise lassen sich unterschiedliche spektrale Anteile, welche jeweils einer Gruppe der Vielzahl an Gruppen entsprechen, zugleich und zweidimensional aufgelöst erfassen. Weiterhin sind einige Varianten eingerichtet, bei einem sogenannten „focus stacking“ jeweils jene Bereiche für jede Gruppe der Vielzahl an Gruppen zu bestimmen, bei welcher das Objekt für die jeweilige Gruppe scharf abgebildet ist. Einige weitere Varianten davon sind weiterhin eingerichtet, übrige Bereiche für die jeweilige Gruppe, welche also bei der jeweiligen Gruppe nicht scharf abgebildet sind, für eine Farbinformation bezüglich dieser übrigen Bereiche an bezüglich des jeweiligen spektralen Anteils, für welchen die jeweilige Gruppe sensitiv ist, zu verwenden.

[0019] In einigen Ausführungsformen weist die Bilderfassungseinrichtung eine einstellbare Spektralfiltereinrichtung zum Auswählen des einen oder der mehreren spektralen Anteile auf. Die Spektralfilter-

einrichtung weist eine Eingangsseite und einer Ausgangsseite auf und ist eingerichtet, einen ausgewählten spektralen Anteil eines von der Eingangsseite kommenden Lichts zur Ausgangsseite hindurch zu lassen oder zur Ausgangsseite zu reflektieren und andere spektrale Anteile entsprechend nicht hindurch zu lassen bzw. nicht zu reflektieren. In einigen Varianten ist die einstellbare Spektralfiltereinrichtung eingerichtet, einen oder zugleich mehrere spektrale Anteile zu filtern und dabei zur Ausgangsseite hindurch zu lassen oder zur Ausgangsseite zu reflektieren, welche abhängig von einem jeweiligen Auswählen jeweils in einem Wellenlängenbereich zwischen 200 nm und 4000 nm, zwischen 450 nm und 800 nm, zwischen 400 nm und 900 nm, zwischen 350 nm und 800 nm, zwischen 400 nm und 1500 nm, zwischen 400 nm und 2200 nm oder im sichtbaren Bereich, also etwa zwischen $3,8 \cdot 10^2$ nm und $7,5 \cdot 10^2$ nm liegen.

[0020] In einigen Ausführungsformen weist die Bilderfassungseinrichtung ein einstellbares Fabry-Pérot-Interferometer zum Auswählen des einen oder der mehreren spektralen Anteile auf. Ein Vorteil des einstellbaren Fabry-Perot-Interferometers kann insbesondere darin liegen, dass sich mit diesem ein größer Durchgangsbereich, etwa für ein Weitfeldbild / Weitfeldzwischenbild mit großer Fläche und/oder großem Durchmesser, erzielen lässt, wodurch sich insbesondere größere zweidimensionale Bereich beim Objekt gleichzeitig erfassen lassen. Auch wird auf diese vorteilhafte Weise ein geringer Energiebedarf erzielt und/oder lässt sich eine mechanische Abnutzung - etwa gegenüber einem mechanischen Auswechseln von Farbfiltern - verringern. In einigen Varianten ist das einstellbare Fabry-Perot-Interferometer zum Auswählen des oder der spektralen Anteile piezoelektrisch oder mittels MEMS (Micro-Electro-Mechanical System) durchstimmbare, womit ein besonders schnelles und/oder exaktes Auswählen des jeweiligen spektralen Anteils oder der jeweiligen spektralen Anteile - etwaig bei geringem Energiebedarf und/oder Abnutzung - ermöglicht wird. Auch weisen einige Varianten dazu eine Regelungseinrichtung mit einer Rückkopplung bezüglich des / der ausgewählten spektralen Anteile auf, wodurch etwa eine Kalibrierung bezüglich eine Lage im Spektrum und/oder ein besonders exaktes Einstellen des / der ausgewählten spektralen Anteile ermöglicht wird. In einigen weiteren Varianten ist das einstellbare Fabry-Perot-Interferometer eingerichtet, mehrere - etwa zwei oder drei - ausgewählte, insbesondere schmalbandige, spektrale Anteile zugleich hindurchzulassen, wodurch sich vorteilhaft diese mehreren spektralen Anteile zugleich erfassen lassen.

[0021] In einigen weiteren dazu alternativen Ausführungsformen weist die Bilderfassungseinrichtung als einstellbare Spektralfiltereinrichtung mehrere Farbfilter auf, wobei die Spektralfiltereinrichtung eingerichtet ist, Licht von der Eingangsseite durch/auf je ei-

nen ausgewählten Farbfilter der mehreren Farbfilter zu leiten.

[0022] Bei einigen Ausführungsformen, bei welchen die Bilderfassungseinrichtung ein einstellbares Fabry-Perot-Interferometer - oder allgemeiner eine Spektralfiltereinrichtung - aufweist, weist die Bilderfassungseinrichtung weiterhin eine Bildsensoreinrichtung auf. Zudem ist die Messanordnung eingerichtet, das Licht vom Objekt nach Durchgang durch die Abbildungsanordnung auf das Fabry-Perot-Interferometer bzw. die Spektralfiltereinrichtung zu leiten, mittels diesem/dieser zu filtern, wobei nach der Filterung ein schmalbandiger spektraler Anteil des Lichts vom Objekt verbleibt, und mittels der Bildsensoreinrichtung bildgebend zu erfassen. Dabei ist dieser schmalbandige spektrale Anteil und sind somit die spektralen Anteile, bezüglich derer die Bilderfassungseinrichtung auflöst, und damit die entsprechenden Objektebenen durch Einstellen des Fabry-Perot-Interferometer bzw. der Spektralfiltereinrichtung auswählbar. In einigen Varianten verbleibt nach der Filterung genau ein schmalbandiger spektraler Anteil des Lichts vom Objekt. In einigen weiteren dazu alternativen Varianten verbleiben nach der Filterung mehrere - etwa zwei oder drei - jeweils schmalbandige spektrale Anteile des Lichts vom Objekt.

[0023] Im Sinne der Offenbarung ist unter einem „schmalbandigen spektralen Anteil“ zumindest ein solcher spektrale Anteil zu verstehen, dessen spektrale Breite wenigstens derart klein ist, das Licht vom Objekt mit Wellenlängen innerhalb dieses schmalbandigen spektralen Anteils scharf auf das Weitfeldzwischenbild oder das zu erfassende Weitfeldbild mittels der Abbildungsanordnung und einer etwaigen Abbildungsoptik der Bilderfassungseinrichtung abbildbar ist. So ist etwa bei einem solchen schmalbandigen spektralen Anteil seine volle Halbwertsbreite kleiner als 60 nm, kleiner als 30 nm, kleiner als 10 nm, kleiner als 5 nm oder kleiner als 3 nm. Ein Vorteil einer kleineren vollen Halbwertsbreite kann insbesondere darin liegen, dass sich eine schärfere Abbildung erzielen lässt. Ein Vorteil einer größeren vollen Halbwertsbreite kann insbesondere darin liegen, dass eine Lichtintensität bezüglich des Lichts vom Objekt erhöhen lässt, wodurch insbesondere eine kürzere Belichtungszeit und/oder ein reduzierten Rauschen ermöglicht werden. Bei mehreren, insbesondere zugleich auswählbaren, spektralen Anteilen können diese über einen Spektralbereich, innerhalb welchem eine Auswahl möglich ist, - etwa zwischen 200 nm und 4000 nm - verteilt sein, also etwa einer der ausgewählten Anteile bei $4 \cdot 10^2$ nm liegen, ein anderer bei $6 \cdot 10^2$ nm liegen und noch ein anderer bei $8 \cdot 10^2$ nm liegen.

[0024] Bei einigen Ausführungsformen, bei welchen die Bilderfassungseinrichtung eine Bildsensoreinrichtung sowie ein einstellbares Fabry-Perot-Interfero-

meter - oder allgemeiner eine Spektralfiltereinrichtung - aufweist, ist die Bildsensoreinrichtung als monochromatische Bildsensoreinrichtung ausgebildet. Somit ist die Bildsensoreinrichtung als monochromatische Bildsensoreinrichtung eingerichtet, ein zu erfassendes Weitfeldbild zweidimensional bezüglich einer Lichtintensität zu erfassen. So weist in einigen Varianten die monochromatische Bildsensoreinrichtung nur genau eine Gruppe an zweidimensional angeordneten Sensorelementen auf. In einigen Varianten ist die monochromatische Bildsensoreinrichtung eingerichtet, das zu erfassende Weitfeldbild zweidimensional sowie für zumindest die auswählbaren spektralen Anteile zumindest im Wesentlichen gleich sensitiv zu erfassen, sodass etwa die monochromatische Bildsensoreinrichtung für Licht von einem der spektralen Anteile und für Licht von einem anderen der spektralen Anteile bei gleicher Lichtintensität je einen Sensorwert ausgibt und diese Sensorwerte höchstens 20 %, höchstens 10 %, oder höchstens 2 % voneinander abweichen. In anderen dazu alternativen Varianten kann eine Sensitivität der Sensorelemente für verschiedene spektrale Anteile unterschiedlich sein, wobei etwa aufgrund einer vorhergehenden Filterung - etwa mittels des einstellbaren Fabry-Perot-Interferometers - jener spektrale Anteil, welche auf die Sensorelemente trifft, bekannt ist und somit Sensorwerte der Sensorelemente, welche abhängig vom jeweiligen spektralen Anteil einer bestimmten Lichtintensität entsprechen, kalibrierbar sind. Auf diese vorteilhafte Weise lässt sich eine Empfindlichkeit der Bildsensoreinrichtung und/oder ein räumliches Auflösungsvermögen der Bildsensoreinrichtung steigern.

[0025] Bei einigen weiteren dazu alternativen Ausführungsformen, bei welchen die Bilderfassungseinrichtung eine Bildsensoreinrichtung sowie ein einstellbares Fabry-Perot-Interferometer - oder allgemeiner eine Spektralfiltereinrichtung - aufweist, ist die Bildsensoreinrichtung als Farb-Bildsensoreinrichtung ausgebildet. Somit ist die Bildsensoreinrichtung als Farb-Bildsensoreinrichtung eingerichtet, ein zu erfassendes Weitfeldbild zweidimensional sowie farblich aufgelöst - etwa als RGB-Bild, also aufgelöst nach den Farben Rot, Grün und Blau - zugleich zu erfassen. So weist in einigen Varianten die Farb-Bildsensoreinrichtung drei Gruppen an jeweils zweidimensional angeordneten Sensorelementen auf, wobei etwa eine der Gruppen für Rot sensitiv ist, eine andere der Gruppen für Grün sensitiv ist und noch eine andere der Gruppen für Blau sensitiv ist. Auch weist in einigen weiteren Varianten die Farb-Bildsensoreinrichtung vier Gruppen an jeweils zweidimensional angeordneten Sensorelementen auf, wobei etwa eine der Gruppen für Rot sensitiv ist, eine andere der Gruppen für Grün sensitiv ist und noch eine andere der Gruppen für Blau sensitiv sowie noch eine noch andere der Gruppen für Infrarot sensitiv ist. Auf diese vorteilhafte Weise lässt sich - zumindest wenn kein spektraler An-

teil ausgewählt ist und entsprechend keine spektralen Anteile vom Weitfeldzwischenbild bzw. vom Licht des Objekts herausgefiltert werden - das Objekt farblich erfassen. Auch lassen sich unterschiedliche ausgewählte spektrale Anteile mittels eines farblichen Erfassens voneinander unterscheiden. Bei Varianten, bei welchen mehrere spektrale Anteile zugleich mittels einer einstellbaren Spektralfiltereinrichtung auswählbar sind, lassen sich diese zugleich erfassen und dabei unterscheiden, wodurch etwa ein schnelleres Abrastern mehrerer Objektebenen ermöglicht wird und/oder die Messanordnung zum, insbesondere schnelleren, Autofokussieren auf eine der Objektebenen, welche einem der zugleich erfassten spektralen Anteile entspricht, eingerichtet sein kann und/oder ein Bestimmen einer Entfernung bezüglich der Tiefenachse zwischen zwei dieser Objektebenen - also etwa einer Höhendifferenz - mit bereits einem derartig farblich erfassten Bild ermöglicht wird. So weisen etwa einige Varianten ein einstellbares Fabry-Perot-Interferometer, bei welchem jeweils zwei spektrale Anteile zugleich auswählbar sind, und eine RGB-Bildsensoreinrichtung auf, wobei jene Farbkanäle - also etwa Gruppen an Sensorelementen, etwa Pixeln -, bei welchen je einer der zwei spektralen Anteile vom einstellbaren Fabry-Perot-Interferometer hindurchgelassen wird, mittels einer Intensitätsanalyse und/oder Kontrastanalyse des erfassten Farbbildes des Objekts bestimmt werden - wobei etwa Gruppen an Sensorelementen von einem Farbkanal ohne ausgewähltem spektralen Anteil zumindest im Wesentlichen ein Signal ausgeben, welches Dunkelheit, also einer sehr geringen Lichtintensität entspricht - und etwa mittels Kalibrierung eine Höhendifferenz zwischen den beiden Objektebenen, welche den zwei ausgewählten spektralen Anteilen entsprechen, vorbestimmt ist oder bestimmt ist und somit eine Höhendifferenz zwischen jenen zweidimensionalen Bereichen des Objekts, welche von einer dieser beiden Objektebenen scharf abgebildet für einen der Farb-Kanäle sind, und jenen zweidimensionalen Bereichen des Objekts, welche von der anderen dieser beiden Objektebenen scharf abgebildet für einen anderen der Farb-Kanäle sind, basierend auf der Kalibrierung und bereits dem einen erfassten Farbbild bestimmt wird.

