



(10) **DE 10 2016 118 746 A1** 2018.04.05

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 118 746.1**
 (22) Anmeldetag: **04.10.2016**
 (43) Offenlegungstag: **05.04.2018**

(51) Int Cl.: **G02B 23/24 (2006.01)**
A61B 1/055 (2006.01)

(71) Anmelder:
Henke-Sass, Wolf GmbH, 78532 Tuttlingen, DE

(74) Vertreter:
**Patentanwälte GEYER, FEHNERS & PARTNER
 mbB, 80687 München, DE**

(72) Erfinder:
Rehe, Oliver, 78532 Tuttlingen, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

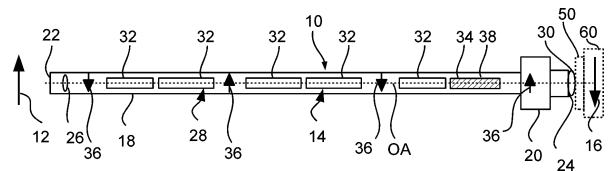
DE	10 2012 200 146	A1
DE	10 2014 107 456	A1
US	2013 / 0 253 273	A1
US	5 933 275	A

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Endoskop**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung schafft ein Endoskop (10) mit einer Abbildungsoptik (14) zur Abbildung eines Objekts (12), wobei die Abbildungsoptik (14) ein Objektiv (26), das an einem distalen Ende (22) des Endoskops (10) angeordnet ist, ein Okular (30), das an einem proximalen Ende (24) des Endoskops (10) angeordnet ist, und einen Abbildungsstrahlengang (28), welcher von dem Objektiv (26) kommende Strahlung zu dem Okular (30) führt, mindestens eine Linse (32, 34) und eine Korrekturoptik (38) umfasst und Zusammen dem Objektiv (26) mindestens ein Zwischenbild (36) des Objekts (12) erzeugt, aufweist und wobei die Korrekturoptik (38) einen durch das Objektiv (26) und die mindestens eine Linse (32, 34) verursachten Farbfehler in dem mindestens ein Zwischenbild (36) reduziert.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Endoskop mit einer Abbildungsoptik zur Abbildung eines Objekts. Die Abbildungsoptik umfasst ein Objektiv, das an einem distalen Ende des Endoskops angeordnet ist, ein Okular, das an einem proximalen Ende des Endoskops angeordnet ist, und einen Abbildungsstrahlengang, welcher von dem Objekt kommende Strahlung zu dem Okular führt.

[0002] Optische Systeme, wie beispielsweise Endoskope, sind oftmals mit einem asphärischen optischen Element ausgestattet. Daher neigen sie am Rand des Gesichtsfelds dazu, einen Farbfehler aufzuweisen, der sich in einem Farbsaum bemerkbar macht. Meist tendiert dieser Farbsaum zur Farbe Blau, jedoch sind auch andere Farben möglich.

[0003] Die Tendenz, am Rand des Gesichtsfelds einen Farbsaum aufzuweisen, ist besonders bei Endoskopen ausgeprägt. Dies ist darin begründet, dass Endoskope meist mehrere Zwischenbilder aufweisen und sich der Farbsaum somit schrittweise über die einzelnen Zwischenbilder aufbauen kann. Das übrige Gesichtsfeld ist meist frei von Farbfehlern und hat in der Regel eine sehr hohe Bildschärfe, die durch die Verwendung asphärischer Elemente gefördert wird.

[0004] Mittels Software kann die Auslegung von optischen Elementen berechnet und damit die optische Abbildungsqualität bezogen auf das Bild simuliert werden. Im Bild müssen die Summen der sieben Seidel-Koeffizienten auf ein Minimum reduziert sein, insbesondere die Koeffizienten 6 (Farblängsfehler) und 7 (Farbquerfehler). Dabei ist es zunächst unerheblich, wie viele Zwischenbilder in dem Gesamtsystem vorkommen. Um eine besonders gute Abbildungsqualität zu erhalten, ist es wichtig, dass alle Farben eines Punkts in dem Objekt im Bild exakt wieder auf einen Punkt fallen und diese nicht nebeneinander auf die Bildebene treffen. Innerhalb eines optischen Systems ist diese Bedingung jedoch nicht überall erfüllt, da die unterschiedlichen Farben durch die Dispersion der verwendeten Glassorten, aus der beispielsweise Linsen des optischen Systems hergestellt sind, verschieden gebrochen werden. So kann es vorkommen, dass sich ein Farbquerfehler von Zwischenbild zu Zwischenbild aufbaut und schließlich vom Okular wieder auskorrigiert wird, sodass am Ende ein gutes Bild entsteht.

[0005] Fig. 4a–Fig. 4c zeigen ein Spotdiagramm des Bildes am Ende eines Endoskops, wie es beispielsweise ein Betrachter sehen kann oder auf eine CCD-Kamera abgebildet wird. In dem Diagramm von Fig. 4a ist die Bildmitte zu sehen, bei der drei unterschiedliche Farben (hier 486 nm mit Bezugszeichen A, 588 nm mit Bezugszeichen B und 656 nm mit Bezugszeichen C) an demselben Ort liegen. In Fig. 4b

und Fig. 4c ist das Bild unter einem Blickwinkel von $13,5^\circ$ bzw. $37,5^\circ$ zu sehen. Auch hier fallen alle drei Farben wieder weitestgehend in einem Punkt zusammen. Somit ist der Farbquerfehler gering.

[0006] Fig. 5a–Fig. 5c zeigen das Spotdiagramm des gleichen Endoskops, jedoch das Zwischenbild vor dem Okular. In Fig. 5a ist wieder die Bildmitte zu erkennen. Die drei Farben (auch hier wieder 486 nm mit Bezugszeichen A, 588 nm mit Bezugszeichen B und 656 nm mit Bezugszeichen C) liegen wieder am gleichen Ort. In Fig. 5b ist ein Punkt ca. ein Drittel von der Bildmitte entfernt zu sehen (auch hier wieder unter einem Winkel von $13,5^\circ$). In diesem Zwischenbild ist schon ein leichter Farbversatz zwischen Rot und Blau zu erkennen. In Fig. 5c ist ein Punkt am Gesichtsfeldrand zu sehen. Der seitliche Versatz (Farbquerfehler) zwischen den Punkten ist deutlich und beträgt ungefähr $20\ \mu\text{m}$ zwischen Rot und Blau.

