



(10) **DE 10 2008 062 650 B4** 2021.08.12

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 062 650.3**  
(22) Anmeldetag: **17.12.2008**  
(43) Offenlegungstag: **15.07.2010**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **12.08.2021**

(51) Int Cl.: **G01N 21/64** (2006.01)  
**A61B 6/00** (2006.01)  
**G02B 21/00** (2006.01)  
**A61B 34/00** (2016.01)  
**A61B 90/00** (2016.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Carl Zeiss Meditec AG, 07745 Jena, DE**

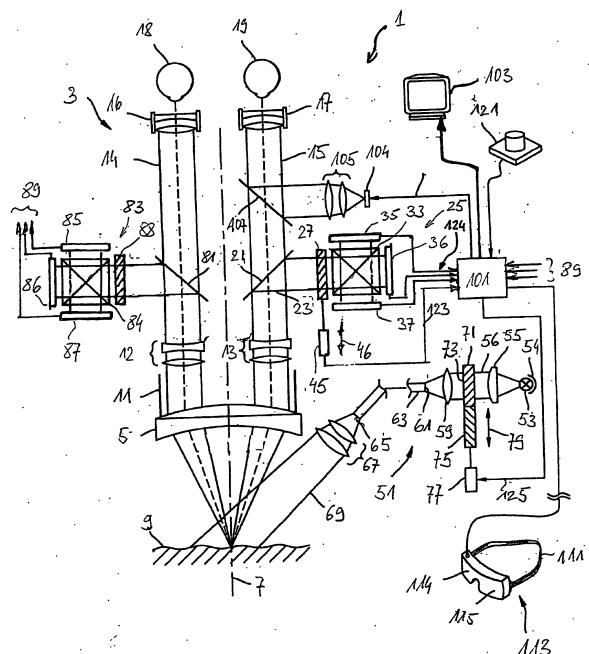
(72) Erfinder:  
**Jess, Helge, 73447 Oberkochen, DE; Quendt,  
Dieter, 73457 Essingen, DE**

(74) Vertreter:  
**Diehl & Partner Patent- und Rechtsanwaltskanzlei  
mbB, 80636 München, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:  
**siehe Folgeseiten**

(54) Bezeichnung: **Operationsmikroskop zur Beobachtung einer Infrarot-Fluoreszenz und Verfahren hierzu**

(57) Hauptanspruch: Operationsmikroskop zur Beobachtung einer Infrarot-Fluoreszenz und eines Normallichtbildes, umfassend: eine Mikroskopieoptik (3) zur optischen Abbildung eines Objektbereichs (9) auf ein Kamerasystem (25) zur Erzeugung von Bildern des Objektfeldes (9), ein Anzeigesystem (103, 104, 113) zur Darstellung der Bilder für eine Betrachtung durch einen Benutzer, ein Beleuchtungssystem (51) zur Bereitstellung wenigstens eines auf den Objektbereich (9) gerichteten ersten Beleuchtungslichtstrahls (69), wobei das Kamerasystem (25) einen dichroitischen Strahlteiler (33) und drei Kamera-Chips (35, 36, 37) aufweist, welche derart konfiguriert sind, dass auf einen Eintrittsquerschnitt (31) des Strahlteilers (33) treffendes rotes Licht (39) über einen ersten Austrittsquerschnitt des Strahlteilers (33) vorrangig einem ersten Kamera-Chip (35) zugeführt wird, dass auf den Eintrittsquerschnitt (31) des Strahlteilers (33) treffendes grünes Licht (40) über einen zweiten Austrittsquerschnitt des Strahlteilers (33) vorrangig einem zweiten Kamera-Chip (36) zugeführt wird, und dass auf den Eintrittsquerschnitt (31) des Strahlteilers (33) treffendes blaues Licht (42) über einen dritten Austrittsquerschnitt des Strahlteilers (33) vorrangig einem dritten Kamera-Chip (37) zugeführt wird, dadurch gekennzeichnet, dass der Strahlteiler (33) ferner derart konfiguriert ist, dass auf den Eintrittsquerschnitt (31) des Strahlteilers (33) treffendes infrarotes Licht (42) vorrangig lediglich einem (36) der drei Kamera-Chips (35, 36, 37) zugeführt wird.



(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	102 51 151	A1
DE	10 2005 005253	A1
DE	695 18 915	T2
DE	696 23 523	T2
DE	698 34 963	T2
GB	22 54 417	A
US	68 99 675	B2
US	2007/00 77 609	A1
US	55 07 287	A
EP	17 31 087	A2
EP	20 75 616	A1
WO	94/18 593	A1
WO	99/01 749	A1

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Operationsmikroskop zur Beobachtung einer Infrarot-Fluoreszenz und ein Mikroskopieverfahren zur Beobachtung einer Infrarot-Fluoreszenz.

**[0002]** Fluoreszenzfarbstoffe werden in der Medizin und der Biologie für verschiedene Zwecke eingesetzt, wie beispielsweise zur Sichtbarmachung von bestimmten Gewebeanlagen, Gewebestrukturen, Gewebefunktionen, Gewebepfusionen und anderen Zwecken. Hierbei wird einer zu untersuchenden Gewebeprobe oder einem zu untersuchenden Patienten Fluoreszenzfarbstoff oder ein Vorläufer eines solchen Fluoreszenzfarbstoffs verabreicht. Der Farbstoff bzw. dessen Vorläufer reichert sich in bestimmten Gewebeanlagen und Gewebestrukturen der Gewebeprobe bzw. des Patienten an. Das Gewebe kann dann mit Fluoreszenzanregungslicht beleuchtet werden, und aufgrund der in dem Fluoreszenzfarbstoff stattfindenden Fluoreszenz kann hierbei entstehendes Fluoreszenzlicht detektiert werden, um bestimmte Gewebestrukturen, Gewebeanlagen und Gewebepfusionen sichtbar zu machen. Hierzu werden spezielle optische Hilfsmittel, wie beispielsweise ein Operationsmikroskop, eingesetzt, um die Beleuchtung mit Fluoreszenzanregungslicht und die Detektion des Fluoreszenzlichts zu ermöglichen.

**[0003]** Ein herkömmliches Operationsmikroskop umfasst ein Beleuchtungssystem zur Beleuchtung eines zu beobachtenden Objekts mit normalem, weißem Licht und ein Beobachtungssystem mit beispielsweise Okularen, um ein Normallichtbild des Objekts direkt zu betrachten, oder/und einer Kamera, um Normallichtbilder des Objekts aufzunehmen und auf einer Anzeige darzustellen. Zur Sichtbarmachung von Fluoreszenzen umfasst das herkömmliche Operationsmikroskop eine Lichtquelle und optische Filter, um den Fluoreszenzfarbstoff mit Fluoreszenzanregungslicht anzuregen, und eine Kamera mit optischen Filtern, um von dem Fluoreszenzfarbstoff emittiertes Fluoreszenzlicht zu detektieren und auf der Anzeige darzustellen.

