



PCT
WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

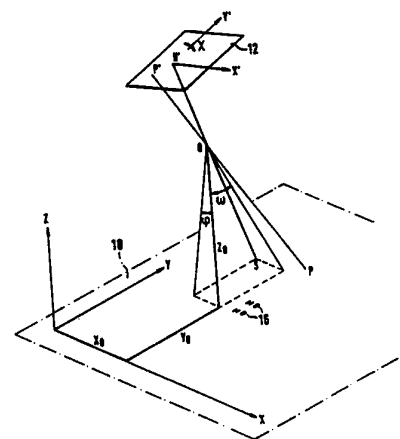
(51) Internationale Patentklassifikation 5 : <p style="text-align: center; font-weight: bold;">G01B 11/02</p>	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 94/03775 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 17. Februar 1994 (17.02.94)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE93/00628 (22) Internationales Anmeldedatum: 14. Juli 1993 (14.07.93) (30) Prioritätsdaten: P 42 25 270.9 31. Juli 1992 (31.07.92) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): E.M.S. TECHNIK GMBH [DE/DE]; Sägemühlenstraße 89, D-26789 Leer (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US) : KELLNER, Helmut [DE/DE]; Auf der Kave 50, D-26802 Moormerland-Veehn. (DE). (74) Anwalt: THÖMEN & KÖRNER; Zeppelinstraße 5, D-30175 Hannover (DE).	(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>	

(54) Title: PROCESS FOR DETERMINING THE LOCATION OF A POSITIONING BODY IN RELATION TO A REFERENCE BODY AND DEVICE FOR IMPLEMENTING THE PROCESS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR LAGEBESTIMMUNG EINES POSITIONIERKÖRPERS RELATIV ZU EINEM BEZUGSKÖRPER UND VORRICHTUNG ZUR DURCHFÜHRUNG DES VERFAHRENS

(57) Abstract

The description relates to a process for determining the location of a positioning body in relation to a reference body and a device for implementing it. The positioning body (10) bears a scale with evenly spaced markings and the reference body comprises a scanner (12) with a projection surface on which the mark (16) of the scale are projected and imaging optics. The co-ordinates of the centre of projection of the imaging optics are calculated by evaluating the mark (16) arranged on the scale. Here, coded marks of two perpendicular surface scales of the scale or the positioning body are decoded and at least four centres of intersection regions of the marks of both surface scales confining an area are determined. The calculation is made via the projective relationship between the projection surface of the scanner and the plane of the scale bearing the marks.



(57) Zusammenfassung

Es werden ein Verfahren zur Lagebestimmung eines Positionierkörpers relativ zu einem Bezugskörper und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens beschrieben. Der Positionierkörper (10) trägt eine Massstabsanordnung mit Marken konstanten Abstandes und der Bezugskörper umfasst einen Abtaster (12) mit einer Projektionsfläche, auf die die Marken (16) des Massstabs projiziert werden, sowie eine Abbildungsoptik. Die Koordinaten des Projektionszentrums der Abbildungsoptik werden über eine Auswertung der auf dem Massstab angeordneten Marken (16) berechnet. Dabei werden kodierte Marken zweier orthogonal ausgerichteter Flächenmassstäbe der Massstabsanordnung des Positionierkörpers dekodiert und wenigstens vier eine Fläche begrenzende Schwerpunkte von Überschneidungsbereichen der Marken beider Flächenmassstäbe bestimmt. Die Berechnung erfolgt über die projektive Verwandtschaft zwischen der Projektionsfläche des als Abtaster ausgebildeten Abtasters und der die Marken tragenden Ebene der Massstabsanordnung.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Code, die zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	FI	Finnland	MR	Mauritanien
AU	Australien	FR	Frankreich	MW	Malawi
BB	Barbados	GA	Gabon	NE	Niger
BE	Belgien	GB	Vereinigtes Königreich	NL	Niederlande
BF	Burkina Faso	GN	Guinea	NO	Norwegen
BG	Bulgarien	GR	Griechenland	NZ	Neuseeland
BJ	Benin	HU	Ungarn	PL	Polen
BR	Brasilien	IE	Irland	PT	Portugal
BY	Belarus	IT	Italien	RO	Rumänien
CA	Kanada	JP	Japan	RU	Russische Föderation
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SD	Sudan
CC	Kongo	KR	Republik Korea	SE	Schweden
CH	Schweiz	KZ	Kasachstan	SI	Slowenien
CI	Côte d'Ivoire	LI	Liechtenstein	SK	Slowakischen Republik
CM	Kamerun	LK	Sri Lanka	SN	Senegal
CN	China	LU	Luxemburg	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LV	Lettland	TC	Togo
CZ	Tschechischen Republik	MC	Monaco	UA	Ukraine
DE	Deutschland	MG	Madagaskar	US	Vereinigte Staaten von Amerika
DK	Dänemark	ML	Mali	UZ	Usbekistan
ES	Spanien	MN	Mongolei	VN	Vietnam

**Verfahren zur Lagebestimmung eines Positionierkörpers
relativ zu einem Bezugskörper und Vorrichtung zur
Durchführung des Verfahrens**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Lagebestimmung eines Positionierkörpers relativ zu einem Bezugskörper nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Ein solches Verfahren dient z. B. dazu, bei der Steuerung von Meß- und Fertigungsmaschinen Wegstrecken zwischen längsverschieblichen Gegenständen, wie Meßköpfen, Greif- oder Montagearmen zu erfassen. Dabei ist die Genauigkeit, mit der diese Wegstrecken ermittelt werden können, von ausschlaggebender Bedeutung für die Fertigungsgenauigkeit des Automaten.