[0007] Bei Endoskopen wird in der Regel bei dem in Fig. 5c dargestellten letzten Zwischenbild eine Gesichtsfeldblende GB eingebaut, die letztlich den Blickwinkel und das scheinbare Gesichtsfeld definiert; sie ist auch für das kreisrunde Gesichtsfeld verantwortlich. Die Gesichtsfeldblende GB, die in Fig. 5c als eine Blende in Form eines Rechtecks gestrichelt eingezeichnet ist, deckt nun den unteren Teil des Spots ab. Die Farbe Rot und teilweise Grün werden dadurch abgedeckt. Übrig bleiben von diesem Spot hauptsächlich der blaue Anteil und ein kleiner Teil von Grün. Das folgende Okular korrigiert dann den blauen Teil des Spots durch die Farbkorrektur dann wieder nach außen in Richtung des Gesichtsfeldblendenrands. Im Bild erscheint die Farbkorrektur des Okulars dann als blau-türkiser Farbsaum exakt am Rand der Gesichtsfeldblende. Der Farbsaum ist teilweise im schwarzen Bereich der Gesichtsfeldblende und teilweise im sichtbaren Bereich zu erkennen.

[0008] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Endoskop bereitzustellen, bei dem ein Farbfehler vermindert ist.

[0009] Die Aufgabe wird durch ein Endoskop nach Anspruch 1 gelöst. Die abhängigen Ansprüche beschreiben bevorzugte Ausführungsformen des Endoskops.

[0010] Die Erfindung schafft ein Endoskop mit einer Abbildungsoptik zur Abbildung eines Objekts. Die Abbildungsoptik umfasst ein Objektiv, ein Okular und einen Abbildungsstrahlengang. Das Objektiv ist an einem distalen Ende des Endoskops angeordnet. Das Okular ist an einem proximalen Ende des Endoskops angeordnet. Der Abbildungsstrahlengang führt von dem Objektiv kommende Strahlung zu dem Okular, umfasst mindestens eine Linse sowie eine Korrekturoptik und erzeugt zusammen mit dem Objektiv mindestens ein Zwischenbild des Objekts. Die Korrekturoptik reduziert einen durch das Objektiv und/oder

die mindestens eine Linse verursachten Farbfehler in dem Zwischenbild.

[0011] Der Erfindung liegt somit die Idee zu Grunde, den Farbfehler nicht erst in dem Bild des Objekts zu korrigieren, sondern schon in einem Zwischenbild. Dies gelingt insbesondere dadurch, dass in dem Abbildungsstrahlengang die Korrekturoptik vorgesehen ist, welche den Farbfehler in dem mindestens einen Zwischenbild reduziert. Somit kann auf diese Weise ein herkömmliches, also nicht Farbfehler-korrigierendes, Okular verwendet werden, da das mindestens eine Zwischenbild bereits farbkorrigiert ist und somit das Okular nicht die Farbfehlerkorrektur bewerkstelligen muss. Somit können die Herstellungskosten des Endoskops reduziert werden, da ein herkömmliches Okular verwendet werden kann.

[0012] Das Endoskop dient vorzugsweise zur Untersuchung einer Körperöffnung. Beispielsweise wird das Innere der Körperöffnung mittels der Abbildungsoptik des Endoskops abgebildet, so dass ein Benutzer die Körperöffnung durch das Okular selbst betrachten kann, oder das Objekt wird mittels eines dem Okular nachgeordneten Kopplers mit einer eigenen Optik auf eine Kamera abgebildet. Das Endoskop kann ein Laparoskop sein. Das Endoskop kann einen Schaft und einen Hauptteil umfassen, wie dies aus dem Stand der Technik bekannt ist. Der Schaft ist mit dem Hauptteil verbunden. In dem Schaft und in dem Hauptteil können weitere Elemente vorgesehen sein, wie beispielsweise ein oder mehrere Lichtleiter.

[0013] Das Objektiv ist an einem distalen Ende des Endoskops angeordnet, insbesondere an einem distalen Ende des Schaftes. An dem proximalen Ende des Endoskops, insbesondere an dem proximalen Ende des Hauptteils, ist das Okular vorgesehen. Der Abbildungsstrahlengang kann in dem Schaft und in dem Hauptteil vorgesehen sein. Dazu weist der Abbildungsstrahlengang mindestens eine Linse auf, so dass das Objekt über das Objektiv, die mindestens eine Linse des Abbildungsstrahlengangs und das Okular abgebildet wird.

[0014] Das Objektiv umfasst mindestens eine Linse; ähnlich umfasst das Okular mindestens eine Linse. Das Objektiv und das Okular können wie aus dem Stand der Technik bekannt ausgebildet sein. Mithilfe des Objektivs und des Abbildungsstrahlengangs wird mindestens ein Zwischenbild des Objekts erzeugt. Das Zwischenbild liegt in einer zu einer Objektebene konjugierten Ebene. Das Zwischenbild liegt auch zu einer Bildebene konjugierten Ebene. Je nachdem, wie viele Linsen der Abbildungsstrahlengang umfasst, kann mehr als ein Zwischenbild in dem Abbildungsstrahlengang vorgesehen sein. Die Linsen können aus Glas oder Kunststoff hergestellt sein sowie sphärisch oder asphärisch ausgestaltet sein. In dem Abbildungsstrahlengang können weitere opti-

sche Elemente, wie Blenden und dergleichen vorgesehen sein.

[0015] Das Objekt kann, wie bereits erwähnt, im Inneren einer Körperöffnung liegen und kann mit dem Endoskop abgebildet werden. Dabei kann insbesondere eine Abbildung nach Unendlich erfolgen. Der Benutzer kann dann das Bild des Objektes wahrnehmen, wenn er durch das Okular blickt. Alternativ oder zusätzlich kann ein Koppler (mit einer eigenen Optik) am Okular befestigt sein, der dafür sorgt, dass auf eine am Koppler befestigbare Kamera (bzw. auf den entsprechenden Kamerasensoren) ein Bild des Objektes abgebildet wird. Der Kamerasensor liegt somit in der Bildebene. Die Kamera kann eine CCD-Kamera, eine CMOS-Kamera oder eine Kamera mit einem anderen Kamerasensor sein.

