



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 022 889 A1** 2007.11.22

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 022 889.8**

(22) Anmeldetag: **15.05.2006**

(43) Offenlegungstag: **22.11.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **B25J 17/00** (2006.01)

(71) Anmelder:

**KUKA Roboter GmbH, 86165 Augsburg, DE**

(74) Vertreter:

**LICHTI Patentanwälte, 76227 Karlsruhe**

(72) Erfinder:

**Merk, Günther, 86450 Altenmünster, DE; Markert, Joachim, 86163 Augsburg, DE; Krumbacher, Rainer, 87675 Rettenbach, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

**DE 197 18 284 A1**

**DE 28 41 183 A1**

**DE20 2004 020863 U1**

**DE 600 10 649 T2**

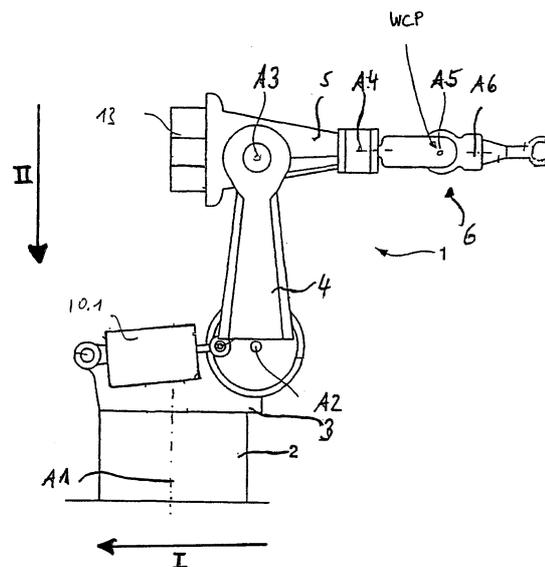
**US 52 14 749 A**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Gelenkroboter**

(57) Zusammenfassung: Zur Erhöhung der Sicherheit eines Gelenkroboters mit als offene Kinematik durch Gelenke verbundenen Robotergliedern und an den Gelenken einwirkenden Funktionselementen, wie Antriebsmotoren, Getrieben, Bremsen und Gewichtsausgleichsystem, unter Minderung der mechanischen Beschränkungen des Bewegungsraums des Roboters sieht die Erfindung vor, dass zumindest ein Teil der genannten Funktionselemente doppelt ausgelegt ist.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Gelenkroboter mit durch Gelenke verbundenen Robotergliedern und mit an den Gelenken einwirkenden Funktionselementen.

**[0002]** Heutige Robotermechaniken wie an Gelenkrobotern sind in der Regel in allen Achsen als offene Kinemattketten ausgebildet. Dieser Aufbau ermöglicht eine hohe Beweglichkeit bei geringen Kosten. Allerdings sind die jeweiligen Baugruppen wie Motore, Getriebe und Strukturteile in der Regel nur einfach ausgeführt. Wenn also eines dieser Bauteile versagt, dann führt das unweigerlich zu einem Schadensfall. Zudem fehlt in der Regel die Möglichkeit, die Fehlerquelle einwandfrei festzustellen. Durch die kontinuierliche Weiterentwicklung sind komplette Ausfälle der Roboter heute selten und im Rahmen einer Industrieanwendung ist dieses Restrisiko durchaus vertretbar. Personenschäden sind hier durch einen Ausschluss von Personen aus dem Arbeitsraum des Roboters vermieden. Bei Applikationen jedoch, bei denen Personen durch den Roboter bewegt werden (z.B. in der Form eines Fahrgeschäfts), ist ein höheres Maß an Sicherheit erforderlich.

**[0003]** Heute bestehende Systeme dieser Art sehen vor, dass alle Bauteile mit einer entsprechenden Sicherheit ausgelegt sind, um einen Bruch zu vermeiden. Die Qualität der Strukturteile wird durch entsprechende Überprüfungsmaßnahmen wie z.B. Ultraschalluntersuchung oder Röntgenuntersuchung sichergestellt. Bei Bauteilen wie Getrieben kann zwar durch Rechnung sichergestellt werden, dass die Achsen durch einen nicht Schadensfall in einzelne Teile zerbrechen, auf Grund der Komplexität der Baugruppen kann aber keine absolute Sicherheit gegen das freie Durchdrehen der Achse gewährleistet werden. Dies gilt in ähnlicher Weise für die Motore und Haltebremsen des Roboters. Deshalb werden die Aufstellorte, Achswinkel und Endanschlagspuffer dieser Maschinen so gestaltet, dass die Fahrgäste selbst bei einem Versagen eines Motors und eines Getriebes nicht mit der umstehenden Peripherie kollidieren können und die Bewegung mit einer zulässigen Beschleunigung vom Puffer aufgefangen wird. Somit ist der Roboter ein sicheres System. Allerdings muss hierfür der Arbeitsraum so stark eingeschränkt werden, dass die Bewegungsmöglichkeiten gegenüber einem normalen Roboter extrem eingeschränkt werden. Diese Einschränkung ist so stark, dass der Roboter für viele Bereiche der Personenbeförderung nur eingeschränkt genutzt werden kann. Aus diesem Grund ist eine Manipulation nötig, die jede Fehlerquelle sicher erkennt und die Bewegung ohne Gefährdung der Fahrgäste abbrechen kann. Neben der Manipulation erfolgt auch eine entsprechende Auswertung von Sensorsignalen.

