



(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2017 117 428.1**
(22) Anmeldetag: **01.08.2017**
(43) Offenlegungstag: **07.02.2019**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **25.07.2024**

(51) Int Cl.: **G01N 21/64** (2006.01)
H04N 9/64 (2023.01)
A61B 1/06 (2006.01)

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:
**SCHÖLLY FIBEROPTIC GMBH, 79211 Denzlingen,
DE**

(74) Vertreter:
**Maucher Jenkins Patentanwälte & Rechtsanwälte,
79102 Freiburg, DE**

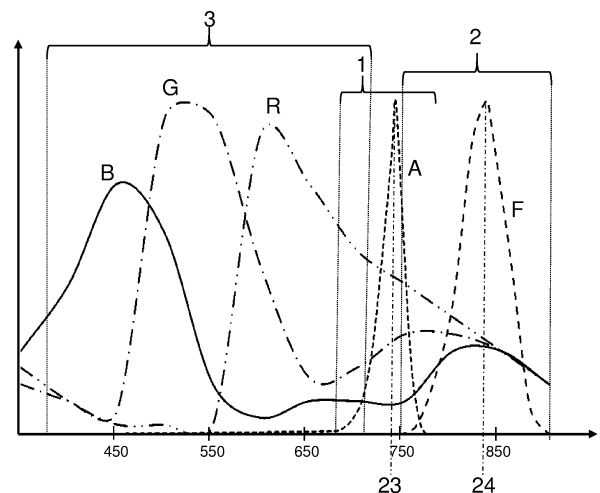
(72) Erfinder:
**Doser, Ingo, 78050 Villingen-Schwenningen, DE;
Hille, Andreas, 78048 Villingen-Schwenningen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **Bildgebendes Verfahren unter Ausnutzung von Fluoreszenz sowie zugehörige
Bildaufnahmeverrichtung**

(57) Hauptanspruch: Bildgebendes Verfahren, wobei

- mit einer in einem ersten Spektralbereich (1) abstrahlenden Lichtquelle (4) ein Fluorophor (5) mit Anregungslicht bestrahlt wird und ein von dem Fluorophor (5) in einem zweiten Spektralbereich (2) emittiertes Fluoreszenzlicht mit einem einzigen Sensor (6) detektiert wird,
- wobei dieser Sensor (6) mindestens zwei Farbkanäle (R, G, B) aufweist, deren Sensitivitäten im ersten Spektralbereich (1) und im zweiten Spektralbereich (2) unterschiedlich verteilt sind und
- wobei die mindestens zwei Farbkanäle (R, G, B) jeweils das Anregungslicht in dem ersten Spektralbereich (1) und das Fluoreszenzlicht in dem zweiten Spektralbereich (2) detektieren, dadurch gekennzeichnet,
- dass ein Ausgangssignal jedes der mindestens zwei Farbkanäle (R, G, B) von einer auf den Sensor (6) einfallenden Intensität des Anregungslichts und einer einfallenden Intensität des Fluoreszenzlichts abhängt und
- dass durch Verarbeitung von Signalen der mindestens zwei Farbkanäle eine Intensität des Fluoreszenzlichts von einer Intensität des Anregungslichts separiert wird.



(56) Ermittelte Stand der Technik:

DE	10 2014 016 850	A1
DE	10 2015 011 441	A1
DE	10 2015 216 570	A1
DE	10 2017 203 448	A1
DE	10 2017 203 452	A1
US	2004 / 0 155 957	A1
US	2008 / 0 015 446	A1
US	2009 / 0 202 119	A1
US	2010 / 0 296 141	A1
US	2017 / 0 176 336	A1
US	3 971 065	A
US	4 642 678	A
WO	2016/ 042 892	A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein bildgebendes Verfahren, wobei mit einer in einem ersten Spektralbereich abstrahlenden Lichtquelle ein Fluorophor mit Anregungslicht bestrahlt wird und ein von dem Fluorophor in einem zweiten Spektralbereich emittiertes Fluoreszenzlicht mit einem einzigen Sensor detektiert wird. Die Erfindung betrifft ferner eine zugehörige Bildaufnahmevorrichtung.

[0002] Verfahren wie eingangs beschrieben sind an sich bekannt und werden beispielsweise in der Fluoreszenz-Mikroskopie oder bei medizinischen Untersuchungen eingesetzt. Diese Verfahren beruhen auf dem physikalischen Effekt der Fluoreszenz, bei dem Fluoreszenzfarbstoffe, sogenannte Fluorophore oder auch Fluorochrome, mit Anregungslicht einer Absorptionswellenlänge angeregt werden und dadurch wenige Nanosekunden später spontan Fluoreszenzlicht einer Emissionswellenlänge emittieren; hierbei ist die spontane Emission des Fluoreszenzlichts in der Regel energieärmer als das zuvor von dem Fluorophor absorbierte Anregungslicht. Daher ist auch die Emissionswellenlänge eines Fluorophors in der Regel länger als die Absorptionswellenlänge, die das Fluorophor zuvor absorbiert hat.

[0003] Bei derartigen Verfahren wird typischerweise durch spezielle optische Filter sichergestellt, dass nur das von den Fluorophoren emittierte Licht (Fluoreszenzlicht) beobachtet wird. Mittels der Filter wird somit vermieden, dass das von einem zu beobachtenden Objekt reflektierte Anregungslicht die Beobachtung des Fluoreszenzlichts stört. Dies ist insbesondere dann von Relevanz, wenn die Stokes-Verschiebung, also die Verschiebung von der Absorptionswellenlänge zur Emissionswellenlänge des Fluorophors, gering ausfällt. Eine solche Separation des Fluoreszenzlichts von dem Anregungslicht wird auch als „color separation“ bezeichnet.

[0004] Insbesondere bei medizinischen Untersuchungen werden Fluorophore in die Blutbahn eines Patienten eingebracht, um während der Untersuchung Blutgefäße detailliert darstellen zu können. Hierbei besteht häufig der Wunsch oder die konkrete Anforderung, neben der Beobachtung des Fluoreszenzlichtes, das Objekt, beispielsweise die Gewebefläche eines Organs, auch in breitbandigem, insbesondere weißem, Beleuchtungslicht beobachten zu können. Mit anderen Worten besteht somit ein Bedarf an einem Verfahren, mit dem sich mit geringem technischem Aufwand sowohl herkömmliche Bilder als auch mittels Fluoreszenz erzeugte Bilder, vorzugsweise gleichzeitig und live, betrachten lassen.

[0005] Im Stand der Technik sind Bildgebungsverfahren bekannt, die mehrere Sensoren mit unter-

schiedlichen Charakteristiken zur getrennten Detektion von Beleuchtungslicht und Fluoreszenzlicht einsetzen. Beispielsweise werden hierzu bereits 3-Chip Bildsensoren eingesetzt, die steil ansprechende dichroitische Filter, also Interferenzfilter, zur Separation verwenden. Hierbei ist beispielsweise einer der Sensoren zur selektiven Detektion des Fluoreszenzlichts mit Hilfe eines dichroitischen Filters eingerichtet, während dieser Sensor das Beleuchtungslicht nicht oder nur äußerst schwach detektiert; ein weiterer Bildsensor kann umgekehrt zur Detektion des Beleuchtungslichtes eingerichtet sein, wobei ein weiterer Filter das dabei störende Fluoreszenzlicht blockt. Der mit der Anwendung solcher Verfahren und Vorrichtungen verbundene technische Aufwand ist jedoch hoch; insbesondere die Anschaffungskosten für geeignete Bildaufnahmevorrichtungen sind hoch.

[0006] Aus US 2004 0155957 A1 ist ein Video-Endoskop für medizinisches Screening von Krebszellen bekannt, das neben herkömmlichen Weißlicht-Bildern unter Verwendung nur eines einzigen Bildsensors mit 4 Farbkanälen auch Fluoreszenzbilder aufnehmen kann. Hierzu wird zunächst das zu untersuchende Gewebe mit Weißlicht beleuchtet, wobei bestimmte Signalanteile als Referenzbilddaten abgelegt werden. Danach werden nur die UV-Anteile des Weißlichts mittels eines Filters als Anregungslicht auf die Oberfläche gelenkt, wobei wiederum bestimmte Signalanteile, die sowohl durch Anregungslicht als auch durch Fluoreszenzlicht erzeugt sein können, als Fluoreszenzbilddaten erfasst werden. Durch Vergleich der Referenzbilddaten mit den Fluoreszenzbilddaten können dann Rückschlüsse auf das Vorhandensein von krankhaftem Gewebe in dem untersuchten Gebiet getroffen werden.

[0007] US 2010 0296141 A1 offenbart ein „image reading apparatus“ mit einer Reihe von wechselweise eingeschalteten monochromatischen LEDs (R/G/B), die mittels eines Liniensensors ausgelesen werden, der drei Farbkanäle aufweist (R/G/B). Dabei wird eine blaue LED als Anregungslichtquelle verwendet und Fluoreszenzlicht im grünen Spektralbereich mit einem grünen Farbkanal des Liniensensors ausgelesen. Gleichzeitig wird der blaue Farbkanal genutzt, um ein Referenzsignal nur des Anregungslichts aufzuzeichnen.

[0008] US 2017 0176336 A1 schlägt die Verwendung von zwei Sensoren vor, die je nach wechselweise verwendetem unterschiedlichem Beleuchtungsspektrum entweder nur reflektiertes Anregungslicht oder nur emittiertes Fluoreszenzlicht selektiv mit Hilfe von Vorfiltern aufzeichnen und so eine Separation des Anregungslichts von dem Fluoreszenzlicht mittels spektraler Filter ermöglichen.

[0009] Vergleichbare Ansätze finden sich auch in den Veröffentlichungen DE 10 2015 011 441 A1, DE 10 2017 203 448 A1, DE 10 2017 203 452 A1, DE 10 2014 016 850 A1, US 2008/0015446 A1 und DE 10 2015 216 570 A1, die weiteren für die Erfindung relevanten Stand der Technik bilden, wobei in diesen Systemen mehrere Bildsensoren zum Einsatz kommen, was die Komplexität des jeweiligen Bildaufnahmesystems natürlich erhöht.

[0010] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein im Vergleich zum Stand der Technik verbessertes Bildgebungsverfahren bereit zu stellen. Insbesondere soll der technische und finanzielle Aufwand zur Bildgebung beim Einsatz von Fluorophoren reduziert werden. Die Erfindung will somit insbesondere den technischen Aufwand vermeiden, der bei Verwendung mehrerer Sensoren entsteht.

[0011] Zur Lösung dieser Aufgabe sind erfindungsgemäß bei einem bildgebenden Verfahren die Merkmale von Anspruch 1 vorgesehen. Insbesondere wird somit erfindungsgemäß zur Lösung der Aufgabe bei einem bildgebenden Verfahren der eingangs genannten Art vorgeschlagen, dass der einzige Sensor mindestens zwei Farbkanäle aufweist deren Sensitivitäten im ersten Spektralbereich und im zweiten Spektralbereich unterschiedlich verteilt sind und dass die mindestens zwei Farbkanäle jeweils das Anregungslicht in dem ersten Spektralbereich und das Fluoreszenzlicht in dem zweiten Spektralbereich detektieren.

