



19



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

11 CH 694 952 A5

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

51 Int. Cl.⁷: A 61 B 001/07
G 02 B 023/26
F 21 V 008/00

12 PATENTSCHRIFT A5

21 Gesuchsnummer: 00122/00

73 Inhaber:
VOLPI AG, Wiesenstrasse 33
8952 Schlieren (CH)

22 Anmeldungsdatum: 21.01.2000

72 Erfinder:
Urs Kindler, Lättenstrasse 16
8952 Schlieren (CH)

24 Patent erteilt: 14.10.2005

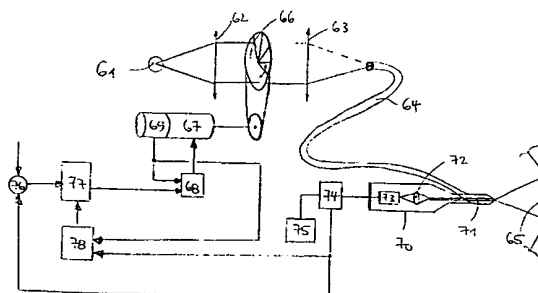
45 Patentschrift
veröffentlicht: 14.10.2005

74 Vertreter:
Hans Ulrich Seifert Seifert & Partner
Pestalozzistrasse 2, Postfach 1416
8201 Schaffhausen (CH)

54 Verfahren zur Regelung der Leuchtdichte eines Betrachtungsfeldes bei der Endoskopie, sowie Endoskop und Blendenanordnung dafür.

57 Verfahren zur Regelung der Leuchtdichte eines Betrachtungsfeldes (65) bei der Endoskopie, welches besonders geeignet ist für die ophthalmologische Endoskopie. Dabei wird ein Lichtstrom einer Lichtquelle (61) in einen zur Beleuchtung des Betrachtungsfeldes (65) vorgesehenen Lichtleiter (64) eingekoppelt, wobei die Lichtstärke des Lichtstroms mit Hilfe einer Blendenanordnung (66) gesteuert wird. Diese Blendenanordnung (66) ist mit einem Antrieb (67) versehen, welcher in Abhängigkeit der Leuchtdichte des Betrachtungsfeldes (65), gesteuert wird. Bei diesem Verfahren wird von einer elektro-optischen Vorrichtung (70) ein Bild des Betrachtungsfeldes (65) erzeugt und wird ein Beleuchtungskriterium, insbesondere der Ist-Wert der Leuchtdichte dieses Betrachtungsfeldes (65) ermittelt. Dieser Ist-Wert wird mit einem Soll-Wert verglichen, um den Antrieb (67) zur Steuerung der Blendenanordnung zu regeln. Erfindungsgemäss wird das Bild des Betrachtungsfeldes digitalisiert und wird ein in Teilbilder unterteiltes Luminanzbild des Betrachtungsfeldes erstellt. Das Verfahren sieht vor, von jedem Teilbild ein Helligkeits-Histogramm zu erstellen, eine Gewichtungsmatrix mit Gewichtungsfaktoren für die Teilbilder auszuwählen, die Histogramme mit mindestens einem ausgewählten Kriterium zu vergleichen und die Gewichtungsfaktoren dieser Gewichtungsmatrix anzupassen und zu normieren. Dann werden die Helligkeitsmittel-

werte der Histogramme für jedes Teilbild berechnet, die Gewichtungsfaktoren und die Helligkeitsmittelwerte für jedes Teilbild multipliziert und zur Ermittlung des Beleuchtungskriteriums die Summe über alle Teilbilder gebildet.



Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung der Leuchtdichte eines Betrachtungsfeldes bei einer Endoskopie nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, sowie ein Endoskop zur Durchführung dieses Verfahrens und eine steuerbare Blendenanordnung zur Verwendung in diesem Verfahren.

Für eine erfolgreiche Durchführung einer Endoskopie spielt die Ausleuchtung des Beobachtungsfeldes, bspw. ein interessierender Bereich einer Körperhöhle oder eines Hohlorgans eine wesentliche Rolle. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Ausleuchtung einer Körperhöhle oder eines Hohlorgans durch Variation der Leuchtdichte am Ausgang der für eine Endoskopie im Allgemeinen verwendete Faseroptik zu beeinflussen. So kann bspw. durch Änderung der Speisespannung der Lichtstrom oder die Lichtstärke der Lichtquelle gesteuert werden. Hierdurch wird allerdings auch die Farbtemperatur der Lichtquelle und folglich auch die Farbe des beleuchteten interessierenden Bereichs verändert, was insbesondere im Falle einer Betrachtung mit Videokameras besonders nachteilig ist.

Eine Möglichkeit, die Leuchtdichte einer beleuchteten Bildfläche bei einer Endoskopie bei konstanter Farbtemperatur zu steuern, besteht in der Verwendung von mechanischen Blenden bzw. Blendenanordnungen. So wird in der US-4 834 071 eine Vorrichtung zur Steuerung der Beleuchtungsstärke beschrieben, welche insbesondere für die Verwendung in einem Endoskop geeignet ist, und welche Vorrichtung eine Blende, Mittel zur Steuerung der Blende und Antriebsmittel zum Antreiben der Blende enthält. Darüber hinaus offenbart die US-4 834 071 ein Endoskop, das ausser einer Sonde, einer Lichtquelle und eineressoreinheit eine Vorrichtung zur Steuerung der Beleuchtungsstärke gemäss obigen Ausführungen enthält. Die Steuerung der Beleuchtungsstärke erfolgt dabei insbesondere mit Hilfe deressoreinheit, die die Leuchtdichte des aufgenommenen Bildes integriert und entsprechend den Antrieb zur Steuerung der Blende regelt.

Die Praxis zeigt allerdings, dass derartige und andere Vorrichtungen des Standes der Technik den Gegebenheiten bei einer Endoskopie, und insbesondere den Eigenheiten einer ophthalmologischen Endoskopie nicht in zufriedener Weise Rechnung tragen. So kommt es insbesondere bei Anwendungen am Auge oft zu Reflexionen, welche bspw. durch Flüssigkeiten innerhalb des Glaskörpers oder des Tränenkanals verursacht werden. Darüber hinaus entstehen Reflexionen, bspw. durch Operationsinstrumente, die während eines Eingriffs vor das Ophthalmoskop gelangen. Solche Reflexionen bewirken ein lokales Überbelichten des Bildes, da aufgrund der geringen Absorption an reflektierenden Oberflächen von diesen weit mehr Licht auf eine bilderzeugende Einrichtung einer elektro-optischen Vorrichtung, bspw. auf einen CCD-Sensor einer Kamera gelangen als von den übrigen Objektflächen, und veranlassen herkömmliche Verfahren zur Beleuchtungsregelung bzw. hierfür verwendete Vorrichtungen die Helligkeit im Bild zu reduzieren. Dadurch wird der eigentlich interessierende Bildausschnitt bei einer Endoskopie verdunkelt und erschwert dem Operateur die Durchführung seiner Arbeit.

Darüber hinaus ist es insbesondere bei der ophthalmologischen Endoskopie von Bedeutung, eine zu starke Beleuchtung zu vermeiden, da mit der stärkeren Beleuchtung fotochemische Reaktionen im Gewebe des Auges induziert werden, die unter dem Begriff «Lichttoxizität» zusammengefasst werden. Diese umfasst zytotoxische und mutagene Nebenwirkungen in den Zellen, die erst nach Jahren, eine mehr oder weniger starke Trübung der Hornhaut verursachen oder zur Schädigung der Augennetzhaut führen können.

Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Regelung der Leuchtdichte eines Betrachtungsfeldes bei einer Endoskopie, insbesondere bei einer ophthalmologischen Endoskopie, anzugeben, welches Verfahren erlaubt, der behandelnden Person ein korrekt ausgeleuchtetes Bild des Betrachtungsfeldes zu präsentieren.