[0016] Der Farbfehler kann durch die Dispersion des Objektivs und/oder der mindestens einen Linse des Abbildungsstrahlengangs verursacht werden. Der Farbfehler besteht insbesondere darin, dass die einzelnen Farben unterschiedlich von dem Objektiv und/oder der mindestens einen Linse gebrochen werden, so dass Farben, die in der Objektebene aus einem Punkt ausgehen, in dem Zwischenbild nicht länger in einem Punkt zusammenfallen, sondern getrennt voneinander sind, falls keine Korrekturoptik vorgesehen ist. Die Korrekturoptik wirkt insbesondere der durch das Objektiv und/oder der mindestens einen Linse hervorgerufenen Dispersion entgegen, so dass das Auseinanderfallen der Farben in dem Zwischenbild korrigiert wird. Insbesondere fallen die Farben, welche in der Objektebene aus einem Punkt ausgehen, mithilfe der Korrekturoptik wieder in dem Zwischenbild in einen Punkt zusammen oder nahezu zusammen.

[0017] In einer Weiterbildung ist die Korrekturoptik derart ausgestaltet, dass sie einen Farbquerfehler korrigiert. Somit ist der Farbfehler ein Farbquerfehler. Auf diese Weise lässt sich der oben beschriebene Farbsaum im Bild des Objekts, d. h. in der Bildebene, reduzieren.

[0018] Eine besonders gute Unterdrückung des Farbsaums ergibt sich dann, wenn, wie in einer Weiterbildung vorgesehen, das Zwischenbild unmittelbar benachbart zu dem Okular angeordnet ist. Dies bedeutet vorzugsweise, dass zwischen dem Zwischenbild und dem Okular keine weitere abbildende Optik vorgesehen ist. In diesem Zwischenbild ist der durch das Objektiv und sämtliche durch den Abbildungsstrahlengang vorgesehene Linsen verursachte Farbfehler korrigiert. Auf diese Weise kann der Farbfehler in dem Bild des Objekts, d. h. in der Bildebene, auf besonders einfache Weise korrigiert werden. Die Korrekturoptik ist insbesondere an den durch das Objektiv und/oder die mindestens eine Linse verursachten Farbfehler derart angepasst, dass der Farbfehler

in dem Zwischenbild, das benachbart zu dem Okular ist, korrigiert ist.

[0019] Es ist jedoch auch möglich, dass sämtliche Zwischenbilder hinsichtlich ihres Farbfehlers korrigiert sind. Dazu können auch mehrere Korrekturoptiken vorgesehen sein, beispielsweise indem je eine Korrekturoptik den Farbfehler in dem entsprechenden Zwischenbild korrigiert.

[0020] In einer Weiterbildung ist es bevorzugt, dass der Abbildungsstrahlengang mindestens eine erste Linse und eine zweite Linse aufweist, wobei vorzugsweise die Korrekturoptik als die zweite Linse ausgebildet ist, welche zumindest den durch die erste Linse verursachten Farbfehler reduziert. Die erste Linse und eine dritte, vierte und weitere Linsen können wie Linsen bei einem herkömmlichen Endoskop ausgebildet sein. Optional sind die erste Linse sowie die dritte, vierte und weitere Linsen identisch ausgestaltet. Lediglich die zweite Linse kann sich von den anderen Linsen unterscheiden und als Korrekturoptik ausgestaltet sein. Beispielsweise kann die zweite Linse eine herkömmliche Linse eines herkömmlichen Endoskops ersetzen. Die zweite Linse weist optional ein Dispersionsverhalten auf, das umgekehrt zu dem Dispersionsverhalten der ersten Linse ist. Auf diese Weise ist es möglich, den durch die erste Linse hervorgerufenen Farbfehler durch die zweite Linse zu korrigieren. Es ist möglich, dass die zweite Linse derart ausgebildet ist, dass sie den Farbfehler des Objektivs, der ersten Linse und weiterer Linsen des Abbildungsstrahlengangs korrigiert. Dazu kann das Dispersionsverhalten der zweiten Linse derart gewählt werden, dass sie den durch das Objektiv, die erste Linse und oder weiterer Linsen hervorgerufenen Farbfehler entsprechend korrigiert.

[0021] Es ist auch möglich, dass mehrere erste Linsen und mehrere zweite Linsen in dem Abbildungsstrahlengang vorgesehen sind. Bei dieser Ausgestaltung werden dann mehrere herkömmliche Linsen eines herkömmlichen Endoskops durch die als Korrekturoptik ausgestaltete zweite Linse ersetzt. Vorteil dieser Ausführungsformen ist es, dass das Endoskop wie ein herkömmliches Endoskop hergestellt werden kann und nur eine oder mehrere Linsen durch die spezielle zweite Linse ersetzt werden. Insbesondere können die bei einem herkömmlichen Endoskop verwendeten Linsen des Abbildungsstrahlengangs verwendet werden, so dass sich die Herstellungskosten des Endoskops gemäß dieser Ausführungsform reduzieren lassen.

[0022] Eine besonders einfache Ausgestaltung dieser Weiterbildung ist, wenn optional vorgesehen ist, dass die zweite Linse die Linse des Abbildungsstrahlengangs ist, welche zum Okular unmittelbar benachbart ist. Das Zwischenbild, das durch die zweite Linse korrigiert wird, ist somit das Zwischenbild, das be-

nachbart zu dem Okular angeordnet ist. Auf diese Weise vermindert die zweite Linse die von den übrigen optischen Elementen des Abbildungsstrahlengangs und des Objektivs hervorgerufenen Farbfehler.

