



(10) **DE 10 2018 123 781 A1** 2020.03.26

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 123 781.2**
(22) Anmeldetag: **26.09.2018**
(43) Offenlegungstag: **26.03.2020**

(51) Int Cl.: **H04N 5/235** (2006.01)
H04N 7/18 (2006.01)
H04N 13/20 (2018.01)
G02B 21/00 (2006.01)
G02B 21/36 (2006.01)
G06T 15/80 (2011.01)

(71) Anmelder:
Carl Zeiss Meditec AG, 07745 Jena, DE

(74) Vertreter:
**PATERIS Theobald Elbel Fischer, Patentanwälte,
PartmbB, 10117 Berlin, DE**

(72) Erfinder:
**Scherer, Dominik, 73430 Aalen, DE; Kohlhammer,
Susanne, 89134 Blaustein, DE; Saur, Stefan,
73430 Aalen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2014 107 933	A1
GB	2 370 440	B
US	2009 / 0 268 053	A1
US	2010 / 0 188 497	A1
US	2018 / 0 059 398	A1
EP	2 796 916	A1
WO	2017/ 104 271	A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

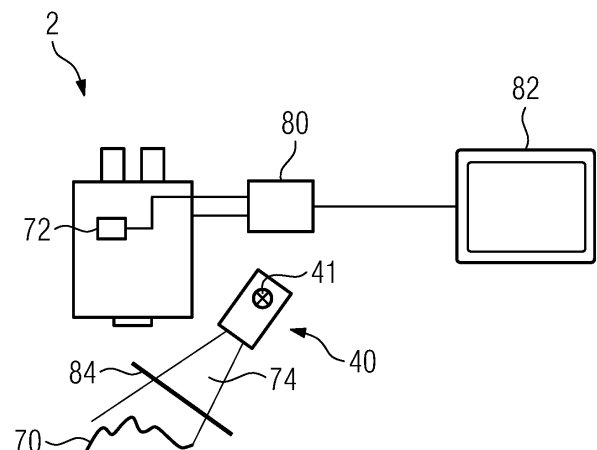
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Durchführen einer Shading-Korrektur und optisches Beobachtungsgerätesystem**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zum Durchführen einer Shading-Korrektur für ein mit wenigstens einem Bildsensor (23, 63) eines optischen Beobachtungsgeräts (2, 48) gewonnenes digitales Bild von einem dreidimensionalen Beobachtungsobjekt (70), welches mit einer bestimmten Intensitätsverteilung aufweisendem Beleuchtungslicht (74) beleuchtet wird, wobei im digitalen Bild von dem Beobachtungsobjekt (70) eine Inhomogenität in der Bildhelligkeit vorliegt, zur Verfügung gestellt. Die Shading-Korrektur erfolgt durch

- Ermitteln der Topografie des dreidimensionalen Beobachtungsobjekts (70); und
- Korrigieren der Inhomogenität in der Bildhelligkeit des digitalen Bildes anhand wenigstens der ermittelten Topografie und der Intensitätsverteilung des Beleuchtungslichts (74).

Daneben wird ein optisches Beobachtungsgerätesystem mit Mitteln zum Durchführen des Verfahrens zur Verfügung gestellt.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Durchführen einer Shading-Korrektur für ein mit einem Bildsensor eines optischen Beobachtungsgeräts gewonnenes digitales Bild von einem dreidimensionalen Beobachtungsobjekt, welches mit einer bestimmten Intensitätsverteilung aufweisendem Beleuchtungslicht beleuchtet wird. Daneben betrifft die vorliegende Erfindung ein optisches Beobachtungsgerätesystem mit einem optischen Beobachtungsgerät, welches wenigstens einen Bildsensor zum Aufnehmen digitaler Bilder von einem dreidimensionalen Beobachtungsobjekt umfasst, und einer Beleuchtungseinrichtung zum Beleuchten des Beobachtungsobjekts mit einer bestimmten Intensitätsverteilung aufweisendem Beleuchtungslicht. Das optische Beobachtungsgerät mit dem Bildsensor kann ein Mikroskop sein, insbesondere ein Stereomikroskop wie beispielsweise ein Operationsmikroskop.

[0002] Bei manchen optischen Beobachtungsgeräten, etwa bei Operationsmikroskopen, aber gelegentlich auch bei anderen Mikroskopen, soll eine Mittenbetonung der Beleuchtung für einen angenehmen Seheindruck beim Einblick in ein Okular sorgen. Eine Mittenbetonung der Beleuchtung bedeutet dabei, dass die Beleuchtungsintensität im Objektfeld so eingestellt wird, dass die Bildhelligkeit am Rand des mit dem Okular betrachteten Bildfeldes gegenüber dem Zentrum des Bildfeldes abfällt. Dies soll im optischen Pfad, d.h. wenn der Nutzer mit einem Okular ein mit rein optischen Mitteln generiertes Zwischenbild betrachtet, für ein angenehmeres Sehen sorgen. Von besonderer Bedeutung ist die mittenbetonte Beleuchtung aber für Fluoreszenzanwendungen. In diesen liegt der interessierende Bereich des Objektfeldes in der Regel im Zentrum des Bildfeldes. Durch die Beleuchtung des Objektfeldes derart, dass die Bildhelligkeit im Zentrum des Bildfeldes höher als an seinem Rand ist, führt dabei dazu, dass die Intensität der Beleuchtung im interessierenden Bereich des Objektfeldes, d.h. in dem Bereich, an dem die Fluoreszenz angeregt werden soll, gegenüber den umgebenden Bereichen erhöht ist. Dies führt zu einem besonders starken Fluoreszenzsignal, was vor allem bei sogenannten niedriggradigen Tumoren eine hohe Bedeutung hat.

[0003] Wird das Bildfeld statt mit einem Okular betrachtet zu werden von einem Bildsensor aufgenommen und schließlich auf einem Monitor dargestellt, wirkt sich die zum Rand hin abfallende Bildhelligkeit jedoch negativ aus. Daher ist man bemüht, diesen Randabfall mit Hilfe einer sogenannten Shading-Korrektur zu korrigieren, um zu einer gleichmäßigen Bildhelligkeit im gesamten digitalen Bild zu gelangen.

[0004] Eine zum Rand hin abfallende Bildhelligkeit kann statt durch eine mittenbetonte Beleuchtung

auch durch Vignettierungen, Linsentrübungen, Verunreinigungen, etc. im Beobachtungsstrahlengang verursacht werden. Bei Proben, die sich in Tröpfchen befinden, kann zudem eine Inhomogenität in der Beleuchtung beim Durchtritt des Beleuchtungslichtes durch die Tröpfchen hervorgerufen werden.

[0005] Um derartige Inhomogenität auszugleichen, sind Shading-Verfahren bekannt, in denen wenigstens ein Bild von dem Objektfeld aufgenommen wird, ohne dass sich darin eine Probe befindet, um daraus die Verteilung der Beleuchtungsintensität in der Objektebene zu ermitteln und schließlich einen Korrekturfaktor zu berechnen, der dann auf das Bild mit dem im Objektfeld befindlichen Beobachtungsobjekt angewendet wird. Derartige Verfahren zur Shading-Korrektur sind beispielsweise in US 2010/0188497 A1 und DE 10 2014 107 933 A1 beschrieben.

[0006] Daneben sind Shading-Korrekturen anhand von Algorithmen bekannt. Die US 2009/0268053 A1 und die US 2018/0059398 A1 beschreiben eine Shading-Korrektur, in denen für jedes Pixel im digitalen Bild ein Korrekturfaktor berechnet wird. In US 2009/0268053 A1 erfolgt das Berechnen der Korrekturfaktoren anhand der Aufnahme von Rohbildern mit wenigstens zwei unterschiedlichen Standardbeleuchtungen, für die jeweils Korrekturen berechnet werden. Diese Korrekturen werden gespeichert und beim Aufnehmen eines Bildes wird eine der Korrekturen in Abhängigkeit von der Beleuchtungssituation ausgewählt. In US 2018/0059398 A1 werden erste und zweite Bildgruppen aus unterschiedlichen Richtungen aufgenommen und die Korrekturfaktoren auf der Basis dieser Bilder berechnet. Aus EP 2 796 916 A1 ist außerdem ein Verfahren zur Shading-Korrektur bekannt, in dem ein Korrekturbild aus einer Anzahl von Bildern mit einem gemeinsamen Bildabschnitt berechnet wird. Die G 2 370 440 B beschreibt zudem ein Verfahren zur Shading-Korrektur, in dem beim Berechnen der Shading-Korrektur der Einfallswinkel des Beleuchtungslichtes auf einen Film Berücksichtigung findet.

[0007] Die beschriebenen Verfahren zur Shading-Korrektur liefern gute Ergebnisse, wenn die Beleuchtungssituation bei der eigentlichen Aufnahme im Wesentlichen der Beleuchtungssituation bei der Aufnahme des Referenzbildes entspricht und sich das Beobachtungsobjekt im Wesentlichen innerhalb der Objektebene liegt, für die die Referenzmessungen durchgeführt worden sind. Bei manchen optischen Beobachtungsgeräten wie beispielsweise bei Operationsmikroskopen sind diese Voraussetzungen jedoch nicht erfüllt. Bei Operationsmikroskopen weisen die beobachteten Beobachtungsobjekte in der Regel eine dreidimensionale Topographie auf. Zudem kann sich während der Anwendung des Operationsmikroskops, also beispielsweise während einer Operation, die Orientierung des Operationsmikro-

skops relativ zum Beobachtungsobjekt variieren, wodurch sich der Beleuchtungswinkel, unter dem das Objekt beleuchtet wird, ändert. Insbesondere bei Objekten mit ausgeprägt dreidimensionaler Topographie ist die Variation der in der Bildhelligkeit sehr stark vom Beleuchtungswinkel abhängig und zudem auch von der Verteilung der Beleuchtung über den Beleuchtungslichtkegel. Die beschriebenen Verfahren zur Shading-Korrektur liefern daher häufig keine befriedigenden Ergebnisse. Im Falle anderer Auflichtmikroskope (bei denen die Beleuchtung das Beobachtungsobjekt nicht durchstrahlt) als Operationsmikroskopen können bei Beobachtungsobjekten mit ausgeprägt dreidimensionaler Topographie ähnliche Schwierigkeiten auftreten, so dass die beschriebenen Verfahren zur Shading-Korrektur auch bei anderen Auflichtmikroskopen unbefriedigende Ergebnisse liefern können.

[0008] Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein vorteilhaftes Verfahren zum Durchführen einer Shading-Korrektur zur Verfügung zu stellen, welches insbesondere auch für einen großen Bereich an Orientierungen eines optischen Beobachtungsgeräts relativ zum Beobachtungsobjekt gute Ergebnisse liefert. Daneben ist es eine Aufgabe der Erfindung, ein vorteilhaftes optisches Beobachtungssystem mit einem optischen Beobachtungsgerät zur Verfügung zu stellen, welches mit einer Shading-Korrekturereinrichtung ausgestattet ist, die insbesondere auch für einen großen Bereich an Orientierungen des optischen Beobachtungsgeräts relativ zum Beobachtungsobjekt gute Ergebnisse liefert.

[0009] Die erste Aufgabe wird durch ein Verfahren zum Durchführen einer Shading-Korrektur nach Anspruch 1 gelöst, die zweite Aufgabe durch ein optisches Beobachtungsgerätesystem nach Anspruch 13. Die abhängigen Ansprüche enthalten vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

[0010] Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zum Durchführen einer Shading-Korrektur für ein mit einem Bildsensor eines optischen Beobachtungsgerätes gewonnenes digitales Bild von einem dreidimensionalen Beobachtungsobjekt, welches mit einer bestimmten Intensitätsverteilung aufweisenden Beleuchtungslicht beleuchtet wird, wobei im digitalen Bild von dem Beobachtungsobjekt eine Inhomogenität in der Bildhelligkeit vorliegt, zur Verfügung gestellt. Das optische Beobachtungsgerät kann beispielsweise ein Mikroskop, insbesondere ein Auflichtmikroskop wie etwa ein Operationsmikroskop sein. Das Verfahren umfasst die Schritte:

- Ermitteln der Topographie des dreidimensionalen Beobachtungsobjekts; und
- Korrigieren der Inhomogenität in der Bildhelligkeit des digitalen Bildes anhand wenigstens der ermittelten Topographie und der Intensitäts-

verteilung des Beleuchtungslichtes. Die Inhomogenität in der Bildhelligkeit kann dabei durch ein vorgegebenes inhomogenes Intensitätsprofil des Beleuchtungslichtes zumindest mitverursacht sein, wobei das vorgegebene Intensitätsprofil dann in der Intensitätsverteilung des Beleuchtungslichtes Berücksichtigung findet.

[0011] Da im erfindungsgemäßen Verfahren neben der Intensitätsverteilung des Beleuchtungslichtes auch die ermittelte Topographie Berücksichtigung finden, kann die Shading-Korrektur auch bei ausgeprägt dreidimensionalen Topographien für einen großen Bereich an Beleuchtungswinkeln genau ermittelt werden. Die Topographie des dreidimensionalen Beobachtungsobjektes gibt dabei die geometrische Gestaltung der Oberfläche des Beobachtungsobjekts beispielsweise in Form einer Tiefenkarte an.