[0026] Bei einigen Ausführungsformen, bei welchen die Bilderfassungseinrichtung eine Bildsensoreinrichtung aufweist, weist die Bilderfassungseinrichtung weiterhin eine Abbildungsoptik auf. Die Abbildungsoptik ist eingerichtet, das Weitfeldzwischenbild oder den oder die auswählbaren spektralen Anteile davon auf eine Bildebene - in einigen Varianten auf genau eine Bildebene - bei der Bildsensoreinrichtung als ein zu erfassendes Weitfeldbild abzubilden. Zudem ist die Bildsensoreinrichtung eingerichtet, dieses zu erfassende Weitfeldbild wenigstens zweidimensional zu erfassen.

[0027] In einigen Varianten weist die Bildsensoreinrichtung zum zweidimensionalen Erfassen des Weitfeldzwischenbilds, eines Weitfeldbilds oder von Licht vom Objekt eine Gruppe an zweidimensional angeordneten Sensorelementen auf. In einigen Varianten davon weist die Bildsensoreinrichtung einen CMOS-Bildsensor auf oder besteht daraus, wobei etwa der CMOS-Bildsensor eine Vielzahl an Pixeln aufweist, wobei jeweils in Pixel der Vielzahl an Pixeln jeweils ein Sensorelement der Sensorelemente ausbildet.

[0028] In einigen Ausführungsformen weist die Bilderfassungseinrichtung eine Bildsensoreinrichtung mit einer Bilderfassungsfläche und eine Abbildungsoptik auf. Dabei bilden die Abbildungsanordnung und die Abbildungsoptik ein optisches System aus, welches eingerichtet ist, abhängig von einer Wellenlänge des Lichts vom Objekt je eine der Objektebenen auf die Bilderfassungsfläche scharf abzubilden. Zudem ist die Bildsensoreinrichtung eingerichtet, die jeweils auf die Bilderfassungsfläche abgebildete Objektebene als zu erfassendes Weitfeldbild zweidimensional zu erfassen. In einigen Varianten korrespondiert die Bilderfassungsfläche der Bildsensoreinrichtung mit der Bildebene, auf welche die Abbildungsoptik das Weitfeldzwischenbild oder den oder die auswählbaren spektralen Anteile davon scharf abbildet.

[0029] Bei einigen Ausführungsformen, bei welchen die Abbildungsanordnung und etwaig die Abbildungsoptik ein optisches System ausbilden und die Bilderfassungseinrichtung eine Bilderfassungsfläche aufweist, entspricht die Tiefenachse einer optischen Achse des Objektivs und die Objektebenen sind zumindest im Wesentlichen orthogonal zur Tiefenachse - sodass etwa die Objektebenen jeweils einen Winkel zwischen 40° und 130° , einen Winkel zwischen 80° und 100° , einen Winkel zwischen 85° und 95° oder einen Winkel zwischen 89° und 91° mit der Tiefenachse einschließen sowie etwaig voneinander mit einem vorbestimmten von einem Unterschied zwischen den jeweils entsprechenden Wellenlängen abhängigen Abstand entlang der Tiefenachse voneinander beabstandet sind. Dabei weist das optische System eine Schärfentiefe auf, welche einen Entfernungsbereich von je einer der Objektebenen entlang der Tiefenachse definiert. Zudem ist das optische System eingerichtet, innerhalb dieses Entfernungsbereichs das Objekt für die der jeweiligen Objektebene entsprechende Wellenlänge des Lichts vom Objekt zumindest im Wesentlichen scharf auf die Bilderfassungsfläche abzubilden.

[0030] Im Sinne der Offenbarung ist unter einem „Weitfeldbild“ zumindest ein Abbild eines Objekts zu verstehen, welches - etwa im Gegensatz zu einer konfokalen Mikroskopie - zweidimensionale Informationen des Objekts enthält und etwa einem zweidimensionalen Bereich des Objekts oder dem gesamten Objekt entspricht. Entsprechend ist im Sinne der

Offenbarung unter „Weitfeldmikroskopie“ zumindest zu verstehen, dass gesamter abzubildender Bereich eines Objekts gleichzeitig abgebildet wird - wie etwa bei der klassischen Lichtmikroskopie. Dies ist von Verfahren und Vorrichtungen abzugrenzen, bei welchen der abzubildende Bereich nacheinander abgetastet wird - wie etwa bei der konfokalen Mikroskopie.

[0031] Im Sinne der Offenbarung ist unter einem „Weitfeldzwischenbild“ zumindest ein Zwischenbild in einem optischen System zu verstehen, welches zweidimensionale Informationen des Objekts enthält. Dabei kann etwa das Weitfeldzwischenbild in einer Bildebene des Weitfeldzwischenbilds eine scharfe Abbildung des Objekts oder zumindest eines endlichen zweidimensionalen Bereichs davon sein. Sofern etwa ein Licht vom Objekt verschiedene spektrale Anteile aufweist, kann das Weitfeldzwischenbild auch entsprechende spektrale Anteile aufweisen, wobei in einigen Varianten das Weitfeldzwischenbild zumindest für einen spektralen Anteil der spektralen Anteile und bezüglich einer entsprechenden Objektebene scharf ist, während andere spektrale Anteile - etwa aufgrund einer chromatischen Aberration - bei dieser Objektebene unscharf sein können und/oder das Weitfeldzwischenbild für diesen spektralen Anteil bezüglich anderer Objektebenen - etwa aufgrund einer begrenzten Schärfentiefe - unscharf sein kann.

[0032] Im Sinne der Offenbarung ist unter einer „scharfen Abbildung“ zumindest eine solche Abbildung zu verstehen, welche einen (Licht-) Punkt auf einen zweidimensionalen Bereich - etwa in einer Bildebene oder auf einer Bilderfassungsfläche - abbildet, welcher höchstens eine vorbestimmte Größe, also etwa höchstens eine vorbestimmte Ausdehnung aufweist. Dabei kann die Größe bzw. Ausdehnung des zweidimensionalen Bereichs - also etwa dessen Fläche oder dessen Durchmesser - von einer gewünschten räumlichen Auflösung abhängen. In einem optischen System werden etwa nur jene Punkte, insbesondere absolut, scharf im Rahmen des Beugungslimits abgebildet, welche in einer Objektebene des optischen Systems liegen, während andere Punkte mit zunehmender Entfernung von der Objektebene unschärfer abgebildet werden. Dabei können optische Systeme eine Schärfentiefe aufweisen, welche einen Entfernungsbereich von der Objektebene definiert, innerhalb dessen Punkte, die dort liegen, zumindest im Wesentlichen scharf abgebildet werden, sodass etwa innerhalb dieses Entfernungsbereichs eine gewünschte räumliche Auflösung erzielt werden kann.

[0033] Siehe hierzu:

- „Schärfentiefe“ in der Version vom 1. November 2019 auf Wikipedia.de:

<https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Sch%C3%A4rfentiefe&oldid=193646047>

- „Focus Stacking“ in der Version vom 1. November 2019 auf Wikipedia.de:

<https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Focus-stacking&oldid=193649887>

- „Fokusvariation“ in der Version vom 7. Juli 2018 auf Wikipedia.de:

<https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Fokusvariation&oldid=178947710>

und

- „Konfokalmikroskop“ in der Version vom 2. Dezember 2019 auf Wikipedia.de:

<https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Konfokalmikroskop&oldid=194581743>

Dabei wird beim Konfokalmikroskop eine Lochblende derart geschlossen, dass kein Weitfeldbild oder Weitfeldzwischenbild entsteht.

[0034] In einigen Ausführungsformen wird jeder Objektebene der Objektebenen, je eine Wellenlänge des Lichts vom Objekt aus einem jeweiligen ausgewählten spektralen Anteil zugeordnet, bei welcher Bereiche des Objekts, welche in der jeweiligen Objektebene liegen - also etwa auf einer Höhe der jeweiligen Objektebene bezüglich einer Entfernung entlang der Tiefenachse liegen -, scharf, insbesondere absolut scharf, auf das Weitfeldzwischenbild und/oder Weitfeldbild abgebildet werden.

[0035] In einigen Ausführungsformen weist die Abbildungsanordnung eine derartige chromatische Längsaberration auf, dass für einen Wellenlängenbereich des Lichts vom Objekt von 400 nm bis 800 nm die Objektebenen entlang der Tiefenachse über wenigstens 300 µm oder 5 µm angeordnet sind. Dabei ist in einigen Varianten eine erste Objektebene der Objektebenen, welche dem auswählbaren spektralen Anteil mit der kleinsten Wellenlänge entspricht, von einer letzten Objektebene der Objektebenen, welche dem auswählbaren spektralen Anteil mit der größten Wellenlänge entspricht, wenigstens 300 µm oder wenigstens 5 µm beabstandet. In einigen Varianten davon ist eine Entfernung zwischen der ersten und der letzten Objektebene - also etwa eine Höhendifferenz zwischen diesen - innerhalb eines Bereichs zwischen 4 mm und 10 µm.

[0036] In einigen Ausführungsformen sind die chromatische Längsaberration und die volle Halbwertsbreite der jeweils auswählbaren spektralen Anteile derart aufeinander abgestimmt, dass Licht aus jeweils einem ausgewählten spektralen Anteil nur einem Entfernungsbereich entlang der Tiefenachse von der jeweils scharf abgebildeten Objektebene entspricht, welcher kleiner als die Schärfentiefe ist. In einigen Varianten ist das Verhältnis von diesem Entfernungsbereich zu der Schärfentiefe kleiner-gleich 1/2

oder kleiner-gleich $1/3$. Auf diese vorteilhafte Weise wird für einen jeweils ausgewählten spektralen Anteil das Weitfeldbild und etwaig das Weitfeldzwischenbild zumindest im Wesentlichen scharf abgebildet.

[0037] In einigen Ausführungsformen sind die chromatische Längsaberration und die Schärfentiefe derart aufeinander abgestimmt, dass über einen gesamten Spektralbereich, innerhalb dessen die spektralen Anteile auswählbar sind, alle entsprechenden Objektebenen höchstens voneinander mit einer Entfernung beabstandet sind, welche der Schärfentiefe, einem Drittel der Schärfentiefe oder einem Viertel der Schärfentiefe entspricht. Auf diese vorteilhafte Weise wird für einen jeweils ausgewählten spektralen Anteil das Weitfeldbild und etwaig das Weitfeldzwischenbild besonders scharf abgebildet und/oder werden alle Objektebenen - für einen entsprechenden spektralen Anteil - scharf abgebildet, wodurch sich insbesondere eine hohe Auflösung entlang der Tiefenachse erzielen lässt. So ist in einigen Varianten eine einstellbare Spektralfiltereinrichtung der Bilderfassungseinrichtung in Zusammenarbeit mit der chromatischen Längsaberration eingerichtet, das Licht vom Objekt derart zu filtern, dass nach Filterung mittels der einstellbaren Spektralfiltereinrichtung ein - jeweils auswählbarer - schmalbandiger spektraler Anteil des Lichts vom Objekt verbleibt, wobei jene Objektebenen, welche je einer Wellenlänge des Lichts vom Objekt innerhalb eines Wellenlängenbereichs über eine volle Halbwertsbreite des jeweiligen schmalbandigen spektralen Anteils entsprechen, höchstens 120 nm, höchstens 9 nm oder höchstens 2 nm voneinander beabstandet sind. Auf diese vorteilhafte Weise lassen sich Höhendifferenzen mit einer entsprechend hohen Auflösung entlang der Tiefenachse auflösen - also etwa bereits eine Höhendifferenz von 120 nm, 9 nm bzw. 2 nm unterscheiden. So weist in einigen Varianten das Objektiv eine numerische Aberration von etwa oder genau 1,4 und eine Schärfentiefe von etwa oder genau 250 nm - beispielsweise bei einer Wellenlänge von etwa oder genau 500 nm - auf, die chromatische Längsaberration über einen Wellenlängenbereich von 400 nm zu 800 nm bewirkt eine maximale Entfernung der Objektebenen entlang der Tiefenachse von etwa oder genau 100 nm und die volle Halbwertsbreite für die auswählbaren spektralen Anteile ist etwa oder genau 5 nm, womit sich, wenn der Wellenlängenbereich von 400 nm zu 800 nm in Schritten der vollen Halbwertsbreite - also etwa je 5 nm - abgerastert wird, 80 Schritte mit erfassten Bildern des Objekts für entsprechend 80 unterschiedliche Objektebenen ergeben, die entlang eines Entfernungsbereichs von etwa oder genau 100 nm gestaffelt sind. Folglich lassen sich etwa Entfernungen zwischen den Objektebenen - etwa zwischen aneinander angrenzenden Objektebenen unterscheiden - auflösen, die etwa 100 nm / 80, also etwa 1 nm betragen, und/oder die Objektebenen scharf, insbesondere absolut scharf, abbilden.