[0023] In einer Weiterbildung ist es vorgesehen, dass die Korrekturoptik ein farbkorrigierendes diffraktives Element ist. Dieses Element kann einstückig mit einer Linse des Abbildungsstrahlengangs ausgestaltet sein oder benachbart zu diesen Linsen vorgesehen sein. Beispielsweise ist das farbkorrigierende diffraktive Element auf eine Seitenfläche der Linse aufgebracht. Farbkorrigierende diffraktive Elemente sind aus der Fotografie bekannt und können für dieses Endoskop als Korrekturoptik verwendet werden. Es ist auch möglich, dass mehrere farbkorrigierende diffraktive Elemente in dem Abbildungsstrahlengang vorgesehen sind. Das farbkorrigierende diffraktive Element kann als alleinige Korrekturoptik verwendet werden oder in Zusammenhang mit der zweiten Linse vorgesehen sein. Das farbkorrigierende diffraktive Element kann an dem Schaft befestigt sein.

[0024] Eine besonders kostengünstige Ausgestaltung des Endoskops ist, wenn, wie in einer Weiterbildung vorgesehen, die mindestens eine Linse eine Stablinse ist. Ferner ist es möglich, dass die zweite Linse ebenfalls als Stablinse ausgebildet ist. In dieser Weiterbildung ist es demnach möglich, den Aufbau eines herkömmlichen Endoskops mit Stablinen zu verwenden, so dass Kosten bei der Herstellung reduziert werden können. Denn die Verwendung von herkömmlichen Stablinen ermöglicht es, die Stablinen in hohen Stückzahlen zu fertigen. Da in einer Weiterbildung lediglich eine Stablinse durch die zweite Linse ersetzt wird, können auch der Schaft und/oder das Hauptteil wie bei einem herkömmlichen Endoskop verwendet werden. Ferner können auch das Objektiv und das Okular aus einem herkömmlichen Endoskop übernommen werden. Dies reduziert die Kosten für die Herstellung des Endoskops weiter.

[0025] In einer Weiterbildung umfasst der Abbildungsstrahlengang mindestens eine achromatische Doublet-Linse. Diese kann anstelle einer Stablinse, in Kombination mit einer Stablinse oder als Stablinse vorgesehen sein. Da die Korrekturoptik vorgesehen ist und somit den Farbfehler in dem Zwischenbild korrigiert, können auch achromatische Doublet-Linsen verwendet werden, welche einen Farbfehler verursachen. Der dadurch verursachte Farbfehler kann mit der Korrekturoptik korrigiert werden. Somit kann auf die Verwendung von kostenintensiven optischen Elementen, die einen geringen Farbfehler verursachen, verzichtet werden, da mithilfe der Korrekturoptik der Farbfehler reduziert wird.

[0026] In einer Weiterbildung ist es vorgesehen, dass das Objektiv eine asphärische Linse umfasst

und/oder dass das Okular eine achromatische Doublet-Linse aufweist. Die Verwendung einer asphärischen Linse als Objektiv oder als Teil des Objektivs hat den Vorteil, dass die Schärfe des Bilds in der Bildebene, gesteigert werden kann. Gleichzeitig hat die Verwendung einer asphärischen Linse grundsätzlich den Nachteil, dass sie einen Farbfehler aufweist. Da jedoch das Zwischenbild eine Farbfehlerkorrektur erfährt, fällt dieser Aspekt wenig ins Gewicht. Darüber hinaus ist die Verwendung einer Doublet-Linse als Objektiv oder als ein Teil des Objektivs kostengünstig in der Herstellung. Somit kann ein Endoskop mit erhöhter Schärfe der Abbildung des Objekts bei gleichzeitig verringerten Kosten hergestellt werden.

[0027] Darüber hinaus kann das Okular als Doublet-Linse ausgebildet sein oder eine Doublet-Linse aufweisen. Ferner kann das Okular ein Okular nach Kellner sein. Diese Ausführungsformen haben gemein, dass sie kostengünstig in der Herstellung sind. Durch das Vorsehen der Korrekturoptik kann bei dem erfindungsgemäßen Endoskop in vorteilhafter Weise der Aufbau des Okulars einfach gehalten werden. Es können somit bekannte und kostengünstige Okulare eingesetzt werden.

[0028] Die Verwendung der Korrekturoptik kann vorteilhaft dahingehend genutzt werden, dass keine Gesichtsfeldblende vorgesehen wird, die in der Regel den Zwischenbildbereich, der außerhalb des berechneten Designs liegt, abdeckt. Aufgrund der erfindungsgemäßen Farbkorrektur, die in den Zwischenbildbereich hineinwirkt, der in der Regel von einer Gesichtsfeldblende abgedeckt ist, ist das Weglassen der Gesichtsfeldblende möglich. Wenn das mittels des Endoskops abzubildende Objekt über einen Koppler und eine Kamera aufgenommen wird, kann beispielsweise eine Vollbilddarstellung realisiert werden, in der ein größeres Gesichtsfeld vorliegt im Vergleich zu dem Fall, bei dem eine Gesichtsfeldblende im Endoskop angeordnet ist. Auch ist es möglich, eine elektronische Gesichtsfeldblende zu realisieren, indem nicht der gesamte Bereich des Detektors der Kamera ausgewertet wird, sondern nur ein vorgegebener (beispielsweise mittlerer) Bereich. Dies kann auch als Software-Gesichtsfeldblende bezeichnet werden.

[0029] Daher ist in einer Weiterbildung vorgesehen, dass das Endoskop, insbesondere der Abbildungsstrahlengang, frei von einer Gesichtsfeldblende ist. Dadurch lässt sich auch der Aufwand zur exakten Positionierung der Gesichtsfeldblende vermeiden. Insbesondere dann, wenn die Korrekturoptik durch Austausch einer herkömmlichen Linse mit der zweiten Linse vorgesehen ist, ergibt sich ein besonders einfacher Aufbau des Endoskops.