Aus der DE-OS 39 09 856 ist bereits ein Verfahren bekannt, das eine hohe Meßgenauigkeit unabhängig von einer

- 2 -

exakten Führung des Abtasters ermöglicht. Dabei werden von einem Abtaster drei Marken eines Maßstabes ausgewertet. Bei zwei Marken wäre der zwischen einem Projektionszentrum und diesen Marken gebildete Projektionswinkel noch davon abhängig, in welchem Abstand sich das Projektionszentrum über den Marken befindet und wie weit er seitlich versetzt ist. Bei drei Marken gelingt es, über den weiteren Projektionswinkel zwischen dem Projektionszentrum, dieser weiteren Marke und einer der anderen Marken das Projektionszentrum exakt zu bestimmen. Für eine Kombination von zwei Kombinationswinkeln existiert nämlich nur ein einziger Ort, auf dem sich das Projektionszentrum befinden kann.

Zusätzlich ist aus der DE-PS 41 04 602 bekannt, die Koordinaten des Projektionszentrums einer Abbildungsoptik aus den bekannten Koordinaten von Marken auf der Maßstabsanordnung über die projektive Verwandtschaft zwischen der Projektionsfläche des Abtasters und der Ebene der Maßstabsanordnung zu berechnen. Die Marken erhalten ihre Koordinateninformation bezüglich der Maßstabsanordnung in kodierter Form. Die Koordinateninformation wird bei der Berechnung dekodiert.

Weiterhin ist aus dem Buch von G. Konecny und G. Lehmann:

Photogrammetrie, 4. Auflage, de Gruyter, Berlin - New York, 1984, S. 48 - 55 für sich bekannt, zur Koordinatenbestimmung eine projektive Verwandtschaft auszunutzen und einen Neigungswinkel zwischen einer Projektionsfläche und einer Urbildebene zu berücksichtigen. Zur Herstellung der Projektivität zwischen zwei Ebenen werden vier bekannte Punkte herangezogen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, alle Lageparameter der Lage eines Positionierkörpers gegenüber einem Bezugskörper mit einem einzigen Abtaster zu erfassen.

Diese Aufgabe wird bei dem im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 beschriebenen Verfahren durch die im Kennzeichen angegebenen Merkmale sowie durch die Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Patentanspruch 7 gelöst.

Bei der Erfindung enthalten die Marken die Absolutinformation ihrer Koordinaten auf der Maßstabsanordnung in kodierter Form. Die Kodierung ist als unterschiedliche Strichbreite realisiert. Die Schwerpunkte der Überschneidungsbereiche der Marken entsprechen dabei exakt den Orten, die durch die Kodierung beschrieben sind.

Über die projektive Verwandtschaft besteht eine Beziehung

zwischen den Koordinaten auf dem Positionierkörper, also der die Marken tragenden Ebene der Maßstabsanordnung und der Projektionsfläche des Abtasters. Die Beziehung läßt sich mathematisch durch die Gleichungen der kollinearen Transformation beschreiben, die in ihrer allgemeinen Formel lautet:

$$X = \frac{a1 * X' + a2 * Y' + a3}{c1 * X' + c2 * Y' + 1}$$

$$Y = \frac{b1 * X' + b2 * Y' + b3}{c1 * X' + c2 * Y' + 1}$$

Es handelt sich hierbei um zwei Gleichungen mit acht Unbekannten. Durch die Auswahl von vier Schwerpunkten gelingt es nun, acht Gleichungen aufzustellen und auf diese Weise die acht Unbekannten zu bestimmen. Damit ist es möglich, alle Parameter zur Festlegung der räumlichen Lage eines Positionierkörpers relativ zu einem Bezugskörper anzugeben (sechs Freiheitsgrade).

Die exakte Berechnung kann mit den in Anspruch 2 angegebenen Formeln durchgeführt werden, die bereits nach den Koordinaten des Projektionszentrums und den Orientierungswinkeln zwischen der Projektionsfläche des Abtasters

und der Ebene der Maßstabsanordnung aufgelöst sind.

Eine Weiterbildung sieht vor, daß mehr als vier Schwerpunkte von Überschneidungsbereichen der Marken bei der Flächenmaßstäbe bestimmt werden und daß eine Ausgleichsrechnung vorgenommen wird.

Bei mehr als vier Schwerpunkten ergibt sich eine Überbestimmung. Durch Einbeziehung dieser weiteren Schwerpunkte in die Berechnung kann das Meßergebnis durch Ausgleichsrechnung verbessert werden. Ungenauigkeiten in der mechanischen Ausgestaltung der Marken und des Abtasters, optische Fehler sowie Rundungsfehler bei der Rechnung lassen sich so reduzieren.

Weiterhin ist vorgesehen, daß ausschließlich die Überschneidungsbereiche der Marken auf dem Abtaster abgebildet werden.

Durch diese Maßnahme läßt sich ein besserer Kontrast bei der Auswertung der Helligkeitsunterschiede in Zeilen- und Spaltenrichtung des Pixelfeldes eines Abtasters erzielen. Außerdem sind so die Überschneidungsbereiche exakt gegen das Umfeld abgegrenzt, wodurch sich die Berechnung der Schwerpunkte vereinfacht.