[0012] Das Korrigieren der Inhomogenität in der Bildhelligkeit des digitalen Bildes kann insbesondere ein Ermitteln von Korrekturfaktoren für die Helligkeit der Pixel oder für die Helligkeit von Pixelgruppen im digitalen Bild umfassen. Dabei besteht auch die Möglichkeit, die Verwendung von Korrekturfaktoren für einzelne Pixel oder von Korrekturfaktoren für Pixelgruppen vom Ort im Bild abhängig zu machen. Beispielsweise kann es in Bildern oder in Bildbereichen, in denen die Intensitätsverteilung im Beleuchtungslicht sowie die geometrischen und topografischen Gegebenheiten nur zu schwach variierender Bildhelligkeit führen, ausreichen, Korrekturfaktoren für Pixelgruppen zu berechnen, wohingegen es in Bildern oder Bildbereichen, in denen die Intensitätsverteilung im Beleuchtungslicht sowie die geometrischen und topografischen Gegebenheiten zu stark variierender Bildhelligkeit führen, vorteilhaft sein kann, von Korrekturfaktoren für einzelne Pixel zu berechnen. Durch das Ermitteln von Korrekturfaktoren für die Helligkeit der Pixel oder für die Helligkeit von Pixelgruppen im digitalen Bild wird eine Shading-Korrektur möglich, die für unterschiedliche Gegebenheiten jeweils die notwendige Auflösung in der Korrektur ermöglicht.

[0013] Für die Berechnung der Korrekturfaktoren kann insbesondere die Inverse der Intensitätsverteilung des Beleuchtungslichtes innerhalb einer virtuellen Ebene, deren Lage in Bezug auf das Beobachtungsobjekt bekannt ist, gebildet werden. Die Korrekturfaktoren werden dann anhand einer Projektion der innerhalb der virtuellen Ebene gebildeten Inversen der Intensitätsverteilung auf die Topographie des dreidimensionalen Beobachtungsobjektes berechnet. Unter einer virtuellen Ebene soll in diesem Zusammenhang eine gedachte Ebene in einer beliebigen Orientierung zum Beobachtungsobjekt zu verstehen sein, die den Beleuchtungslichtkegel schneidet, solange die Orientierung so ist, dass der Beleuchtungslichtkegel in der virtuellen Ebene von einer geschlossenen Kontur bspw. in Form eines Krei-

ses oder einer Ellipse begrenzt ist. In dieser Ausgestaltung liefert die Inverse der Intensitätsverteilung des Beleuchtungslichtes innerhalb der virtuellen Ebene ein Maß für die Intensitätsverteilung des Beleuchtungslichtes, welches dann durch die Projektion auf die Topographie für jeden Pixel oder jede Pixelgruppe geeignet skaliert werden kann.

[0014] Die Intensitätsverteilung des Beleuchtungslichtes innerhalb der virtuellen Ebene kann durch eine Kalibrierungsmessung ermittelt werden. Alternativ kann die Intensitätsverteilung des Beleuchtungslichtes innerhalb der virtuellen Ebene unter Berücksichtigung der Abstrahlcharakteristik der das Beleuchtungslicht aussendenden Beleuchtungslichtquelle sowie der Lage und ggf. der Orientierung der Beleuchtungslichtquelle (falls diese nicht als Punktlichtquelle angesehen werden kann) in Bezug auf die virtuelle Ebene berechnet werden. Bei dieser Berechnung kann außerdem wenigstens einer der folgenden Einstellparameter einer die Beleuchtungslichtquelle enthaltenden Beleuchtungseinrichtung berücksichtigt werden: Ein Einstellparameter, der eine Zoomstellung der Beleuchtungseinrichtung kennzeichnet, ein Einstellparameter, der einen Fokusabstand der Beleuchtungseinrichtung kennzeichnet, ein Einstellparameter, der eine Blendeneinstellung der Beleuchtungseinrichtung kennzeichnet. Eine Berücksichtigung eines oder mehrerer dieser Parameter ermöglicht es, für jede Einstellung der Beleuchtungseinrichtung die Intensitätsverteilung des Beleuchtungslichtes innerhalb der virtuellen Ebene mit hinreichender Genauigkeit zu berechnen. Im Falle von Kalibrierungsmessungen können Kalibrierungsmessungen für unterschiedliche Kombinationen der genannten Parameter stattfinden. Die Kalibrierungsmessung hat gegenüber der Berechnung den Vorteil, dass sie eine höhere Genauigkeit beim Ermitteln der Intensitätsverteilung des Beleuchtungslichtes innerhalb der virtuellen Ebene ermöglicht. Beim Berechnen der Intensitätsverteilung fällt dagegen der Zusatzaufwand für die Kalibrierungsmessung weg. Je nachdem, wie hoch die benötigte Genauigkeit ist, kann also entweder das Kalibrierungsverfahren oder das Berechnungsverfahren zur Anwendung kommen. Wenn beim Ermitteln der Intensitätsverteilung des Beleuchtungslichtes innerhalb der virtuellen Ebene Einstellparameter berücksichtigt werden, die eine Zoomstellung und/oder einen Fokusabstand und/oder eine Blendeneinstellung der Beleuchtungseinrichtung kennzeichnen, reicht es in der Regel aus, für einige wenige Zoomstufen und/oder Fokusabstände und/oder Blendeneinstellungen jeweils eine Kalibrierungsmessung vorzunehmen oder eine Intensitätsverteilung zu berechnen. Intensitätsverteilungen innerhalb der virtuellen Ebene bei Parameterwerten der Zoomstellung und/oder des Fokusabstandes und/oder der Blendeneinstellung, die nicht den während der Kalibrierungsmessungen verwendeten Parameterwerten bzw. den bei der Berechnung der

Intensitätsverteilung verwendeten Parameterwerten entsprechen, können aus den bei dem Kalibrierungsmessungen ermittelten Intensitätsverteilungen bzw. aus den berechneten Intensitätsverteilungen interpoliert werden.

[0015] Es ist vorteilhaft, wenn die Intensitätsverteilung innerhalb der virtuellen Ebene vor der Projektion auf die Topographie des dreidimensionalen Beobachtungsobjektes normiert wird. Durch die Normierung wird der Intensitätsverteilung innerhalb der virtuellen Ebene unabhängig von der absoluten Intensität der Beleuchtungslichtquelle. Die Normierung kann dabei insbesondere bei einer mittenbetonten Beleuchtung so erfolgen, dass der Wert der normierten Intensitätsverteilung innerhalb der virtuellen Ebene im Zentrum des innerhalb der virtuellen Ebene gebildeten Lichtflecks den Wert „1“ besitzt, so dass keine durch die Shading-Korrektur verursachte Korrektur der Bildhelligkeit im Zentrum des Bildes stattfindet und die Korrektur auf die Randbereiche des Bildes beschränkt ist..

[0016] Zum Ermitteln der Topographie des dreidimensionalen Beobachtungsobjektes stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. In einem ersten Verfahren ist das optische Beobachtungsgerät zum Aufnehmen stereoskopischer Bilder ausgebildet. In diesem Fall wird die Topographie des dreidimensionalen Beobachtungsobjektes anhand der aufgenommenen stereoskopischen Bilder ermittelt. Dieses Verfahren ist insbesondere bei Stereomikroskopen, die in jedem Stereokanal bereits einen Bildsensor aufweisen, vorteilhaft, da dann anhand der mit den Kameras aufgenommenen Bilder die Topographie mittels einer geeigneten Software berechnet werden kann, ohne dass die Installation einer zusätzlichen Hardware im Strahlengang des Mikroskops notwendig ist. Zudem ist in dieser Ausgestaltung die Topographie relativ zu den Bildsensoren erfasst, so dass die Topographie im Koordinatensystem des optischen Beobachtungsgeräts und damit der Bildsensoren, mit denen auch das zu korrigierende Bild aufgenommen wird, beschrieben werden kann.

[0017] Eine zweite Möglichkeit zum Ermitteln der Topographie des dreidimensionalen Beobachtungsobjektes besteht darin, die Topographie des dreidimensionalen Beobachtungsobjektes anhand eines mit einem Time-of-Flight-Kamerasystem aufgenommenen Bildes von dem Objekt zu ermitteln. Time-of-Flight-Kamerasysteme zeichnen sich dadurch aus, dass sie Bilder mit einer hohen Bildwiederholrate aufnehmen können, so dass die Topographie des Beobachtungsobjektes mit einer hohen Rate aktualisiert werden kann. Dies ist insbesondere bei Beobachtungsobjekten vorteilhaft, die raschen Änderungen ihrer Topographie unterworfen sind. Falls die Lage und die Orientierung der Bildsensoren relativ zum Beobachtungsobjekt sowie die Lage und die Orientierung des

Time-of-Flight-Kamerasystems relativ zum Beobachtungsobjekt in unterschiedlichen Koordinatensystemen gegeben sind, erfolgt in dieser Ausgestaltung noch eine Koordinatentransformation, um die Topografie im Koordinatensystem der Bildsensoren zu beschreiben.

[0018] Eine dritte Möglichkeit zum Ermitteln der Topographie des Beobachtungsobjektes besteht darin, eine Beleuchtungseinrichtung zum strukturierten Beleuchten des Beobachtungsobjektes vorzusehen und die Topographie des dreidimensionalen Beobachtungsobjektes anhand der Verzerrung der Struktur der Beleuchtung in einem während des strukturierten Beleuchtens aufgenommenen Bild von dem Beobachtungsobjekt, welches insbesondere mit dem wenigstens einen Bildsensor des optischen Beobachtungsgeräts aufgenommen werden kann, zu ermitteln. Die strukturierte Beleuchtung kann insbesondere auch in einer Beleuchtungseinrichtung des optischen Beobachtungsgerätes realisiert sein. Wenn eine strukturierte Beleuchtung zur Anwendung kommt, kann das strukturierte Beleuchten des Beobachtungsobjektes insbesondere in einem Spektralbereich erfolgen, der außerhalb des eigentlichen mit dem optischen Beobachtungsgerät beobachteten Spektralbereichs liegt, also beispielsweise außerhalb des sichtbaren Spektralbereichs oder außerhalb desjenigen Spektralbereichs, in dem eine Fluoreszenz angeregt oder beobachtet werden soll. Diese Ausgestaltung ermöglicht es, die Topographie des Beobachtungsobjektes simultan mit der eigentlichen Beobachtung des Beobachtungsobjektes bzw. der Fluoreszenz zu ermitteln. Anderenfalls muss die Beobachtung für das Ermitteln der Topographie unterbrochen werden. Auch in dieser Ausgestaltung ist die Topografie relativ zu dem Bildsensor erfasst, so dass die Topografie im Koordinatensystem des optischen Beobachtungsgeräts und damit des Bildsensors, mit denen auch das zu korrigierende Bild aufgenommen wird, beschrieben werden kann.

[0019] Eine vierte Möglichkeit zum Ermitteln der Topographie des Beobachtungsobjektes besteht darin, die Topografie des dreidimensionalen Beobachtungsobjektes mit Hilfe eines Laser-Scannersystems zu ermitteln. Falls die Lage und die Orientierung des Laser-Scannersystems relativ zum Beobachtungsobjekt sowie die Lage und die Orientierung des Time-of-Flight-Kamerasystems relativ zum Beobachtungsobjekt in unterschiedlichen Koordinatensystemen gegeben sind, erfolgt in dieser Ausgestaltung noch eine Koordinatentransformation, um die Topografie im Koordinatensystem der Bildsensoren zu beschreiben.

[0020] Im erfindungsgemäßen Verfahren ist es vorteilhaft, wenn die Topographie des dreidimensionalen Beobachtungsobjektes sowie die räumliche Lage und die Orientierung des wenigstens einen Bildsensors alle im selben Koordinatensystem angege-

ben sind. Wenn zum Ermitteln der Korrekturfaktoren die Inverse der Intensitätsverteilung des Beleuchtungslichtes innerhalb einer virtuellen Ebene herangezogen wird, ist es zudem vorteilhaft, wenn auch die Lage und die Orientierung der virtuellen Ebene und die Lage der Lichtquelle im selben Koordinatensystem wie die Topographie des dreidimensionalen Beobachtungsobjektes sowie die räumliche Lage und Orientierung des wenigstens einen Bildsensors angegeben sind. Für den Fall, dass die Lichtquelle nicht als Punktlichtquelle anzusehen ist, würde auch die Orientierung der Lichtquelle vorteilhafter Weise im selben Koordinatensystem angegeben sein. Durch die Verwendung desselben Koordinatensystems kann der Rechenaufwand minimiert werden, da Koordinatentransformationen dann nicht erforderlich sind. Um die Topographie des dreidimensionalen Beobachtungsobjektes und die räumliche Lage und Orientierung des wenigstens einen Bildsensors sowie ggf. die Lage und auch die Orientierung der virtuellen Ebene und die Lage der Lichtquelle (falls diese nicht als Punktlichtquelle angesehen werden kann auch die Orientierung der Lichtquelle) im selben Koordinatensystem zu erhalten, können die Topographie, die Lagen und die Orientierungen bspw. unter Zuhilfenahme eines Navigationssystems ermittelt werden.