[0030] Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in den angegebenen Kombinati-

onen, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung einsetzbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0031] Nachfolgend wird die Erfindung beispielsweise anhand der beigefügten Zeichnungen, die auch erfindungswesentliche Merkmale offenbaren, noch näher erläutert. Es zeigen:

[0032] Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Endoskops in einer ersten Ausführungsform;

[0033] Fig. 2 eine schematische Darstellung einer zweiten Ausführungsform des Endoskops;

[0034] Fig. 3a–Fig. 3c eine Simulation des Farbquerfehlers in dem Zwischenbild bei dem in Fig. 1 und Fig. 2 dargestellten Endoskop;

[0035] Fig. 4a–Fig. 4c eine Simulation eines Farbquerfehlers eines Bilds eines Objektes unter verschiedenen Blickwinkeln bei einem Endoskop gemäß dem Stand der Technik; und

[0036] Fig. 5a–Fig. 5c eine Simulation des Farbquerfehlers in einem Zwischenbild bei dem Endoskop des Stands der Technik von Fig. 4a–Fig. 4c.

[0037] Ein Endoskop **10** dient zur Abbildung eines Objekts **12**, welches in den Fig. 1 und Fig. 2 durch einen Pfeil symbolisiert wird. Dazu weist das Endoskop **10** eine Abbildungsoptik **14** auf, welche das Objekt **12** zusammen mit einem schematisch dargestellten Koppler **50** mit separater Optik in ein Bild **16** abbildet, das ebenfalls durch einen Pfeil symbolisiert wird. Das Objekt **12** liegt in einer Objektebene und das Bild **16** in einer Bildebene. An dem proximalen Ende des Kopplers **50** ist eine Kamera **60** lösbar befestigt, die das Bild **16** aufnimmt. Die Bildebene fällt dazu beispielsweise mit einem nicht gezeigten Sensor der Kamera **60** zusammen. Die Kamera **60** und der Koppler **50** sind gestrichelt dargestellt, da sie auch weggelassen werden können. Insbesondere kann der Koppler **50** so ausgebildet sein, dass er lösbar mit dem Endoskop **10** verbunden ist. Ohne Koppler **50** und Kamera **60** bildet die Abbildungsoptik **14** das Objekt **12** nach Unendlich ab. Wenn ein Benutzer in ein Okular **30** der Abbildungsoptik **14** blickt, kann er so das Bild wahrnehmen. Das erfindungsgemäße Endoskop **10** kann somit so ausgebildet sein, dass es für einen optischen Einblick geeignet ist. In dem Fall kann der Benutzer in das Okular **30** blicken und ein Bild wahrnehmen. Alternativ kann der Koppler **50** am proximalen Ende des Endoskops **10** befestigt sein. Der Koppler **50** kann insbesondere so ausgebildet werden, dass er die Abbildung des Bildes in die Bildebene bewirkt. Die an den Koppler **50** angeschlossene Kamera **60** kann dann das Bild in bekannter Weise aufnehmen. Insbesondere kann die Kamera **60** als CCD-Kamera **60** oder CMOS-Kamera **60** ausgebildet sein.

[0038] Das Endoskop **10** weist einen Schaft **18** und einen Hauptteil **20** auf, welche die Abbildungsoptik **14** stützen. Der Schaft **18** ist beispielsweise als ein längliches Rohr ausgebildet und mit dem Hauptteil **20** dauerhaft verbunden. Das Endoskop **10** weist ein distales Ende **22** und ein proximales Ende **24** auf. Der Schaft **18** erstreckt sich von dem proximalen Ende **22** in Richtung des proximalen Ende **24**, wobei an dem proximalen Ende **24** das Hauptteil **20** vorgesehen ist.

[0039] Die Abbildungsoptik **14** weist ein Objektiv **26**, einen Abbildungsstrahlengang **28** und das Okular **30** auf. Das Objektiv **26** ist an dem distalen Ende **22** des Endoskops **10**, insbesondere an dem distalen Ende **22** des Schafts **18**, vorgesehen. Das Okular **30** ist an dem proximalen Ende **24** des Endoskops **10**, insbesondere an dem proximalen Ende **24** des Hauptteils **20**, vorgesehen. Der Abbildungsstrahlengang **28** befindet sich zwischen dem Objektiv **26** und dem Okular **30**. Das Objektiv **26** kann wie ein herkömmliches Objektiv ausgebildet sein. Optional umfasst das Objektiv **26** eine asphärische Linse, wodurch die Schärfe der Abbildung des Objekts **12** erhöht werden kann. Das Okular **30** kann wie ein Okular nach Kellner ausgebildet sein. Ferner ist es möglich, dass das Okular **30** eine achromatische Doublet-Linse umfasst oder als Doublet-Linse ausgebildet ist. Dies kann zur Reduzierung der Herstellungskosten des Endoskops **10** beitragen.

[0040] Der Abbildungsstrahlengang **28** weist in der in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsform mehrere erste Linsen **32** und eine zweite Linse **34** auf. Eine oder alle der ersten Linsen **32** sind als Stablinse ausgebildet. Auch die zweite Linse **34** kann als Stablinse ausgebildet sein. Ferner ist es möglich, dass die erste Linse **32** oder weitere in dem Abbildungsstrahlengang **28** vorgesehenen Linsen, welche in **Fig. 1** und **Fig. 2** nicht eingezeichnet sind, als achromatische Doublet-Linsen ausgestaltet sind. Die erste Linse **32**, die zweite Linse **34**, das Objektiv **26** und das Okular **30** haben eine gemeinsame optische Achse OA. Das Objektiv **26** erzeugt optional ein Zwischenbild **36** des Objekts **12**. Das Zwischenbild **36** liegt in einer zu der Objektebene konjugierten Ebene. Darüber hinaus erzeugt der Abbildungsstrahlengang **28** mehrere Zwischenbilder **36** des Objekts **12**, welche jeweils durch Pfeile dargestellt werden. Das zwischen der zweiten Linse **34** und dem Okular **30** angeordnete Zwischenbild **36** wird durch das Okular **30** und den Koppler **50** in die Bildebene als Bild **16** abgebildet.