**[0004]** Demgegenüber liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde bei einem Gelenkroboter, insbesondere zum Transport von Personen, wie als Fahrgeschäft, Simulator oder dergleichen, die Sicherheit unter Reduzierung der mechanischen Begrenzungen des Arbeitsraums zu erhöhen.

**[0005]** Erfindungsgemäß wird die genannte Aufgabe bei einem Gelenkroboter der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass Funktionselemente doppelt ausgelegt sind.

**[0006]** Funktionselemente sind insbesondere Antriebsmotoren, Getriebe, Haltebremsen sowie Gewichtsausgleichsysteme. Während diese bei herkömmlichen Robotern an jedem Gelenk zwischen zwei in der Kinemattkette miteinander verbundenen Robotergliedern lediglich einfach ausgelegt sind, was relativ kostengünstig ist, sieht die Erfindung zur Erhöhung der Sicherheit vor, dass entsprechende Funktionselemente doppelt und damit redundant ausgelegt sind. Es hat sich herausgestellt, dass die Wahrscheinlichkeit des – nahezu – gleichzeitigen Ausfalls zweier redundanter Funktionselemente so minimal ist, dass sie vernachlässigt werden kann.

**[0007]** Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass Antriebsmotoren als Funktionselemente doppelt ausgelegt sind, wobei weiterhin eine Motorstromüberwachung vorgesehen ist. Die Motorstromüberwachung erfolgt dabei kontinuierlich, indem die Motorsignale der Motoren kontinuierlich ausgewertet werden, so dass der Ausfall eines Motors sofort anhand der von Sollwerten abweichenden Istwerte der Motorströme erkannt wird. Der Roboter kann dann stillgesetzt und der Motor ausgetauscht werden.

**[0008]** In Weiterbildung ist vorgesehen, dass am Motor Wegaufnehmer zur Positionsbestimmung vorgesehen sind.

**[0009]** In gleicher Weise sieht eine erfindungsgemäße Weiterbildung vor, dass Getriebe als Funktionselemente doppelt ausgelegt sind. Die Auslegung der Getriebe erfolgt dabei derart, dass bei Versagen eines Getriebes die Motoren und Bremsen den Roboter über das andere Getriebe sicher stillsetzen können.

**[0010]** In Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass Haltebremsen als Funktionselemente doppelt ausgelegt sind, wobei insbesondere der Roboter auch bei Stromausfall in jeder Position sicher gestoppt und gehalten wird. In diesem Zusammenhang ist bevorzugter Weise eine Überwachungseinrichtung zur zyklischen Überwachung der Haltebremsen vorgesehen. Die Prüfung der Bremsen kann beispielsweise regelmäßig vor oder nach einem Betriebszyklus, wie einem Fahrzyklus bei einem als

Fahrgeschäft ausgebildeten oder Simulator fungierenden Roboter durchgeführt werden oder aber zumindest täglich. Hierzu werden die Roboterachsen langsam bewegt und die Bremsen nacheinander einzeln geschlossen und wieder geöffnet. Am Motorstrom der jeweiligen Achse lässt sich das zur Verfügung stehende Bremsmoment erkennen. Sollte eine Bremse außerhalb der Toleranzbereiche liegen, so ist sie vor Inbetriebnahme des Roboters zu tauschen.

**[0011]** In weiterer bevorzugter Ausgestaltung ist vorgesehen, dass Sensoren redundant ausgelegt sind. Überall wo Sensoren angeordnet sind, werden diese zumindest zweifach vorgesehen, wobei gleiche oder auch auf unterschiedlichen Prinzipien arbeitende Sensoren eingesetzt werden können, so dass hierdurch eine Redundanz der Fehlerdetektion gegeben ist.

