



(10) **DE 10 2013 001 136 A1** 2014.07.24

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 001 136.1**
 (22) Anmeldetag: **23.01.2013**
 (43) Offenlegungstag: **24.07.2014**

(51) Int Cl.: **G01C 15/00 (2006.01)**
G01P 15/18 (2013.01)
G01C 9/12 (2006.01)
G01V 7/00 (2006.01)
G05D 3/12 (2006.01)

(71) Anmelder:
Trimble Jena GmbH, 07745, Jena, DE

(74) Vertreter:
**Patent- und Rechtsanwälte Diehl & Partner GbR,
 80636, München, DE**

(72) Erfinder:
**Vogel, Michael, 07629, Schleifreisen, DE; Glimm,
 Andreas, 99425, Weimar, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2010 004 517	A1
US	2007 / 0 104 353	A1
US	6 138 367	A
WO	2004/ 113 835	A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

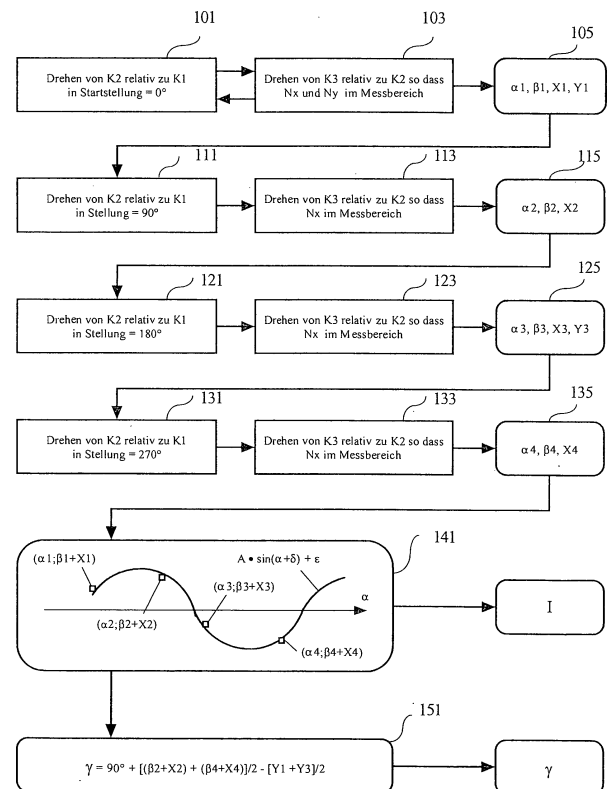
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Geodätisches Gerät und Verfahren zum Bestimmen einer Eigenschaft des Geräts**

(57) Zusammenfassung: Ein geodätisches Geräts umfasst drei Gerätekomponenten, zwei Drehachsen und zwei Winkelsensoren so dass die Gerätekomponenten relativ zueinander verdrehbar und deren Drehstellungen messbar sind, und ein Neigungssensorsystem.

Ein Verfahren zum Bestimmen einer Eigenschaft des Geräts umfasst ein Orientieren der zweiten Gerätekomponente relativ zu der ersten Gerätekomponente in einer Mehrzahl von verschiedenen Drehstellungen, wobei in einer jeden Drehstellung der Mehrzahl von Drehstellungen ein Messwert des ersten Winkelsensors bestimmt wird, ein Messwert des zweiten Winkelsensors bestimmt wird und ein Messwert der Orientierung des Neigungssensorsystems bestimmt wird.

Es wird dann eine Orientierung der ersten Gerätekomponente und/oder der ersten Drehachse relativ zu der Gravitationsrichtung und/oder einer Orientierung der ersten Drehachse relativ zu der zweiten Drehachse basierend auf den Messwerten bestimmt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Gerät, insbesondere ein Vermessungsgerät, wie beispielsweise ein geodätisches Gerät, und ein Verfahren zum Bestimmen einer Eigenschaft eines solchen Geräts.

[0002] Geodätische Geräte umfassen typischerweise als eine erste Gerätekomponente eine Basis, welche beispielsweise an einem Stativ montiert werden kann. Die erste Gerätekomponente trägt eine zweite Gerätekomponente, welche relativ zu der ersten Gerätekomponente um eine erste Drehachse drehbar ist. Üblicherweise wird die Basis, beispielsweise durch Einstellen des Stativs, so orientiert, dass die erste Drehachse vertikal im Raum, d. h. parallel zur Gravitationsrichtung, orientiert ist. Die zweite Gerätekomponente trägt eine relativ zu der zweiten Gerätekomponente um eine zweite Drehachse drehbare dritte Gerätekomponente, welche eine beispielsweise Optik mit einer Messachse umfasst. Diese Messachse kann eine Zielachse des geodätischen Geräts bilden, entlang welcher mit der Optik Messungen, wie beispielsweise Richtungsmessungen oder Abstandsmessungen, vorgenommen werden können. Die erste und die zweite Drehachse sind im Wesentlichen orthogonal zueinander orientiert. Ein erster Winkelsensor ist vorgesehen, um eine Drehstellung der zweiten Gerätekomponente relativ zu der ersten Gerätekomponente zu messen, und ein zweiter Winkelsensor ist vorgesehen, um eine Drehstellung der dritten Gerätekomponente relativ zu der zweiten Gerätekomponente zu messen. Aus Messwerten des ersten Winkelsensors und des zweiten Winkelsensors kann die Orientierung der Messachse der dritten Gerätekomponente relativ zu der Basis des Geräts bestimmt werden, um die beispielsweise über die Optik vorgenommene Messung entlang der Messachse einer Richtung im Raum zuzuordnen.

[0003] An der ersten Gerätekomponente oder der zweiten Gerätekomponente ist typischerweise ein hochgenauer Neigungsmesser festgemacht, um die Orientierung der ersten Drehachse relativ zur Gravitationsrichtung genau zu messen, da der Benutzer durch manuelle Betätigung beispielsweise des Stativs die erste Gerätekomponente nur näherungsweise so orientieren kann, dass die erste Drehachse parallel zur Gravitationsrichtung orientiert ist. Ein Messwert dieses Neigungssensors wird dann in die Berechnung der Orientierung der Messachse der Optik basierend auf den Messwerten des ersten und des zweiten Winkelsensors einbezogen.

[0004] Hochgenaue Neigungssensoren haben allerdings einen beschränkten Messbereich, von beispielsweise weniger als 1° . Dieser beschränkte Messbereich entspricht einem Teilbereich der möglichen Orientierungen des Neigungssensors, in welchem dieser seine Orientierung relativ zur Gravita-

tionsrichtung mit einer vorbestimmten Genauigkeit messen kann. Vom Benutzer wird dann verlangt, die Basis und damit den Neigungssensor so genau zu orientieren, dass dieser in seinem Messbereich liegt. Dies ist zum einen zeitaufwändig und begrenzt zum anderen die möglichen Orientierungen der Basis des geodätischen Geräts. Ferner geben auch hochgenaue Neigungssensoren Messsignale aus, welche unter Umständen nicht exakt proportional von der tatsächlichen Orientierung des Neigungssensors relativ zur Gravitationsrichtung abhängen und damit fehlerbehaftet sind.

[0005] Ferner wird bei der Bestimmung der Orientierung der Messachse, wie beispielsweise der Messachse der Optik, im Raum basierend auf den Messwerten des ersten und des zweiten Winkelsensors und des Neigungssensors davon ausgegangen, dass ein Winkel zwischen der ersten Drehachse und der zweiten Drehachse exakt 90° beträgt. Dies ist in der Praxis aufgrund der Montagegenauigkeit des Geräts und aufgrund von Deformationen aufgrund des Eigengewichts der Gerätekomponenten nur näherungsweise der Fall.

[0006] Entsprechend ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Gerät und ein Verfahren zum Betreiben des Geräts vorzuschlagen, bei welchem Parameter des Geräts bestimmt werden können, welche insbesondere die Orientierung der ersten Gerätekomponente relativ zu der Gravitationsrichtung und/oder die Orientierung der ersten Drehachse relativ zu der zweiten Drehachse und/oder eine Eigenschaft des Neigungssensors umfasst.