**[0004]** Ein Beispiel für eine zu untersuchende Fluoreszenz ist die Fluoreszenz des Fluoreszenzfarbstoffs Indocyaningrün (ICG), dessen Fluoreszenzspektrum im Bereich des infraroten Lichts liegt. Ein herkömmliches Operationsmikroskop umfasst zur Detektion dieser Fluoreszenz eine separate Infrarotkamera, welche von der Kamera verschieden ist, welche das Normallichtbild aufnimmt.

**[0005]** Aus der Druckschrift DE 69834 963 T2 ist ein UV-Mikroskop bekannt, bei welchem einer UV-empfindliche Kamera UV-Licht mittels eines Strahlteilers zugeführt wird, einer im infraroten Wellenlängenbereich empfindlichen Kamera mittels des Strahlteilers

infrarotes Licht zugeführt wird und einer Farb-CCD-Kamera mittels des Strahlteilers sichtbares Licht zugeführt wird.

**[0006]** Die Druckschrift DE 10 2005 005 253 A1 offenbart ein Stereomikroskop, bei welchem sichtbares Licht mittels Strahlteiler zwei Beobachtern zugeführt wird und infrarotes Licht mittels Strahlteiler einer Kamera zugeführt wird.

**[0007]** Die Druckschriften EP 1 731 087 A2, US 5 507 287, US 6 899 675 B2 und WO 99/01749 A1 zeigen Endoskopiesysteme, um Fluoreszenzen des Gewebes im sichtbaren Wellenlängenbereich aufzunehmen. Dabei werden Farbbilder mittels Farbkameras aufgenommen, während für die Aufnahme der Fluoreszenzbilder separate Kameras bereitgestellt sind.

**[0008]** Die Druckschrift GB 2 254 417 A ist ein Endoskop gezeigt, welches ein Objekt mit infrarotem Licht beleuchtet und mittels einer ersten Kamera ein Infrarotlichtbild des Objekts aufnimmt und eine zweite Kamera eine Infrarotfluoreszenz eines im Objekt enthaltenen Farbstoffs detektiert.

**[0009]** Aus der Druckschrift DE 696 23 523 T2 ist eine Vorrichtung bekannt, die einen Detektor zum Detektieren einer Rot-Fluoreszenz, einen Detektor zum Detektieren einer Grün-Fluoreszenz, einen Detektor zum Detektieren einer Gelb-Fluoreszenz enthält, um Fluoreszenzen von unterschiedlichen Fluoreszenzfarbstoffen zu detektieren.

**[0010]** Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Operationsmikroskop bereitzustellen, welches einen in Bezug auf die Beobachtung einer Fluoreszenz vereinfachten Aufbau aufweist. Ferner ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Mikroskopieverfahren bereitzustellen, mit welchem eine Fluoreszenz nachweisbar ist.

**[0011]** Gemäß Ausführungsformen der Erfindung umfasst ein Kamerasystem einen dichroitischen Strahlteiler und drei Kamera-Chips, wobei der Strahlteiler und die Kamera-Chips so konfiguriert sind, dass auf einen Eintrittsquerschnitt des Strahlteilers treffendes rotes Licht über einen ersten Austrittsquerschnitt des Strahlteilers vorrangig einem ersten Kamera-Chip zugeführt wird, dass auf den Eintrittsquerschnitt des Strahlteilers treffendes grünes Licht über einen zweiten Austrittsquerschnitt des Strahlteilers vorrangig einem zweiten Kamera-Chip zugeführt wird, dass auf den Eintrittsquerschnitt des Strahlteiles treffendes blaues Licht über einen dritten Austrittsquerschnitt des Strahlteilers vorrangig einem dritten Kamera-Chip zugeführt wird, und dass • auf den Eintrittsquerschnitt des Strahlteilers treffendes infrarotes Licht vorrangig lediglich einem der drei Kamera-Chips zugeführt wird.

**[0012]** Eine herkömmliche 3-Chip-Kamera zur Aufnahme von Normallichtbildern weist einen ähnlichen, aber dennoch verschiedenen, Aufbau auf. Hierbei ist ein dichroitischer Strahlteiler dazu konfiguriert, rotes, grünes und blaues Licht jeweils einem Kamera-Chip zuzuleiten. Die herkömmliche 3-Chip-Kamera weist ferner ein Infrarot-Sperrfilter auf, um die Detektion von Infrarotlicht zu vermeiden. Die Eigenschaften des dichroitischen Strahlteilers bezüglich infrarotem Licht sind bei der herkömmlichen 3-Chip-Kamera nicht definiert.

**[0013]** Bei der vorangehend beschriebenen Ausführungsform der Erfindung sind die Eigenschaften des dichroitischen Strahlteilers in Bezug auf infrarotes Licht hingegen sehr wohl definiert, und zwar derart, dass das infrarote Licht vorrangig genau einem der drei Kamera-Chips zugeführt wird. Im Vergleich zu einer Realisierung, wenn infrarotes Licht durch den Strahlteiler mehreren Kamera-Chips zugeführt wird, hat dies den Vorteil, dass bei Konzentration des infraroten Lichts auf lediglich einen Kamera-Chip ein vergleichsweise gutes Signal-Rausch-Verhältnis beim Nachweis von infrarotem Licht geringer Intensität erzielt werden kann.

**[0014]** Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung bedeutet die Formulierung, dass Licht einer bestimmten Wellenlänge „vorrangig“ einem bestimmten Kamera-Chip zugeführt wird, dass der bestimmte Kamera-Chip mehr als zehnmal mehr Intensität an Licht der bestimmten Wellenlänge detektiert als die beiden anderen Kamera-Chips zusammen, wenn lediglich das Licht der bestimmten Wellenlänge dem Eingangsquerschnitt des dichroitischen Strahlteilers zugeführt wird.

**[0015]** Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ist der dichroitische Strahlteiler derart ausgebildet, dass das infrarote Licht vorrangig einem der Kamera-Chips zugeführt wird, welchen das rote Licht nicht zugeführt wird. Gemäß beispielhafter Ausführungsformen hierin wird das infrarote Licht dem Kamera-Chip zugeführt, welchem auch das grüne Licht zugeführt wird, und gemäß einer alternativen Ausführungsform hierzu wird das infrarote Licht dem Kamera-Chip zugeführt, welchem auch das blaue Licht zugeführt wird.

**[0016]** Im Rahmen der vorliegenden Anmeldung bezeichnet blaues Licht Licht in einem Wellenlängenbereich von 440 nm bis 490 nm, grünes Licht Licht in einem Wellenlängenbereich von 520 nm bis 570 nm, rotes Licht Licht in einem Wellenlängenbereich von 625 nm bis 740 nm und infrarotes Licht Licht in einem Wellenlängenbereich von 800 nm bis 930 nm.