**[0012]** Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung sehen vor, dass ein Gewichtsausgleichssystem redundant ausgebildet ist. Gewichtsausgleichssysteme können in Form von Federn, wie hydraulischen, pneumatischen oder mechanischen Federn ausgebildet sein. Diese sind parallel nebeneinander angeordnet, so dass auch hierdurch eine Sicherheitsredundanz bewirkt wird. Sensoren zur Überprüfung der Funktionstüchtigkeit der Federn sind an jeder derselben zumindest einfach, ggf. auch mehrfach vorgesehen. Bei fluidbasierten Ausgleichssystemen, wie Hydropneumatiksystemen, pneumatischen oder hydraulischen Systemen erfolgt die Kontrolle insbesondere durch zwei redundante Drucksensoren. Bei Unterschreiten des Fülldrucks wird das gesamte System stillgelegt, ebenso bei unterschiedlichen Anzeigen der beiden Sensoren. Das Gewichtsausgleichssystem ist derart ausgelegt, dass jede seiner parallelen Einheiten die Bewegung des Roboterglieds um die zugehörige Achse, insbesondere der Schwinge der Achse A2 des Roboters anhalten kann, wenn die andere Einheit ausfällt.

**[0013]** Wegaufnehmer zur Achspositionsbestimmung können ebenfalls redundant ausgeführt werden und bestehen vorzugsweise aus einer Kombination von relativen und absoluten Weggebern. Sie werden antriebs- und abtriebsseitig angeordnet. Damit wird der komplette Antriebsstrang des Roboters auf Fehler überprüft. Wenn ein oder beide Wegsignale vom Sollwert abweichen, dann wird der Roboter stillgesetzt. Durch Verwendung mindestens eines Absolutwertgebers pro Achse kann auch die Justage der Roboterachsen überprüft werden. Bei fehlerhaften oder voneinander abweichenden Werten wird das System stillgesetzt.

**[0014]** In bevorzugter Ausführung sind die durch Gelenke verbundenen Roboterglieder in Form einer offenen kinematischen Kette angeordnet. Es kann auch vorgesehen sein, dass die Roboterglieder zu-

mindest partiell in Form einer geschlossenen kinematischen Kette angeordnet sind.

**[0015]** Zur zusätzlichen Erhöhung der durch redundante Auslegung einzelner Funktionselemente und/oder Sensoren bewirkten Sicherheit ist in einer Weiterbildung der Erfindung ein Vergleich der von dem/den Wegaufnehmer(n) ermittelten Istwerten der Achspositionen mit vorangehend ermittelten oder vorgegebener Sollwerte vorgesehen. Bei Feststellen einer Abweichung der Istwerte von den Sollwerten außerhalb festgelegter Toleranzgrenzen erfolgt ein Anhalten des Systems innerhalb eines definierten Sicherheitsraumes. In bevorzugter Ausführung werden die Toleranzgrenzen unter Einbeziehung vorher bestimmter Toleranzbereiche einzelner Funktionselemente, wie Motoren, Bremsen oder Gewichtsausgleichssysteme, ermittelt. Dabei können Sollwerte in Form einer idealen Bahnkurve der Roboterbewegung im Rahmen einer Computersimulation, wie einer Not-Stop-Simulation, berechnet werden, in welcher Parameter wie Geschwindigkeit, Beschleunigung, Traglast und Roboterposition berücksichtigt werden. Unter Einbeziehung der einzelnen Toleranzbereiche der Funktionselemente und/oder anderer Ausfallszenarien innerhalb des Robotersystems und den damit einhergehenden Veränderungen der simulierten Bahnkurven können maximale Abweichungen von einer idealen Bahnkurve, insbesondere der maximale Nachlaufweg bei einem Not-Stop-Ereignis, mit hinreichender Genauigkeit erfasst werden. Beispielsweise sind die so ermittelten Sicherheitsräume, die zur Sicherheitsgewährleistung zwischen Roboter und Roboterumgebung einzuhalten sind, in Form eines die ideale Bahnkurve einhüllenden Schlauches gebildet, in dessen Innenraum der Roboter unter allen möglichen Fahrzuständen und Berücksichtigung aller sicherheitsrelevanten Parameter sicher anhält. Bevorzugt werden die Sicherheitsräume zur weiteren Erhöhung der Sicherheit noch durch Beaufschlagung von Störkonturen einer Traglast oder erforderlichen Sicherheitsabständen zur Umgebung erweitert.

**[0016]** Bei einem erfindungsgemäßen Roboter werden also Strukturteile, insbesondere die Roboterglieder, deren technische Funktion einfach und klar definiert ist, durch Berechnung und Prüfung sicher ausgelegt. Methoden zur Herstellung der Sicherheit sind Berechnung von Verbindungen, FEM-Berechnungen der Bauteile, geeignete Wahl von Sicherheitsfaktoren, Fertigung durch qualifizierte Hersteller und geeignete Qualitätssicherungsmethoden, wie Röntgenprüfungen und Ultraschalluntersuchungen. Bei Bauteilen mit komplexerem Aufbau, wie beispielsweise Kompaktgetrieben oder Lagerungseinheiten, wie Drehkränzen, können diese in gleicher Weise so ausgeführt werden, dass sie auch beim schwersten zunehmenden Schaden nicht brechen, d.h. Antriebs- und Abtriebsseite sich nicht trennen. Damit ist die Grundfunktion eines Haltens sicher gewährleistet.