[0021] Ein erfindungsgemäßes optisches Beobachtungsgerätesystem umfasst:

- Ein optisches Beobachtungsgerät, welches wenigstens einen Bildsensor zum Aufnehmen digitaler Bilder von einem dreidimensionalen Beobachtungsobjektes umfasst;
- eine Beleuchtungseinrichtung zum Beleuchten des Beobachtungsobjektes mit einer bestimmten Intensitätsverteilung aufweisenden Beleuchtungslicht;
- eine Topographieermittlungseinheit zum Ermitteln der Topographie des Beobachtungsobjektes; und
- Eine Shading-Korrekturereinrichtung.

[0022] Die Shading-Korrekturereinrichtung ist mit dem wenigstens einen Bildsensor zum Empfang des digitalen Bildes sowie mit der Topographieermittlungseinheit zum Empfang der ermittelten Topographie verbunden. Sie ist dazu eingerichtet, anhand der empfangenen Topographie und der bestimmten Intensitätsverteilung eine Inhomogenität in der Bildhelligkeit des digitalen Bildes zu korrigieren.

[0023] In dem erfindungsgemäßen optischen Beobachtungsgerätesystem kann das optische Beobachtungsgerät beispielsweise ein Mikroskop, insbesondere ein Auflichtmikroskop wie etwa ein Operationsmikroskop sein. Außerdem kann die Beleuchtungseinrichtung so ausgestaltet sein, dass sie eine Be-

leuchtung des Beobachtungsobjekts mit einem vorgegebenen inhomogenen Intensitätsprofil, welches die Inhomogenität in der Bildhelligkeit zumindest mitverursacht, ermöglicht.

[0024] Mit dem erfindungsgemäßen optischen Beobachtungssystem lässt sich das erfindungsgemäße Verfahren ausführen, so dass eine Inhomogenität in der Bildhelligkeit des digitalen Bildes auch dann gut ausgeglichen werden kann, wenn das Beobachtungsobjekt eine ausgeprägte dreidimensionale Topographie aufweist und die Richtungen, unter denen das Beobachtungsobjekt betrachtet wird, wechseln können.

[0025] In einer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen optischen Beobachtungssystemes ist die Shading-Korrekturereinrichtung dazu eingerichtet, Korrekturfaktoren für die Helligkeit der Pixel oder für die Helligkeit von Pixelgruppen im digitalen Bild zu ermitteln. Insbesondere kann die Shading-Korrekturereinrichtung dabei dazu eingerichtet sein, die Inverse der Intensitätsverteilung der Beleuchtung innerhalb einer virtuellen Ebene, deren Lage und Orientierung in Bezug auf das Beobachtungsobjekt bekannt ist, zu ermitteln und die Korrekturfaktoren anhand einer Projektion dieser Inversen auf die Topographie des dreidimensionalen Beobachtungsobjektes zu berechnen. Die mit dieser Ausgestaltung der Shading-Korrekturereinrichtung verbundenen Vorteile ergeben sich unmittelbar aus dem mit Bezug auf die entsprechenden Verfahrensschritte beschriebenen Vorteile. Auf die Beschreibung der Verfahrensschritte wird daher verwiesen.

[0026] Im erfindungsgemäßen optischen Beobachtungssystem kann die Topographieeinheit insbesondere umfassen:

- Eine Aufnahmeeinheit zum Aufnehmen stereoskopischer Bilder und eine Berechnungseinheit, welche die Topographie des dreidimensionalen Beobachtungsobjektes anhand der aufgenommenen stereoskopischen Bilder berechnet; oder
- ein Time-of-Flight-Kamerasystem und eine Berechnungseinheit, welche die Topographie des dreidimensionalen Beobachtungsobjektes anhand eines mit dem Time-of-Flight-Kamerasystem aufgenommenen Bildes von dem Beobachtungsobjekt berechnet; oder
- eine Beleuchtungseinrichtung zum Strukturieren Beleuchten des Beobachtungsobjektes, eine Aufnahmeeinheit zum Aufnehmen eines Bildes von dem mit der strukturierten Beleuchtung beleuchteten Beobachtungsobjektes und eine Berechnungseinheit, welche die Topographie des dreidimensionalen Beobachtungsobjektes anhand der Verzerrung der Struktur der

Beleuchtung in dem Bild von dem von der strukturierten Beleuchtung beleuchteten Beobachtungsobjektes berechnet;

- oder ein Laser-Scanner-System.

[0027] Auch die mit den beschriebenen Ausgestaltungen der Topographieermittlungseinheit verbundenen Vorteile ergeben sich unmittelbar aus den Passagen, in denen das Ermitteln der Topographie mit Bezug auf das erfindungsgemäße Verfahren beschrieben worden ist. Auf diese Passagen wird daher verwiesen.

[0028] Zusätzliche vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen optischen Beobachtungssystems können aus der Beschreibung des erfindungsgemäßen Verfahrens abgeleitet werden.

[0029] Weitere Merkmale, Eigenschaften und Vorteile der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen für die Erfindung unter Bezugnahme auf die beiliegenden Figuren.

Fig. 1 zeigt den Aufbau eines Operationsmikroskops mit einem optischen Einblick in einer schematischen Darstellung.

Fig. 2 zeigt schematisch den grundsätzlichen Aufbau eines Varioskopobjektivs.

Fig. 3 zeigt ein digitales Operationsmikroskop in einer schematischen Darstellung.

Fig. 4 zeigt eine erste Variante optisches Beobachtungssystem mit einer Shading-Korrekturereinrichtung.

Fig. 5 zeigt eine zweite Variante optisches Beobachtungssystem mit einer Shading-Korrekturereinrichtung.

Fig. 6 zeigt anhand eines Ablaufdiagramms das Durchführen einer Shading-Korrektur.

Fig. 7 zeigt anhand eines Ablaufdiagramms das Berechnen von Korrekturfaktoren im Rahmen der Shading-Korrektur.

[0030] Nachfolgend wird mit Bezug auf die **Fig. 1** der grundsätzliche Aufbau des Operationsmikroskops **2**, welches in den nachfolgenden Ausführungsbeispielen für die Erfindung das optische Beobachtungsggerät repräsentiert, erläutert. Die Erfindung kann jedoch auch bei anderen Mikroskopen, insbesondere anderen Auflichtmikroskopen zum Einsatz kommen.

[0031] Das in **Fig. 1** gezeigte Operationsmikroskop **2** umfasst als wesentliche Bestandteile ein einem Objektfeld **3** zuzuwendendes Objektiv **5**, das insbesondere als achromatisches oder apochromatisches Objektiv ausgebildet sein kann. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel besteht das Objektiv **5** aus zwei mitein-

ander verkitteten Teillinsen, die ein achromatisches Objektiv bilden. Das Objektfeld **3** wird in der Brennebene des Objektivs **5** angeordnet, so dass es vom Objektiv **5** nach Unendlich abgebildet wird. Mit anderen Worten, ein vom Objektfeld **3** ausgehendes divergentes Strahlenbündel **7** wird bei seinem Durchgang durch das Objektiv **5** in ein paralleles Strahlenbündel **9** umgewandelt.

[0032] Beobachterseitig des Objektivs **5** ist ein Vergrößerungswechsler **11** angeordnet, der entweder wie im dargestellten Ausführungsbeispiel als Zoom-System zur stufenlosen Änderung des Vergrößerungsfaktors oder als so genannter Galilei-Wechsler zur stufenweisen Änderung des Vergrößerungsfaktors ausgebildet sein kann. In einem Zoom-System, das bspw. aus einer Linsenkombination mit drei Linsen aufgebaut ist, können die beiden objektseitigen Linsen verschoben werden, um den Vergrößerungsfaktor zu variieren. Tatsächlich kann das Zoom-System aber auch mehr als drei Linsen, bspw. vier oder mehr Linsen aufweisen, wobei die äußeren Linsen dann auch fest angeordnet sein können. In einem Galilei-Wechsler existieren dagegen mehrere feste Linsenkombinationen, die unterschiedliche Vergrößerungsfaktoren repräsentieren und im Wechsel in den Strahlengang eingebracht werden können. Sowohl ein Zoom-System, als auch ein Galilei-Wechsler wandeln ein objektseitiges paralleles Strahlenbündel in ein beobachterseitiges paralleles Strahlenbündel mit einem anderen Bündeldurchmesser um. Der Vergrößerungswechsler **11** ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel bereits Teil des binokularen Strahlengangs des Operationsmikroskops **1**, d.h. er weist eine eigene Linsenkombination für jeden stereoskopischen Teilstrahlengang **9A**, **9B** des Operationsmikroskops **1** auf. Das Einstellen eines Vergrößerungsfaktors mittels des Vergrößerungswechslers **11** erfolgt im vorliegenden Ausführungsbeispiel über ein motorisch angetriebenes Stellglied, das zusammen mit dem Vergrößerungswechsler **11** Teil einer Vergrößerungswechseleinheit zum Einstellen des Vergrößerungsfaktors ist.

[0033] An den Vergrößerungswechsler **11** schließt sich im vorliegenden Beispiel beobachterseitig eine Schnittstellenanordnung **13A**, **13B** an, über die externe Geräte an das Operationsmikroskop **1** angeschlossen werden können und die im vorliegenden Ausführungsbeispiel Strahlteilerprismen **15A**, **15B** umfasst. Grundsätzlich können aber auch andere Arten von Strahlteilern Verwendung finden, bspw. teildurchlässige Spiegel. Die Schnittstellen **13A**, **13B** dienen im vorliegenden Beispiel zum Auskoppeln eines Strahlenbündels aus dem Strahlengang des Operationsmikroskops **2** (Strahlteilerprisma **15B**) bzw. zum Einkoppeln eines Strahlenbündels in den Strahlengang des Operationsmikroskops **2** (Strahlteilerprisma **15A**). Sie können jedoch auch beide zum Auskoppeln eines Strahlenbündels aus

dem Strahlengang des Operationsmikroskops **2** oder beide zum Einkoppeln eines Strahlenbündels in den Strahlengang des Operationsmikroskops **2** ausgebildet sein.

[0034] Das Strahlteilerprisma **15A** in dem Teilstrahlengang **9A** dient im vorliegenden Ausführungsbeispiel dazu, mit Hilfe eines Displays **37**, bspw. einer Digital Mirror Device (DMD) oder eines LCD-Displays, und einer zugehörigen Optik **39** über das Strahlteilerprisma **15A** Informationen oder Daten für einen Betrachter in den Teilstrahlengang **9A** des Operationsmikroskops **1** einzuspiegeln. Im anderen Teilstrahlengang **9B** ist an der Schnittstelle **13B** ein Kameraadapter **19** mit einer daran befestigten Kamera **21** angeordnet, die mit einem elektronischen Bildsensor **23**, bspw. mit einem CCD-Sensor oder einem CMOS-Sensor, ausgestattet ist. Mittels der Kamera **21** kann ein elektronisches und insbesondere ein digitales Bild des Gewebebereichs **3** aufgenommen werden. Als Bildsensor kann insbesondere auch ein Hyper-Spektralsensor Verwendung finden, in dem nicht nur drei Spektralkanäle (bspw. rot, grün und blau) vorhanden sind, sondern eine Vielzahl von Spektralkanälen. Wenn beide Schnittstellen **13A**, **13B** zum Auskoppeln eines Strahlenbündels aus dem Strahlengang des Operationsmikroskops **2** ausgebildet sind, kann an beide Schnittstellen **13A**, **13B** jeweils ein Kameraadapter **19** mit einer daran befestigten Kamera **21** angeordnet sein. Auf diese Weise können stereoskopische Bilder aufgenommen werden.

[0035] An die Schnittstelle **13** schließt sich im vorliegenden Beispiel beobachterseitig ein Binokulartubus **27** an. Dieser weist zwei Tubusobjektive **29A**, **29B** auf, welche das jeweilige parallele Strahlenbündel **9A**, **9B** auf eine Zwischenbildebene **31** fokussieren, also das Beobachtungsobjekt **3** auf die jeweilige Zwischenbildebene **31A**, **31B** abbilden. Die in den Zwischenbildebenen **31A**, **31B** befindlichen Zwischenbilder werden schließlich von Okularlinsen **35A**, **35B** wiederum nach Unendlich abgebildet, so dass ein Betrachter das Zwischenbild mit entspanntem Auge betrachten kann. Außerdem erfolgt im Binokulartubus mittels eines Spiegelsystems oder mittels Prismen **33A**, **33B** eine Vergrößerung des Abstandes zwischen den beiden Teilstrahlenbündeln **9A**, **9B**, um diesen an den Augenabstand des Betrachters anzupassen. Mit dem Spiegelsystem oder den Prismen **33A**, **33B** erfolgt zudem eine Bildaufrichtung.