**[0017]** Gemäß Ausführungsformen der Erfindung umfasst das Kamerasystem ein Infrarot-Sperrfilter, welches wahlweise vor dem Eintrittsquerschnitt des

Strahlteilers anordenbar ist. Das Infrarot-Sperrfilter weist für rotes, grünes und blaues Licht eine wesentlich höhere Durchlässigkeit, beispielsweise eine mehr als zehnmal größere Durchlässigkeit, auf als für infrarotes Licht. Damit ist das Kamerasystem in dem Betriebsmodus, in dem das Infrarot-Sperrfilter in dem Strahlengang angeordnet ist, besonders gut für die Aufnahme von Normallichtbildern geeignet, und in dem zweiten Betriebsmodus, in dem das Infrarot-Sperrfilter nicht in dem Strahlengang angeordnet ist, ist das Kamerasystem besonders gut für die Aufnahme von Infrarotbildern geeignet.

**[0018]** Gemäß Ausführungsform der Erfindung ist ein Operationsmikroskop vorgesehen, welches eine Mikroskopieoptik zur optischen Abbildung eines Objektbereichs auf ein Kamerasystem zur Erzeugung von Bildern des Objektbereichs, ein Anzeigesystem zur Darstellung der Bilder für eine Betrachtung durch einen Benutzer, ein Beleuchtungssystem zur Bereitstellung wenigstens eines auf den Objektbereich gerichteten Beleuchtungslichtstrahls umfasst. Das Kamerasystem kann wie vorangehend erläutert ausgebildet sein. Die Mikroskopieoptik kann eine Optik sein, welche eine variable Vergrößerung und/oder einen variablen Arbeitsabstand bereitstellt. Die Mikroskopieoptik kann ferner einen monoskopischen oder einen stereoskopischen Strahlengang bereitstellen. Die Mikroskopieoptik kann ferner ein oder mehrere Okulare umfassen, in welche ein Benutzer Einblick nehmen kann, um ein Bild des Objektbereichs wahrzunehmen. Das Anzeigesystem stellt durch das Kamerasystem aufgenommene Bilder dar und kann hierzu eine Kathodenstrahlröhre, ein LCD-Display, ein Aktivmatrix-Display und dergleichen umfassen. Das Anzeigesystem kann ein kopfgetragenes Anzeigesystem („head mounted display“) sein. Das Anzeigesystem kann auch eine Darstellung der Bilder über die Mikroskopieoptik und insbesondere in Okulare derselben ermöglichen.

**[0019]** Gemäß Ausführungsformen der Erfindung wird ein Mikroskopieverfahren bereitgestellt, welches das Betreiben eines Operationsmikroskops in einem ersten und in einem zweiten Betriebsmodus umfasst. In dem ersten Betriebsmodus wird rotes, grünes und blaues Licht jeweils einem Kamera-Chip zugeführt, so dass die drei Kamera-Chips zusammen ein Normallichtbild eines Objekts gewinnen können. Hierbei kann ein Infrarot-Sperrfilter in dem Strahlengang des Lichts vorgesehen sein, so dass infrarotes Licht, auch wenn es in dem von dem Objekt ausgehenden Licht enthalten ist, im Wesentlichen nicht auf einen der drei Kamera-Chips trifft.

**[0020]** In dem zweiten Betriebsmodus wird infrarotes Licht im Wesentlichen zu lediglich einem der drei Kamera-Chips zugeführt. Falls in dem ersten Betriebsmodus ein Infrarotin dem Strahlengang vorhanden

war, so wird dieses Infrarot-Sperrfilter in dem zweiten Betriebsmodus aus dem Strahlengang entfernt.

**[0021]** Gemäß einer beispielhaften Ausführungsform wird in dem zweiten Betriebsmodus eine Fluoreszenz eines Fluoreszenzfarbstoffs beobachtet. Der Fluoreszenzfarbstoff kann beispielsweise Indocyaningrün (ICG) sein.

**[0022]** Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform wird in dem zweiten Betriebsmodus das infrarote Licht dem Kamera-Chip zugeleitet, welchem in dem ersten Betriebsmodus das blaue Licht oder das grüne Licht zugeführt wird.

**[0023]** Ausführungsformen der Erfindung werden nachfolgend anhand von Zeichnungen näher erläutert. Hierbei zeigt:

**Fig. 1** eine schematische Darstellung von Strahlengängen in einem Operationsmikroskop gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,

**Fig. 2** eine schematische Darstellung von Strahlengängen in einem Kamerasystem gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung und

**Fig. 3** eine schematische Darstellung von Spektren und spektralen Bereichen.

**[0024]** Ein in **Fig. 1** schematisch dargestelltes Operationsmikroskop **1** umfasst eine Mikroskopieoptik **3** mit einem Objektiv **5** mit einer optischen Achse **7**. In einer Objektebene des Objektivs **5** ist ein zu untersuchendes Objekt **9** angeordnet. Von dem Objekt **9** ausgehendes Licht wird von dem Objektiv **5** in ein paralleles Strahlenbündel **11** überführt, in welchem zwei mit Abstand von der optischen Achse **7** angeordnete Zoom-Systeme **12, 13** angeordnet sind und aus dem parallelen Strahlenbündel **11** jeweils ein Teilstrahlenbündel **14, 15** herausgreifen und über in **Fig. 1** nicht dargestellte Umlenkprismen Okularen **16** und **17** zuführen, in welche ein Betrachter mit seinem linken Auge **18** bzw. rechten Auge **19** Einblick nimmt, um eine vergrößerte Darstellung des Objekts **9** als Bild wahrzunehmen.

**[0025]** In dem Teilstrahlenbündel **15** ist ein teildurchlässiger Spiegel **21** angeordnet, um einen Teil des Lichts des Strahlenbündels **15** aus diesem als Strahl **23** auszukoppeln, welcher auf ein Kamerasystem **25** gerichtet ist.

**[0026]** Das Kamerasystem **25** wird nachfolgend unter Bezugnahme auf **Fig. 2** näher erläutert. Der Lichtstrahl **23** trifft auf einen Eintrittsquerschnitt **31** eines dichroitischen Strahlteilers **33** und wird durch diesen auf drei verschiedene Kamera-Chips **35, 36** und **37** wellenlängenabhängig verteilt. Ein jeder Kamera-Chip **35, 36, 37** umfasst ein Feld von lichttemp-

findlichen Bildelementen (Pixeln), welche jeweils ein von einer auf das Bildelement auftreffenden Lichtintensität abhängiges elektrisches Signal bereitstellen. Beispielsweise können die Kamera-Chips CCD- oder CMOS-Bildsensoren umfassen.

