



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 19 363 T2** 2004.08.05

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 034 440 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 19 363.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/CA98/01118**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 958 130.1**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 99/030182**

(86) PCT-Anmeldetag: **02.12.1998**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **17.06.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **13.09.2000**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **29.10.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **05.08.2004**

(51) Int Cl.⁷: **G01S 5/16**
G01S 17/87

(30) Unionspriorität:
985462 **05.12.1997** **US**

(73) Patentinhaber:
Northern Digital Inc., Waterloo, Ontario, CA

(74) Vertreter:
**Müller-Boré & Partner, Patentanwälte, European
Patent Attorneys, 81671 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT, BE, CH, DE, DK, FR, GB, LI, NL, SE

(72) Erfinder:
LEIS, Eldon, Stephen, Waterloo, CA

(54) Bezeichnung: **SYSTEM ZUR BESTIMMUNG DER RÄUMLICHEN POSITION UND ORIENTIERUNG EINES KÖR-
PERS**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft Vorrichtungen und Verfahren zum Ermitteln des/der räumlichen Ortes und Ausrichtung von jedem aus einer Mehrzahl von Körpern.

[0002] Es gibt bekannte Systeme zum Ermitteln der räumlichen Position und Winkelausrichtung eines Körpers (oder Objektes). Ein solches System beinhaltet passive Retroreflektoren wie Punktmarken oder Targets, die an dem Körper angebracht sind, und ein zweites System beinhaltet aktive Strahlungsemitter als die angebrachten Punktmarken. Bei beiden Techniken wird das Bild einer kontrastreichen Marke auf beabstandete Sensoren projiziert und mit mathematischen Verarbeitungsvorgängen werden die dreidimensionalen Koordinaten jeder der Punktmarken ermittelt. Diese dreidimensionalen (d. h. 3D-) Koordinaten werden dann als diskrete Punkte verwendet oder können als ein Satz angesehen werden, wenn ihre geometrische Anordnung bekannt ist, so dass Position und Winkelausrichtung des Körpers (d. h. sechs Freiheitsgrade: x-, y- und z-Positionen sowie Stampf-, Gier- und Schlinger-Winkelausrichtungen) im Raum relativ zu einem dreidimensionalen Koordinatensystem ermittelt werden, die an einem vorgeählten Punkt im Raum zentriert sind, typischerweise an einem Punkt, der relativ zu den Sensoren fest ist.

[0003] Die Ermittlung der räumlichen Position und entweder des Vektorwinkels oder der Winkelausrichtung eines Körpers hat mehrere Nutzungsmöglichkeiten. So kann beispielsweise ein Zeigergerät aus dem Körper gemacht werden, wobei sich die Endspitze des Zeigergeräts in einer bekannten Position relativ zu den Marken befindet. Ein solches Zeigergerät kann als Digitalisierungszeiger verwendet werden, der in Rückwärtsentwicklungsanwendungen mit der Hand gehalten wird. Ein Bediener bewegt diesen Zeigerkörper zu verschiedenen bekannten Stellen auf einem gefertigten Teil, und die Genauigkeit der Fertigungsabläufe wird anhand einer Analyse der ermittelten Endspitzenposition des Zeigergerätes ermittelt. Diese Anwendung erfordert ein äußerst genaues System.

[0004] In einer anderen Anwendung, wie z. B. bei einem bildgeführten chirurgischen Verfahren, wird die Haltung des Instruments in Bezug auf den Patienten verfolgt. An bestimmten chirurgischen Instrumenten sind Marken angebracht. Anhand dieser Information kann der Chirurg sehen, wohin das Instrument auf einem MR- oder CT-Scan zeigt und was hinter der Endspitze des chirurgischen Instrumentes liegt. Diese Anwendung verlangt ebenfalls ein äußerst genaues System.

[0005] In einem Emissionsmarken- (d. h. einem aktiven Marken-) System werden mehrere CCD- (ladungsgekoppelte Bauelemente) Sensoren zum Erfassen der von der Marke emittierten Energie verwendet. Eine einzelne Punktmarke wird pro Sensor-

zyklus zum Emittieren von Infrarotenergie erregt. Bei jedem Sensorzyklus wird die auf den Sensor fokussierte emittierte Energie gesammelt (d. h. integriert) und zum Sensorverarbeitungsschaltkomplex übertragen. Um die 3D-Position der Marke zu ermitteln, muss die Marke auf wenigstens drei Sensorachsen erfasst werden (d. h. um mindestens 3 orthogonale Ebenen abzudecken). Ein System, das emittierende Marken mit auf den Sensoren erzeugten kontrastreichen Bildern verwendet, hat viele Vorteile, wobei die Kontrolle über die Aktivierung jeder der Marken eine positive und automatische Markenunterscheidung und die Fähigkeit ergibt, schnelle Linearsensoren zu verwenden. Schnelle Linearsensoren sind relativ kostspielig, und es kann bei einem einzigen Sensorzyklus immer nur eine Marke verfolgt werden.

[0006] In einem System mit retroreflektiver Marke (d. h. passiver Marke) wird eine Energiequelle zum Emittieren von Infrarotenergie in der allgemeinen Richtung der retroreflexionsfähigen Marke erregt. Dann wird die von der Marke reflektierte Energie mit Hilfe mehrerer CCD-Sensoren erfasst. Bei jedem Sensorzyklus wird die auf den Sensor fokussierte reflektierte Energie gesammelt (d. h. integriert) und zum Sensorverarbeitungsschaltkomplex übertragen. Um die 3D-Position der Marke zu ermitteln, muss die Marke auf wenigstens drei Sensorachsen erfasst werden (d. h. zum Abdecken von mindestens 3 orthogonale Ebenen). Ein System mit retroreflexionsfähiger Marke hat viele Vorteile, wie z. B. die Verwendung von drahtlosen Marken und die Fähigkeit, kostenarme langsame Area-Array-Sensoren zu verwenden. Diese Systeme sind jedoch mit Problemen in Verbindung mit positiv identifizierenden Marken behaftet.

[0007] Das US-Patent 4 652 917 beschreibt ein System zum Überwachen von Position und Haltung einer Rakete tragenden Flügelspitze. Eine oder zwei elektronische Kameras ist/sind am Rumpf des Flugzeugs montiert, und drei rechteckige Zielpunkte sind am Flügel in der Nähe der Rakete markiert. Auf Array-Sensoren in den Kameras werden Bilder der Zielpunkte dargestellt. Es kann eine Infrarotlampe vorgesehen sein, um die Zielpunkte bei Nacht zu beleuchten. Die Kameras sind mit einem Computer gekoppelt, der ein Zielverfolgungsgatter von sechs mal acht Pixeln für das Bild jedes Zielpunkts definiert. Die Zielpunkte bedecken jeweils einen Bereich von vier Pixeln auf einer Kamera-Sensor-Array. Der Ort des Medians jedes Zielpunktbildes wird durch Positionieren des jeweiligen Zielverfolgungsgatters über dem Bild ermittelt, so dass sich der Median des Bildes am Median des Gatters befindet. Eine Bewegung der Flügelspitze wird durch Verfolgen der Abweichung des Medians jedes Zielpunktbildes vom Median seines Verfolgungsgatters und durch Umpositionieren des Verfolgungsgatters überwacht. Separate Verarbeitungs Kanäle verarbeiten die Daten in Bezug auf die drei verschiedenen Zielpunkte. Position und Haltung im Sinne von Stampfen, Gieren und Schlingern

der Flügelspitze werden anhand der durch die Verfolgung der drei Zielpunkte erzeugten Abweichungsdaten berechnet. Das US-Patent 4 652 917 schlägt auch vor, dass individuelle Zielpunkte die Form eines Musters oder eines Satzes von kontrastreichen Markierungen oder Linien haben können, die von geeigneten Mustererkennungskomponenten erkannt werden können.

[0008] Es ist wünschenswert, einen rentablen Area-Array-Sensor zu verwenden, der mehrere Marken in einem einzigen Sensorzyklus verfolgen kann. Wie in der Technik bekannt ist, gibt es Systeme, die einen einzelnen Area-Array-Sensor und kostenarme Komponenten beinhalten. DeMenthon (Patent Nr. 5,227,985) lehrt ein System, das mit einem einzigen Sensor und mit Matrixtechniken zum Ermitteln der Haltung eines Körpers arbeitet. Dieses System ist auf nicht koplanare Marken begrenzt und basiert auf Projektionsmethoden zum Extrahieren von 6D-Informationen aus 2D-Bildern. Dieses Verfahren ist für medizinische Anwendungen nicht genau genug. Wie in der Technik bekannt ist, ist der Fehler in der Tiefenmessung für diese Art von System zu groß. Triangulationsverfahren haben einen klaren Vorteil gegenüber Projektionsverfahren im Hinblick auf die Tiefengenauigkeit. Triangulationsverfahren, die auch als stereometrische Techniken bezeichnet werden, wurden wegen der kostspieligen Hardware abgelehnt, die zur Durchführung von Echtzeitberechnungen nötig war. Mehrere Markentriangulationsverfahren mit Area-Array-Sensoren haben das zusätzliche Problem einer schlechten Markenidentifikation, was gewöhnlich durch menschlichen Eingriff gelöst wird. Frühere Systeme arbeiteten möglicherweise schlecht in wirklichen Situationen von Streu-IR-Quellen und Reflexionen, die als unerwünschte und unerwartete Marken erscheinen. Frühere Systeme arbeiten eventuell auch bei Vorliegen mehrerer, in unmittelbarer Nähe zueinander befindlicher Körper schlecht.

[0009] Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend durch die Ansprüche 1 und 8 definiert, auf die nunmehr Bezug genommen werden sollte.

[0010] Eine bevorzugte Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung stellt ein System zum Ermitteln des/der räumlichen Ortes und Ausrichtung von jedem aus einer Mehrzahl von Körpern bereit. Jeder der Körper hat wenigstens drei Marken in einer vorbestimmten, relativen geometrischen Beziehung. Jede Marke ist entweder eine aktive Marke zum Emittieren von Energie als Reaktion auf ein Aktivierungssignal oder eine passive Marke zum Reflektieren von Energie, die von einer aktivierbaren Energiequelle auf eine solche passive Marke auftrifft. Es ist ein kombinierter Energiedetektor zum Erfassen der von einer aktiven Marke emittierten Energie oder der von einer passiven Marke reflektierten Energie vorgesehen. Es ist ein Kombi-Prozessor vorgesehen. Im Speicher ist die vorbestimmte, relative geometrische Beziehung der Marken für jeden der Körper gespeichert. Der Prozessor vergleicht die gespeicherte vorbestimmte

geometrische Beziehung der Marken für jeden der Körper mit dem Energiemuster, das vom Energiedetektor erfasst wurde, um die Körper zu identifizieren, die die erfasste Energie emittieren oder reflektieren.

[0011] Bei einer solchen Anordnung kann jeder Körper mit einer sehr einfachen Folge von Vorgängen in Echtzeit unter Anwendung einer einfachen Markenplatzierungsmethodik mit robuster positiver Markenidentifikation verfolgt werden. Damit können mehrere Körper gleichzeitig verfolgt werden.

[0012] Die Marken jedes Körpers befinden sich in einer bekannten und festen relativen Geometrie, in der alle Segmentlängen unter allen Paaren aller Marken eindeutig sind, wobei der Begriff „eindeutig“ einen Differenzschwellenwert auf der Basis der Genauigkeit des Systems mit sich bringt (d. h. die Differenz in den geometrischen Beziehungen der Marken für die Körper ist erfassbar). Es können mehrere Objekte gleichzeitig verfolgt werden, da Paare gleichartiger Segmente unter allen verfolgten Körpern eindeutige relative Winkel haben, wobei der Begriff „eindeutig“ wiederum einen Differenzschwellenwert auf der Basis der Genauigkeit des Systems bedeutet. Die Marken geometrie kann kollinear oder koplanar sein, je nach den Anforderungen der Anwendungen.

[0013] Ferner wird bei einer solchen Anordnung ein System bereitgestellt, das die Haltung eines Körpers mit 3 oder mehr Marken in einer bekannten relativen Geometrie in Abhängigkeit von einfachen Platzierungsregeln verfolgt, die nicht darauf beschränkt sind, nicht koplanar oder nicht kollinear zu sein. Das System kann mit rentablen, langsamen Area-Array-Sensoren arbeiten, die mehrere Marken in einem einzigen Sensorzyklus verfolgen können, wodurch die scheinbare Abtastrate jeder der Marken erhöht wird.

[0014] Das bevorzugte System verwendet eine stereometrische Anordnung von Sensoren, so dass eine ausreichende Genauigkeit für Hochleistungsanwendungen wie chirurgische Anwendungen erzielt wird.

[0015] Ferner kann das System rentable digitale Signalprozessoren und einfache Verarbeitungsrechen-schritte verwenden, die die diskreten Marken des Körpers in drei Dimensionen (3D) automatisch und positiv identifizieren und die in Anwesenheit von vielen falschen Marken und mehreren Körpern in unmittelbarer Nähe zueinander arbeiten. Das System ist so gestaltet, dass es die Haltung von einem oder mehreren Körpern in Echtzeit in einer geschlossenen Lösung mit einem Bild von einem einzigen Sensorzyklus ermittelt, anstatt prädiktive Verfahren anzuwenden, um die Haltung eines Körpers mit Bildern von mehreren Sensorzyklen weiter zu verfolgen.

[0016] Ferner ist das System so gestaltet, dass es automatisch verschiedene Körper erkennt und verfolgt, die vor der Verfolgung bekannt sind.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0017] Weitere Merkmale der Erfindung werden mit

Bezug auf die nachfolgende Beschreibung in Verbindung mit den folgenden Zeichnungen leichter verständlich. Dabei zeigt:

[0018] **Fig. 1** ein Blockdiagramm eines erfindungsgemäßen Systems zum Ermitteln des/der räumlichen Ortes und Ausrichtung eines Paares von starren Körpern;

[0019] **Fig. 2** das Paar von Körpern für die Verwendung in dem System von **Fig. 1**;

[0020] **Fig. 3** ein Diagramm einer Tabelle, die in einem Speicher eines im System von **Fig. 1** verwendeten Prozessors gespeichert ist;

[0021] **Fig. 4, 5, 6, 6A–6B, 7, 7A–7C, 8** und **8A–8B** Ablaufdiagramme, die schematisch die Folge von Vorgängen des Systems von **Fig. 1** illustrieren, wobei **Fig. 7** die Beziehung zwischen den **Fig. 7A–7C** und **Fig. 8** die Beziehung zwischen den **Fig. 8A** und **8B** zeigen;

[0022] **Fig. 9A, 9B** bis **18** ausführliche Beispiele für die Elemente im Speicher von **Fig. 3** in verschiedenen Phasen der Ausführung des Systems von **Fig. 1**.