[0041] Der Abbildungsstrahlengang **28** weist ferner eine Korrekturoptik **38** auf. In der in **Fig. 1** dargestellten Ausführungsform ist die Korrekturoptik **38** durch die zweite Linse **34** realisiert. Die zweite Linse **34** weist ein Dispersionsverhalten auf, welches umgekehrt zu dem Dispersionsverhalten des Objektivs **26** und der ersten Linse **32** ist. Auf diese Weise lässt sich ein Farbfehler, insbesondere ein Farbquerfehler, in

dem Zwischenbild **36**, das sich zwischen der zweiten Linse **34** und dem Okular **30** befindet, vermindern, so dass das Bild **16** ebenfalls einen verminderten Farbfehler aufweist. Das Verhalten in dem Zwischenbild **36** ist in **Fig. 3a–Fig. 3c** simuliert. Die **Fig. 3a** und **Fig. 3b** stellen die Farbverteilung eines Punkts in einer Ebene des Zwischenbilds **36**, und zwar unter einem Betrachtungswinkel von 0° (**Fig. 3a**) und $13,5^\circ$ (**Fig. 3b**). Bei beiden Spotdiagrammen liegen die einzelnen Farben nahezu übereinander. Selbst unter einem Betrachtungswinkel von $37,5^\circ$ (**Fig. 3c**) fällt die aus einem Punkt in der Objektebene stammende Strahlung mit den Wellenlängen 486 nm (Bezugszeichen A), 588 nm (Bezugszeichen B) und 656 nm (Bezugszeichen C) in dem Zwischenbild **36** weitestgehend zusammen. Der Farbfehler wird somit durch die Korrekturoptik **38** korrigiert. Insbesondere der Vergleich mit **Fig. 5c** zeigt bei einem Blickwinkel von $37,5^\circ$ eine erhebliche Korrektur des Farbquerfehlers in dem Zwischenbild **36**.

[0042] Eine weitere Ausführungsform des Endoskops **10** ist in **Fig. 2** dargestellt. Diese Ausführungsform stimmt mit der Ausführungsform gemäß **Fig. 1** bis auf die folgenden Unterschiede überein. Bei der Ausführungsform gemäß **Fig. 2** wird keine zweite Linse **34** vorgesehen, sondern die Korrekturoptik **38** umfasst ein farbkorrigierendes diffraktives Element **40**. Das diffraktive Element **40** ist zwischen der ersten Linse **32** und dem Okular **30** vorgesehen. Das diffraktive Element **40** ist so ausgestaltet, dass es die Dispersion, welche durch das Objektiv **26** und die ersten Linsen **32** hervorgerufen wird, entsprechend korrigiert, so dass sich ein Farbquerfehler in dem Zwischenbild **36** vor dem Okular **30**, wie in **Fig. 3a–Fig. 3c** dargestellt, einstellt. Optional können auch mehrere diffraktive Elemente **40** vorgesehen sein, beispielsweise jeweils zwischen ein Paar von ersten Linsen **32**, insbesondere jeweils vor den Zwischenbildern **36**.

[0043] Optional kann das Endoskop **10**, insbesondere Abbildungsstrahlengang **28**, frei von einer Gesichtsfeldblende sein.

Patentansprüche

1. Endoskop mit einer Abbildungsoptik (**14**) zur Abbildung eines Objekts (**12**), wobei die Abbildungsoptik (**14**) ein Objektiv (**26**), das an einem distalen Ende (**22**) des Endoskops (**10**) angeordnet ist, ein Okular (**30**), das an einem proximalen Ende (**24**) des Endoskops (**10**) angeordnet ist, und einen Abbildungsstrahlengang (**28**), welcher von dem Objektiv (**26**) kommende Strahlung zu dem Okular (**30**) führt, mindestens eine Linse (**32**, **34**) und eine Korrekturoptik (**38**) umfasst und zusammen dem Objektiv (**26**) mindestens ein Zwischenbild (**36**) des Objekts (**12**) erzeugt, aufweist und

wobei die Korrekturoptik **(38)** einen durch das Objektiv **(26)** und/oder die mindestens eine Linse **(32, 34)** verursachten Farbfehler in dem mindestens einen Zwischenbild **(36)** reduziert.

2. Endoskop nach Anspruch 1, wobei der Farbfehler ein Farbquerfehler ist.

3. Endoskop nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Zwischenbild **(36)** unmittelbar benachbart zu dem Okular **(30)** ist.

4. Endoskop nach einem der obigen Ansprüche, wobei der Abbildungsstrahlengang **(28)** mindestens eine erste Linse **(32)** und eine zweite Linse **(34)** aufweist, wobei die Korrekturoptik **(38)** als die zweite Linse **(34)** ausgebildet ist, welche zumindest den durch die erste Linse **(32)** verursachten Farbfehler reduziert.

5. Endoskop nach Anspruch 4, wobei die zweite Linse **(34)** die Linse des Abbildungsstrahlengangs **(28)** ist, welche zu dem Okular **(30)** unmittelbar benachbart ist.

6. Endoskop nach einem der obigen Ansprüche, wobei die Korrekturoptik **(38)** ein farbkorrigierendes diffraktives Element **(40)** umfasst.

7. Endoskop nach einem der obigen Ansprüche, wobei die mindestens eine Linse **(32, 34)** eine Stablinse ist.

8. Endoskop nach einem der obigen Ansprüche, wobei der Abbildungsstrahlengang **(28)** mindestens eine achromatische Doublet-Linse umfasst.

9. Endoskop nach einem der obigen Ansprüche, wobei das Objektiv **(26)** eine asphärische Linse umfasst und/oder dass das Okular **(30)** eine achromatische Doublet-Linse umfasst.

