



(10) **DE 10 2007 044 314 B4** 2016.09.29

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2007 044 314.7**  
(22) Anmeldetag: **17.09.2007**  
(43) Offenlegungstag: **19.03.2009**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **29.09.2016**

(51) Int Cl.: **G01C 11/02 (2006.01)**  
**H04N 1/191 (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:  
**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.,  
51147 Köln, DE**

(74) Vertreter:  
**Patentanwälte Bressel und Partner mbB, 10785  
Berlin, DE**

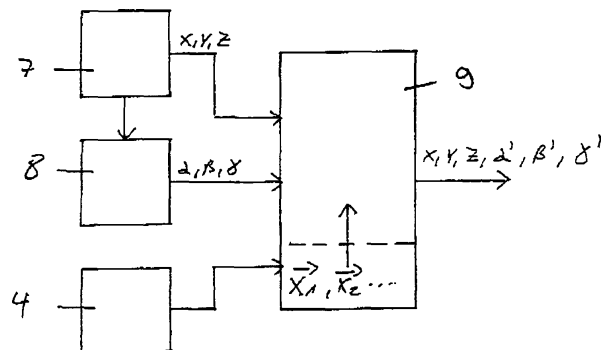
(72) Erfinder:  
**Börner, Anko, Dr., 12557 Berlin, DE; Eckardt,  
Andreas, Dr., 12524 Berlin, DE; Lehmann, Frank,  
10783 Berlin, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	38 02 219	A1
DE	10 2004 027 341	A1
US	6 473 119	B1
US	6 912 464	B1
WO	2005/ 119 178	A1

(54) Bezeichnung: **Digitale Zeilenkamera**

(57) Hauptanspruch: Digitale Zeilenkamera, umfassend mindestens eine Fokalebene (1), auf der mindestens ein zeilenförmiger photosensitiver Sensor (2) angeordnet ist, ein Objektiv (6) und ein Lagemesssystem, wobei das Lagemesssystem derart ausgebildet ist, dass die äußeren sechs Lagereparameter bestimmt werden, wobei das Lagemesssystem eine satellitengestützte Positionsbestimmungseinrichtung (7) und eine Trägheitsnavigations-Messeinheit (8) umfasst, dadurch gekennzeichnet, dass die Zeilenkamera mindestens einen flächenhaften photosensitiven Sensor (4) und eine Auswerteeinheit (9) umfasst, wobei die Zeilenkamera derart ausgebildet ist, dass der mindestens eine flächenhafte photosensitive Sensor (4) synchronisiert zum zeilenförmigen Sensor (2) angesteuert wird, wobei die Auswerteeinheit (9) derart ausgebildet ist, dass aus den Daten zweier aufeinanderfolgender Messungen des mindestens einen flächenhaften photosensitiven Sensors (4) mindestens ein Verschiebungsvektor ( $\vec{x}$ ) berechnet wird, wobei mittels des Verschiebungsvektors ( $\vec{x}$ ) die Daten der Trägheitsnavigations-Messeinheit (8), nämlich die Raumwinkel  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , korrigiert werden, wobei die Zeilenkamera derart ausgebildet ist, dass die Ansteuerung des mindestens einen flächenhaften photosensitiven Sensors (4) derart erfolgt, dass die Überdeckung der Aufnahmen des mindestens einen flächenhaften Sensors (4) zwischen zwei Messungen größer als 90% ist.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine digitale Zeilenkamera gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