[0038] In einigen dazu alternativen Ausführungsformen sind die chromatische Längsaberration und die Schärfentiefe derart aufeinander abgestimmt, dass über einen gesamten Spektralbereich, innerhalb dessen die spektralen Anteile auswählbar sind, alle entsprechenden Objektebenen mindestens voneinander mit einer Entfernung beabstandet sind, welche $2/3$ der Schärfentiefe, einem 7-fachen der Schärfentiefe oder einem 60-fachen der Schärfentiefe entspricht. Auf diese vorteilhafte Weise lässt sich ein großer Messbereich bezüglich der Tiefenachse erzielen und so etwa für verschiedene über den gesamten Spektralbereich ausgewählte spektrale Anteile ein Abrastern entlang der Tiefenachse über einen größeren Entfernungsbereich - also etwa über eine größere Höhendifferenz - ermöglichen, wodurch sich insbesondere eine erweiterte Schärfentiefe erzielen lässt. In einigen Varianten weist die Messanordnung eine Autofokussiereinrichtung auf, welche eingerichtet ist, jene der Objektebenen als fokussierte Objektebene zu bestimmen, für welche Licht vom Objekt mit einem entsprechenden spektralen Anteil, zumindest im Wesentlichen scharf abgebildet wird. Dabei kann ein Vorteil eines größeren ermöglichten Entfernungsbereichs insbesondere darin liegen, dass mittels der Autofokussiereinrichtung eine Autofokussierung innerhalb diesen größeren Entfernungsbereichs - also etwa über einen Bereich von wenigstens 1 mm, 4 mm oder 1 cm - durch Auswählen eines entsprechenden spektralen Anteils ermöglicht wird. In einigen dazu alternativen Varianten ist der ermöglichte Entfernungsbereich kleiner als der größere ermöglichte Entfernungsbereich - etwa kleiner als 1 mm. In einigen Varianten ist eine einstellbare Spektralfiltereinrichtung der Bilderfassungseinrichtung in Zusammenarbeit mit der chromatischen Längsaberration eingerichtet, das Licht vom Objekt derart zu filtern, dass nach Filterung mittels der einstellbaren Spektralfiltereinrichtung ein - jeweils auswählbarer - schmalbandiger spektraler Anteil des Lichts vom Objekt verbleibt, wobei jene Objektebenen, welche je einer Wellenlänge des Lichts vom Objekt innerhalb eines Wellenlängenbereichs über eine volle Halbwertsbreite des jeweiligen schmalbandigen spektralen Anteils entsprechen, höchstens 120 nm, höchstens 9 nm oder höchstens 2 nm voneinander beabstandet sind. In einigen Varianten davon ist die Schärfentiefe derart klein, dass nur eine geringe Anzahl an jeweils benachbarten Objektebenen der Objektebenen, insbesondere nur drei oder nur eine jeweilige Objektebene, zumindest im Wesentlichen scharf abgebildet werden. Dabei wird in einigen Varianten die geringe Anzahl an jeweils benachbarten Objektebenen, insbesondere die jeweils nur genau eine scharf abgebildete Objektebene basierend auf einer Schärfe der Abbildung - etwa bestimmt mittels Kontrastanalyse - von den übrigen Objektebenen unterschieden. Auf diese vorteilhafte Weise lassen sich Höhendifferenzen mit einer entsprechend hohen Auflösung entlang der Tiefenachse auflösen - also etwa bereits Objekt-

ebenen mit einer Höhendifferenz von 120 nm, 9 nm bzw. 2 nm unterscheiden.

[0039] In einigen Ausführungsformen weist die Abbildungsanordnung weiterhin eine einstellbare Aberrationseinrichtung auf, mittels welcher die chromatische Längsaberration der Abbildungsanordnung einstellbar ist. Auf diese vorteilhafte Weise lässt sich die Abhängigkeit zwischen den Objektebenen und den jeweiligen Wellenlängen - also etwa spektralen Anteilen, welche eine jeweilige Wellenlänge aufweisen - einstellen. So lässt sich etwa mit einer großen chromatischen Längsaberration für zwei vorgegebene, bestimmte Wellenlängen des Lichts vom Objekt ein größerer Abstand zwischen den entsprechenden Objektebenen erzielen gegenüber einer kleineren chromatischen Längsaberration, wodurch etwa ein Messbereich, über welchen die Objektebenen verteilt sind, in Richtung der Tiefenachse vergrößert werden kann. Umgekehrt lässt sich mit einer kleineren chromatischen Längsaberration ein räumliches Auflösungsvermögen entlang der Tiefenachse erhöhen.

[0040] Bei einigen Ausführungsformen, bei welchen die Abbildungsanordnung eine einstellbare Aberrationseinrichtung aufweist, weist die einstellbare Aberrationseinrichtung eine Halterung für je ein Aberrationselement von mehreren Aberrationselementen auf. Dabei ist die Halterung eingerichtet, das jeweilige Aberrationselement lösbar zu halten. Zudem ist die einstellbare Aberrationseinrichtung eingerichtet, das Licht vom Objekt nach Durchgang durch das Objektiv zum Aberrationselement zu leiten und mittels des jeweiligen Aberrationselements derart zu brechen, dass in Zusammenarbeit mit dem Objektiv die chromatische Längsaberration auftritt und die Objektebenen abhängig von der Wellenlänge des Lichts vom Objekt entlang der Tiefenachse gestaffelt sind.

[0041] Bei einigen Ausführungsformen, bei welchen die Abbildungsanordnung eine einstellbare Aberrationseinrichtung aufweist, weist die einstellbare Aberrationseinrichtung wenigstens zwei optische Elemente auf, deren Abstand zu einander derart einstellbar ist, dass die chromatische Längsaberration vom jeweils eingestellten Abstand abhängt.

[0042] In einigen Ausführungsformen weist das Objektiv eine derartige chromatische Längsaberration auf, dass für einen Wellenlängenbereich des Lichts vom Objekt von 400 nm bis 800 nm die Objektebenen entlang der Tiefenachse über wenigstens 300 μm oder 10 μm oder 5 μm angeordnet sind. Dabei ist in einigen Varianten eine erste Objektebene der Objektebenen, welche dem auswählbaren spektralen Anteil mit der kleinsten Wellenlänge entspricht, von einer letzten Objektebene der Objektebenen, welche dem auswählbaren spektralen Anteil mit der größten Wellenlänge entspricht, wenigstens 300 μm , wenigstens 100 μm oder wenigstens 5 μm beabstandet. In eini-

gen Varianten davon ist eine Entfernung zwischen der ersten und der letzten Objektebene - also etwa eine Höhendifferenz zwischen diesen - innerhalb eines Bereichs zwischen 1,4 mm und $0,5 \cdot 10^1 \mu\text{m}$.

[0043] In einigen weiteren dazu alternativen Ausführungsformen ist das Objektiv ein achromatisches Objektiv und die Abbildungsanordnung weist weiterhin eine Aberrationseinrichtung auf, welche die chromatische Längsaberration der Abbildungsanordnung bewirkt. Dabei ist in einigen Varianten die Aberrationseinrichtung eingerichtet, eine derartige chromatische Längsaberration zu bewirken, dass für einen Wellenlängenbereich des Lichts vom Objekt von 400 nm bis 800 nm die Objektebenen entlang der Tiefenachse über wenigstens 300 μm oder über wenigstens 10 μm oder über wenigstens 1 μm angeordnet sind. Dabei ist in einigen Varianten eine erste Objektebene der Objektebenen, welche dem auswählbaren spektralen Anteil mit der kleinsten Wellenlänge entspricht, von einer letzten Objektebene der Objektebenen, welche dem auswählbaren spektralen Anteil mit der größten Wellenlänge entspricht, wenigstens 300 μm , wenigstens 10 μm oder wenigstens 1 μm beabstandet. In einigen Varianten davon ist eine Entfernung zwischen der ersten und der letzten Objektebene - also etwa eine Höhendifferenz zwischen diesen - innerhalb eines Bereichs zwischen 4 mm und 1 μm , also etwa innerhalb eines Bereichs zwischen 4 mm und 1 mm oder innerhalb eines Bereichs zwischen 3 mm und 1,4 mm oder innerhalb eines Bereichs zwischen $5 \cdot 10^2 \mu\text{m}$ und 1 μm oder innerhalb eines Bereichs zwischen 50 μm und 5 μm .

[0044] Ein zweiter Aspekt der Erfindung betrifft ein Lichtmikroskop zur bildgebenden Tiefenmessung, wobei das Lichtmikroskop eine Messanordnung gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung aufweist, also entsprechend wenigstens eine Abbildungsanordnung und eine Bilderfassungseinrichtung aufweist. Die Abbildungsanordnung kann eine Objektivhalterung für ein Objektiv aufweisen. Die Abbildungsanordnung ist eingerichtet, ein von einem Objekt ausgehendes Licht für mehrere Objektebenen bezüglich des Objekts zu einem Weitfeldzwischenbild abzubilden, wobei mittels einer chromatischen Längsaberration der Abbildungsanordnung die Objektebenen abhängig von einer Wellenlänge des Lichts vom Objekt entlang einer Tiefenachse gestaffelt sind. Die Bilderfassungseinrichtung ist eingerichtet, das Weitfeldzwischenbild bildgebend und aufgelöst bezüglich eines oder mehrerer auswählbarer spektraler Anteile, welche jeweils einer der Objektebenen entsprechen, zu erfassen.

[0045] Die möglichen Vorteile, Ausführungsformen oder Varianten des ersten Aspekts der Erfindung gelten entsprechend auch für das Lichtmikroskop. Dabei können etwa Teile des Lichtmikroskops, wie etwa die Abbildungsanordnung oder die Bilderfassungs-

einrichtung, entsprechend dem ersten Aspekt der Erfindung ausgebildet sein und/oder etwa eine Messanordnung gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung ausbilden.

[0046] In einigen Ausführungsformen weist das Lichtmikroskop eine Lichtquelle und einen Strahlteiler auf. Dabei ist das Lichtmikroskop eingerichtet, mittels der Lichtquelle das Beleuchtungslicht zu erzeugen, das Beleuchtungslicht zum Strahlteiler sowie weiter nach Durchgang durch diesen und ohne Durchgang durch die Bilderfassungseinrichtung oder Teile davon zur Abbildungsanordnung zu leiten. Weiterhin ist die Abbildungsanordnung eingerichtet, dieses Beleuchtungslicht auf das Objekt zu leiten.

[0047] Ein Vorteil davon, dass Beleuchtungslicht ohne Durchgang durch die Bilderfassungseinrichtung oder Teile davon zum Objekt geleitet wird, kann insbesondere darin liegen, dass verschiedene Beleuchtungsarten ermöglicht werden. So könnten etwa keine strukturierte Beleuchtung und/oder keine konfokale Beleuchtung erforderlich sein. Auch wird eine Beleuchtung mit externen Lichtquellen oder mit polychromatischen Lichtquellen oder mit Weißlichtquellen ermöglicht, sofern ein Licht von diesen Lichtquellen spektrale Anteile, welche den Objektebenen entsprechen, aufweist oder ein Abstrahlen eines solchen Lichts vom Objekt - etwa aufgrund von Fluoreszenz - bewirkt.

[0048] In einigen Ausführungsformen ist das Lichtmikroskop zum Beleuchten des Objekts mittels einer Hellfeldbeleuchtung und/oder einer Dunkelfeldbeleuchtung eingerichtet.

[0049] In einigen Ausführungsformen ist das Lichtmikroskop zum Beleuchten des Objekts mittels einer polychromatischen und/oder schmalbandigen, etwa monochromatischen, Beleuchtung einrichtbar.

[0050] In einigen Ausführungsformen ist das Lichtmikroskop zum Beleuchten des Objekts mittels einer koaxialen Beleuchtung eingerichtet.

[0051] Ein dritter Aspekt der Erfindung betrifft ein Messverfahren zur bildgebenden Tiefenmessung. Das Messverfahren weist ein Abbilden eines von einem Objekt ausgehenden Lichts für mehrere Objektebenen bezüglich des Objekts zu einem Weitfeldzwischenbild auf. Dabei sind die Objektebenen abhängig von einer Wellenlänge des Lichts vom Objekt entlang einer Tiefenachse mittels einer chromatischen Längsaberration gestaffelt. Weiterhin weist das Messverfahren ein bildgebendes Erfassen des Weitfeldzwischenbilds auf, wobei ein oder mehrere auswählbare spektrale Anteile des Lichts vom Objekt, welche jeweils einer der Objektebenen entsprechen, aufgelöst werden.

[0052] Die möglichen Vorteile, Ausführungsformen oder Varianten der vorhergehenden Aspekte der Erfindung gelten entsprechend auch für das Messverfahren. Auch kann etwa die Messanordnung gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung oder das Lichtmikroskop gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung eingerichtet sein, ein Verfahren gemäß dem dritten Aspekt der Erfindung auszuführen.

[0053] In einigen Ausführungsformen wird ein Messbereich beleuchtet.

[0054] In einigen Ausführungsformen wird das Objekt innerhalb eines Messbereichs bzw. innerhalb des beleuchteten Messbereichs angeordnet.

[0055] Bei einigen Ausführungsformen erstrecken sich die Objektebenen durch den Messbereich oder liegen innerhalb des Messbereichs.

[0056] Bei einigen Ausführungsformen erstrecken sich eine oder mehrere Objektebenen durch das Objekt.

[0057] In einigen Ausführungsformen wird das Objekt fokussiert. In einigen Varianten wird wenigstens eine der Objektebenen fokussiert, welche sich durch das Objekt erstreckt.

[0058] In einigen Ausführungsformen werden mehrere der Objektebenen abgerastert, wobei jeweils eine der Objektebenen ausgewählt wird und jene spektralen Anteile des Weitfeldzwischenbilds, welcher der jeweils ausgewählten Objektebene entsprechen, bildgebend erfasst werden.

[0059] In einigen Ausführungsformen wird die Abhängigkeit zwischen den Objektebenen und den jeweiligen Wellenlängen des Lichts vom Objekt mittels eines Kalibrierobjekts kalibriert.

[0060] In einigen Ausführungsformen werden jene zweidimensionalen Bereiche im jeweils für eine jeweilige Wellenlänge und Objektebene erfassten Weitfeldzwischenbild berechnet, bei welchen die jeweilige Objektebene scharf abgebildet ist.