[0036] Das Operationsmikroskop **2** ist außerdem mit einer Beleuchtungseinrichtung **40** ausgestattet, mit der das Objektfeld **3** mit Beleuchtungslicht beleuchtet werden kann. Hierzu weist die Beleuchtungseinrichtung **40** im vorliegenden Beispiel eine Weißlichtquelle **41**, etwa eine Halogenglühlampe oder eine Gasentladungslampe, auf. Das von der Weißlichtquelle **41** ausgehende Licht wird über einen Umlenkspiegel **43** oder ein Umlenkprisma in Rich-

tung auf das Objektfeld **3** gelenkt, um dieses auszu-
leuchten. In der Beleuchtungseinrichtung **40** ist wei-
terhin eine Beleuchtungsoptik **45** vorhanden, die für
eine gleichmäßige Ausleuchtung des gesamten be-
obachteten Objektfeldes **3** sorgt. Die Beleuchtungs-
optik **45** kann dabei auch ein Zoom-System umfassen,
mit dem sich die Größe des Beleuchtungslichtflecks
verändern lässt, und/oder ein System, mit dem sich
der Fokusabstand der Beleuchtungsoptik variieren
lässt. Außerdem kann die Beleuchtungseinrichtung
40 eine Lichtquelle zum Aussenden von Licht, wel-
ches im Beobachtungsobjekt eine Fluoreszenz an-
regt ausgestattet sein. Alternativ kann wie in **Fig. 1**
dargestellt ein Spektralfilter **47** vorhanden sein, der
in den Beleuchtungsstrahlengang eingebracht wer-
den kann und der aus dem Licht der Weißlichtquelle
41 nur diejenigen spektralen Bestandteile passieren
lässt, die im Beobachtungsobjekt eine Fluoreszenz
anregen. In den Beleuchtungsstrahlengang werden
dann Filter **40A**, **40B** eingebracht, welche diejeni-
gen spektralen Bestandteile, die im Beobachtungs-
objekt die Fluoreszenz anregen blockieren. Die Be-
leuchtungseinrichtung **40** umfasst ferner eine Einrich-
tung, welche eine Beleuchtung des Beobachtungsob-
jekts mit einem vorgegebenen inhomogenen Intensi-
tätsprofil ermöglicht. Die Einrichtung umfasst in dem
in **Fig. 1** gezeigten Beispiel eine oder mehrere in der
Figur schematisch eingezeichnete Blenden und/oder
Linsen **49**, mit dem sich das Profil des von der Licht-
quelle ausgehenden Beleuchtungslichtkegels beein-
flussen lässt. Insbesondere lässt sich mit der Einrich-
tung ein mittenbetontes Beleuchtungsprofil generie-
ren. Die wenigstens eine Blende und/oder wenigst-
ens eine Linse **49** kann bzw. können bei Bedarf in
den Beleuchtungsstrahlengang eingebracht werden.
Wenn dauerhaft ein mittenbetontes Beleuchtungs-
profil zur Anwendung kommen soll, kann in alter-
nativen Ausgestaltungen die wenigstens eine Blen-
de und/oder wenigstens eine Linse **49** permanent
im Strahlengang angeordnet sein. Weiterhin kann die
Beleuchtungseinrichtung Blenden umfassen, mit de-
nen sich eine scharfe Begrenzung des Leuchtfeldes
im Objektfeld herbeiführen lässt.

[0037] Es sei darauf hingewiesen, dass der in **Fig. 1**
dargestellte Beleuchtungsstrahlengang stark sche-
matisiert ist und nicht notwendigerweise den tatsäch-
lichen Verlauf des Beleuchtungsstrahlengangs wie-
dergibt. Grundsätzlich kann der Beleuchtungsstrah-
lengang als sogenannte Schrägbeleuchtung ausge-
führt sein, die der schematischen Darstellung in
Fig. 1 am nächsten kommt. In einer solchen Schräg-
beleuchtung verläuft der Strahlengang in einem re-
lativ großen Winkel (6° oder mehr) zur optischen
Achse des Objektivs **5** und kann, wie in **Fig. 1** dar-
gestellt, vollständig außerhalb des Objektivs verlau-
fen. Alternativ besteht jedoch auch die Möglichkeit,
den Beleuchtungsstrahlengang der Schrägbeleuch-
tung durch einen Randbereich des Objektivs **5** hin-
durch verlaufen zu lassen. Eine weitere Möglichkeit

zur Anordnung des Beleuchtungsstrahlengangs ist
die sogenannte 0° -Beleuchtung, bei der der Beleuch-
tungsstrahlengang durch das Objektiv **5** hindurch ver-
läuft und zwischen den beiden Teilstrahlengängen
9A, **9B**, entlang der optischen Achse des Objektivs
5 in Richtung auf das Objektfeld **3** in das Objek-
tiv eingekoppelt wird. Schließlich besteht auch die
Möglichkeit, den Beleuchtungsstrahlengang als so-
genannte koaxiale Beleuchtung auszuführen, in der
ein erster und ein zweiter Beleuchtungsteilstrah-
lengang vorhanden sind. Die Beleuchtungsteilstrah-
lengänge werden über einen oder mehrere Strahltei-
ler parallel zu den optischen Achsen der Beobach-
tungsteilstrahlengänge **9A**, **9B** in das Operationsmi-
kroskop eingekoppelt, so dass die Beleuchtung ko-
axial zu den beiden Beobachtungsteilstrahlengängen
verläuft.

[0038] In der in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsvari-
ante des Operationsmikroskops **2** besteht das Ob-
jektiv **5** lediglich aus einer festbrennweitigen Achro-
matlinse. Es kann jedoch auch ein Objektivlinsen-
system aus mehreren Linsen Verwendung finden, ins-
besondere ein so genanntes Varioskopobjektiv, mit
dem sich der Arbeitsabstand des Operationsmikro-
skops **2**, d.h. der Abstand der objektseitigen Bren-
ebene vom Scheitel der ersten objektseitigen Linsen-
fläche des Objektivs **5**, auch Objektschnittweite ge-
nannt, variieren lässt. Auch vom Varioskopobjektiv **50**
wird das in der Brennebene angeordnete Objektfeld **3**
nach Unendlich abgebildet, so dass beobachterseitig
ein paralleles Strahlenbündel vorliegt.

[0039] Ein Beispiel für ein Varioskopobjektiv ist
schematisch in **Fig. 2** dargestellt. Das Variosko-
pobjektiv **50** umfasst ein Positivglied **51**, also ein op-
tisches Element mit positiver Brechkraft, das in **Fig. 2**
schematisch als Konkavlinse dargestellt ist. Darüber
hinaus umfasst das Varioskopobjektiv **50** ein Nega-
tivglied **52**, also ein optisches Element mit negativer
Brechkraft, das in **Fig. 2** schematisch als Konkavlinse
dargestellt ist. Das Negativglied **52** befindet sich zwi-
schen dem Positivglied **51** und dem Objektfeld **3**. Im
dargestellten Varioskopobjektiv **50** ist das Nega-
tivglied **52** fix angeordnet, wohingegen das Positiv-
glied **51** wie durch den Doppelpfeil **53** angedeutet entlang
der optischen Achse OA verschiebbar angeordnet ist.
Wenn das Positivglied **51** in die in **Fig. 2** gestrichelt
dargestellte Position verschoben wird, verlängert sich
die Schnittweite, so dass sich der Arbeitsabstand des
Operationsmikroskops **2** vom Objektfeld **3** ändert.

[0040] Obwohl in **Fig. 2** das Positivglied **51** ver-
schiebbar ausgestaltet ist, besteht grundsätzlich
auch die Möglichkeit, das Negativglied **52** statt des
Positivglieds **51** entlang der optischen Achse OA be-
wegbar anzuordnen. Das Negativglied **52** bildet je-
doch häufig die Abschlusslinse des Varioskopobjek-
tivs **50**. Ein feststehendes Negativglied **52** bietet da-
her den Vorteil, dass das Innere des Operationsmi-

kroskops **2** leichter gegen äußere Einflüsse abgedichtet werden kann. Weiterhin sei angemerkt, dass, obwohl das Positivglied **51** und das Negativglied **52** in **Fig. 2** lediglich als Einzellinsen dargestellt sind, jedes dieser Glieder statt in Form einer Einzellinse auch in Form einer Linsengruppe oder eines Kittglieds realisiert sein kann, bspw. um das Varioskopobjektiv achromatisch oder apochromatisch auszubilden.

[0041] **Fig. 3** zeigt ein Beispiel für ein digitales Operationsmikroskop **48** in einer schematischen Darstellung. Bei diesem Operationsmikroskop unterscheiden sich das Hauptobjektiv **5**, der Vergrößerungswechsler **11** sowie das Beleuchtungssystem **41**, **43**, **45** nicht von dem in **Fig. 1** dargestellten Operationsmikroskop **2** mit optischem Einblick. Der Unterschied liegt darin, dass das in **Fig. 3** gezeigte Operationsmikroskop **48** keinen optischen Binokulartubus umfasst. Statt der Tubusobjektive **29A**, **29B** aus **Fig. 1** umfasst das Operationsmikroskop **48** aus **Fig. 3** Fokussierlinsen **49A**, **49B** mit denen die binokularen Beobachtungsstrahlengänge **9A**, **9B** auf digitale Bildsensoren **61A**, **61B** abgebildet werden. Die digitalen Bildsensoren **61A**, **61B** können dabei beispielsweise CCD-Sensoren oder als CMOS-Sensoren sein. Die von den Bildsensoren **61A**, **61B** aufgenommenen Bilder werden digital an digitale Displays **63A**, **63B** gesendet, die als LED-Displays, als LCD-Displays oder als auf organischen Leuchtioden (OLEDs) beruhende Displays ausgebildet sein können. Den Displays **63A**, **63B** können wie im vorliegenden Beispiel Okularlinsen **65A**, **65B** zugeordnet sein, mit denen die auf den Displays **63A**, **63B** dargestellten Bildern nach unendlich abgebildet werden, so dass ein Betrachter sie mit entspannten Augen betrachten kann. Die Displays **63A**, **63B** und die Okularlinsen **65A**, **65B** können Teil eines digitalen Binokulartubus sein, sie können aber auch Teil eines am Kopf zu tragenden Displays (head mounted display, HMD) wie etwa einer Datenbrille sein.

[0042] Obwohl in **Fig. 3** wie in **Fig. 1** lediglich eine Achromatlinse **5** mit einer festen Brennweite dargestellt ist, kann das in **Fig. 3** gezeigte Operationsmikroskop **48** wie das in **Fig. 1** dargestellte Operationsmikroskop **2** ein Varioskopobjektiv statt der Objektivlinse **5** umfassen. Weiterhin ist in **Fig. 3** eine Übertragung der von den Bildsensoren **61A**, **61B** aufgenommenen Bilder an die Displays **63A**, **63B** mittels Kabeln **67A**, **67B** gezeigt. Statt Kabelgebunden können die Bilder jedoch auch drahtlos an die Displays **63A**, **63B** übertragen werden, insbesondere dann, wenn die Displays **63A**, **63B** Teil eines Head Mounted Displays sind.

[0043] **Fig. 4** zeigt ein erfindungsgemäßes optisches Beobachtungsgerätesystem mit einem Operationsmikroskop **2**, wie es mit Bezug auf die **Fig. 1** bis **Fig. 3** erläutert worden ist, als optisches Beobachtungsgerät. Als Bildsensoren zum Aufnehmen digitaler Bil-

der von einem dreidimensionalen Beobachtungsobjekt **70** können dabei entweder Bildsensoren **23** von Kameras **21**, wie sie mit Bezug auf **Fig. 1** beschrieben worden sind, oder Bildsensoren **61A**, **61B**, wie sie mit Bezug auf **Fig. 3** beschrieben worden sind, zum Einsatz kommen. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel des optischen Beobachtungsgerätesystems befindet sich in jedem stereoskopischen Teilstrahlengang des Operationsmikroskops **2** eine Kamera **21** mit einem Bildsensor **23**, sodass stereoskopische Bilder aufgenommen werden können. Eine im vorliegenden Ausführungsbeispiel im oder am Operationsmikroskop **2** angeordnete Berechnungseinheit **72** empfängt ein stereoskopisches Bild des Beobachtungsobjekts **70** und berechnet anhand der stereoskopischen Teilbilder die Topographie des Beobachtungsobjekts **70**, also die dreidimensionale Oberflächengeometrie des Beobachtungsobjekts **70**. Die Bildsensoren **23** der Kameras **21** bilden daher zusammen mit der Berechnungseinheit **72** im vorliegenden Ausführungsbeispiel die Topographieermittlungseinheit des optischen Beobachtungsgerätesystems. Mit Hilfe der Bildsensoren **23** der Kameras **21** wird im vorliegenden Ausführungsbeispiel auch das digitale Bild erzeugt, für das eine Shading-Korrektur vorgenommen werden soll.

[0044] Das optische Beobachtungsgerätesystem umfasst außerdem eine Beleuchtungseinrichtung **40**, wie sie mit Bezug auf **Fig. 1** beschrieben worden ist. Ein von der Beleuchtungseinrichtung **40** ausgehender Beleuchtungslichtkegel **74** weist im vorliegenden Ausführungsbeispiel ein mittenbetontes Intensitätsprofil auf, um einem Nutzer, der das Beobachtungsobjekt mittels der Okularlinsen **35A**, **35B** betrachtet, einen angenehmen Seheindruck zu vermitteln. Die Beleuchtungseinrichtung **40** ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel in das Operationsmikroskop **2** integriert und damit relativ zu den Bildsensoren **23** des Operationsmikroskops **2** fix angeordnet.