Bei der Auswertung können die Überschneidungsbereiche der Marken nach Koordinatenrichtung getrennt ausgewertet werden, indem nach dem Verfahren der Randverteilung die absoluten Häufigkeiten der Helligkeitswerte der Überschneidungsbereiche der Marken in Spalten- und Zeilenrichtung der lichtempfindlichen Pixel des Abtasters bestimmt werden und mit einem Schwellwert verglichen werden. Die über dem Schwellwert liegenden Häufigkeiten werden dann als die von den Marken belegten Koordinaten gewertet.

Das Verfahren ermöglicht es, durch einfaches zeilen- bzw. spaltenweises Summieren der Helligkeiten des Pixelfeldes ein Signal zu erzeugen, das eine Funktion der örtlichen Lage der Marken darstellt. Durch die Einfügung eines Schwellwertes lassen sich Störsignale und Randunschärfen, die bei nicht paralleler Ausrichtung der Marken gegenüber der Ausrichtung der Zeilen und Spalten des Pixelfeldes entstehen, mindern.

Weiterhin ist vorgesehen, daß die Schwerpunkte der Überschneidungsbereiche der Marken durch Mittelwertbildung in beiden Koordinatenrichtungen gewonnen werden, indem jeweils Pixelfelder des Abtasters als Suchfelder ausgebildet werden und in jedem Suchfeld die Koordinaten des

Schwerpunktes X_s und Y_s nach den Schwerpunktgleichungen

$$X_s = \frac{1}{N_{Lok}} * \sum_{i=1}^{N_{Lok}} X_i$$

$$Y_s = \frac{1}{N_{Lok}} * \sum_{i=1}^{N_{Lok}} Y_i$$

bestimmt werden.

Diese Vorgehensweise liefert auch dann den Schwerpunkt, wenn die Marke durch mechanische oder optische Einflüsse eine unregelmäßige Ausgestaltung aufweist.

Weiterbildungen und vorteilhafte Ausgestaltungen von Verfahren und Vorrichtung ergeben sich aus den Ansprüchen, der weiteren Beschreibung und der Zeichnung, anhand der die Erfindung näher beschrieben wird.

In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 eine schematische perspektivische Ansicht eines Positionierkörpers relativ zu einem Bezugskörper mit einem Abtaster,

Fig. 2 eine Draufsicht auf einen Abtaster mit abgebildeten Marken zur Veranschaulichung des Verfahrens der Randverteilung und

Fig. 3 eine vergrößerte Draufsicht auf einen Abtaster zur Veranschaulichung der Schwerpunktbestimmung.

Fig. 1 zeigt eine schematische perspektivische Ansicht eines Positionierkörpers mit einer eine Maßstabsanordnung aufweisenden Ebene 10 relativ zu einem Bezugskörper mit einem Abtaster 12. Der Abtaster 12 ist mit einer Abbildungsoptik versehen, deren Projektionszentrum im Punkt O liegt. Auf die Darstellung der Abbildungsoptik wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet, da für die Angabe der Parameter nur die Lage des Projektionszentrums O von Bedeutung ist.

Die Lageparameter, welche die Lage des Positionierkörpers relativ zu dem Bezugskörper beschreiben, sind einmal durch die Koordinaten X_0 , Y_0 und Z_0 gegeben. Die weitere Festlegung der Lage erfolgt durch die Orientierungswinkel α , f , w zwischen der Projektionsfläche des Abtasters 12

- 9 -

und der Ebene 10 der Maßstabsanordnung. Dabei ist α der Orientierungswinkel zur Z-Achse, f der Orientierungswinkel zur Y-Achse und w der Orientierungswinkel zur X-Achse. In Fig. 1 sind diese Winkel auf eine Hilfslinie bezogen, die von einem Lotfußpunkt H' der Projektionsfläche durch das Projektionszentrum O zu einem Durchstoßpunkt S mit der Ebene 10 des Positionierkörpers führt.

Nach den Gleichungen der kollinearen Transformation, die die projektive Verwandtschaft zwischen einer Grundebene und einer Bildebene beschreiben, sind acht Gleichungen mit acht Unbekannten aufzulösen. Hierzu werden die abgebildeten Koordinaten von vier Punkten des Positionierkörpers ausgewertet. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist in Fig. 1 nur ein Punkt P auf der Ebene 10 des Positionierkörpers dargestellt, der als Punkt P' auf der Projektionsfläche des Abtasters 12 abgebildet wird.

Bei Kenntnis der Koordinaten dieser Punkte können diese in die nachfolgend aufgeführten Gleichungen eingesetzt werden, die bereits nach X_0 , Y_0 , Z_0 sowie nach α , f und w aufgelöst sind.

$$X_0 = a_3 - Z_0 * \left(\frac{\tan(\delta)}{c} * \sin(\nu) \right)$$

- 10 -

$$Y_0 = b_3 - Z_0 * \left(\frac{\tan(\delta)}{c} * \cos(\nu) \right)$$

$$Z_0 = \frac{\left(\frac{a_1}{c_1} - \frac{a_2}{c_2} \right)}{\left(\frac{k_2}{c_1} - \frac{k_5}{c_2} \right) * \cos(\nu) + \left(\frac{k_3}{c_1} - \frac{k_6}{c_2} \right) * \sin(\nu)}$$

$$\varphi = \arctan\left(\frac{c_1}{c_2}\right)$$

$$f = \arctan\left(\frac{Z_0 * \tan(\delta) * \sin(\nu)}{Z_0}\right)$$

$$w = \arctan\left(\frac{Z_0 * \tan(\delta) * \cos(\nu)}{Z_0}\right)$$

mit

$$\delta = \arctan\left(-\frac{(c_1 + c_2) * c}{\sin(\varphi) + \cos(\varphi)}\right)$$

$$\nu = \arctan\left(\frac{k_5 * k_7 - k_2}{k_1 + k_2 - k_7 * (k_4 + k_6)}\right)$$