**[0027]** Ein exemplarischer Strahl roten Lichts ist in **Fig. 2** mit dem Bezugszeichen **39** versehen. Das rote Licht wird durch den dichroitischen Strahlteiler **33** auf den Kamera-Chip **35** gelenkt, so dass dieser ein Rotlichtbild detektieren kann. Ein exemplarischer Strahl grünen Lichts ist in **Fig. 2** mit dem Bezugszeichen **40** versehen und wird durch den dichroitischen Strahlteiler auf den Kamera-Chip **36** gelenkt, so dass dieser ein Grün-Lichtbild detektieren kann. Ein exemplarischer Strahl blauen Lichts ist in **Fig. 2** mit dem Bezugszeichen **41** versehen und wird durch den dichroitischen Strahlteiler **33** auf den Kamera-Chip **37** gelenkt, so dass dieser ein Blau-Lichtbild detektieren kann. Der dichroitische Strahlteiler **33** ist ferner derart konfiguriert, dass er infrarotes Licht ebenfalls auf den Kamera-Chip **36** leitet, wie dies durch einen exemplarischen Infrarot-Lichtstrahl **42** in **Fig. 2** gezeigt ist, so dass der Kamera-Chip **36** ebenfalls ein Infrarotbild detektieren kann.

**[0028]** Wie aus **Fig. 1** ersichtlich ist, umfasst das Kamerasystem **25** ferner ein Infrarot-Sperrfilter **27**, welches vor dem Eintrittsquerschnitt **31** des dichroitischen Strahlteilers **33** in dem Strahlengang des Strahls **23** angeordnet ist. Das Infrarot-Sperrfilter **27** ist durch einen Antrieb **45** quer zur Strahlrichtung des Strahls **23** verlagerbar, wie dies durch einen Pfeil **46** in **Fig. 1** angedeutet ist. Der Antrieb **45** ist von einer Steuerung **101** über eine Leitung **123** ansteuerbar, und durch Betätigen des Antriebs **45** kann das Infrarot-Sperrfilter **27** wahlweise in dem Strahl **23** angeordnet oder aus diesem entfernt werden. In einem ersten Betriebsmodus des Operationsmikroskops **1**, welcher in **Fig. 1** dargestellt ist, ist das Infrarotsperrfilter **27** in dem Strahl **23** angeordnet. In diesem ersten Betriebsmodus ist das Operationsmikroskop **1** dazu konfiguriert, Normallichtbilder des Objekts **9** mit dem Kamerasystem **25** aufzunehmen. Hierzu wird das Objekt **9** durch ein Beleuchtungssystem **51** mit weißem Licht, also mit Licht, welches die Farbkomponenten rot, grün und blau enthält, beleuchtet.

**[0029]** Das Beleuchtungssystem **51** umfasst als Lichtquelle beispielsweise eine Halogenlampe **53**, eine Xenonlampe oder eine andere geeignete Lichtquelle, einen Reflektor **54** und einen Kollimator **55**, um einen kollimierten Lichtstrahl **56** zu erzeugen, welcher mittels ein oder mehrerer Linsen **59** auf ein Eintrittsende **61** eines Glasfaserbündels **63** gerichtet wird, um von der Lampe **53** emittiertes Licht in das Glasfaserbündel **63** einzukoppeln. Durch das Glasfaserbündel **63** wird das Licht in die Nähe des Objektivs **5** transportiert, tritt dort aus einem Austrittsende **65** des Glasfaserbündels **63** aus

und wird durch eine Kollimationsoptik **67** zu einem auf das zu untersuchende Objekt **9** gerichteten Beleuchtungslichtstrahl **69** kollimiert.

**[0030]** Das Beleuchtungssystem **51** umfasst ferner ein Filterplatte **71**, welche aus zwei nebeneinander angeordneten Filtern **73** und **75** zusammengesetzt ist und welche mittels eines von einer Steuerung **107** angesteuerten Antriebs **77** in eine durch einen Pfeil **79** in **Fig. 1** angedeutete Richtung hin und her verlagerbar ist, so dass wahlweise das Filter **73** oder das Filter **75** in dem Strahl **56** angeordnet ist. In dem in **Fig. 1** dargestellten ersten Betriebsmodus des Operationsmikroskops **1** ist das Filter **73** in dem Strahl **56** angeordnet. Das Filter **73** lässt rotes, grünes und blaues Licht passieren, so dass das Objekt **9** mit Licht beleuchtet wird, welches bei einem Betrachter einen weitgehend weißen Farbeindruck hervorruft. Das von dem Objekt ausgehende Licht wird dann durch das Kamerasystem **25** detektiert, wobei die Kamera-Chips **35**, **36** und **37** ein rotes, grünes bzw. blaues Bild detektieren. Die Bildsignale der Kamera-Chips **35**, **36** und **37** werden der Steuerung **101** über Leitungen **124** zugeführt, welche daraus Bilddaten für ein kombiniertes Farbbild erstellt, so dass diese auf verschiedenen Ausgabegeräten dargestellt werden können.

**[0031]** Beispielsweise ist an die Steuerung **101** ein Monitor **103** angeschlossen, um ein mikroskopisches Farbbild des Objekts **9** darzustellen. Ferner umfasst das Mikroskopiesystem eine LCD-Anzeige **104**, um eine Darstellung des Bildes zu erzeugen. Die LCD-Anzeige **104** wird über eine Optik **105** abgebildet und über einen teildurchlässigen Spiegel **107** in den Strahlengang der Abbildungsoptik **3** derart eingekoppelt, dass das durch die Anzeige **104** dargestellte Bild in dem Okular **17** in Überlagerung mit dem optischen Abbild des Objekts **9** durch das Auge **19** des Benutzers wahrnehmbar ist.

**[0032]** Ein teilweise reflektierender Spiegel oder ein Prisma **81** koppeln einen Teil des Lichts des Strahlenbündels **14** aus diesem aus und richten dieses auf ein zweites Kamerasystem **83**, welches einen dichroitischen Strahlteiler **84** und drei Kamera-Chips **85**, **86** und **87** umfasst, auf welche von dem Strahlteiler **84** rotes, grünes bzw. blaues Licht gerichtet wird. Vor dem Eintrittsquerschnitt des dichroitischen Strahlteilers **84** ist permanent ein Infrarot-Sperrfilter **88** angeordnet. Ausgabesignale der Kamera-Chips **85**, **86** und **87** werden über Leitungen **89** an die Steuerung **101** übertragen.