[0045] Wenn wie im vorliegenden Ausführungsbeispiel die Topografie anhand mit dem Operationsmikroskop **2** aufgenommener stereoskopischer Teilbilder ermittelt wird, wird die Topografie direkt in Bezug auf die Bildsensoren **23** berechnet, mit denen auch das zu korrigierende Bild aufgenommen wird. Sie kann daher im Koordinatensystem der Bildsensoren **23** und damit im Koordinatensystem des Operationsmikroskops **2** und der Beleuchtungseinrichtung **40** ermittelt werden. Lage und Orientierung der Bildsensoren **23** sowie der Lichtquelle **41** in Bezug auf die Topografie des Beobachtungsobjekts **70** sind somit im selben Koordinatensystem bekannt. Die für die Shading-Korrektur erforderlichen Berechnungen können dann in diesem Koordinatensystem ausgeführt werden.

[0046] Falls die Topografie nicht anhand mit dem Operationsmikroskop **2** aufgenommener stereosko-

pischer Teilbilder ermittelt wird, sondern wie in dem in **Fig. 5** dargestellte Ausführungsbeispiel mit Hilfe eines externen Time-of-Flight-Kamerasystems **73** oder einer anderen externen Topografieerfassungseinheit, liegt die ermittelte Topografie im Koordinatensystem der jeweiligen Topografieerfassungseinheit vor. In diesem Fall ist es notwendig, die mit der externen Topografieerfassungseinheit ermittelte Topografie, d.h. in dem in **Fig. 5** dargestellten Ausführungsbeispiel die mit dem Time-of-Flight-Kamerasystem **73** ermittelte Topografie, in ein Koordinatensystem zu transformieren, in dem auch die Lage und die Orientierung des Operationsmikroskops **2** - und damit die Lage und die Orientierung der Bildsensoren **23** und der Beleuchtungseinrichtung **40** mit der Lichtquelle **41**, angegeben sind. In dem in **Fig. 5** dargestellten Ausführungsbeispiel dient daher ein Navigationssystem **69** dazu, die Lage und die Orientierung des Operationsmikroskops **2** einerseits sowie die Lage und die Orientierung des Time-of-Flight-Kamerasystems **73** andererseits zu ermitteln. Damit sind dann die Lage und die Orientierung des Time-of-Flight-Kamerasystems **73** sowie die Lage und die Orientierung des Operationsmikroskops **2** in einem gemeinsamen Koordinatensystem, nämlich dem Koordinatensystem des Navigationssystems **69**, bekannt. Die Koordinaten des gemeinsamen Koordinatensystems können als Weltkoordinaten und das gemeinsame Koordinatensystem als Welt-Koordinatensystem angesehen werden. Die Lage und die Orientierung der Bildsensoren **23** sowie die Lage und die Orientierung der Beleuchtungslichtquelle **41** im Welt-Koordinatensystem ergeben sich aus der jeweils bekannten Einbaulage und -orientierung der Bildsensoren **23** und der Beleuchtungslichtquelle **41** im Operationsmikroskop **2** und der darin integrierten Beleuchtungseinrichtung **40**. Auf der Basis der in dem Welt-Koordinatensystem bekannten Lage und bekannten Orientierung des Time-of-Flight-Kamerasystems **73** können die Koordinaten des Time-of-Flight-Kamerasystems **73**, in denen die Topografie angegeben ist, in Koordinaten des Welt-Koordinatensystems transformiert werden. Die für die Shading-Korrektur erforderlichen Berechnungen können dann in diesem Welt-Koordinatensystem ausgeführt werden. Zum Ermitteln von Lage und Orientierung des Operationsmikroskops **2** und des Time-of-Flight-Kamerasystems **73** in den Weltkoordinaten kann das Navigationssystem **69** beispielsweise einen Infrarotsensor **77** umfassen, der infrarotes Licht aussendet, welches von Markern **76**, die am Operationsmikroskop **2** und am Time-of-Flight-Kamerasystem **73** angeordnet sind, reflektiert werden. Mittels zweier Infrarotempfänger **78** werden die von den Markern **76** reflektierten Infrarotstrahlen des Infrarotsensors **77** detektiert. Anhand der detektierten reflektierten Infrarotstrahlen kann ein Computer **79** dann Lage und Orientierung der markierten Gegenstände im Welt-Koordinatensystem ermitteln.

[0047] Die Beleuchtungseinrichtung **40** ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel in das Operationsmikroskop integriert und relativ zum Operationsmikroskop **2** fix angeordnet. Bei einer Veränderung der Lage und/oder Orientierung des Operationsmikroskops **2** relativ zum Beobachtungsobjekt **70** ändert sich daher der Beleuchtungswinkel, mit dem das Beobachtungsobjekt **70** beleuchtet wird. Die Auftreffwinkel der Lichtstrahlen des Beleuchtungslichtkegels auf eine Oberflächenabschnitt des Beobachtungsobjekts **70** hängen einerseits vom Beleuchtungswinkel, unter dem das Beobachtungsobjekt **70** beleuchtet wird, und andererseits von der Flächennormalen desjenigen Oberflächenabschnitt, auf den sie auftreffen, ab. Je nach Orientierung der Flächennormalen kann die Beleuchtungsintensität (Lichtleistung pro Flächeneinheit) an dem Oberflächenabschnitt bei gleichem Beleuchtungswinkel unterschiedlich sein. Aufgrund seiner dreidimensionalen Topografie können dabei in Abhängigkeit vom Beleuchtungswinkel an unterschiedlichen Orten der Topografie selbst bei gleichem Beleuchtungswinkel unterschiedliche Beleuchtungsintensitäten vorliegen, was zu lokalen Variationen in der Bildhelligkeit führt. Im Stand der Technik kann im Rahmen der Shading-Korrektur nicht entschieden werden, ob derartige lokale Variationen in der Bildhelligkeit auf die Topografie des Beobachtungsobjekts oder auf Inhomogenität in der Beleuchtung zurückzuführen sind. Daher kann es im Rahmen einer Shading-Korrektur nach Stand der Technik zu Fehlkorrekturen kommen. Mit Hilfe im Rahmen der Erfindung ermittelten Topografie können die auf die Topografie zurückzuführenden lokalen Variationen in der Beleuchtungsintensität korrekt berücksichtigt werden, so dass für einen großen Bereich an Beleuchtungswinkeln eine zuverlässige Shading-Korrektur auch bei Beobachtungsobjekten mit ausgeprägt dreidimensionaler Topografie möglich ist..

[0048] Zum Durchführen der Shading-Korrektur umfassen die in **Fig. 4** und in **Fig. 5** dargestellten Ausführungsbeispiele für das erfindungsgemäße optische Beobachtungsgerätesystem jeweils eine Shading-Korrekturereinrichtung **80**, die im Falle des in **Fig. 4** dargestellten Ausführungsbeispiels mit der Berechnungseinheit **72** der Topographieermittlungseinheit zum Empfang der Topographie verbunden ist. Im Falle des in **Fig. 5** dargestellten Ausführungsbeispiels ist die Shading-Korrekturereinrichtung **80** zum Empfang der Topographie mit dem Time-of-Flight-Kamerasystem **73** verbunden. Außerdem ist sie zum Empfang von Lage und Orientierung des Time-of-Flight-Kamerasystems **73** sowie von Lage und Orientierung Operationsmikroskops **2** - und damit der Bildsensoren **23** sowie der Lichtquelle **41** - im Welt-Koordinatensystem mit dem Computer **79** des Navigationssystems **69** verbunden. Außerdem ist die Shading-Korrekturereinrichtung **80** in beiden Ausführungsbeispielen mit dem Operationsmikroskop **2** zum Empfang der mit Hilfe der Bildsensoren **23** der Kameras **21** vom

Beobachtungsobjekt **70** aufgenommenen, im vorliegenden Ausführungsbeispiel dreidimensionalen Bilder, für die eine Shading-Korrektur vorgenommen werden soll, verbunden. Anhand der ermittelten Topographie sowie der Lage und Orientierung der Bildsensoren **23** und der Lage und Orientierung der Lichtquelle relativ zur Topografie des Beobachtungsobjekts **70** berechnet die Shading-Korrektureinheit **80** eine Shading-Korrektur, mit der ein vom Operationsmikroskop **2** empfangenes digitales Bild derart korrigiert wird, dass eine ungleichmäßige Bildhelligkeit, die auf einer inhomogenen Beleuchtung beruht, ausgeglichen ist wenn das digitale Bild auf einem Monitor **82** dargestellt wird.

[0049] Falls die Lage und/oder die Orientierung der Beleuchtungseinrichtung **40** während der Benutzung des optischen Beobachtungsgerätesystem verändert werden kann, können die Lage und/oder die Orientierung der Beleuchtungseinrichtung **40** relativ zum Beobachtungsobjekt **70**, und damit die Lage und die Orientierung der Lichtquelle **41** relativ zum Beobachtungsobjekt **70**, ebenfalls mit Hilfe des Navigationssystems **69** und eines an der Beleuchtungseinrichtung **40** angebrachten Markers **76** ermittelt werden.

[0050] Das Verfahren zum Durchführen der Shading-Korrektur wird nachfolgend mit Bezug auf die **Fig. 6** und **Fig. 7** beschrieben.

[0051] **Fig. 6** zeigt anhand eines Blockdiagrammes die beim Durchführen der Shading-Korrektur ausgeführten Verfahrensschritte. Beim Durchführen der Shading-Korrektur erfolgt in Schritt **S1** ein Ermitteln der Topographie des Beobachtungsobjekts **70**. In dem in **Fig. 4** gezeigten Ausführungsbeispiel wird hierzu mittels der Bildsensoren **23** der Kameras ein stereoskopisches Bild aufgenommen, aus dem die Berechnungseinheit **72** die Topographie ermittelt. Wenn das optische Beobachtungsgerät **2** des optischen Beobachtungsgerätesystems wie das mit Bezug auf **Fig. 4** beschriebene Operationsmikroskop **2** in der Lage ist, stereoskopische digitale Bilder vom Beobachtungsobjekt **70** aufzunehmen und daraus die Topographie mit Hilfe einer Berechnungseinheit **72** zu ermitteln, bietet dies den Vorteil, dass die Topographie anhand desselben Strahlengangs ermittelt wird, mit dem auch das digitale Bild, für das eine Shading-Korrektur durchgeführt werden soll, aufgenommen wird, so dass Umrechnungen aufgrund unterschiedlicher Orientierungen des optischen Beobachtungsgerätes und der Topographieerfassungseinheit entfallen können. Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit, das im optischen Beobachtungsgerätesystem verwendete optische Beobachtungsgerät mit einer Topographieerfassungseinheit auszustatten, die nicht auf einem Ermitteln der Topographie auf der Basis stereoskopischer Bilder beruht. Denkbar ist beispielsweise die Verwendung eines Time-of-Flight-Kamerasystems, wie dies in **Fig. 5** gezeigt ist. Aber

auch die Verwendung eines Laser-Scanners oder die Verwendung einer strukturierten Beleuchtung sind denkbar. Im letzteren Fall wird ein bestimmtes Beleuchtungsmuster auf das Beobachtungsobjekt projiziert und die Topographie anhand der Verzerrung des Beleuchtungsmusters im aufgenommenen digitalen Bild berechnet. Die letzte Variante kann so ausgeführt werden, dass die strukturierte Beleuchtung mit Hilfe der Beleuchtungseinrichtung **40** und das Aufnehmen des während der strukturierten Beleuchtung gewonnenen Bildes mit Hilfe des optischen Beobachtungsgerätes, also im Falle des in **Fig. 4** dargestellte Ausführungsbeispiels mit Hilfe des Operationsmikroskops **2**, erfolgt. Auch in diesem Fall können Umrechnungen aufgrund unterschiedlicher Orientierungen des optischen Beobachtungsgerätes der Topographieerfassungseinheit vermieden werden. Wenn die Projektion des Musters auf das Beobachtungsobjekt **40** in einem Wellenlängenbereich erfolgt, der nicht zur eigentlichen Beobachtung des Beobachtungsobjektes **70** mit Hilfe des optischen Beobachtungsgerätes herangezogen wird, können das Ermitteln der Topographie und das Aufnehmen des Bildes vom Beobachtungsobjekt, für das eine Shading-Korrektur durchgeführt werden soll, simultan erfolgen. Beispielsweise kann das Muster im infraroten Wellenlängenbereich projiziert werden, wenn eine Beobachtung des Beobachtungsobjekts im sichtbaren Wellenlängenbereich erfolgen soll. Im Falle einer Floreszenz-Beobachtung kann die Projektion des Musters in einem Wellenlängenbereich erfolgen, der weder zum Anregen der Floreszenz geeignet ist, noch dem Wellenlängenbereich entspricht, in dem die Floreszenz erfolgt.