Es ist insbesondere eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Regelung der Leuchtdichte eines Betrachtungsfeldes bei einer Endoskopie zu schaffen, welches den Eigenheiten der ophthalmologischen Endoskopie Rechnung trägt, und welches Verfahren es erlaubt, Reflexionen und zu helle oder zu dunkle Bildbereiche zu erkennen und diese bei der Regelung der Leuchtdichte des Betrachtungsfeldes zu berücksichtigen, um insbesondere für die eigentlich interessierenden Bereiche innerhalb des Betrachtungsfeldes eine optimale, d.h. eine ausreichende und doch nicht gefährdende Beleuchtung zu gewährleisten.

Erfindungsgemäss werden diese Aufgaben durch ein Verfahren zur Regelung der Leuchtdichte eines Betrachtungsfeldes bei einer Endoskopie mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst und insbesondere dadurch, dass das Bild des Betrachtungsfeldes digitalisiert und ein Luminanzbild des Betrachtungsfeldes erstellt wird, das Luminanzbild in Teilbilder unterteilt wird, von jedem Teilbild ein Helligkeits-Histogramm erstellt wird, eine Gewichtungsmatrix mit Gewichtungsfaktoren für die Teilbilder ausgewählt wird, die Histogramme der Teilbilder mit mindestens einem ausgewählten Kriterium verglichen werden, die Gewichtungsfaktoren dieser Gewichtungsmatrix angepasst und normiert werden, und ein Helligkeits-Mittelwert der Histogramme für jedes Teilbild berechnet wird, die Gewichtungsfaktoren und die Helligkeits-Mittelwerte für jedes Teilbild multipliziert werden, und zur Ermittlung des Beleuchtungskriteriums die Summe über alle Teilbilder gebildet wird.

Weitere bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemässen Verfahrens ergeben sich aus den Merkmalen der abhängigen Patentansprüche.

Die durch das erfindungsgemässe Verfahren erzielten Vorteile sind für den Fachmann unmittelbar ersichtlich. Insbesondere erlaubt die vorliegende Erfindung, dem Operateur bzw. der die Endoskopie

durchführenden Person zu jeder Zeit ein korrekt ausgeleuchtetes Bild zu präsentieren, bei dem vor allem den Eigenheiten der ophthalmologischen Endoskopie Rechnung getragen wird. So kommt es, wie bereits erwähnt, insbesondere bei Anwendungen am Auge oft zu Reflexionen, welche bspw. durch Flüssigkeiten innerhalb des Glaskörpers oder des Tränenkanals oder durch Operationsinstrumente verursacht werden. Solche Reflexionen veranlassen herkömmliche Verfahren zur Beleuchtungsregelung bzw. hierfür verwendete Vorrichtungen die Helligkeit im Bild zu reduzieren. Dadurch wird der eigentlich interessierende Bildausschnitt bei einer Endoskopie verdunkelt und erschwert somit dem Operateur die Durchführung seiner Arbeit.

Die vorliegende Erfindung erlaubt es nun, dass insbesondere Reflexionen als solche erkannt werden, und in geeigneter Weise darauf reagiert werden kann. Die vorliegende Erfindung gewährleistet daher, dass während einer Endoskopie das eigentliche Interessengebiet bzw. der interessierende Bereich des Betrachtungsfeldes, wie die Netzhaut oder die Wände des Tränenkanals, korrekt ausgeleuchtet sind und Reflexionen nicht zu deren Verdunkelung führen. Eine korrekte Ausleuchtung besteht insbesondere darin, dass das für die Endoskopie eigentlich interessierende Gebiet bzw. der interessierende Bereich ausreichend beleuchtet wird, und trotzdem diese oder andere Bereiche nicht der Gefahr einer Schädigung ausgesetzt sind.

Darüber hinaus erweist sich die vorliegende Erfindung als vorteilhaft, da zu helle oder zu dunkle Bereiche innerhalb des Betrachtungsfeldes bei einer Endoskopie erkannt werden können, und je nach Situation, d.h. ob es sich bei diesen zu hellen oder zu dunklen Bereichen um die eigentlich interessierenden Bereiche der Endoskopie handelt oder nicht, die Leuchtdichte des Betrachtungsfeldes entsprechend geregelt werden kann. Auch für solche Fälle sorgt somit die vorliegende Erfindung für ein korrekt ausgeleuchtetes Betrachtungsfeld bei einer Endoskopie.

Die vorliegende Erfindung soll im Folgenden mit Hilfe der Figuren näher erläutert werden. Dabei zeigt:

Fig. 1a ein Luminanzbild, welches im Verlauf einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens erstellt wurde;

Fig. 1b ein weiteres Luminanzbild, welches im Verlauf der genannten bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens erstellt wurde;

Fig. 2 ein Helligkeits-Histogramm des in Fig. 1a erstellten Luminanzbildes;

Fig. 3a ein in acht Bereiche eingeteiltes Helligkeitshistogramm des in Fig. 1a erstellten Luminanzbildes;

Fig. 3b ein in acht Bereiche eingeteiltes Helligkeitshistogramm des in Fig. 1b erstellten Luminanzbildes;

Fig. 4a das in 25 Teilbilder unterteilte Luminanzbild von Fig. 1a mit dazugehörigen Helligkeits-Histogrammen;

Fig. 4b das in 25 Teilbilder unterteilte Luminanzbild von Fig. 1b mit dazugehörigen Helligkeits-Histogrammen;

Fig. 5 ein schematisches Flussdiagramm zur Ermittlung, bzw. Berechnung des Beleuchtungskriteriums gemäss einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 6 ein schematisches Blockschaltbild einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemässen Endoskops.

Im Verlauf der im Folgenden beschriebenen bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens zur Regelung der Leuchtdichte eines Betrachtungsfeldes bei einer Endoskopie werden die erzeugten Bilder des Betrachtungsfeldes digitalisiert und in Luminanzbilder umgewandelt. Nach der Umwandlung nehmen die einzelnen Pixel bzw. Bildpunkte Werte zwischen 0 und 256 (8-bit-Wandlung) an, wobei der Wert 0 einem schwarzen bzw. dunklen und der Wert 256 einem weissen bzw. hellen Pixel entspricht. In einem Luminanzbild liefern daher die Werte der einzelnen Pixel direkt eine Aussage über die Beleuchtungsstärke an der entsprechenden Stelle. In Fig. 1a und Fig. 1b sind zwei Luminanzbilder 1 und 2 gezeigt, welche im Verlauf einer Endoskopie von Schweineaugen aufgenommen wurden.

Wie oben bereits erläutert, entstehen Reflexionen einerseits, wenn Operationsinstrumente mit metallischer Oberfläche so vor das Ophthalmoskop bzw. die elektro-optische Vorrichtung gehalten werden, dass das zur Beleuchtung des Betrachtungsfeldes vorgesehene Licht direkt in die Optik des Ophthalmoskops gespiegelt wird. Andererseits kann es auch in flüssigen Medien, wie z.B. im Tränenkanal oder im Innern des Glaskörpers zu Reflexionen kommen. Diese sind insbesondere abhängig vom Einfallswinkel der Lichtstrahlen und dem Verhältnis der Brechungsindizes. Im ungünstigen Fall werden auch hier Lichtstrahlen direkt in die Optik des Ophthalmoskops geleitet. Aufgrund der geringen Absorption an reflektierenden Oberflächen gelangt von diesen weit mehr Licht auf die die Bilder des Betrachtungsfeldes erzeugende Einrichtung der elektro-optischen Vorrichtung, bspw. auf den CCD-Sensor einer Kamera, als von den übrigen Objektflächen. Dies führt zu einer lokalen Übersteuerung des CCD-Sensors, so dass Reflexionen sich als absolut weisse Bereiche in einem sonst gut ausgeleuchteten Bild äussern. Typischerweise machen sich Reflexionen als kleine Flecken im Bild bemerkbar. Während in Fig. 1a keine Reflexionen zu erkennen sind, sind in der linken oberen Hälfte des Luminanzbildes von Fig. 1b eine Reflexion 3, d.h. ein absolut weisser Bereich, zu erkennen.