Bei komplexeren Zusammenhängen, wie sie bei den oben erörterten Funktionselementen gegeben sind, erfolgt über die erfindungsgemäß redundante Auslegung eine Überwachung.

**[0017]** Durch die Erfindung wird erreicht, dass nicht nur jeder mögliche Fehler sicher erkannt wird, sondern dass im Fehlerfalle jede Gefährdung, insbesondere von Personen, durch Roboter transportierte Personen ausgeschlossen ist.

**[0018]** Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen und aus der nachfolgenden Beschreibung, in der ein Ausführungsbeispiel eines Gelenkroboters unter Bezugnahme auf Teile eines solchen zeigenden Zeichnungen erläutert ist. Dabei zeigt:

**[0019]** [Fig. 1](#) ein Gelenkroboter in Seitenansicht;

**[0020]** [Fig. 2](#) eine Frontansicht auf Karussell und Schwinge eines solchen Roboters in Richtung des Pfeils I der [Fig. 1](#);

**[0021]** [Fig. 3](#) eine Sicht auf Karussell und Schwinge einschließlich zwischen diesem angeordnetem Gewichtsausgleichsystem in Rückansicht entsprechend dem Pfeil II der [Fig. 1](#);

**[0022]** [Fig. 4](#) die Darstellung von Sensoren an einem Roboterarm; und

**[0023]** [Fig. 5](#) ein Ablaufdiagramm eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Fehlerüberwachung.

**[0024]** Ein Gelenkroboter **1** weist einen Sockel **2**, ein auf diesem befindliches und um die erste Achse A1 drehbares Karussell **3**, ein an diesem schwenkbar um eine in der Regel zur Achse A1 senkrecht angeordnete zweite Achse A2 verschwenkbare Schwinge **4**, einen an dieser angelenkten, in der Regel um eine zur Achse A2 parallele Achse A3 verschwenkbaren Roboterarm **5** sowie eine um eine vierte Achse A4 drehbar angeordnete Hand **6** auf, die zur Gewährleistung einer vollen Beweglichkeit weitere um zwei Achsen A5 und A6 drehbare Teile aufweist.

**[0025]** Das Karussell **3** und die Schwinge **4** sind zur Entlastung des die Schwinge bewegenden Motors in der Regel durch ein Gewichtsausgleichsystem **10.1** verbunden.

**[0026]** Die [Fig. 2](#) zeigt Karussell **3** und Schwinge **4**. Am Karussell **3** sind zwei Streben **3.1**, **3.2** vorgesehen, zwischen denen die Schwinge **4** gehalten ist und an denen erfindungsgemäß jeweils außenseitig, auf der der Schwinge abgewandten Seite ein erster Motor **8.1** und ein zweiter Motor **8.2** jeweils mit einem Getriebe **9.1**, **9.2** vorgesehen sind. Derart sind die Antriebselemente für die Schwinge doppelt und da-

mit redundant ausgebildet.

**[0027]** Die [Fig. 3](#) zeigt eine entsprechende redundante Auslegung für Gewichtsausgleichsysteme sowie das Bremssystem für die Schwinge **4**. Das Gewichtsausgleichsystem besteht aus zwei Federn **10.1**, **10.2**, wie hydropneumatischen, hydraulischen oder pneumatischen Federn. Jede der Federn ist mit einem Überwachungssensor **11.1**, **11.2** versehen. Seitlich rechts in der [Fig. 3](#) sind darüber hinaus bei Bremsen **12.1**, **12.2** vorgesehen, die beide auf die Schwinge **4** wirken und diese abbremsen können. Statt einer einseitigen Anordnung der Bremsen **12.1**, **12.2** können diese auch symmetrisch beidseitig der Schwinge **4** angeordnet sein.

**[0028]** Die [Fig. 4](#) zeigt einen Roboterarm **5** in Draufsicht. Links ist der doppelt ausgelegte Antriebsmotor **13.1**, **13.2** für den Roboterarm dargestellt, während rechts das Getriebe **14** dargestellt ist, über welches er mit der Schwinge **3** ([Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#)) verbindbar ist. Am rückwärtigen (unteren) Ende des Roboters sind Motoren für die Handachsen des Roboters angeordnet, von denen lediglich der oberste Motor erkennbar ist und die über Gestänge auf die freien Enden **5.1** des Arms **5** anzuordnenden Handelemente einwirken.