- 11 -

$$k_1 = c_1 * \frac{\tan(\delta)}{c}$$

$$k_2 = \frac{\cos(\alpha)}{c * \cos(\delta)}$$

$$k_3 = \frac{\sin(\alpha)}{c}$$

$$k_4 = c_2 * \frac{\tan(\delta)}{c}$$

$$k_5 = - \frac{\sin(\alpha)}{c * \cos(\delta)}$$

$$k_6 = \frac{\cos(\alpha)}{c}$$

$$k_7 = \frac{c_1 * a_3 - a_1}{c_2 * a_3 - a_2}$$

Dabei sind α der Orientierungswinkel zur Z-Achse, f der Orientierungswinkel zur Y-Achse, w der Orientierungswinkel zur X-Achse, c die Kammerkonstante entsprechend

- 12 -

dem Abstand zwischen dem Projektionszentrum O und dem Lotfußpunkt H' des Bezugskörpers und $a_1, a_2, a_3, b_3, c_1, c_2$ stellen Transformationskonstanten dar.

Die Durchführung dieser Maßnahme erfolgt in einem Rechner, der die kodierte Koordinaten der auszuwertenden Punkte zunächst dekodiert, dann die Schwerpunkte der Marken bestimmt und die Rechenschritte zur Erzielung der Lageparameter automatisch durchführt. Der Rechner kann auch so gesteuert sein, daß er mehr als vier Punkte bei der Berechnung auswertet. Es ist dann möglich, durch eine Ausgleichsrechnung nach Gauss eine höhere Genauigkeit zu erzielen.

Der Positionierkörper umfaßt eine Maßstabsanordnung mit Marken 16, deren Schwerpunkte X_s, Y_s in konstanten Abständen angeordnet sind. Die Marken 16 besitzen unterschiedliche Strichbreiten mittels der ihre Koordinaten kodiert sind. Die Dekodierung der Strichbreite mehrerer nebeneinander liegender Marken 16 enthaltenden Codes ermöglicht es, die absoluten Koordinaten der Marken 16 auf den Flächenmaßstab anzugeben. Da auf dem Flächenmaßstab in beiden Koordinatenrichtungen, also orthogonal aufeinander Marken 16 angeordnet sind, liefert der Kode die Flächenkoordinaten.

Bei bevorzugten Flächenmaßstäben sind die Marken 16 nicht in der jeweiligen Koordinatenquerrichtung durchgezogen, sondern es sind nur die Überschneidungsbereiche der Marken 16 unterschiedlicher Koordinatenrichtungen dargestellt. Es ergibt sich so ein Muster aus Rechtecken unterschiedlicher Seitenlängen.

Fig. 2 zeigt eine Darstellung der Projektionsfläche des Abtasters 12, bei der Pixel 14 in Spalten- und Zeilenrichtung angeordnet sind. Die abgebildeten Marken 16 belegen hier mehrere Pixel 14. Die Auswertung der Marken 16 erfolgt nach dem Verfahren der Randverteilung. Um die Häufigkeiten zu ermitteln, in denen auf den Pixeln 14 Marken 16 abgebildet sind, werden für die X-Richtung, also die Spaltenrichtung die Helligkeiten sämtlicher in einer Spalte liegenden Pixel 14 aufaddiert. Dies geschieht durch zeilenweise Integration. Die Ermittlung der Häufigkeiten in Y-Richtung, also in Zeilenrichtung erfolgt analog durch Summierung der Helligkeiten für jede Pixelzeile, also Integration der Helligkeiten in Spaltenrichtung.

An zwei Seiten des Abtasters 12 sind Signale aufgetragen, die die Randverteilung der absoluten Häufigkeiten veranschaulicht. Wird ein Schwellwert festgelegt, so können

die oberhalb des Schwellwertes liegenden Signale eindeutig den Marken 16 zugeordnet werden, die in der jeweiligen Koordinatenrichtung liegen. Aus der örtlichen Breite der Signale in Kombination mit den Signalen, die durch benachbarte Marken 16 erzeugt werden, lassen sich die kodiert angegebenen Koordinaten der Marken 16 dekodieren. Es ist somit möglich, die absolute Lage jeder einzelnen Marke 16 auf der Ebene 10 des Positionierkörper anzugeben, obwohl nur ein Teil dieser Ebene 10 auf dem Abtaster 12 des Bezugskörpers abgebildet wird.