Wie bereits erwähnt, könnte für ein einfaches Beleuchtungskriterium zur Regelung der Leuchtdichte eines Betrachtungsfeldes bei einer Endoskopie der Mittelwert aller Pixel eines Luminanzbildes herangezogen werden. Allerdings lassen sich aus diesem, zwar einfach zu berechnenden Kriterium, aber nur wenige Aussagen über die Beleuchtung, die Verteilung der Beleuchtung und die Leuchtdichte eines Betrachtungsfeldes gewinnen. Weit mehr Information liefert das Helligkeits-Histogramm eines Luminanzbildes. Ein Helligkeits-Histogramm gemäss der vorliegenden Erfindung gibt an, wie oft ein bestimmter Pixel-Wert in einem Luminanzbild enthalten ist. So werden bei der Berechnung bzw. Erstellung eines Helligkeits-Histogramms das Vorkommen eines jeden Pixel-Wertes gezählt und als Häufigkeitsverteilung graphisch dargestellt. Ein derartiges Helligkeits-Histogramm 20 des in Fig. 1a erstellten Luminanzbildes ist in Fig. 2 gezeigt. So ist auf der Abszisse der Pixel-Wert aufgetragen, während in der Ordinate die ermittelte Anzahl der Pixel-Werte aufgetragen ist.

Es hat sich gezeigt, dass bevorzugterweise für die Ermittlung des Beleuchtungskriteriums gemäss der vorliegenden Erfindung die Helligkeits-Histogramme in 8 Werte-Bereiche eingeteilt werden. Ein der Fig. 2 entsprechendes, und in 8 Werte-Bereiche eingeteiltes Helligkeits-Histogramm 30 ist in Fig. 3a gezeigt. Die Zahl der berücksichtigten Pixel zur Erstellung des Helligkeits-Histogramms ist in Fig. 3a höher, was jedoch keine wesentliche Beeinflussung darstellt. So versteht es sich selbstverständlich, dass bspw. zur Verringerung des Rechenaufwandes, bspw. bei Bildern mit Standard-Video-Auflösung, die Zahl der berücksichtigten Pixel, bspw. um einen Faktor nur zu verkleinern. Es hat sich im Allgemeinen gezeigt, dass hieraus keine wesentlichen Informationen verloren gehen.

Es wurde nun gefunden, dass die Helligkeits-Histogramme, und insbesondere die in Werte-Bereiche eingeteilte Helligkeits-Histogramme von korrekt ausgeleuchteten Bildern bzw. Luminanzbildern immer an die Form einer Gauss'schen Glockenkurve, also einer Normalverteilung angenähert werden können. Mit anderen Worten überwiegt in solchen Bildern, bzw. Luminanzbildern die Zahl der Bildpunkte mittlerer Ausleuchtung, d.h. mit einem mittleren Pixel-Wert, gegenüber der Anzahl der Bildpunkte hellerer bzw. dunklerer Ausleuchtung, d.h. Bildpunkte mit einem grösseren bzw. kleineren Pixel-Wert.

In Fig. 3b ist das in acht Werte-Bereiche eingeteilte Helligkeits-Histogramm 31 des in Fig. 1b erstellten Luminanzbildes abgebildet, in welchem die Reflexion 3 aufgetreten ist. Fig. 3b zeigt, dass das Auftreten von Reflexionen und damit absolut weissen Bereichen in Luminanzbildern sich derart bemerkbar macht, dass durch vermehrtes Auftreten überbelichteter Pixel das Histogramm im hellen Bereich, d.h. bei hohen Pixel-Werten, nochmals ansteigt, und somit nicht einer Gauss'schen Glockenkurve bzw. einer Normalverteilung angenähert werden kann.

Wie bereits erwähnt, machen sich in der Regel Reflexionen typischerweise als kleinere Flecken im Bild bemerkbar. Derartige kleine Reflexionen erhöhen bei der Berechnung bzw. Erstellung des Helligkeits-Histogramms über das gesamte Luminanzbild zwar den Anteil der hohen Werte, sie verursachen aber nicht zwingend den oben erwähnten und in Fig. 3b gezeigten für Reflexionen typischen Anstieg im hellen Bereich des Histogramms. Daher kann ein Bild bzw. Luminanzbild, welches kleine Reflexionen aufweist, d.h. Reflexionen, die sich auf kleine Bereiche innerhalb des Luminanzbildes beschränken, leicht als zu hell beleuchtet interpretiert werden, so dass eine darauf basierende Regelung eine unnötige Verdunkelung des Betrachtungsfeldes, und insbesondere des eigentlich interessierenden Bildes zur Folge hätte.

Damit der interessierende Bereich bzw. der Hintergrund bei der Endoskopie zu jeder Zeit korrekt ausgeleuchtet bleibt, und damit Reflexionen, insbesondere die oben erwähnten kleinen Reflexionen erkannt werden, wird bei der vorliegenden Erfindung daher das Luminanzbild in Teilbilder unterteilt, von welchen je ein Histogramm berechnet bzw. erstellt wird. In der hier erläuterten bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens wird das Luminanzbild in 25 Teilbilder aufgeteilt. Typischerweise erfolgt die Aufteilung in gleich grosse und bevorzugterweise quadratische Teilbilder, wie in den Fig. 4a und 4b gezeigt ist.

In Fig. 4a und 4b wurden die Luminanzbilder von Fig. 1a und 1b in 5x5 Teilbilder unterteilt und für jedes Teilbild das auf acht Werte-Bereiche eingeteilte Helligkeits-Histogramm 40 und 41 berechnet. Nummeriert man die Teilbilder von links oben nach rechts unten, beginnend mit der Nummer T1, so liefern die Histogramme der Teilbilder des Luminanzbildes von Fig. 4b folgende Aussagen basierend auf dem Kriterium, dass das Helligkeits-Histogramm eines korrekt ausgeleuchteten Luminanzbildes an die Form einer Gauss'schen Glockenkurve, also einer Normalverteilung angenähert werden kann. Die Teilbilder T1, T2 und T6 weisen einen erneuten Anstieg in ihren jeweiligen Helligkeits-Histogrammen im hellen Bereich auf, was auf das Vorhandensein von Reflexionen hindeutet. Bei der vorliegenden bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens versteht man unter «hellem» Bereich die zwei der insgesamt acht Werte-Bereiche des Helligkeits-Histogramms, welche die höchsten Pixel-Werte der einzelnen Pixel umfasst.

In den Teilbildern T7 und T12 überwiegen die hellen Pixel, so dass diese Bildbereiche des gesamten Luminanzbildes, d.h. die Teilbilder T7 und T12, als zu hell eingestuft werden. Für das vorliegende bevorzugte Ausführungsbeispiel des erfindungsgemässen Verfahrens versteht man unter «heller» Pixel diejenigen Bildpunkte, welche Pixel-Werte aufweisen, welche von den zwei der acht eingeteilten Werte-Bereiche mit den höchsten Pixel-Werten umfasst werden. Für die anderen Teilbilder von Fig. 4b ergeben sich ausgeglichene, d.h. einer Normalverteilung annäherbare Helligkeits-Histogramme, die auf eine gute und korrekte Beleuchtung des Betrachtungsfeldes hindeuten. So erweist sich für das bevorzugte Aus-

führungsbeispiel des erfindungsgemässen Verfahrens ein Teilbild insbesondere dann als korrekt ausgeleuchtet, wenn dem ersten und dem achten Werte-Bereich, d.h. der Werte-Bereich mit den geringsten Pixel-Werten und der Bereich mit den höchsten Pixel-Werten des Helligkeits-Histogramms, keine Bildpunkte des Teilbildes zugeordnet werden können.