**[0029]** Es sind zwei Wegaufnehmer **16.1**, **16.2** dargestellt, die die Bewegungen des Roboterarms **5** relativ zur Schwinge antriebsseitig überwachen. Ein weiterer Wegaufnehmer **16.3** ist zur abtriebsseitigen Überwachung der Roboterarmbewegung vorgesehen, wodurch eine zusätzliche Redundanz bewirkt ist und auch der gesamte Antriebsstrang überwacht wird.

**[0030]** Die [Fig. 5](#) zeigt ein Ablaufdiagramm eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Fehlerüberwachung und zur zusätzlichen Erhöhung der durch redundante Auslegung einzelner Funktionselemente und/oder Sensoren bewirkten Sicherheit. Vor der eigentlichen Inbetriebnahme des erfindungsgemäßen Roboters werden einfache Mechanikteile, wie Strukturteile und Verschraubungen, durch Berechnungen mit ausreichend hohen Sicherheitsfaktoren in Schritt S1 auf Sicherheit überprüft. Zusätzlich erfolgt auch eine mechanische Prüfung. Weiterhin wird in Schritt S2 die Roboterbahn vor dem Einsatz desselben simuliert, beispielsweise im Rahmen einer Not-Stop-Simulation, in welcher sämtliche möglichen Ausfallsszenarien einzelner Funktionselemente und/oder Sensoren auch im Hinblick auf deren Zusammenwirken einbezogen werden. Durch eine derartige Simulation sind die benötigten Sicherheitsräume im Hinblick auf die Umgebung des Roboters während dessen Inbetriebnahme bekannt und können so im Anlagenlayout berücksichtigt werden.

**[0031]** In Schritt S3 kann nun das Robotersystem

gestartet werden. Dabei erfolgt in zyklischen Abständen in einem jeweiligen Schritt S4 ein Funktionstest einzelner Funktionselemente und/oder Sensoren, wodurch insbesondere ein Ausfall von mehr als einer Komponente pro Durchlauf vermieden wird. Ein derartiger Funktionstest kann beispielsweise an den einzelnen Bremsen oder in Form einer Druckprüfung am Gewichtsausgleichssystem durchgeführt werden.

**[0032]** Insbesondere ist vorgesehen, einen Fehler in Form eines Justageverlusts der Roboterglieder oder Gelenke (Schritt S5) oder eines defekten Positionsgebers (Schritt S6) zu ermitteln, wobei die Fehlermeldung und Stillsetzung bei Ausgabe falscher oder unrealistischer Werte am Positionsgeber erfolgt.

**[0033]** Weiterhin kann ein Fehler in Form eines defekten Gewichtsausgleichssystems, welcher beispielsweise durch die redundant ausgebildeten Drucksensoren ermittelt werden kann (Schritt S7), in Form eines defekten Motors, wobei die Fehlererkennung durch Rückmeldung des Servomotors erfolgen kann (Schritt S8), oder in Form einer oder mehrerer defekter Bremsen (Schritt S9) oder eines oder mehrerer defekter Getriebe (Schritt S10) vorliegen, wobei in den letzten Fällen eine Verlängerung des Anhaltewegs bzw. eine Blockierung bei der weiteren Inbetriebnahme des Roboters festgestellt wird.

**[0034]** Weitere mögliche zu ermittelnde Fehlerquellen umfassen eine unterbrochene Stromzufuhr (Schritt S11), wobei auch hier eine Blockierung bei der weiteren Inbetriebnahme und ein Anhalten mittels Permanentmagnetbremsen erfolgt, oder ein sonstiger Defekt im Antriebsstrang (Schritt S12) mit einer damit einhergehenden Blockierung oder einer eventuellen Verlängerung des Anhaltewegs, oder einem Verlassen des Roboters der vorgesehenen Bahn (Schritt S13), was aus einer Abweichung zwischen den ermittelten Werten des/der Positionsgeber und der vorab simulierten Roboterbahn ermittelt werden kann.

**[0035]** Sind sämtliche der in den Schritten S5 bis S13 durchgeführten Fehlerabfragen negativ, kann ein sicherer Betrieb des Roboters vorausgesetzt und die Inbetriebnahme des Roboters in Schritt S14 fortgesetzt werden.

**[0036]** Wird jedoch während des Durchlaufens der Fehlerabfragen S5 bis S13 eine Fehlerquelle ermittelt, erfolgt in Schritt S15 ein sofortiger Stop des Roboters innerhalb der Sicherheitsräume, ohne die zulässige Beschleunigung zu überschreiten.

**[0037]** Somit kann in Schritt S16 ein sicheres Anhalten des Roboters bzw. die Verhinderung eines Systemstarts im Fehlerfall mit höchsten Sicherheitsanforderungen vorausgesetzt werden.