Beschreibung der bevorzugten Ausgestaltungen

[0023] Gemäß **Fig. 1** wird ein System **10** zum Ermitteln des/der räumlichen Ortes und Ausrichtung von einem oder mehreren, hier einem Paar von starren Körpern **11a, 11b** vorgesehen. Hier sind die in **Fig. 2** gezeigten und ausführlicher beschriebenen starren Körper **11a, 11b** unterschiedliche chirurgische Instrumente. Der starre Körper **11a** hat dabei eine Mehrzahl, hier zwei, passiven, retroreflektierenden Punktmarken **12a, 12b** und einer daran angebrachten aktiven emittierenden Marke **12c**. Die Energie retroreflektierenden Marken **12a, 12c** beinhalten eine am Körper **11a** anbringbare Kugel, die mit einem retroreflexionsfähigen Material überzogen ist, wie es allenthalben erhältlich und in der Technik bekannt ist. Die Marken **12a, 12b, 12c** werden in einer vorbestimmten, festen relativen geometrischen Beziehung am Körper **11a** angebracht. Die vorbestimmte, feste relative geometrische Beziehung wird durch nachfolgend beschriebene einfache Platzierungsregeln definiert.

[0024] Wieder mit Bezug auf **Fig. 1**, das System **10** beinhaltet ein kombiniertes Energieerfassungssystem **14** zum Erfassen der Energie, die von der am Körper **11a** angebrachten aktiven Marke **12c** emittiert wird, und der Energie, die von den am Körper **11a** angebrachten passiven Marken **12a, 12b** reflektiert werden. Das kombinierte Detektorsystem **14** beinhaltet jeweils ein Paar links montierter und rechts montierter Sensorbaugruppen **14L** und **14R**. Jede der Sensorbaugruppen **14L, 14R** beinhaltet Folgendes: jeweils einen zweidimensionalen CCD-Sensor **18L, 18R** (**Fig. 1**); jeweils eine Fokussierlinse **22L, 22R** wie gezeigt und eine Mehrzahl von Lichtenergie emittierenden Quellen **24L, 24R** (hier Infrarotenergie emittierende Dioden), wie gezeigt.

[0025] Jede der Sensorbaugruppen **14R** und **14L** hat ihr eigenes u-, v-, z_s -Koordinatensystem, das je-

weils auf seine assoziierten direktionalen Infrarotenergiequellen **24L, 24R** ausgerichtet ist. Die Lichtquellen **24L, 24R** sind umfangsmäßig gleichmäßig um die z_s -Achse jeder der Sensorbaugruppen **14R** und **14L** verteilt. Die Mehrzahl der Lichtquellen **24L, 24R** wird mit einem Prozessorteil **26** mit elektrischer Energie erregt. Der Prozessorteil **26** beinhaltet einen Prozessor **28**, einen Host-Computer **30**, ein Display **32** und einen Controller **34**. Der Prozessor **28** erregt die Lichtquellen **24L, 24R** über ein Signal auf Leitung **36**. Die Mehrzahl der Lichtquellen **24L, 24R** erzeugt einen einfallenden direktionalen Infrarotenergiestrahle mit einer Ausbreitungsrichtung entlang einer direktionalen Achse, die allgemein der z_s -Achse jeder der Sensorbaugruppen **14L, 14R** in Verbindung mit dieser direktionalen Energiequelle **24L, 24R** entspricht. Der einfallende direktionale Energiestrahle, der von der direktionalen Infrarotenergiequelle erzeugt wird, hat eine Größe, Form und Intensität, die dem volumetrischen Blickfeld seiner zugehörigen Sensorbaugruppe **14L, 14R** entspricht und ausreicht, um einen einfallenden direktionalen Energiestrahle über das gesamte Messvolumen zu erzeugen.

[0026] Die Sensorbaugruppen **14L, 14R** können jeweils Ausgangssignale auf den Leitungen **39L, 39R** erzeugen, die die Intensität von darauf fokussierter Energie repräsentieren. In jedem Sensorzyklus wird die darauf fokussierte Energie gesammelt (d. h. integriert) und zum Prozessor **28** übertragen. Hier sind die Sensorbaugruppen **14L** und **14R** an einer festen Referenz montiert und um eine vorbestimmte Distanz, hier 500 mm, voneinander beabstandet. Die Sensorbaugruppen **14L, 14R** haben dabei jeweils ein Blickfeld, das ausreicht, um ein gemeinsames Messvolumen von etwa 1 m^3 zu beobachten, das entlang der z_s -Achse in einem Abstand von etwa 1,9 m von dem in der Mitte zwischen den Linsen **22L** und **22R** befindlichen Ursprungspunkt zentriert ist.

[0027] Wie oben erwähnt, hat jede der Sensorbaugruppen **14L** und **14R** ihre eigene zugehörige Linse **22L** bzw. **22R**, um sowohl die reflektierte Energie von den Energie retroreflektierenden Marken **12a, 12c** als auch die Energie zu fokussieren, die von der Energie emittierenden Marke **12b** emittiert wird, um ein fokussiertes Energiebild der emittierten oder reflektierten Energie von den Marken **12a, 12b, 12c** jeweils auf die assoziierten Sensorbaugruppen **14R** bzw. **14L** der Linsen **22L** bzw. **22R** zu erzeugen. Der Prozessor **28** ist mit den Sensorbaugruppen **14L** und **14R** gekoppelt und ermittelt die zweidimensionalen u-, v-Positionen des fokussierten Energiebildes auf jeder der Sensorbaugruppen **14L** und **14R**. Dann, mittels der u-, v-Position des fokussierten Energiebildes derselben Marke **12a, 12b, 12c** auf jeder der Sensorbaugruppen **14L** und **14R** zum Erzeugen der linken und rechten Sensorenergiequellen-Ortstabellen **50L, 50R** (**Fig. 3** und **9A, 9b**) und setzen der linken und rechten Quellszähler **51L, 51R**, wie nachfolgend beschrieben wird [sic].

[0028] Der Prozessor **28** ist mit dem Host-Computer

30 gekoppelt, damit die räumliche Position der Körper **11a**, **11b** auf dem Display **32** angezeigt oder vom Host-Computer **30** weiter verarbeitet werden kann. Wie oben erwähnt, ist der Prozessor **28** mit den direktionalen Energiequellen **24L**, **24R** gekoppelt, damit der Prozessor **28** die direktionalen Energiequellen **24R** und **24L** zu geeigneten Zeiten aktivieren kann. Der Prozessor **28** ist auch mit dem Controller **34** gekoppelt, damit der Prozessor **28** den Controller **34** anweisen kann, die Energie emittierenden Marken **12b** zur erforderlichen Zeit über die Leitung **27** zu aktivieren.

[0029] Der Betrieb des Systems **10** wird für den Körper **11a** beschrieben, wobei zu verstehen ist, dass die Folge der Vorgänge für andere starre Körper wie z. B. den Körper **11b** im Wesentlichen gleich, oder äquivalent, ist. Somit wird die aktive Marke **12b** über ein Kabel **27** (Fig. 1) wie gezeigt zum Controller **34** gesendet. Dabei hat die Energie emittierende Marke **12b** wie oben erwähnt eine Infrarotenergie emittierende Diode der Marke **12b**, die nach der Erregung mit elektrischer Energie, die ihr über das Kabel **27** vom Controller **34** zugeführt wird, Infrarotlichtenergie emittiert. Solche Infrarotenergie emittierenden Dioden sind allgemein erhältlich und in der Technik bekannt.

[0030] Nun mit ausführlicherer Bezugnahme auf Fig. 2, an den starren Körpern **11a** und **11b** sind jeweils Marken **12a–12c** bzw. **12d–12f** angebracht. Es ist zunächst zu verstehen, dass es nicht relevant ist, dass die Marken **12a** und **12c** retroreflektiv sind und die Marke **12b** aktiv ist. Diese Konfiguration ist lediglich beispielhaft und die nachfolgend beschriebenen Verfahren sind vom Markentyp unabhängig. An jedem Körper **11a**, **11b** sind die Marken **12a**, **12b**, **12c** bzw. **12d**, **12e**, **12f** in einer vorbestimmten (d. h. bekannten) und festen relativen Geometrie angebracht. Ferner muss sich die relative Geometrie für die Marken **12a**, **12b** und **12c** nachweisbar von der relativen Geometrie von Marken **12c**, **12d** und **12f** des Körpers **11b** unterscheiden. Somit sind, wie in Fig. 2 gezeigt, die Marken **12a**, **12b** und **12c** des Körpers **11a** von den Liniensegmenten **SLab**, **SLbc** bzw. **SLac** beabstandet. Ferner schneiden sich die Liniensegmente **SLab**, **SLbc** und **SLac** wie gezeigt in Winkeln θ_{ab} , θ_{bc} und θ_{ac} wie gezeigt. Ebenso sind die Marken **12d**, **12e** und **12f** von Körper **11b** jeweils wie gezeigt durch Liniensegmente **SLde**, **SLef** und **SLdf** beabstandet. Ferner schneiden sich die Liniensegmente **SLde**, **SLef** und **SLdf** wie gezeigt im Winkel θ_{de} , θ_{ef} und θ_{df} wie gezeigt. Ferner muss sich die Länge von Segment **SLab** von der der Segmente **SLac** und **SLbc** unterscheiden, ebenso muss das Segment **SLbc** eine andere Länge haben als das Segment **SLac**. Die Varianz Δ in der bevorzugten Ausgestaltung beträgt 5,0 mm. Wenn also Segment **SLab** die Länge **SLab** hat, dann beträgt die Länge von Segment **SLbc** wenigstens $SLab \pm \Delta$, und die Länge von Segment **SLac** ist wenigstens $SLab \pm \Delta$ und wenigstens $SLbc \pm \Delta$. Das heißt, die Länge aller Segmente

SLab, **SLbc** und **SLac** muss sich um Δ voneinander unterscheiden. Ferner hat ein Körper mit 3 Marken 3 Segmente. Im Allgemeinen ist die Zahl der Segmente jedoch gleich $N*(N - 1)/2$, wobei N die Gesamtzahl der Marken ist. Körper **11a** hat ein Paar von Segmenten **SLab**, **SLbc**, die die gleiche Länge haben wie das Paar von Segmenten **SLde**, **SLef** am Körper **11b**; diese können auch dann noch verfolgt werden, wenn sich der relative Winkel θ_{ab} zwischen Segment **SLab**, **SLbc** am Körper **11a** vom relativen Winkel B_{de} zwischen Segment **SLde**, **SLef** an Körper **11b** unterscheidet. Die Markengeometrie kann kollinear, nicht kollinear, koplanar oder nicht koplanar sein, je nach den Anforderungen der Anwendung. Das Paar Körper **11a**, **11b** wird gleichzeitig verfolgt, wenn Paare von gleichen Segmenten unter allen verfolgten Körpern **11a**, **11b** eindeutige relative Winkel haben; auch hier bedeutet der Begriff "eindeutig" wieder eine Schwellenwertdifferenz auf der Basis der Genauigkeit des Systems **10**. Das heißt, die Marken **12a–12c**, **12d–12f** werden jeweils auf den Körpern **11a**, **11b** platziert, damit jeder der Körper **11a**, **11b** eine(n) eindeutige(n) Signatur oder Fingerabdruck hat, die/der vom Prozessor **28** erkannt und verfolgt werden kann. [0031] Bevor der Betrieb des Systems **10** erörtert wird, ist zunächst zu bemerken, dass der Prozessor **28** einen Speicher **40** hat (Fig. 3), der drei Sätze von Tabellen speichert, **42–48**; **50L**, **50R** und **52**; und **56–62**. Ein erster Tabellensatz (d. h. ein Starrer-Körper-Definitionstabellensatz **42–48**) definiert die vorbestimmte geometrische Beziehung der Marken **12a–12d**, **12e–12f** für jeden der Körper **11a**, **11b**; ein zweiter Tabellensatz (d. h. sensorgenerierte Datentabellen **50L**, **50R** und **52**) enthält Informationen, die bei jedem Abtasten der Sensoren **14L**, **14R** erzeugt werden, und diese Tabellen **50L**, **50R** und **52** sind daher nicht mit einem bestimmten Körper assoziiert; und einen dritten Tabellensatz (d. h. Verarbeitungstabellen **56–62**) erzeugt der Prozessor, während die starren Körper **11a**, **11b** identifiziert und verfolgt werden. Diese Tabellen (und Zähler **51L**, **51R** und **53**, nachfolgend beschrieben) befinden sich im Prozessor **28** und werden vom Prozessor **28** bei dessen Betriebsfolge verwendet.

Starrer-Körper-Definitionstabellen **42–48**

[0032] Die Starrer-Körper-Definitionstabellen beinhalten: eine Markenpositionstabelle **42**; eine Markensegmenttabelle **44**; eine Markensegmentpunkt- (•) Produkttabelle **46** und eine Markensegmentstabelle **48**. Diese Starrer-Körper-Definitionstabellen **42–48** gelten für alle Körper **11a**, **11b** und enthalten zuvor bekannte Informationen über die geometrische Beziehung der Marken **12a–12c** sowie **12d–12f**, die jeweils an starren Körpern **11a**, **11b** angebracht sind, um dadurch jedem der Körper **11a**, **11b** eine(n) eindeutige(n) Signatur oder Fingerabdruck zu geben, die/der vom Prozessor **28** erkannt und verfolgt werden kann. Diese Starrer-Körper-Definitionstabellen

42–48 werden einmal vor der Identifikation und bei nachfolgenden Verfolgungsvorgängen des Prozessors **28** initialisiert.

Markenpositionstabelle **42**

[0033] Mit jedem starren Körper **11a**, **11b** ist eine Markenpositionstabelle **42** assoziiert, wie für Körper **11a** in **Fig. 11** dargestellt ist. Die Markenpositionstabelle **42** beinhaltet die 3D-Position (X', Y', Z') jeder Marke **12a**, **12b** und **12c**, die beispielsweise mit dem starren Körper **11a** assoziiert ist. Mit Bezug auf **Fig. 11** ist die Markenpositionstabelle **42** für den Körper **11a** dargestellt, wobei zu verstehen ist, dass Tabelle **42** eine ähnliche Tabelle für Körper **11b** hat. Die 3D-Position von Marke **12a**, **12b** und **12c** ist dargestellt.

Segmentlängentabelle **44**

[0034] Mit jedem starren Körper **11a**, **11b** ist eine Markensegmentlängentabelle **44** (**Fig. 12**) assoziiert, die den Satz von Segmentlängen eines Körpers **11a**, **11b** enthält. Ein Segment wird als die Linie angesehen, die ein Paar Marken **12a**, **12b**, **12c** für Körper **11a** und Marken **12d**, **12e** und **12f** für Körper **11b** verbindet. Wie also oben in Verbindung mit **Fig. 2** bemerkt wurde, hat der Körper **11a** die Segmente SLab, SLbc und SLac, und der Körper **11b** hat die Segmente SLde, SLef und SLdf. Der komplette Satz von Segmenten für einen Körper ist jede Kombination von Markenpaaren. Somit gibt es $N*(N - 1)/2$ Segmente für einen Körper, wobei N die Zahl der an dem Körper angebrachten Marken ist. **Fig. 12** zeigt die Markensegmentlängentabelle **44** für Körper **11a**. Die Segmentlängen SLab, SLbc und SLac sind dargestellt.