Die erfindungsgemässe Unterteilung in einzelne Teilbilder erweist sich somit als äusserst vorteilhaft, um Reflexionen und oder zu hell oder zu dunkel ausgeleuchtete Teilbereiche des Luminanzbildes sicher zu erkennen. Darüber hinaus erweist sich die Unterteilung in einzelne Teilbilder insbesondere für die weitere Verarbeitung der Beleuchtungsinformation als vorteilhaft. So kann eine Gewichtungsmatrix bzw. eine Gewichtungsfunktion vom Operateur ausgewählt werden, wobei die Form der Matrix der Form der Unterteilung in Teilbilder entspricht, d.h. dass ein jeder Gewichtungsfaktor einem Teilbild zugeordnet werden kann.

Eine derartige erfindungsgemässe Gewichtungsmatrix erlaubt dem Operateur nun, verschiedene Bereiche des Betrachtungsfeldes bei der Regelung der Leuchtdichte bzw. bei der Ermittlung des Beleuchtungskriteriums stärker zu berücksichtigen und zu betonen. So kann bspw. bei ophthalmologischen Untersuchungen innerhalb des Glaskörpers die Bildmitte stärker interessieren, während bei der Endoskopie des Tränenkanals der Bildrand bzw. der Rand des Betrachtungsfeldes stärker von Bedeutung ist.

Bevorzugte Gewichtungsmatrizen bzw. Gewichtungsfunktionen gemäss der vorliegenden Erfindung basieren auf den Gesetzmässigkeiten einer Gauss-Verteilung. Für das vorliegende bevorzugte Ausführungsbeispiel der Erfindung wird, wie bereits erwähnt, jedem Teilbild ein Gewichtungsfaktor zugeordnet, die sich somit in der Gewichtungsmatrix mit der Dimension 5×5 zusammenfassen lassen. Für den oben erwähnten Fall, dass insbesondere die Bildmitte des Betrachtungsfeldes interessiert, wird geeigneter Weise eine mittenbetonte Beleuchtung angestrebt und somit eine mittenbetonte Gewichtungsmatrix $\bar{T}_M$ ausgewählt. Eine für das bevorzugte Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung geeignete mittenbetonte Gewichtungsmatrix ist in Gleichung 1 gezeigt.

$$\bar{T}_M = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.1 \\ 0.2 & 0.5 & 0.7 & 0.5 & 0.2 \\ 0.3 & 0.7 & 1.0 & 0.7 & 0.3 \\ 0.2 & 0.5 & 0.7 & 0.5 & 0.2 \\ 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Für einen anderen Fall, dass insbesondere die Ränder des Betrachtungsfeldes interessieren, wird geeigneter Weise eine randbetonte Beleuchtung angestrebt und daher eine randbetonte Gewichtungsmatrix $\bar{T}_R$ ausgewählt. Eine für das bevorzugte Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung geeignete randbetonte Gewichtungsmatrix ist in Gleichung 2 gezeigt.

$$\bar{T}_R = \begin{bmatrix} 1.0 & 0.7 & 0.3 & 0.7 & 1.0 \\ 0.7 & 0.5 & 0.2 & 0.5 & 0.7 \\ 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0.2 & 0.3 \\ 0.7 & 0.5 & 0.2 & 0.5 & 0.7 \\ 1.0 & 0.7 & 0.3 & 0.7 & 1.0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Im Folgenden soll mit Hilfe der Fig. 5 der Algorithmus, und insbesondere die Bedingungen und Gleichungen für die Ermittlung bzw. Berechnung des Beleuchtungskriteriums einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung näher beschrieben werden. So wird in einem (?) Schritt 51 des Flussdiagramms von Fig. 5 das vom Betrachtungsfeld erstellte Bild eingelesen, digitalisiert, ein Luminanzbild erstellt und das Luminanzbild in Teilbilder unterteilt. Im beschriebenen bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird das Luminanzbild in 5×5 Teilbilder unterteilt. Fig. 5 zeigt insbesondere den nachfolgend erläuterten Ablauf für ein Teilbild, wobei dieser Ablauf für alle Teilbilder erfolgt, was in Fig. 5 durch die gestrichelte Linie im rechten Teil von Fig. 5 angedeutet wird. In einem Schritt 52 wird von jedem Teilbild ein Helligkeits-Histogramm erstellt, bzw. berechnet und in acht Stufen, bzw. Werte-Bereiche eingeteilt. In einem Schritt 53 werden die Gewichtungsfaktoren für die einzelnen Teilbilder ausgewählt und die entsprechende Gewichtungsmatrix eingelesen.

Bei dem hier beschriebenen bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung zeigte sich, dass für die Erkennung von zu hellen und zu dunklen Teilbildern sowie von auftretenden Reflexionen nur bestimmte Werte-Bereiche der Helligkeits-Histogramme der Teilbilder mit den von den Gesetzmässigkeiten einer Normalverteilung abgeleiteten Kriterien verglichen werden musste. So zeigte sich, dass hierfür lediglich der erste und die drei letzten Werte-Bereiche der Helligkeits-Histogramme untersucht und für die Ermittlung, bzw. Berechnung des Beleuchtungskriteriums gemäss der vorliegenden Erfindung berücksichtigt werden müssen.

Die einzelnen Stufen, bzw. Werte-Bereiche der Helligkeits-Histogramme werden geeigneterweise für

das beschriebene bevorzugte Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung von links nach rechts mit $histo_1$ bis $histo_8$ bezeichnet, wobei diese Bezeichnungen darüber hinaus die Anzahl der Pixel darstellt, die im bezeichneten Werte-Bereich des Helligkeits-Histogramms enthalten sind. So ist z.B. $histo_1$ die Anzahl der Pixel, deren Wert unter 32 liegen.

- 5 Nachfolgend werden die für die oben erwähnten vier Werte-Bereiche herangezogenen Kriterien, welche in Fig. 5 in Form einer Raute angedeutet sind, näher beschrieben. So wird für jedes Teilbild ermittelt, ob $histo_1 > 0$ ist. Ist $histo_1 > 0$, so ist dies ein Hinweis dafür, dass zu viele dunkle Pixel im entsprechenden i-ten Teilbild vorhanden sind, und das Zentrum des Helligkeits-Histogramms unterhalb eines Mittelwerts μ des i-ten Teilbildes liegt. Ist also $histo_1 > 0$, dann wird der Gewichtungsfaktor für das entsprechende Teilbild angepasst, was in Fig. 5 in einem Schritt 54 angedeutet wird. Hierzu wird der Gewichtungsfaktor $gew(i)$ des i-ten Teilbildes gemäss Gleichung (3) angepasst.

$$15 \quad gew(i) = gew(i) \cdot \left(1 + \frac{histo_1}{N \cdot M}\right) \quad (3)$$

- 20 Ist andererseits $histo_8 > 0$, so kann dies zwei Ursachen haben. Entweder kommen in dem entsprechenden i-ten Teilbild Reflexionen vor, oder dieser Bildbereich des Luminanzbildes, d.h. das entsprechende Teilbild ist generell zu hell. Ob das eine oder das andere der Fall ist, lässt sich durch Vergleich von $histo_7$ mit $histo_8$ feststellen. Ist $histo_7 > histo_8$, so ist der Anteil heller Pixel im entsprechenden Teilbild gross. In Analogie, wird auch in diesem Fall der Gewichtungsfaktor des i-ten Teilbildes $gew(i)$ in einem Schritt 55 nach Fig. 5 angepasst, und zwar um den prozentualen Anteil gemäss Gleichung 4 erhöht:

$$30 \quad gew(i) = gew(i) \cdot \left(1 + \frac{histo_8}{N \cdot M}\right) \quad (4)$$

- 35 Ist jedoch $histo_6 > histo_7 < histo_8$, so steigt das Helligkeits-Histogramm im hellen Bereich erneut an und weist auf das Vorhandensein von Reflexionen hin, wie oben ausführlich erläutert. Für die Ermittlung bzw. Berechnung des Beleuchtungskriteriums und zur Gewährleistung eines korrekt ausgeleuchteten Betrachtungsfeldes sollte daher ein solches Teilbild weniger ins Gewicht fallen. In einem Schritt 56 wird daher der Gewichtungsfaktor des i-ten Teilbildes $gew(i)$ gemäss Gleichung 5 mit einem Faktor r multipliziert, wobei $0 < r < 1$.