Da die Marken 16 eine endliche Ausdehnung besitzen, um durch unterschiedliche Breiten eine kodierte Information zu speichern, ist die auf der Projektionsebene eingenommene Fläche so groß, daß jeweils mehrere Pixel belegt werden. Dadurch ist es nicht möglich, die Koordinaten eines der Pixel als Abbildungskordinaten zu verwenden. Vielmehr erfolgt rechnerisch eine Schwerpunktbildung, die anhand der Fig. 3 erläutert wird. Diese Figur zeigt einen vergrößerten Ausschnitt der Projektionsfläche. Dargestellt ist ein Suchbereich der mehrere Pixel umfaßt. An einer Stelle dieses Suchbereiches ist eine Marke 16 abgebildet. Die Bestimmung des Schwerpunktes dieser Marke 16 erfolgt nun nach den folgenden Formeln über eine Mittelwertbildung:

$$X_s = \frac{1}{N_{Lok}} * \sum_{i=1}^{N_{Lok}} X_i$$

$$Y_s = \frac{1}{N_{Lok}} * \sum_{i=1}^{N_{Lok}} Y_i$$

Man erhält auf diese Weise die exakte Angabe der Koordinaten der Schwerpunkte der Marken 16. Indem nun die Koordinaten der abgebildeten Punkte und die durch Dekodierung der Marken 16 gewonnenen Koordinaten der Originalpunkte auf dem Positionierkörper in die Gleichungen eingesetzt werden, können die Koordinaten des Projektionszentrums 0 und die Orientierungswinkel errechnet werden.

P a t e n t a n s p r ü c h e
=====

1. Verfahren zur Lagebestimmung eines Positionierkörpers relativ zu einem Bezugskörper, wobei der Positionierkörper eine Maßstabsanordnung mit Marken bekannter Koordinaten trägt und der Bezugskörper einen Abtaster mit einer Projektionsfläche, auf die die Marken des Maßstabs projiziert werden, sowie eine Abbildungsoptik aufweist, bei dem die Koordinaten des Projektionszentrums der Abbildungsoptik aus den bekannten Koordinaten von Marken auf der Maßstabsanordnung über die projektive Verwandtschaft zwischen der Projektionsfläche des Abtasters und der Ebene der Maßstabsanordnung berechnet werden, wobei die Marken ihre Koordinateninformation bezüglich der Maßstabsanordnung in kodierter Form enthalten und für die Berechnung dekodiert werden, dadurch gekennzeichnet, daß eine Maßstabsanordnung aus zwei orthogonal zueinander ausgerichteten Flächenmaßstäben verwendet wird, daß die Marken beider Flächenmaßstäbe jeweils Überschneidungsbe-

reiche bilden und daß der Berechnung wenigstens vier eine Fläche begrenzende Schwerpunkte von Überschneidungsbereichen der Marken beider Flächenmaßstäbe als bekannte Koordinaten von Marken zugrundegelegt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Berechnung der Koordinaten X_0 , Y_0 , Z_0 des Projektionszentrums und die Orientierungswinkel α , f , w zwischen der Projektionsfläche des Abtasters und der Ebene der Maßstabsanordnung nach folgenden Funktionen und Gleichungen durchgeführt wird:

$$X_0 = a_3 - Z_0 * \left(\frac{\tan(\delta)}{c} * \sin(\sqrt{V}) \right)$$

$$Y_0 = b_3 - Z_0 * \left(\frac{\tan(\delta)}{c} * \cos(\sqrt{V}) \right)$$

$$Z_0 = \frac{\begin{pmatrix} a_1 & a_2 \\ c_1 & c_2 \end{pmatrix}}{\begin{pmatrix} k_2 & k_5 \\ c_1 & c_2 \end{pmatrix} * \cos(\sqrt{V}) + \begin{pmatrix} k_3 & k_6 \\ c_1 & c_2 \end{pmatrix} * \sin(\sqrt{V})}$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{c_1}{c_2}\right)$$

- 18 -

$$f = \arctan\left(\frac{Z_0 * \tan(\delta) * \sin(\nu)}{Z_0}\right)$$

$$w = \arctan\left(\frac{Z_0 * \tan(\delta) * \cos(\nu)}{Z_0}\right)$$

mit

$$\delta = \arctan\left(-\frac{(c_1 + c_2) * c}{\sin(\alpha) + \cos(\alpha)}\right)$$

$$\nu = \arctan\left(\frac{k_5 * k_7 - k_2}{k_1 + k_2 - k_7 * (k_4 + k_6)}\right)$$

$$k_1 = c_1 * \frac{\tan(\delta)}{c}$$

$$k_2 = \frac{\cos(\alpha)}{c * \cos(\delta)}$$

$$k_3 = \frac{\sin(\alpha)}{c}$$

- 19 -

$$k_4 = c_2 * \frac{\tan(\delta)}{c}$$

$$k_5 = - \frac{\sin(\alpha)}{c * \cos(\delta)}$$

$$k_6 = \frac{\cos(\alpha)}{c}$$

$$k_7 = \frac{c_1 * a_3 - a_1}{c_2 * a_3 - a_2}$$

wobei α der Orientierungswinkel zur Z-Achse, f der Orientierungswinkel zur Y-Achse, w der Orientierungswinkel zur X-Achse, c die Kammerkonstante entsprechend dem Abstand zwischen dem Projektionszentrum und dem Lotfußpunkt der Projektionsfläche sind und a_1 , a_2 , a_3 , b_3 , c_1 , c_2 Transformationskonstanten darstellen.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß mehr als vier Schwerpunkte von Überschneidungsbereichen der Marken beider Flächenmaßstäbe bestimmt werden und daß eine Ausgleichsrechnung vorgenommen wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch

gekennzeichnet, daß ausschließlich die Überschneidungsbereiche der Marken auf dem Abtaster abgebildet werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Überschneidungsbereiche der Marken nach Koordinatenrichtung getrennt ausgewertet werden, indem nach dem Verfahren der Randverteilung die absoluten Häufigkeiten der Helligkeitswerte der Überschneidungsbereiche der Marken in Spalten- und Zeilenrichtung der lichtempfindlichen Pixel des Abtasters bestimmt und mit einem Schwellwert verglichen werden und die über dem Schwellwert liegenden Häufigkeiten als die von den Marken belegten Koordinaten gewertet werden.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Schwerpunkte der Überschneidungsbereiche der Marken durch Mittelwertbildung in beiden Koordinatenrichtungen gewonnen werden, indem jeweils Pixelfelder des Abtasters als Suchfelder ausgewählt werden und in jedem Suchfeld die Koordinaten des Schwerpunktes X_s und Y_s nach folgenden Gleichungen bestimmt werden:

$$X_s = \frac{1}{N_{Lok}} * \sum_{i=1}^{N_{Lok}} X_i$$

- 21 -

$$Y_s = \frac{1}{N_{Lok}} * \sum_{i=1}^{N_{Lok}} Y_i$$

wobei N_{Lok} die Anzahl der Punkte im Pixelfeld sind.

7. Vorrichtung zur Lagebestimmung eines Positionierkörpers relativ zu einem Bezugskörper, wobei der Positionierkörper eine Maßstabsanordnung mit Marken bekannter Koordinaten trägt und der Bezugskörper einen Abtaster mit einer Projektionsfläche, auf die die Marken des Maßstabs projiziert werden, sowie eine Abbildungsoptik und einen Rechner aufweist, bei der die Koordinaten des Projektionszentrums der Abbildungsoptik aus den bekannten Koordinaten von Marken auf der Maßstabsanordnung über die projektive Verwandtschaft zwischen der Projektionsfläche des Abtasters und der Ebene der Maßstabsanordnung berechnet werden, wobei die Marken ihre Koordinateninformation bezüglich der Maßstabsanordnung in kodierter Form enthalten und für die Berechnung dekodiert werden, dadurch gekennzeichnet, daß die Maßstabsanordnung eine Ebene (10) mit zwei orthogonal ausgerichteten Flächenmaßstäben umfaßt, auf der die Marken (16) beider Flächenmaßstäbe jeweils Überschneidungsbereiche bilden, und daß der Rechner so gesteuert ist, daß der Berechnung wenigstens vier eine Fläche begrenzende Schwerpunkte (X_s , Y_s) von Überschnei-

dungsbereichen der Marken (16) beider Flächenmaßstäbe als bekannte Koordinaten von Marken zugrundegelegt werden.

8. Vorrichtung nach Patentanspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß auf der die Marken (16) tragenden Ebene (10) der Maßstabsanordnung ausschließlich die Überschneidungsbereiche der Marken (16) beider Flächenmaßstäbe vorhanden sind.