10. Endoskop nach einem der obigen Ansprüche, wobei der Abbildungsstrahlengang **(28)** frei von einer Gesichtsfeldblende ist.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

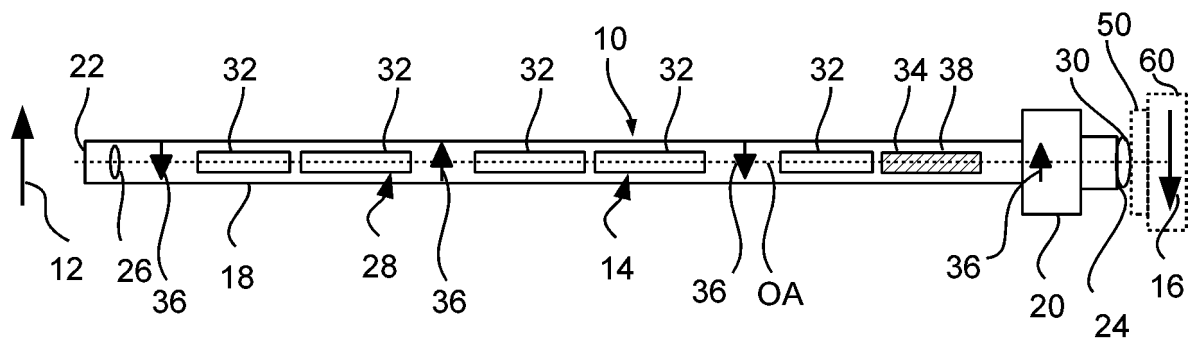


Fig. 2

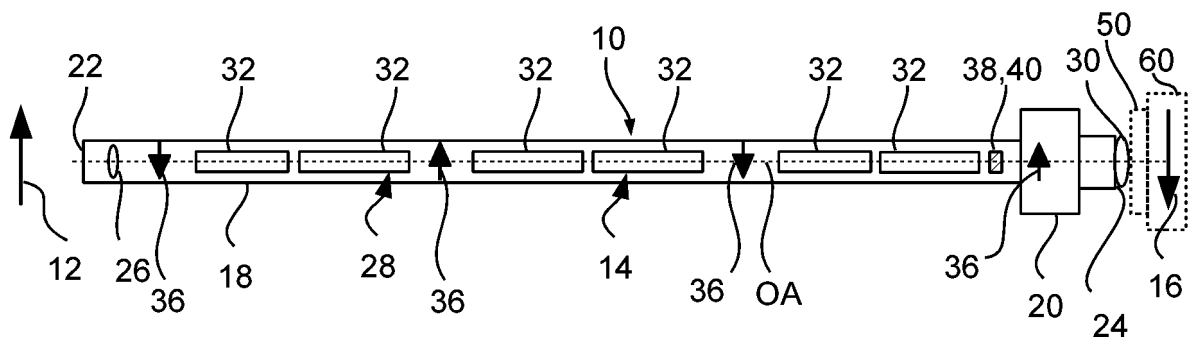


Fig. 3a

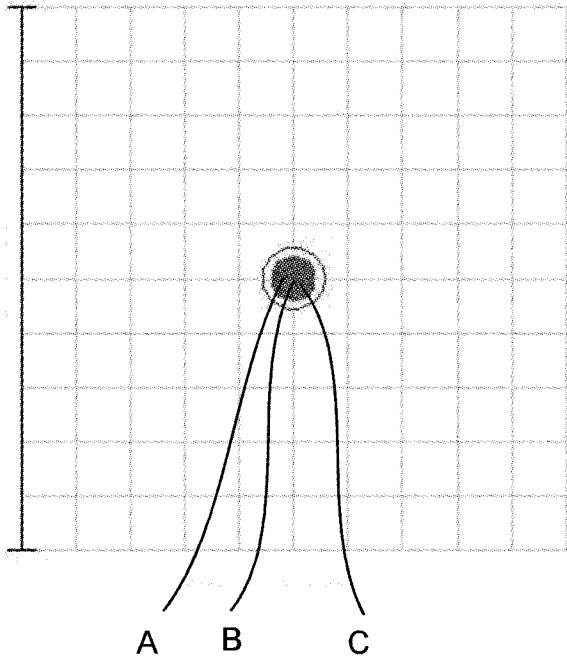


Fig. 3b