## Bezugszeichenliste

1	Gelenkroboter
2	Sockel
3	Karussell
3.1, 3.2	Streben
4	Schwinge
5	Roboterarm
5.1, 5.2	Enden
6	Hand
8.1, 8.2	Motor
9.1, 9.2	Getriebe
10.1, 10.2	Federn
11.1, 11.2	Überwachungssensor
12.1, 12.2	Bremsen
13.1, 13.2	Antriebsmotor
14	Getriebe
16.1, 16.2, 16.3	Wegaufnehmer
S1–S16	Verfahrensschritte

## Patentansprüche

1. Gelenkroboter mit durch Gelenke verbundenen Robotergliedern und mit an den Gelenken einwirkenden Funktionselementen, **dadurch gekennzeichnet**, dass Funktionselemente (**8.1, 8.2, 9.1, 9.2, 12.1, 12.2**) doppelt ausgelegt und sicher überwacht sind.

2. Roboter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Antriebsmotoren (**8.1, 8.2, 13.1, 13.2**) und/oder Getriebe (**9.1, 9.2**) und/oder Haltebremsen (**12.1, 12.2**) als Funktionselemente doppelt ausgelegt sind.

3. Roboter nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein Gewichtsausgleichssystem (**10.1, 10.2**) als Funktionselement redundant ausgebildet ist.

4. Roboter nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Gewichtsausgleichssystem (**10.1, 10.2**) zwei oder mehr parallel angeordnete Federn, wie hydraulische, pneumatische oder mechanische Federsysteme aufweist.

5. Roboter nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Sensor (**11.1, 11.2, 16.1, 16.2, 16.3**) zur Überwachung eines oder mehrerer Funktionselemente (**8.1, 8.2, 9.1, 9.2, 10.1, 10.2, 12.1, 12.2, 13.1, 13.2**) vorgesehen ist.

6. Roboter nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der/die Sensor(en) (**11.1, 11.2, 16.1, 16.2, 16.3**) redundant ausgelegt ist/sind.

7. Roboter nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass abtriebsseitig der/die Sensor(en) (**16.3**) in Form von Absolutgebern zur Positionsbestimmung angeordnet sind.

8. Roboter nach einem der Ansprüche 1 bis 7, gekennzeichnet durch Funktionselemente in Form von Haltebremsen (**12.1**, **12.2**) zum sicheren Anhalten und Stoppen des Roboters auch bei Stromausfall.

9. Roboter nach einem der Ansprüche 5 bis 8, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zum Vergleichen der über den/die Sensor(en) bestimmten Positionswerte mit den Positionswerten einer vorab berechneten Bahnkurve der Roboterglieder.

10. Roboter nach einem der Ansprüche 1 bis 9, gekennzeichnet durch einen vorab berechneten Sicherheitsraum, innerhalb dessen ein sicheres Anhalten der Roboterglieder möglich ist.

11. Roboter nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass durch Gelenke verbundene Roboterglieder in Form einer offenen kinematischen Kette angeordnet sind.

12. Roboter nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest einige der durch Gelenke verbundenen Roboterglieder in Form einer geschlossenen kinematischen Kette angeordnet sind.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