[0007] Gemäß Ausführungsformen der Erfindung umfasst ein Vermessungsgerät, wie beispielsweise ein geodätisches Gerät, eine erste Gerätekomponente, eine zweite Gerätekomponente, welche relativ zu der ersten Gerätekomponente um eine erste Drehachse drehbar ist, eine dritte Gerätekomponente, welche relativ zu der zweiten Gerätekomponente um eine zweite Drehachse drehbar ist, welche quer zu der ersten Drehachse orientiert ist, wobei die dritte Gerätekomponente eine Optik mit einer Messachse umfasst, einen ersten Winkelsensor zur Messung einer Drehstellung der zweiten Gerätekomponente relativ zu der ersten Gerätekomponente, einen zweiten Winkelsensor zur Messung einer Drehstellung der dritten Gerätekomponente relativ zu der zweiten Gerätekomponente, ein Neigungssensorsystem, welches dazu konfiguriert ist, eine erste Orientierung des Neigungssensorsystems um eine erste Sensorachse relativ zu der Gravitationsrichtung zu messen, wobei das Neigungssensorsystem an der dritten Gerätekomponente so befestigt ist, dass die erste Sensorachse nicht orthogonal zu der zweiten Drehachse orientiert ist, und eine Steuerung, welche dazu konfiguriert ist, aus Messwerten des Neigungssensorsystems eine Orientierung der ersten Geräte-

komponente bzw. der ersten Drehachse relativ zu der Gravitationsrichtung und/oder eine Orientierung der ersten Drehachse relativ zur der zweiten Drehachse zu bestimmen.

[0008] Das an der dritten Gerätekomponente befestigte Neigungssensorsystem ermöglicht es somit, eine Eigenschaft des Geräts selbst, nämlich die Orientierung der ersten Gerätekomponente relativ zu der Gravitationsrichtung oder die Orientierung der ersten Drehachse relativ zu der zweiten Drehachse, zu bestimmen. Hierzu werden Messwerte des Neigungssensorsystems von der Steuerung ausgelesen, und basierend auf diesen Messwerten wird die Eigenschaft des Geräts bestimmt.

[0009] Im Rahmen der vorliegenden Anmeldung sind zwei Richtungen quer zueinander orientiert, wenn sie nicht parallel sind und insbesondere ein Winkel zwischen den beiden Richtungen im Rahmen der zur Verfügung stehenden Messgenauigkeit deutlich größer als 0° ist.

[0010] Vorzugsweise werden hierzu Messwerte des Neigungssensorsystems verwendet, welche in verschiedenen Drehstellungen der zweiten Gerätekomponente relativ zu der ersten Gerätekomponente und/oder in verschiedenen Drehstellungen der dritten Gerätekomponente relativ zu der zweiten Gerätekomponente gewonnen werden.

[0011] Gemäß beispielhafter Ausführungsformen umfasst das Verfahren zum Bestimmen der Eigenschaft des Geräts ein Orientieren der zweiten Gerätekomponente relativ zu der ersten Gerätekomponente in einer Mehrzahl von verschiedenen Drehstellungen, wobei in einer jeden Drehstellung der Mehrzahl von Drehstellungen ein Messwert des ersten Winkelsensors bestimmt wird, ein Messwert des zweiten Winkelsensors bestimmt wird und ein Messwert der ersten Orientierung des Neigungssensorsystems bestimmt wird, und ein Bestimmen der Eigenschaft des Geräts basierend auf den in den verschiedenen Drehstellungen bestimmten Messwerten des ersten Winkelsensors, des zweiten Winkelsensors und der ersten Orientierung des Neigungssensorsystems.

[0012] Mit diesem Verfahren ist es möglich, die Orientierung der ersten Gerätekomponente relativ zu der Gravitationsrichtung zu bestimmen, ohne auf einen separaten Neigungssensor angewiesen zu sein, welcher an der ersten oder zweiten Gerätekomponente angebracht wäre, und ohne vom Benutzer zu verlangen, die erste Gerätekomponente relativ zur Gravitationsrichtung so zu orientieren, dass dieser separate Neigungssensor in seinem Messbereich liegt. Damit ist es sogar möglich, die erste Gerätekomponente an einem Stativ oder anderen Gegenständen so anzubringen, dass die Orientierung der ersten Drehachse signifikant von der Gravitations-

richtung abweicht. Dies erweitert den Einsatzbereich des Geräts.

[0013] Gemäß beispielhafter Ausführungsformen ist das Neigungssensorsystem ein hochgenaues Neigungssensorsystem, welches eine Messgenauigkeit von besser als $5''$ und insbesondere besser als $2''$ aufweist. Die Orientierung der ersten Gerätekomponente bzw. der ersten Drehachse relativ zu der Gravitationsrichtung kann dann mit einer entsprechenden hohen Genauigkeit bestimmt werden.

[0014] Gemäß einer beispielhaften Ausführungsform ist die erste Sensorachse parallel zu der zweiten Drehachse orientiert.

[0015] Gemäß weiterer beispielhafter Ausführungsformen umfasst das Gerät einen ersten Motor, um die zweite Gerätekomponente relativ zu der ersten Gerätekomponente um die erste Drehachse zu drehen, wobei der erste Motor von der Steuerung betätigt wird, um die zweite Gerätekomponente relativ zu der ersten Gerätekomponente nacheinander in die Mehrzahl von Drehstellungen zu bewegen.

[0016] Gemäß beispielhafter Ausführungsformen bestimmt die Steuerung in einer jeden der Drehstellungen der Mehrzahl von Drehstellungen basierend auf dem Messwert des zweiten Winkelsensors einen ersten Winkelwert und basierend auf dem Messwert der ersten Orientierung des Neigungssensorsystems einen zweiten Winkelwert. Gemäß einer speziellen Ausführungsform hierin kann dann ferner für eine jede Drehstellung der Mehrzahl von Drehstellungen basierend auf dem Messwert des ersten Winkelsensors ein dritter Winkelwert bestimmt werden, und es kann für jede der Mehrzahl von Drehstellungen jeweils ein Wertepaar gebildet werden, dessen erster Wert der dritte Winkelwert ist und dessen zweiter Wert der erste Winkelwert ist. Daraufhin kann an die so gewonnenen Wertepaare eine Funktion angefügt werden, welche die Wertepaare näherungsweise erfüllt. Hierbei werden Parameter der Funktion derart bestimmt, dass Abstände zwischen den Wertepaaren und der Funktion minimiert sind. Ein Beispiel für diese Minimierung ist die herkömmliche Minimierung von Quadraten der Abstände zwischen den ersten Werten des Wertepaars und Werten der Funktion, wenn der zweite Wert des Wertepaars jeweils als Argument der Funktion eingesetzt wird. Basierend auf den derart bestimmten Parametern der Funktion kann dann die Orientierung der ersten Gerätekomponente bzw. der ersten Drehachse relativ zu der Gravitationsrichtung bestimmt werden.

[0017] Bei diesem Verfahren ist es gemäß bestimmter Ausführungsformen sinnvoll, in einer jeden Drehstellung der Mehrzahl von Drehstellungen die dritte Gerätekomponente relativ zu der zweiten Gerätekomponente so zu orientieren, dass der zweite

Winkelwert exakt Null ist. Dies kann beispielsweise durch die Ansteuerung eines zweiten Motors durch die Steuerung erfolgen, welcher die dritte Gerätekomponente relativ zu der zweiten Gerätekomponente drehen kann.

[0018] Falls die dritte Gerätekomponente relativ zu der zweiten Gerätekomponente derart orientiert ist, dass der zweite Winkelwert Null ist, für sämtliche Drehstellungen nicht erfolgen soll, wird gemäß einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens für eine jede Drehstellung der Mehrzahl von Drehstellungen basierend auf dem Messwert des ersten Winkelsensors ein dritter Winkelwert bestimmt, basierend auf einer Addition des ersten Winkelwerts und des zweiten Winkelwerts ein vierter Winkelwert bestimmt, und es wird für eine jede Drehstellung der Mehrzahl von Drehstellungen ein Wertepaar gebildet, dessen erster Wert der dritte Winkelwert und dessen zweiter Wert der vierte Winkelwert ist. An diese so gewonnenen Wertepaare kann dann wiederum eine Funktion angefügt werden, wie dies vorangehend beschrieben wurde. Aus den bei diesem Anfügen bestimmten Parametern der Funktion kann wiederum die Orientierung der ersten Gerätekomponente relativ zu der Gravitationsrichtung bestimmt werden.

[0019] Gemäß beispielhafter Ausführungsformen hierin weist das Neigungssensorsystem für die erste Orientierung einen beschränkten Messbereich auf und ist dazu konfiguriert, lediglich für einen Teilbereich der möglichen ersten Orientierung des Neigungssensorsystems um die erste Sensorachse relativ zu der Gravitationsrichtung die erste Orientierung mit einer vorbestimmten hohen Messgenauigkeit zu messen. In diesem Fall kann dann, wenn in einer der Drehstellungen der Mehrzahl von Drehstellungen das Neigungssensorsystem so orientiert ist, dass es außerhalb seines Messbereichs liegt, die dritte Gerätekomponente relativ zu der zweiten Gerätekomponente so orientiert werden, dass die erste Orientierung des Neigungssensorsystems in dem Teilbereich liegt. Dies kann durch Ansteuern eines zweiten Motors durch die Steuerung erfolgen, welcher die dritte Gerätekomponente relativ zu der zweiten Gerätekomponente dreht.