Markensegmentsatztable **48**

[0035] Mit jedem starren Körper **11a**, **11b** ist eine Markensegmentsatztable **48** (**Fig. 13**) assoziiert, die die Markensegmentsätze enthält. Es gibt für jede Marke einen Eintrag in der Tabelle **48**. Jeder Markeneintrag enthält 2 oder mehr Segmente, die mit dieser Marke verbunden sind. An jeder Marke hängen für einen Körper mit N Marken $N - 1$ Segmente. **Fig. 13** zeigt den Satz von Segmenten für einen starren Körper **11a**. Mit jeder Marke **12a**, **12b**, **12c** sind zwei Segmente (d. h. Segment **1** und Segment **2** in **Fig. 13**) assoziiert. Somit ist, wie in den **Fig. 2** und **13** angedeutet, die Marke **12a** für den Körper **11a** an den Segmenten SLab und Slac angebracht; die Marke **12b** ist an den Segmenten SLab und SLbc angebracht. Die Marke **12c** ist an den Segmenten SLac und SLbc angebracht. Es ist klar, dass es für Marke **11b** eine ähnliche Tabelle gäbe.

Segmentpunkt- (•) Produkttable **46**

[0036] Mit jedem starren Körper ist eine Segment-

punkt- (•) Produkttable **46** (**Fig. 14**) assoziiert, die die Liste von Punkt- (•) Produkten zwischen jeder Kombination von Segmenten enthält. Das Punkt- (•) Produkt dient als Festlegung des Winkels B zwischen den Segmentlängen SL, wenn die Segmente als Vektoren behandelt werden, die auf den Nullpunkt des X-, Y-, Z-Koordinatensystems von System **10** transponiert werden. Es gibt $N*(N - 1)/2$ Kombinationen von Segmentpaaren, wobei N die Zahl der Segmente in dem starren Körper ist. Das Beispiel von **Fig. 14** zeigt den Satz von Punkt- (•) Produkten für Körper **11a**. Dabei ist gemäß der Darstellung das Punkt- (•) Produkt für Winkel $\theta_{a,b}$ zwischen Segmentlängen SLab und SLbc 3600. Ebenso ist gemäß der Darstellung das Punkt- (•) Produkt für Winkel $\theta_{a,c}$ zwischen Segmentlängen SLab und SLac 0, und das Punkt- (•) Produkt für Winkel $\theta_{b,c}$ zwischen Segmentlängen SLbc und SLac ist als 2500 dargestellt. Es ist zu verstehen, dass eine ähnliche Tabelle für Körper **11b** existiert.

Sensorgenerierte Datentabellen **50L**, **50R** und **52**

[0037] Die sensorgenerierten Datentabellen **50L**, **50R** und **52** beinhalten: die linke und rechte Sensorenergiequellen-Ortstabelle **50L**, **50R**; und eine 3D-Rohmarkentabelle **52**.

Linker- und Rechter-Sensorenergiequellentabelle **50L**, **50R**

[0038] Im Speicher **40** befindet sich für jeden Areal-Array-CCD-Sensor **18L**, **18R** (**Fig. 1**, 9A, 9B) eine Sensorenergiequellentabelle **50L** und **50R**. Es gibt für jeden auf dem CCD-Sensor **18L**, **18R** erfassten Energiepunkt einen Eintrag. Die Linke-Quelle- und Rechte-Quelle-Zähler **51L** und **51R** enthalten jeweils die Zahl der jeweils auf dem linken und rechten Sensor **18L**, **18R** erfassten Energiepunkte. Jeder Eintrag hat einen U- und einen V-Wert, die dem Masse-schwerpunkt des Energiepunkts entlang der U-Achse und der V-Achse des assoziierten Sensors **18L**, **18R** entsprechen. In der bevorzugten Ausgestaltung gibt es eine Linke- und eine Rechte-Sensor-Energiequellentabelle **50L**, **50R** (**Fig. 3**). Dabei gibt es vier Energiequellen S_1-S_4 , S_5-S_8 , die jeweils von einem der Sensoren **18L**, **18R** erfasst werden, wie in den **Fig. 9A** und **9B** angedeutet ist. Es ist zu bemerken, dass sich die Quellen S_1-S_8 in den u-, v-Koordinaten der Sensoren **18L**, **18R** befinden, wie die **Fig. 9A** und **9B** zeigen.

3D-Rohmarkentabelle **52**

[0039] Im Speicher **40** befindet sich eine einzelne 3D-Rohmarkentabelle **52** (**Fig. 3**, 10), die einen einzelnen Eintrag für jeden ermittelten, aber unqualifizierten Markenort (Rohmarken) enthält. Jeder Eintrag hat einen X-, Y- und Z- (d. h. das X-, Y-, Z-Koordinatensystem von System **10**) Wert, der dem Koor-

dinatensystem des Positionssensors mit dem Ursprungsmittelpunkt zwischen den Bildsensoren **18L**, **18R** entspricht. Der Rohmarkenzähler **53** enthält die Zahl der erfassten Rohmarken. **Fig. 10** zeigt ein Beispiel von 4 Rohmarken. In diesem Beispiel werden die Marken **12a**, **12b** und **12c** von Körper **11a** erfasst, und es gibt eine unbekannte Streumarke. Die Zuordnung dieser Marken R1–R4 ist zu diesem Zeitpunkt mit Bezug auf die Marken **12a–12c** sowie **12d–12f** jeweils auf den Körpern **11a** und **11b** nicht bekannt. Anhand der Vorgangsfolge wird die Korrespondenz dieser Marken zum Körper **11a** bzw. Körper **11b** ermittelt.

Verarbeitungstabellen **56–62**

[0040] Die Verarbeitungstabellen lauten: eine Segment-Rohmarken-Querverweistabelle **56**; eine Qualifiziertes-Segment-Tabelle **58**; eine Gemessene-Markenposition-Tabelle **60**; und eine Berechnete-Starrer-Körper-Positions- und -Ausrichtungs-(Lage)-Tabelle **62**. Diese Verarbeitungstabellen **56–62** werden vom Prozessor **28** für jeden der starren Körper **11a**, **11b** erzeugt und vom Prozessor **28** generiert, während die starren Körper erkannt (d. h. identifiziert) und verfolgt werden.

Segment-Rohmarken-Querverweistabelle **56**

[0041] Mit jedem starren Körper ist eine Segment-Rohmarken-Querverweistabelle **56** (**Fig. 3, 15**) assoziiert, die alle Rohmarkenpaare **12a**, **12b** und **12c** enthält, die eine Beabstandungsdistanz haben, die nahe an der definierten Segmentlänge des starren Körpers liegt. Der Begriff „nahe“ ist durch eine Längendifferenz zwischen dem definierten Segment und dem getesteten Segment definiert, was weniger ist als ein bestimmter vordefinierter Wert (d. h. eine Distanz, die vom System **10** erfasst werden kann). In der bevorzugten Ausgestaltung beträgt dieser Wert 1,5 mm. Das folgende Beispiel (**Fig. 15**) illustriert Paare von Marken, die mit den vordefinierten Segmentlängen SLab, SLbc, SLac des Körpers **11a** übereinstimmen. Die Rohmarkenpaardaten werden vom Prozessor **28** gemäß einem in Verbindung mit **Fig. 6** beschriebenen Verfahren ermittelt. Es sei hier jedoch lediglich gesagt, dass die beiden Sätze von vier Rohenergiedaten S1–S8, die vom rechten und linken Sensor **14L**, **14R** (**Fig. 9A, 9B**) erfasst werden, in diesem Beispiel vom Prozessor **28** in vier Rohmarken R1–R4 (im X-, Y-, Z-Koordinatensystem von **Fig. 10**) umgewandelt und in der 3D-Rohmarkentabelle **52** (**Fig. 10**) gespeichert werden. Weil es also vier Rohmarken R1–R4 gibt, gibt es sechs Segmentlängen (d. h. SL12, SL13, SL14, SL23, SL24 und SL34). In diesem Beispiel sind die Rohmarken R1 und R2 um eine Segmentlänge SL12 voneinander beabstandet, die nahe an der Länge von Segment SLab liegt. Die Rohmarken (R1, R4), (R3, R4) und (R2, R3) sind alle um eine Länge voneinander beabstandet, die nahe an

der Länge des Segments SLbc liegt. Auch sind die Rohmarken (R2, R4) und (R1, R3) um eine Länge voneinander beabstandet, die nahe an der Länge von Segment SLac liegt. Diese Daten werden in der Segment-Rohmarken-Querverweistabelle **56** wie in **Fig. 15** gezeigt gespeichert.

Qualifiziertes-Segment-Tabelle **58**

[0042] Es gibt für jeden starren Körper **11a**, **11b** eine Qualifiziertes-Segment-Tabelle **58** (**Fig. 3, 16**). Diese Tabelle **58** wird während der Segmentverifizierungsphase generiert, die in Verbindung mit **Fig. 7** beschrieben wird. Es sei hier lediglich gesagt, dass es für jedes Segment des starren Körpers einen Eintrag gibt. In dem Beispiel in **Fig. 16** sind alle Segmente SLab, SLbc und SLac von Körper **11a** qualifiziert.

Gemessene-Markenpositionstabelle **60**

[0043] Mit jedem starren Körper **11a**, **11b** ist eine Gemessene-Markenpositionstabelle **60** (**Fig. 3, 17**) assoziiert, die die 3D-Positionen der Rohmarken R1–R4 enthält, die identifiziert, validiert und auf die Ist-Marken **12a–12c**, **12d–12f** des Körper abgebildet wurden. Das Beispiel in **Fig. 17** zeigt die gemessene Position der Marken **12a**, **12b** und **12c** des Körpers **11a**; dabei entspricht Ist-Marke **12a** Rohmarke R2, Ist-Marke **12b** entspricht Rohmarke R4 und Ist-Marke **12c** entspricht Rohmarke R1.

Berechnete-Starrer-Körper-Positions- und -Ausrichtungstabelle **62**

[0044] Mit jedem starren Körper ist eine Berechnete-Starrer-Körper-Positions- und -Ausrichtungstabelle **62** (**Fig. 3, 18**) assoziiert, die die Transformation des starren Körpers enthält. Dies ist die Lage, die anhand der Gemessene-Markenpositionstabelle **60** (**Fig. 17**) auf der Basis der Markenpositionstabelle **42** (**Fig. 11**) ermittelt wird. Mit anderen Worten, die Lage ist die Transformation, die die Markenpositionstabelle **42** in dasselbe Raum-X-, Y-, Z-Koordinatensystem von **Fig. 10** wie in der Gemessene-Markenpositionstabelle **60** gezeigt bewegt. Das in **Fig. 18** gezeigte Beispiel illustriert die Lage von Körper **11a**.

Übersicht über die Folge von Vorgängen

[0045] Die Lage oder Ausrichtung eines Körpers oder von Körpern kann gleichzeitig und in Echtzeit mit den folgenden Vorgängen wie im Ablaufdiagramm von **Fig. 4** illustriert ermittelt werden. In Schritt **401** werden die Energiequellen **24L** und **24R** (**Fig. 1**) sowie die aktive Marke **12b** aktiviert. Gemäß **Fig. 1** werden diese Energiequellen durch das Linsensystem **22L**, **22R** fokussiert und projizieren ein Bild auf die CCD-Sensoren **18L**, **18R**. Dieses Bild wird von den Sensoren **18L**, **18R** abgetastet, und Intensitäten über einem bestimmten Schwellenwert

werden vom Prozessor **28** analysiert. In Schritt **402** werden die Positionen der Sensorenergiequellen in Linke- und Rechte-Sensoren-Energiequellen-Ortstabellen **50L**, **50R** (**Fig. 3**, 9A, 9B) gespeichert. Die Position wird in Pixeleinheiten angegeben. Die horizontale Achse des Sensors wird U, die vertikale Achse V genannt. In der bevorzugten Ausgestaltung werden ein linker und ein rechter Sensor **18L**, **18R** verwendet. Die Linke-Quellen- bzw. Rechte-Quellen-Zähler **51L**, **51R** werden jeweils auf die Zahl der erfassten Energiequellen auf dem linken bzw. rechten Sensor **18L**, **18R** eingestellt. In dem in Verbindung mit **Fig. 9A** und **9B** beschriebenen Beispiel gibt es vier erfasste Energiequellen S_1-S_4 , S_5-S_8 , die jeweils von den Sensoren **18L**, **18R** erfasst werden; somit ist die Zahl in jedem der Zähler **51L** und **51R** in diesem Beispiel 4.

[0046] In Schritt **403** werden geeignete Tabellen (d. h. Tabellen **52**, **56**) und Zähler (**51L**, **51R** und **53**) für die nachfolgende Vorgangsfolge initialisiert. Die 3D-Rohmarkentabelle **52**, der Rohmarkenzähler **53** und die Segment-Rohmarken-Querverweistabelle **56** werden alle geleert. In Schritt **404** werden die in den Linker- und Rechter-Sensor-Energiequellen-Ortstabellen **50L**, **50R** gespeicherten Energiequellen vom Prozessor **26** analysiert und es wird die 3D-Rohmarkentabelle **52** (**Fig. 10**) generiert. Der Rohmarkenzähler **53** wird auf die Zahl der erfassten Rohmarken gesetzt. Zu diesem Zeitpunkt ist unbekannt, was diese Marken sind. Einige können Marken von dem/den verfolgten Körper(n) sein, andere können Reflexionen sein, und wieder andere können vom Markenerfassungsverfahren verursachte Artefakte sein. Triangulationsverfahren zum Erzeugen der 3D-Position von stereoskopischen Ansichten sind in der Technik hinlänglich bekannt, und ein Verfahren wird später im Abschnitt Generiere-3D-Rohmarkentabelle **52** beschrieben.

[0047] In den Schritten **405** und **406** wird die Distanz, d. h. Segmentlängen, SL12, SL13, SL14, SL23, SL24 und SL34 zwischen allen Kombinationen von 3D-Rohmarkenpaaren berechnet. Diese berechneten Längen werden mit der Segmentlängentabelle **44** (**Fig. 12**) für jeden verfolgten Körper **11a**, **11b** verglichen. Übereinstimmungen werden in die Segment-Rohmarken-Querverweistabelle **56** (**Fig. 15**) für jeden Körper **11a**, **11b** gesetzt. Diese Schritte werden ausführlich in **Fig. 6** in Verbindung mit der Generiere-Segment-Rohmarken-Querverweistabelle **56** (**Fig. 15**) beschrieben.

[0048] In Schritt **407** werden alle möglichen Segmentvoraussagen in der Segment-Rohmarken-Querverweistabelle **56** (**Fig. 15**) für jeden Körper **11a**, **11b** durch Vergleichen der relativen Winkel, α , zwischen den Segmentlängen SL des Körpers **11a**, **11b** verifiziert. Diese Schritte werden später in Verbindung mit **Fig. 7**, Segmentverifizierung, ausführlich beschrieben. In Schritt **408** wird die Korrespondenz zwischen den 3D-Rohmarken R1-R4 in dem oben gegebenen Beispiel und den Ist-Marken **12a-12c**, **12d-12f** der

Körper **11a** bzw. **11b** durch Satzschchnittmethoden anhand der Markensegmentsatztablelle **48** (**Fig. 13**) des Körpers in Verbindung mit der Segment-Rohmarken-Querverweistabelle **56** (**Fig. 15**) des Körpers ermittelt. Die 3D-Rohmarken werden in der Gemessene-Markenpositionstabelle **60** (**Fig. 17**) dargestellt. Diese Schritte werden nachfolgend in Verbindung mit **Fig. 8**, Markenkorrespondenzextraktion, ausführlich beschrieben.