[0012] Hierbei können sich die beiden Spektralbereiche auch überlappen. Insbesondere kann somit ein erstes Emissionsspektrum der Lichtquelle, welches die Lichtquelle innerhalb des ersten Spektralbereichs abstrahlt, mit einem zweiten Emissionsspektrum überlappen, welches das Fluorophor innerhalb des zweiten Spektralbereichs emittiert. Der erste/zweite Spektralbereich kann somit insbesondere durch das erste/zweite Emissionsspektrum definiert sein.

[0013] Gemäß der Erfindung ist selbst bei einer vollständigen Überlappung eines der beiden Spektralbereiche durch den jeweils anderen eine Separation des Fluoreszenzlichts von dem Anregungslicht noch möglich, solange sich die Spektralverteilung des Anregungslichts von der des Fluoreszenzlichts für eine Separation ausreichend unterscheidet.

[0014] Unter Sensitivität kann hier insbesondere die Änderung eines von einem Farbkanal des Sensors ausgegebenen Signalwerts bezogen auf die ihn verursachende, auf den Farbkanal einfallende, Lichtintensität verstanden werden.

[0015] Da jeder der Farbkanäle sowohl das Anregungslicht als auch das Fluoreszenzlicht detektiert,

hängt das Ausgangssignal jedes der mindestens zwei Farbkanäle des Sensors von einer auf den Sensor einfallenden Intensität des Anregungslichts und einer einfallenden Intensität des Fluoreszenzlichts ab.

[0016] Ein wesentlicher Vorteil des Verfahrens gemäß Anspruch 1 besteht darin, dass eine Separation des reflektierten Anregungslichts von dem Fluoreszenzlicht vorgenommen werden kann, ohne dabei auf speziell abgestimmte optische Filter zurückgreifen zu müssen. Durch das erfindungsgemäße Bildgebungsverfahren wird es somit, insbesondere unter Verwendung eines (einzigen) herkömmlichen Sensors, möglich, Fluoreszenzlicht und Anregungslicht einfach zu detektieren und voneinander zu unterscheiden. Denn gemäß der Erfindung kann eine solche Separation bereits durch Signalverarbeitung erreicht werden.

[0017] Dieses Separationskonzept soll im Folgenden zunächst anschaulich am Beispiel eines CMOS-Bildsensors erläutert werden, der drei Farbkanäle (R,G,B), jeweils als einzelne Farbpixel ausgestaltet, aufweist. Beispielsweise ist es bei herkömmlichen Bildsensoren mit Farbrastern in Form eines Bayer-Patterns (vgl. US 3 971 065 A üblich, dass jedem auflösbaren Bildpunkt, der entweder ein grünes Pixel, ein rotes Pixel oder ein blaues Pixel sein kann, nach Durchführung eines sogenannten „De-Bayering“ (oder auch „demosaicing“) ein Rot-Grün-Blau-Triple zugeordnet wird. Da jedes Pixel nur den Wert eines Farbkanals aufnehmen kann, ist die Farbinformation dabei unvollständig. Entsprechend muss die fehlende Farbinformation in einem Pixel durch Interpolation ermittelt werden (vgl. US 4 642 678 A).

[0018] Im Stand der Technik gibt es darüber hinaus weitere Ausprägungen derartiger Farbraster, die sich hinsichtlich der Anzahl an Farbfiltern / Farbpixeln und deren jeweiliger Anordnung unterscheiden. Die folgende Beschreibung ist jedoch ohne Beschränkung der Allgemeinheit für einen Fachmann selbstverständlich auch auf andere Sensoren und Farbraster, insbesondere solche mit zwei oder mehr als drei Farbkanälen, anwendbar. Besonders vorteilhaft für das im Folgenden erläuterte Separationsverfahren ist es hierbei jedoch, wenn der verwendete Sensor unterschiedliche Spektralfilter, insbesondere in Form von Pixeln, aufweist, die derart angeordnet sind, dass ein gesamter zu detektierender Spektralbereich durch örtlich benachbarte Spektralfilter bzw. Pixel erfasst werden kann. Denn damit kann eine hohe örtliche Auflösung der spektralen Bildgebung erzielt werden. So kann das im Folgenden erläuterte Verfahren beispielsweise auf Farbinformationen von einzelnen Pixeln eines Sensors angewendet werden, die mittels eines De-Bayering (vgl. oben) ermittelt worden sind.

[0019] Bezug nehmend auf den im vorherigen Abschnitt eingeführten CMOS-Bildsensor gilt für jeden seiner Bildpunkte

$$S = \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_A \\ G_A \\ B_A \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} R_F \\ G_F \\ B_F \end{pmatrix}. \quad (1)$$

[0020] Hierbei sind R, G, B von den einzelnen Farbkanälen des Sensors ausgegebene Signalwerte, die mit einer auf die Farbkanäle einfallenden Gesamtintensität I und dessen spektraler Verteilung korrelieren. Wie zuvor erwähnt können hierbei einzelne Farbinformationen (R / G / B) durch Interpolation ermittelt worden sein.

[0021] Der Vektor S stellt sich als Summe von Beiträgen des von der betrachteten Oberfläche reflektierten Anregungslichts (Index A) und des von dem Fluorophor emittierten Fluoreszenzlichts (Index F) dar. Denn fällt auf ein einzelnes R/G/B-Pixel des Sensors sowohl Anregungslicht als auch Fluoreszenzlicht, so tragen beide Lichtanteile zur Entstehung des Signalwerts des jeweiligen Farbkanals bei.

[0022] Für das Anregungslicht können die Reflexionseigenschaften der beleuchteten Oberfläche, zumindest näherungsweise, berücksichtigt werden

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = V_A \begin{pmatrix} r_A \\ g_A \\ b_a \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} R_F \\ G_F \\ B_F \end{pmatrix}. \quad (2)$$

[0023] Hierbei sind die Komponenten r_A , g_A , b_A jeweils als ein Produkt zu verstehen aus dem Emissionsspektrum der anregenden Lichtquelle, dem Reflexionsspektrum der beleuchtenden Oberfläche und der Sensitivität des jeweiligen Farbkanals (R/G/B), während V_A als Skalierungsfaktor zu verstehen ist, der es ermöglicht, unterschiedliche Intensitäten des Anregungslichts zu modellieren. Eine größere jedoch in bestimmten Anwendungen zielführende Approximation läge darin, lediglich das Emissionsspektrum der Lichtquelle und die Sensitivitäten der Farbkanäle zu berücksichtigen und die Reflexionseigenschaften der zu beobachtenden Oberfläche zu vernachlässigen. Diese Approximation bietet sich besonders bei Verwendung von schmalbandigen Anregungslicht an, denn in diesem Fall kann der Einfluss des Reflexionsspektrums der Oberfläche vernachlässigt werden.

[0024] Für ein gegebenes Fluorophor lässt sich die Annahme treffen, dass dieses ein Spektrum emittiert, das konstant ist. Damit lässt sich die vorherige Gleichung (2) weiter differenzieren

$$S = \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = V_A \begin{pmatrix} r_A \\ g_A \\ b_A \end{pmatrix} + V_F \begin{pmatrix} r_F \\ g_F \\ b_F \end{pmatrix} = V_A A + V_F F. \quad (3)$$

[0025] Hierbei sind r_F , g_F , b_F jeweils als ein Produkt zu verstehen aus dem Emissionsspektrum des Fluorophors und der Sensitivität des jeweiligen Farbkanals (R/G/B), während V_F als Skalierungsfaktor zu verstehen ist, der es ermöglicht, unterschiedliche Intensitäten des Fluoreszenzlichts zu modellieren.

[0026] Die Separation der Beiträge des Anregungslichts V_A und des Fluoreszenzlichts V_F in einem Bildpunkt stellt sich somit näherungsweise als Auflösung der Linearkombination der Gleichung (3) dar, wobei die Vektoren A und F durch die Wahl des Sensors, des Fluorophors und der anregenden Lichtquelle bestimmt sind.

[0027] Es versteht sich, dass Gleichung (3) genau dann auflösbar ist, wenn die beiden Vektoren A und F linear unabhängig sind. Die Auflösung geschieht beispielsweise dadurch, dass der Vektor S entlang von A auf F und entlang von F auf A projiziert wird. Die Erfindung hat nun erkannt, dass die lineare Unabhängigkeit beispielsweise dann gegeben ist, wenn der Sensor mindestens zwei Farbkanäle aufweist, deren wellenlängenabhängige Sensitivitäten im Spektralbereich des Anregungslichts und im Spektralbereich des Fluoreszenzlichts unterschiedlich verteilt sind.

[0028] Um Gleichung (3) auflösen und damit die Anteile des Anregungs- und des Fluoreszenzlichts voneinander separieren zu können müssen dabei Messsignale von mindestens zwei unabhängigen Farbkanälen des Sensors vorliegen. Insbesondere bei Verwendung eines Bildsensors wird es somit möglich, mittels des Sensors eine Intensität des Fluoreszenzlichts, vorzugsweise orts aufgelöst, von einer Intensität des Anregungslichts zu unterscheiden.

[0029] Zur Lösung der genannten Aufgabe sind alternativ oder ergänzend die Merkmale des zweiten nebengeordneten auf ein bildgebendes Verfahren gerichteten Anspruchs vorgesehen. Insbesondere wird somit erfindungsgemäß bei einem bildgebenden Verfahren der eingangs beschriebenen Art zur Lösung der genannten Aufgabe alternativ oder ergänzend zu dem zuvor beschriebenen Ansatz vorgeschlagen, dass jeweils das Anregungslicht und das Fluoreszenzlicht in mindestens zwei Farbkanälen des einzigen Sensors, also insbesondere in R/G/B-Pixeln des Sensors, Signale erzeugen, die jeweils unterschiedlichen Farbtönen und/oder unterschiedlichen Farbsättigungen zugeordnet werden können. Hierzu können der Sensor, die Lichtquelle und das Fluorophor entsprechend ausgewählt wer-

den. Von Vorteil ist dabei, dass eine Separation des Fluoreszenzlichts von dem Anregungslicht unter Ausnutzung der Unterschiede in den durch das Anregungslicht bzw. durch das Fluoreszenzlicht erzeugten Farbtönen und/oder in den erzeugten Farbsättigungen erfolgen kann, insbesondere unter Ausnutzung von noch näher zu erläuternden Einheitsvektoren.

[0030] Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass hier unter Farbtönen und -sättigungen insbesondere spezifische Eigenschaften von Farbinformationen verstanden werden können, die aus Signalen der Farbkanäle des Sensors gewonnen werden. Beispielsweise geben herkömmliche Bildsensoren bei Bestrahlung eines Bildpunkts mit einer gesättigten Farbe (und sachgemäßer Anwendung) ein zugehöriges RGB-Triplet aus, bei dem nur eine der drei Farben R/G/B eine hohe Amplitude aufweist. Dagegen ergeben sich unterschiedliche Farbtöne durch Rotation desjenigen Vektors, der sich aus den Farbinformationen R, G, B eines Triplets zusammensetzt. Bei bestimmten Anwendungen des erfindungsgemäßen Verfahrens, beispielsweise bei Detektion von infrarotem (für den Menschen nicht sichtbarem) Licht, können daher Farbtöne oder Farbsättigungen im Sinne der Erfindung gerade nicht mehr im Bezug stehen zu Farbtönen und -sättigungen, wie sie das menschliche Auge wahrnimmt.