[0020] Die Funktion, welche, wie vorangehend beschrieben, an die Wertepaare angefügt wird, kann gemäß beispielhafter Ausführungsformen eine Sinusfunktion sein, wobei die Parameter, aus denen die Orientierung der ersten Gerätekomponente bzw. der ersten Drehachse relativ zu der Gravitationsrichtung bestimmt wird, eine Amplitude und eine Phase der angefügten Sinusfunktion umfassen.

[0021] Gemäß beispielhafter Ausführungsformen umfasst das Gerät ein Neigungssensorsystem, welches ferner dazu konfiguriert ist, eine zweite Orientierung des Neigungssensorsystems um eine zwei-

te Sensorachse relativ zu der Gravitationsrichtung zu messen, wobei die zweite Sensorachse quer und insbesondere orthogonal zu der ersten Sensorachse orientiert ist. Aus Messwerten der zweiten Orientierung des Neigungssensorsystems ist es, zusammen mit den anderen Messwerten, wie beispielsweise den Messwerten der ersten Orientierung des Neigungssensorsystems, den Messwerten des ersten Winkelsensors und/oder den Messwerten des zweiten Winkelsensors möglich, die Orientierung der ersten Drehachse relativ zu der zweiten Drehachse exakt zu bestimmen. Hierdurch kann die Orientierung der Mes- sachse der Optik im Raum genauer und insbesondere dann genauer bestimmt werden, wenn der Winkel zwischen der ersten Drehachse und der zweiten Drehachse von seinem angenommenen Montage- winkel, wie beispielsweise 90° , aufgrund von Montagegenauigkeiten und/oder Deformationen der Gerätekomponenten abweicht.

[0022] Beispielsweise ist der Winkel zwischen der ersten und der zweiten Drehachse aufgrund der Montagegenauigkeit und aufgrund von gewichtsbedingten Deformationen der Gerätekomponenten relativ zueinander für bestimmte Orientierungen des Geräts im Raum nur mit einer Genauigkeit von besser als $1'$ (1 Bogenminute) bekannt, kann allerdings mit dem hier beschriebenen Verfahren mit einer Genauigkeit von besser als $1''$ (10 Bogensekunden) bestimmt werden.

[0023] Gemäß beispielhafter Ausführungsformen des Verfahrens wird in zwei oder mehr Drehstellungen der Mehrzahl von Drehstellungen oder in nicht sämtlichen Drehstellungen der Mehrzahl von Drehstellungen oder in sämtlichen Drehstellungen der Mehrzahl von Drehstellungen der zweiten Gerätekomponente relativ zu der ersten Gerätekomponente ein Messwert der zweiten Orientierung des Neigungssensorsystems bestimmt, um hieraus die Orientierung der ersten Drehachse relativ zu der zweiten Drehachse zu bestimmen.

[0024] Gemäß weiterer beispielhafter Ausführungsformen ist hierbei eine Drehstellung der dritten Gerätekomponente relativ zu der zweiten Gerätekomponente in einer ersten Drehstellung der Mehrzahl von Drehstellungen der zweiten Gerätekomponente relativ zu der ersten Gerätekomponente verschieden von einer Drehstellung der dritten Gerätekomponente relativ zu der zweiten Gerätekomponente in einer zweiten Drehstellung der Mehrzahl von Drehstellungen der zweiten Gerätekomponente relativ zu der ersten Gerätekomponente. D. h., bei wenigstens zwei verschiedenen Drehstellungen der zweiten Gerätekomponente relativ zu der ersten Gerätekomponente liegen auch zwei verschiedene Drehstellungen der dritten Gerätekomponente relativ zu der zweiten Gerätekomponente vor, um die Messwerte zu gewinnen.

[0025] Gemäß weiterer beispielhafter Ausführungsformen wird vor dem Orientieren der dritten Gerätekomponente relativ zu der zweiten Gerätekomponente in der ersten Drehstellung die zweite Gerätekomponente relativ zu der ersten Gerätekomponente um die erste Drehachse so orientiert, dass die zweite Drehachse im Wesentlichen orthogonal zu der Gravitationsrichtung, d. h. im Wesentlichen horizontal, orientiert ist. Hierdurch ist es möglich, bei der Bestimmung der Eigenschaft des Neigungssensorsystems einen sogenannten Kreuzfehler zu reduzieren, welcher bei der Bestimmung des ersten und des zweiten Messwerts der ersten Orientierung des Neigungssensorsystems in der ersten bzw. zweiten Drehstellung auftreten könnte.

[0026] Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Figuren näher erläutert. Hierbei zeigt:

[0027] Fig. 1 eine schematische Darstellung eines geodätischen Geräts,

[0028] Fig. 2 eine graphische Darstellung von Messwerten eines Neigungssensorsystems in Abhängigkeit von dessen Orientierung, und

[0029] Fig. 3 ein Flußdiagramm zur Erläuterung eines Verfahrens zum Bestimmen einer Eigenschaft des in Fig. 1 gezeigten Geräts.

[0030] Fig. 1 ist eine schematische Darstellung eines geodätischen Geräts, welches beispielsweise ein Theodolit, ein Tachymeter oder eine Totalstation sein kann. Das Gerät **1** ist auf einem Stativ **5** montiert, welches drei Beine **7**, welche an einem Kopf **9** montiert sind, und eine Platte **3** umfasst, welche über drei Stellschrauben **11** an dem Kopf **9** angebracht ist. Das Gerät **1** weist eine Basis **13** auf, welche an der Platte **3** in einer vorbestimmten und reproduzierbaren Position mittels eines Befestigungsmechanismus angebracht ist. Dieser Befestigungsmechanismus kann beispielsweise konusförmige Vorsprünge **15**, welche in entsprechende an der Platte **3** vorgesehene Ausnehmungen eingreifen, und einen Arretierungsmechanismus (in Fig. 1 nicht gezeigt) umfassen.

[0031] Die Basis **13** bildet eine erste Gerätekomponente des Geräts **1** und trägt eine zweite Gerätekomponente **17**, welche an der Basis **13** über eine Lageranordnung **19** so angebracht ist, dass die zweite Gerätekomponente **17** relativ zu der ersten Gerätekomponente **13** um eine erste Achse **21** drehbar ist.

[0032] Üblicherweise werden die Stellschrauben **11** vom Benutzer so eingestellt, dass die erste Achse **21** im Wesentlichen parallel zur Gravitationsrichtung **22** ausgerichtet ist, so dass die erste Achse **21** eine Vertikalachse ist.

[0033] Das Gerät **1** umfasst eine dritte Gerätekomponente **25**, welche relativ zu der zweiten Gerätekomponente **17** über in Drehlagern **23** gelagerte Achsen **34** so gehalten ist, dass die dritte Gerätekomponente **25** relativ zu der zweiten Gerätekomponente **17** um eine zweite Drehachse **24** drehbar ist. Die zweite Drehachse **24** ist relativ zu der ersten Drehachse **21** unter einem Winkel von etwa 90° orientiert, so dass die Drehachse **24** eine Horizontalachse ist, wenn die erste Drehachse **21** vertikal orientiert ist.

[0034] Die dritte Gerätekomponente **25** enthält ein optisches Messsystem mit einer Objektivlinse **43** und einer Messachse **42**, welche in der Darstellung der Fig. 1 orthogonal zur Zeichenebene orientiert ist. Das optische Messsystem dient dazu, entlang der Messachse **42** Messungen, wie beispielsweise Abstandsmessungen oder Peilungen vorzunehmen.

[0035] Ein an der zweiten Gerätekomponente **17** getragener Motor **27** steht über ein Getriebe **30** mit einem Zapfen **28** in Eingriff, welcher an der ersten Gerätekomponente **13** befestigt ist, so dass durch Ansteuern des Motors **27** die zweite Gerätekomponente **17** relativ zu der ersten Gerätekomponente **13** um die erste Drehachse **21** motorisch gedreht werden kann. Der Motor **27** wird von einer Steuerung **29** des geodätischen Geräts kontrolliert.

[0036] An dem Zapfen **28** ist eine Winkelcodierscheibe **32** befestigt, deren zugehöriger Winkelsensor **31** an der zweiten Gerätekomponente **17** befestigt ist. Messwerte des Winkelsensors **31** werden von der Steuerung **29** ausgelesen, um einen Drehwinkel α der zweiten Gerätekomponente **17** relativ zu der ersten Gerätekomponente **13** um die erste Drehachse zu bestimmen.