[0049] In Schritt **409** wird die Ausrichtung (Lage) des Körpers anhand der Marken ermittelt, die in der Gemessene-Markenpositionstabelle **60** (**Fig. 17**) enthalten sind. Verfahren zum Ermitteln der 6 Freiheitsgrade für einen starren Körper anhand von diskreten Marken sind in der Technik hinlänglich bekannt und werden hier nicht beschrieben. Schließlich werden in Schritt **410** die Lagen aller Körper in Tabelle **62** (**Fig. 18**) gespeichert und können angezeigt werden. Die Lage kann je nach Bedarf auch gespeichert, zu einem anderen Computer übertragen oder weiterverarbeitet werden. Die obige Folge wird angesichts eines Beispiels und im Hinblick auf die nachfolgenden ausführlichen Beschreibungen leicht offensichtlich.

Erzeugung der 3D-Rohmarkentabelle **52**

[0050] Die Energiequellen S_1-S_4 , S_5-S_8 (**Fig. 9A** und **9B**), die in der Linker- und Rechter-Sensor-Energiequellen-Ortstabelle **50L**, **50R** gespeichert sind, werden analysiert, und 3D-Rohmarken R1-R4 (**Fig. 10**) werden ermittelt. Der Rohmarkenzähler **53** wird auf die Zahl der erfassten Rohmarken gesetzt. Es wird mit Bezug auf **Fig. 5** das folgende Verfahren zum Erzeugen von 3D-Positionen von zwei stereoskopischen Bildern beschrieben. Das folgende Verfahren ist in der Technik hinlänglich bekannt und es stehen andere Methoden zur Verfügung.

[0051] In Schritt **501** wird der Rohmarkenzähler **53** zunächst auf 0 gesetzt. Für jede Linker-Sensor-Energiequelle **14L** und jede Rechter-Sensor-Energiequelle **14R** werden in den Schritten **502**, **503**, **504** und **505** parametrische Liniengleichungen erzeugt. Eine Linie verläuft zwischen einem Punkt auf einem der Sensoren **18L**, **18R** (d. h. bei $V = U = Z_s = O$, oder dem Nullpunkt des Sensorkoordinatensystems) und einer der Energiequellen S_1-S_4 . Somit gibt es vier Linien (d. h. linke Linien) von Sensor **18L** zu jeder der erfassten Quellen S_1-S_4 . Ebenso gibt es vier Linien (d. h. rechte Linien) vom Sensor **18R** zu jeder der erfassten Energiequellen S_5-S_8 . In den Schritten **506**, **507** sowie **512** bis **515** wird eine Doppelschleife verarbeitet, die jede linke Linie mit jeder rechten Linie paart. Die Zahl der Gesamtwiederholungen dieser Schleife ist gleich LinkeQuellen **52L** * RechteQuellen **52R**. In dem oben beschriebenen Beispiel gibt es 4 LinkeQuellen S_1-S_4 und 4 RechteQuellen S_5-S_8 (**Fig. 9A** und **9B**), die 16 Wiederholungen zum Berechnen der Tabelle **52** (**Fig. 10**) erfordern.

[0052] In den Schritten **508** und **509** wird die Mindestdistanz zwischen einer linken und einer rechten

Linie ermittelt. Wenn diese Distanz geringer ist als ein vordefiniertes Minimum, dann werden die Linien als sich schneidend angesehen, und eine mögliche 3D-Marke R_1 – R_4 wurde entdeckt. Diese Marke wird als roh angesehen, da sie zu diesem Zeitpunkt unbekannt ist, wenn es sich um eine gültige Marke handelt. Es gibt in dem in **Fig. 10** gezeigten Beispiel 4 solche Übereinstimmungen. Der Mindestabstand ist von der Systemgenauigkeit abhängig und wird so klein wie praktisch möglich gehalten, um die Zahl von falschen Marken zu reduzieren. In Schritt **510** und **511** wird der 3D-Mittelpunkt zwischen der linken und der rechten Linie in die 3D-Rohmarkentabelle **52** (**Fig. 10**) gesetzt. Der Rohmarkenzähler **53** wird inkrementiert.

[0053] Nach Beendigung der Schritte **501** bis **515** enthält der Rohmarkenzähler **53** die Zahl der erfassten Rohmarken, und die 3D-Rohmarkentabelle **52** (**Fig. 10**) ist komplett. Von diesem Punkt an werden alle nachfolgenden Entscheidungen an 3D-Marken getroffen, und die 2D-Sensorenergieorte werden nicht mehr benötigt. Für das Beispiel werden 4 3D-Rohmarken R_1 – R_4 erfasst. Zu diesem Zeitpunkt ist unbekannt, was die einzelnen Marken sind.

Erzeugung der Segment-Rohmarken-Querverweistabelle **56** (**Fig. 15**) für alle starren Körper

[0054] Nachfolgend wird der Ablauf der nächsten Folge im Überblick beschrieben. Alle möglichen Segmente zwischen allen 3D-Rohmarken (z. B. R_1 – R_4) in Tabelle **52** (**Fig. 10**) werden mit allen Segmentlängen SL_{lab} , SL_{bc} , SL_{ac} sowie SL_{de} , SL_{ef} , SL_{df} jedes Körpers **11a** bzw. **11b** in Tabelle **44** (**Fig. 12**) verglichen. Wird eine Übereinstimmung entdeckt, dann wird das 3D-Rohmarkenpaar zur Segment-Rohmarken-Querverweistabelle **56** (**Fig. 15**) für diesen Körper addiert. Dasselbe getestete Rohsegment kann mit mehreren starren Körpern übereinstimmen. Ebenso kann ein starres Körpersegment mehrere übereinstimmende Rohsegmente haben. Diese werden in einem späteren Vorgang, Segmentverifizierung (**Fig. 7**), ausgefiltert.

[0055] Das oben Gesagte wird anhand eines Beispiels und des Ablaufdiagramms von **Fig. 6**, Generiere-Segment-Rohmarken-Querverweistabelle **56**, für alle starren Körper erläutert. In den Schritten **601**, **602** sowie **613** bis **616** wird eine zweistufige Verarbeitungsschleife gesteuert. Die zwei äußersten Schleifen werden durch die Zähler N und L indexiert (nicht gezeigt, aber im Prozessor **26** enthalten), die zum Paaren aller Kombinationen von 3D-Rohmarken R_1 – R_4 verwendet werden. Es gibt $N' \cdot (N' - 1) / 2$ Segmente (Markenpaare), wobei N' gleich Rohmarken R_1 – R_4 ist, hier z. B. $N' = 4$. Die Segmentlänge zwischen 3D-Rohmarken N und L wird einmal pro Wiederholung der äußeren zwei Schleifen (Schritte **603**) berechnet. Diese Länge wird als Testsegment berechnet und wird im folgenden Abschnitt verwendet. [0056] In den Schritten **604**, **611** und **612** wird eine

Verarbeitungsschleife vom Zähler J (nicht dargestellt, aber im Prozessor **28** enthalten) gesteuert, die durch alle verfolgten starren Körper sequenziert. In den Schritten **605**, **609** und **610** wird eine Verarbeitungsschleife vom Zähler K (nicht dargestellt, aber im Prozessor **28** enthalten) gesteuert, die durch alle Segmente in einem der Körper **11a**, **11b** sequenziert, hier allgemein durch Körper J angedeutet. Der Segmentvergleich erfolgt in den Schritten **606**, **607** und **608**. Das Segment K von Körper J wird mit dem Testsegment verglichen. Ein Segment wird dann als übereinstimmend angesehen, wenn die Differenz kleiner als ein vordefinierter Wert ist. Wenn eine Übereinstimmung vorliegt, werden die Werte der 3D-Rohmarkenpaar-Indexzähler N und L in das nächste verfügbare Paar in der Segment-Rohmarken-Querverweistabelle **56** (**Fig. 15**) für Körper J für Segment K gesetzt. Der Zähler „Gesamtrohpaare“ (nicht dargestellt, aber im Prozessor **28** enthalten) für Segment K wird inkrementiert. Der vordefinierte Wert ist von der Systemgenauigkeit abhängig und wird so klein wie praktisch möglich gehalten, um die Zahl der Segmentübereinstimmungen zu reduzieren, aber groß genug, um eine unnötige Rückweisung von gültigen Segmenten zu vermeiden.

[0057] In dem in **Fig. 15** gegebenen Beispiel hat die Segmentlänge SL_{lab} für Körper **11a** eine einzige Übereinstimmung, nämlich 3D-Rohmarkenpaar R_1 und R_2 . Die Segmentlänge SL_{bc} hat 3 Übereinstimmungen, nämlich 3D-Rohmarkenpaare R_1 und R_4 ; R_3 und R_4 sowie R_2 und R_3 . Die Segmentlänge SL_{ac} hat zwei Übereinstimmungen, nämlich 3D-Rohmarkenpaare R_2 und R_4 sowie R_1 und R_3 . Es ist klar, dass 3 der 6 Segmente nicht Teil des starren Körpers **11a** sind und per Segmentverifizierung (**Fig. 7**) eliminiert werden müssen.

Segmentverifizierung

[0058] Alle möglichen Segmente, die von den 3D-Rohmarkenpaaren in der Segment-Rohmarken-Querverweistabelle **56** (**Fig. 15**) für jeden Körper **11a**, **11b** definiert sind, werden durch Vergleichen der relativen Winkel θ zwischen den Segmentlängen SL des Körpers **11a**, **11b** verifiziert. Das Verfahren wird klar, wenn man das in **Fig. 7**, **7A**–**7C** gezeigte Ablaufdiagramm anhand des folgenden Beispiels untersucht. Der Segmentverifizierungsvorgang hat eine fünfstufige Steuerschleife.

[0059] In den Schritten **701**, **726** und **727** wird eine Verarbeitungsschleife vom Zähler L gesteuert, der durch alle verfolgten starren Körper sequenziert. In Schritt **701** wird die Qualifiziertes-Segment-Tabelle **58** (**Fig. 16**) für den verifizierten starren Körper L geleert. In den Schritten **702**, **724** und **725** wird eine Verarbeitungsschleife vom Zähler J gesteuert, die durch alle Segmentlängen SL von Körper L sequenziert. In die Steuerschleife wird gegangen, wenn das Segment J nicht bereits qualifiziert ist, wie die Qualifiziertes-Segment-Tabelle **58** (**Fig. 16**) zeigt.

[0060] In den Schritten **704**, **720** und **721** wird vom Zähler N eine Verarbeitungsschleife gesteuert, die durch alle 3D-Rohmarkenpaare in der Segment-Rohmarken-Querverweistabelle **56** (**Fig. 15**) von Körper L für Segment J sequenziert, wenn das Segment J in der Qualifiziertes-Segment-Tabelle **58** (**Fig. 16**) nicht qualifiziert wurde (d. h. auf FALSCH gesetzt, Schritt **703**). In Schritt **705** wird der Vektor X, auf den Koordinatenachsenmullpunkt von System **10** transponiert, für das 3D-Rohmarkenpaar N von Segment J für Körper L berechnet. In den Schritten **706**, **718** und **719** wird vom Zähler K eine Verarbeitungsschleife gesteuert, die durch alle Segmentlängen nach dem Segment J im Körper L sequenziert.

[0061] In den Schritten **707**, **716** und **717** wird von Zähler M eine Verarbeitungsschleife gesteuert, die durch alle 3D-Rohmarkenpaare in der Segment-Rohmarken-Querverweistabelle **56** (**Fig. 15**) von Körper L für Segment K sequenziert. In den Schritten **708** bis **711** wird der Vektor Y, auf den Nullpunkt transponiert, für das 3D-Rohmarkenpaar M von Segment K für Körper L berechnet. Das Punkt- (•) Produkt zwischen Vektor X und Vektor Y wird ermittelt. Dieses Punkt- (•) Produkt wird mit dem Ist-Punkt- (•) Produkt für Segmentpaar J und K wie in der Segment-Punktprodukt-tabelle **46** (**Fig. 14**) für Körper L gespeichert verglichen. Wenn die Differenz kleiner ist als ein vorbestimmter Wert, dann gilt dies als eine Übereinstimmung. Der vordefinierte Wert ist von der Genauigkeit des Systems **10** abhängig und wird so klein wie praktisch möglich gehalten, um die Zahl der falschen Segmentübereinstimmungen zu reduzieren, aber groß genug, um ein unnötiges Zurückweisen von gültigen Segmenten zu vermeiden. Die bevorzugte Ausgestaltung benutzt einen Wert von 200.

[0062] Wenn eine Übereinstimmung gefunden wird, werden beide Segmente als validiert angesehen, und die 3D-Rohmarkenpaare N und M für Segmente J und K in der Segment-Rohmarken-Querverweistabelle **56** (**Fig. 15**) werden als wahr angesehen. In den Schritten **712** bis **715** muss das gültige 3D-Rohmarkenpaar N und M zur ersten Position in Reihe J und K bewegt werden. Ein Gesamtzeilenpaarzahl (nicht dargestellt) wird auf 1 gesetzt, alle anderen 3D-Rohmarkenpaare werden eliminiert. Die Segmente J und K werden in der Qualifiziertes-Segment-Tabelle **58** (**Fig. 16**) auf wahr gesetzt. Nach Abschluss jeder Wiederholung von Steuerschleife J wird in Schritt **722** ein Test durchgeführt. Wenn Segment J nach dem Vergleich mit allen nachfolgenden Segmenten nicht qualifiziert ist, wird es als schlechtes Segment angesehen. In Schritt **723** werden alle 3D-Rohmarkenpaare für Segment J eliminiert, und die Zähler-Gesamtzeilenpaare werden auf 0 gesetzt. Der Prozess wird für alle Körper **11a**, **11b** wiederholt (Schritte **725–728**).

[0063] Nachfolgend wird ein Beispiel mit Bezug auf die Segment-Rohmarken-Querverweistabelle **56** (**Fig. 15**), die Segment-Punktprodukt-tabelle **46** (**Fig. 14**), die 3D-Rohmarkentabelle **52** (**Fig. 10**) und

das Ablaufdiagramm von **Fig. 7**, Segmentverifizierung, beschrieben. Die nachfolgende Eventfolge kann durch das Ablaufdiagramm verfolgt werden:

L = Körper **11a**

J = Segmentlänge SLab Segmentlänge SLab ist nicht qualifiziert.

N = Paar 1 (R1, R2) von SLab Generiere Vektor für Paar N (R1, R2)

K = Segmentlänge SLbc

M = Paar 1 (R1, R4) von Segmentlänge SLbc

Generiere Vektor für Paar M (R1, R4)

Erzeuge Punktprodukt (•); $(R1, R2) \cdot (R1, R4) = 3599.995117$

Vergleiche mit Punktprodukt-tabelle **46** (**Fig. 14**) für SLab, SLbc = 3600

Übereinstimmung gefunden

Lösche Paar 2 (R3, R4) und Paar 3 (R2, R3) von Segmentlänge SLbc

Setze Segmentlänge SLbc auf qualifiziert

Setze Segmentlänge SLab auf qualifiziert

Rücke M vor auf nächstes Paar

Dies war das letzte Paar von Segmentlänge SLbc.

Rücke K vor zu Segmentlänge SLac

M = Paar 1 von Segmentlänge SLac

Generiere Vektor für Paar M (2,4)

Generiere Punktprodukt (•), $(R1, R2) \cdot (R2, R4) = 0.001304$

Vergleiche mit Punktprodukt-tabelle **46** (**Fig. 14**) für Segmentlängen SLab, SLac = 0

Übereinstimmung gefunden

Lösche Paar 2 (R1, R3) von Segmentlänge SLac

Setze Segmentlänge SLac auf qualifiziert

Setze Segmentlänge SLab auf qualifiziert

Rücke M vor zu nächstem Paar

Dies war das letzte Paar von Segmentlänge SLab.