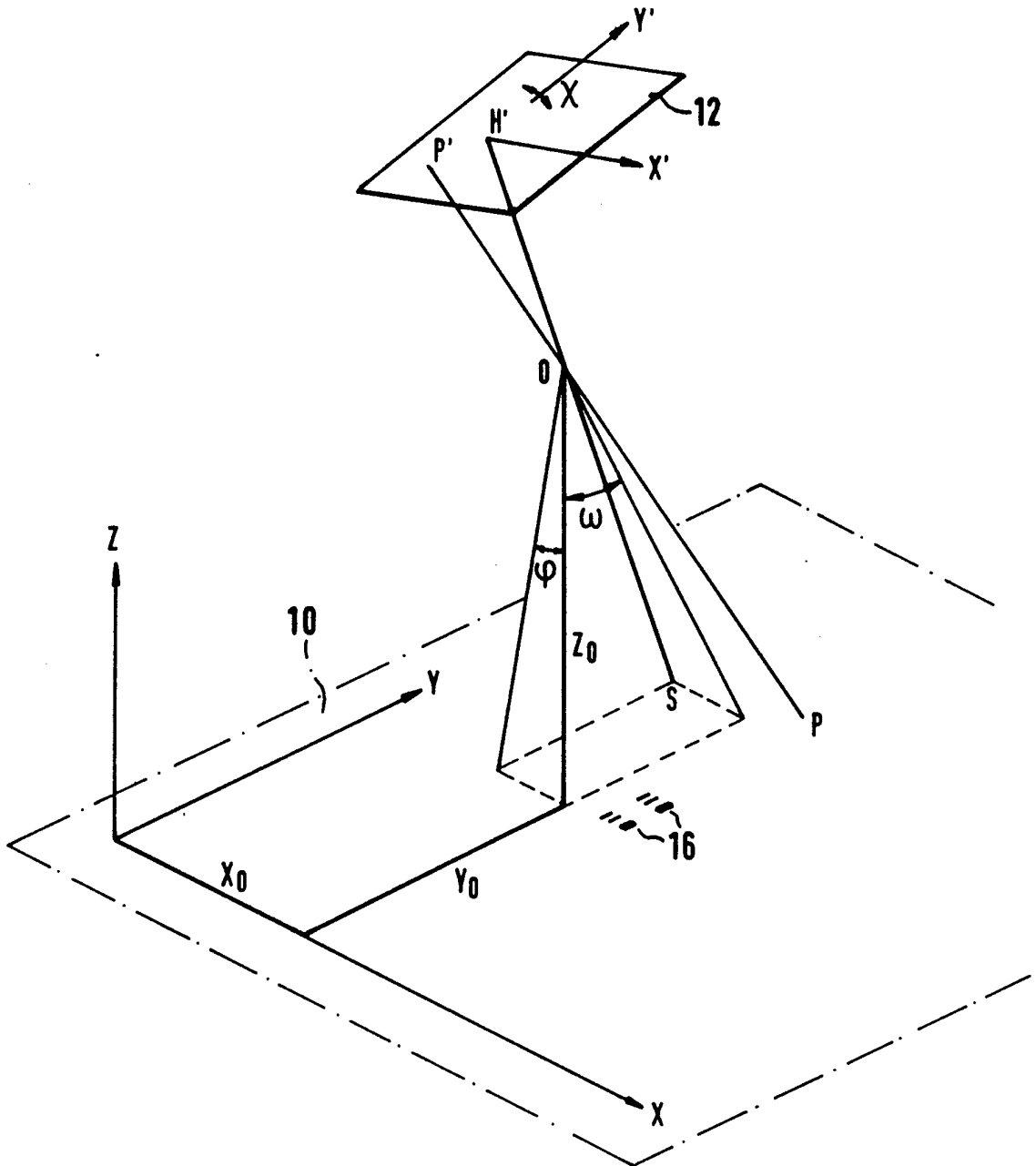


FIG. 1

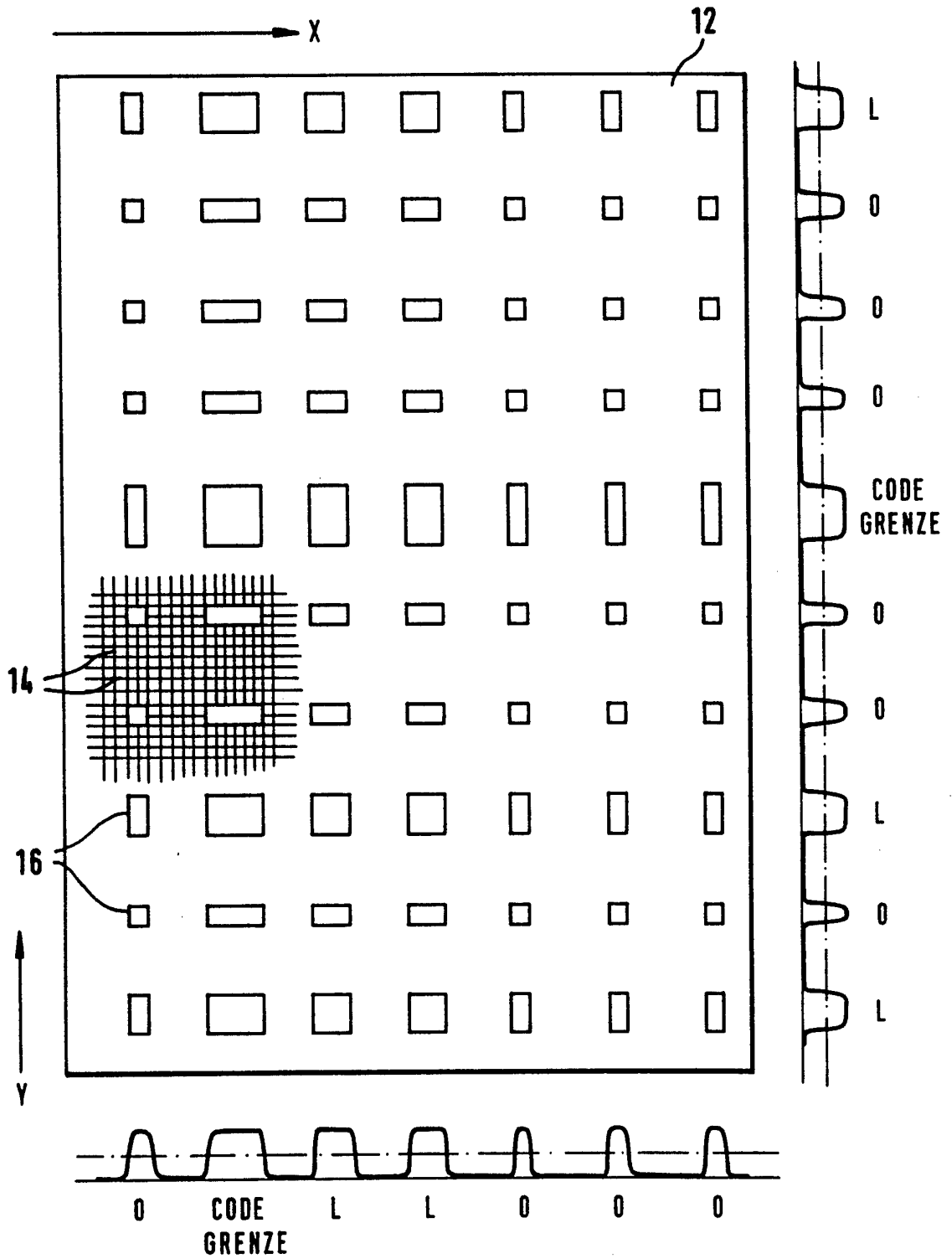


FIG. 2

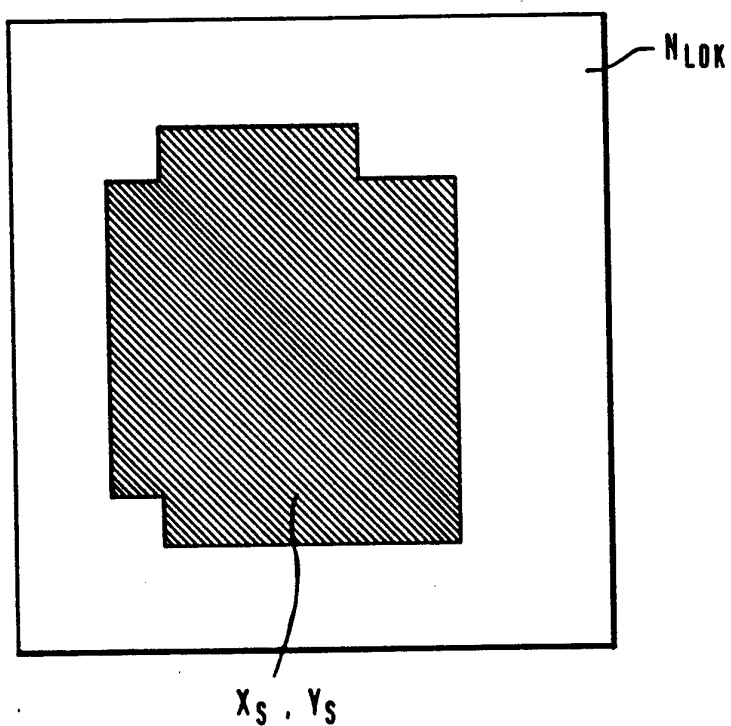


FIG. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/DE 93/00628

<p>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</p> <p>Int.Cl.⁵ G 01 B 11/02</p> <p>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>											
<p>B. FIELDS SEARCHED</p> <p>Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)</p> <p>Int. Cl.⁵ G 01 B</p> <p>Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched</p> <p>Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)</p>											
<p>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category*</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>DE,C,4 104 602 (E.M.S. TECHNIK GMBH) 4 June 1992 cited in the application -----</td> <td></td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>EP,A,0 390 725 (E.M.S. TECHNIK GMBH) 3 October 1990 cited in the application -----</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	A	DE,C,4 104 602 (E.M.S. TECHNIK GMBH) 4 June 1992 cited in the application -----		A	EP,A,0 390 725 (E.M.S. TECHNIK GMBH) 3 October 1990 cited in the application -----	
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.									
A	DE,C,4 104 602 (E.M.S. TECHNIK GMBH) 4 June 1992 cited in the application -----										
A	EP,A,0 390 725 (E.M.S. TECHNIK GMBH) 3 October 1990 cited in the application -----										
<p><input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.</p>											
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>											
<p>Date of the actual completion of the international search</p> <p>13 October 1993 (13.10.1993)</p>		<p>Date of mailing of the international search report</p> <p>15 October 1993 (15.10.1993)</p>									
<p>Name and mailing address of the ISA/ EUROPEAN PATENT OFFICE Facsimile No.</p>		<p>Authorized officer</p> <p>Telephone No.</p>									

**ANNEX TO THE INTERNATIONAL SEARCH REPORT
ON INTERNATIONAL PATENT APPLICATION NO.**

DE 9300628
SA 76232

This annex lists the patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned international search report.