[0037] Ein an der zweiten Gerätekomponente **17** getragener Motor **33** steht über ein Getriebe **35** mit einer der Achsen **34** in Eingriff, so dass durch Betätigen des Motors **33** die dritte Gerätekomponente **25** relativ zu der zweiten Gerätekomponente **17** um die Achse **24** gedreht werden kann. Der Motor **33** wird von der Steuerung **29** kontrolliert.

[0038] An der Achse **34** ist eine Winkelcodierscheibe **37** befestigt, deren zugehöriger Winkelsensor **36** an der zweiten Gerätekomponente **17** befestigt ist. Die Steuerung **29** liest Messwerte des Winkelsensors **36** aus, um einen Drehwinkel β der dritten Gerätekomponente **25** relativ zu der zweiten Gerätekomponente **17** um die zweite Drehachse **24** zu bestimmen.

[0039] An der zweiten Gerätekomponente **17** sind Steuerknöpfe **38** vorgesehen, welche der Benutzer betätigen kann, um die Steuerung **27** dazu zu veranlassen, die Motoren **27** und **33** anzusteuern, um die dritte Gerätekomponente gemeinsam mit dem opti-

schen Messsystem um die erste Drehachse **21** bzw. die zweite Drehachse **24** zu verschwenken.

[0040] Bei einer gegebenen Drehstellung der dritten Gerätekomponente **25** um die erste und die zweite Drehachse **21**, **24** kann die Steuerung **29** aus den Messwerten der Winkelsensoren **31** und **36** die Orientierung der Messachse **42** der Optik **43** relativ zu der ersten Gerätekomponente **13** bestimmen. Um allerdings die Orientierung der Messachse **42** der Optik **43** im Raum zu bestimmen, ist es notwendig, die Ausrichtung der ersten Drehachse **21** im Raum zu kennen, da diese in der Regel nicht exakt parallel zur Gravitationsrichtung ausgerichtet ist. Deshalb kann an der ersten Gerätekomponente **13** oder der zweiten Gerätekomponente **17** ein Neigungssensor **45** angebracht sein, welcher von der Steuerung **29** ausgelesen wird. Bei bekannter Orientierung des Neigungssensors **45** relativ zu der ersten Drehachse **21** kann damit die Orientierung der ersten Drehachse **21** relativ zur Gravitationsrichtung bestimmt werden. Soll diese Orientierung sehr genau bestimmt werden, ist hierzu ein hochgenauer Neigungssensor **45** notwendig. Derartige hochgenaue Neigungssensoren weisen allerdings üblicherweise einen beschränkten Messbereich von beispielsweise weniger als 1° auf. Deshalb muss der Benutzer zum Betreiben des Geräts **1** die erste Drehachse **21** und damit die erste Gerätekomponente **13** durch Betätigen der Stellschrauben **11** sehr genau orientieren, was zeitaufwendig ist. Damit ist es insbesondere nicht möglich, das Gerät **1** in beliebigen Orientierungen der ersten Drehachse **21** zu betreiben.

[0041] Um die präzise Orientierung der ersten Drehachse parallel zur Gravitationsrichtung durch den Benutzer unnötig zu machen und/oder um das Gerät **1** auch unter Orientierungen der ersten Drehachse **21** betreiben zu können, welche signifikant von der Gravitationsrichtung abweichen, umfasst das Gerät **1** ein an der dritten Gerätekomponente **17** befestigtes Neigungssensorsystem **47**, welches dazu konfiguriert ist, eine erste Orientierung N_x des Neigungssensorsystems **47** um eine erste Sensorachse x relativ zu der Gravitationsrichtung zu messen. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist die erste Sensorachse x parallel zu der zweiten Drehachse **24** orientiert. Das Neigungssensorsystem **47** ist ferner dazu konfiguriert, eine zweite Orientierung N_y des Neigungssensorsystems **47** um eine zweite Sensorachse y relativ zu der Gravitationsrichtung zu messen. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist die zweite Sensorachse y orthogonal zu der ersten Sensorachse x orientiert. Ferner ist die zweite Sensorachse y in der in **Fig. 1** dargestellten Drehstellung der dritten Gerätekomponente **25** relativ zu der zweiten Gerätekomponente **17** parallel zu der ersten Drehachse **21** orientiert. In anderen Drehstellungen der dritten Gerätekomponente **25** relativ zu der zweiten Gerätekomponente **17** wird dies nicht der Fall sein.

[0042] Das Neigungssensorsystem **47** kann auf verschiedene Weisen realisiert sein. Beispielsweise kann es zwei separate Sensoren umfassen, von denen einer die erste Orientierung N_x um die erste Sensorachse x misst und der andere die zweite Orientierung N_y um die zweite Sensorachse y misst. Die beiden Funktionen der Messung der Orientierung relativ zu der Gravitationsrichtung um die erste Sensorachse x und die zweite Sensorachse y können allerdings auch in einem einzigen Neigungssensor vereinigt sein, der für beide Orientierungen N_x , N_y entsprechende Messwerte an die Steuerung **29** ausgibt.

[0043] Aus den Messwerten der ersten Orientierung N_x um die erste Sensorachse x für verschiedene Drehstellungen der zweiten Gerätekomponente **17** relativ zu der ersten Gerätekomponente **13** um die erste Drehachse **21** ist es möglich, die Orientierung der ersten Drehachse **21** relativ zur Gravitationsrichtung zu bestimmen, wie dies nachfolgend noch erläutert wird. Aus den Messwerten der ersten Orientierung N_x und der zweiten Orientierung N_y bei verschiedenen Drehstellungen der zweiten Gerätekomponente **17** relativ zu der ersten Gerätekomponente **13** um die erste Drehachse **21** und gegebenenfalls verschiedenen Drehstellungen der dritten Gerätekomponente **15** relativ zu der zweiten Gerätekomponente **17** um die zweite Drehachse **24** ist es ferner möglich, einen Winkel γ zwischen der ersten Drehachse **21** und der zweiten Drehachse **24** zu bestimmen, wie dies nachfolgend ebenfalls erläutert wird.

[0044] Zunächst werden allerdings anhand der **Fig. 2** allgemeine Eigenschaften eines Neigungssensors erläutert.

[0045] **Fig. 2** zeigt Graphen, welche Eigenschaften eines Neigungssensorsystems schematisch und vereinfacht repräsentieren. N_x bezeichnet die Orientierung des Neigungssensorsystems um eine Sensorachse x relativ zu der Gravitationsrichtung, und X bezeichnet den von dem Neigungssensorsystem ausgegebenen Messwert. Eine gestrichelte Linie **61** repräsentiert einen idealen Zusammenhang zwischen der Orientierung N_x und den von dem Neigungssensorsystem in Abhängigkeit von der Orientierung ausgegebenen Messwerten. Gemäß diesem idealen Zusammenhang sind die Messwerte X exakt proportional zu der Orientierung N_x .

[0046] Eine Linie **63** in **Fig. 2** stellt beispielhaft einen Zusammenhang zwischen der Orientierung N_x und dem Messwert X dar, wie er in der Praxis auftreten kann. In der Praxis sind die Messwerte X nicht exakt proportional zu der Orientierung N_x . Bei horizontaler Orientierung ($N_x = 0$) wird in der Praxis nicht ein Messwert von 0 sondern ein Offset ϵ ausgegeben. Darüber hinaus ist der Verlauf der Linie **63** nur in einem Teilbereich der möglichen Orientierungen linear und zeigt außerhalb dieses Teilbereichs deut-

liche Abweichungen von dem linearen Verlauf. Der Teilbereich, in welchem die Messwerte X näherungsweise linear von der Orientierung N_x abhängen, liegt in **Fig. 2** zwischen den Orientierungswerten **65** und **67**. In der Praxis liegen die Werte **65** und **67** typischerweise bei $N_x = \pm 1^\circ$, und der Wert von ε kann ein Mehrfaches der Messgenauigkeit des Neigungssensorsystems betragen.

[0047] Nachfolgend wird anhand der **Fig. 3** ein Verfahren zur Bestimmung der Orientierung I der ersten Drehachse **21** relativ zur Gravitationsrichtung und des Winkels γ zwischen der ersten Drehachse **21** und der zweiten Drehachse **24** erläutert.