[0031] Erfindungsgemäß kann die Aufgabe auch durch weitere vorteilhafte Ausführungen der Unteransprüche gelöst werden.

[0032] Beispielsweise können mit den zuvor vorgestellten Ansätzen insbesondere Bildsignale erzeugt werden, die einer Intensitätsverteilung des Fluoreszenzlichts beziehungsweise des Anregungslichts entsprechen. Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung lässt sich die dafür notwendige „color separation“ wie zuvor beschrieben gerade dann besonders einfach realisieren, wenn der Sensor bei Bestrahlung mit dem Anregungslicht eine Farbsättigung aufweist, die sich von einer Farbsättigung unterscheidet, die der Sensor bei Bestrahlung mit dem Fluoreszenzlicht aufweist.

[0033] Der Begriff Farbsättigung beschreibt im Allgemeinen, wie stark sich ein farbiger Reiz von einem achromatischen Reiz, unabhängig von dessen Helligkeit, unterscheidet. Gesättigte Farben zeichnen sich also durch hohe spektrale Reinheit und hohe Farbintensität aus. Bezogen auf das hier diskutierte erfindungsgemäße Bildgebungsverfahren kann unter Farbsättigung insbesondere ein Farbsättigungswert verstanden werden, der mit der Gleichheit bzw. Ungleichheit der Sensitivitäten der Farbkanäle korreliert. Zeigen beispielsweise zwei oder drei Farbkanäle bei einer bestimmten Wellenlänge eine annähernd gleiche Sensitivität, so kann der Sensor

für diese Wellenlänge eine entsprechend geringe Farbsättigung aufweisen bzw. ausgeben. Umgekehrt kann der Sensor in der Regel für eine bestimmte Wellenlänge gerade dann eine hohe Farbsättigung aufweisen bzw. ausgeben, wenn sich die Sensitivitäten seiner Farbkanäle für diese Wellenlänge (insbesondere stark) unterscheiden.

[0034] Neben Helligkeit und Farbsättigung stellt der Farbton (engl. „hue“) die dritte grundlegende Eigenschaft einer Farbe dar. Mit dem Farbton, der im HSV-Farbraum einer der drei möglichen Koordinaten darstellt, wird unter anderem die Farbempfindung beschrieben anhand derer wir beispielsweise rote, grüne oder blaue Farben voneinander unterscheiden. Die Erfindung hat nun erkannt, dass sich unterschiedliche spektrale Anteile eines mit einem Sensor aufgenommenen Lichtspektrums, das aus einer Überlagerung zweier Emissionsspektren besteht, anhand unterschiedlicher Farbtöne unterscheiden lassen. Dies gilt insbesondere dann, wenn die beiden Emissionsspektren annähernd gleiche Farbsättigungen auf dem Sensor erzeugen. Somit kann entsprechend einer weiteren Ausgestaltung eine „color separation“ einfach realisiert werden, wenn die anregende Beleuchtung und das Fluorophor gerade so gewählt werden, dass das Anregungslicht und das Fluoreszenzlicht Farbtöne aufweisen, die mittels der mindestens zwei Farbkanäle des Sensors unterscheidbar sind. Diese Unterscheidbarkeit kann selbst dann noch gewährleistet sein, wenn der Sensor innerhalb des ersten Spektralbereichs und des zweiten Spektralbereichs annähernd gleiche Farbsättigungen aufweist. Unter Farbton kann hier insbesondere eine, für ein bestimmtes Lichtspektrum spezifische, Verteilung von Signalen verstanden werden, die die mindestens zwei Farbkanäle des Sensors ausgeben.

[0035] Der erste und der zweite Spektralbereich kann also gerade so gewählt sein, dass Licht aus dem ersten Spektralbereich von Licht aus dem zweiten Spektralbereich mit Hilfe der Farbkanäle des Sensors anhand gemessener Farbtöne unterscheidbar ist. Dies ist insbesondere auch dann möglich, wenn der erste und der zweite Spektralbereich annähernd gleiche Farbsättigungen auf dem Sensor erzeugen.

[0036] Ein Farbsättigungswert kann daher beispielsweise aus Ausgabewerten beziehungsweise Signalen der Farbkanäle des Sensors bei einer bestimmten Wellenlänge berechnet werden. Diese Wellenlänge kann insbesondere eine Emissionswellenlänge des Fluorophors oder einer anregenden Lichtquelle sein. Beispielsweise kann eine Farbsättigung als ein Quotient von Signalen zweier Farbkanäle ermittelt werden. Bei Verwendung speziell eines RGB-Sensors kann eine Farbsättigung in an sich bekannter Weise durch Konversion aus dem

RGB-Farbraum in den HSV-Farbraum (engl. hue - saturation - value; deutsch: Farbwert/Farbtone - Farbsättigung - Hellwert) berechnet werden.

[0037] Beispielsweise kann aus Ausgabewerten der Farbkanäle des Sensors, also beispielsweise von roten, grünen und blauen Sensorelementen eines RGB-Sensors, ein Farbsättigungswert gebildet werden, der umso höher ist, je unterschiedlicher die von den einzelnen Farbkanälen detektierte Lichtintensität ist. Gäben in einem solchen Fall rote, grüne und blaue Sensorelemente annähernd gleiche Lichtintensitäten aus, so würde, dem Verfahren folgend, ein entsprechend geringer Farbsättigungswert gebildet. Im Umkehrschluss hätten in diesem Fall bei einer hohen Farbsättigung die von den Farbkanälen des Sensors detektierten spektralen Anteile des einfallenden Lichts signifikant unterschiedliche Stärken.

[0038] Manche Bildsensoren wie beispielsweise RGB-Sensoren haben die für die Erfindung nützliche, in der normalen Anwendung jedoch unbeachtliche oder sogar unerwünschte Eigenschaft, dass in einem ersten Spektralbereich die Sensitivitäten für die einzelnen Farbkanäle stark voneinander abweichen, während sie in einem zweiten Spektralbereich nahezu gleich hoch sind. Die Erfindung nutzt nun diese Eigenschaft derart aus, dass durch geeignete Wahl der Lichtquelle und des Fluorophors erreicht wird, dass beispielsweise das Anregungslicht in dem ersten Spektralbereich und das Fluoreszenzlicht in dem zweiten Spektralbereich liegt. Damit liegen das Anregungs- und das Fluoreszenzlicht gerade in solchen Spektralbereichen, die aufgrund der wellenlängenabhängigen Sensitivitäten der Farbkanäle einfach voneinander getrennt werden können.

[0039] Entsprechend ist es gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung für eine besonders robuste Separation günstig, wenn die Lichtquelle, das Fluorophor und der Sensor derart gewählt sind, dass das Anregungslicht auf dem Sensor eine hohe Farbsättigung erzeugt. In diesem Fall ist es bevorzugt, wenn das Fluoreszenzlicht auf dem Sensor eine demgegenüber niedrigere Farbsättigung erzeugt. In einem solchen Fall ist es möglich, vom Bildsensor detektierte Lichtanteile mit geringer Farbsättigung dem Fluoreszenzlicht zuzuordnen, während Lichtanteile mit hoher Farbsättigung dem Anregungslicht zuordenbar sind.

[0040] Alternativ ist eine Robustheit der Separation jedoch auch dann gegeben, wenn das Anregungslicht auf dem Sensor eine niedrige Farbsättigung erzeugt. In diesem Fall ist es bevorzugt, wenn das Fluoreszenzlicht auf dem Sensor eine demgegenüber höhere Farbsättigung erzeugt. In einem solchen Fall ist es möglich, vom Bildsensor detektierte Lichtanteile mit geringer Farbsättigung dem Anregungs-

licht zuzuordnen, während Lichtanteile mit hoher Farbsättigung dem Fluoreszenzlicht zuordenbar sind.

[0041] Bei Anwendung eines erfindungsgemäßen Verfahrens kann in bestimmten Konstellationen insbesondere auf optische Vorfilter zum Unterdrücken des Anregungs- bzw. Fluoreszenzlichts verzichtet werden. Somit kann gemäß einer weiteren Ausgestaltung des Verfahrens vorgesehen sein, dass Licht aus dem ersten Spektralbereich und/oder das Fluoreszenzlicht aus dem zweiten Spektralbereich und/oder Licht aus einem weiteren Spektralbereich den Sensor ungefiltert erreicht. Das Licht aus einem weiteren Spektralbereich kann, je nach Anwendung, beispielsweise ein Spektrum von reflektiertem Anregungslicht oder beispielsweise ein Spektrum einer zusätzlichen Beleuchtungsquelle sein. Von Vorteil ist dabei, dass neben dem Fluoreszenzlicht ein weiteres Spektrum zur Bildgebung genutzt werden kann. Damit kann ein und dieselbe Hardware insbesondere auch für Anwendungen mit breitbandigen oder vom Fluoreszenzlicht abweichenden Spektralbereichen ohne die Einschränkungen genutzt werden, die bei herkömmlicher Verwendung von optischen Filtern auftreten.

[0042] Wie zuvor beschrieben, ermöglicht es die Erfindung, anders als bei herkömmlichen Verfahren, Fluoreszenzlicht und Anregungslicht durch Verarbeitung von Signalen der Farbkanäle des Sensors voneinander zu trennen. Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung ist daher vorgesehen, dass durch Verarbeitung von Signalen der mindestens zwei Farbkanäle eine Intensität des Fluoreszenzlichts von einer Intensität des Anregungslichts separiert wird. Hierbei ist eine digitale Signalverarbeitung als vorteilhaft anzusehen, da sie mit verfügbarer Hardware besonders einfach umsetzbar ist. Ferner ist bei dieser Ausgestaltung vorteilhaft, wenn die Separation der beiden Intensitäten orts aufgelöst erfolgt. Denn damit lassen sich komplexe Fluoreszenzbilder generieren. Daneben kann insbesondere vorgesehen sein, dass die Separation unter Verwendung von Farbsättigungswerten oder Farbtönen erfolgt, die aus den Signalen der Farbkanäle, insbesondere durch Konversion in einen Farbraum, gewonnen werden. Auch an dieser Stelle sei nochmals darauf hingewiesen, dass die Begriffe Farbtone und Farbsättigung in bestimmten Anwendungen des erfindungsgemäßen Verfahrens nicht notwendig mit der menschlichen Sinneswahrnehmung übereinstimmen müssen. Entsprechend können erfindungsgemäß zur Separation auch Farbräume genutzt werden, die der menschlichen Wahrnehmung nicht zugänglich sind.