[0052] Im Falle des in **Fig. 5** gezeigten Ausführungsbeispiels erfolgt in Schritt **S3** ein Erfassen der räumlichen Lage und Orientierung des Operationsmikroskops **2** und der Time-of-Flight-Kamera **73**. Lage und Orientierung des Operationsmikroskops **2** und der Time-of-Flight-Kamera **73** können mit Hilfe eines Navigationssystems **69** ermittelt werden, wie dies mit Bezug auf **Fig. 5** beschrieben worden ist. Falls das optische Beobachtungsgerät nur in seiner Lage oder nur in seiner Orientierung verändert werden kann, kann ein Erfassen der unveränderlichen Orientierung bzw. der unveränderlichen Lage durch Einlesen von die unveränderliche Orientierung bzw. die unveränderliche Lage repräsentierenden Größen aus einem Speicher, in dem diese Größen hinterlegt ist, erfolgen, so dass lediglich die veränderliche Lage bzw. die veränderliche Orientierung repräsentierenden Größen mit Hilfe des Navigationssystems **69** ermittelt werden müssen. Wenn die Lage und/oder die Orientierung der Beleuchtungseinrichtung **40** unabhängig von der Lage und/oder der Orientierung des Operationsmikroskops **2** veränderbar ist, wird diese ebenfalls mit Hilfe der Lageerfassungseinheit, also beispielsweise mit Hilfe des Navigationssystems **69**, ermittelt. Auch hier kann, wenn lediglich die Lage

oder die Orientierung veränderbar sind, das Erfassen der jeweils unveränderlichen Orientierung oder Lage durch ein Auslesen von die unveränderliche Orientierung oder Lage repräsentierenden Größen aus einem Speicher, in dem diese Größen abgelegt sind, erfolgen. Obwohl die Schritte **S1** und **S3** in **Fig. 6** sequenziell dargestellt sind, können sie selbstverständlich auch parallel oder in umgekehrter Reihenfolge ausgeführt werden.

[0053] Im Falle des in **Fig. 4** dargestellten Ausführungsbeispiels, in dem die Topografie auf der Basis von mit dem Operationsmikroskop **2** aufgenommenen stereoskopischen Bildern ermittelt wird, entfällt Schritt **S3**, da sich die relative Lage und die relative Orientierung der Topografie des Beobachtungsobjekts **70** in Bezug auf die Lage und die Orientierung des Operationsmikroskops **2** bereits aus der Art und Weise, wie die Topografie ermittelt wird, ergibt. Entsprechendes gilt, wenn die Topografie anhand einer strukturierten Beleuchtung ermittelt wird, wenn hierzu ein Bildsensor **23** des Operationsmikroskops **2** und die Lichtquelle **41** des Operationsmikroskops **2** Verwendung finden.

[0054] In Schritt **S5** erfolgt ein Ermitteln der Intensitätsverteilung des Beleuchtungslichtkegels **74** innerhalb einer virtuellen Ebene **84**, deren Lage und Orientierung relativ zur Topografie des Beobachtungsobjekts **70** und relativ zur Lichtquelle **41** der Beleuchtungseinrichtung **40** bekannt ist. Da die Lage und Orientierung der Lichtquelle **41** der Beleuchtungseinrichtung **40** und der Bildsensoren **23** einerseits und der Topografie des Beobachtungsobjekts **70** andererseits entweder wie in dem in **Fig. 4** dargestellten Ausführungsbeispiel aus der Ermittlung der Topografie im selben Koordinatensystem bekannt sind oder wie in dem in **Fig. 5** dargestellten Ausführungsbeispiel mit Hilfe der in Schritt **S3** ermittelten Lagen und/oder Orientierungen in einem gemeinsamen Welt-Koordinatensystem ermittelt werden können, kann die Lage und Orientierung der virtuellen Ebene **84** in beiden Fällen in demjenigen Koordinatensystem beschrieben werden, in dem auch die Lage und Orientierung der Lichtquelle **41** sowie die Lage und die Orientierung der Topografie beschrieben sind. Grundsätzlich ist es hierbei unerheblich, wie die Ebene **84** zur Topografie des Beobachtungsobjekts **70** und zur Lichtquelle **41** der Beleuchtungseinrichtung **40** orientiert ist, so lange der Beleuchtungslichtkegel **74** in der Ebene **84** von einer geschlossenen Kontur bspw. in Form eines Kreises oder einer Ellipse begrenzt ist.

[0055] Das Ermitteln der Intensitätsverteilung innerhalb der virtuellen Ebene **84** kann entweder anhand einer Optikrechnung auf der Basis der bekannten Lage und Orientierung der Lichtquelle **41** in Bezug auf die virtuelle Ebene **84** erfolgen, wobei die Parameter der Lichtquelle, wie etwa die Abstrahlcharakteristik, die Intensität der Lichtquelle etc., berücksichtigt wer-

den. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, vorab für bestimmte Lagen und Orientierungen der virtuellen Ebene **84** relativ zur Beleuchtungseinrichtung **40**, und damit relativ zur Beleuchtungslichtquelle **41**, Intensitätsverläufe in Kalibrierungsmessungen zu messen. Hierzu kann beispielsweise ein flächiger Sensor Verwendung finden, der innerhalb der virtuellen Ebene **84** platziert wird, so dass er den gesamten Beleuchtungslichtkegel abdeckt. Wenn dann beim Ermitteln der Intensitätsverteilung die relative Lage zwischen der Beleuchtungseinrichtung **40** und der virtuellen Ebene **84** nicht der relativen Lage zwischen der Beleuchtungseinrichtung **40** und der virtuellen Ebene **84** in einer der Kalibrierungsmessungen entspricht, kann die Intensitätsverteilung innerhalb der virtuellen Ebene **84** aus Intensitätsverläufen, die mittels Kalibrierungsmessungen ermittelt worden sind, interpoliert werden.

[0056] Beim Ermitteln der Intensitätsverteilung innerhalb der virtuellen Ebene **84** werden auch die Zoomstellung des Beleuchtungszooms, in den Beleuchtungsstrahlengang eingebrachte Blenden sowie der Fokusabstand der Beleuchtungsoptik berücksichtigt.

[0057] In Schritt **S7** erfolgt die Aufnahme des Bildes, für das die Shading-Korrektur durchgeführt werden soll. Das in **S7** aufgenommene Bild kann entweder ein monoskopisches oder ein stereoskopisches Bild sein. Im Falle eines stereoskopischen Bildes werden die einzelnen stereoskopischen Teilbilder wie monoskopische Bilder behandelt, und es wird für jedes stereoskopische Teilbild eine eigene Shading-Korrektur durchgeführt. Ein Fachmann erkennt, dass das Bild für das die Shading-Korrektur durchgeführt werden soll, auch vor Schritt **S5**, Schritt **S3** oder gar Schritt **S1** aufgenommen werden kann. Auch das parallele Ausführen eines oder mehrerer der Schritte **S1**, **S3** und **S7** sind möglich.

[0058] Schließlich wird in Schritt **S9** die Shading-Korrektur an dem aufgenommenen Bild mit Hilfe der in Schritt **S1** ermittelten Topografie und der in Schritt **S5** ermittelten Intensitätsverteilung durchgeführt. Die in Schritt **S9** durchgeführte Shading-Korrektur wird nachfolgend mit Bezug auf **Fig. 7** im Detail erläutert.

[0059] In Schritt **S91** wird die in Schritt **S5** ermittelte Intensitätsverteilung invertiert, um eine invertierte Intensitätsverteilung zu erhalten. In Schritt **S93** erfolgt dann eine Normierung der invertierten Intensitätsverteilung. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel erfolgt die Normierung derart, dass die Intensitätsverteilung im Zentrum der geschlossenen Kontur in der virtuellen Ebene **84** der Wert „1“ annimmt. Im Falle einer mittenbetonten Beleuchtung liegt an diesem Punkt die höchste Beleuchtungsintensität innerhalb der virtuellen Ebene vor.

[0060] Die invertierte Intensitätsverteilung wird sodann in Schritt **S95** auf die Topographie des Beobachtungsobjektes **70**, also auf die Oberflächengeometrie des Beobachtungsobjektes **70**, projiziert. Diese Projektion kann durchgeführt werden, da sowohl die Lage und Orientierung des Beobachtungsobjektes **70** als auch die Lage und Orientierung der virtuellen Ebene **84** sowie die Lage und Orientierung der Beleuchtungslichtquelle **41** - und damit der Verlauf des Beleuchtungslichtkegels - im selben Koordinatensystem bekannt sind. Sollte dies nicht der Fall sein, wären noch Koordinatentransformationen auszuführen.

[0061] Aus der Projektion der invertierten und normierten Intensitätsverteilung auf die Topographie des Beobachtungsobjektes **70** berechnet die Shading-Korrekturereinrichtung **80** in Schritt **S97** die zu erwartende Beleuchtungsintensität am jeweiligen Ort der Topografie und daraus in Schritt **S99** wiederum Korrekturfaktoren für Pixel oder Pixelgruppen im zu korrigierenden digitalen Bild, wobei die Korrekturfaktoren dazu dienen, Verringerungen der Beleuchtungsintensität, die auf der in Schritt **S5** ermittelten Intensitätsverteilung innerhalb der virtuellen Ebene **84** beruhen, auszugleichen.

[0062] Grundsätzlich kann für jedes Pixel im zu korrigierenden digitalen Bild ein eigener Korrekturfaktor berechnet werden. Es besteht aber auch die Möglichkeit, Pixel im zu korrigierenden digitalen Bild zu Pixelgruppen zusammenzufassen und für die Pixel einer Pixelgruppe jeweils einen einzigen, allen Pixeln gemeinsamen Korrekturfaktor zu ermitteln. Dies bietet sich insbesondere in solchen Bildbereichen an, in denen die aus der in Schritt **S5** ermittelten Intensitätsverteilung innerhalb der virtuellen Ebene **84** resultierenden Schwankungen in der Bildhelligkeit eine niedrige Ortsfrequenz aufweisen, so dass die Schwankungen zwischen benachbarten Pixeln gering sind. In Bildbereichen, in denen die durch der in Schritt **S5** ermittelten Intensitätsverteilung innerhalb der virtuellen Ebene **84** hervorgerufenen Helligkeitsschwankungen eine hohe Ortsfrequenz aufweisen, ist es vorteilhaft, für jedes Pixel einen individuellen Korrekturfaktor zu berechnen. Selbstverständlich kann auch im Falle niedriger Ortsfrequenzen ein individueller Raumfaktor für jedes Pixel berechnet werden.

[0063] In Schritt **S101** werden die Korrekturfaktoren schließlich mit den Helligkeitswerten der Pixel in dem zu korrigierenden digitalen Bild multipliziert, um zu einem Bild mit Shading-Korrektur zu gelangen.

[0064] Die vorliegende Erfindung wurde zu Erläuterungszwecken anhand von Ausführungsbeispielen im Detail beschrieben. Ein Fachmann erkennt jedoch, dass nicht alle Merkmale des Ausführungsbeispiels zwingend notwendig sind. Beispielsweise braucht das optische Beobachtungsgerät nicht wie im Ausführungsbeispiel ein Operationsmikroskop zu

sein. Die vorliegende Erfindung eignet sich auch zur Shading-Korrektur bei anderen Arten von Auflichtmikroskopen, beispielsweise von Mikroskopen zur Materialprüfung oder wissenschaftlichen Auflichtmikroskopen. Weiterhin kann das optische Beobachtungsgerät ein rein digitales optisches Beobachtungsgerät sein, wie es mit Bezug auf **Fig. 3** beschrieben worden ist. Außerdem erkennt ein Fachmann, dass manche Schritte, die im Rahmen der Ausführungsbeispiele sequenziell nacheinander ausgeführt worden sind in geänderter Reihenfolge ausgeführt werden können oder parallel zueinander ausgeführt werden können. Die vorliegende Erfindung soll daher nicht auf spezielle Merkmale der Ausführungsbeispiele beschränkt sein, sondern lediglich durch die beigefügten Ansprüche.