[0048] In einem Schritt **101** wird die zweite Gerätekomponente **17** relativ zu der ersten Gerätekomponente **13** um die erste Drehachse **21** in eine Startstellung bewegt. Daraufhin wird in einem Schritt **103** die dritte Gerätekomponente **25** relativ zu der zweiten Gerätekomponente **17** solange verdreht, bis das Neigungssensorsystem **47** relativ zur Gravitationsrichtung so orientiert ist, dass es für die erste Orientierung N_x und die zweite Orientierung N_y im Messbereich liegt und Messwerte liefert. Für die erste Orientierung N_x ist dies alleine durch Drehen der dritten Gerätekomponente **25** relativ zur zweiten Gerätekomponente **17** sicher möglich. Für die zweite Orientierung N_y , welche parallel zur zweiten Drehachse **24** ist, wird dies in manchen Drehstellungen der zweiten Gerätekomponente **17** relativ zur ersten Gerätekomponente **13** nicht der Fall sein, wenn die erste Drehachse **21** bezüglich der Gravitationsrichtung zu stark geneigt ist. Dann muss zurück zum Schritt **101** gegangen werden, um eine andere Startstellung der zweiten Gerätekomponente **17** relativ zu der ersten Gerätekomponente **13** zu finden, so dass in einem nachfolgenden Schritt **103** des Neigungssensorsystems **47** auch für die zweite Orientierung N_y im Messbereich liegt. Eine solche Startstellung kann nach einigen Iterationen und abwechselndes Ausführen der Schritte **101** und **103** oder gleichzeitiges Ausführen der Schritte **101** und **103** aufgefunden werden. Die entsprechende Drehstellung der zweiten Gerätekomponente **17** relativ zu der ersten Gerätekomponente **13** wird nachfolgend als Startstellung von 0° angenommen.

[0049] In einem Schritt **105** werden sodann von der Steuerung Messwerte des ersten Winkelsensors **31** ausgelesen, um daraus einen Winkelwert α_1 der Drehstellung der zweiten Gerätekomponente **17** relativ zu der ersten Gerätekomponente **13** um die erste Drehachse **21** zu bestimmen, es werden Messwerte des zweiten Winkelsensors **33** ausgelesen, um daraus einen Winkelwert β_1 der Drehstellung der dritten Gerätekomponente **15** relativ zu der zweiten Gerätekomponente **17** um die zweite Drehachse **24** zu bestimmen, es werden Messwerte des Neigungssensorsystems **47** ausgelesen, um daraus ei-

nen Winkelwert X_1 der ersten Orientierung N_x des Neigungssensorsystems **47** um die erste Sensorachse x zu bestimmen, und es werden Messwerte des Neigungssensorsystems **47** ausgelesen, um daraus einen Winkelwert Y_1 der zweiten Orientierung N_y des Neigungssensorsystems **47** um die zweite Sensorachse y zu bestimmen.

[0050] Sodann wird in einem Schritt **111** die zweite Gerätekomponente **17** relativ zu der ersten Gerätekomponente **13** um die erste Drehachse **21** um 90° verdreht. Falls nötig, wird die dritte Gerätekomponente **25** von der Steuerung relativ zu der zweiten Gerätekomponente **17** solange verdreht, bis das Neigungssensorsystem **47** für die erste Orientierung N_x wieder im Messbereich liegt. Dann werden in einem Schritt **115** von der Steuerung **29** wieder Messwerte der Sensoren **31**, **33** und **47** ausgelesen, um aus diesen einen Winkelwert α_2 für die Drehstellung zwischen der ersten und der zweiten Gerätekomponente, einen Winkelwert β_2 für die Drehstellung der zweiten und der dritten Gerätekomponente und einen Winkelwert X_2 der ersten Orientierung N_x des Neigungssensorsystems **47** zu bestimmen.

[0051] Daraufhin wird in einem Schritt **121** die dritte Gerätekomponente **17** relativ zu der ersten Gerätekomponente **13** um weitere 90° in die Stellung 180° verdreht. Dort wird wiederum, falls nötig, in einem Schritt **123** die dritte Gerätekomponente **25** relativ zu der zweiten Gerätekomponente **17** verdreht, bis das Neigungssensorsystem für die erste Orientierung N_x und die zweite Orientierung wieder im Messbereich liegt. Dann werden in einem Schritt **125** von der Steuerung **29** wieder Messwerte der Sensoren **31**, **33** und **47** ausgelesen, um aus diesen einen Winkelwert α_3 für die Drehstellung zwischen der ersten und der zweiten Gerätekomponente, einen Winkelwert β_3 für die Drehstellung der zweiten und der dritten Gerätekomponente, einen Winkelwert X_3 der ersten Orientierung N_x des Neigungssensorsystems **47** und einen Winkelwert Y_3 der zweiten Orientierung N_y des Neigungssensorsystems **47** zu bestimmen.

[0052] Daraufhin wird in einem Schritt **131** die zweite Gerätekomponente **17** relativ zu der ersten Gerätekomponente **13** um weitere 90° in eine Stellung 270° verdreht. Dort wird in einem Schritt **133**, falls nötig, die dritte Gerätekomponente **25** von der Steuerung relativ zu der zweiten Gerätekomponente **17** verdreht, bis das Neigungssensorsystem für die erste Orientierung N_x im Messbereich liegt. Dann werden in einem Schritt **135** Messwerte der Sensoren **31**, **33** und **47** ausgelesen, um aus diesen einen Winkelwert α_4 für die Drehstellung zwischen der ersten und der zweiten Gerätekomponente, einen Winkelwert β_4 für die Drehstellung der zweiten und der dritten Gerätekomponente und einen Winkelwert X_4 der ersten Orientierung N_x des Neigungssensorsystems **47** zu bestimmen.

[0053] In einem Schritt **141** wird für eine jede der Drehstellungen 0° , 90° , 180° und 270° , jeweils ein Wertepaar bestimmt, dessen erster Wert der Winkel α zwischen der ersten und der zweiten Gerätekomponente ist und dessen zweiter Wert die Summe aus dem Winkel β zwischen der zweiten und der dritten Gerätekomponente und der ersten Orientierung X ist. An diese Wertepaare wird die vorbestimmte Funktion $A \cdot \sin(\alpha + \delta) + \epsilon$ durch Anpassen der Parameter A, δ und ϵ nach dem Prinzip der kleinsten Fehlerquadrate angefitet. Aus den so bestimmten Parametern A, δ und ϵ kann die Orientierung I der ersten Drehachse **21** relativ zur Gravitationsrichtung für jede beliebige Drehstellung α bestimmt werden.

[0054] In einem Schritt **151** wird der Winkel γ zwischen der ersten Drehachse **21** und der zweiten Drehachse **24** nach folgender Formel bestimmt:

$$\gamma = 90^\circ + [(\beta_2 + X_2) + (\beta_4 + X_4)]/2 - [Y_1 + Y_3]/2$$

[0055] Mit der so ermittelten Neigung I der ersten Drehachse **21** relativ zur Gravitationsrichtung und dem so ermittelten Winkel γ zwischen der ersten Drehachse **21** und der zweiten Drehachse **24** sowie weiter den gemessenen Drehstellungen der zweiten Gerätekomponente **17** relativ zu der ersten Gerätekomponente **13** und der Drehstellung der dritten Gerätekomponente **25** relativ zu der zweiten Gerätekomponente **17** ist es dann möglich, die Orientierung der Messachse **42** der Optik **43** im Raum zu bestimmen.

[0056] Das anhand der **Fig. 1** erläuterte Gerät und das anhand der **Fig. 3** erläuterte Verfahren können auf verschiedene Weisen variiert werden:

In den Schritten **115** und **135** werden Messwerte Y der zweiten Orientierung N_y nicht erfasst, da sie in den Schritten **141** und **151** nicht benötigt werden. Es ist allerdings möglich, diese Werte auch in den Schritten **115** und **135** zu erfassen und in eine nachfolgende Berechnung in den Schritten **141** und **151** einzubeziehen, um die Genauigkeit zu erhöhen. Beispielsweise kann ein Achskreuzfehler des Neigungssensorsystems **47** hierdurch erfasst und kompensiert werden.

[0057] Ferner ist es möglich, auf die Bestimmung entweder der Orientierung der ersten Drehachse **21** relativ zur Gravitationsrichtung oder die Bestimmung des Winkels γ zwischen der ersten und der zweiten Drehachse zu verzichten. Wird auf die Bestimmung des Winkels γ zwischen der ersten und der zweiten Drehachse verzichtet, müssen Messwerte der zweiten Orientierung des Neigungssensorsystems um die zweite Sensorachse Y in den Schritten **105** und **125** nicht erfasst werden. In diesem Fall ist es auch nicht nötig, dass das Neigungssensorsystem **47** zur Messung der zweiten Orientierung konfiguriert ist.