Rücke K vor zu nächstem Segment.

Dies war das letzte Segment.

Rücke N vor zu nächstem Paar

Dies war das letzte Paar.

Rücke J vor zu nächster Segmentlänge SLbc

Dieses Segment ist qualifiziert.

Rücke J vor zu nächster Segmentlänge SLac

Dieses Segment ist qualifiziert.

Rücke J vor zu nächstem Segment

Dieses war das letzte Segment.

Rücke L vor zu nächstem Körper

Dies war der letzte Körper.

Fertig, siehe Tabelle (Schritt **158**)

Markenkorrespondenzextraktion

[0064] Die Korrespondenz zwischen den 3D-Rohmarken, die in der Segment-Rohmarken-Querverweistabelle **56** (**Fig. 15**) indexiert wurde, und den Ist-Marken der Körper, wird durch Satzschnittmethoden mittels der Markensegmentsatz-tabelle **48** (**Fig. 13**) des Körpers ermittelt. Die 3D-Rohmarken R1–R4 werden in der Gemessene-Markenpositionstabelle **60** (**Fig. 17**) des Körpers dargestellt. Diese Schritte werden nachfolgend gemäß Illustration an-

hand eines Beispiels unter Verwendung des Ablaufdiagramms von **Fig. 8**, Markenkorrespondenzextraktion, beschrieben.

[0065] Der Vorgang der Markenkorrespondenzextraktion hat eine dreistufige Steuerschleife. In den Schritten **801**, **825** und **826** wird vom Zähler K eine Verarbeitungsschleife gesteuert, die durch alle verfolgten starren Körper sequenziert. In den Schritten **802**, **823** und **824** wird vom Zähler N eine Verarbeitungsschleife gesteuert, die durch alle Marken von Körper K sequenziert. Der Satzschneitpunkt wird mit Registern M1 und M2 ermittelt. Diese werden in Schritt **803** zunächst auf leer gesetzt. In den Schritten **804**, **812** und **813** wird von Zähler J eine Verarbeitungsschleife gesteuert, die durch alle Segmentlängen sequenziert, die an der Marke N von Körper K anhängen. Für jede Marke gibt es B-1 Verbindungssegmente, wobei B die Gesamtzahl der Marken für den Körper ist.

[0066] In Schritt **805** wird L auf die Segmentnummer gesetzt, indiziert um J für Marke N von Körper K in der Markensegmentsatztablelle **48 (Fig. 13)**. In den Schritten **807** bis **811** wird, wenn es eine qualifizierte Segmentlänge SL in der Segment-Rohmarken-Querverweistabelle **56 (Fig. 15)** gibt, der Satzschneitpunkt von Marken getestet. Wenn M1 leer ist, wird M1 auf die erste Marke des Paares gesetzt und M2 wird auf die zweite Marke des Paares gesetzt. Wenn M1 nicht leer ist, dann wird getestet, ob M1 entweder gleich der ersten oder gleich der zweiten Marke des Paares ist. Wenn M1 nicht gleich einer der Marken ist, dann schneidet es sich nicht mit dem Satz und wird auf zurückgewiesen gesetzt. Ebenso wird M2 entweder auf die erste oder die zweite Marke des Paares getestet. Wenn M2 nicht gleich einer der Marken ist, dann schneidet es sich nicht mit dem Satz und wird auf zurückgewiesen gesetzt. Dies wird für alle Verbindungssegmente mit Marke N wiederholt.

[0067] Zu diesem Zeitpunkt können M1 und M2 verschiedene Zustände haben, die in den Schritten **814**, **815–817**, **818–820** sowie **821–822** getestet werden. Wenn M1 eine gültige Marke ist und M2 zurückgewiesen wird, dann entspricht die durch M1 referenzierte Rohmarke Marke N. Wenn M2 eine gültige Marke ist und M1 zurückgewiesen wird, dann entspricht die durch M2 referenzierte Rohmarke Marke N. Die durch M1 oder M2 referenzierte 3D-Rohmarkenposition kann auf die Gemessene-Markenpositionstabelle **60 (Fig. 17)** kopiert werden. Wenn sowohl M1 als auch M2 zurückgewiesen werden oder leer sind, dann gibt es keine übereinstimmende Rohmarke für Marke N, und die Gemessene-Markenpositionstabelle **60 (Fig. 17)** wird für diese Marke auf fehlend gesetzt.

Beispiel

[0068] Das Durcharbeiten eines Beispiels soll die obigen Aussagen klären. Es wird Bezug genommen auf die Segment-Rohmarken-Querverweistabelle **56**

(**Fig. 15**), die Markensegmentsatztablelle **48 (Fig. 13)**, die 3D-Rohmarkentabelle **52 (Fig. 10)**, die Gemessene-Markenpositionstabelle **60** und das Ablaufdiagramm von **Fig. 8**, Markenkorrespondenzextraktion. Die folgende Eventfolge kann durch das Ablaufdiagramm verfolgt werden:

K = Körper **11a**

N = Marke **12a**

Setze M1 und M2 auf leer

Setze J auf erstes Segment in Markensegmentsatztablelle **48 (Fig. 13)** für Marke **12a**

Setze L auf Segmentlänge SLab wie durch J referenziert.

[0069] Es gibt ein qualifiziertes SLab-Segment in der Segment-Rohmarken-Querverweistabelle **56 (Fig. 16)**. Das Rohmarkenpaar ist R1, R2.

[0070] M1 ist leer, daher setze M1 = R1 und M2 = R2.

[0071] Rücke J zu zweitem Segment in Markensegmentsatztablelle **48 (Fig. 13)** für Marke **12a** vor.

[0072] Setze L auf Segmentlänge SLac gemäß Referenzierung durch J.

[0073] Es gibt ein qualifiziertes SLac-Segment in der Segment-Rohmarken-Querverweistabelle **56 (Fig. 15)**. Das Rohmarkenpaar ist R2, R4.

[0074] M1 ist nicht leer.

[0075] M1 ist nicht gleich R2 oder R4, daher setze M1 auf zurückgewiesen.

[0076] M2 ist gleich R2.

[0077] Rücke J auf drittes Segment in Markensegmentsatztablelle **48 (Fig. 13)** für Marke **12a** vor. Dies war das letzte Segment für Marke N.

Teste M1 und M2

[0078] M1 wird zurückgewiesen und M2 ist gleich R2, daher entspricht 3D-Rohmarke R2 der Ist-Marke N (**12a**).

[0079] Kopiere **3D** in Gemessene-Markenpositionstabelle **60 (Fig. 17)**.

[0080] Rücke N zu Marke **12b** vor.

[0081] Die obige Folge wird für Marken **12b** und **12c** wiederholt. Der Vorgang wird mit Rohmarke R2 wiederholt, aber wird in die Ist-Marke **12a** abgebildet, Rohmarke R4 wird in Ist-Marke **12b** abgebildet, und Rohmarke R1 wird in Ist-Marke **12c** abgebildet.

Ermittlung der Körperausrichtung (Lage)

[0082] Jetzt haben wir alle Informationen, die zum Ermitteln der Lage des starren Körpers benötigt werden. Dies wird in der Technik gut verstanden und hier nicht beschrieben. Die Lage wird in der Berechnete-Starrer-Körper-Positions- und -Ausrichtungstabelle **62 (Fig. 18)** gespeichert.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Ermitteln des/der räumlichen Ortes und Ausrichtung von jedem aus einer Mehrzahl

von Körpern, wobei die Vorrichtung Folgendes umfasst:

Positionserfassungsmittel (**14**) zum Festlegen eines dreidimensionalen Koordinatenraums und mit einem Energieerkennungsmittel (**18L**, **18R**), das die Aufgabe hat, Energie zu erfassen, die von einer Quelle an einer Position in dem Koordinatenraum ausgeht, und als Reaktion darauf Signale zu erzeugen, die für die Position einer erkannten Quelle repräsentativ sind; Verarbeitungsmittel (**28**), die mit dem Positionserfassungsmittel (**14**) gekoppelt sind, um die genannten Signale zu empfangen, und deren Aufgabe es ist, davon in den Koordinaten (X, Y, Z) des genannten Raums die Position ($R_1 \dots$) einer erkannten Quelle zu ermitteln, wobei die Verarbeitungsmittel (**28**) ferner Folgendes umfassen:

einen Speicher (**40**), in dem eine Mehrzahl von festen relativen geometrischen Beziehungen gespeichert sind, wobei jede solche Beziehung ein entsprechendes anderes Muster von wenigstens drei Markenpositionen (**12a**, **12b**, **12c**) anhand der Längen aller Segmente (SLab, SLac, SLbc), die von einem Paar der Markenpositionen (**12a**, **12b**; **12a**, **12c**; **12b**, **12c**) terminiert werden, wobei sich alle Längen voneinander unterscheiden, und eine vorbestimmte Winkeleigenschaft jedes Segmentpaares definiert;

Mittel (**405**, **406**) zum Ermitteln von Distanzen, die von Paaren von Positionen (R_1 , $R_2 \dots$) von erkannten Quellen definiert werden, und Wählen derjenigen solcher definierter Distanzen, die mit im Speicher (**40**) gespeicherten Segmentlängen übereinstimmen;

Mittel (**407**) zum Ermitteln der genannten vorbestimmten Winkeleigenschaft jedes Paares der genannten gewählten definierten Distanzen, das einem Segmentpaar mit einer gespeicherten vorbestimmten Winkeleigenschaft entspricht, Vergleichen der vorbestimmten Winkeleigenschaft des Paares von gewählten definierten Distanzen mit der gespeicherten Winkeleigenschaft des entsprechenden Segmentpaares und, wenn die verglichenen Winkeleigenschaften übereinstimmen, Wählen jedes Paares von Positionen von erkannten Quellen, die das Paar von gewählten definierten Distanzen definieren;

Mittel (**408**) zum Identifizieren solcher gewählter Positionen von erkannten Quellen mit einzelnen der gespeicherten Markenpositionen und zum Bilden von Sätzen der identifizierten gewählten Positionen, die den verschiedenen Mustern von Markenpositionen (**12a**, **12b**, **12c**; **12d**, **12e**, **12f**) entsprechen;

und Mittel (**801–827**) zum Speichern jedes solchen Satzes (**60**) von Positionen im Speicher (**40**), um einen Ort und eine Ausrichtung für das entsprechende Muster in dem genannten Raum zu definieren; und wobei die Vorrichtung ferner eine Mehrzahl von Sätzen von Marken (**12a**, **12b**, **12c**; **12d**, **12e**, **12f**) umfasst, wobei jeder Satz von Marken so angeordnet ist, dass er einem jeweiligen einen der genannten Muster auf einem jeweiligen Objekt (**11a**; **11b**) entspricht, und wobei jede Marke die Aufgabe hat, von dem Energieerkennungsmittel (**18L**, **18R**) erkennba-

re Energie zu emittieren oder zu reflektieren.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Verarbeitungsmittel (**28**) Mittel (**409**) zum Vergleichen jedes gespeicherten Satzes (**60**) von Positionen mit einem entsprechenden einen (**42**) der gespeicherten Muster von Markenpositionen beinhaltet.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Energieerkennungsmittel eine stereometrische Anordnung eines Paares von zweidimensionalen Feldern von Sensoren (**18L**, **18R**) umfasst, wobei das Positionserfassungsmittel Mittel (**22L**, **22R**) zum Bilden von fokussierten Energiebildern von Energiequellen im Koordinatenraum auf den Sensorfeldern (**18L**, **18R**) beinhaltet, und wobei das Verarbeitungsmittel (**28**) Mittel (**Fig. 5**) zum Ermitteln der Position einer Quelle in den Koordinaten des genannten Raums beinhaltet, indem Projektionen durch die Abbildung (**22L**, **22R**) von Bildern errechnet werden, die auf den Sensorfeldern (**18L**, **18R**) gebildet sind.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Positionserfassungsmittel (**14**) Mittel (**24L**, **24R**) zum Richten von Energie in den Koordinatenraum beinhaltet und wenigstens einige der Marken (**12a**, **12c**) passive, energiereflektierende Marken sind.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Verarbeitungsmittel (**28**) die Aufgabe hat, die Aktivierung des Energierichtmittels (**24L**, **24R**) zu steuern.

6. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens einige der Marken (**12b**) energieemittierende Marken sind.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Verarbeitungsmittel (**28**) die Aufgabe hat, die Aktivierung der energieemittierenden Marken (**12b**) zu steuern.

8. Verfahren zum Ermitteln des/der räumlichen Ortes und Ausrichtung von jedem auf einer Mehrzahl von Körpern, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

Versehen jedes Körpers (**11a**, **11b**) mit einem Satz von wenigstens drei Marken (**12a**, **12b**, **12c**; **12d**, **12e**, **12f**), wobei jede Marke die Aufgabe hat, Energie zu emittieren oder zu reflektieren, und wobei jeder Satz in einem anderen Muster auf dem jeweiligen Objekt angeordnet ist, wobei das Muster durch eine entsprechende feste relative geometrische Beziehung zwischen den Positionen der Marken definiert und so gestaltet ist, dass die Längen aller Segmente (SLab, SLac, SLbc), die durch ein Paar der Marken-

positionen terminiert werden, sich voneinander unterscheiden;

Speichern einer Definition jeder der genannten festen relativen geometrischen Beziehungen in einem Speicher (40), wobei jede Definition die Segmentlängen in Verbindung mit den Markenpaaren in dem entsprechenden Satz und eine vorbestimmte Winkeleigenschaft jedes Segmentpaares umfasst;

Erstellen eines dreidimensionalen Koordinatensystems in einem Raum, das die Mehrzahl von Körpern (11a, 11b) enthält, und Erkennen von Energie, die von Quellen an Positionen in dem genannten Raum ausgeht;

Erzeugen von Signalen, die für die Position der erkannten Quelle repräsentativ sind, als Reaktion auf die Erkennung jeder Quelle in dem genannten Raum; Ermitteln jeder genannten Position in dem dreidimensionalen Koordinatensystem;

Ermitteln von Distanzen, die durch Paare der Positionen ($R_1, R_2 \dots$) der erkannten Quellen definiert werden;

Vergleichen (606, 607) der genannten Distanzen mit gespeicherten Segmentlängen und Wählen (608) derjenigen der genannten Distanzen, die mit gespeicherten Segmentlängen übereinstimmen;

Ermitteln (709) der genannten vorbestimmten Winkeleigenschaft jedes Paares der genannten gewählten Distanzen, das einem Segmentpaar mit einer gespeicherten vorbestimmten Winkeleigenschaft entspricht;

Vergleichen (710) der vorbestimmten Winkeleigenschaft jedes solchen Paares der gewählten Distanzen mit der gespeicherten vorbestimmten Eigenschaft des entsprechenden Segmentpaares, und, wenn die verglichenen Winkeleigenschaften übereinstimmen, Wählen (712, 714) jedes Paares der Positionen ($R_1, R_2 \dots$) der erkannten Quellen, das das Paar von gewählten Distanzen definiert, und dadurch Identifizieren der genannten gewählten Positionen von erkannten Quellen mit einzelnen der gespeicherten Marken in Verbindung mit den gespeicherten Winkeleigenschaften; und

Assoziieren (801–827) des Satzes von Marken (12a, 12b, 12c) jeder genannten gespeicherten Definition mit einem jeweiligen Satz der genannten identifizierten gewählten Positionen in dem Speicher (40).