Bezugszeichenliste

2	Operationsmikroskop
3	Operationsfeld
5	Objektiv
7	divergentes Strahlenbündel
9	Strahlenbündel
9A, 9B	stereoskopischer Teilstrahlengang
11	Vergrößerungswechsler
13A, 13B	Schnittstellenanordnung
15A, 15B	Strahlteilerprisma
19	Kameraadapter
21	Kamera
23	Bildsensor
27	Binokulartubus
29A, 29B	Tubusobjektiv
31A, 31B	Zwischenbildebene
33A, 33B	Prisma
35A, 35B	Okularlinse
37	Display
38A, 38B	Spektralfilter
39	Optik
40	Beleuchtungseinrichtung
41	Weißlichtquelle
43	Umlenkspiegel
45	Beleuchtungsoptik
47	Spektralfilter
49	Neutralschichtfilter
50	Vario-Objektiv
51	Positivglied

52	Negativglied
53	Verschiebeweg
61A, 61B	Bildsensoren
63A, 63B	Displays
65A, 65B	Okularlinsen
67A, 67B	Kabel
69	Navigationssystem
70	Beobachtungsobjekt
72	Berechnungseinheit
73	Time-of-Flight-Kamera
74	Beleuchtungslichtkegel
76	Marker
77	Infrarotsender
78	Infrarotempfänger
79	Computer
80	Shading-Korrekturereinrichtung
82	Monitor
84	virtuelle Ebene
S1	Ermitteln Topographie
S3	Erfassen Lage und Orientierung
S4	Ermitteln Intensitätsverteilung
S7	Bild aufnehmen
S9	Bild korrigieren
S91	invertieren Intensitätsverteilung
S93	Normieren der invertierten Intensitätsverteilung
S95	Projizieren der normierten invertierten Intensitätsverteilung auf die Topographie
S97	Berechnen von Korrekturfaktoren
S99	Berechnen der Beleuchtungsintensität
S101	Korrigieren des Bildes anhand der Korrekturfaktoren

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 2010/0188497 A1 [0005]
- DE 102014107933 A1 [0005]
- US 2009/0268053 A1 [0006]
- US 2018/0059398 A1 [0006]
- EP 2796916 A1 [0006]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Durchführen einer Shading-Korrektur für ein mit wenigstens einem Bildsensor (23, 63) eines optischen Beobachtungsgeräts (2, 48) gewonnenes digitales Bild von einem dreidimensionalen Beobachtungsobjekt (70), welches mit einer bestimmten Intensitätsverteilung aufweisendem Beleuchtungslicht (74) beleuchtet wird, wobei im digitalen Bild von dem Beobachtungsobjekt (70) eine Inhomogenität in der Bildhelligkeit vorliegt, mit den Schritten:

- Ermitteln der Topografie des dreidimensionalen Beobachtungsobjekts (70);
- Korrigieren der Inhomogenität in der Bildhelligkeit des digitalen Bildes anhand wenigstens der ermittelten Topografie und der Intensitätsverteilung des Beleuchtungslichts (74).

2. Verfahren nach Anspruch 1, in dem die Inhomogenität in der Bildhelligkeit durch ein vorgegebenes inhomogenes Intensitätsprofil der Intensitätsverteilung des Beleuchtungslichtes (74) mitverursacht wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, in dem das Korrigieren der Inhomogenität in der Bildhelligkeit des digitalen Bildes ein Ermitteln von Korrekturfaktoren für die Helligkeit der Pixel oder für die Helligkeit von Pixelgruppen im digitalen Bild umfasst.

4. Verfahren nach Anspruch 3, in dem die Inverse der Intensitätsverteilung des Beleuchtungslichtes (74) innerhalb einer virtuellen Ebene (84), deren Lage und Orientierung in Bezug auf das Beobachtungsobjekt (70) bekannt ist, gebildet wird und die Korrekturfaktoren anhand einer Projektion der innerhalb der virtuellen Ebene (84) gebildeten Inversen der Intensitätsverteilung auf die Topografie des dreidimensionalen Beobachtungsobjekts (70) berechnet werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, in dem die Intensitätsverteilung des Beleuchtungslichtes (74) innerhalb der virtuellen Ebene (84) durch eine Kalibrierungsmessung ermittelt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4, in dem die Intensitätsverteilung des Beleuchtungslichtes (74) innerhalb der virtuellen Ebene (84) unter Berücksichtigung der Abstrahlcharakteristik der das Beleuchtungslicht aussendenden Lichtquelle (41) und der Lage und ggf. der Orientierung der das Beleuchtungslicht aussendenden Lichtquelle (41) in Bezug auf die virtuelle Ebene berechnet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, in dem beim Berechnen der Intensitätsverteilung des Beleuchtungslichtes (74) innerhalb der virtuellen Ebene (84) außerdem wenigstens einer der folgenden Einstellparameter einer die Beleuchtungslichtquelle (41) enthal-

tenden Beleuchtungseinrichtung (40) berücksichtigt wird:

- ein Einstellparameter, der eine Zoomstellung der Beleuchtungseinrichtung (40) kennzeichnet,
- ein Einstellparameter, der einen Fokusabstand der Beleuchtungseinrichtung (40) kennzeichnet,
- ein Einstellparameter, der eine Blendeneinstellung der Beleuchtungseinrichtung (40) kennzeichnet.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 7, in dem die Inverse der Intensitätsverteilung innerhalb der virtuellen Ebene (84) vor der Projektion auf die Topografie des dreidimensionalen Beobachtungsobjekts (70) normiert wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, in dem die Inverse der Intensitätsverteilung innerhalb der virtuellen Ebene (84) vor der Projektion auf die Topografie des dreidimensionalen Beobachtungsobjekts (70) derart normiert wird, dass die Intensitätsverteilung innerhalb der virtuellen Ebene (84) im Zentrum des durch die Beleuchtung innerhalb der virtuellen Ebene (84) gebildeten Lichtflecks den Wert „1“ aufweist.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, in dem

- das optische Beobachtungsgerät (2, 48) zum Aufnehmen stereoskopischer Bilder ausgebildet ist und die Topografie des dreidimensionalen Beobachtungsobjekts (70) anhand der aufgenommenen stereoskopischer Bilder ermittelt wird; oder
- die Topografie des dreidimensionalen Beobachtungsobjekts (70) anhand eines mit einem Time-of-Flight-Kamerasystem aufgenommenen Bildes von dem Beobachtungsobjekt (70) ermittelt wird; oder
- die Topografie des dreidimensionalen Beobachtungsobjekts (70) anhand einer strukturierten Beleuchtung und der Verzerrung der Struktur der Beleuchtung in einem mit der strukturierten Beleuchtung aufgenommenen Bild von dem Beobachtungsobjekt (70) ermittelt wird; oder
- mit Hilfe eines des Laser-Scannersystems ermittelt wird;

11. Verfahren nach Anspruch 10, in dem das optische Beobachtungsgerät (2, 48) eine Beleuchtungseinrichtung zum strukturierten Beleuchten des Beobachtungsobjekts umfasst und die Topografie des dreidimensionalen Beobachtungsobjekts (70) anhand der Verzerrung der Struktur der Beleuchtung in einem mit der strukturierten Beleuchtung aufgenommenen Bild von dem Beobachtungsobjekt (70) ermittelt wird, und in dem das strukturierte Beleuchten des Beobachtungsobjekts in einem Wellenlängenbereich erfolgt, der außerhalb des sichtbaren Wellenlängenbereiches von Licht liegt.

12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, in dem die Topografie des dreidimensionalen Beobachtungsobjekts (70) und die räumliche La-

ge und Orientierung des wenigstens einen Bildsensors (23, 63) sowie die Lage und Orientierung der virtuellen Ebene (84) und ggf. die Lage der Lichtquelle (41) im selben Koordinatensystem angegeben sind.

13. Verfahren nach Anspruch 12, in dem die Topografie des dreidimensionalen Beobachtungsobjekts (70) und die räumliche Lage und Orientierung des wenigstens einen Bildsensors (23, 63) sowie ggf. die Lage und Orientierung der virtuellen Ebene (84) und ggf. die Lage der Lichtquelle (41) unter Zuhilfenahme eines Navigationssystems ermittelt werden.

14. Optisches Beobachtungsgerätesystem mit

- einem optischen Beobachtungsgerät (2, 48), welches wenigstens einen Bildsensor (23, 63) zum Aufnehmen digitaler Bilder von einem dreidimensionalen Beobachtungsobjekt (70) umfasst;
- einer Beleuchtungseinrichtung (40) zum Beleuchten des Beobachtungsobjekts (70) mit einer bestimmten Intensitätsverteilung aufweisendem Beleuchtungslicht (74);
- einer Topografieermittlungseinheit (72) zum Ermitteln der Topografie des Beobachtungsobjekts (70); und
- einer Shading-Korrekturvorrichtung (80), die mit dem wenigstens einen Bildsensor (23, 63) zum Empfang des digitalen Bildes verbunden und mit der Topografieermittlungseinheit (72) zum Empfang der ermittelten Topografie verbunden ist, und die dazu eingerichtet ist, anhand der empfangenen Topografie sowie der Intensitätsverteilung eine Inhomogenität in der Bildhelligkeit des digitalen Bildes zu korrigieren.

15. Optisches Beobachtungsgerätesystem nach Anspruch 14, in dem die Beleuchtungseinrichtung (40) eine Beleuchtung des Beobachtungsobjekts (70) mit einem vorgegebenen inhomogenen Intensitätsprofil der Intensitätsverteilung ermöglicht, welches die Inhomogenität in der Bildhelligkeit zumindest mitverursacht.

16. Optisches Beobachtungsgerätesystem nach Anspruch 14 oder Anspruch 15, in dem die Shading-Korrekturvorrichtung (80) dazu eingerichtet ist, Korrekturfaktoren für die Helligkeit der Pixel oder für die Helligkeit von Pixelgruppen im digitalen Bild zu ermitteln.

17. Optisches Beobachtungsgerätesystem nach Anspruch 16, in dem die Shading-Korrekturvorrichtung (80) dazu eingerichtet ist, die Inverse der Intensitätsverteilung des Beleuchtungslichtes (74) innerhalb einer virtuellen Ebene (84), deren Lage und Orientierung in Bezug auf das Beobachtungsobjekt (70) bekannt ist, zu ermitteln, und die Korrekturfaktoren anhand einer Projektion der innerhalb der virtuellen Ebene (84) gebildeten Inversen der Intensitätsverteilung auf die Topografie des dreidimensionalen Beobachtungsobjekts (70) zu berechnen.

18. Optisches Beobachtungsgerätesystem nach einem der Ansprüche 14 bis 17, in dem die Topografieermittlungseinheit umfasst:

- eine Aufnahmeeinheit (23, 63) zum Aufnehmen stereoskopischer Bilder und eine Berechnungseinheit (72), welche die Topografie des dreidimensionalen Beobachtungsobjekts (70) anhand der aufgenommenen stereoskopischer Bilder berechnet; oder
- ein Time-of-Flight-Kamerasystem und eine Berechnungseinheit, welche die Topografie des dreidimensionalen Beobachtungsobjekts anhand eines mit dem Time-of-Flight-Kamerasystem aufgenommenen Bildes von dem Beobachtungsobjekt berechnet; oder
- eine Beleuchtungseinrichtung zum strukturierten Beleuchten des Beobachtungsobjekts, eine Aufnahmeeinheit zum Aufnehmen eines Bildes von dem mit der strukturierten Beleuchtung beleuchteten Beobachtungsobjekt und eine Berechnungseinheit, welche die Topografie des dreidimensionalen Beobachtungsobjekts anhand der Verzerrung der Struktur der Beleuchtung in dem Bild von dem mit der strukturierten Beleuchtung beleuchteten Beobachtungsobjekt berechnet; oder
- ein Laser-Scannersystem.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