$$40 \quad gew(i) = gew(i) \cdot r \quad (5)$$

Nachdem die Gewichtungsfaktoren aller Teilbilder entsprechend dem Verlauf des jeweiligen Helligkeits-Histogramms angepasst wurden, werden sie Gleichung 6 entsprechend normiert:

$$45 \quad gew_n(i) = \frac{gew(i)}{\sum_{i=1}^{25} gew(i)} \quad (6)$$

50

Ausser dieser Normierung ist in einem Schritt 57 die Bildung des Mittelwerts des entsprechenden Teilbildes beinhaltet. Umfasst ein Teilbild $N \times M$ Pixel, so gilt für den Mittelwert des i-ten Teilbildes:

$$55 \quad \mu(i) = \frac{1}{N \cdot M} \cdot \sum_{(i-1)*N}^{i*N-1} \sum_{(i-1)*M}^{i*M-1} o(x, y) \quad (7)$$

60

- Die Funktion $o(x,y)$ repräsentiert hierbei das gesamte Luminanzbild des Betrachtungsfeldes. In einem Schritt 58 gemäss Fig. 5 werden die Gewichtungsfaktoren und die Helligkeits-Mittelwerte für jedes Teilbild multipliziert und zur Ermittlung des Beleuchtungskriteriums L die Summe über alle Teilbilder gemäss Gleichung 8 gebildet:

65

$$L = \sum_{i=1}^{25} \mu(i) \cdot gew_n(i) \quad (8)$$

Bei diesem Beleuchtungskriterium handelt es sich somit um die eigentliche Ausgangsgrösse, mit deren Hilfe ein Regelalgorithmus den Antrieb der Blendenanordnung ansteuert und somit die Leuchtdichte des Betrachtungsfeldes regelt.

Die Vorteile eines gemäss der vorliegenden Erfindung berechneten bzw. ermittelten Beleuchtungskriteriums sind für den Fachmann offensichtlich. So werden einerseits über- bzw. unterbelichtete Bereiche bzw. Teilbilder im Bild erkannt, so dass eine schnellere Korrektur der Beleuchtung und damit eine Regelung der Leuchtdichte bewirkt werden kann. Andererseits erlaubt das erfindungsgemässe Verfahren die Erkennung von Reflexionen, und erlaubt diese in der oben beschriebenen Weise für eine korrekte Beleuchtung zu unterdrücken. Wie oben bereits erläutert, bewirken zu helle oder zu dunkle Teilbilder eine Vergrösserung der entsprechenden Gewichtungsfaktoren, während Reflexionen zu einer Verkleinerung der entsprechenden Gewichtungsfaktoren führen.

Je mehr dunkle Pixel vorhanden sind, d.h. je grösser die Anzahl der durch den Wert $histo_i$ ausgedrückte Anzahl der Pixel ist, desto grösser muss der Gewichtungsfaktor für das entsprechende Teilbild werden, damit es zu einer schnellen Regelung der Leuchtdichte des Betrachtungsfeldes bei der Endoskopie kommt.

Fig. 6 zeigt ein schematisches Blockschaltbild einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemässen Endoskops. So wird der Lichtstrom einer Lichtquelle 61 mit Hilfe der Linsen 62 und 63 in einen Lichtleiter 64 eingekoppelt, welcher zur Beleuchtung eines Betrachtungsfeldes 65 bei einer Endoskopie vorgesehen ist. Im Strahlengang der Lichtquelle 1 ist eine Faltblende 66 angeordnet, wodurch die Lichtstärke des Lichtstroms gesteuert wird. Die Verwendung der Faltblende 66 erweist sich als überaus vorteilhaft, da sie zu einer gleichmässigen Lichtstromverteilung am Ausgang des Lichtleiters 64 sorgen und damit keine ringförmigen Schatten am Ausgang des Lichtleiters 64 erzeugen. Das Vermeiden derartiger ringförmiger Schatten erhöht zusätzlich die Beleuchtungsqualität bei der durchzuführenden Endoskopie. Ein weiterer Vorteil der Faltblende 66 besteht darin, dass die Beleuchtungsstärke am Ausgang des Lichtleiters 64 in einer linearen Beziehung zum Öffnungswinkel des Sektors der Faltenblende 66 steht. Hierdurch wird der Rechenaufwand zur Regelung der Leuchtdichte des Betrachtungsfeldes 65 gemäss der vorliegenden Erfindung erheblich verringert, wodurch eine bedeutend schnellere Regelung der Leuchtdichte bewirkt wird. Bei der gezeigten bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung hat sich ein Sektorenwinkel von 30° der Faltblende 66 als vorteilhaft erwiesen.

Die Faltblende 6 ist mit einem Motor 67 verbunden, der bspw. ein Gleichstrommotor ist, dessen Regeleinheit 68 eine vorgegebene Geschwindigkeit genau einhält. Gemessen wird die Geschwindigkeit mit einer Encoderscheibe 69.

Die elektro-optische Vorrichtung 70 umfasst einen Bildleiter 71, ein Linsensystem 72 und eine Kamera bzw. CCD-Vorrichtung 73. Das durch die elektro-optische Vorrichtung 70 erzeugte Bild des Betrachtungsfeldes 65 wird mit Hilfe einer Computereinheit 74 digitalisiert und auf einem Bildschirm 75 dargestellt. Die Computereinheit 74 erstellt gemäss der vorliegenden Erfindung ein Beleuchtungskriterium, das mit einem vom Operateur bzw. Benutzer vorgegebenen Sollwert der Leuchtdichte des Betrachtungsfeldes 65 verglichen wird. Dies ist im schematischen Blockschaltbild von Fig. 6 durch das Bezugszeichen 76 angedeutet. Das Beleuchtungskriterium, d.h. der Ist-Wert der Leuchtdichte des Betrachtungsfeldes 65 ist somit regeltechnisch als Ausgangsgrösse zu betrachten. Gegebenenfalls wird die Regeleinheit 68 des Antriebs 67 durch einen Regler 77 geregelt. In der in Fig. 6 gezeigten bevorzugten Ausführungsform ist darüber hinaus ein parameteradaptiver Regler 78 vorgesehen, was dem Fachmann, insbesondere auf dem Gebiet der Regeltechnik bekannt ist und hier keiner näheren Erläuterung bedarf.

Obwohl hier bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung beschrieben wurden, ist es für Fachleute auf dem Gebiet der Erfindung offensichtlich, dass Veränderungen und Modifikationen der beschriebenen Ausführungsformen durchgeführt werden können, ohne sich vom Wesen und Zweck der Erfindung zu entfernen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung der Leuchtdichte eines Betrachtungsfeldes (65) bei der Endoskopie, insbesondere bei der ophthalmologischen Endoskopie, in welchem Verfahren ein Lichtstrom einer Lichtquelle (61) in einen zur Beleuchtung des Betrachtungsfeldes (65) vorgesehenen Lichtleiter (64) eingekoppelt wird, wobei die Lichtstärke des Lichtstroms mittels einer Blendenanordnung (66) gesteuert wird, welche Blendenanordnung (66) mit einem Antrieb (67) versehen ist, welcher Antrieb (67) in Abhängigkeit der Leuchtdichte des Betrachtungsfeldes (65) gesteuert wird, und in welchem Verfahren eine elektro-optische Vorrichtung (70) ein Bild des Betrachtungsfeldes (65) erzeugt, und ein Beleuchtungskriterium, nämlich ein Ist-Wert der Leuchtdichte des Betrachtungsfeldes (65) ermittelt wird, dieser Ist-Wert mit ei-