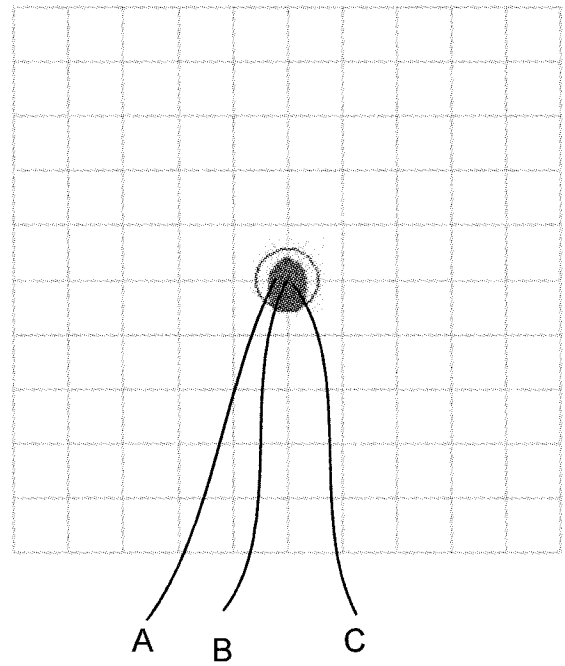


Fig. 3c

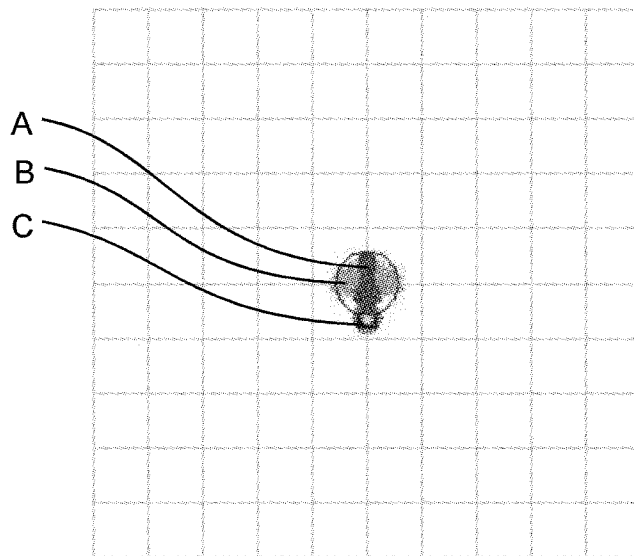


Fig. 4a

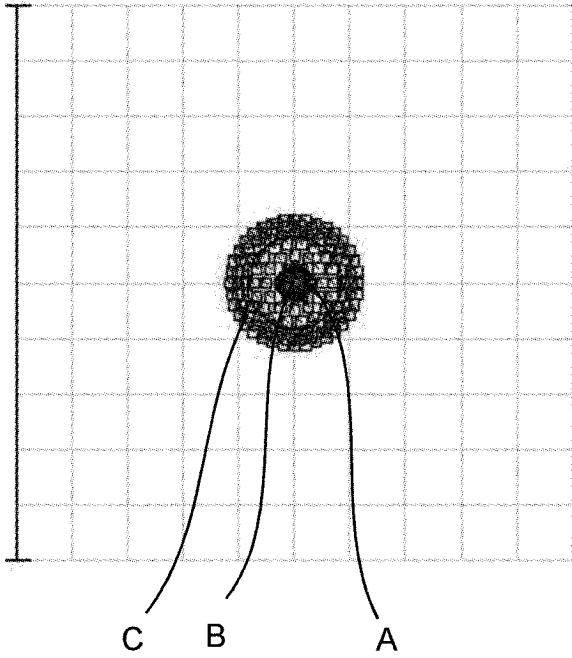


Fig. 4b

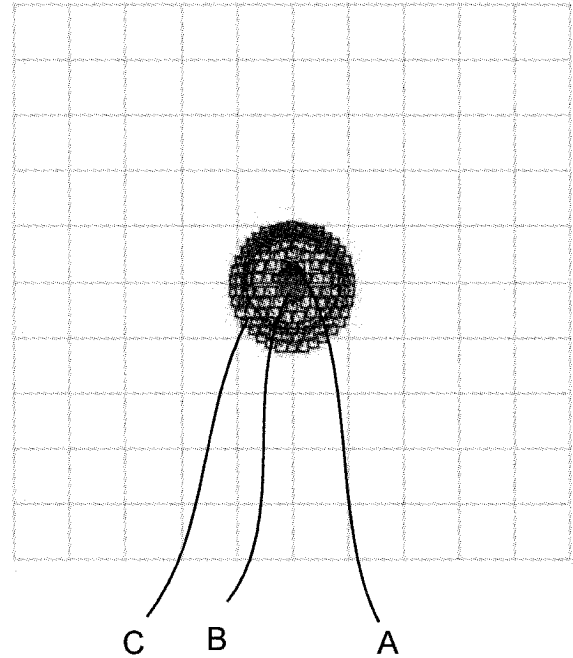


Fig. 4c

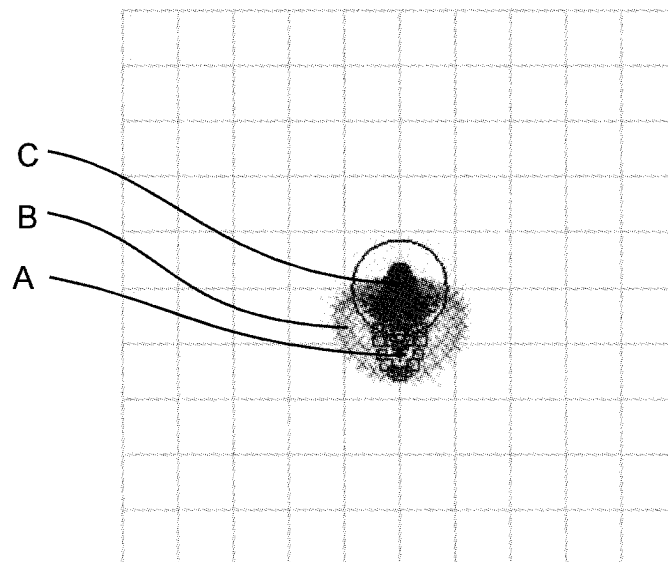


Fig. 5a

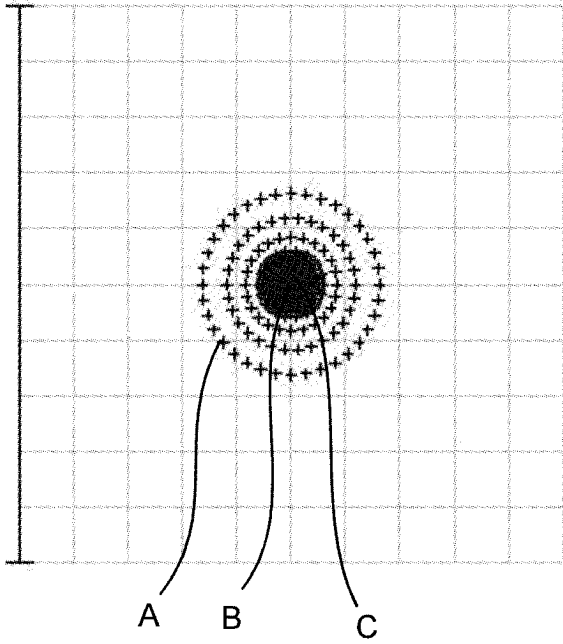


Fig. 5b

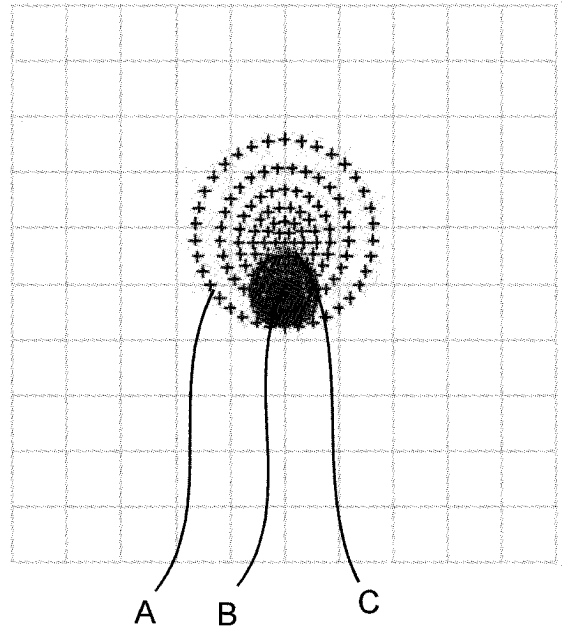


Fig. 5c