[0043] Um die Anwendbarkeit des Verfahrens zu verbessern, schlägt eine weitere Ausgestaltung vor, dass zur Separation des Fluoreszenzlichts von dem

Anregungslicht ein automatisierter Algorithmus eingesetzt wird. Der Algorithmus kann beispielsweise in einer Auswerteschaltung des Bildsensors oder einer nachgelagerten Kamerakontrolleinheit implementiert sein. Hierbei ist es bevorzugt, wenn der Algorithmus einstellbar ausgestaltet ist. Besonders bevorzugt ist es, wenn der Algorithmus von einem Benutzer, vorzugsweise während der Anwendung des Verfahrens, auf unterschiedliche Fluorophore und/oder anregende Lichtquellen einstellbar ist. Denn damit kann das Verfahren flexibel und schnell auf verschiedene Anwendungen angepasst werden.

[0044] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens kann eine besonders einfache Separation dadurch erzielt werden, dass Signale der Farbkanäle in einen Farbraum, der einen Sättigungswert als eine Koordinate oder einen Freiheitsgrad aufweist, konvertiert werden. Hierbei kann insbesondere vorgesehen sein, dass, vorzugsweise mit Hilfe einer Tabelle, Farbsättigungswerten, die aus den Signalen durch die Konversion gewonnen werden, entsprechende Anteile des Fluoreszenzlichts oder des Anregungslichts zugeordnet werden. Mit diesem Ansatz können insbesondere Bildsignale erzeugt werden, die einer Intensitätsverteilung des Fluoreszenzlichts beziehungsweise des Anregungslichts entsprechen. Hierbei wird vorgeschlagen, zur Berechnung der Intensitäten eine vom Sensor aufgenommene Luminanz zu verwenden. Beispielsweise kann als ein solcher Farbraum ein HSV-(hue, saturation, value; Farbwert, Sättigung, Hellwert)-Farbraum oder ein HSL-(hue, saturation, lightness; Farbwert, Sättigung, Helligkeit)-Farbraum oder ein HSI-(hue, saturation, intensity; Farbwert, Sättigung, Intensität)-Farbraum verwendet werden. Die Umrechnung RGB auf HSV, HSL oder HSI ist hierbei an sich bekannt.

[0045] Alternativ oder ergänzend zu dem zuvor beschriebenen Ansatz einer Konversion von einem RGB-Farbraum in einen HSV-Farbraum zur Ermittlung von Farbsättigungswerten kann gemäß einer weiteren Ausgestaltung vorgesehen sein, dass für eine von den Farbkanälen detektierte Gesamtintensität und/oder für die Lichtquelle und/oder für das Fluorophor jeweils ein Farbvektor als Einheitsvektor hinterlegt wird. Für einen RGB-Sensor entsprechen diese Farbvektoren den Vektoren S, A und F aus der zuvor erläuterten Gleichung (3). Mit Hilfe solcher Farbvektoren kann beispielsweise ein lineares Gleichungssystem aufgestellt werden, aus dem die Anteile des Fluoreszenzlichts und/oder des Anregungslichts berechnet werden können. Wird zusätzlich eine vom Sensor gemessene Luminanz berücksichtigt, so können die Intensitäten des Fluoreszenzlichts und/oder des Anregungslichts ermittelt werden.

[0046] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung lässt sich der Anteil des Fluoreszenzlichts insbesondere durch rechnerische Projektion des (von den Farbkanälen) detektierten Intensitätsvektors S entlang des Farbvektors A der (anregenden) Lichtquelle auf den Farbvektor F des Fluorophors ermitteln. In analoger Weise lässt sich der Anteil des Anregungslichts insbesondere durch rechnerische Projektion des detektierten Intensitätsvektors S entlang des Farbvektors F des Fluorophors auf den Farbvektor A der Lichtquelle ermitteln.

[0047] Diese auf Farbvektoren basierenden Separationsmethoden lassen sich bereits bei Vorliegen von mindestens zwei Farbkanälen eines Sensors durchführen. Hierbei kann gemäß der Erfindung eine robuste Separation genau dann erzielt werden, wenn die für das Anregungslicht bzw. Fluoreszenzlicht hinterlegten Farbvektoren linear unabhängig sind. Dies kann durch eine geeignete Abstimmung der Filtercharakteristiken der Farbkanäle des Sensors auf die verwendete Lichtquelle und das verwendete Fluorophor erreicht werden, wobei bei einem vorliegenden Sensor selbstverständlich auch die Lichtquelle und das Fluorophor entsprechend gewählt werden können. Entscheidend hierbei ist, dass sich eine durch die Farbkanäle des Sensors detektierte Gesamtintensität als Summe zweier Vektoren ermitteln lässt, wobei die beiden Vektoren durch das Fluoreszenzlicht bzw. durch das Anregungslicht hervorgerufene Anteile der Signale beschreiben, die von den Farbkanälen des Sensors ausgegeben werden (Vgl. hierzu die Gleichung (1) oben).

[0048] Die hier vorgestellten Bildgebungsverfahren sind insbesondere für endoskopische Untersuchungen von Vorteil, da nur ein einziger Sensor und entsprechend wenig Bauraum, eingesetzt werden muss, um sowohl Anregungs- beziehungsweise Beleuchtungslicht als auch von einem Fluorophor emittiertes Fluoreszenzlicht detektieren zu können. Damit eröffnet die Erfindung insbesondere endoskopischen Anwendungen neue Möglichkeiten der Bildgebung. Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung kann demnach als mehrkanaliger Sensor ein herkömmlicher Bildsensor, insbesondere ein CMOS-Sensor und/oder Bayer-Sensor, verwendet werden. Anders ausgedrückt können also als erfindungsgemäße Farbkanäle unterschiedliche Sensorelemente, insbesondere einzelne Pixel, eines Bildsensors mit jeweilig zugeordneten Farbfiltern verwendet werden. Es kann also insbesondere vorgesehen sein, dass die Farbkanäle subtraktive Filter zur Separation von spektralen Lichtanteilen aufweisen.

[0049] Für eine robuste Separation ist es zudem vorteilhaft, wenn der Sensor mindestens drei Farbkanäle aufweist. Beispielsweise kann der Sensor Sen-

sorelemente zur Detektion von rotem, grünem und blauem Licht aufweisen. Hierbei ist es bevorzugt, wenn diese Sensorelemente auch zur Detektion des Fluoreszenzlichts verwendet werden. Um die Anwendbarkeit des Verfahrens auch für Fluorophore sicherzustellen, die im Infraroten fluoreszieren, kann ferner gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung vorgesehen sein, dass die zuvor genannten Sensorelemente oder weitere Sensorelemente des Sensors infrarotes Licht detektieren.

[0050] Bestimmte Fluorophore, beispielsweise Indocyaningrün (ICG), emittieren im Infraroten. Folglich kann ein erfindungsgemäßes Verfahren gerade derart ausgestaltet sein, dass der zweite Spektralbereich des Fluoreszenzlichts teilweise oder vollständig oberhalb von 780 nm Wellenlänge liegt.

[0051] Wiederum andere Fluorophore, beispielsweise ALA-5, absorbieren ultraviolettes bis blaues Licht und emittieren rotes Licht. Folglich kann ein erfindungsgemäßes Verfahren auch gerade derart ausgestaltet sein, dass der zweite Spektralbereich des Fluoreszenzlichts teilweise oder vollständig unterhalb von 700 nm Wellenlänge liegt.

[0052] Eine weitere Verbesserung der Bildgebung kann gemäß einer spezifischen Ausgestaltung dadurch erreicht werden, dass zur Anregung des Fluorophors eine schmalbandige Lichtquelle verwendet wird. Beispielsweise kann die Breite des Emissionsspektrums der Lichtquelle weniger als 50 nm betragen. Durch die Wahl einer schmalbandigen Lichtquelle kann das Fluorophor einerseits gezielt und effizient angeregt werden. Andererseits wird durch die begrenzte spektrale Breite sichergestellt, dass das gesamte Anregungslicht nahezu gleich stark von einer zu untersuchenden Oberfläche reflektiert wird, sodass diese Reflexion gut approximiert werden kann. Mit anderen Worten sind in diesem Fall die Reflexionsspektren der mit dem Anregungslicht beleuchteten Oberflächen für die Separation vernachlässigbar. Der durch diese Vernachlässigung entstehende Fehler sinkt dabei mit abnehmender Breite des anregenden Lichtspektrums.

[0053] Schließlich kann, insbesondere bei Verwendung einer weiteren breitbandigen Beleuchtungsquelle, das schmalbandige Anregungslicht effizient mit Hilfe eines Kerbfilters (engl. „notch filter“) im optischen Pfad des Sensors unterdrückt werden. In diesem Fall können die Farbkanäle neben dem Fluoreszenzlicht weiteres Beleuchtungslicht detektieren, das von dem Fluoreszenzlicht auf die gleiche Weise wie das Anregungslicht separiert werden kann.

[0054] Bei manchen Anwendungen kann es vorkommen, dass sich ein Absorptionsspektralbereich des Fluorophors, also ein Spektralbereich in wel-

chem selbiges Licht absorbiert, mit dem zweiten Spektralbereich, in welchem das Fluorophor Fluoreszenzlicht emittiert, überlappt. Zwar ist eine solche Überlappung bei Anwendung eines erfindungsgemäßen Verfahrens grundsätzlich hinnehmbar. Zur Verbesserung der Bildgebung ist es aber allgemein und gerade in einem solchen Fall vorzuziehen, wenn eine Emissionswellenlänge, bei der die Lichtquelle, die zur Anregung dient, maximal Licht emittiert, außerhalb des zweiten Spektralbereichs des Fluoreszenzlichts liegt. Denn damit kann insbesondere sichergestellt werden, dass das Anregungslicht das Fluoreszenzlicht nicht überstrahlt.

[0055] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung wird es zudem als vorteilhaft angesehen, wenn die zuvor erwähnte Emissionswellenlänge, bei der die Lichtquelle maximal Licht emittiert, kleiner ist als eine Absorptionswellenlänge des Fluorophors, bei der dieses Licht maximal absorbiert. Denn hierdurch wird vermieden, dass sich das zur Anregung verwendete Lichtspektrum mit dem Fluoreszenzlicht überlagert.

[0056] Wie eingangs erwähnt besteht ein Bedarf, Fluoreszenzbilder und herkömmliche mittels Beleuchtungslicht gewonnene Bilder mit ein und derselben Hardware auf möglichst einfache Weise zu erfassen. Um diese spezifische Unteraufgabe zu lösen ist gemäß einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens vorgesehen, dass der Sensor, neben dem Anregungslicht und dem Fluoreszenzlicht, Licht in einem dritten Spektralbereich detektiert. Somit kann bei dieser Ausgestaltung der Sensor Lichtanteile erfassen und verarbeiten, die weder von der anregenden Lichtquelle noch von dem Fluorophor herrühren, sondern beispielsweise von einer weiteren Beleuchtungslichtquelle.

[0057] Wird beispielsweise ein Sensor verwendet, der neben herkömmlichen RGB-Pixeln auch Pixel aufweist, mit denen infrarotes Licht erfasst werden kann, so kann breitbandiges Beleuchtungs- und oder Anregungslicht und infrarotes Fluoreszenzlicht erfasst werden.