- nem Soll-Wert der Leuchtdichte des Betrachtungsfeldes (65) verglichen wird und der Antrieb (67) zur Steuerung der Blendenanordnung (66) geregelt wird, dadurch gekennzeichnet, dass das Bild des Betrachtungsfeldes digitalisiert und ein Luminanzbild des Betrachtungsfeldes erstellt wird, das Luminanzbild in Teilbilder unterteilt wird, von jedem Teilbild ein Helligkeits-Histogramm erstellt wird, eine Gewichtungsmatrix mit Gewichtungsfaktoren für die Teilbilder ausgewählt wird, die Histogramme der Teilbilder mit mindestens einem ausgewählten Beleuchtungs-Kriterium verglichen werden, die Gewichtungsfaktoren dieser Gewichtungsmatrix angepasst und normiert werden, und ein Helligkeits-Mittelwert der Histogramme für jedes Teilbild berechnet wird, die Gewichtungsfaktoren und die Helligkeits-Mittelwerte für jedes Teilbild multipliziert werden, und zur Ermittlung des Beleuchtungs-Kriteriums die Summe über alle Teilbilder gebildet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Helligkeits-Histogramme der Teilbilder in Werte-Bereiche, vorzugsweise in acht Werte-Bereiche, eingeteilt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens ein Beleuchtungs-Kriterium aus den Gesetzmässigkeiten einer Normalverteilung abgeleitet wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass als Gewichtungsmatrix eine mittenbetonte Gewichtungsmatrix oder eine randbetonte Gewichtungsmatrix verwendet wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Luminanzbilder in mindestens neun, vorzugsweise in 25 Teilbilder unterteilt werden.
6. Endoskop zur Durchführung des Verfahrens gemäss Anspruch 1, welches Endoskop eine Blendenanordnung (66) zur Steuerung der Lichtstärke eines Lichtstroms einer Lichtquelle (61) aufweist, weiter einen Lichtleiter umfasst, in welchen der Lichtstrom zur Beleuchtung eines Betrachtungsfeldes (65) bei einer Endoskopie einkoppelbar ist, welche Blendenanordnung (66) mit einem Antrieb (67) verbunden ist, welcher Antrieb (67) in Abhängigkeit der Leuchtdichte des Betrachtungsfeldes steuerbar ist, und welches Endoskop eine elektro-optische Vorrichtung (70) zur Erzeugung eines Bildes des Betrachtungsfeldes (65) umfasst, und welches Endoskop eine Computereinheit, (74) zur Ermittlung eines Beleuchtungskriteriums, nämlich eines Ist-Wertes der Leuchtdichte des Betrachtungsfeldes (65), und zur Regelung des Antriebes (67) zur Steuerung der Blendenanordnung (66) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die Blendenanordnung (66) Mittel aufweist, mit denen das Bild des Betrachtungsfeldes digitalisiert und ein Luminanzbild des Betrachtungsfeldes erstellbar ist, das Luminanzbild in Teilbilder unterteilbar ist, von jedem Teilbild ein Helligkeits-Histogramm erstellbar ist, eine Gewichtungsmatrix mit Gewichtungsfaktoren für die Teilbilder auswählbar ist, die Histogramme der Teilbilder mit mindestens einem ausgewählten Beleuchtungs-Kriterium vergleichbar sind, die Gewichtungsfaktoren dieser Gewichtungsmatrix anpassbar und normierbar sind, und ein Helligkeits-Mittelwert der Histogramme für jedes Teilbild berechenbar ist, die Gewichtungsfaktoren und die Helligkeits-Mittelwerte für jedes Teilbild multiplizierbar sind, und mit denen zur Ermittlung des Beleuchtungskriteriums die Summe über alle Teilbilder erstellbar ist.
7. Endoskop nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Blendenanordnung (66) derart aufgebaut ist, dass diese eine Steuerung der Lichtstärke mit einer linearen Korrelation erlaubt.
8. Endoskop nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Blendenanordnung (66) eine Faltblende ist.
9. Endoskop nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Faltblende einen Sektorenwinkel von 30° aufweist.
10. Steuerbare Blendenanordnung zur Verwendung im Verfahren gemäss Anspruch 1, welche Blendenanordnung mit einem Antrieb verbunden ist, welcher Antrieb in Abhängigkeit der Leuchtdichte eines Betrachtungsfeldes bei einer Endoskopie steuerbar ist, und welche Blendenanordnung mit einer Computereinheit in operativer Wirkverbindung steht, zur Ermittlung eines Beleuchtungskriteriums, nämlich eines Ist-Wertes der Leuchtdichte des Betrachtungsfeldes, und zur Regelung des Antriebs zur Steuerung der Blendenanordnung, dadurch gekennzeichnet, dass die Blendenanordnung (66) Mittel aufweist, mit denen das Bild des Betrachtungsfeldes digitalisiert und ein Luminanzbild des Betrachtungsfeldes erstellbar ist, das Luminanzbild in Teilbilder unterteilbar ist, von jedem Teilbild ein Helligkeits-Histogramm erstellbar ist, eine Gewichtungsmatrix mit Gewichtungsfaktoren für die Teilbilder auswählbar ist, die Histogramme der Teilbilder mit mindestens einem ausgewählten Beleuchtungs-Kriterium vergleichbar sind, die Gewichtungsfaktoren dieser Gewichtungsmatrix anpassbar und normierbar sind, und ein Helligkeits-Mittelwert der Histogramme für jedes Teilbild berechenbar ist, die Gewichtungsfaktoren und die Helligkeits-Mittelwerte für jedes Teilbild multiplizierbar sind, und mit denen zur Ermittlung des Beleuchtungskriteriums die Summe über alle Teilbilder erstellbar ist.