The members are as contained in the European Patent Office EDP file on
The European Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information. 13/10/93

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE-C-4104602	04-06-92	WO-A- 9214117	20-08-92

EP-A-0390725	03-10-90	DE-A- 3909856	31-10-90
		JP-A- 2280004	16-11-90
		US-A- 5017013	21-05-91

I. KLASSIFIKATION DES ANMELDUNGSGEGENSTANDS (bei mehreren Klassifikationssymbolen sind alle anzugeben) ⁶		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC Int.Kl. 5 G01B11/02		
II. RECHERCHIERTE SACHGEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff ⁷		
Klassifikationssystem	Klassifikationssymbole	
Int.Kl. 5	G01B	
Recherchierte nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Sachgebiete fallen ⁸		
III. EINSCHLAGIGE VERÖFFENTLICHUNGEN ⁹		
Art. ^o	Kennzeichnung der Veröffentlichung ¹¹ , soweit erforderlich unter Angabe der maßgeblichen Teile ¹²	Betr. Anspruch Nr. ¹³
A	DE,C,4 104 602 (E.M.S. TECHNIK GMBH) 4. Juni 1992 in der Anmeldung erwähnt ---	
A	EP,A,0 390 725 (E.M.S. TECHNIK GMBH) 3. Oktober 1990 in der Anmeldung erwähnt -----	
<p>^o Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen ¹⁰ :</p> <p>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)</p> <p>"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist</p> <p>"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist</p> <p>"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p>		
IV. BESCHEINIGUNG		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
13. OKTOBER 1993		15. 10. 93
Internationale Recherchenbehörde		Unterschrift des bevollmächtigten Bediensteten
EUROPAISCHES PATENTAMT		BATTESON A.

**ANHANG ZUM INTERNATIONALEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE INTERNATIONALE PATENTANMELDUNG NR.**

DE 9300628
 SA 76232

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten internationalen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

13/10/93

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE-C-4104602	04-06-92	WO-A- 9214117	20-08-92
EP-A-0390725	03-10-90	DE-A- 3909856	31-10-90
		JP-A- 2280004	16-11-90
		US-A- 5017013	21-05-91

EPO FORM P0473