**[0033]** An die Steuerung **101** ist optional ein mit einem Riemen **111** oder dergleichen an einem Kopf eines Benutzers befestigbares kopfgetragenes Anzeigesystem **113** („head mounted display“) angeschlossen, welches eine Anzeige **114** für ein rechtes Auge des Benutzers und eine Anzeige **115** für ein linkes Auge des Benutzers umfasst. Der Anzeige **114** führt

die Steuerung **101** die Bilddaten zu, welche durch das Kamerasystem **25** gewonnen wurde, und der Anzeige **115** für die Steuerung **101** die Bilddaten zu, welche durch das Kamerasystem **83** gewonnen wurden, so dass der Benutzer über die Anzeige **113** ein stereoskopisches Abbild des Objekts **9** wahrnehmen kann.

**[0034]** Über eine Kommandoeinrichtung, wie beispielsweise einen Taster **121**, eine Tastatur oder ein Sprachsignal oder dergleichen kann der Benutzer die Steuerung **101** anweisen, in den zweiten Betriebsmodus überzugehen. Die Steuerung **101** steuert dann über die Steuerleitung **123** den Antrieb **45** an, um das Infrarot-Sperrfilter **27** aus dem Strahl **23** zu entfernen, so dass das Kamerasystem **25** auch Infrarotbilder aufnehmen kann. Die Steuerung **101** steuert ferner über eine Leitung **125** den Antrieb **77** an, um das Filter **73** aus dem Strahl **56** zu entfernen und das Filter **75** in dem Strahl **56** anzuordnen. Das Filter **75** ist ein Fluoreszenz-Anregungsfilter, welches darauf abgestimmt ist, aus dem von der Lampe **53** erzeugten Frequenzspektrum lediglich solches Licht in dem Beleuchtungslichtstrahl **69** hin zu dem Objekt passieren zu lassen, welches dazu geeignet ist, eine Fluoreszenz eines zuvor ausgewählten Fluoreszenzfarbstoffs anzuregen. Ein Beispiel für diesen Fluoreszenzfarbstoff ist Indocyaningrün (ICG). Das von dem Farbstoff ausgesandte Fluoreszenzlicht liegt im infraroten Wellenlängenbereich und wird von der Mikroskopieoptik **3** auf das Kamerasystem **25** abgebildet, wobei das Infrarot-Sperrfilter **27**, welches in dem zweiten Betriebsmodus aus dem Strahl **23** entfernt ist, einen Eintritt des infraroten Lichts in das Kamerasystem **25** nicht verhindert.

**[0035]** Der dichroitische Strahlteiler **33** ist, wie vorangehend bereits erläutert, dazu konfiguriert, das infrarote Licht auf lediglich einen Kamera-Chip **36** zu richten, so dass dieser Kamera-Chip **36** auch bei geringer Intensität an Infrarotlicht ein durch die Fluoreszenz hervorgerufenen Fluoreszenzbild des Objekts **9** mit gutem Signal-Rausch-Verhältnis aufnehmen kann. Dieses Bild wird über die Leitungen **124** an die Steuerung **101** übertragen und kann von dieser wiederum über die Anzeige **104** als sichtbares Bild dargestellt werden, so dass der Benutzer bei Einblick in das Okular **17** das Infrarotbild als sichtbares Bild wahrnehmen kann. Ebenso kann die Steuerung **101** das Infrarotbild auf der Anzeige **103** oder auf einer der Anzeigen **114**, **115** der kopfgetragenen Anzeigevorrichtung **113** darstellen. Das Infrarotbild kann als ein Graustufenbild dargestellt werden, wobei hellere Grauwerte stärkere Infrarotintensitäten repräsentieren und beispielsweise die Farbe Weiß eine maximale Infrarotintensität repräsentiert. Es ist jedoch auch möglich, das Infrarotbild hierzu invers darzustellen, wobei dunklere Grauwerte stärkere Infrarotintensitäten repräsentieren.

**[0036]** Fig. 3 ist eine schematische Darstellung von Eigenschaften von längenwellenabhängigen optischen Elementen in dem in Fig. 1 gezeigten Operationsmikroskop.

**[0037]** Eine durchgezogene Linie 151 in Fig. 3 repräsentiert in relativen Einheiten die Anregungseffizienz des Fluoreszenzfarbstoffs ICG in Abhängigkeit von der Wellenlänge  $\lambda$ , während eine gestrichelte Linie 153 dessen Fluoreszenzspektrum in relativen Einheiten wiedergibt.

**[0038]** Eine Linie 154 in Fig. 3 repräsentiert, stark schematisch, eine Durchlasscharakteristik des dichroitischen Strahlteilers 33 hin zu dem Kamera-Chip 37, welcher blaues Licht detektiert. Eine Linie 155 in Fig. 3 repräsentiert, stark schematisch, eine Durchlasscharakteristik des dichroitischen Strahlteilers 33 hin zu dem Kamera-Chip 36, welcher grünes Licht detektiert. Eine Linie 156 in Fig. 3 repräsentiert, stark schematisch, eine Durchlasscharakteristik des dichroitischen Strahlteilers 33 hin zu dem Kamera-Chip 35, welcher rotes Licht detektiert. Die Durchlasscharakteristiken des dichroitischen Strahlteilers 33 sind in Fig. 3 mit den Linien 154, 155 und 156 in sofern stark schematisch dargestellt, dass die Charakteristiken nicht überlappen. Dies erfolgte dazu, klarzustellen, dass die Farben Rot, Grün und Blau voneinander verschiedene Farben sind. In der Praxis kann der dichroitischen Strahlteiler 33 allerdings so ausgebildet sein, dass die Charakteristiken 154, 155 und 156 hinsichtlich der Wellenlängen teilweise überlappen und beispielsweise Licht der Wellenlänge 450 nm zum größten Teil auf den Kamerachip 37 fällt, zu einem geringen Teil jedoch auch auf den Kamerachip 36 fällt. Ebenso kann beispielsweise Licht der Wellenlänge von 600 nm zu in etwa gleichen Teilen auf die beiden Kamerachips 35 und 36 fallen.

**[0039]** Eine Linie 157 in Fig. 3 repräsentiert, stark schematisch, eine Durchlasscharakteristik des Filters 73, welcher in dem ersten Betriebsmodus in dem Beleuchtungslichtstrahl 56 angeordnet ist. Das Filter 71 lässt blaues, grünes und rotes Licht passieren, so dass der über das Objekt 9 hervorgerufene Farbeindruck für dieses Licht ein im Wesentlichen weißer Farbeindruck ist. Allerdings lässt das Filter 73 relativ langwelliges rotes Licht oberhalb von etwa 705 nm nicht passieren, obwohl dieses Licht von dem rotes Licht empfangenden Kamera-Chip 35 noch detektiert werden könnte, wie dies aus der durch die Linie 156 repräsentierten Charakteristik hervorgeht. Der Grund für dieses Beschneiden des roten Lichts in dem Beleuchtungslichtstrahl hin zu langen Wellenlängen liegt darin, eine unnötige Erwärmung des Objekts durch das Beleuchtungslicht zu vermeiden.