[0061] In einigen Ausführungsformen wird eine Topographie des Objekts basierend auf den berechneten zweidimensionalen Bereichen und den jeweiligen Objektebenen bestimmt.

[0062] In einigen Ausführungsformen wird eine gemeinsame Abbildung des Objekts - etwa mit erweiterter Schärfentiefe - basierend auf den erfassten Weitfeldzwischenbildern und ihren jeweiligen zweidimensionalen Bereichen bestimmt. In einigen Varianten wird die gemeinsame Abbildung berechnet mittels Zusammensetzen jener Ausschnitte der erfassten Weitfeldzwischenbilder, die den jeweiligen zwei-

dimensionalen Bereichen entsprechen, bei welchen die jeweilige Objektebene scharf abgebildet ist. Einige solcher Varianten sind als „focus stacking“ implementiert, wobei die Veränderung/Variation des Fokus durch Änderung/Auswählen der jeweiligen spektralen Anteile und damit Wellenlängen erzielt wird.

[0063] Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein System mit einer Messanordnung gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung oder einem Lichtmikroskop gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung sowie mit einem Kalibrierobjekt zum Kalibrieren der Abhängigkeit zwischen den Objektebenen und den jeweiligen Wellenlängen. Dabei kann in einigen Varianten das Kalibrierobjekt eine bestimmte Stufenstruktur aufweisen. Auch kann das Kalibrierobjekt in einigen Varianten farblos, etwa grau oder weiß, sein. Alternativ kann in einigen Varianten das Kalibrierobjekt farbig sein, wobei etwa bestimmte Bereiche einer Stufenstruktur des Kalibrierobjekts jeweils eine bestimmte Farbe derart aufweisen, dass vom Kalibrierobjekt bei der jeweiligen Stufenstruktur ein Licht mit einer Wellenlänge abgestrahlt wird, welches einer zu kalibrierenden Objektebene entspricht.

[0064] Die möglichen Vorteile, Ausführungsformen oder Varianten der vorhergehenden Aspekte der Erfindung gelten entsprechend auch für das System mit dem Kalibrierobjekt.

[0065] Weitere Vorteile, Merkmale und Anwendungsmöglichkeiten ergeben sich aus der nachfolgenden detaillierten Beschreibung von Ausführungsbeispielen und/oder aus den Figuren.

[0066] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren anhand vorteilhafter Ausführungsbeispiele näher erläutert. Gleiche Elemente oder Bauteile der Ausführungsbeispiele werden im Wesentlichen durch gleiche Bezugszeichen gekennzeichnet, falls dies nicht anders beschrieben wird oder sich nicht anders aus dem Kontext ergibt.

[0067] Hierzu zeigen, teilweise schematisiert:

Fig. 1 eine Messanordnung nach einer Ausführungsform mit einem Kalibrierobjekt nach einer Ausführungsform;

Fig. 2 ein Lichtmikroskop nach einer Ausführungsform;

Fig. 3 mehrere Abbildungen eines Objekts für unterschiedliche Objektebenen sowie ein Höhenprofil des Objekts und eine Zuordnung zu den unterschiedlichen Objektebenen zur Veranschaulichung einer Ausführungsform;

Fig. 4 ein Flussdiagramm eines Messverfahrens nach einer Ausführungsform;

Fig. 5 mehrere unterschiedliche Objektebenen sowie einen Bereich entlang einer Tiefenachse

bezüglich einer Schärfentiefe zur Veranschaulichung von Ausführungsformen;

Fig. 6 mehrere unterschiedliche Objektebenen sowie mehrere Bereiche entlang einer Tiefenachse bezüglich einer Schärfentiefe zur Veranschaulichung von Ausführungsformen; und

Fig. 7 ein Flussdiagramm eines Messverfahrens nach einer weiteren Ausführungsform.

[0068] Die Figuren sind schematische Darstellungen verschiedener Ausführungsformen und/oder Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung. In den Figuren dargestellte Elemente und/oder Bauteile sind nicht notwendigerweise maßstabsgetreu dargestellt. Vielmehr sind die verschiedenen, in den Figuren dargestellten Elemente und/oder Bauteile derart wiedergegeben, dass ihre Funktion und/oder ihr Zweck dem Fachmann verständlich werden.

[0069] In den Figuren dargestellte Verbindungen und Kopplungen zwischen den funktionellen Einheiten und Elementen können auch als indirekte Verbindungen oder Kopplungen implementiert werden. Insbesondere können Datenverbindungen drahtgebunden oder drahtlos, also insbesondere als Funkverbindungen, ausgebildet sein. Auch können bestimmte Verbindungen, etwa elektrische Verbindungen, etwa zur Energieversorgung, der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt sein. Weiterhin können optische Verbindungen - etwa zwischen optischen Elementen -, welche insbesondere als gerader Lichtstrahl dargestellt werden können, auch in einigen Varianten mittels einem Lichtleiter und/oder durch optische Elemente, wie Spiegel, zum Umlenken von Lichtstrahlen implementiert werden, wobei solche Verbindungen der Übersichtlichkeit halber nicht notwendigerweise dargestellt sind.

[0070] **Fig. 1** zeigt schematisch eine Messanordnung **100** nach einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Zudem sind in **Fig. 1** eine Beleuchtungseinrichtung **30**, ein Kalibrierobjekt **70**, ein Objekt **80** und eine Steuerungseinrichtung **140** veranschaulicht. Dabei weist in einigen Varianten die Messanordnung **100** die Beleuchtungseinrichtung **30** oder die Steuerungseinrichtung **140** auf. Auch kann ein System nach einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung die Messanordnung **100** und das Kalibrierobjekt **70** sowie etwaig die Beleuchtungseinrichtung **30**, das Objekt **80** und/oder die Steuerungseinrichtung **140** aufweisen.

[0071] In einem Ausführungsbeispiel weist die Messanordnung **100** eine Bilderfassungseinrichtung **110** und als eine Abbildungsanordnung ein Objektiv **120** auf - so kann etwa die Abbildungsanordnung aus dem Objektiv **120** bestehen. Die Bilderfassungseinrichtung **110** weist als eine einstellbare Spektralfiltereinrichtung ein einstellbares Fabry-Perot-Interferen-

rometer **114** und eine als eine Bildsensoreinrichtung einen CMOS-Bildsensor **116** auf, wobei der CMOS-Bildsensor **116** eine zweidimensionale Matrix mit Pixeln - etwa monochromatischen Pixeln - aufweist, welche eine Bilderfassungsfläche **118** ausbilden. Dabei ist der CMOS-Bildsensor **116** eingerichtet mittels der Pixel ein auf der Bilderfassungsfläche **118** abgebildetes Abbild - etwa ein Weitfeldbild oder ein Weitfeldzwischenbild - zweidimensional aufgelöst sowie etwaig monochromatisch zu erfassen. Das einstellbare Fabry-Perot-Interferometer **114** ist für ein Auswählen von mehreren spektralen Anteilen von Licht eingerichtet, wobei das Fabry-Perot-Interferometer **114** jeweils nur Licht mit Wellenlängen innerhalb eines jeweils ausgewählten spektralen Anteils vom Objektiv **120** zur Bildsensoreinrichtung, also etwa zur Bilderfassungsfläche **118** hindurchlässt und andere spektrale Anteile reflektiert oder absorbiert. In einigen Varianten ist das Fabry-Perot-Interferometer **114** piezoelektrisch durchstimmbare, womit ein besonders schnelles und/oder exaktes Auswählen des jeweiligen spektralen Anteils ermöglicht wird.

[0072] Zur bildgebenden Tiefenmessung lässt sich das Objekt **80** bei dem Objektiv **120** derart anordnen, dass es in einem Bereich beim Objektiv **120** angeordnet ist, durch welchen sich eine optische Achse **128** des Objektivs **120** erstreckt. Auch lässt sich das Objekt **80** bei dem Kalibrierobjekt **70** anordnen, um etwa eine Kalibrierung bei der bildgebenden Tiefenmessung zu ermöglichen. In einigen Varianten weist dazu das Kalibrierobjekt **70** einen Aufnahmebereich für ein zu messendes Objekt, also etwa das Objekt **80**, auf, innerhalb welchem das Objekt angeordnet werden kann. Auf diese vorteilhafte Weise lassen sich bei der Kalibrierung bestimmte Objektebenen - also etwa Höhen einer Topographie - direkt bestimmten Objektebenen bei dem Objekt zuordnen, da beide in einigen Varianten gleichzeitig erfasst und bestimmt werden können.

[0073] Außerdem weist in einigen Varianten die Messanordnung **100** einen Lichteintrittsbereich **130** für Beleuchtungslicht zum Beleuchten des Objekts **80** auf. Bei einigen Varianten erstreckt sich der Lichteintrittsbereich **130** um - zumindest im Wesentlichen - den gesamten Bereich um das Objektiv **120** und das Objekt **80** - so kann etwa das Objekt **80** bei einem offenen und für Umgebungslicht zugänglichen Bereich liegen - etwa auf einem Förderband oder etwaig auf einem Kalibrierobjekt auf dem Förderband -, von welchem das Objektiv **120** das Objekt **80** abbildet.

[0074] Auch weist in einigen Varianten die Messanordnung **100** die Beleuchtungseinrichtung **30** auf, während bei einigen weiteren dazu alternativen Varianten die Beleuchtungseinrichtung **30** extern ist und eingerichtet ist, das Objekt **80** - etwaig durch den Lichteintrittsbereich **130** - zu beleuchten.

[0075] Das Beleuchtungslicht kann dabei - wie etwa in **Fig. 1** dargestellt - ohne Durchgang durch die Bilderfassungseinrichtung **110** oder Teile davon - etwa dem Fabry-Pérot-Interferometer **114** - vom Lichteintrittsbereich **130** und/oder von der Beleuchtungseinrichtung **30** zum Objekt **80** gelangen.

[0076] Das Objektiv **120** ist eingerichtet, ein vom Objekt **80** ausgehendes Licht - etwa aufgrund von Beleuchtung mit Beleuchtungslicht und/oder aufgrund einer selbstleuchtenden Eigenschaft des Objekts wie Fluoreszenz oder Umwandlung einer anderen Energieform in Licht - für mehrere Objektebenen **82** bezüglich des Objekts zu einem Weitfeldzwischenbild **86** abzubilden. Dabei sind die Objektebenen **82** abhängig von einer Wellenlänge des Lichts vom Objekt entlang einer Tiefenachse **28** aufgrund einer chromatischen Längsaberration des Objektivs **120** gestaffelt. So können etwa Objektebenen, welche einer größeren Wellenlänge entsprechen, bezüglich der Tiefenachse **28** weiter vom Objektiv **120** entfernt sein als andere der Objektebenen, welche einer kürzeren Wellenlänge entsprechen - oder umgekehrt. Die Tiefenachse **28** entspricht hierbei in einigen Varianten der Achse **128** des Objektivs und verläuft in gleicher Richtung oder

- wie in **Fig. 1** dargestellt - in entgegengesetzter Richtung, wobei die Objektebenen **82** zumindest im Wesentlichen orthogonal zur Tiefenachse **28** sind.

[0077] Das Objektiv **120** bildet mit dem Fabry-Perot-Interferometer **114** ein optisches System aus, welches eingerichtet ist, Licht vom Objekt mit Wellenlängen, welche in einem jeweils ausgewählten spektralen Anteil liegen, von je einer entsprechenden der Objektebenen **82** auf genau eine gemeinsame Bildebene als ein zu erfassendes Weitfeldbild **88** auf die Bilderfassungsfläche **118** scharf abzubilden. Dabei können etwa - wie in **Fig. 1** dargestellt - das Weitfeldzwischenbild **86** und das Weitfeldbild **88** zusammenfallen - also etwa miteinander identisch sein - und etwa sich die Bildebene entlang der Bilderfassungsfläche **118** erstrecken. Somit lässt sich etwa anhand des Auswählens des jeweiligen spektralen Anteils jeweils eine ausgewählte Objektebene der Objektebenen **82** auswählen, welche scharf abgebildet und mittels des CMOS-Bildsensors **116** zweidimensional erfasst wird, während andere spektrale Anteile des Lichts vom Objekt - also entsprechend auch vom Weitfeldzwischenbild **86** -, bei welchen die jeweilige Objektebene nicht scharf abgebildet werden würde, mittels dem Fabry-Perot-Interferometer **114** herausgefiltert werden. Entsprechend weist das optische System eine Schärfentiefe auf und ist eingerichtet, innerhalb eines Entfernungsbereichs um eine jeweils ausgewählte Objektebene das Objekt für die der ausgewählten Objektebene entsprechenden Wellenlänge - also für Wellenlängen im jeweils ausgewählten spektralen Anteil - zumindest im Wesent-

lichen scharf auf die Bilderfassungsfläche **118** abzubilden. Dabei versteht es sich, dass mit zunehmender Entfernung von der jeweils ausgewählten Objektebene eine Schärfe der Abbildung abnimmt, wobei etwa ein zumindest im Wesentlichen scharfes Abbilden zumindest dann erfolgt, wenn ein derart abgebildeter Lichtpunkt sich höchstens über einen bestimmten Bereich bei der Bilderfassungsfläche erstreckt. Dabei kann die Größe des bestimmten Bereichs

- also etwa die Fläche oder der Durchmesser des Bereichs - von einer gewünschten räumlichen Auflösung abhängen. So kann etwa die Größe des bestimmten Bereichs neun Pixeln, vier Pixeln oder einem Pixel des CMOS-Bildsensors **116** entsprechen, wobei etwa die Pixel aneinander angrenzen - etwa 3x3 Pixel oder 2x2 Pixel.