Fig. 1b



Fig. 1a

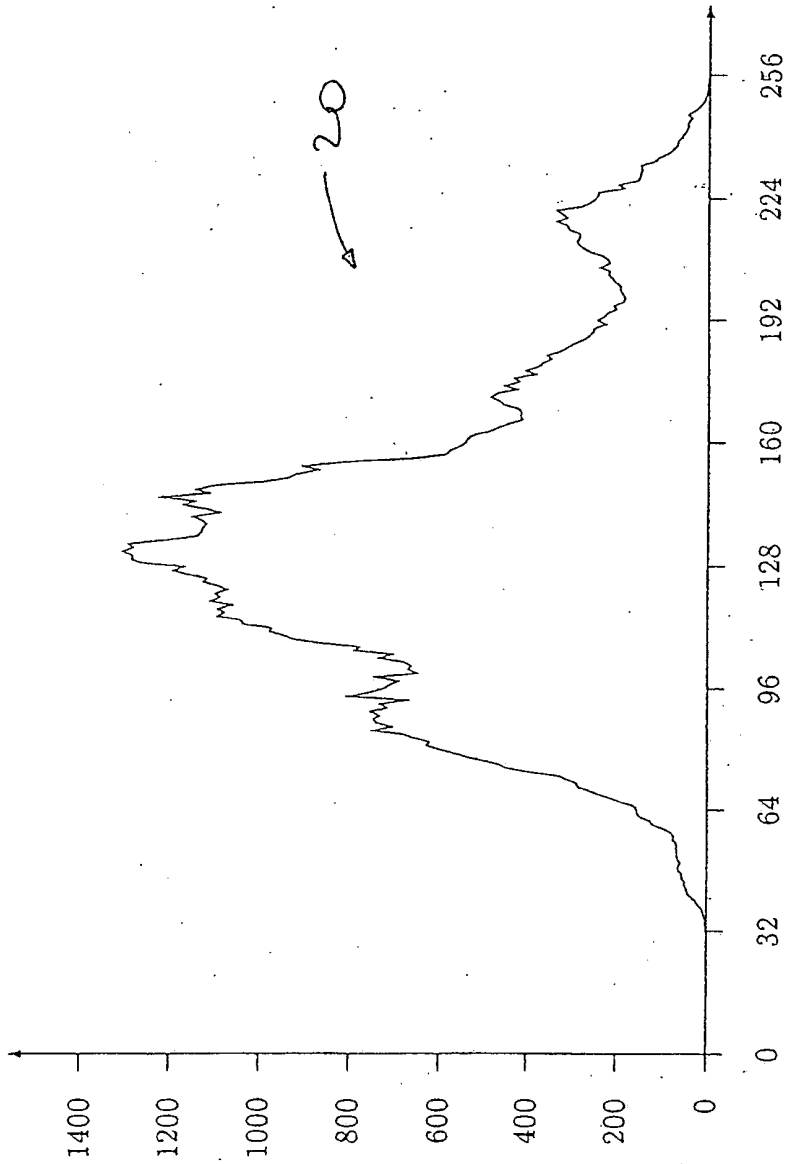


Fig. 2

CH 694 952 A5

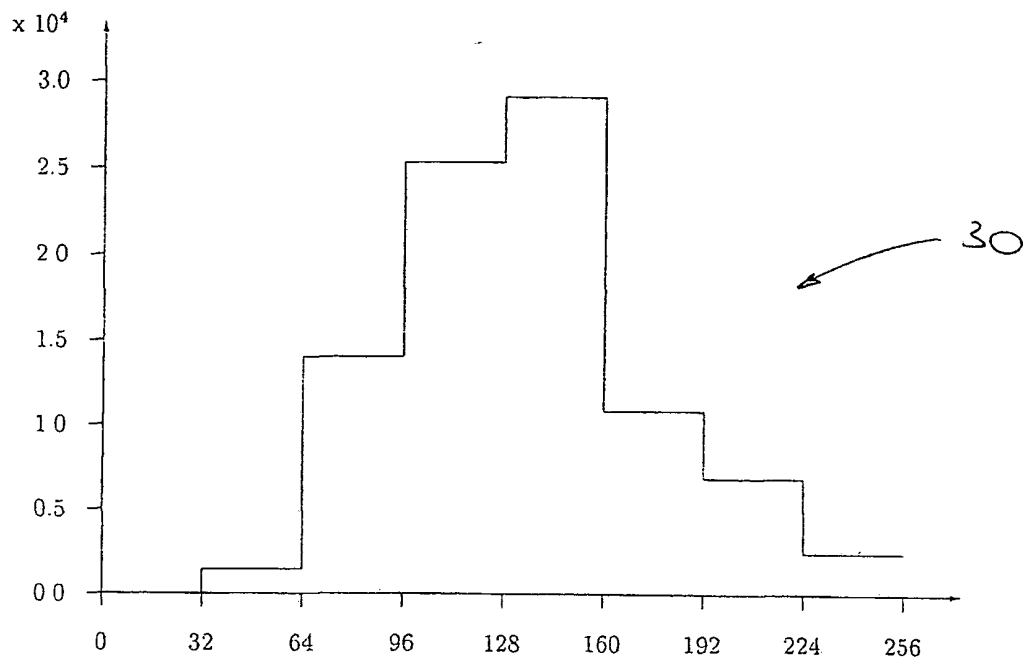


Fig. 3a

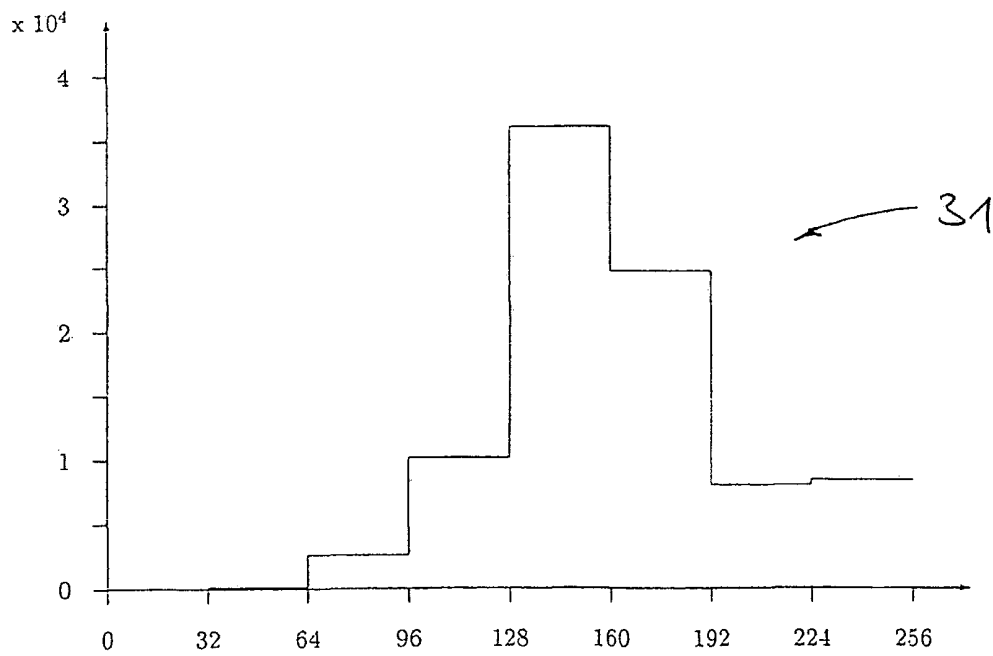


fig. 3b