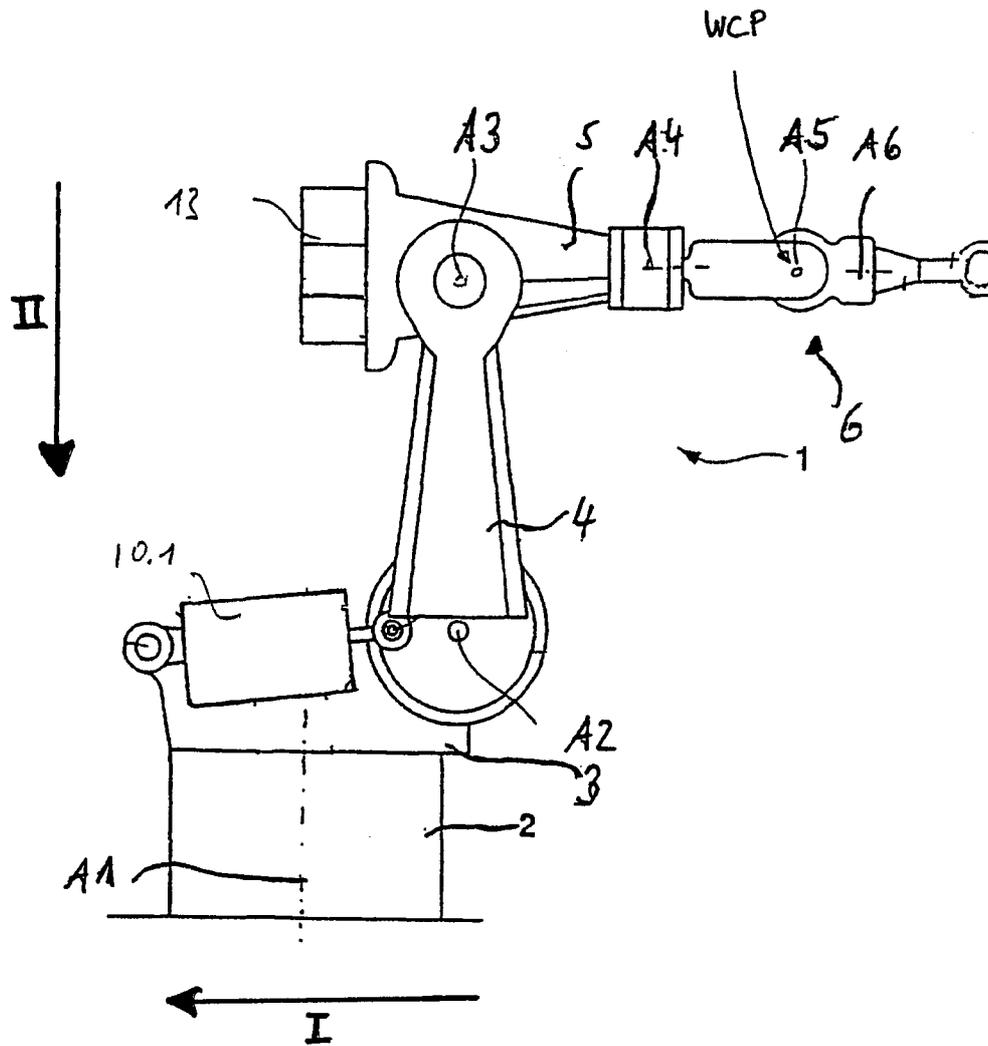


Fig. 1

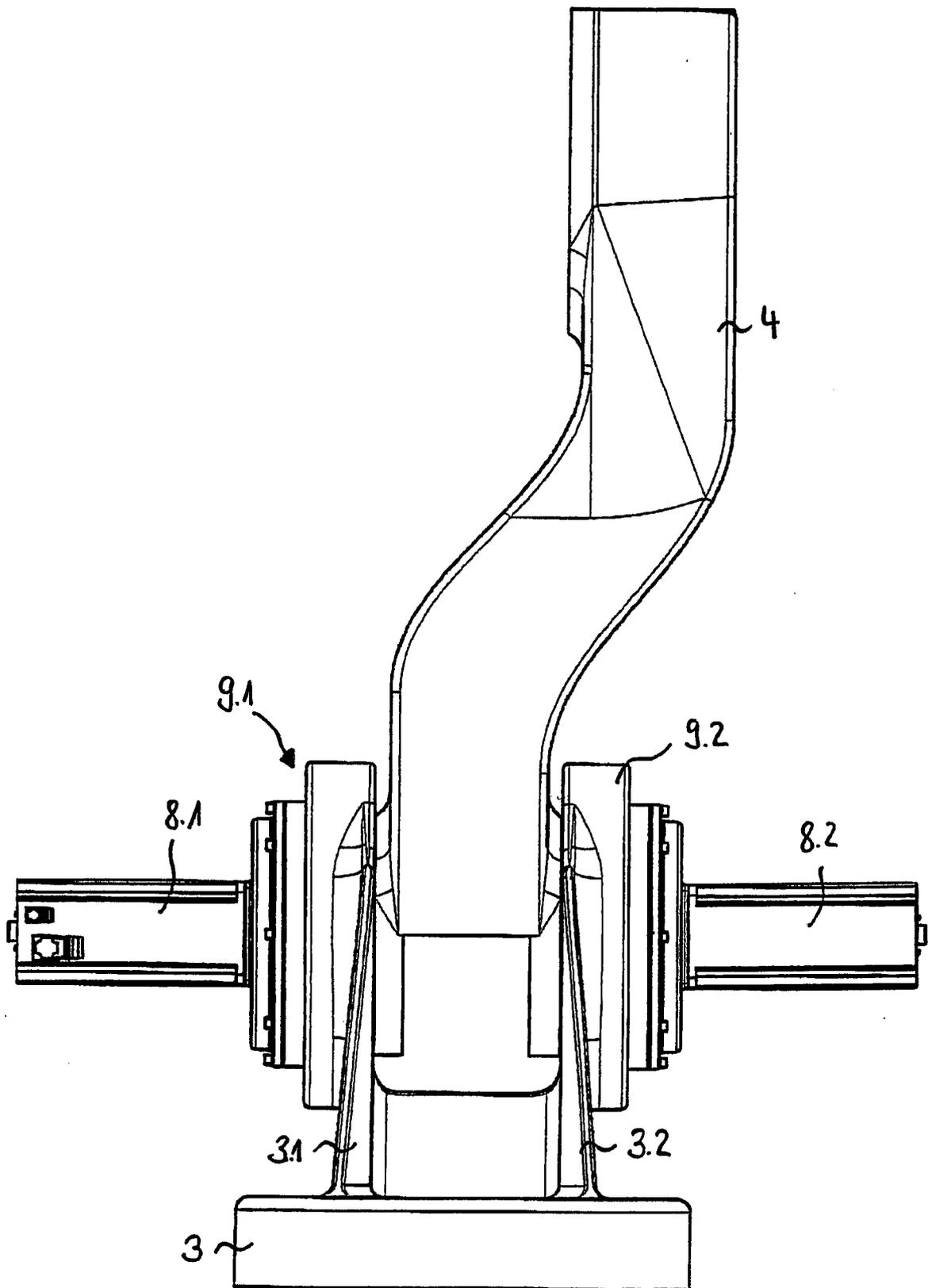