**[0002]** Zeilenkameras weisen gegenüber Matrix-Kameras den Vorteil einer höheren Auflösung auf, so dass insbesondere Satelliten-Kameras nahezu ausschließlich als Zeilenkameras ausgebildet sind, wohingegen Luftbildkameras für Flugzeuge als Zeilen- oder Matrix-Kameras ausgebildet sind. Ein vollständiges Bild entsteht dann durch die Relativbewegung zwischen Zeilenkamera und Objekt, wobei jeweils spätestens nach einer Bewegung um ein Pixel eine erneute Ansteuerung des zeilenförmigen Sensors erfolgt. Aus der Gesamtheit der zeilenförmigen Bildabschnitte wird dann das Gesamtbild zusammengesetzt. Um die Bildabschnitte sinnvoll zusammenzusetzen, ist die Kenntnis der äußeren Orientierung, die durch sechs Parameter (3 Translation +3 Rotation) festgelegt ist, bei den einzelnen Aufnahmen notwendig. Die innere Orientierung beschreibt die Lage der Fokalebene in Bezug auf den Hauptpunkt der Optik und kennzeichnet dadurch für jedes Detektorelement eine Blickrichtung im Kamerakoordinatensystem. Durch Kenntnis der inneren und äußeren Orientierung kann ein direkter Zusammenhang zwischen Objekt- und Bildpunkten hergestellt werden. In Bildern identifizierten Objektpunkten kann somit eine zunächst zweidimensionale Ortskoordinate zugewiesen werden. Bei Kenntnis einer Koordinate, beispielsweise der Projektionshöhe werden die beiden anderen Koordinaten korrekt im Weltkoordinatensystem bestimmt (Georeferenzierung).

**[0003]** Eine Möglichkeit zur hochgenauen Bestimmung der äußeren Parameter ist die Kombination einer satellitengestützten Positionsbestimmungseinrichtung wie beispielsweise GPS mit einer hochgenauen Trägheitsnavigations-Messeinheit (IMU Inertial Measurement Unit). Bei der Bestimmung der drei Winkel durch die IMU werden hohe Anforderungen an die Stabilität und die relative Genauigkeit der Messungen gestellt. Die Stabilität ist dabei ein Maß der Empfindlichkeit des Systems auf niederfrequente Änderungen und die relative Genauigkeit ein Maß für höherfrequente Änderungen. Von einer hohen Stabilität kann gesprochen werden, wenn die Winkeländerung bei einem Geradeausflug kleiner als  $\frac{1}{2}^\circ$  pro Stunde ist. Eine hohe relative Genauigkeit liegt vor, wenn die Abweichung kleiner als  $1/100^\circ$  ist. IMU, die beide Bedingungen erfüllen, sind derzeit relativ teuer, wobei sich die Kosten um 150.000 € bewegen.

**[0004]** Darüber hinaus sind IMUs bekannt, die entweder eine hohe Stabilität aber eine geringe relative Genauigkeit aufweisen, oder aber eine geringe Stabilität mit hoher relativer Genauigkeit aufweisen. Diese sind zwar vergleichsweise preisgünstig, aber erfüllen jeweils nicht die Genauigkeitsanforderungen, die

für die Winkelbestimmung eines Lagemesssystems einer digitalen Zeilenkamera gestellt werden.

**[0005]** Aus der DE 38 02 219 A1 ist eine gattungsgemäße digitale Zeilenkamera bekannt, umfassend eine Fokalebene, auf der drei Zeilen-Sensoren und vier Matrix-Sensoren angeordnet sind. Die Matrix-Sensoren werden dabei synchron zueinander angesteuert, wobei die Taktfrequenz kleiner ist als die der Zeilen-Sensoren. Aus den Verschiebungen zwischen zwei Aufnahmen der Matrix-Sensoren lässt sich dann die Orientierung der Zeilenkamera bestimmen. Dabei ist es notwendig, dass die Überdeckung zwischen zwei Aufnahmen der Matrix-Sensoren nicht zu groß ist und 80% nicht übersteigen sollte und eher im Bereich von ca. 60% liegt. Der Grund hierfür ist, dass bei sehr kleinen Verschiebungen nicht zwischen Translations- und Rotationsbewegungen unterschieden werden kann. Anschaulich kann bei einer Verschiebung von genau einem Pixel nicht unterschieden werden, ob eine Translation um ein Pixel stattfand oder eine Nickbewegung der Kamera. Dies bewirkt, dass die Matrix-Sensoren entsprechend großflächig sein müssen, um eine ausreichend große Verschiebung noch erfassen zu können.

**[0006]** Die US 6 473 119 B1 offenbart eine Luftbild- oder Weltraumkamera, bei der die Orientierungsparameter mittels eines INS und eines GPS-Empfängers bestimmt werden.