[0058] Eine weitere Möglichkeit, die noch näher zu beschreiben sein wird, besteht in der Ausnutzung einer zeitsequentiellen Beleuchtung. In einem solchen Fall kann, auch mit einem herkömmlichen RGB-Sensor, sowohl Fluoreszenzlicht als auch Licht einer weiteren breitbandigen Beleuchtungslichtquelle zur Bildgebung genutzt werden. Es können somit herkömmliche Bilder und Fluoreszenzbilder mit nur einem einzigen Sensor aufgenommen werden. Hierbei können die Sensitivitäten der mindestens zwei Farbkanäle des Sensors insbesondere in dem dritten Spektralbereich und im ersten oder im zweiten Spektralbereich unterschiedlich verteilt sein.

[0059] Als Quelle für das Anregungslicht können insbesondere NIR-LEDs oder IR-Laser oder beispielsweise auch UV-LEDs verwendet werden. Daher kann es vorkommen, dass das Anregungslicht spektrale Anteile aufweist, die oberhalb oder unterhalb eines Absorptionsspektralbereichs des Fluorophors liegen. Auch solche Anteile können von dem Sensor detektierbar sein und daher zur herkömmlichen Bildgebung genutzt werden.

[0060] Gemäß einer weiteren spezifischen Ausgestaltung kann folglich mit dem Sensor ein erstes Bild durch Detektion des Anregungslichts im ersten Spektralbereich oder durch Detektion des Fluoreszenzlichts im zweiten Spektralbereich gewonnen werden, während mit dem gleichen Sensor ein zweites Bild durch Detektion von breitbandigem Beleuchtungslicht in einem oder dem zuvor bereits erläuterten dritten Spektralbereich gewonnen wird. Hierbei ist es aus den zuvor erläuterten Gründen vorteilhaft, wenn die Lichtquelle für das Anregungslicht eine schmalbandige erste Lichtquelle ist. Denn dann kann zur Erzeugung des Beleuchtungslichts insbesondere eine zweite Lichtquelle verwendet werden. Damit kann sowohl eine hohe Anregungseffizienz als auch eine hervorragende herkömmliche Bildgebung erzielt werden.

[0061] Sollen herkömmliche Bilder und Fluoreszenzbilder mit einem Sensor erfasst werden, unter Verwendung eines der zuvor beschriebenen Verfahren, so kann gemäß einer weiteren Ausgestaltung vorgesehen sein, dass die Detektion des Fluoreszenzlichts oder des Anregungslichts und die Detektion des Beleuchtungslichts alternierend vorgenommen wird. Hierzu können insbesondere die beiden zuvor erwähnten Lichtquellen alternierend, vorzugsweise mit der Hälfte einer zur Bildgebung genutzten Frequenz (halbe bildgebende Frequenz = Hälfte der „frame rate“) betrieben werden. Damit ist eine zeitsequentielle Anwendung eines erfindungsgemäßen Verfahrens beschrieben, mit dem sich, auch bei Verwendung eines klassischen RGB-Sensors, sowohl Fluoreszenzbilder als auch klassische, mit breitbandiger Beleuchtung gewonnene, Bilder aufnehmen lassen.

[0062] Zur gleichzeitigen Darstellung herkömmlicher Bilder als auch mittels Fluoreszenz erzeugter Bilder können an sich bekannte Visualisierungsverfahren genutzt werden. Beispielsweise kann einem Benutzer, insbesondere in Echt-Zeit, ein Gesamtbild visualisiert werden, das aus einer Nebeneinanderdarstellung oder einer Überlagerung der zuvor erläuterten beiden Bild-Typen erzeugt wird. Hierbei können die Einzelbilder oder das Gesamtbild auch einer Bildaufbereitung und/oder Nachbearbeitung unterzogen werden, um die Darstellung zu verbessern.

[0063] Aber auch ohne Verwendung einer zusätzlichen Beleuchtungsquelle können bei Separation des Anregungs- von dem Fluoreszenzlicht bereits zwei unterschiedliche Bilder gewonnen werden. Diese Bilder können einerseits eine von dem Anregungslicht beleuchtete Oberfläche und andererseits ein in der Oberfläche erzeugtes Fluoreszenzsignal darstellen. Auch zwei derartige Bilder können, vorzugsweise in Echt-Zeit, zu einem Gesamtbild zusammengesetzt werden, das aus einer Nebeneinanderdarstellung oder einer Überlagerung der beiden separierten Bilder erzeugt wird. Hierbei kann insbesondere ein erstes Bildsignal des Fluoreszenzlichts als Grauwertbild oder in einer Falschfarbendarstellung und ein zweites Bildsignal des Anregungslichts beispielsweise als Grauwertbild visualisiert werden. Mit diesem Ansatz lassen sich Gesamtbilder mit hohem Informationsgehalt erzeugen.

[0064] Schließlich wird zur Lösung der eingangs genannten Aufgabe eine Bildaufnahmeeinrichtung vorgeschlagen. Diese weist entsprechende Mittel zur Ausführung eines der zuvor beschriebenen bildgebenden Verfahren auf. Insbesondere kann diese Bildaufnahmeeinrichtung eine Datenverarbeitungseinrichtung umfassen, die zur Separation des Fluoreszenzlichts von dem Anregungslicht eingerichtet ist.

[0065] Bei Fluoreszenz-Anwendungen im Infrarotbereich, also bei Verwendung von Fluorophoren mit infraroten Emissionswellenlängen, kann es gemäß der Erfindung erforderlich sein, die typischerweise mit herkömmlichen Sensoren verwendeten Infrarot (IR)-Sperr-Filter (engl. IR cut off filter) zu entfernen. Ein solches Filter ist normalerweise zwingend erforderlich, insbesondere bei Anwendungen die Halogenlicht oder natürliches Tageslicht zur Beleuchtung verwenden, um eine Überbelichtung des Sensors zu verhindern. Die Erfindung hat hier erkannt, dass ein solches Filter, insbesondere bei endoskopischen Anwendungen, verzichtbar sein kann, sodass ein herkömmlicher Sensor, unter Verzicht auf einen IR-Sperr-Filter, zur Detektion von infrarotem Fluoreszenzlicht eingesetzt werden kann. Denn zum einen weist das Licht von in der Endoskopie verwendeten Lichtquellen wie LEDs typischerweise nur geringe IR-Anteile auf und zum anderen können diese durch an der Lichtquelle angebrachte Filter unterdrückt werden. Somit kann die Bildaufnahmeeinrichtung insbesondere ohne einen optischen Vorfilter eingerichtet sein.

[0066] Abschließend sei erwähnt, dass sich die hier diskutierten Verfahren insbesondere für Anwendungen in der Neuro-, plastischen-, rekonstruktiven- sowie koronaren Chirurgie, zur Perfusionsbeurteilung von Organen und Geweben, zur Darstellung der Galle oder zur visuellen Unterstützung beim Auf-

finden und Darstellen von Lymphknoten in vorteilhafter Weise einsetzen lassen.

[0067] Die Erfindung wird nun anhand von Ausführungsbeispielen näher beschrieben, ist aber nicht auf diese Ausführungsbeispiele beschränkt.

[0068] Weitere Ausführungsbeispiele ergeben sich durch Kombination der Merkmale einzelner oder mehrerer Schutzansprüche untereinander und/oder mit einzelnen oder mehreren Merkmalen des jeweiligen Ausführungsbeispiels. Insbesondere können somit Ausbildungen der Erfindung aus der nachfolgenden Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels in Verbindung mit der allgemeinen Beschreibung, den Ansprüchen sowie den Zeichnungen gewonnen werden.

[0069] Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische Ansicht einer erfindungsgemäßen Bildaufnahmeverrichtung,

Fig. 2 ein Diagramm zur Veranschaulichung einer spezifischen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Bildgebungsverfahrens,

Fig. 3 ein erstes Anwendungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Bildgebungsverfahrens unter Verwendung des Fluorophors ICG,

Fig. 4 ein zweites Anwendungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Bildgebungsverfahrens unter Verwendung des Fluorophors ALA-5.

[0070] Die **Fig. 1** zeigt eine erfindungsgemäße im Ganzen mit 8 bezeichnete Bildaufnahmeverrichtung, die Teil einer endoskopischen Anordnung 12 ist. Mittels eines Endoskops 10 wird Anregungslicht A aus einem ersten Spektralbereich 1 einer ersten schmalbandigen Lichtquelle 4 auf eine zu untersuchende Oberfläche gelenkt. Zusätzlich wird die Oberfläche durch eine zweite Lichtquelle 7 mit breitbandigem Beleuchtungslicht aus einem dritten Spektralbereich 3 ausgeleuchtet. In der Oberfläche bzw. darunter befindet sich ein Fluorophor 5, das von dem Anregungslicht der ersten Lichtquelle 4 bestrahlt und somit angeregt wird und in der Folge spontan Fluoreszenzlicht F in einem zweiten Spektralbereich 2 emittiert.

[0071] Ein in dem Endoskop 10 angeordneter einzelner Sensor 6, der als ein herkömmlicher Bayer-Bildsensor mit drei Farbkanälen R, G, B (für rot, grün, blau) für jeden Bildpunkt ausgestaltet ist, detektiert das Fluoreszenzlicht, einen von der Oberfläche reflektierten Teil des Anregungslichts der ersten Lichtquelle 4 sowie einen von der Oberfläche reflektierten Teil des Beleuchtungslichts der zweiten Lichtquelle 7. Hierbei wird kein Vorfilter eingesetzt. Somit erreichen alle diese Lichtanteile die Sensoroberfläche ungefiltert und werden erst durch die subtrakti-

ven Filter der einzelnen Pixel der Farbkanäle R, G, B spektral zerlegt. Dies bedeutet, dass der Sensor 6 insbesondere infrarote Anteile des Fluoreszenzlichts detektiert.

[0072] Die zur Detektion des Lichts genutzten Farbkanäle R, G, B mit subtraktiven Filtern des Sensors 6 geben dabei jeweils Ausgangssignale aus, die von einer nachgelagerten Kamerakontrolleinheit 9 verarbeitet werden. Die Kamerakontrolleinheit 9 führt das erfindungsgemäße bildgebende Verfahren durch und separiert dabei das Fluoreszenzlicht F von dem Anregungslicht A. Während dieser Bildgebung bleibt die zweite Lichtquelle 7 ausgeschaltet.

[0073] Die Separation des Fluoreszenzlichts F von dem Anregungslicht A geschieht mittels eines automatisierten Algorithmus, der die weiter oben beschriebenen Rechenoperationen bzw. Signalverarbeitung durchführt. Mittels eines Monitors 11 können somit in der Folge getrennte Bilder dargestellt werden, die die beleuchtete Oberfläche wiedergeben und durch Detektion des breitbandigen Beleuchtungslichts in einem dritten Spektralbereich gewonnen werden. Andererseits kann ein Fluoreszenzbild, das von dem Sensor 6 durch orts aufgelöste Detektion des Fluoreszenzlichts gewonnen wurde, auf dem Monitor 11 angezeigt werden.

[0074] Um die Separation der einzelnen Lichtanteile zu vereinfachen, können die beiden Lichtquellen 4 und 7 auch im Wechsel, beispielsweise mit einer Frequenz von 30 Hz, betrieben werden.