[0078] Fig. 2 zeigt schematisch ein Lichtmikroskop **200** nach einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0079] In einem Ausführungsbeispiel weist das Mikroskop **200** eine Bilderfassungseinrichtung **210** und eine Abbildungsanordnung **220** sowie einen Strahlteiler **204**, eine erste Beleuchtungseinrichtung **230** und eine zweite Beleuchtungseinrichtung **232** auf, welche in einem Gehäuse **202** des Mikroskops **200** angeordnet sind. Zudem weist das Mikroskop **200** einen Objektstisch **208** auf, mittels welchem ein Objekt in einem Messbereich **280** des Mikroskops **200** angeordnet werden kann. In einigen Varianten weist das Mikroskop eine dritte Beleuchtungseinrichtung **234** auf, welche etwa als Ringleuchte ausgebildet ist.

[0080] Die erste Beleuchtungseinrichtung **230** ist eingerichtet, Licht zu erzeugen, Licht auf den Strahlteiler **204** auszustrahlen und den Messbereich **280** mit dem Licht nach Durchgang durch den Strahlteiler **204** und durch die Abbildungsanordnung **220** sowie ein etwaiges Objektiv zu beleuchten - etwa für eine Auflichtbeleuchtung.

[0081] Die zweite Beleuchtungseinrichtung **232** ist eingerichtet, Licht zu erzeugen und durch den Objektstisch **208** zum Messbereich **280** auszustrahlen - etwa für eine Durchlichtbeleuchtung. Dabei ist die Beleuchtungseinrichtung **232** in einigen Varianten für eine Dunkelfeldbeleuchtung eingerichtet.

[0082] Die Bilderfassungseinrichtung **210** weist eine Abbildungsoptik **212** auf und ist des Weiteren bei einigen Varianten entsprechend der Bilderfassungseinrichtung **110** von Fig. 1 ausgebildet. In einigen dazu alternativen Varianten weist die Bilderfassungseinrichtung **210** eine Bildsensoreinrichtung auf, welche eingerichtet ist, ein Weitfeldbild zweidimensional und aufgelöst nach mehreren spektralen Anteilen - etwa mittels einer Vielzahl von Gruppen an zweidimensional angeordneten Pixeln, welche jeweils für einen bestimmten der mehreren spektralen Anteile

sensitiv sind - zu erfassen. Dazu weist einigen Varianten davon die Bilderfassungseinrichtung **210** eine RGB-Kamera auf. Umgekehrt können auch einige Abwandlungen der Bilderfassungseinrichtung **110** bezüglich Fig. 1 eine Farb-Bildsensoreinrichtung, etwa eine RGB-Kamera, aufweisen.

[0083] Die Abbildungsanordnung **220** weist eine einstellbare Aberrationseinrichtung **224** auf, mittels welcher eine chromatische Längsaberration der Abbildungsanordnung **220** einstellbar ist.

[0084] Außerdem weist die Abbildungsanordnung **220** eine Objektivhalterung **222** für ein Objektiv **120** auf. Dabei ist das Objektiv **120** nicht notwendigerweise ein Bestandteil des Lichtmikroskops **200**. So ist etwa in einigen Varianten die Objektivhalterung **222** eingerichtet, verschiedene Objektive zu halten und lösbar mit je einem der verschiedenen Objektiven derart verbunden zu werden, dass ein vom Objekt ausgehendes Licht, wenn es im Messbereich **280** angeordnet ist, durch das jeweilige Objektiv zur einstellbaren Aberrationseinrichtung **224** geleitet wird. Auf diese Weise lassen sich verschiedene Objektive verwenden und lassen sich somit etwa unterschiedliche Vergrößerungen, Messbereiche und/oder Arbeitsabstände, bei welchen bezüglich der Tiefenachse bzw. Achse des Objektivs ein zu erfassendes Objekt anzuordnen ist, erzielen.

[0085] Die einstellbare Aberrationseinrichtung **224** weist ein Aberrationselement **228** und eine Halterung **226** für das Aberrationselement **228** auf, wobei die Halterung **226** eingerichtet ist, mit dem Aberrationselement **228** oder mit je einem von mehreren weiteren Aberrationselementen derart lösbar verbunden zu werden, dass ein vom Objektiv bzw. von der Objektivhalterung **222** kommendes Licht durch das jeweilige Aberrationselement zum Strahlteiler **204** geleitet wird.

[0086] Die Abbildungsanordnung **220** ist eingerichtet, ein vom Objekt ausgehendes Licht für mehrere Objektebenen im Messbereich **280**, welche entlang einer Tiefenachse **28** gestaffelt sind, mittels des Objektivs zum Aberrationselement zu leiten, wobei das Aberrationselement **228** in Zusammenarbeit mit dem Objektiv eine derartige chromatische Längsaberration bewirkt, dass jede der Objektebenen für eine bestimmte dieser Objektebene entsprechende Wellenlänge des Lichts - etwa nach Reflektionen beim Strahlteiler **204** - zu genau einem gemeinsamen Weitfeldzwischenbild **86** scharf abgebildet wird. Das gemeinsame Weitfeldzwischenbild **86** weist also mehrere spektrale Anteile auf, welche jeweils einer der Objektebenen entsprechen.

[0087] Weiterhin ist die Abbildungsoptik **212** eingerichtet, dieses gemeinsame Weitfeldzwischenbild **86** auf genau ein gemeinsames Weitfeldbild **88** abzubilden.

den, wobei die Bilderfassungseinrichtung **210** eingerichtet ist, dieses gemeinsame Weitfeldbild **88** zweidimensional zu erfassen.

[0088] In einigen dazu alternativen Varianten werden die Objektebenen zunächst zu verschiedenen Weitfeldzwischenbildern **86** - wie in **Fig. 2** dargestellt - abgebildet, wobei die Abbildungsoptik **212** eine derartige chromatische Aberration aufweist, dass diese verschiedenen Weitfeldzwischenbilder **86** bzw. jeweils entsprechende Spektralanteile eines jeweiligen Weitfeldzwischenbilds zu genau einem gemeinsamen Weitfeldbild **88** scharf abgebildet werden.

[0089] In einigen Varianten ist die Bilderfassungseinrichtung **210** eingerichtet, das gemeinsame Weitfeldbild **88** aufgelöst nach seinen spektralen Anteilen sowie zweidimensional zu erfassen etwa mittels einer Vielzahl von Gruppen an zweidimensional angeordneten Pixeln. In einigen dazu alternativen Varianten ist die Bilderfassungseinrichtung **210** eingerichtet, das gemeinsame Weitfeldzwischenbild **86** jeweils bezüglich eines ausgewählten spektralen Anteils zu filtern - etwa mittels eines einstellbaren Fabry-Perot-Interferometers **214** -, wobei das Weitfeldbild **88** jeweils nur diesen spektralen Anteil aufweist, und zweidimensional zu erfassen. In einigen dazu alternativen Varianten ist die Bilderfassungseinrichtung **210** eingerichtet, von den verschiedenen Weitfeldzwischenbildern **86** jeweils eines mit einem ausgewählten spektralen Anteil herauszufiltern, mittels der Abbildungsoptik **212** zu dem gemeinsamen Weitfeldbild **88** abzubilden - also das jeweilige Weitfeldzwischenbild **86** auf eine gemeinsame Bildebene für das Weitfeldbild **88** abzubilden - und dieses - d. h. also den jeweilig, etwa mittels eines einstellbaren Fabry-Perot-Interferometers **214**, ausgewählten spektralen Anteil - zweidimensional zu erfassen.

[0090] **Fig. 3** veranschaulicht eine Ausführungsform und/oder Anwendung der vorliegenden Erfindung anhand mehrerer Abbildungen eines Objekts für unterschiedliche Objektebenen, eines Höhenprofils des Objekts und einer Zuordnung zu den unterschiedlichen Objektebenen.

[0091] In einem Ausführungsbeispiel entspricht das Objekt dem mit **Abb. 308** abgebildeten Objekt und weist ein Höhenprofil **302** auf. Die weiteren **Abb. 380**, **Abb. 382**, **Abb. 384**, **Abb. 386** und **Abb. 388** zeigen das Objekt für verschiedene Objektebenen. Die Objektebenen sind entlang einer Tiefenachse **28** gestaffelt. So ist bei **Abb. 380** die Objektebene **320**, welche bezüglich der Tiefenachse **28** am weitesten unten angeordnet ist, zumindest im Wesentlichen - also etwa im Rahmen einer Schärfentiefe - scharf abgebildet. Entsprechend ist bei **Abb. 382** die Objektebene **322** scharf abgebildet, bei **Abb. 384** die Objektebene **324** scharf abgebildet und bei **Abb. 386** die Objektebene **326** scharf abgebildet. **Abb. 380** wurde

für einen spektralen Anteil, welcher bei einer Wellenlänge von 450 nm liegt, erfasst. **Abb. 382** wurde für einen spektralen Anteil, welcher bei einer Wellenlänge von 550 nm liegt, erfasst. **Abb. 384** wurde für einen spektralen Anteil, welcher bei einer Wellenlänge von 650 nm liegt, erfasst. **Abb. 386** wurde für einen spektralen Anteil, welcher bei einer Wellenlänge von 700 nm liegt, erfasst. **Abb. 388** wurde für einen spektralen Anteil, welcher bei einer Wellenlänge von 800 nm liegt, erfasst. Dabei sind die Objektebenen **320** bis **328** über einen Entfernungsbereich entlang der Tiefenachse **28**, welche für die Abbildungen aus **Fig. 3** herauszeigt, von etwa 1 mm gestaffelt, d.h. also dass die Objektebene **320** von der Objektebene **328** etwa 1 mm beabstandet ist. Ferner wurden die Abstände nicht kalibriert und können bezüglich einer Abhängigkeit zwischen Entfernung und Wellenlänge linear oder nichtlinear sein.

[0092] Aus **Fig. 3** ist außerdem ersichtlich, dass die Objektebene **328**, welche bezüglich der Tiefenachse **28** am weitesten oben angeordnet ist, oberhalb des Höhenprofils **302** liegt und somit bei **Abb. 388** kein Bereich des Objekts scharf abgebildet wird, da sich die Objektebene **328** durch keinen Bereich des Objekts erstreckt. Bei den anderen **Abb. 380**, **Abb. 382**, **Abb. 384** und **Abb. 386** für je eine der Objektebenen **320**, **322**, **324** und **326** sind jeweils bestimmte Bereiche des Objekts scharf abgebildet. So ist etwa bei **Abb. 380** der Bereich **381**, durch welchen sich die Objektebene **320** erstreckt, scharf abgebildet, während dieser bei **Abb. 382** nicht scharf abgebildet ist. Hingegen sind bei **Abb. 382** die Bereiche **383** scharf abgebildet, durch welche sich die Objektebene **322** erstreckt. Somit bilden die **Abb. 380**, **Abb. 382**, **Abb. 384** und **Abb. 386** einen sogenannten „Z-Stack“ - also etwa einen Stapel an Abbildungen entlang der Tiefenachse, wobei jede der Abbildungen für einen bestimmten Volumenbereich, welcher sich entlang der Tiefenachse um eine jeweilig entsprechende Objektebene herum erstreckt und durch die Schärfentiefe bedingt ist, jene Bereiche des Objekts, welche im jeweiligen Volumenbereich liegen, zumindest im Wesentlichen scharf abgebildet -, bei welchem die Objektebenen mittels der chromatischen Längsaberration entlang der Tiefenachse **28** gestaffelt sind, und können mittels eines Verfahrens mit einem sogenannten „focus stacking“ zu einer gemeinsamen Abbildung mit erweiterter Schärfentiefe zusammengesetzt werden, wobei jeweils jene Bereiche einer jeweiligen Abbildung für das Zusammensetzen ausgewählt werden, welche in der jeweiligen Abbildung scharf abgebildet sind, was sich etwa mittels einer Kontrastanalyse bestimmen lässt.

[0093] **Fig. 4** zeigt ein Flussdiagramm eines Messverfahrens **400** nach einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0094] In einem Ausführungsbeispiel weist das Verfahren **400** die Verfahrensschritte **430**, **440**, **442**, **444**, **446**, **480**, **482** und **484** sowie die Verfahrensbedingung **410** auf. Das Messverfahren **400** beginnt beim Verfahrensstart **402** und endet beim Verfahrensende **404**.

[0095] Im Verfahrensschritt **430** wird ein Messbereich mit einem Beleuchtungslicht, etwa einem polychromatischen Licht, etwa einem weißen Licht mit mehreren spektralen Anteilen beleuchtet.

[0096] In einigen Varianten wird in einem Verfahrensschritt **420** des Messverfahrens **400** ein Objekt innerhalb des Messbereichs angeordnet sowie eine Objektebene, welche sich durch das Objekt erstreckt, fokussiert. Dabei wird in einigen Varianten die Objektebene für wenigstens einen der spektralen Anteile des Beleuchtungslichts fokussiert.

[0097] Im Verfahrensschritt **440** werden mehrere Objektebenen abgerastert. Dazu weist der Verfahrensschritt **440** die Verfahrensschritte **442**, **444** und **446** sowie die Verfahrensbedingung **410** auf.

[0098] Im Verfahrensschritt **442** wird ein vom Objekt ausgehendes Licht zu einem Weitfeldzwischenbild abgebildet, wobei mittels einer chromatischen Längsaberration eine ausgewählte Objektebene der Objektebenen für einen ausgewählten spektralen Anteil der spektralen Anteile scharf abgebildet wird.