**[0040]** Eine Linie 158 in Fig. 3 repräsentiert, stark schematisch, eine Durchlasscharakteristik des Filters 75, welches in dem zweiten Betriebsmodus zur Fluoreszenzbeobachtung in dem Strahlengang des Beleuchtungslichtstrahls 56 angeordnet ist. Das Filter 75 lässt blaues und grünes Licht nicht passieren, während rotes Licht in einem Wellenlängenbereich von etwa 615 nm bis 790 nm das Filter 75 passieren und auf das Objekt 9 treffen kann, um dort eine Fluoreszenz des Farbstoffs ICG anzuregen.

reszenzbeobachtung in dem Strahlengang des Beleuchtungslichtstrahls 56 angeordnet ist. Das Filter 75 lässt blaues und grünes Licht nicht passieren, während rotes Licht in einem Wellenlängenbereich von etwa 615 nm bis 790 nm das Filter 75 passieren und auf das Objekt 9 treffen kann, um dort eine Fluoreszenz des Farbstoffs ICG anzuregen.

**[0041]** Eine Linie 159 in Fig. 3 repräsentiert eine Durchlasscharakteristik des dichroitischen Strahlteilers 33 für infrarotes Licht hin zu dem Kamera-Chip 36, welchem ebenfalls grünes Licht zugeführt wird.

**[0042]** In dem zweiten Betriebsmodus zur Fluoreszenzdetektion ist somit grünes Licht in dem Beleuchtungslicht im Wesentlichen nicht enthalten, so dass dem Kamera-Chip 36 ebenfalls im Wesentlichen kein grünes Licht zugeführt wird. Allerdings kann der Kamera-Chip 36 das durch die Fluoreszenz erzeugte Infrarotlicht detektieren, so dass die Steuerung 101 über das Kamerasystem 25 und insbesondere durch Verwendung der durch den grünen Kamera-Chip 36 bereitgestellten Bilddaten ein Infrarotbild des Objekts aufnehmen kann.

**[0043]** In der vorangehend erläuterten Ausführungsform ist der dichroitische Strahlteiler 33 derart ausgebildet, dass das Infrarotlicht dem Kamera-Chip 36 zugeführt wird, welchem ebenfalls das grüne Licht zugeführt wird. Es ist jedoch auch möglich, den dichroitischen Strahlteiler 33 so zu modifizieren, dass das Infrarotlicht dem Kamera-Chip 37 zugeführt wird, welchem ebenfalls das blaue Licht zugeführt wird.

**[0044]** In der vorangehende erläuterten Ausführungsform ist ein Infrarot-Sperrfilter 27 wahlweise vor dem Eintrittsquerschnitt des Kamerasystems 25 anordenbar. Allerdings kann dieses Infrarot-Sperrfilter auch gänzlich weggelassen werden.

**[0045]** Eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Operationsmikroskops wird nachfolgend wiederum unter Bezugnahme auf die Fig. 1 bis Fig. 3 erläutert. Das Operationsmikroskop gemäß dieser Ausführungsform weist einen weitgehend ähnlichen Aufbau auf, wie das vorangehend anhand der Fig. 1 bis Fig. 3 erläuterte Operationsmikroskop. Allerdings weist hier das Filter 75, welches in dem zweiten Betriebsmodus zur Anregung der Fluoreszenz in dem Beleuchtungsstrahlengang eingeführt ist, eine Durchlasscharakteristik auf, welche von der Durchlasscharakteristik gemäß Linie 158 in Fig. 3 verschieden ist. Die Durchlasscharakteristik ist dann vielmehr so ausgelegt, dass von dem Filter 75 Licht in einen Wellenlängenbereich von 400 nm bis etwa 780 nm durchgelassen wird, so dass das Objekt 9 sowohl mit Fluoreszenzanregungslicht als auch mit Normallicht beleuchtet wird. Es kann deshalb durch die Okulare 16 und 17 das Normallichtbild des Objekts mit den Augen des Benutzers wahrgenommen werden.

Ebenfalls' kann die Kamera **83**, welche ein Infrarot-sperrfilter **88** an ihren Eingangsquerschnitt aufweist, ein Normallichtbild des Objekts detektieren und auf einer Anzeige, wie etwa den Anzeigen **103**, **104**, **114** und **115** dargestellt wird. Bei dieser Ausführungsform ist dann das Filter **27**, welches in dem Eingangsquerschnitt der Kamera **25** angeordnet ist derart ausgebildet, dass es eine Durchlasscharakteristik aufweist, wie dies mit der Linie **159** in **Fig. 3** dargestellt ist. Die Kamera **25** kann dann das Fluoreszenzbild des Objekts aufnehmen, und dieses kann als Schwarz-Weiß-Bild auf einer der Anzeigen **103**, **104**, **114** und **115** dargestellt werden. Hierbei ist es ebenfalls möglich, das Fluoreszenzbild auf den Anzeigen in Überlagerung mit dem Normallichtbild darzustellen. Hierbei kann insbesondere das Fluoreszenzbild in einer Farbe, beispielsweise Grün, dargestellt werden, wobei größere Fluoreszenzlichtintensitäten durch ein helleres Grün und geringere Fluoreszenzlichtintensitäten durch ein dunkleres Grün oder umgekehrt dargestellt werden.

**[0046]** Im Rahmen der vorangehend beschriebenen Ausführungsformen ist es möglich, mehrere Pixel, beispielsweise 2, 4 oder mehr Pixel der Kamera zu Gruppen zusammenzufassen und deren detektierte Strahlungsintensitäten zu akkumulieren, um aus einem derart akkumulierten Intensitätswert einen Intensitätswert eines Bildelements des detektierten Bildes zu erhalten. Eine solche Maßnahme wird herkömmlicherweise auch als Pixel-Binning bezeichnet und dient dazu, bei lediglich geringen Lichtintensitäten, die auf einzelne Pixel des Kamerachips treffen, ein besseres Signal-Rausch-Verhältnis in dem Gesamtbild zu erhalten.