[0058] In dem Beispiel der **Fig. 1** ist die erste Sensorachse X parallel zur zweiten Drehachse **24** orientiert. Davon kann abgewichen werden, solange die erste Sensorachse nicht orthogonal zur zweiten Drehachse **24** orientiert ist. Ferner ist in dem Beispiel der **Fig. 1** die zweite Sensorachse Y des Neigungssensorsystems orthogonal zur ersten Sensorachse X des Neigungssensorsystems orientiert. Auch hiervon kann abgewichen werden, solange die zweite Sensorachse Y nicht parallel zur ersten Sensorachse X orientiert ist. Ferner ist in der Darstellung der **Fig. 1** die zweite Sensorachse Y des Neigungssensorsystems orthogonal zu der Messachse **42** der Optik **43** orientiert. Dies führt dazu, dass die dritte Gerätekomponente **25** aus der in **Fig. 1** gezeigten Stellung in den meisten Situationen um etwa 90° um die zweite Drehachse **24** verdreht werden muss, um das Neigungssensorsystem **47** im Wesentlichen horizontal auszurichten und damit innerhalb des Messbereichs für die erste und die zweite Orientierung zu bringen. Ein solches Verdrehen der dritten Gerätekomponente **25** erfordert Zeit. Die erforderliche Zeit kann verringert werden, indem das Neigungssensorsystem **47** so in der dritten Gerätekomponente angeordnet wird, dass die zweite Sensorachse Y des Neigungssensorsystems in etwa parallel zu der Messachse **42** der Optik **43** orientiert ist.

[0059] In dem anhand der **Fig. 3** erläuterten Verfahren werden vier verschiedene Drehstellungen der zweiten Gerätekomponente relativ zur ersten Gerätekomponente eingesetzt, wobei sich die Drehstellungen jeweils um 90° voneinander unterscheiden. Hier-von kann abgewichen werden, indem beispielsweise lediglich zwei oder drei oder mehr als vier Drehstellungen eingesetzt werden. Ferner können die Winkel zwischen den verschiedenen Drehstellungen Werte aufweisen, welche von 90° verschieden sind. Darüber hinaus kann der für den Fit der Funktion an die Messwerte in Schritt **141** benötigte Messwert für die Drehstellung von 90° bereits in der Startstellung 0° gemessen werden, indem der Messwert Y der zweiten Orientierung N_y des Neigungssensorsystems um die zweite Sensorachse y in der Startstellung 0° ausgelesen wird. Dies ist möglich, sofern das Neigungssensorsystem so aufgebaut ist, dass dessen erste und dessen zweite Sensorachsen orthogonal zueinander orientiert sind. Somit ist es möglich, den Messwert X_2 zu gewinnen, ohne hierfür die Drehstellung 90° extra einstellen zu müssen. Ähnlich ist es möglich, den Messwert X_4 bereits in der Drehstellung 180° zu gewinnen, ohne die Drehstellung 270° extra einstellen zu müssen.

[0060] In dem Schritt **141** werden die zweiten Werte der Wertepaare jeweils aus der Summe des Winkelwerts β zwischen der ersten und der zweiten Gerätekomponente und des Winkelwerts X der ersten Orientierung N_x des Neigungssensorsystems um die erste Sensorachse x berechnet. Es ist jedoch möglich,

alleine den Winkelwert β zwischen der zweiten Gerätekomponente und der dritten Gerätekomponente als den zweiten Wert des Wertepaars zu verwenden, wenn in den Schritten **103**, **113**, **123** und **133** die dritte Gerätekomponente relativ zur zweiten Gerätekomponente so verdreht wird, dass der Messwert X der ersten Orientierung N_x dem Winkelwert von 0° entspricht.

[0061] Die Erfindung wurde im Zusammenhang mit den **Fig. 1** bis **Fig. 3** anhand eines geodätischen Geräts erläutert. Allerdings ist die Erfindung nicht auf ein geodätisches Gerät beschränkt und kann auf andere Geräte angewendet werden, welche drei relativ zueinander verdrehbare Gerätekomponenten und die entsprechenden Neigungssensoren aufweisen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen einer Eigenschaft eines Geräts, insbesondere eines geodätischen Geräts, wobei das Gerät umfasst:

- eine Steuerung (**29**);
- eine erste Gerätekomponente (**3**);
- eine zweite Gerätekomponente (**17**), welche relativ zu der ersten Gerätekomponente (**3**) um eine erste Drehachse (**21**) drehbar ist;
- eine dritte Gerätekomponente (**25**), welche relativ zu der zweiten Gerätekomponente (**17**) um eine zweite Drehachse (**24**) drehbar ist, welche quer zu der ersten Drehachse (**21**) orientiert ist;
- einen ersten Winkelsensor (**31**) zur Messung einer Drehstellung der zweiten Gerätekomponente (**17**) relativ zu der ersten Gerätekomponente (**3**);
- einen zweiten Winkelsensor (**36**) zur Messung einer Drehstellung der dritten Gerätekomponente (**25**) relativ zu der zweiten Gerätekomponente (**17**); und
- ein Neigungssensorsystem (**47**), welches dazu konfiguriert ist, eine erste Orientierung (N_x) des Neigungssensorsystems (**47**) um eine erste Sensorachse (x) relativ zu der Gravitationsrichtung (**22**) zu messen, wobei das Neigungssensorsystem (**47**) an der dritten Gerätekomponente (**25**) so befestigt ist, dass die erste Sensorachse (x) nicht orthogonal zu der zweiten Drehachse (**24**) orientiert ist;

wobei das Verfahren umfasst:

- Orientieren der zweiten Gerätekomponente (**17**) relativ zu der ersten Gerätekomponente (**3**) in einer Mehrzahl von verschiedenen Drehstellungen, wobei in einer jeden Drehstellung der Mehrzahl von Drehstellungen:
- ein Messwert des ersten Winkelsensors (**31**) bestimmt wird,
- ein Messwert des zweiten Winkelsensors (**36**) bestimmt wird, und
- ein Messwert der ersten Orientierung (N_x) des Neigungssensorsystems bestimmt wird; und
- Bestimmen einer Orientierung der ersten Gerätekomponente (**3**) und/oder der ersten Drehachse (**21**) relativ zu der Gravitationsrichtung (**22**) und/oder einer

Orientierung der ersten Drehachse (**21**) relativ zu der zweiten Drehachse (**24**) basierend auf den Messwerten.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei ein Winkel (γ) zwischen der ersten Drehachse (**21**) und der zweiten Drehachse (**24**) im Wesentlichen 90° beträgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei ein Winkel zwischen der zweiten Drehachse (**24**) und der ersten Sensorachse (x) im Wesentlichen 0° beträgt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das Gerät einen ersten Motor (**27**) umfasst, um die zweite Gerätekomponente (**17**) relativ zu der ersten Gerätekomponente (**3**) um die erste Drehachse zu drehen, und wobei der erste Motor (**27**) von der Steuerung (**29**) betätigt wird, um die zweite Gerätekomponente (**17**) relativ zu der ersten Gerätekomponente (**3**) nacheinander in der Mehrzahl von Drehstellungen zu orientieren.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei für eine jede Drehstellung der Mehrzahl von Drehstellungen:

- ein erster Winkelwert (β) basierend auf dem Messwert des zweiten Winkelsensors (**36**) bestimmt wird,
- ein zweiter Winkelwert (X) basierend auf dem Messwert der ersten Orientierung (N_x) des Neigungssensorsystems (**47**) bestimmt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei das Gerät einen zweiten Motor (**33**) umfasst, um die dritte Gerätekomponente (**25**) relativ zu der zweiten Gerätekomponente (**17**) um die zweite Drehachse (**24**) zu drehen, und wobei in einer jeden Drehstellung der Mehrzahl von Drehstellungen der zweite Motor (**33**) von der Steuerung betätigt wird, um die dritte Gerätekomponente (**25**) relativ zu der zweiten Gerätekomponente (**17**) so zu orientieren, dass der zweite Winkelwert (x) Null ist.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei für eine jede Drehstellung der Mehrzahl von Drehstellungen:

- ein dritter Winkelwert (α) basierend auf dem Messwert des ersten Winkelsensors (**31**) bestimmt wird, und

– ein Wertepaar ($[\alpha; \beta]$) gebildet wird, dessen erster Wert der dritte Winkelwert ist und dessen zweiter Wert der erste Winkelwert ist, und wobei das Verfahren ferner umfasst:

Bestimmen von Parametern (A, δ) einer vorbestimmten Funktion derart, dass Abstände zwischen den Wertepaaren und der Funktion minimiert sind, wobei die Orientierung der ersten Gerätekomponente (**3**) relativ zu der Gravitationsrichtung (**22**) basierend auf den bestimmten Parametern (A, δ) bestimmt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 5, wobei für eine jede Drehstellung der Mehrzahl von Drehstellungen:

- ein dritter Winkelwert (α) basierend auf dem Messwert des ersten Winkelsensors (31) bestimmt wird,
- ein vierter Winkelwert ($\beta + X$) basierend auf einer Addition des ersten Winkelwerts (β) und des zweiten Winkelwerts (X) bestimmt wird, und
- ein Wertepaar ($[\alpha; \beta + X]$) gebildet wird, dessen erster Wert der dritte Winkelwert (X) und dessen zweiter Wert der vierte Winkelwert ($\beta + X$) ist, und wobei das Verfahren ferner umfasst:
Bestimmen von Parametern (A, δ) einer vorbestimmten Funktion derart, dass Abstände zwischen den Wertepaaren und der Funktion und minimiert sind, wobei die Orientierung der ersten Gerätekomponente (3) relativ zu der Gravitationsrichtung (22) basierend auf den bestimmten Parametern (A, δ) bestimmt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei das Neigungssensorsystem (47) einen beschränkten Messbereich der ersten Orientierung (N_x) aufweist und dazu konfiguriert ist, nur für einen Teilbereich der möglichen ersten Orientierungen des Neigungssensorsystems (47) um die erste Sensorachse (x) relativ zu der Gravitationsrichtung (22) die erste Orientierung mit einer vorbestimmten Genauigkeit zu messen, und wobei in einer jeden Drehstellung der Mehrzahl von Drehstellungen ferner die dritte Gerätekomponente (25) relativ zu der zweiten Gerätekomponente (17) so orientiert wird, dass die erste Orientierung (N_x) des Neigungssensorsystems in dem Teilbereich liegt.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei das Gerät einen zweiten Motor (33) umfasst, um die dritte Gerätekomponente (25) relativ zu der zweiten Gerätekomponente (17) um die zweite Drehachse (24) zu drehen, und wobei der zweite Motor (33) von der Steuerung (29) betätigt wird, um die dritte Gerätekomponente (25) relativ zu der zweiten Gerätekomponente (17) so zu orientieren, dass die erste Orientierung (N_x) des Neigungssensorsystems (47) in dem Teilbereich liegt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, wobei die Funktion eine Sinusfunktion ist und die Parameter eine Amplitude (A) und eine Phase (δ) der Sinusfunktion umfassen.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei das Neigungssensorsystem (47) ferner dazu konfiguriert ist, eine zweite Orientierung (N_y) des Neigungssensorsystems (47) um eine zweite Sensorachse (y) relativ zu der Gravitationsrichtung (22) zu messen, wobei die zweite Sensorachse (y) quer zu der ersten Sensorachse (x) orientiert ist; wobei in wenigstens zwei Drehstellungen der Mehrzahl von Drehstellungen ferner ein Messwert der zweiten Orientierung (N_y) des Neigungssensorsystems (47) bestimmt wird; und wobei die Orientierung (y) der ersten Drehachse (21) relativ zu der zweiten Drehachse (24) aus den Messwerten bestimmt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei ein Winkel zwischen der ersten Sensorachse (x) und der zweiten Sensorachse (y) im Wesentlichen 90° beträgt.

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, wobei eine Drehstellung der dritten Gerätekomponente relativ zu der zweiten Gerätekomponente in einer ersten Drehstellung der Mehrzahl von Drehstellungen der zweiten Gerätekomponente relativ zu der ersten Gerätekomponente verschieden ist von einer Drehstellung der dritten Gerätekomponente relativ zu der zweiten Gerätekomponente in einer zweiten Drehstellung der Mehrzahl von Drehstellungen der zweiten Gerätekomponente relativ zu der ersten Gerätekomponente.

15. Geodätisches Gerät, umfassend:

- eine erste Gerätekomponente (3);
- eine zweite Gerätekomponente (17), welche relativ zu der ersten Gerätekomponente (3) um eine erste Drehachse (21) drehbar ist;
- eine dritte Gerätekomponente (25), welche relativ zu der zweiten Gerätekomponente (17) um eine zweite Drehachse (24) drehbar ist, welche quer zu der ersten Drehachse (21) orientiert ist, wobei die dritte Gerätekomponente (25) eine Messachse (42) umfasst; einen ersten Winkelsensor (31) zur Messung einer Drehstellung der zweiten Gerätekomponente (17) relativ zu der ersten Gerätekomponente (3)
- einen zweiten Winkelsensor (36) zur Messung einer Drehstellung der dritten Gerätekomponente (25) relativ zu der zweiten Gerätekomponente (17);
- ein Neigungssensorsystem (47), welches dazu konfiguriert ist, eine erste Orientierung (N_x) des Neigungssensorsystems (47) um eine erste Sensorachse (x) relativ zu der Gravitationsrichtung (22) zu messen, wobei das Neigungssensorsystem (47) an der dritten Gerätekomponente (25) so befestigt ist, dass die erste Sensorachse (x) nicht orthogonal zu der zweiten Drehachse (24) orientiert ist; und
- eine Steuerung (29), welche dazu konfiguriert ist, aus Messwerten des Neigungssensorsystems (47) eine Orientierung der ersten Gerätekomponente (3) relativ zu der Gravitationsrichtung (22) und/oder eine Orientierung der ersten Drehachse (21) relativ zur der zweiten Drehachse (24) und/oder eine Eigenschaft des Neigungssensorsystems (47) zu bestimmen.

16. Geodätisches Gerät nach Anspruch 15, wobei eine Messgenauigkeit des Neigungssensorsystems (47) besser als $5''$, insbesondere besser als $2''$ ist.

17. Geodätisches Gerät nach Anspruch 15 oder 16, wobei das Neigungssensorsystem (47) ferner dazu konfiguriert ist, eine zweite Orientierung (N_y) des Neigungssensorsystems (47) um eine zweite Sensorachse (y) relativ zu der Gravitationsrichtung (22) zu messen, wobei die zweite Sensorachse (y) quer zu der ersten Sensorachse (x) orientiert ist.

18. Geodätisches Gerät nach einem der Ansprüche 15 bis 17, wobei die Steuerung (29) dazu konfiguriert ist, das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14 auszuführen.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