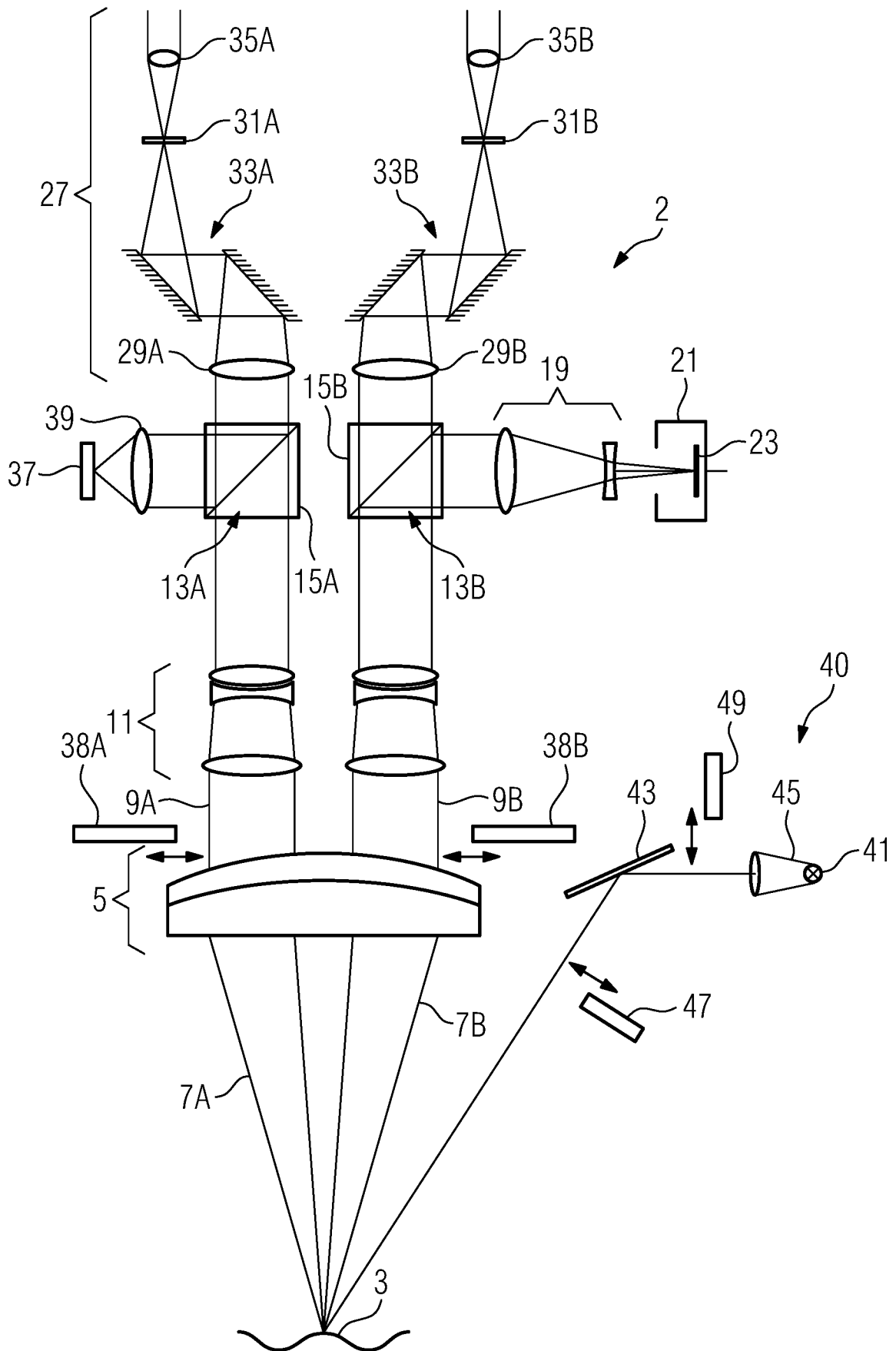


FIG 2

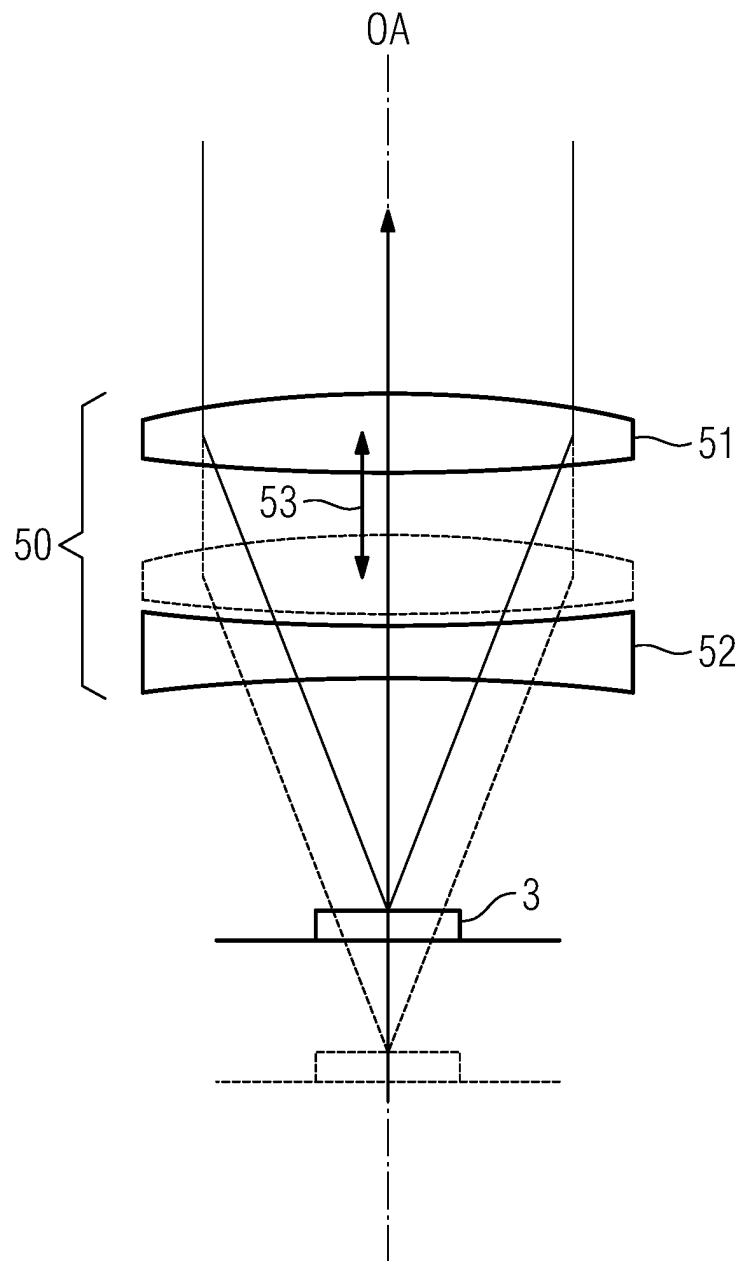


FIG 3

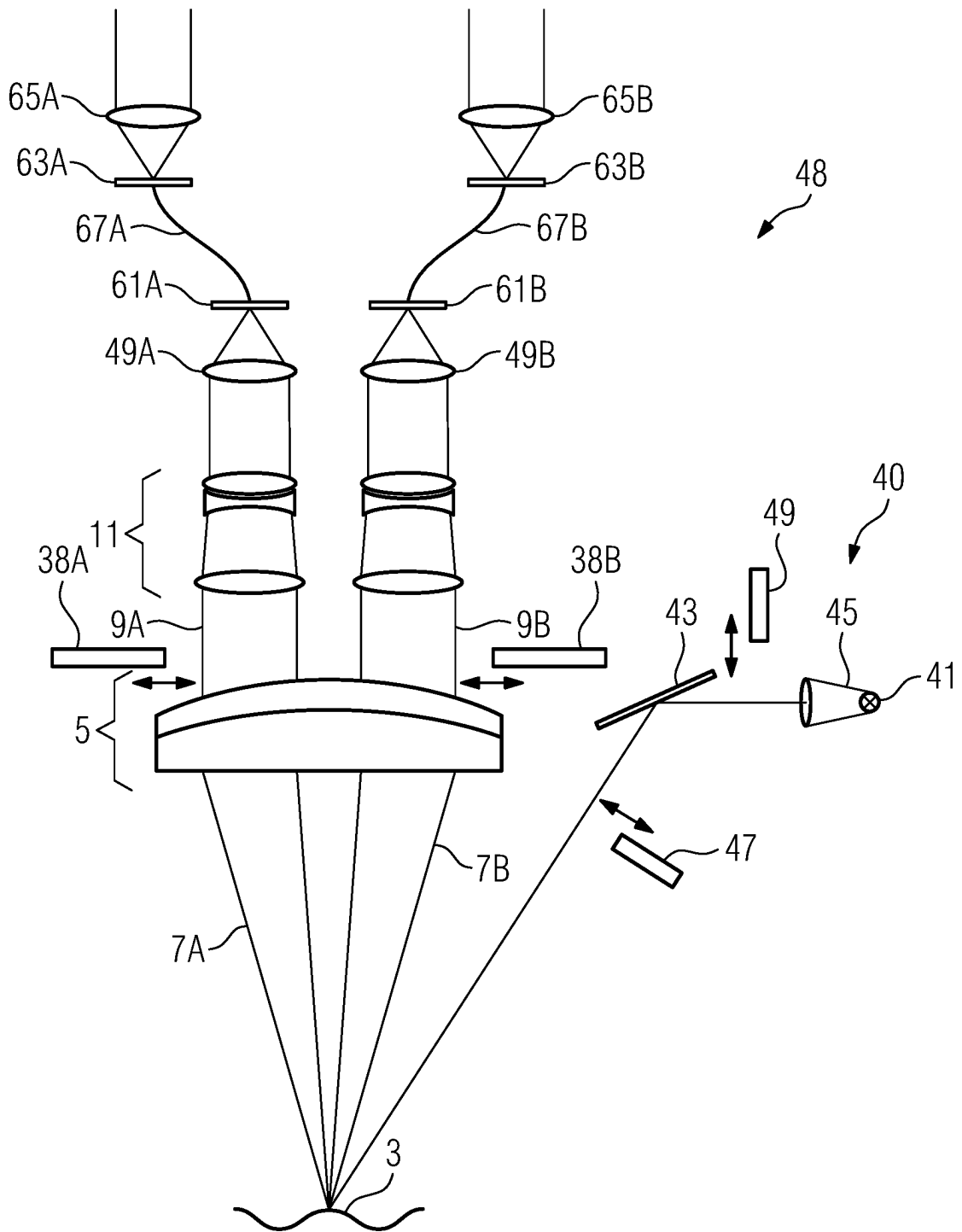


FIG 4

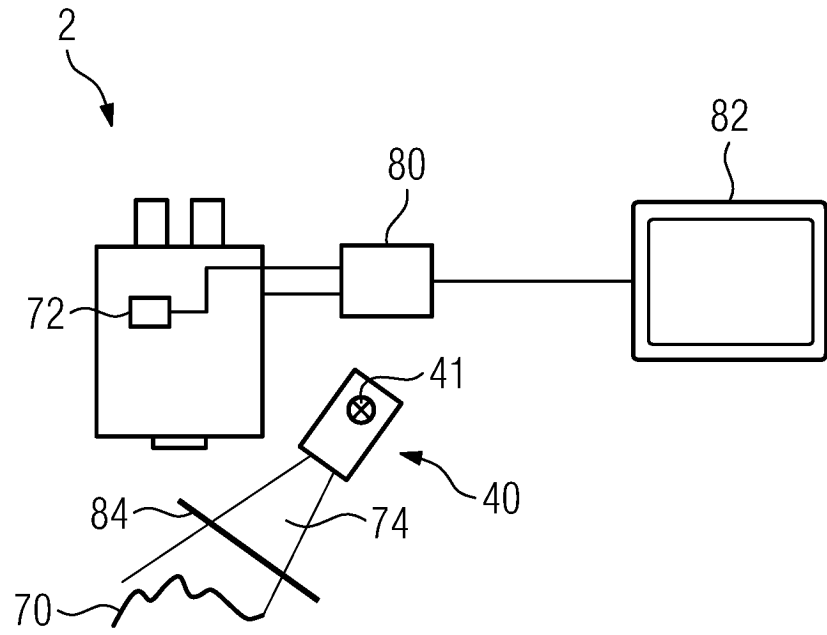


FIG 5

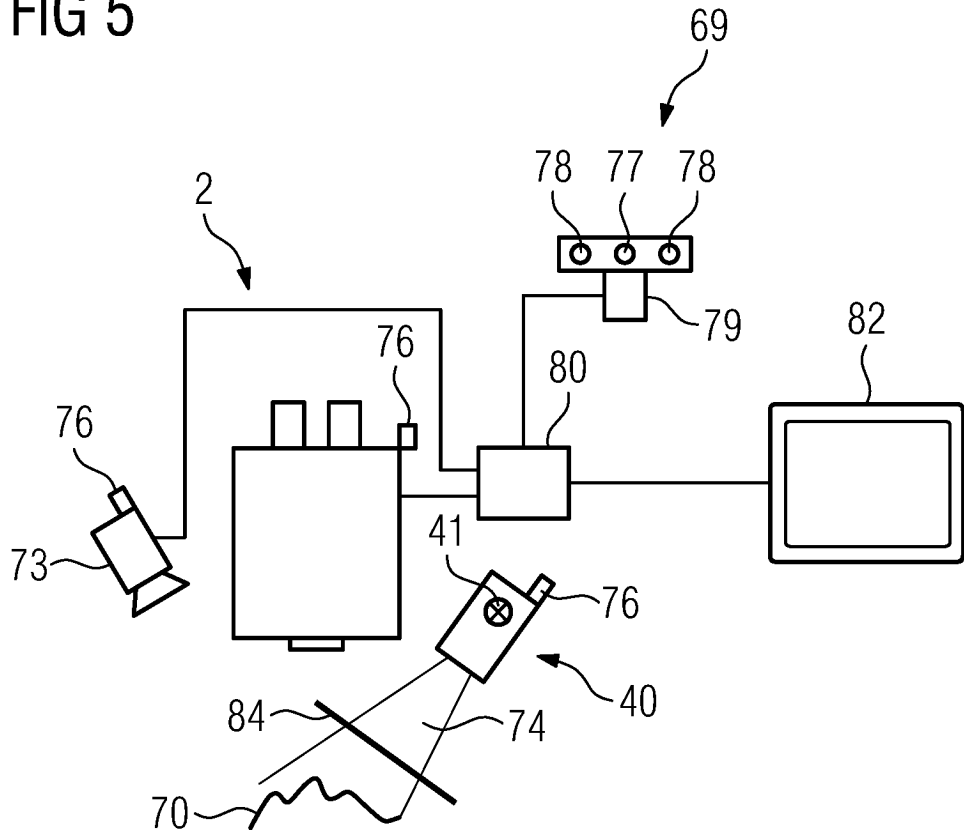


FIG 6

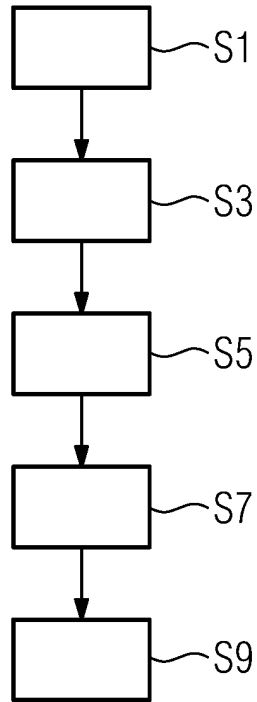


FIG 7