### Patentansprüche

1. Operationsmikroskop zur Beobachtung einer Infrarot-Fluoreszenz und eines Normallichtbildes, umfassend: eine Mikroskopieoptik (3) zur optischen Abbildung eines Objektbereichs (9) auf ein Kamerasystem (25) zur Erzeugung von Bildern des Objektfeldes (9), ein Anzeigesystem (103, 104, 113) zur Darstellung der Bilder für eine Betrachtung durch einen Benutzer, ein Beleuchtungssystem (51) zur Bereitstellung wenigstens eines auf den Objektbereich (9) gerichteten ersten Beleuchtungslichtstrahls (69), wobei das Kamerasystem (25) einen dichroitischen Strahlteiler (33) und drei Kamera-Chips (35, 36, 37) aufweist, welche derart konfiguriert sind, dass auf einen Eintrittsquerschnitt (31) des Strahlteilers (33) treffendes rotes Licht (39) über einen ersten Austrittsquerschnitt des Strahlteilers (33) vorrangig einem ersten Kamera-Chip (35) zugeführt wird, dass auf den Eintrittsquerschnitt (31) des Strahlteilers (33) treffendes grünes Licht (40) über einen zweiten Austrittsquerschnitt des Strahlteilers (33) vorrangig einem zweiten Kamera-Chip (36) zugeführt wird, und

dass auf den Eintrittsquerschnitt (31) des Strahlteilers (33) treffendes blaues Licht (42) über einen dritten Austrittsquerschnitt des Strahlteilers vorrangig einem dritten Kamera-Chip (37) zugeführt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Strahlteiler (33) ferner derart konfiguriert ist, dass auf den Eintrittsquerschnitt (31) des Strahlteilers (33) treffendes infrarotes Licht (42) vorrangig lediglich einem (36) der drei Kamera-Chips (35, 36, 37) zugeführt wird.

2. Operationsmikroskop nach Anspruch 1, wobei das auf den Eintrittsquerschnitt des Strahlteilers treffende infrarote Licht vorrangig lediglich einem der Kamera-Chips zugeführt wird, welcher von dem Kamera-Chip verschieden ist, dem vorrangig das rote Licht zugeführt wird.

3. Operationsmikroskop nach Anspruch 1 oder 2, wobei bei gegebener auf den Eintrittsquerschnitt treffender Intensität an infrarotem Licht ein Verhältnis aus einer Intensität an infrarotem Licht, welches dem Kamera-Chip zugeführt wird, dem das infrarote Licht vorrangig zugeführt wird, zu einer Intensität an infrarotem Licht, welches einem jeden der beiden übrigen Kamera-Chips zugeführt wird, größer als 1,8, insbesondere größer als 2,5 und weiter insbesondere größer als 3,0 ist.

4. Operationsmikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das infrarote Licht in einem Wellenlängenbereich von 800 nm bis 930 nm umfasst.

5. Operationsmikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das blaue Licht in einem Wellenlängenbereich von 440 nm bis 490 nm umfasst, das grüne Licht in einem Wellenlängenbereich von 520 nm bis 570 nm umfasst, und das rote Licht in einem Wellenlängenbereich von 625 nm bis 740 nm umfasst.

6. Operationsmikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 5, ferner umfassend ein Infrarot-Sperrfilter, welches wahlweise vor dem Eintrittsquerschnitt des Strahlteilers anordenbar ist.

7. Mikroskopieverfahren, umfassend:  
Betreiben eines Operationsmikroskops, insbesondere des Operationsmikroskops nach einem der Ansprüche 1 bis 6, in einem ersten Betriebsmodus, umfassend:  
Richten von Licht, welches rotes, grünes und blaues Licht enthält, auf ein Objekt,  
Führen von von dem Objekt ausgehendem Licht zu einem dichroitischen Strahlteiler,  
und Zuführen von rotem Licht zu einem ersten Kamera-Chip, Zuführen von grünem Licht zu einem zweiten Kamera-Chip, Zuführen von blauem Licht zu einem dritten Kamera-Chip, und



Betreiben des Operationsmikroskops in einem zweiten Betriebsmodus, umfassend:

Richten von Licht, welches Licht in einem Wellenlängenbereich von 700 nm bis 790 nm enthält, auf das Objekt,

Führen von von dem Objekt ausgehendem Licht zu dem dichroitischen Strahlteiler, und

Zuführen von infrarotem Licht im Wesentlichen zu lediglich einem der drei Kamera-Chips.

8. Mikroskopieverfahren nach Anspruch 7, wobei in dem ersten Betriebsmodus ein Infrarot-Sperrfilter in einem Strahlengang zwischen dem Objekt und dem dichroitischen Strahlteiler angeordnet ist, und in dem zweiten Betriebsmodus das Infrarot-Sperrfilter in dem Strahlengang zwischen dem Objekt und dem dichroitischen Strahlteiler nicht angeordnet ist.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