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die genannten identifizierten gewählten Positionen (60), die mit dem Satz von Marken (12a, 12b, 12c) einer genannten gespeicherten Definition assoziiert sind, mit identifizierten Referenzpositionen (42) verglichen werden, die mit dem Satz von Marken (12a, 12b, 12c) derselben gespeicherten Definition assoziiert sind, um Schlingern, Stampfen und Gieren (62) des entsprechenden Körpers (11a) zu ermitteln.

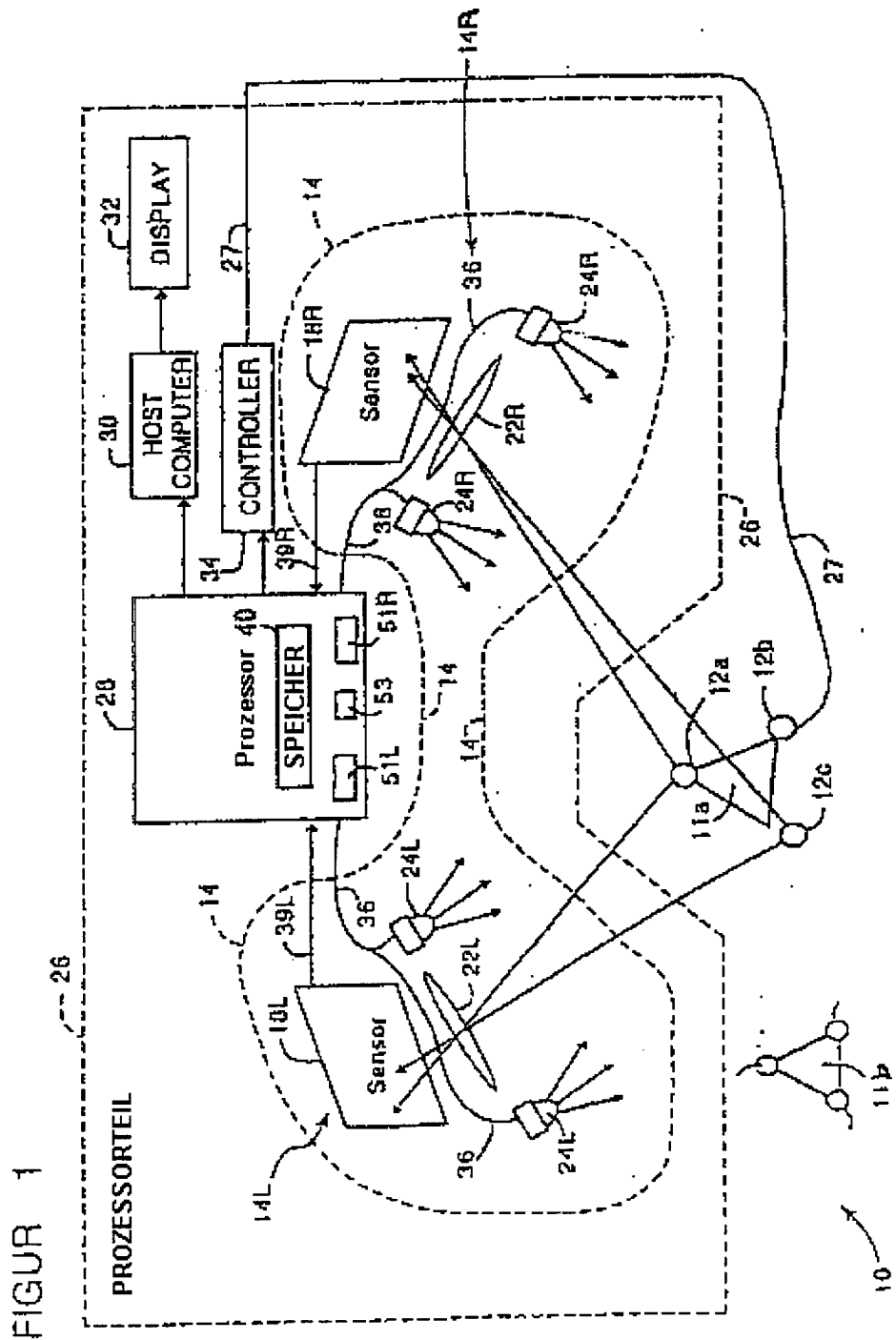
10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die genannten identifizierten

gewählten Positionen (60), die mit dem Satz von Marken (12a, 12b, 12c) einer genannten gespeicherten Definition assoziiert sind, mit identifizierten Referenzpositionen (42) verglichen werden, die mit dem Satz von Marken (12a, 12b, 12c) derselben gespeicherten Definitionen assoziiert sind, um eine Translation (62) des entsprechenden Körpers (11a) zu ermitteln.

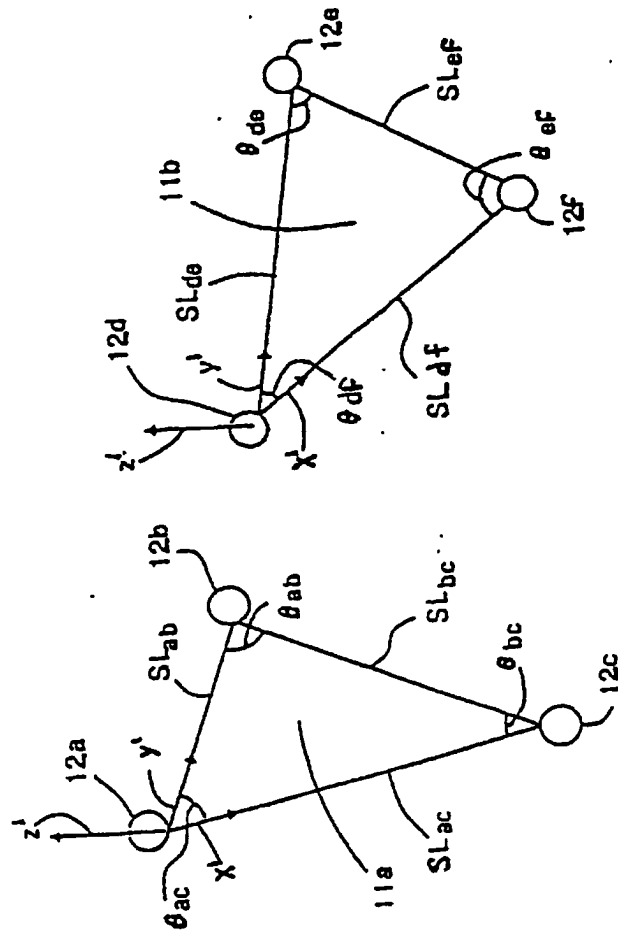
11. Verfahren nach Anspruch 8, 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt des Erzeugens von Signalen, die für die Position einer erkannten Quelle repräsentativ sind, das Bilden von fokussierten Energiebildern einer Energiequelle in dem genannten Raum auf einem Paar von zweidimensionalen Feldern von Sensoren (18L, 18R) in einer stereometrischen Anordnung umfasst, und der Schritt des Ermittlens der Position in dem dreidimensionalen Koordinatensystem das Berechnen eines Schnittpunktes von Projektionen von dem Paar Felder beinhaltet.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass eine Mehrzahl von Segmenten im Hinblick auf die Länge gleich sind und jeweils Elemente von verschiedenen der genannten geometrischen Beziehungen sind, und dadurch, dass dort, wo eine Mehrzahl der geometrischen Beziehungen ein oder mehrere Paare solcher gleicher Segmente beinhalten, die genannten vorbestimmten Winkeleigenschaften solcher Paare sich voneinander unterscheiden.