**[0007]** Die US 6 912 464 B1 offenbart ein INS-System, wobei die Daten des INS-Systems mit GPS-Daten, digitalen Geländedaten oder auch Video-Daten verifiziert werden können. Dabei werden alle sechs Lageparameter durch das INS-System zunächst bestimmt und dann verifiziert.

**[0008]** Aus der DE 10 2004 027 341 A1 ist eine Vorrichtung für ein optoelektrisches Positions- und Lagemesssystem bekannt, das ohne GPS- oder INS-System nur mit Bilddaten arbeitet.

**[0009]** Aus der WO 2005/119178 A1 ist ein weiteres Verfahren bekannt, INS-Daten mittels Bildaufnahmen eines Gebietes zu verifizieren.

**[0010]** Des Weiteren sind Systeme bekannt, die mit Hilfe von Passpunkten am Boden die Referenzierung der Bilddaten gewährleisten, wozu mindestens drei exakt vermessene Passpunkte notwendig sind.

**[0011]** Der Erfindung liegt daher das technische Problem zugrunde, eine digitale Zeilenkamera zu schaffen, bei der kostengünstiger die äußeren Lageparameter bestimmt werden können.

**[0012]** Die Lösung des technischen Problems ergibt sich durch den Gegenstand mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen

der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

**[0013]** Hierzu umfasst die digitale Zeilenkamera mindestens eine Fokalebene, auf der mindestens ein zeilenförmiger photosensitiver Sensor angeordnet ist, ein Objektiv und ein Lagemesssystem, wobei mittels des Lagemesssystems die äußeren sechs Lageparameter bestimmt werden, wobei das Lagemesssystem eine satellitengestützte Positionsbestimmungseinrichtung und eine Trägheitsnavigations-Messeinheit umfasst, wobei die Zeilenkamera mindestens einen flächenhaften photosensitiven Sensor umfasst, der synchronisiert zum zeilenförmigen Sensor angesteuert wird, wobei aus den Daten des mindestens einen photosensitiven Sensors mindestens ein Verschiebungsvektor berechnet wird, wobei mittels des Verschiebungsvektors die Daten der Trägheitsnavigations-Messeinheit korrigiert werden. Hierdurch ist es möglich, eine Trägheitsnavigations-Messeinheit mit hoher Stabilität aber geringer relativer Genauigkeit (also z. B. schlechter als  $1/100^\circ$ ) zu verwenden, da die hochfrequenten Änderungen der Winkel durch den Verschiebungsvektor ermittelt werden. Aufgrund der Tatsache, dass üblicherweise drei Rotationswinkel korrigiert werden müssen, reicht ein zweidimensionaler Verschiebungsvektor nicht aus (2 Messwerte für 3 Unbekannte). Allerdings kann zusätzlich mit einigem Aufwand bei ausreichend großer Verschiebung von einigen Pixeln zusätzlich ein Rotationswinkel für die Verschiebung ermittelt werden. Die Überdeckung der Aufnahmen des mindestens einen flächenhaften Sensors zwischen zwei Messungen ist dabei erfindungsgemäß größer als 90%, weiter vorzugsweise größer als 95% und noch weiter bevorzugt größer als 99%.

**[0014]** Vorzugsweise aber wird mindestens ein zweiter flächenhafter photosensitiver Sensor verwendet, so dass zwei zweidimensionale Verschiebungsvektoren ermittelt werden. Somit stehen vier Messwerte für drei Unbekannte zur Verfügung. Generell gilt, dass je mehr flächenhafte Sensoren verwendet werden, desto besser ist die Genauigkeit der Bestimmung der Rotationswinkel.

**[0015]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform sind die flächenhaften Sensoren auf der gleichen Fokalebene wie der oder die zeilenförmigen Sensoren angeordnet. Prinzipiell sind aber auch Varianten möglich, wo die einzelnen Sensoren auf separaten Fokalebene angeordnet sind, die dann beweglich in einem Fokalebenenrahmen angeordnet sind und zueinander kalibriert werden können. Die Verstellung der Fokalebenenteile im Rahmen erfolgt dabei vorzugsweise mittels Piezostellelementen. Ebenso ist es denkbar, die flächenhaften Sensoren auf einer separaten Fokalebene mit einer separaten Optik anzuordnen, die dann eine oder mehrere separate Matrix-Kameras bilden. Dabei ist dann nur sicher-

zustellen, dass diese Matrix-Kamera starr zu der eigentlichen digitalen Zeilenkamera angeordnet ist.