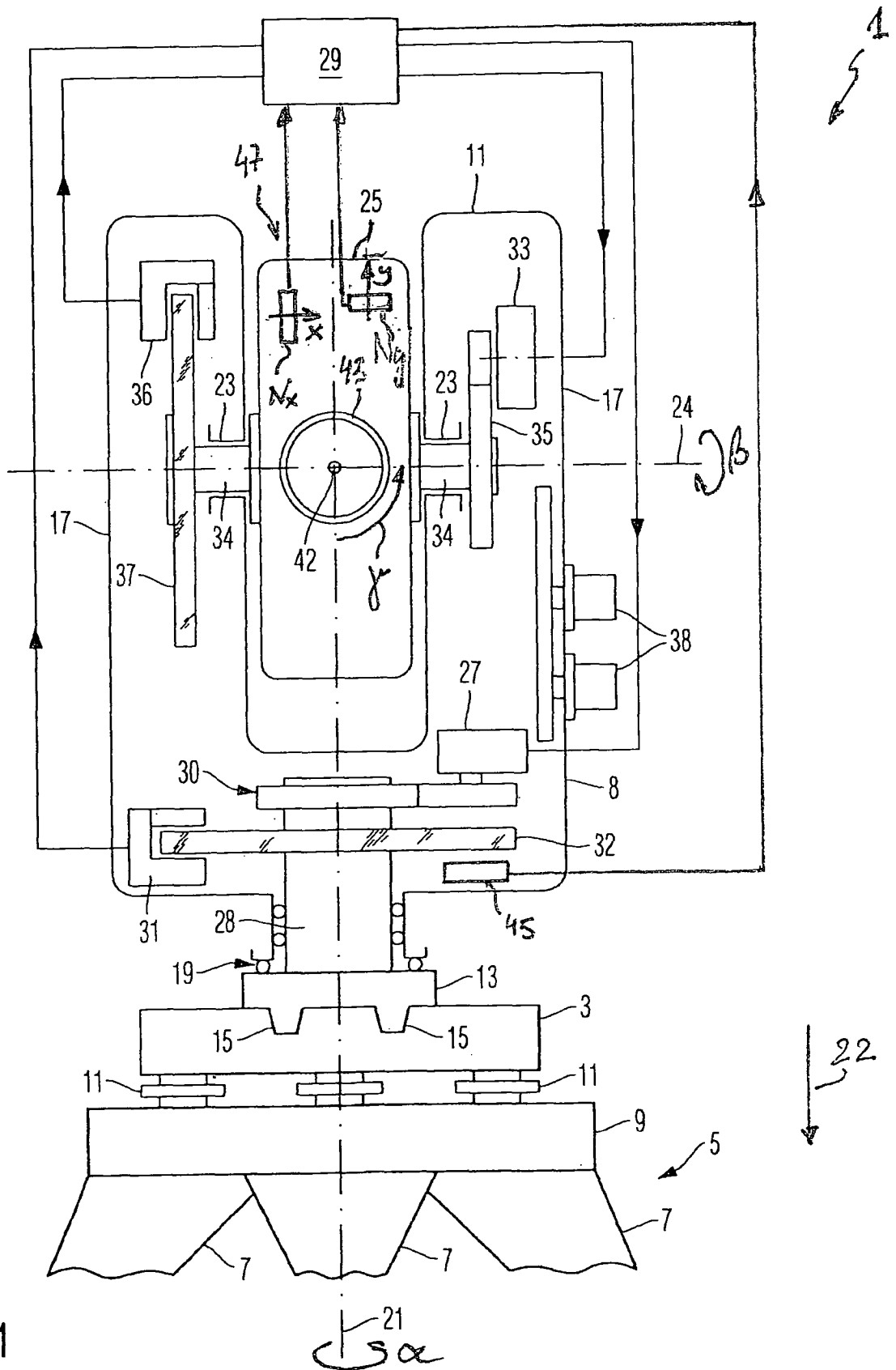


Fig. 1

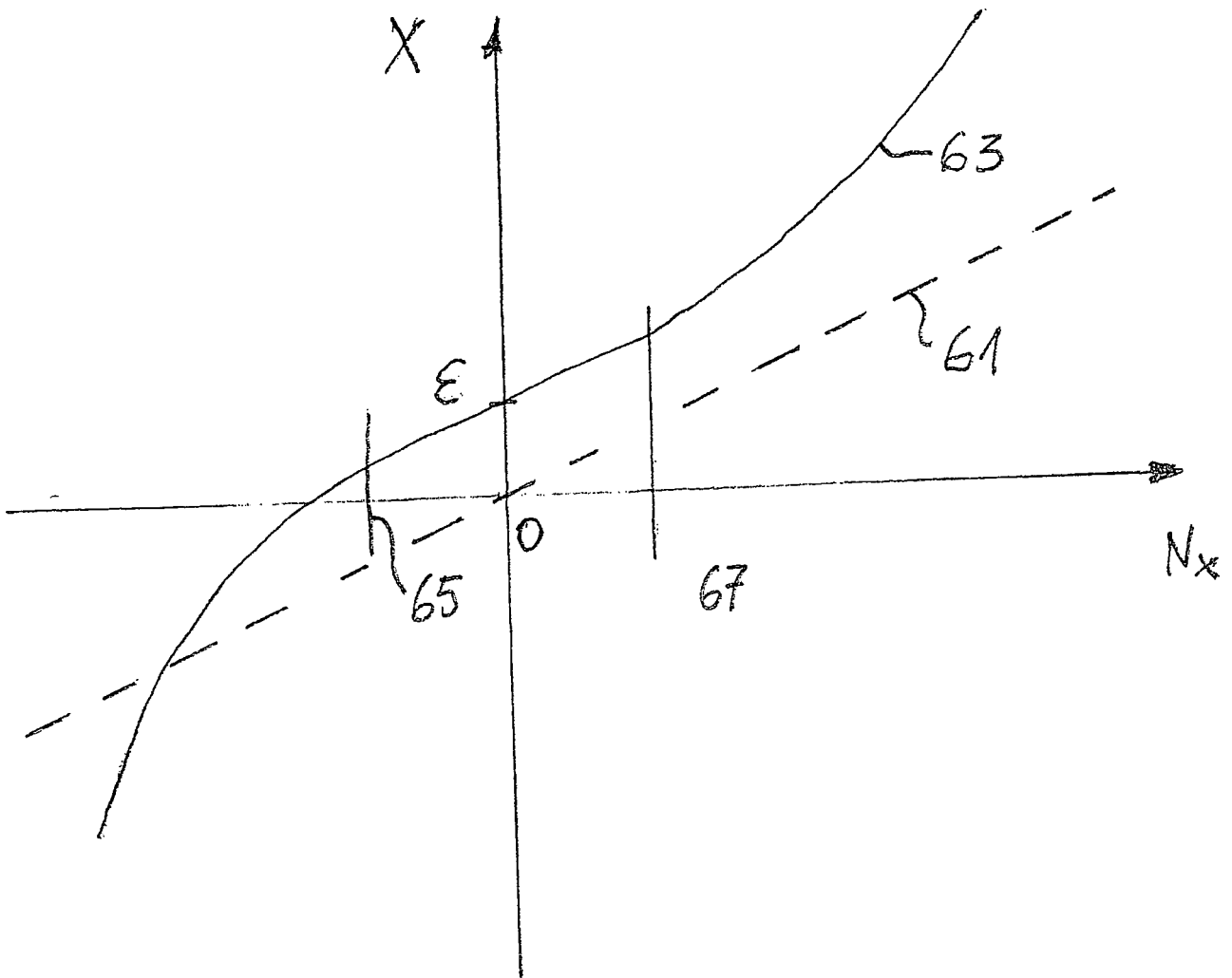


Fig. 2

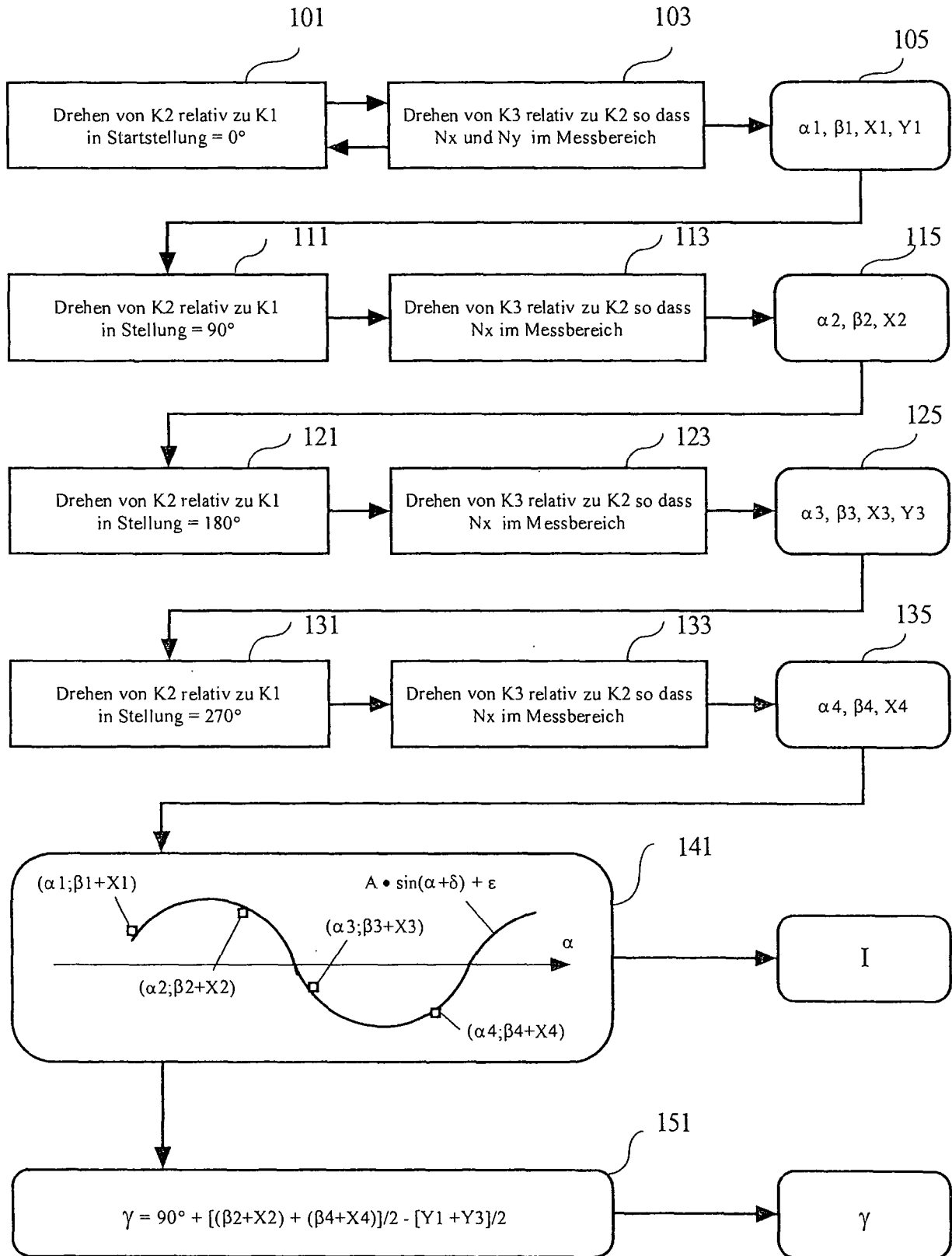


Fig. 3