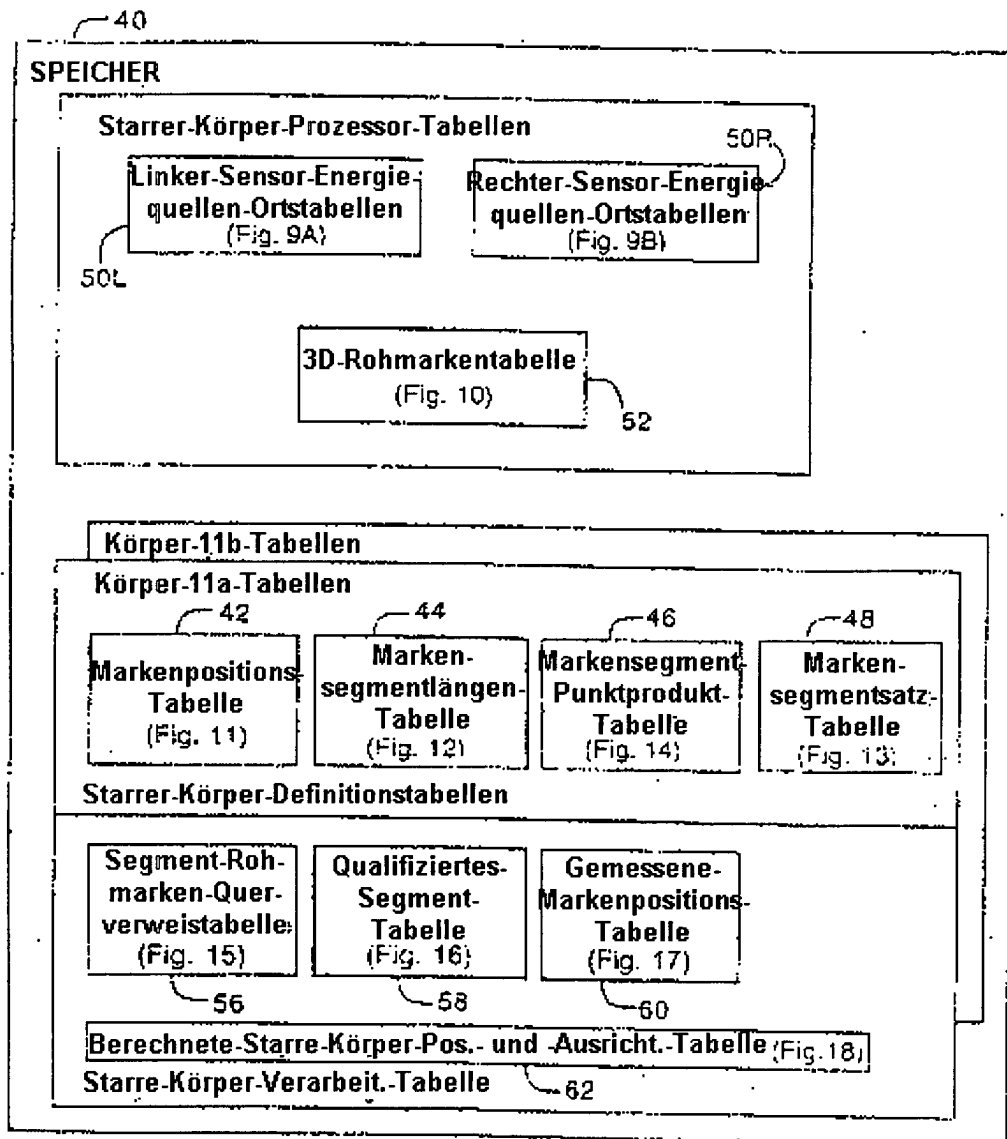
Es folgen 16 Blatt Zeichnungen



FIGUR 2

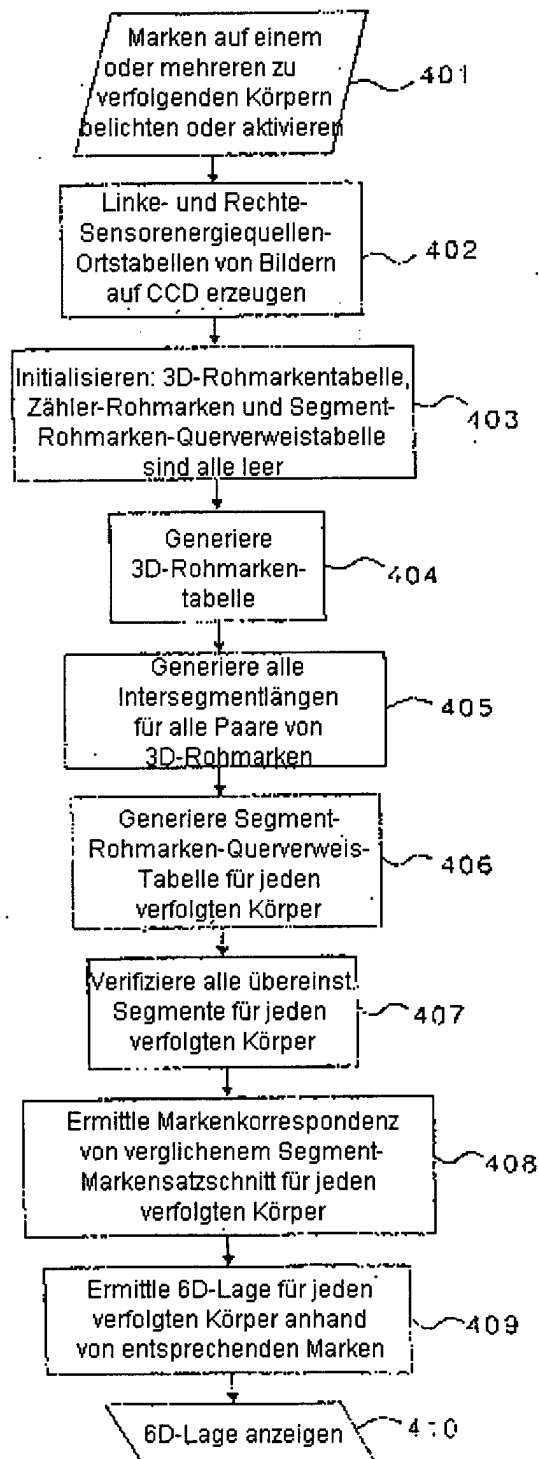


FIGUR 3

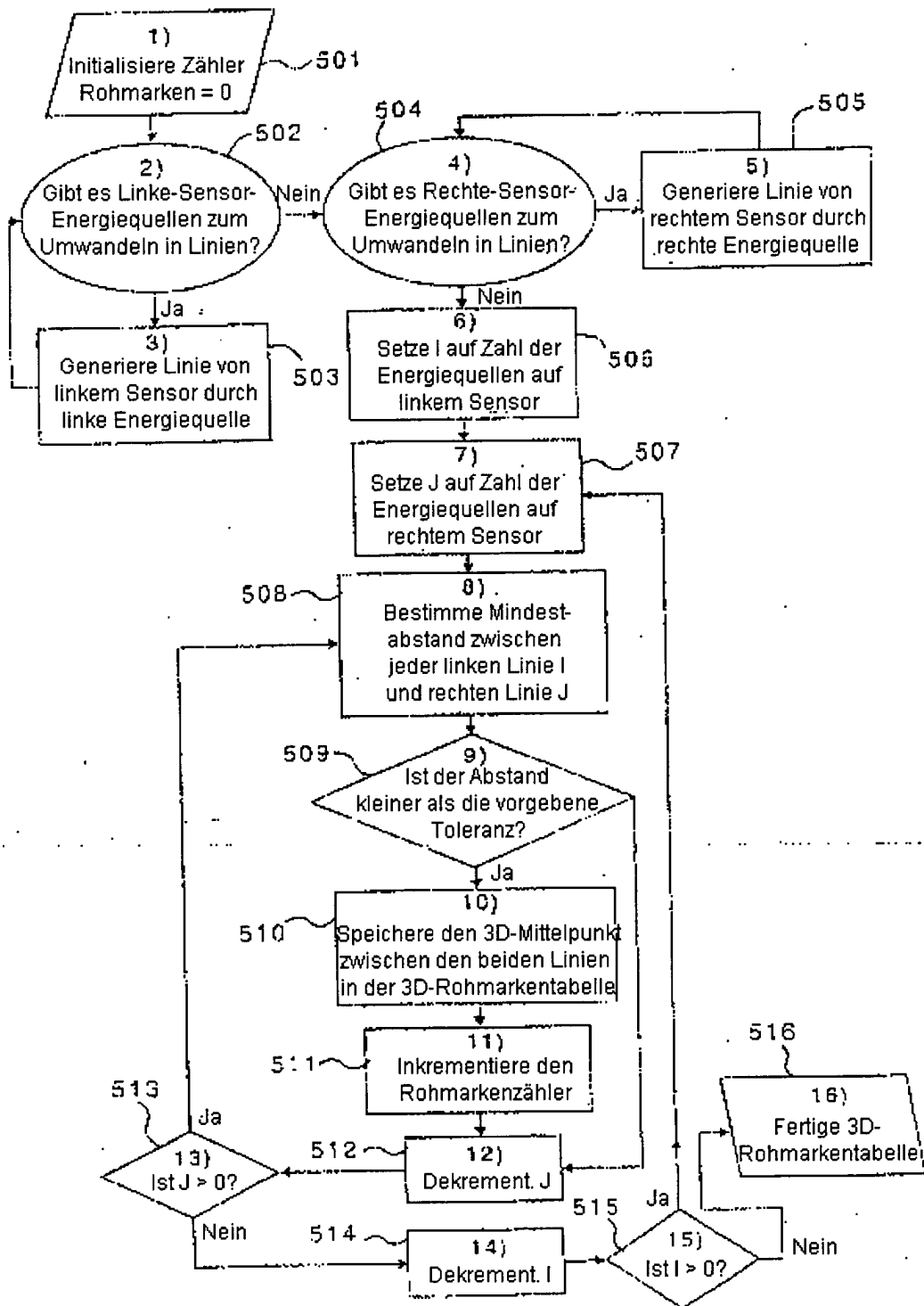


FIGUR 4

Körperausrichtung (Lage) bestimmen



FIGUR 5 Generiere 3D-Rohmarkentabelle 52 (Fig. 16)