**[0016]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weisen die flächenhaften Sensoren eine Größe zwischen  $64 \times 64$  bis  $1024 \times 1024$  Pixel auf, wobei aus Gründen der Auslesegeschwindigkeit kleinere Größen bevorzugter sind. Allerdings ist es möglich, auch bei größeren Sensoren nur ein Teil der Matrix auszulesen, was die Auslesegeschwindigkeit erhöht.

**[0017]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Pixelgröße des flächenhaften Sensors kleiner/gleich der halben Pixelgröße des zeilenförmigen Sensors, so dass geometrisch das Abtasttheorem eingehalten wird. Allerdings ist es für viele Anwendungen ausreichend, dass die Pixelgröße des flächenhaften Sensors gleich der des zeilenförmigen Sensors ist. Bei sehr langsamen Bewegungen, wie beispielsweise bei einem Luftschiff ist gegebenenfalls sogar die doppelte Pixelgröße vertretbar.

**[0018]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird der flächenhafte Sensor mit der doppelten Frequenz wie die zeilenförmigen Sensoren ausgelesen, um das Abtasttheorem einzuhalten. Andererseits gilt auch hier, dass häufig die gleiche Frequenz ausreichend ist und Fälle möglich sind, wo die Frequenz kleiner sein kann.

**[0019]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist der oder sind die flächenhaften Sensoren am Rand der Fokalebene angeordnet. Dadurch blicken diese in weitere Entfernung, so dass diese empfindlicher auf Rotationsbewegungen ansprechen.

**[0020]** Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Die Fig. zeigen:

**[0021]** Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Fokalebene mit zeilen- und flächenhaften photosensitiven Sensoren,

**[0022]** Fig. 2 eine schematische Darstellung einer Teildarstellung einer digitalen Zeilenkamera und

**[0023]** Fig. 3 ein schematisches Blockschaltbild zur Korrektur der Daten der Trägheitsnavigations-Messeinheit.

**[0024]** In der Fig. 1 ist eine Fokalebene **1** dargestellt, auf der mehrere gehäuste zeilenförmige photosensitive Sensoren **2** angeordnet sind, wobei jeder zeilenförmige photosensitive Sensor **2** vorzugsweise zwei oder mehr Zeilen **3** aufweist, die parallel angeordnet sind, aber um ein Bruchteil eines Pixels zueinander verschoben angeordnet sind. Eine solche Anordnung wird auch als gestagert bezeichnet. Es sei aber betont, dass die gestagerte Ausführung nicht

zwingend für die Erfindung ist. Bedarfsweise kann auch eine Zeile durch mehrere Zeilen hintereinander gebildet werden. Die Anzahl der zeilenförmigen photosensitiven Sensoren **2** wird je nach Anwendung gewählt und liegt typischerweise zwischen drei und fünf. Des Weiteren sind auf der Fokalebene **1** drei flächenhafte photosensitive Sensoren **4** angeordnet, die jeweils nahe am Rand **5** der Fokalebene **1** angeordnet sind. Dadurch sind diese weit von der optischen Achse eines Objektivs **6** entfernt (s. Fig. 2).

**[0025]** Die zeilenförmigen Sensoren **2** sind für die flächendeckende Erfassung des Zielgebietes zuständig. Die flächenhaften Sensoren **4** bilden nur einen kleinen Bereich des überflogenen Gebiets ab. Durch die Vorwärtsbewegung der digitalen Zeilenkamera überstreichen die zeilenförmigen Sensoren **2** das Zielgebiet, wobei aus der Aneinanderreihung der zeilenförmigen Bildstreifen ein Gesamtbild zusammengesetzt wird. Die zeilen- und/oder flächenhaften photosensitiven Sensoren **2**, **4** sind vorzugsweise als CCD- oder CMOS-Sensoren ausgebildet.