[0099] Im Verfahrensschritt **444** wird von dem Weitfeldzwischenbild der ausgewählte spektrale Anteil - etwa mittels eines einstellbaren Interferometers - gefiltert.

[0100] Im Verfahrensschritt **446** wird dieser gefilterte spektrale Anteil des Weitfeldzwischenbilds - etwa mittels einer Bildsensoreinrichtung - zweidimensional bildgebend erfasst.

[0101] Bei der Verfahrensbedingung **410** wird überprüft, ob eine weitere Objektebene der Objektebenen auszuwählen ist. Falls dies der Fall ist - symbolisiert durch $\langle 1 \rangle$ -, wird das Verfahren bei Verfahrensschritt **442** fortgesetzt, wobei die weitere Objektebene die ausgewählte Objektebene ist und im Verfahrensschritt **444** ein weiterer spektraler Anteil, welcher dieser weiteren ausgewählten Objektebene entspricht, gefiltert wird. So wird etwa in einigen Varianten das einstellbare Interferometer entsprechend auf diesen weiteren ausgewählten spektralen Anteil eingestellt. Falls keine weitere Objektebene auszuwählen ist - symbolisiert durch $\langle 0 \rangle$ -, wird das Verfahren bei Verfahrensschritt **470** bzw. bei Verfahrensschritt **480** fortgesetzt.

[0102] In einigen Varianten wird in einem Verfahrensschritt **470** des Messverfahrens **400** mittels eines Kalibrierobjekts eine Abhängigkeit zwischen den

Objektebenen und den jeweiligen spektralen Anteilen für eine Kalibrierung bestimmt. Hierzu wird in einigen Varianten der Verfahrensschritt **440** für das Kalibrierobjekt durchgeführt und werden Kalibrierdaten basierend auf einer bekannten Topographie des Kalibrierobjekts sowie den jeweils ausgewählten spektralen Anteilen bestimmt.

[0103] Im Verfahrensschritt **480** werden jene zweidimensionalen Bereiche im jeweils für einen jeweiligen spektralen Anteil und Objektebene erfassten Weitfeldzwischenbild, bei welchen eine jeweilige Objektebene scharf abgebildet ist, berechnet. In einigen Varianten davon wird dazu eine Kontrastanalyse durchgeführt, wobei die Weitfeldzwischenbilder in zweidimensionale Ausschnitte unterteilt werden und für jeden dieser zweidimensionalen Ausschnitte jeweils das Weitfeldzwischenbild ausgewählt wird, bei welchem der Kontrast im jeweiligen Ausschnitt für das jeweils ausgewählte Weitfeldzwischenbild am größten ist, womit die scharf abgebildeten Bereiche des jeweiligen Weitfeldzwischenbilds den Ausschnitten, für welche das jeweilige Weitfeldzwischenbild ausgewählt worden ist, entsprechen.

[0104] Im Verfahrensschritt **482** wird eine Topographie des Objekts - also etwa ein zweidimensionales Höhenprofil - basierend auf dem berechneten zweidimensionalen Bereichen bestimmt.

[0105] Im Verfahrensschritt **484** wird eine gemeinsame Abbildung des Objekts mit erweiterter Schärfentiefe mittels Zusammensetzens jener Ausschnitte der erfassten Weitfeldzwischenbilder, die den jeweiligen zweidimensionalen Bereichen entsprechen, bestimmt. In einigen Varianten werden übrige Bereiche der erfassten Weitfeldzwischenbilder, welche also jeweils nicht scharf abgebildet worden sind, zur Bestimmung von Farbinformationen für die jeweiligen (unscharfen) Bereiche verwendet.

[0106] Während bei der Messanordnung **100** bezüglich **Fig. 1** das Weitfeldzwischenbild **86** und das Weitfeldbild **88** zusammenfallen - also etwa einander entsprechen -, sind bei dem Lichtmikroskop **200** bezüglich **Fig. 2** das genau eine Weitfeldzwischenbild **86** bzw. die mehreren Weitfeldzwischenbilder **86** von dem Weitfeldbild **88** verschieden.

[0107] Dabei entspricht bei einigen Varianten die Messanordnung **100** bezüglich **Fig. 1** einer einteiligen optischen Messanordnung, bei welcher das Objektiv **120** und die Bilderfassungseinrichtung **110** sowie etwa ein Abstand zwischen dem Objektiv **120** und der Bilderfassungsfläche **118** aufeinander derart abgestimmt sind, dass das Objekt **80** mittels des Objektivs **120** und durch das einstellbare Fabry-Perot-Interferometer **114** auf die Bilderfassungsfläche **118** abgebildet wird, also etwa das Weitfeldzwischenbild **86** und das Weitfeldbild **88** einander entsprechen so-

wie eine Bildebene des Weitfeldzwischenbilds **86** und des Weitfeldbilds **88** sich entlang und/oder auf der Bilderfassungsfläche **118** zweidimensional erstreckt. Ein Vorteil eines derartigen Aufbaus kann insbesondere darin liegen, dass eine im Vergleich zu anderen Messanordnungen geringere Anzahl an optischen Elementen - mittels welcher etwa das Objekt abgebildet wird - erforderlich sind, wodurch etwa sich eine Konstruktion der Messanordnung vereinfachen, die Messanordnung besonders robust und/oder mit geringem Raumbedarf aufbauen und/oder eine Lichteffizienz - da etwa das Licht vom Objekt nur eine geringere Anzahl an optischen Elementen passieren muss - steigern lässt. In einigen Varianten könnte eine derartige Messanordnung in einem industriellen Umfeld - etwa bei einer Produktion zur Bestimmung einer Topographie, also etwa eines zweidimensionalen Höhenprofils und/oder einer Oberflächenbeschaffenheit, eines Produkts - angewendet werden, wobei eine - etwa zur Bestimmung der Topographie geeignete - Vergrößerung sowie ein Abstand zwischen dem Objektiv und dem Objekt fest vorgegeben sind. Dazu ist in einigen Varianten davon, die Steuerungseinrichtung **140** eingerichtet, ein Messverfahren von **Fig. 4**, also etwa das Messverfahren **400** auszuführen. Auch lässt sich ein Umgebungslicht zum Beleuchten des Objekts verwenden. Auch lässt sich eine optische Abschirmung des Objekts von Umgebungslicht vermeiden, da etwa keine strukturierte Beleuchtung oder eine Beleuchtung nur mit bestimmten spektralen Anteilen von Licht erforderlich ist, sofern das Beleuchtungslicht zumindest jeweils jenen spektralen Anteil aufweist, welcher jeweils mittels des einstellbaren Fabry-Perot-Interferometers ausgewählt ist.

[0108] Demgegenüber entspricht das Lichtmikroskop **200** bezüglich **Fig. 2** bei einigen Varianten einer zweiseitigen optischen Messanordnung, wobei zunächst die Abbildungsanordnung **220** ein Objekt auf das eine oder die mehreren Weitfeldzwischenbilder **86** abbildet und die Bilderfassungseinrichtung **210** - etwa mittels der Abbildungsoptik **212** - dass eine Weitfeldzwischenbild **86** bzw. die mehreren Weitfeldzwischenbilder **86** auf das Weitfeldbild **88** abbildet und zum zweidimensionalen Erfassen dieses Weitfeldbilds **88** eingerichtet ist. Auf diese vorteilhafte Weise, lässt sich eine Anzahl an möglichen Kombinationen von Parametern und optischen Elementen - wie etwa verschiedene Objekte **120**, verschiedene Aberrationselemente **228** und/oder Abbildungs-optiken **212**, etwa für unterschiedliche Vergrößerungen, Arbeitsabstände vom jeweiligen Objektiv und/oder chromatische (Längs-) Aberrationen - steigern. Auch sind einige Varianten als sogenannte „Unendlichkeitsoptik“ eingerichtet, wobei die Abbildungsanordnung **220** kein reelles Weitfeldzwischenbild erzeugt, sondern das Licht vom Objekt, also das Licht je von einem Ausgangspunkt des Objekts die Abbildungsanordnung **220** als jeweils parallele Lichtstrahlen verlässt, sodass das Weitfeldzwischenbild

86 im Unendlichen liegt. Dazu weisen einige Varianten ein weiteres abbildendes optisches Element **221** auf, durch welches das vom Aberrationselement **228** ausgehende Licht geleitet wird. Auf diese vorteilhafte Weise kann eine Abstimmung der Abbildungsanordnung **220** und der Bilderfassungseinrichtung **210** - etwa der Abbildungsoptik **212** - unabhängig von einer optischen Weglänge zwischen der Abbildungsanordnung **220** und der Bilderfassungseinrichtung **210** sein, womit etwa weitere optische Elemente dazwischen eingefügt werden können ohne die Abstimmung zu verändern und/oder zu stören.

[0109] **Fig. 5** veranschaulicht Ausführungsformen und/oder Anwendungen der vorliegenden Erfindung anhand mehrerer unterschiedlicher Objektebenen und einem Bereich einer Schärfentiefe, etwa zum Erzielen einer erhöhten Auflösung.

[0110] In einem Ausführungsbeispiel **500** sind die Objektebenen **320**, **322**, **324**, **326** und **328** entlang einer Tiefenachse **28** angeordnet, insbesondere gestaffelt, und zumindest im Wesentlichen orthogonal zur Tiefenachse **28**. Entlang der Tiefenachse **28** erstreckt sich der Bereich der Schärfentiefe **38**. Dabei sind alle Objektebenen **320** bis **328** höchstens so weit voneinander bezüglich der Tiefenachse **28** entfernt, dass diese innerhalb der Bereichs **38** liegen, also etwa eine maximale Höhendifferenz zwischen diesen kleiner als der Bereich der Schärfentiefe **38** ist.

[0111] Auf diese vorteilhafte Weise lässt sich eine erhöhte räumliche Auflösung entlang der Tiefenachse **28** erzielen.

[0112] In einigen Varianten sind dazu die chromatische Längsaberration und ein Spektralbereich, aus welchem spektrale Anteile auswählbar sind, die den Objektebenen **320** bis **328** entsprechen, derart aufeinander abgestimmt, dass alle Objektebenen **320** bis **328** innerhalb der Bereichs **38** liegen.

[0113] Bei Varianten, bei welchen die Bilderfassungseinrichtung eine monochromatische Bildsensoreinrichtung aufweist, wird zum Abrastern jeweils ein spektraler Anteil ausgewählt, welcher einer der Objektebenen **320** bis **328** entspricht, und Licht vom Objekt mit diesem spektralen Anteil nach Filterung zweidimensional mittels der monochromatischen Bildsensoreinrichtung erfasst.

[0114] Bei Varianten, bei welchen die Bilderfassungseinrichtung eine Farb-Bildsensoreinrichtung aufweist, werden zum Abrastern jeweils mehrere spektrale Anteile zugleich ausgewählt, welche je einer der Objektebenen **320** bis **328** entsprechen, und Licht vom Objekt mit diesen spektralen Anteilen nach Filterung zweidimensional sowie farblich aufgelöst mittels der Farb-Bildsensoreinrichtung zugleich erfasst, wobei die mehreren zugleich erfassten spek-

tralen Anteile basierend auf der farblichen Erfassung unterscheidbar sind und basierend darauf den jeweiligen Objektebenen zugeordnet werden.

[0115] Fig. 6 veranschaulicht Ausführungsformen und/oder Anwendungen der vorliegenden Erfindung anhand mehrerer unterschiedlicher Objektebenen und mehreren Bereichen einer Schärfentiefe für unterschiedliche Wellenlängen, etwa zum Erzielen einer erweiterten Schärfentiefe.

[0116] In einem Ausführungsbeispiel 502 sind die Objektebenen 320, 322, 324, 326 und 328 entlang einer Tiefenachse 28 angeordnet, insbesondere gestaffelt, und zumindest im Wesentlichen orthogonal zur Tiefenachse 28. Entlang der Tiefenachse 28 erstrecken sich die Bereiche 38 der Schärfentiefe, wobei drei Bereiche für drei unterschiedliche Wellenlängen des Lichts vom Objekt dargestellt sind. Weiter sind alle Objektebenen 320 bis 328 mindestens so weit voneinander bezüglich der Tiefenachse 28 entfernt, dass diese über die mehreren Bereich 38 verteilt sind, also etwa eine maximale Höhendifferenz zwischen diesen größer als je einer der Bereiche, also größer als die Schärfentiefe ist. Auf diese vorteilhafte Weise lässt sich - etwa indem erfasste Bilder für die Objektebenen zusammengesetzt werden - ein erweiterter Bereich für die Schärfentiefe erzielen, wobei sich dieser erweiterte Bereich, also etwa die erweiterte Schärfentiefe über einen Entfernungsbereich entlang der Tiefenachse 28 erstreckt, der einer Höhendifferenz zwischen den Objektebenen 320 bis 328 entspricht.

[0117] In einigen Varianten sind dazu die chromatische Längsaberration und ein Spektralbereich, aus welchem spektrale Anteile und somit Wellenlängen auswählbar sind, die den Objektebenen 320 bis 328 bzw. den mehreren Bereichen 38 entsprechen, derart aufeinander abgestimmt, dass sich die Objektebenen 320 bis 328 über die mehreren Bereiche 38 gestaffelt sind.

[0118] Weiterhin sind in einigen Varianten die chromatische Längsaberration, der Spektralbereich und die spektralen Anteile derart aufeinander abgestimmt, dass - wie in Fig. 6 dargestellt - jeweils wenigstens zwei der Objektebenen 320 bis 328 innerhalb eines der mehreren Bereiche 38 liegen. Auf diese vorteilhafte Weise lässt sich einerseits eine erweiterte Schärfentiefe und andererseits eine erhöhte Auflösung entlang der Tiefenachse 28 erzielen.