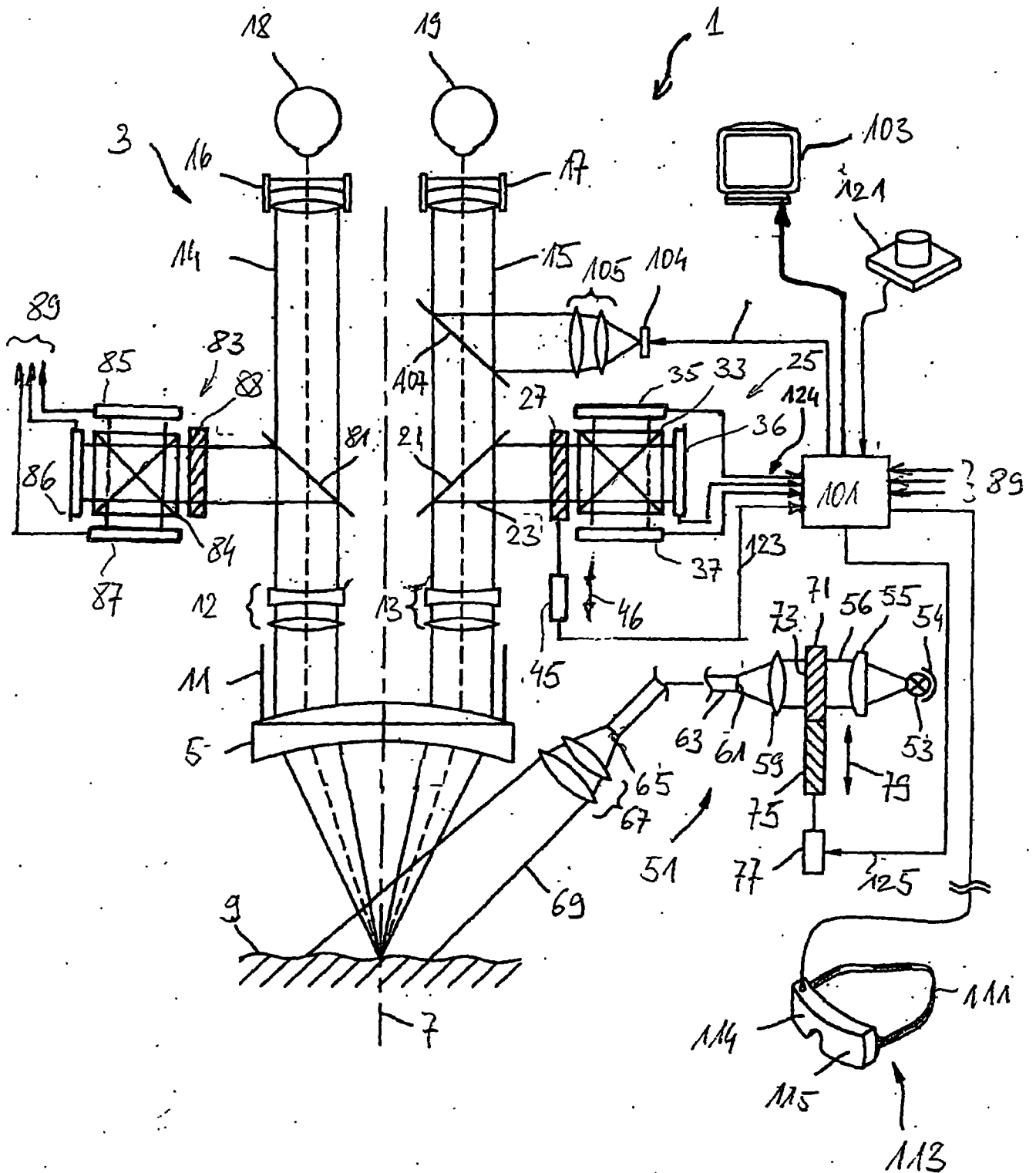


Fig. 1

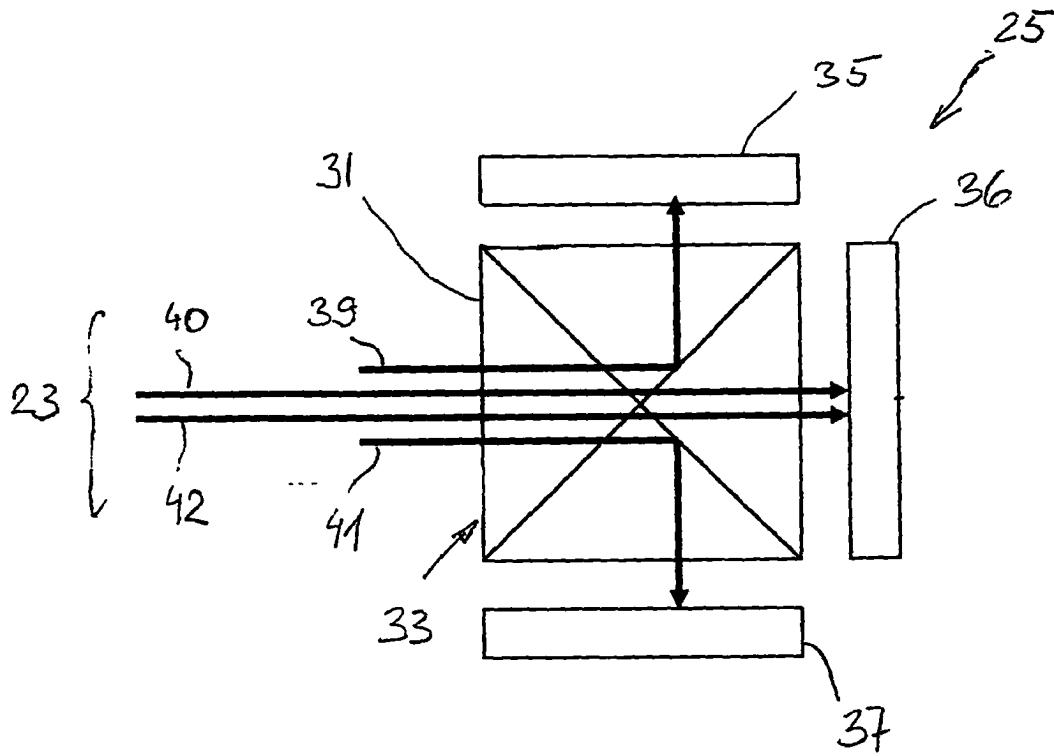


Fig. 2

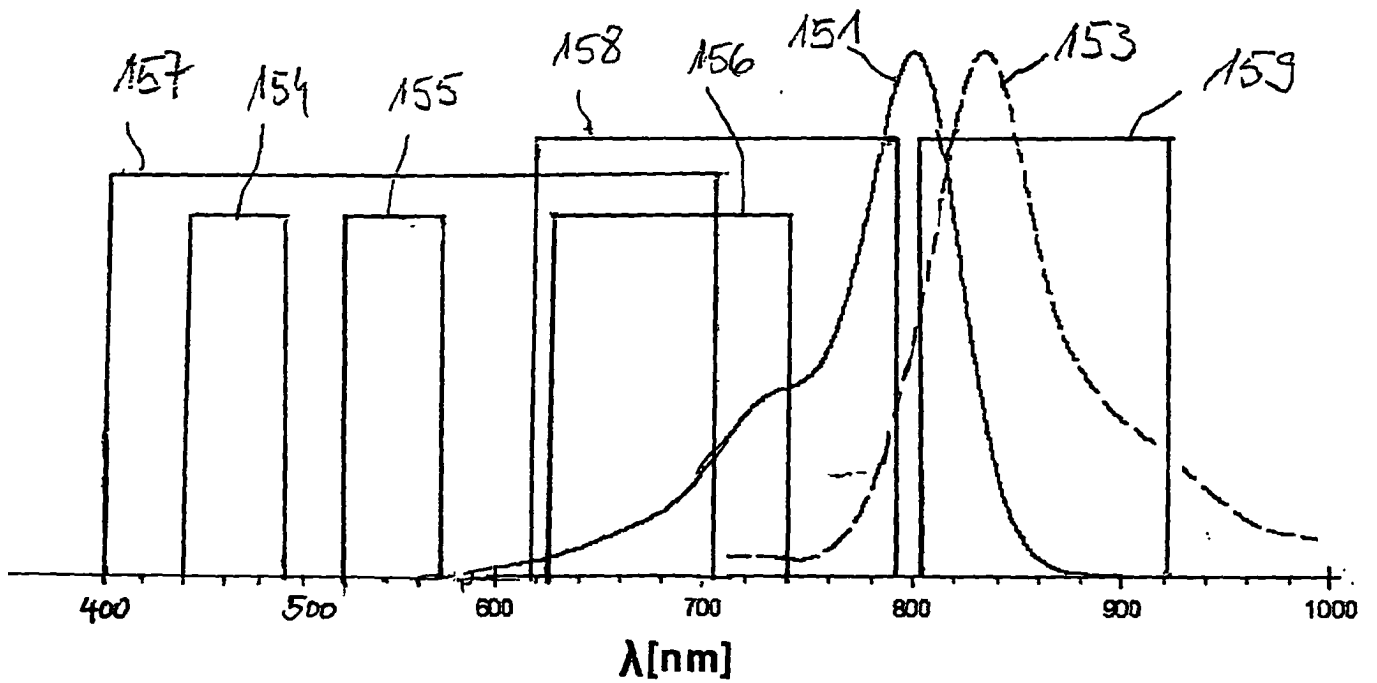


Fig. 3