**[0026]** In der Fig. 2 ist schematisch die Fokalebene **1** mit dem Objektiv **6** dargestellt, wobei eine satellitengestützte Positionsbestimmungseinrichtung **7** und eine Trägheitsnavigations-Messeinheit **8** starr zueinander und zur Fokalebene **1** und dem Objektiv **6** angeordnet sind. Die satellitengestützte Positionsbestimmungseinrichtung **7** bestimmt die Raumkoordinaten X, Y, Z und die Trägheitsnavigations-Messeinheit **8** die Raumwinkel  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ . Die Trägheitsnavigations-Messeinheit **8** weist dabei eine große Stabilität auf, jedoch nur eine geringe relative Genauigkeit, so dass hochfrequente Bewegungen nur unzureichend erfasst werden.

**[0027]** Das Verfahren soll nun anhand von Fig. 3 erläutert werden. Dabei sei angenommen, dass die Sensoren **2**, **4** mit der gleichen Taktfrequenz ausgelesen werden. Dabei ist die Taktfrequenz mit der Geschwindigkeit des Trägers abgestimmt, so dass jeweils nach einer Verschiebung um ein Pixel erneut ausgelesen wird. Da die Bewegung nicht ideal ist, muss zu jedem Auslesezeitpunkt die genaue Lage und Position der Zeilen bekannt sein. Die satellitengestützte Positionsbestimmungseinrichtung **7** liefert hochgenau die Positionsdaten X, Y, Z, wobei die Trägheitsnavigations-Messeinrichtung relativ ungenaue Raumwinkel  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  liefert. Dabei dienen die Daten der Positionsbestimmungseinrichtung **7** gleichzeitig zur Stützung der Daten der Trägheitsnavigations-Messeinrichtung **8**. Die Daten werden einer Auswerteeinheit **9** zugeführt, die gleichzeitig die Daten der flächenhaften Sensoren **4** zum Zeitpunkt  $t$  und  $(t - 1)$  auswertet. Dabei ermittelt die Auswerteeinheit **9** für jeden flächenhaften Sensor **4** einen Verschiebungsvektor  $\vec{x}$ . Aus diesen Verschiebungsvektoren  $\vec{x}_1, \vec{x}_2 \dots$  lassen sich dann Bewegungsparameter wie beispielsweise Rollen, Nicken, Gieren ab-

schätzen. Mittels dieser Bewegungsparameter können dann die Raumwinkel  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  korrigiert werden, so dass hochgenaue, hochfrequente Bewegungen berücksichtigende Raumwinkel  $\alpha'$ ,  $\beta'$  und  $\gamma'$  zur Verfügung stehen.

## Patentansprüche

1. Digitale Zeilenkamera, umfassend mindestens eine Fokalebene (**1**), auf der mindestens ein zeilenförmiger photosensitiver Sensor (**2**) angeordnet ist, ein Objektiv (**6**) und ein Lagemesssystem, wobei das Lagemesssystem derart ausgebildet ist, dass die äußeren sechs Lageparameter bestimmt werden, wobei das Lagemesssystem eine satellitengestützte Positionsbestimmungseinrichtung (**7**) und eine Trägheitsnavigations-Messeinheit (**8**) umfasst, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zeilenkamera mindestens einen flächenhaften photosensitiven Sensor (**4**) und eine Auswerteeinheit (**9**) umfasst, wobei die Zeilenkamera derart ausgebildet ist, dass der mindestens eine flächenhafte photosensitive Sensor (**4**) synchronisiert zum zeilenförmigen Sensor (**2**) angesteuert wird, wobei die Auswerteeinheit (**9**) derart ausgebildet ist, dass aus den Daten zweier aufeinanderfolgender Messungen des mindestens einen flächenhaften photosensitiven Sensors (**4**) mindestens ein Verschiebungsvektor ( $\vec{x}$ ) berechnet wird, wobei mittels des Verschiebungsvektors ( $\vec{x}$ ) die Daten der Trägheitsnavigations-Messeinheit (**8**), nämlich die Raumwinkel  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , korrigiert werden, wobei die Zeilenkamera derart ausgebildet ist, dass die Ansteuerung des mindestens einen flächenhaften photosensitiven Sensors (**4**) derart erfolgt, dass die Überdeckung der Aufnahmen des mindestens einen flächenhaften Sensors (**4**) zwischen zwei Messungen größer als 90% ist.