[0119] Einige weitere Varianten entsprechen denen bezüglich Fig. 5 bzw. Ausführungsbeispiel 500.

[0120] Fig. 7 zeigt ein Flussdiagramm eines Messverfahrens 401 nach einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0121] In einem Ausführungsbeispiel weist das Verfahren 401 die Verfahrensschritte 430, 440, 442, 444, 446, 472, 474, 476, 478, 480, 482, 484 und 488 sowie die Verfahrensbedingung 410 auf. Das Messverfahren 401 beginnt beim Verfahrensstart 402 und endet beim Verfahrensende 404.

[0122] Verfahrensschritte und Verfahrensbedingungen mit gleichem Bezugszeichen entsprechen jenen bezüglich Fig. 4.

[0123] Der Verfahrensschritt 440 weist hierbei weiterhin die Verfahrensschritte 472, 474, 476, 478 und 488 auf.

[0124] Die Verfahrensschritte 472, 474, 476 und 478 können Teilschritte einer Kalibrierung sein, wobei diese in einigen Varianten parallel zum Erfassen von jeweiligen Objektebenen durchgeführt wird.

[0125] Im Verfahrensschritt 472 wird ein einem Kalibrierobjekt ausgehendes Licht zu einem Weitfeldzwischenbild abgebildet bzw. als Teil des Weitfeldzwischenbilds von Verfahrensschritt 442 abgebildet, wobei mittels einer chromatischen Längsaberration eine ausgewählte Objektebene der Objektebenen für einen ausgewählten spektralen Anteil der spektralen Anteile scharf abgebildet wird.

[0126] Im Verfahrensschritt 474 wird von dem Weitfeldzwischenbild der ausgewählte spektrale Anteil - etwa mittels eines einstellbaren Interferometers - gefiltert.

[0127] Im Verfahrensschritt 476 wird dieser gefilterte spektrale Anteil des Weitfeldzwischenbilds - etwa mittels einer Bildsensoreinrichtung - zweidimensional bildgebend erfasst.

[0128] Daraufhin werden im Verfahrensschritt 478 für das Kalibrierobjekt vorbestimmte Höheninformationen bezüglich des jeweils erfassten Weitfeldzwischenbilds bzw. Teils davon dem jeweiligen Weitfeldzwischenbild für das Objekt zugeordnet.

[0129] Im Verfahrensschritt 488 werden basierend auf bisher erfassten Weitfeldzwischenbildern und etwaig den zugeordneten Höheninformationen jene zweidimensionalen Bereiche, bei welchen eine jeweilige Objektebene scharf abgebildet ist, sowie etwaig entsprechende Höheninformationen berechnet, etwa um eine Vorschau beim Abrastern zu ermöglichen.

[0130] Während Ausführungsbeispiele, Anwendungsmöglichkeiten und Anwendungsbeispiele insbesondere unter Bezugnahme auf die Figuren detailliert beschrieben wurden, sei darauf hingewiesen, dass eine Vielzahl von Abwandlungen möglich ist. Außerdem sei darauf hingewiesen, dass es sich bei den exemplarischen Ausführungen und Anwendun-

gen lediglich um Beispiele handelt, die den Schutzbereich, die Anwendung und den Aufbau in keiner Weise einschränken sollen. Vielmehr wird dem Fachmann durch die vorausgehende Beschreibung ein Leitfaden für die Umsetzung und/oder Anwendung von mindestens einem Ausführungsbeispiel gegeben, wobei diverse Abwandlungen, insbesondere alternative oder zusätzliche Merkmale und/oder Abwandlungen der Funktion und/oder Anordnungen der beschriebenen Bestandteile, nach Wunsch des Fachmanns vorgenommen werden können, ohne dass dabei von dem in den angehängten Ansprüchen jeweils festgelegten Gegenstand sowie seiner rechtlichen Äquivalente abgewichen wird und/oder deren Schutzbereich verlassen wird.

Patentansprüche

1. Messanordnung (100, 200) zur bildgebenden Tiefenmessung, aufweisend: eine Abbildungsanordnung (220) mit einem Objektiv (120), welche eingerichtet ist, ein von einem Objekt (80; 308) ausgehendes Licht für mehrere Objektebenen (82; 320, 322, 324, 326, 328) bezüglich des Objekts zu einem Weitfeldzwischenbild (86) abzubilden, wobei mittels einer chromatischen Längsaberration der Abbildungsanordnung (120, 220) die Objektebenen abhängig von einer Wellenlänge des Lichts vom Objekt entlang einer Tiefenachse (28) gestaffelt sind; und eine Bilderfassungseinrichtung (110, 210), welche eingerichtet ist, das Weitfeldzwischenbild (86) bildgebend und aufgelöst bezüglich eines oder mehrerer auswählbarer spektraler Anteile, welche jeweils einer der Objektebenen entsprechen, zu erfassen.
2. Messanordnung (100, 200) gemäß Anspruch 1, wobei die Bilderfassungseinrichtung (110, 210) ein einstellbares Fabry-Perot-Interferometer (114) zum Auswählen des einen oder der mehreren spektralen Anteile aufweist.
3. Messanordnung (100, 200) gemäß Anspruch 2, welche weiterhin einen Lichteintrittsbereich (130) oder eine Lichtquelle (230, 232) für Beleuchtungslicht zum Beleuchten des Objekts (80) aufweist, wobei das Beleuchtungslicht ohne Durchgang durch die Bilderfassungseinrichtung (110, 210) oder Teile (114, 116, 118, 212) davon vom Lichteintrittsbereich (130) bzw. Lichtquelle (230, 232) zum Objekt (80) gelangt.
4. Messanordnung (100, 200) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Bilderfassungseinrichtung (110, 210) eine Bildsensoreinrichtung (116) und eine Abbildungsoptik (212) aufweist, wobei die Abbildungsoptik (212) eingerichtet ist, das Weitfeldzwischenbild (86) oder den oder die auswählbaren spektralen Anteile davon auf eine Bildebene bei der Bildsensoreinrichtung (116) als ein zu erfassendes Weitfeldbild (88) abzubilden.
5. Messanordnung (100, 200) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Abbildungsanordnung (220) weiterhin eine einstellbare Aberrationseinrichtung (224) aufweist, mittels welcher die chromatische Längsaberration der Abbildungsanordnung einstellbar ist.
6. Messanordnung (100) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Objektiv (120) eine derartige chromatische Längsaberration aufweist, dass für einen Wellenlängenbereich des Lichts vom Objekt (80) von 400 nm bis 800 nm die Objektebenen (82) entlang der Tiefenachse (28) über wenigstens 10 µm angeordnet sind.
7. Messanordnung (200) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das Objektiv ein achromatisches Objektiv ist und die Abbildungsanordnung (220) weiterhin eine Aberrationseinrichtung (224) aufweist, welche die chromatische Längsaberration der Abbildungsanordnung bewirkt.
8. Lichtmikroskop (200) zur bildgebenden Tiefenmessung, aufweisend eine Messanordnung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche oder aufweisend: eine Abbildungsanordnung (220) mit einer Objektivhalterung (222) für ein Objektiv, wobei die Abbildungsanordnung (220) eingerichtet ist, ein von einem Objekt ausgehendes Licht für mehrere Objektebenen bezüglich des Objekts zu einem Weitfeldzwischenbild (86) abzubilden, wobei mittels einer chromatischen Längsaberration der Abbildungsanordnung (220) die Objektebenen abhängig von einer Wellenlänge des Lichts vom Objekt entlang einer Tiefenachse (28) gestaffelt sind; und eine Bilderfassungseinrichtung (210), welche eingerichtet ist, das Weitfeldzwischenbild (86) bildgebend und aufgelöst bezüglich eines oder mehrerer auswählbarer spektraler Anteile, welche jeweils einer der Objektebenen entsprechen, zu erfassen.
9. Messverfahren (400) zur bildgebenden Tiefenmessung, wobei das Messverfahren aufweist:
 - (442) Abbilden eines von einem Objekt (80) ausgehenden Lichts für mehrere Objektebenen (82; 320, 322, 324, 326, 328) bezüglich des Objekts zu einem Weitfeldzwischenbild (86), wobei mittels einer chromatischen Längsaberration die Objektebenen abhängig von einer Wellenlänge des Lichts vom Objekt entlang einer Tiefenachse (28) gestaffelt sind; und
 - (446) Bildgebendes Erfassen des Weitfeldzwischenbild, wobei einer oder mehrere auswählbare spektrale Anteile des Lichts vom Objekt, welche jeweils einer der Objektebenen entsprechen, aufgelöst (444) werden.
10. Messverfahren gemäß Anspruch 9, weiterhin aufweisend:

- (430) Beleuchten eines Messbereichs, wobei die Objektebenen innerhalb des Messbereichs liegen;
- (420) Anordnen des Objekts innerhalb des Messbereichs und Fokussieren des Objekts;
- (440) Abrastern mehrerer der Objektebenen, wobei jeweils eine der Objektebenen ausgewählt wird und jene spektralen Anteile des Weitfeldzwischenbilds (86), welcher der jeweils ausgewählten Objektebene entsprechen, bildgebend erfasst werden;
- (470) Kalibrieren der Abhängigkeit zwischen den Objektebenen und den jeweiligen Wellenlängen mittels eines Kalibrierobjekts (70);
- (480) Berechnen jener zweidimensionaler Bereiche im jeweils für eine jeweilige Wellenlänge und Objektebene erfassten Weitfeldzwischenbild, bei welchen die jeweilige Objektebene scharf abgebildet ist; sowie
- (482) Bestimmen einer Topographie des Objekts basierend auf den berechneten zweidimensionalen Bereichen und den jeweiligen Objektebenen oder
- (484) Bestimmen einer gemeinsamen Abbildung des Objekts mit erweiterter Schärfentiefe basierend auf einem Zusammensetzen jener Ausschnitte der erfassten Weitfeldzwischenbilder, die den jeweiligen zweidimensionalen Bereichen entsprechen.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