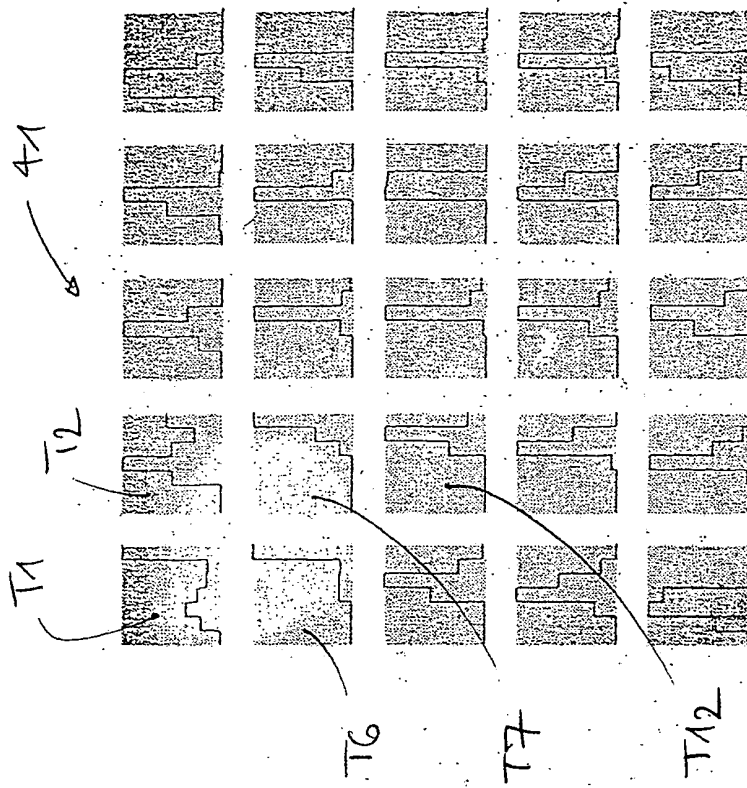


Fig. 4b

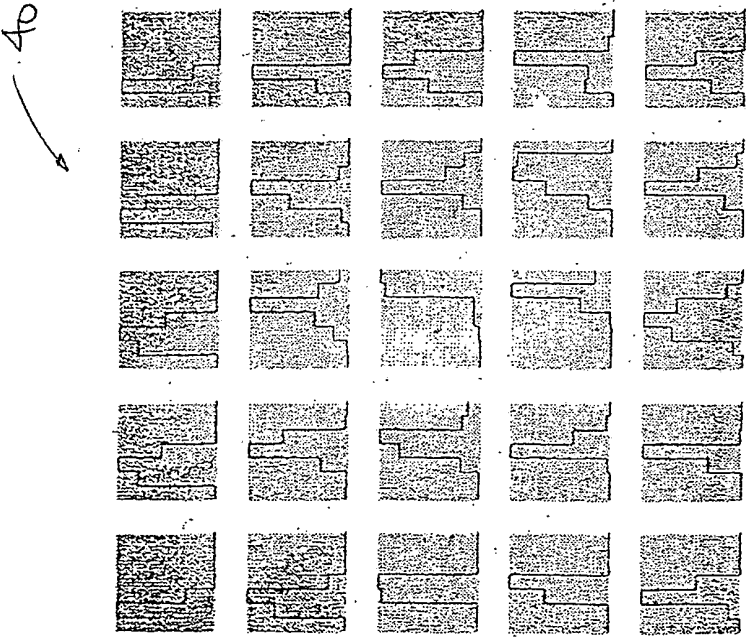


Fig. 4a

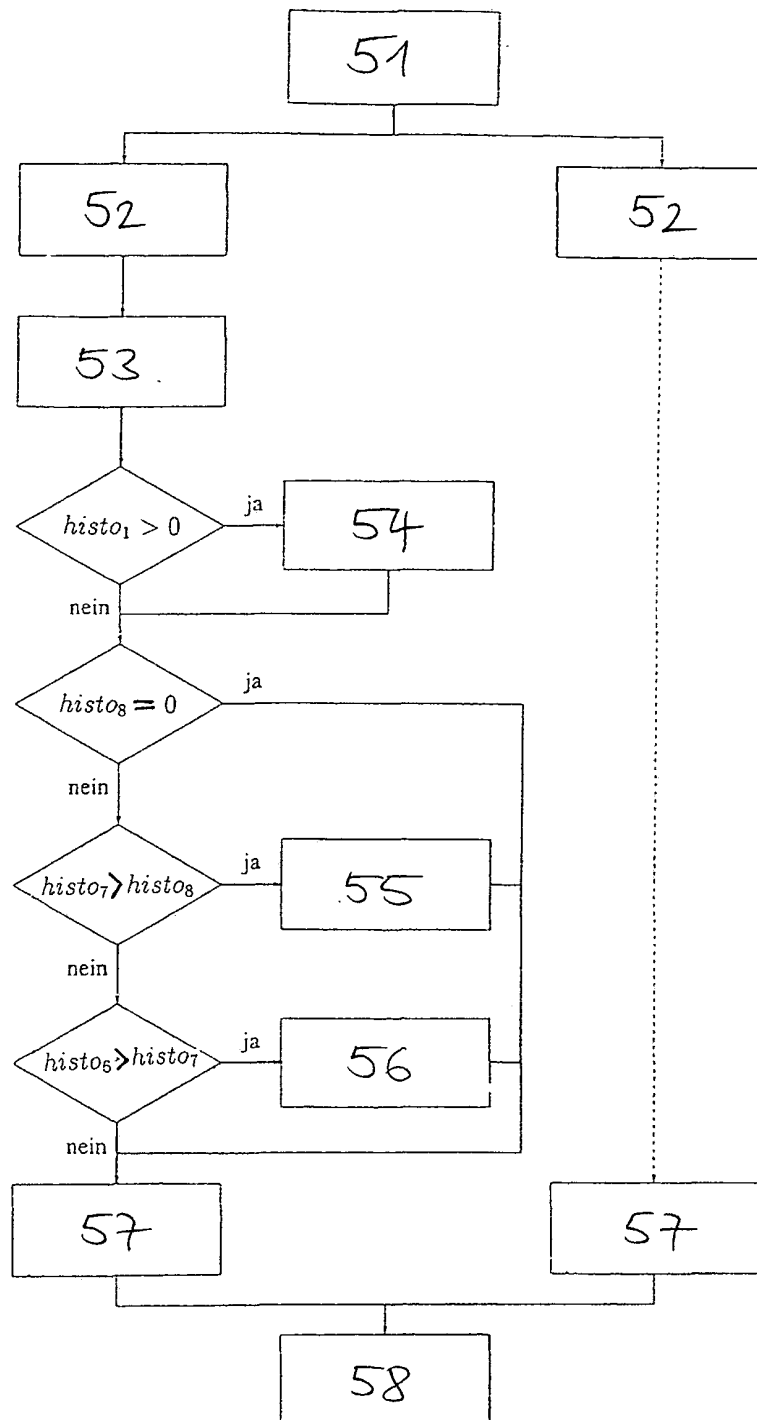


Fig. 5

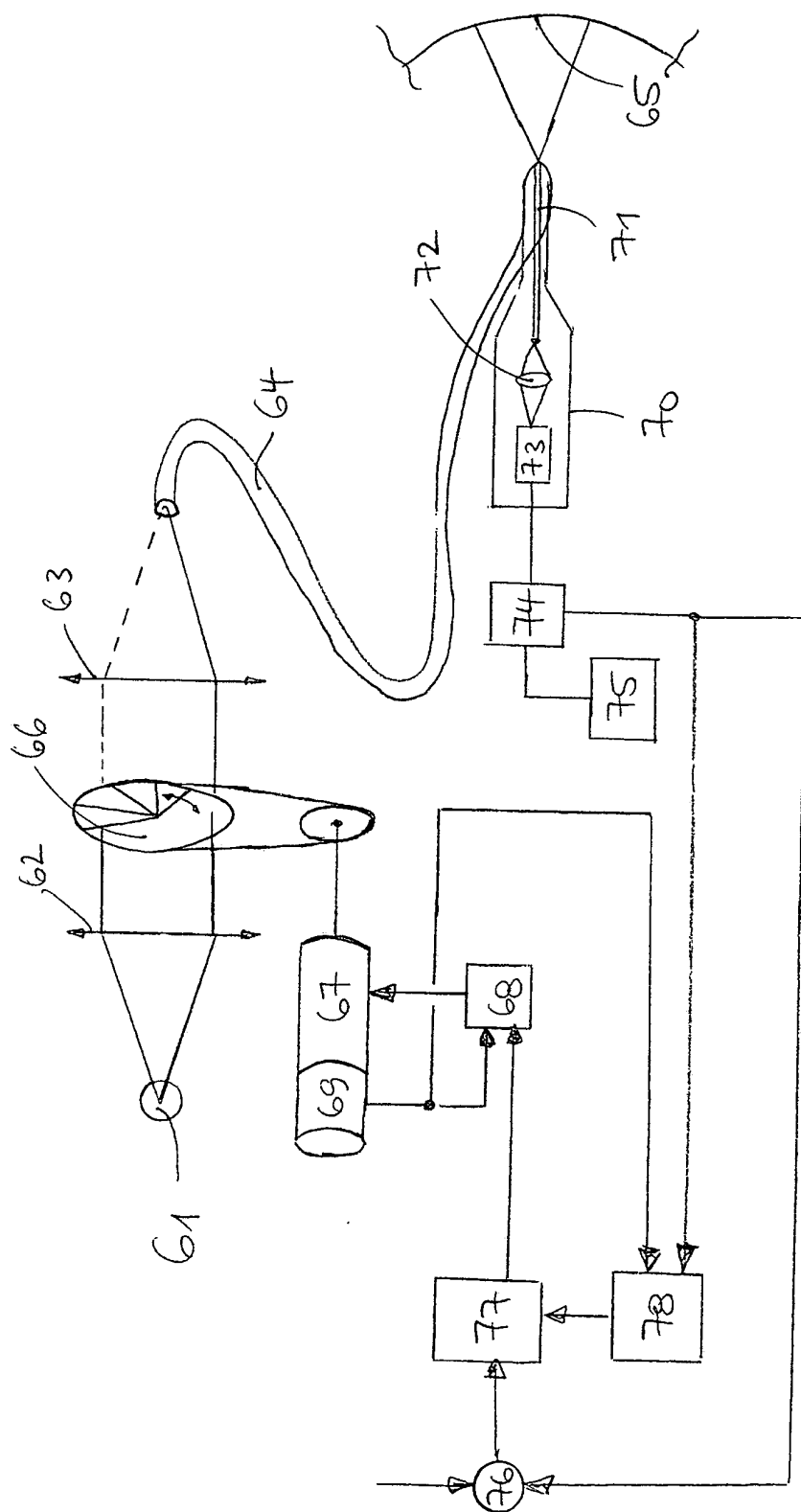


Fig. 6