[0075] Da die spontane Emission des Fluorophors 5 innerhalb von Nanosekunden erfolgt und entsprechend schnell abklingt, muss in diesem Fall bei ausgeschalteter zweiter Lichtquelle 7 (und eingeschalteter erster Lichtquelle 4) nur das Anregungslicht von dem Fluoreszenzlicht separiert werden. Bei einer solchen hohen Wechselfrequenz ist es insbesondere möglich, für einen Benutzer Live-Bilder darzustellen, die aus einer Überlagerung eines Fluoreszenzbilds und eines herkömmlichen, mit der zweiten Lichtquelle 7 aufgenommenen, Bildes zusammengesetzt sind.

[0076] **Fig. 2** erläutert ein erfindungsgemäßes bildgebendes Verfahren, genauer den Verfahrensschritt der „color separation“, bei Verwendung eines herkömmlichen RGB-Sensors. Als Eingangsgröße 13 wird ein Ausgangssignal des RGB-Sensors verwendet, welches Signalwerte der drei Farbkanäle R/G/B enthält. Dieses RGB-Sensorausgangssignal 13 wird zunächst mittels einer HSV-Konversion 14 in den HSV-Farbraum konvertiert. Nach der Konversion stehen somit ein Farbsättigungswert 15, ein Farbton als auch eine aus dem RGB-Sensorausgangssignal 13 ermittelte Luminanz 20 zur Verfügung. Mithilfe zweier Look-up-tables 16 und 17 werden aus dem durch

Konversion ermittelten Farbsättigungswert 15 die jeweiligen Anteile 18 und 19 des Fluoreszenzlichts F bzw. des Anregungslichts A ermittelt. Die Look-up-tables 16 und 17 basieren dabei auf einer Kenntnis des anregenden Lichtspektrums 1, einer Approximation der Reflexionseigenschaften der beobachteten Oberfläche und des emittierten Fluoreszenzspektrums 2. Nach Multiplikation mit der Luminanz 20 können somit die von dem Sensor detektieren Intensitätsanteile 21 und 22 des Fluoreszenzlichts bzw. des Anregungslichts ausgegeben werden.

[0077] Die auf HSV-Konversion basierende Separationsmethode kann anschaulich anhand des in **Fig. 3** illustrierten Ausführungsbeispiels verstanden werden: Gezeigt sind die wellenlängenabhängigen Sensitivitäten der drei Farbkanäle R, G und B des Sensors 6 aus **Fig. 1**, die in dem Diagramm mit den Buchstaben R, G und B bezeichnet sind. Die horizontale Achse des Diagramms gibt die Wellenlänge in nm an.

[0078] Wie gut in **Fig. 3** zu erkennen ist, zeigt beispielsweise der blaue Farbkanal B des RGB-Sensors 6 eine hohe Sensitivität bei einer Wellenlänge von ca. 440 nm, wobei der grüne und der rote Farbkanal bei dieser Wellenlänge eine äußerst geringe Sensitivität aufweisen. Umgekehrt ist der rote Farbkanal R bei einer Wellenlänge von ca. 620 nm besonders sensitiv, während bei dieser Wellenlänge der grüne und blaue Kanal nur schwach ansprechen. Diese Charakteristik wird durch auf den einzelnen Pixeln des RGB-Sensors 6 angeordnete subtraktive Farbfilter erzeugt. Für infrarote Wellenlängen, beispielsweise oberhalb von 780 nm, zeigen die drei Farbkanäle R, G, B dagegen annähernd gleiche Sensitivitäten, wobei die drei Sensitivitätskurven oberhalb von 850 nm ineinander übergehen. Diese spezifische Charakteristik ist einerseits dem Umstand geschuldet, dass die subtraktiven Farbfilter für infrarote Wellenlängen vergleichbare Transmissionseigenschaften aufweisen und dass andererseits die Sensitivität des Sensors 6 insgesamt für infrarote Wellenlängen abnimmt.

[0079] Ebenfalls dargestellt in **Fig. 3** ist das Emissionsspektrum 1 einer IR-LED, die als anregende Lichtquelle 4 dient. Deren erster Spektralbereich 1 reicht von ca. 680 nm bis ca. 760 nm, mit einem Maximum der Emission bei einer Emissionswellenlänge 23 bei ca. 740 nm. Ferner ist ein zweiter Spektralbereich 2 des Fluorophors ICG (Indocyaningrün) gezeigt, der von ca. 750 nm bis ca. 950 nm reicht, mit einem Maximum der Emission bei einer Emissionswellenlänge 24 von ca. 840 nm.

[0080] Nicht dargestellt ist dagegen das Absorptionsspektrum von ICG, das von ca. 600 nm bis ca.

900 nm reicht, mit einem Maximum der Absorption bei einer Wellenlänge von ca. 800 nm.

[0081] Wie in **Fig. 3** ersichtlich, überlappen sich bei diesem Ausführungsbeispiel der erste Spektralbereich 1 der Lichtquelle 4 und der zweite Spektralbereich 2 des Fluorophors 5 geringfügig und zwar in einem Überlappungsbereich bei ca. 760 nm.

[0082] Wie anhand der **Fig. 1** bereits erläutert detektiert der Sensor 6 sowohl das Anregungslicht als auch das Beleuchtungslicht. Mit Blick auf die **Fig. 3** bedeutet dies für das dort gezeigte spezifische Ausführungsbeispiel, dass das Anregungslicht A und das Fluoreszenzlicht F jeweils unterschiedliche R/G/B Signalanteile erzeugen: Während das Fluoreszenzlicht F auf dem Sensor annähernd gleiche R/G/B-Anteile und damit geringe Farbsättigungen erzeugt, spricht der rote Farbkanal stärker als der grüne und sehr viel stärker als der blaue Farbkanal auf das Anregungslicht A an, sodass von dem Anregungslicht A eine vergleichsweise höhere Farbsättigung erzeugt wird. Es versteht sich, dass sich in analoger Weise durch Verarbeitung der R/G/B-Anteile auch unterschiedliche Farbtöne jeweils dem Anregungslicht A und dem Fluoreszenzlicht F zuordnen lassen.

[0083] Mit Bezug auf die jeweiligen Emissionswellenlängen 23 und 24 weist der Sensor 6 folglich in dem ersten Spektralbereich 1 (insbesondere bei der Emissionswellenlänge 23 des Anregungslichts A) eine Farbsättigung auf, die sich von einer Farbsättigung unterscheidet, die der Sensor 6 innerhalb des zweiten Spektralbereichs 2 (insbesondere bei der Emissionswellenlänge 24 des Fluoreszenzlichts F) aufweist.

[0084] Die Erzeugung unterschiedlicher Farbsättigungswerte wird wesentlich dadurch vereinfacht, dass die zentrale Emissionswellenlänge 23 des Anregungslichts A außerhalb des zweiten Spektralbereichs 2 des Fluoreszenzlichts F liegt. Gleichzeitig liegt bei dem in **Fig. 3** gezeigten Ausführungsbeispiel die Emissionswellenlänge 23 wie bereits erwähnt bei ca. 740 nm und damit nur ca. 60 nm unterhalb der Absorptionswellenlänge von ca. 800 nm, bei der ICG Licht maximal absorbiert. Daher kann mit der IR-LED eine besonders effiziente Anregung erzielt werden.

[0085] Bei dem in **Fig. 3** gezeigten Beispiel erzeugt somit das Anregungslicht A auf dem Sensor 6 eine hohe Farbsättigung, während das Fluoreszenzlicht F eine demgegenüber niedrigere Farbsättigung erzeugt. Vereinfacht gesprochen bedeutet dies für das in **Fig. 3** gezeigte Beispiel: ein Bildpunkt, der hohe Farbsättigung aufweist, enthält mehr Fluoreszenzlicht als ein Bildpunkt, der eine geringe Farbsättigung aufweist. Folglich kann nach der HSV-Konversion anhand der errechneten Farbsättigung auf den

Anteil des Fluoreszenzlichts oder den Anteil des Anregungslichts in dem jeweiligen Bildpunkt geschlossen werden.

[0086] Die Fig. 3 deutet auch einen dritten Spektralbereich 3 an, innerhalb dessen die zweite Lichtquelle 7 aus Fig. 1 ein breitbandiges Beleuchtungslicht abgibt (nicht dargestellt). Dieses Beleuchtungslicht kann ebenfalls von dem Sensor 6 detektiert werden und dient dazu, herkömmliche Bilder der Oberfläche mit dem Sensor 6 aufzunehmen. Hierzu können die beiden Lichtquellen beispielsweise nacheinander oder, in besonders vorteilhafter Weise, alternierend betrieben werden. Mit der zuletzt genannten Variante können fortlaufend sowohl herkömmliche Bilder als auch Fluoreszenzbilder gewonnen werden.

[0087] Fig. 4 zeigt ein weiteres Anwendungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Bildgebungsverfahrens bzw. einer erfindungsgemäßen Bildaufnahmeverrichtung. Hierbei wird der gleiche RGB-Sensor wie in Fig. 3 verwendet. Die anregende Lichtquelle ist eine UV-A-LED, die Anregungslicht bei einer mittleren Emissionswellenlänge von ca. 370 nm in einem ersten Spektralbereich 1 abgibt. Als Fluorophor wird ALA-5 (5-aminolevulinic acid) eingesetzt. ALA-5 absorbiert ultraviolettes bis blaues Licht und emittiert spontan rotes Fluoreszenzlicht in einem zweiten Spektralbereich 2, mit einer mittleren Emissionswellenlänge 24 bei etwa 640 nm. Bei dem in Fig. 4 gezeigten Beispiel überlappen sich somit der erste und der zweite Spektralbereich 1, 2 gerade nicht. Der Grund hierfür ist die vergleichsweise große Stokes-Verschiebung des ALA-5.

[0088] Bei dem in Fig. 4 gezeigten Beispiel erzeugt somit das Anregungslicht A auf dem Sensor 6 eine niedrige Farbsättigung, während das Fluoreszenzlicht F eine demgegenüber höhere Farbsättigung erzeugt.

[0089] Eine weitere mögliche Anwendung eines erfindungsgemäßen Verfahrens (nicht in den Figuren gezeigt) ist die Darstellung von Strukturen unter Verwendung eines herkömmlichen RGB-Sensors und Fluorescein, einem Fluorophor das eine spontane Emission von grünem Licht mit einer Emissionswellenlänge von 514 nm zeigt. Hierbei kann das zur Anregung und/oder Beleuchtung genutzte Licht in einem Wellenlängenbereich liegen, in dem Sensitivitäten von einzelnen Farbkanälen des Sensors nahezu gleich sind, sodass entsprechend geringe Farbsättigungswerte vom Bildsensor erzeugt werden. Das von Fluorescein emittierte Fluoreszenzlicht F liegt dagegen in einem Wellenlängenbereich, in dem die Sensitivitäten der einzelnen Farbkanäle von herkömmlichen Bildsensoren typischerweise stark unterschiedlich sind, sodass entsprechend hohe Farbsättigungswerte vom Sensor 6 detektiert werden.