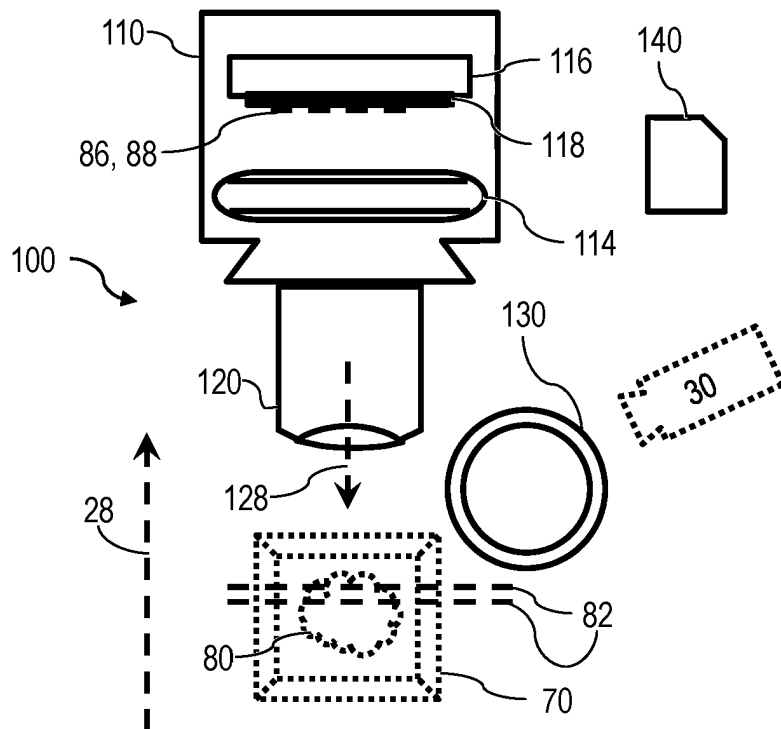


Fig. 1

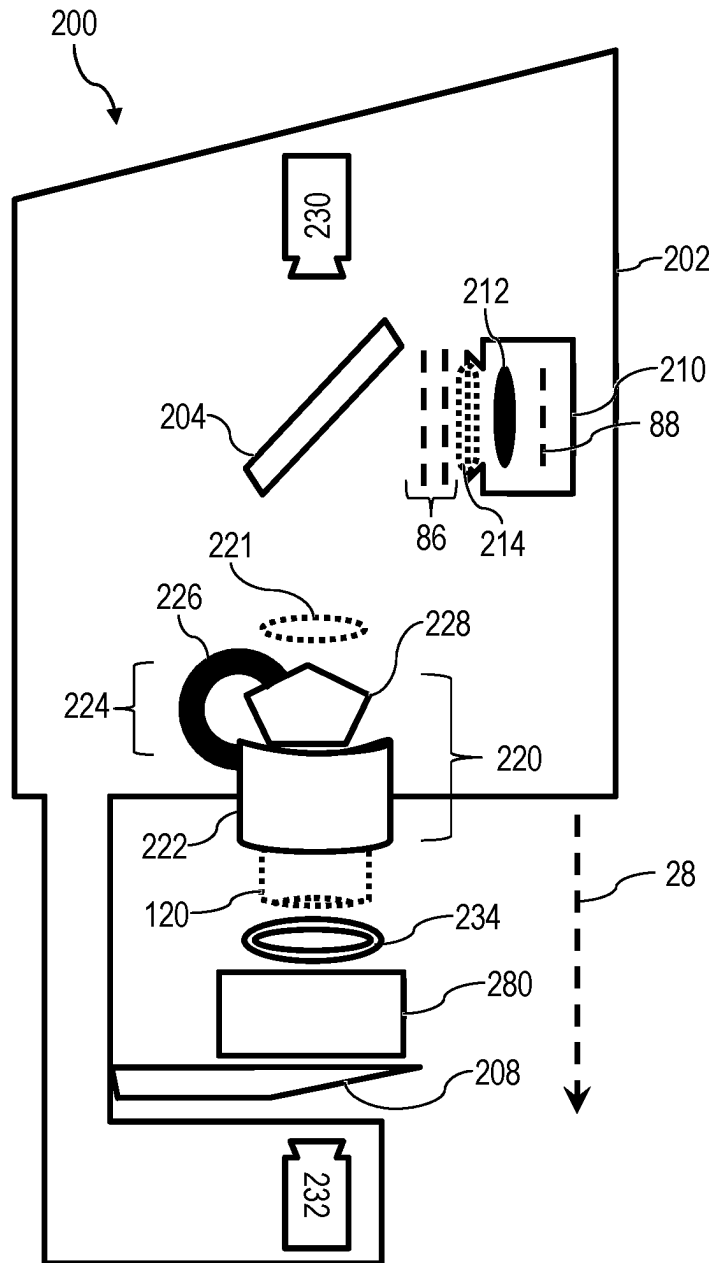


Fig. 2

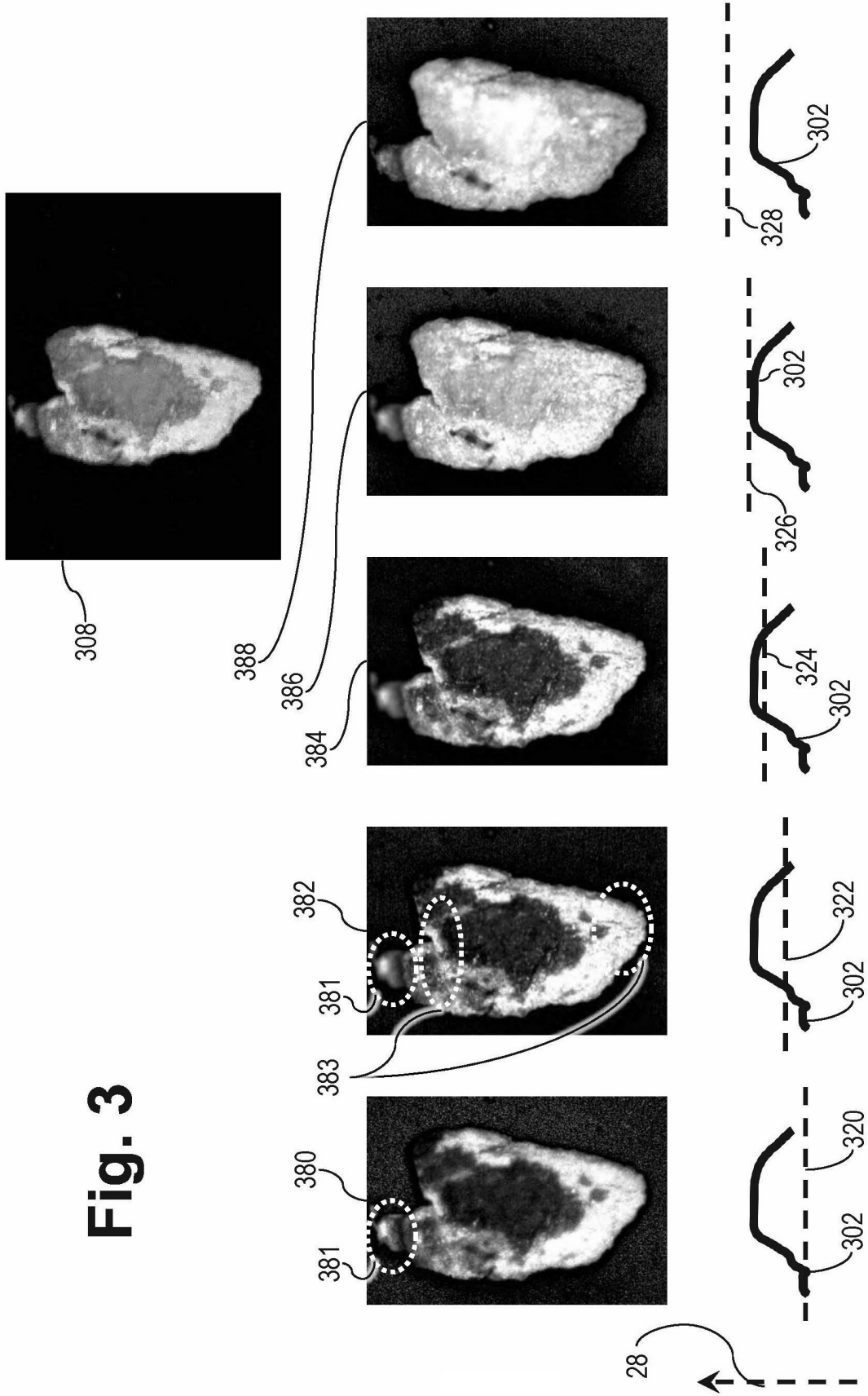


Fig. 3

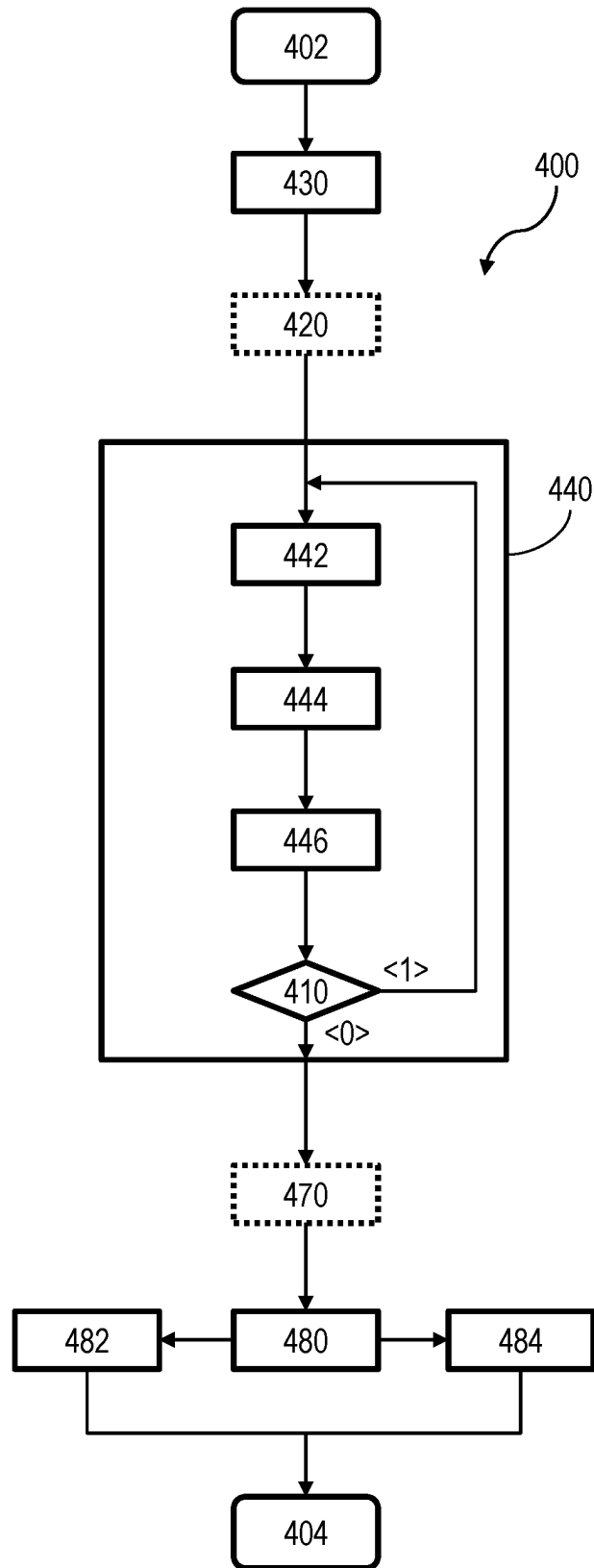


Fig. 4

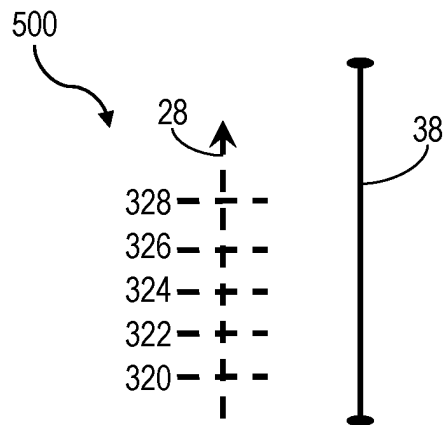


Fig. 5

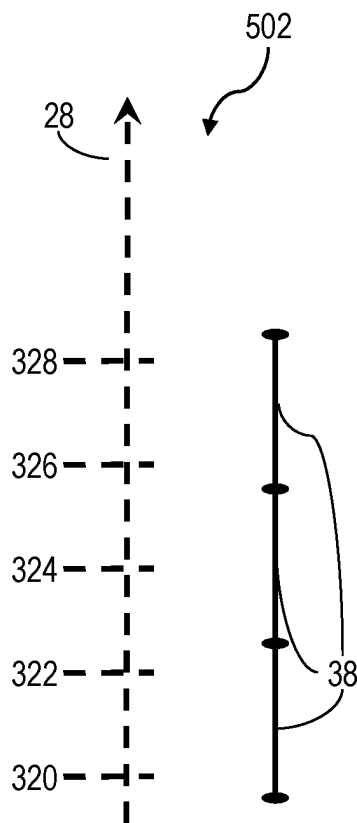


Fig. 6

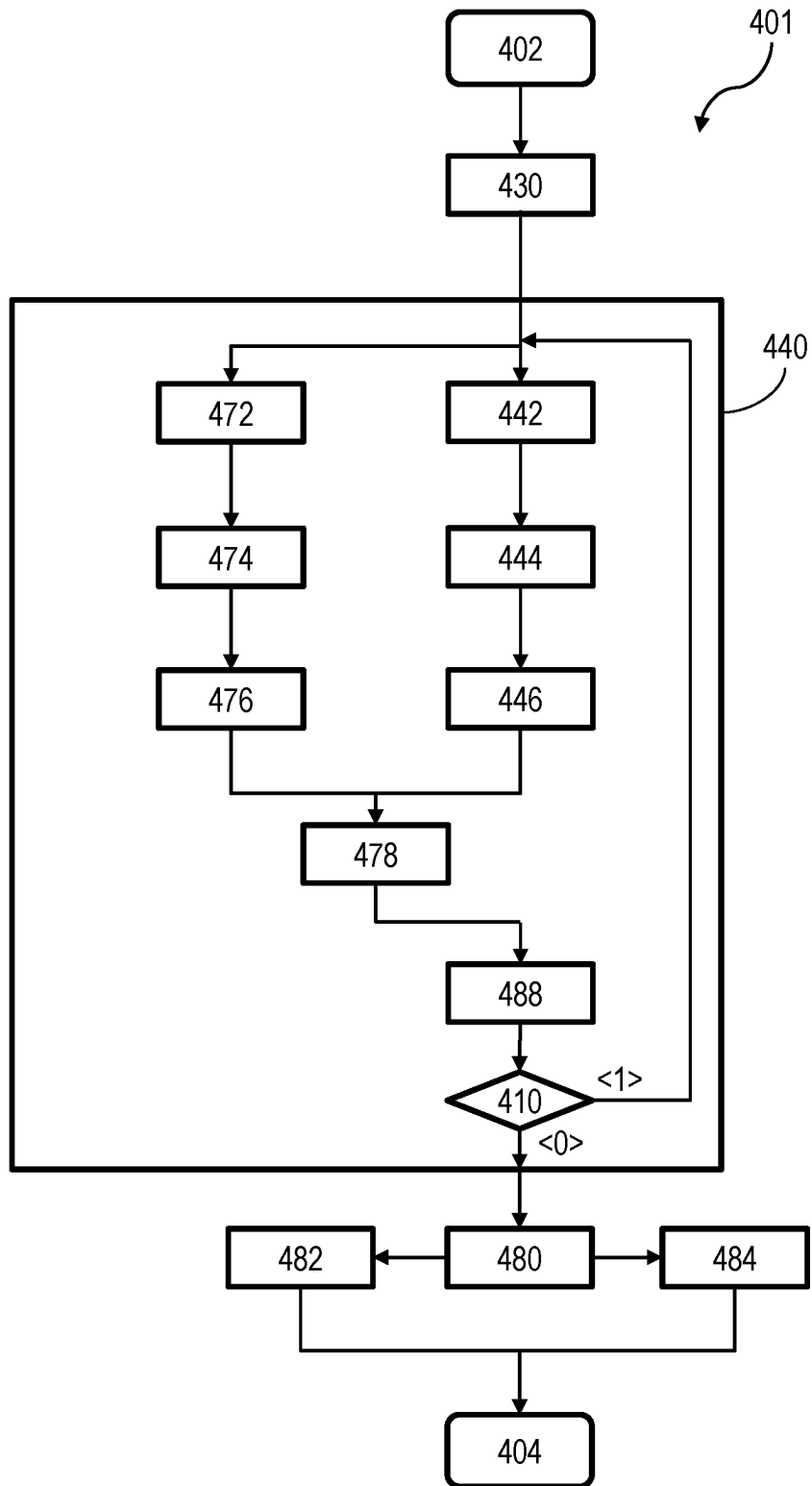


Fig. 7