FIGUR 6

FIG. 6A
FIG. 6B

FIGUR 7

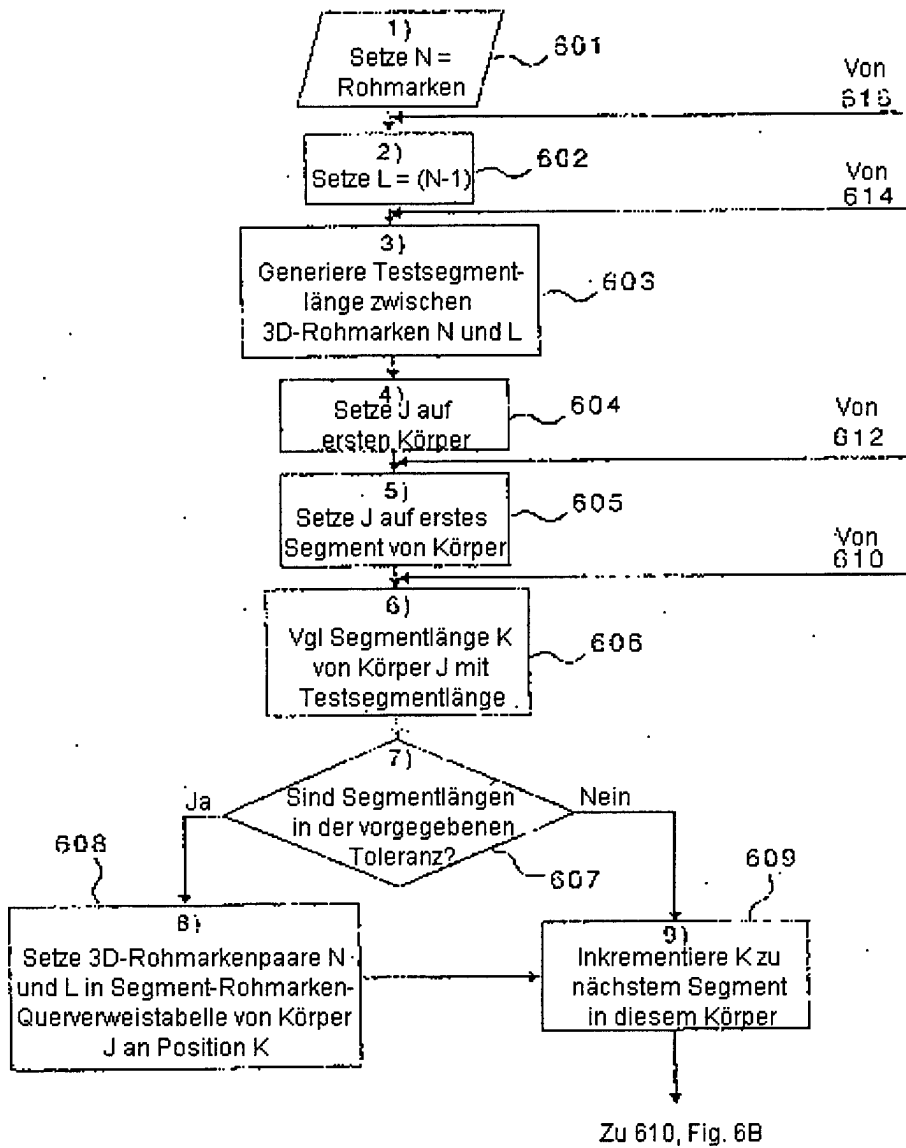
FIG. 7A
FIG. 7B
FIG. 7C

FIGUR 8

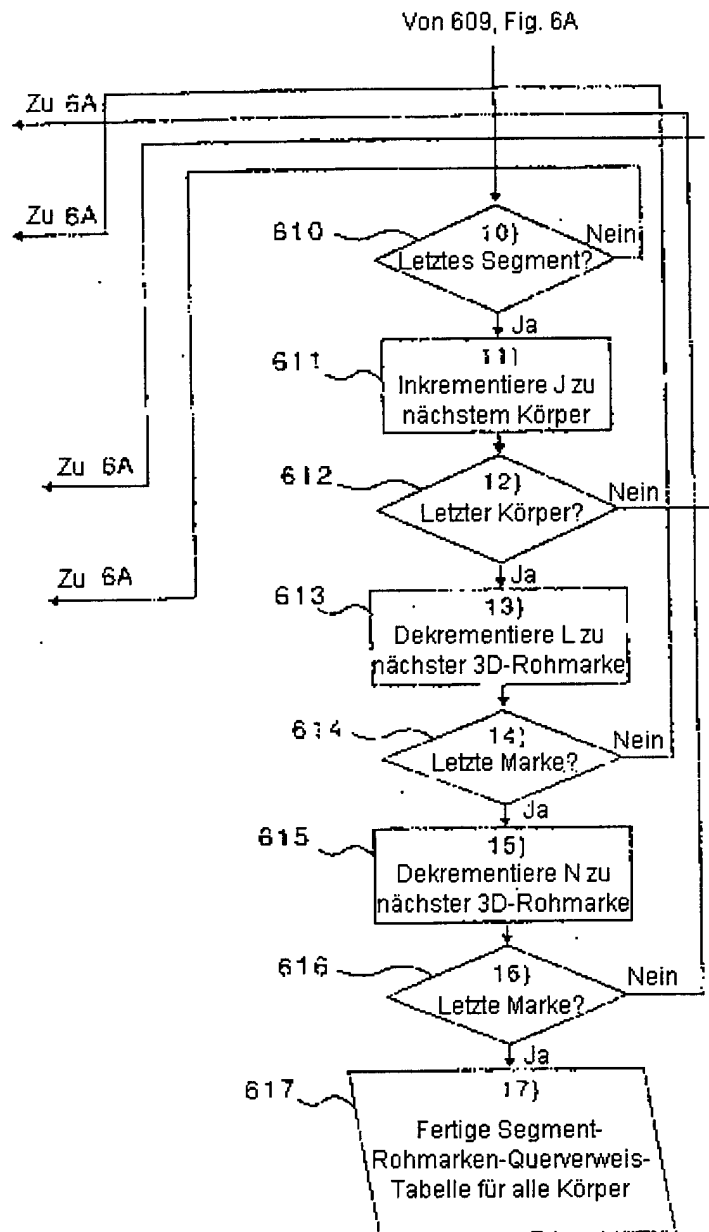
FIG. 8A
FIG. 8B

FIGUR 6A

Generiere Segment-Rohmarken-Querweistabelle für alle Körper

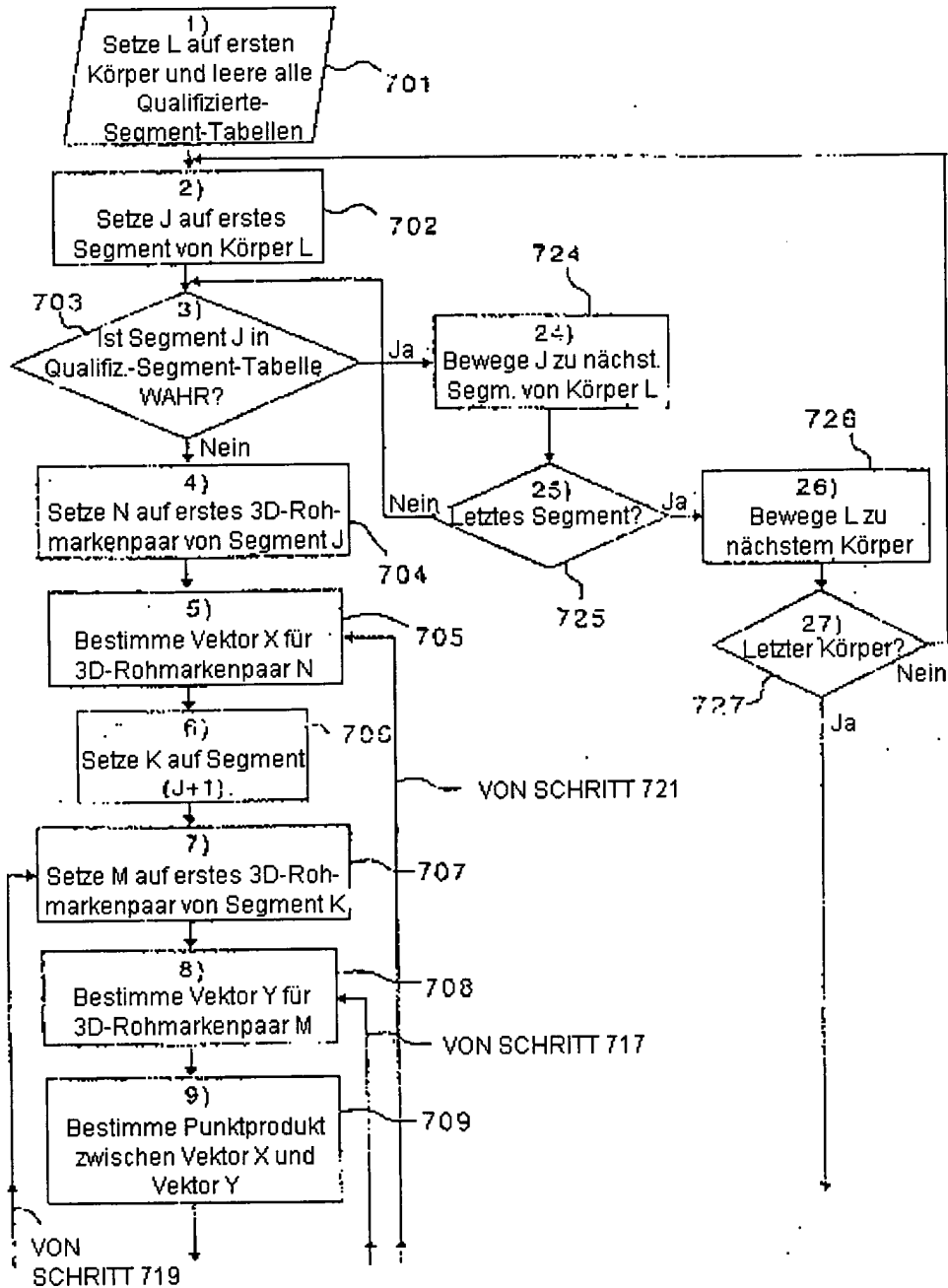


FIGUR 6B

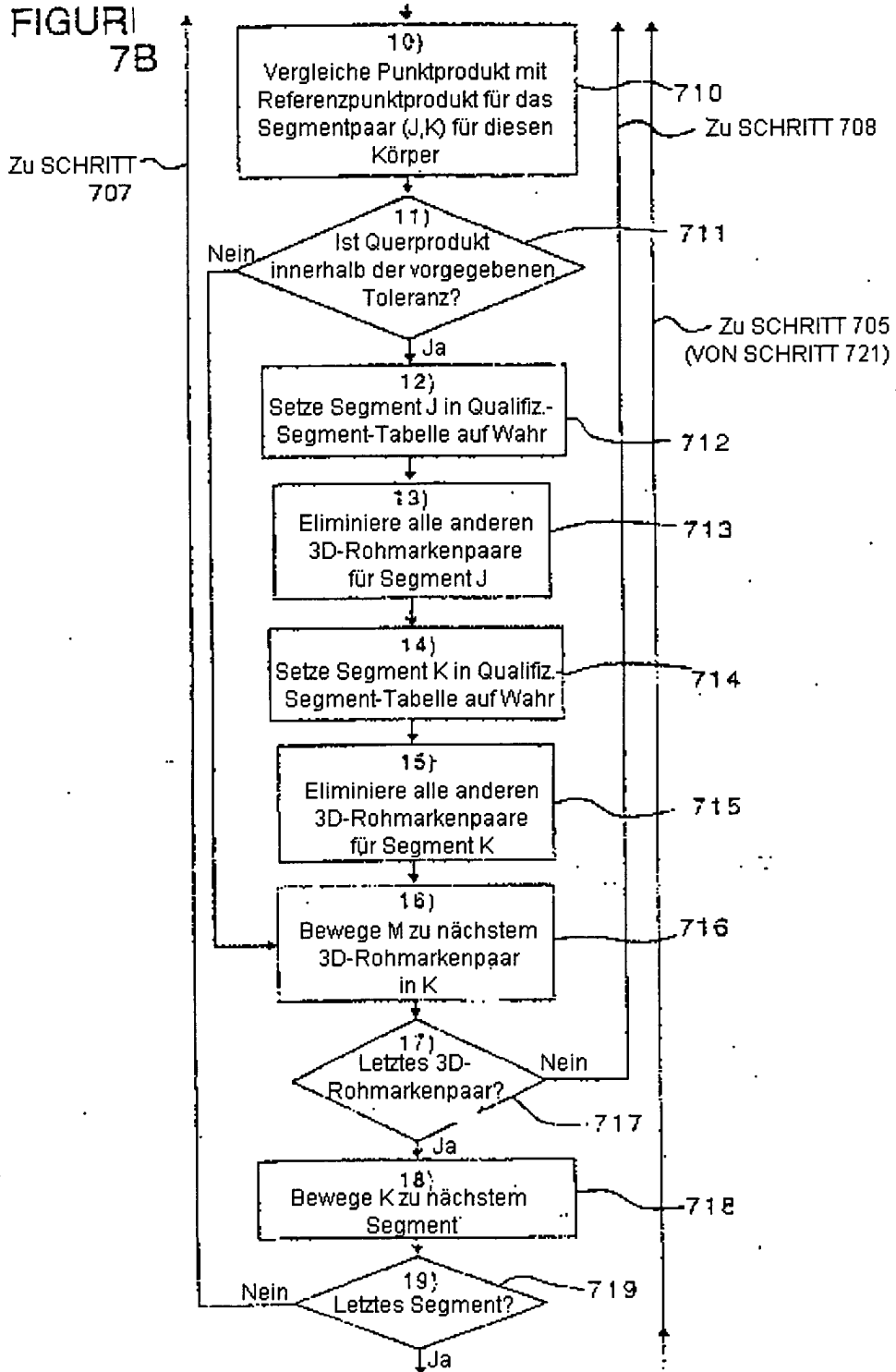


FIGUR. 7A

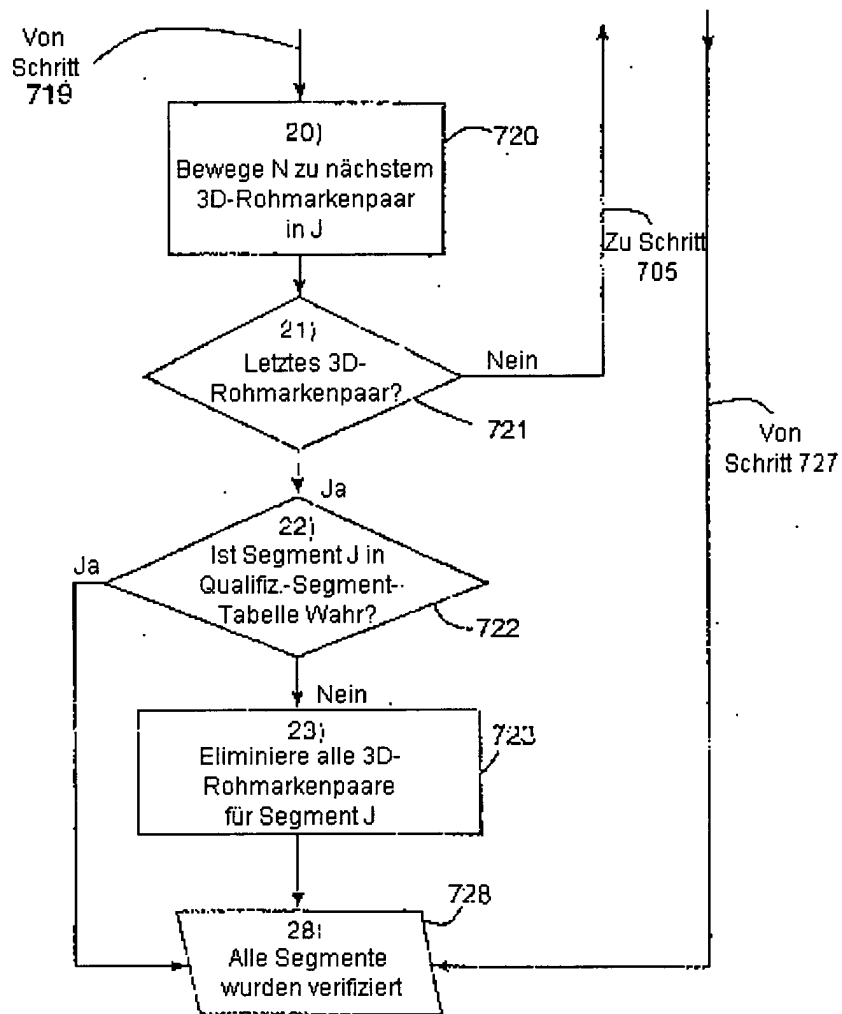
Segmentverifizierung



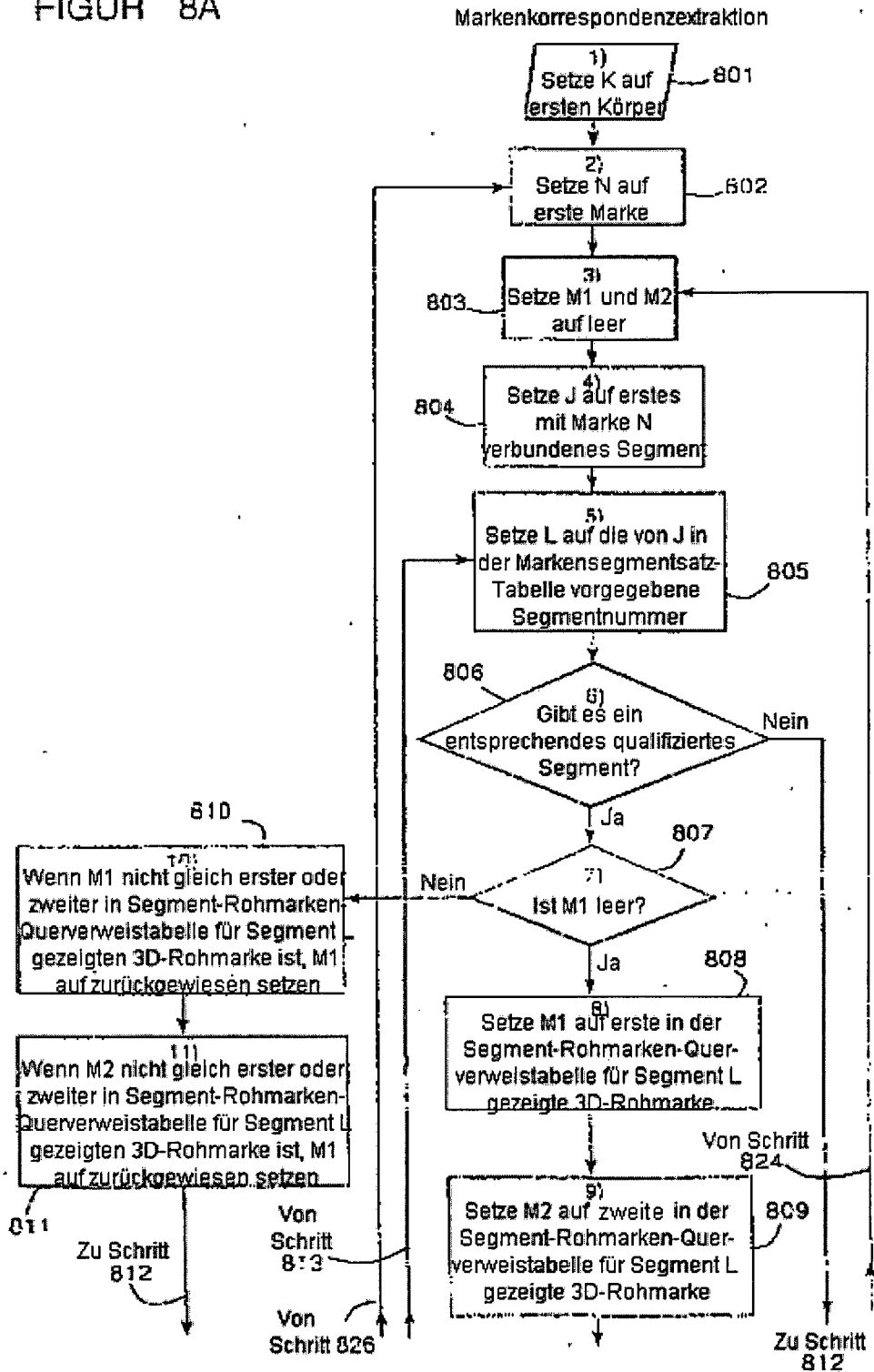
FIGUR 7B



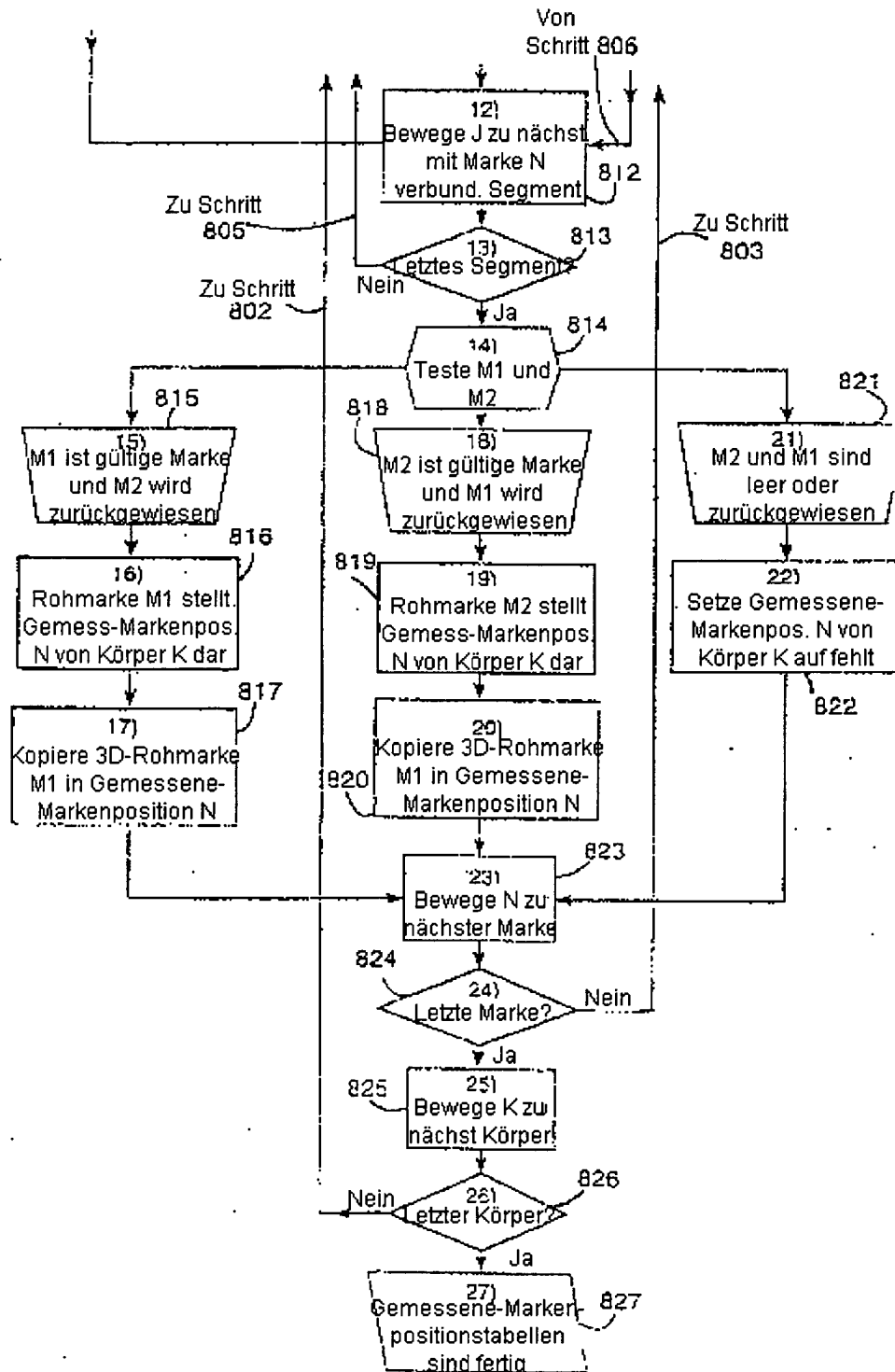
FIGUR 7C



FIGUR 8A



FIGUR 8B



FIGUR 9A

Energiequelle LinkeQuellen=4	U-Ort (Pixel)	V-Ort (Pixel)
S ₁	1300.53	3025.50
S ₂	2300.82	1500.79
S ₃	1500.76	3325.78
S ₄	2048.16	1130.94
...		

Linke-Sensorenergiequellentabelle 50L

FIGUR 9B

Energiequelle LinkeQuellen=4	U-Ort (Pixel)	V-Ort (Pixel)
S ₅	1313.53	2325.50
S ₆	1523.82	1300.79
S ₇	1715.76	2325.78
S ₈	1348.16	3130.94
...		

Rechte-Sensorenergiequellentabelle 50R

FIGUR 10

Rohmarkennummer RohMarken=4	X	Y	Z
R ₁	7.1346	83.6348	-2016.5673
R ₂	7.2096	23.6350	-2016.4579
R ₃	7.1346	83.6348	-2066.5673
R ₄	50.9067	23.6453	-2040.7595
S			
...			
M			

3D-Rohmarkentabelle 52

FIGUR 11

Marke	X ¹	Y ¹	Z ¹
12 _a	0	0	0
12 _b	50	0	0
12 _c	0	60	0

Markenpositionstabelle 42

FIGUR 12

Segment	Länge
SL _{ab}	60
SL _{bc}	78,10
SL _{ac}	50

Markensegmentlängentabelle 44

FIGUR 13

Marke	Segment 1	Segment 2
12 _a	SL _{ab}	SL _{ac}
12 _b	SL _{ab}	SL _{bc}
12 _c	SL _{ac}	SL _{bc}

Markensegmentsatztable 48

FIGUR 14

Winkel	Segment 1	Segment 2	Punktprodukt
Θ_{ab}	SL _{ab}	SL _{bc}	3600
Θ_{ac}	SL _{ab}	SL _{ac}	0
Θ_{bc}	SL _{bc}	SL _{ac}	2500

Markensegment-Punktprodukttable 46

FIGUR 15

Segment	Gesamt-Rohpaare	Rohmarkenpaare					
		Paar 1	Paar 2	Paar 3	Paar 4	...	Paar N
SL _{ab}	1	R ₁ ,R ₂					
SL _{bc}	3	R ₁ ,R ₄	R ₃ ,R ₄	R ₂ ,R ₃			
SL _{ac}	2	R ₂ ,R ₄	R ₁ ,R ₃				

Segment-Rohmarken-Querweistabelle 56

FIGUR 16

Segment	Qualifiziert
SL _{ab}	WAHR
SL _{bc}	WAHR
SL _{ac}	WAHR

Qualifiziertes-Segment-Tabelle 58

FIGUR 17

Marke	X	Y	Z
12 _a	7.2096	23.6350	-2016.4579
12 _b	50.9067	23.6453	-2040.7595
12 _c	7.1346	83.6349	-2016.5673

Gemessene-Markenposition-Tabelle 60

FIGUR 18

Rollen (Radians)	Stauf. (Radians)	Gieren (Radians)	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)
0.00023	0.50754	-0.00208	7.209	23.634	-2016.457

Berechnete-Starrer-Körper-Positons- und -Ausrichtungstabelle 62