[0090] Zusammenfassend wird für ein bildgebendes Verfahren zur Darstellung eines Fluorophors 5 durch optische Anregung, spontane Emission von Fluoreszenzlicht sowie Detektion desselben vorgeschlagen, einen einzigen, herkömmlichen Sensor 6 zu verwenden mit mindestens zwei Farbkanälen, welche unterschiedlich sensitiv ein zur Anregung des Fluorophors 5 verwendetes Anregungslicht und das von dem Fluorophor 5 emittierte Fluoreszenzlicht detektieren. Aufgrund der unterschiedlichen spektralen Verteilung der Sensitivität der Farbkanäle kann durch Verarbeitung von Ausgangssignalen derselben, insbesondere durch Konvertierung in einen Farbraum und/oder durch Berechnung von Farbsättigungswerten, der Anteil des Anregungslichts von dem Anteil des Fluoreszenzlichts, insbesondere in einem bestimmten Bildpunkt, voneinander separiert werden. Damit kann auf die Intensität des Fluoreszenzlichts, vorzugsweise unter Berücksichtigung einer mittels der Farbkanäle gemessenen Luminanz, zurück geschlossen werden, obwohl reflektiertes Anregungslicht die Farbkanäle, insbesondere ungefiltert, erreicht (vgl. Fig. 3).

Bezugszeichenliste

1	erster Spektralbereich
2	zweiter Spektralbereich
3	dritter Spektralbereich
4	(erste) Lichtquelle (Anregungslicht)
5	Fluorophor
6	Sensor
7	zweite Lichtquelle (Beleuchtungslicht)
8	Bildaufnahmeverrichtung
9	Kamerakontrolleinheit
10	Endoskop
11	Monitor
12	endoskopischen Anordnung
13	RGB-Sensorausgangssignal
14	HSV-Konversion
15	Farbsättigungswert
16	Look-up-table 1
17	Look-up-table 2
18	Anteil des Fluoreszenzlichts
19	Anteil des Anregungslichts
20	Luminanz
21	Intensität des Fluoreszenzlichts
22	Intensität des Anregungslichts

23	Emissionswellenlänge (der ersten Lichtquelle)
24	Emissionswellenlänge (des Fluorophors)
R	roter Farbkanal
G	grüner Farbkanal
B	blauer Farbkanal
A	Anregungslicht
F	Fluoreszenzlicht

Patentansprüche

1. Bildgebendes Verfahren, wobei

- mit einer in einem ersten Spektralbereich (1) abstrahlenden Lichtquelle (4) ein Fluorophor (5) mit Anregungslicht bestrahlt wird und ein von dem Fluorophor (5) in einem zweiten Spektralbereich (2) emittiertes Fluoreszenzlicht mit einem einzigen Sensor (6) detektiert wird,
- wobei dieser Sensor (6) mindestens zwei Farbkanäle (R, G, B) aufweist, deren Sensitivitäten im ersten Spektralbereich (1) und im zweiten Spektralbereich (2) unterschiedlich verteilt sind und
- wobei die mindestens zwei Farbkanäle (R, G, B) jeweils das Anregungslicht in dem ersten Spektralbereich (1) und das Fluoreszenzlicht in dem zweiten Spektralbereich (2) detektieren, **dadurch gekennzeichnet**,
- dass ein Ausgangssignal jedes der mindestens zwei Farbkanäle (R, G, B) von einer auf den Sensor (6) einfallenden Intensität des Anregungslichts und einer einfallenden Intensität des Fluoreszenzlichts abhängt und
- dass durch Verarbeitung von Signalen der mindestens zwei Farbkanäle eine Intensität des Fluoreszenzlichts von einer Intensität des Anregungslichts separiert wird.

2. Bildgebendes Verfahren, wobei

- mit einer in einem ersten Spektralbereich (1) abstrahlenden Lichtquelle (4) ein Fluorophor (5) mit Anregungslicht bestrahlt wird und ein von dem Fluorophor (5) in einem zweiten Spektralbereich (2) emittiertes Fluoreszenzlicht mit einem einzigen Sensor (6) detektiert wird, **dadurch gekennzeichnet**,
- dass dieser Sensor (6) mindestens zwei Farbkanäle (R, G, B) aufweist,
- dass jeweils das Anregungslicht und das Fluoreszenzlicht in den mindestens zwei Farbkanälen Signale erzeugen, die jeweils unterschiedlichen Farbtönen und/oder unterschiedlichen Farbsättigungen zugeordnet werden können und
- dass eine Separation des Fluoreszenzlichts von dem Anregungslicht auf Basis einer Signalverarbeitung von Ausgangssignalen der mindestens zwei Farbkanäle und unter Verwendung von Farbsättigungswerten oder Farbtönen erfolgt, die aus diesen Ausgangssignalen gewonnen werden.

3. Bildgebendes Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Sensor (6) bei Bestrahlung mit dem Anregungslicht eine Farbsättigung aufweist, die sich von einer Farbsättigung unterscheidet, die der Sensor (6) bei Bestrahlung mit dem Fluoreszenzlicht aufweist.

4. Bildgebendes Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Anregungslicht und das Fluoreszenzlicht Farbtöne aufweisen, die mittels der mindestens zwei Farbkanäle des Sensors (6) voneinander unterscheidbar sind.

5. Bildgebendes Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lichtquelle (4), das Fluorophor (5) und der Sensor (6) derart gewählt sind, dass das Anregungslicht auf dem Sensor (6) eine hohe Farbsättigung erzeugt, wobei das Fluoreszenzlicht auf dem Sensor (6) eine demgegenüber vergleichsweise niedrigere Farbsättigung erzeugt, oder dass das Anregungslicht auf dem Sensor (6) eine niedrige Farbsättigung erzeugt, wobei das Fluoreszenzlicht auf dem Sensor (6) eine demgegenüber höhere Farbsättigung erzeugt.

6. Bildgebendes Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass Licht aus dem ersten Spektralbereich (1) und/oder das Fluoreszenzlicht aus dem zweiten Spektralbereich (2) und/oder Licht aus einem weiteren Spektralbereich den Sensor (6) ungefiltert erreicht.

7. Bildgebendes Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch digitale Verarbeitung von Signalen der mindestens zwei Farbkanäle (R, G, B) eine Intensität des Fluoreszenzlichts orts aufgelöst von einer Intensität des Anregungslichts separiert wird.

8. Bildgebendes Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Separation des Fluoreszenzlichts von dem Anregungslicht ein automatisierter Algorithmus eingesetzt wird, wobei der Algorithmus von einem Benutzer auf unterschiedliche Fluorophore (5) und/oder anregende Lichtquellen (4) einstellbar ist.

9. Bildgebendes Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass Signale der Farbkanäle (R, G, B) in einem Farbraum konvertiert werden, wobei Farbsättigungswerten, die aus den Signalen durch die Konversion gewonnen werden, entsprechende Anteile des Fluoreszenzlichts oder des Anregungslichts zugeordnet werden und ein Bildsignal erzeugt wird, welches einer Intensitätsverteilung des Fluores-

zenzlichts beziehungsweise des Anregungslichts entspricht.

10. Bildgebendes Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass für eine von den Farbkanälen (R, G, B) detektierte Gesamtintensität und/oder für die Lichtquelle (4) und/oder für das Fluorophor (5) jeweils ein Farbvektor als Einheitsvektor hinterlegt wird, wobei der Anteil des Fluoreszenzlichts / des Anregungslichts durch rechnerische Projektion eines detektierten Intensitätsvektors entlang des Farbvektors der Lichtquelle / des Fluorophors auf den Farbvektor des Fluorophors / der Lichtquelle ermittelt wird.

11. Bildgebendes Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Sensor (6) ein Bayer-Sensor ist und/oder mindestens drei Farbkanäle aufweist und/oder dass zur Bildgebung genau ein Sensor (6) verwendet wird und/oder dass der Sensor (6) unterschiedliche Spektralfilter in Form von Pixeln aufweist, die derart angeordnet sind, dass ein gesamter zu detektierender Spektralbereich durch örtlich benachbarte Spektralfilter bzw. Pixel erfasst werden kann.

12. Bildgebendes Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Sensor (6) Sensorelemente zur Detektion von rotem, grünem und blauem Licht aufweist, wobei diese zur Detektion des Fluoreszenzlichts verwendet werden.

13. Bildgebendes Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zweite Spektralbereich (2) des Fluoreszenzlichts teilweise oder vollständig oberhalb von 780 nm Wellenlänge oder teilweise oder vollständig unterhalb von 700 nm Wellenlänge liegt.

14. Bildgebendes Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Anregung des Fluorophors (5) eine schmalbandige Lichtquelle (4) verwendet wird, wobei eine Emissionswellenlänge der Lichtquelle (4), bei der diese maximal Licht emittiert, außerhalb des zweiten Spektralbereichs (2) des Fluoreszenzlichts liegt und/oder dass eine Emissionswellenlänge, bei der die Lichtquelle (4) maximal Licht emittiert, kleiner ist als eine Absorptionswellenlänge des Fluorophors (5), bei der dieses Licht maximal absorbiert.

15. Bildgebendes Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Sensor (6), neben oder zusätzlich zu dem Anregungslicht und dem Fluoreszenzlicht, Licht in einem dritten Spektralbereich (3) detektiert, wobei die Sensitivitäten der mindestens zwei Farbkanäle im dritten Spektralbereich (3) und im ersten oder

im zweiten Spektralbereich (1, 2) unterschiedlich verteilt sind.

16. Bildgebendes Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass mit dem Sensor (6) ein erstes Bild durch Detektion des Anregungslichts im ersten Spektralbereich (1) oder durch Detektion des Fluoreszenzlichts im zweiten Spektralbereich (2) und mit dem gleichen Sensor (6) ein zweites Bild durch Detektion von breitbandigem Beleuchtungslicht in einem oder dem dritten Spektralbereich (3) gewonnen wird, wobei die Lichtquelle (4) für das Anregungslicht eine schmalbandige erste Lichtquelle (4) ist und wobei eine zweite Lichtquelle (7) zur Erzeugung des Beleuchtungslichts verwendet wird.

17. Bildgebendes Verfahren nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Detektion des Fluoreszenzlichts oder des Anregungslichts und die Detektion des Beleuchtungslichts alternierend vorgenommen wird, wobei hierzu die beiden Lichtquellen (4, 7) alternierend betrieben werden.