2. Digitale Zeilenkamera nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zeilenkamera mindestens zwei flächenhafte photosensitive Sensoren (**4**) umfasst.

3. Digitale Zeilenkamera nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mindestens eine flächenhafte Sensor (**4**) oder die mindestens zwei flächenhaften photosensitiven Sensoren (**4**) auf der gleichen Fokalebene (**1**) wie der mindestens eine zeilenförmige Sensor (**2**) angeordnet ist oder angeordnet sind.

4. Digitale Zeilenkamera nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mindestens eine flächenhafte Sensor (**4**) eine Größe zwischen  $64 \times 64$  bis  $1024 \times 1024$  Pixel aufweist.

5. Digitale Zeilenkamera nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Pixelgröße des mindestens einen flächen-

haften Sensors (4) kleiner/gleich der halben Pixelgröße des mindestens einen zeilenförmigen Sensors (2) ist.

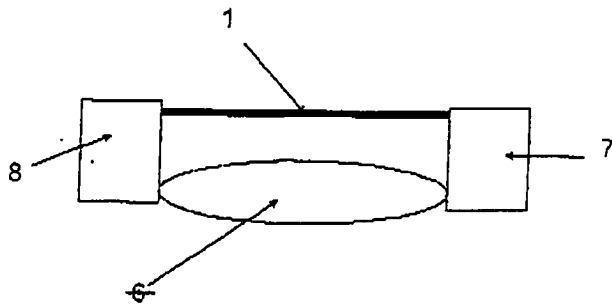
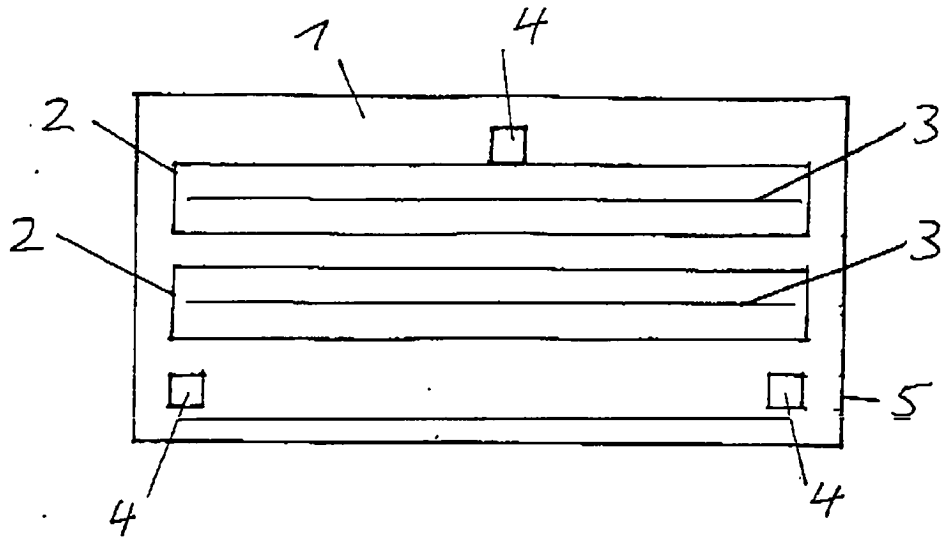
6. Digitale Zeilenkamera nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die digitale Zeilenkamera derart ausgebildet ist, dass der mindestens eine flächenhafte Sensor (4) mit der doppelten Frequenz wie der mindestens eine zeilenförmige Sensor (2) ausgelesen wird.

7. Digitale Zeilenkamera nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mindestens eine flächenhafte Sensor (4) am Rand (5) der Fokalebene (1) angeordnet ist.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1



Figur 2

Fig. 3