18. Bildaufnahmevorrichtung (8) mit Mitteln zur Ausführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 17, wobei die Bildaufnahmevorrichtung eine Datenverarbeitungseinrichtung zur Separation des Fluoreszenzlichts von dem Anregungslicht umfasst, **dadurch gekennzeichnet**, - dass die Datenverarbeitungseinrichtung zur Separation des Fluoreszenzlichts von dem Anregungslicht nach einem der Verfahren gemäß den Ansprüchen 1 bis 17 eingerichtet ist.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

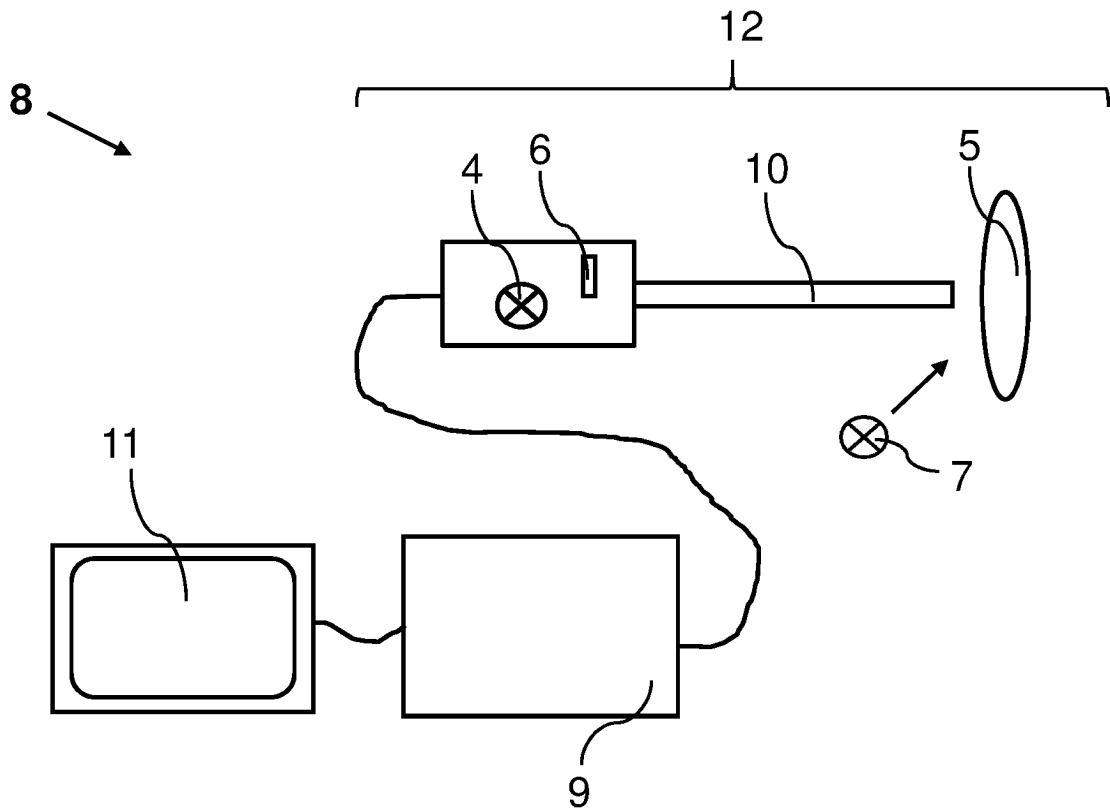


Fig. 1

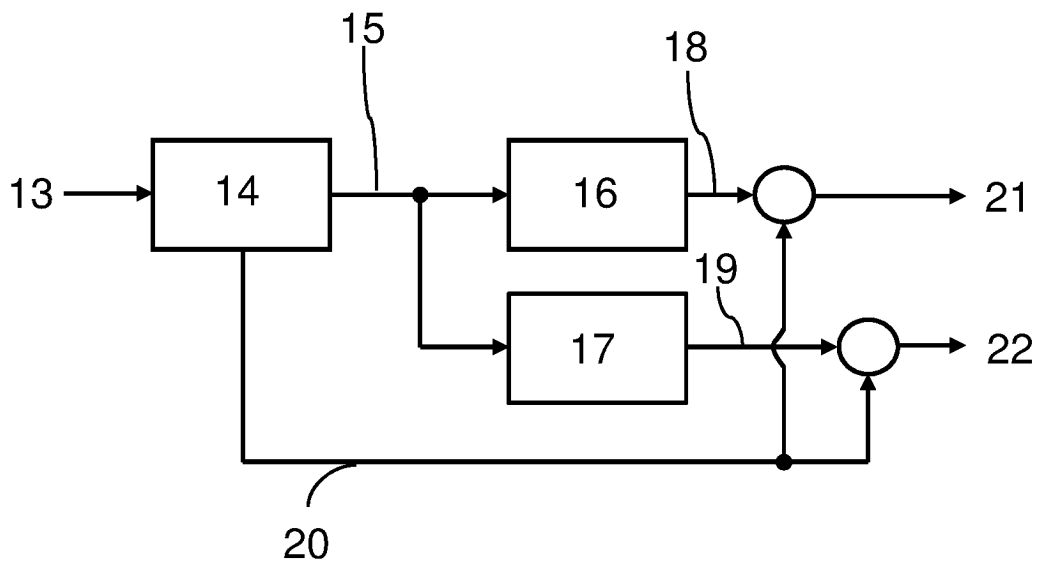


Fig. 2

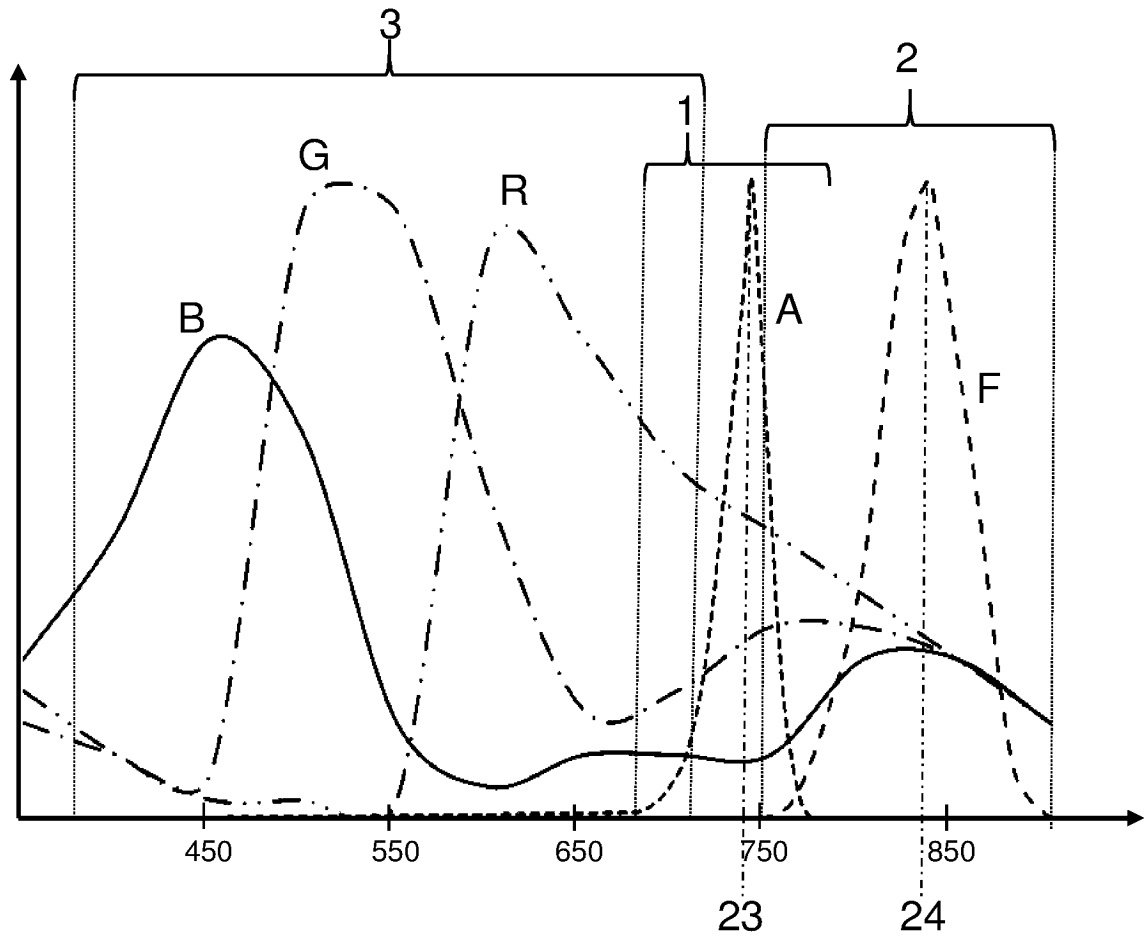


Fig. 3

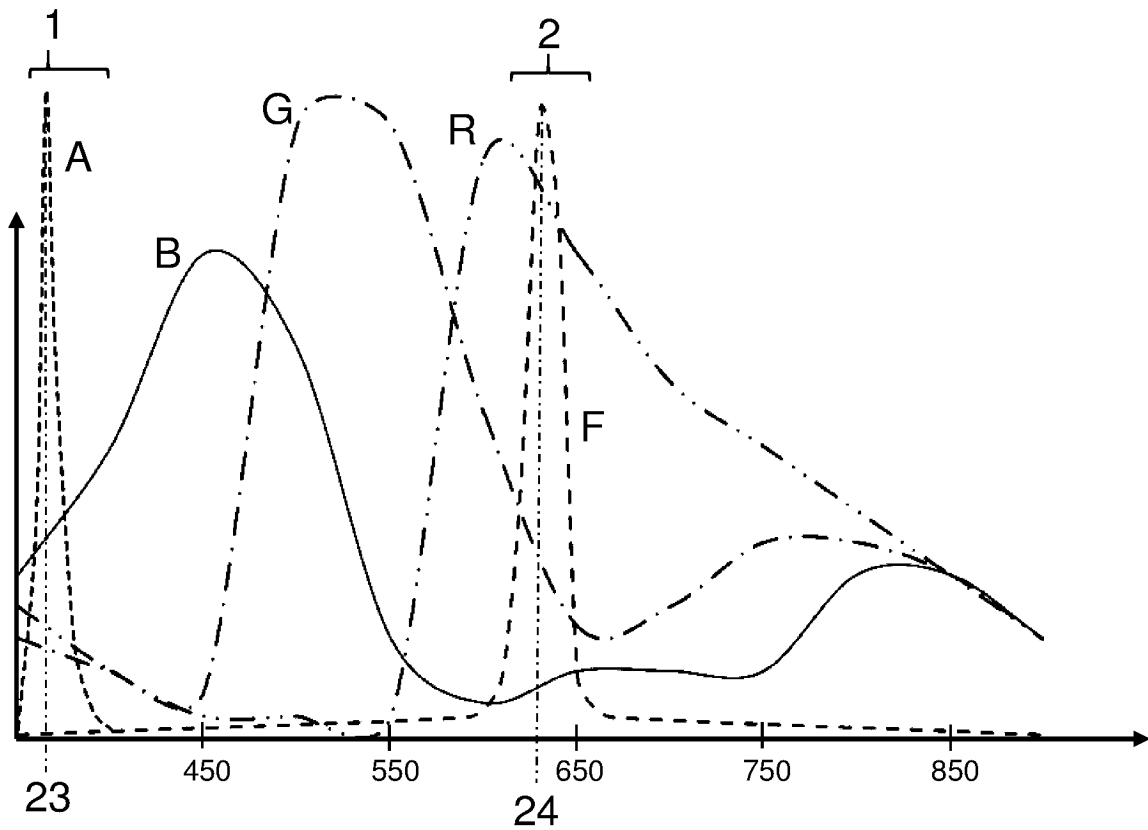


Fig. 4