Fig. 2

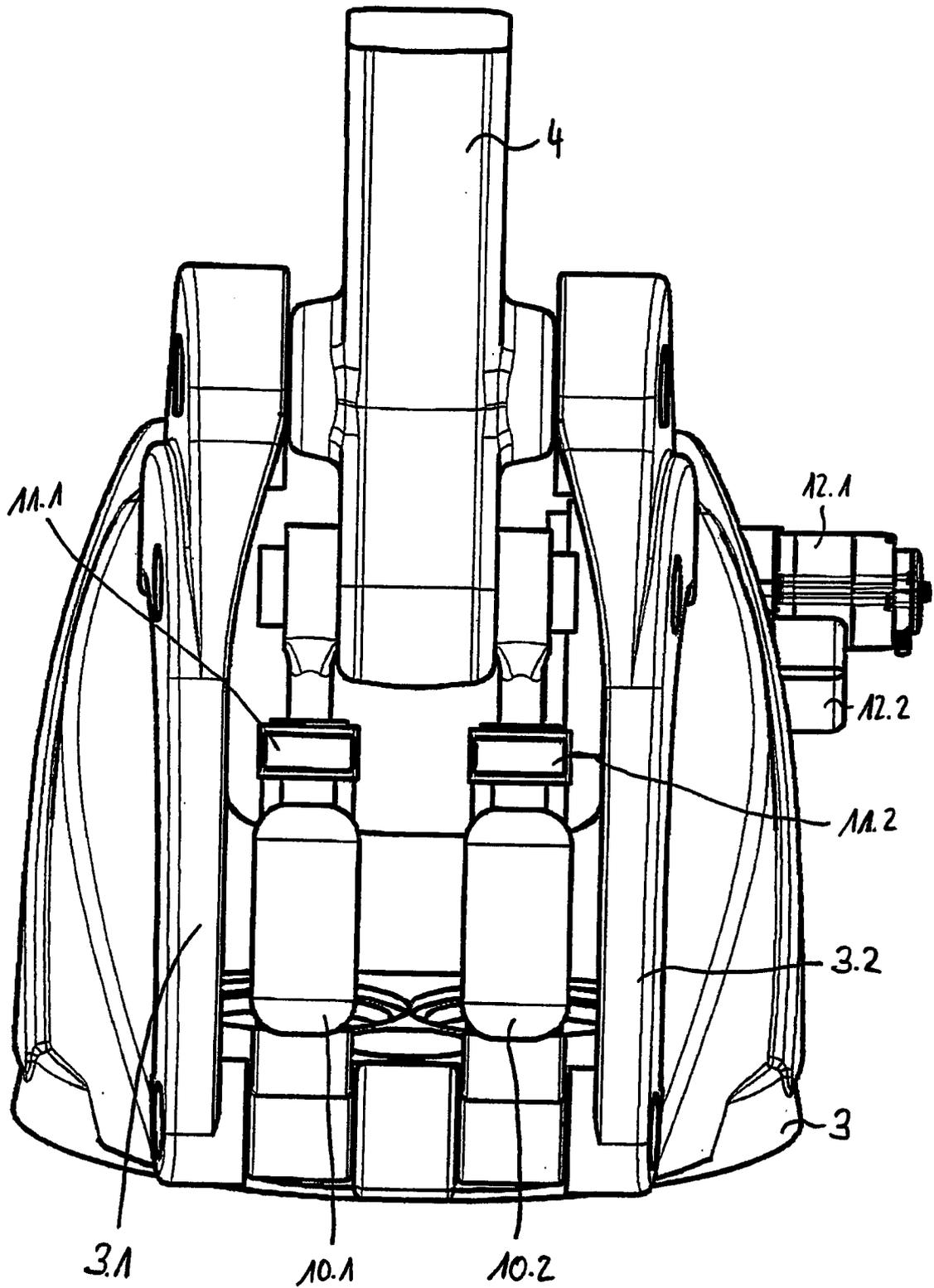


Fig 3

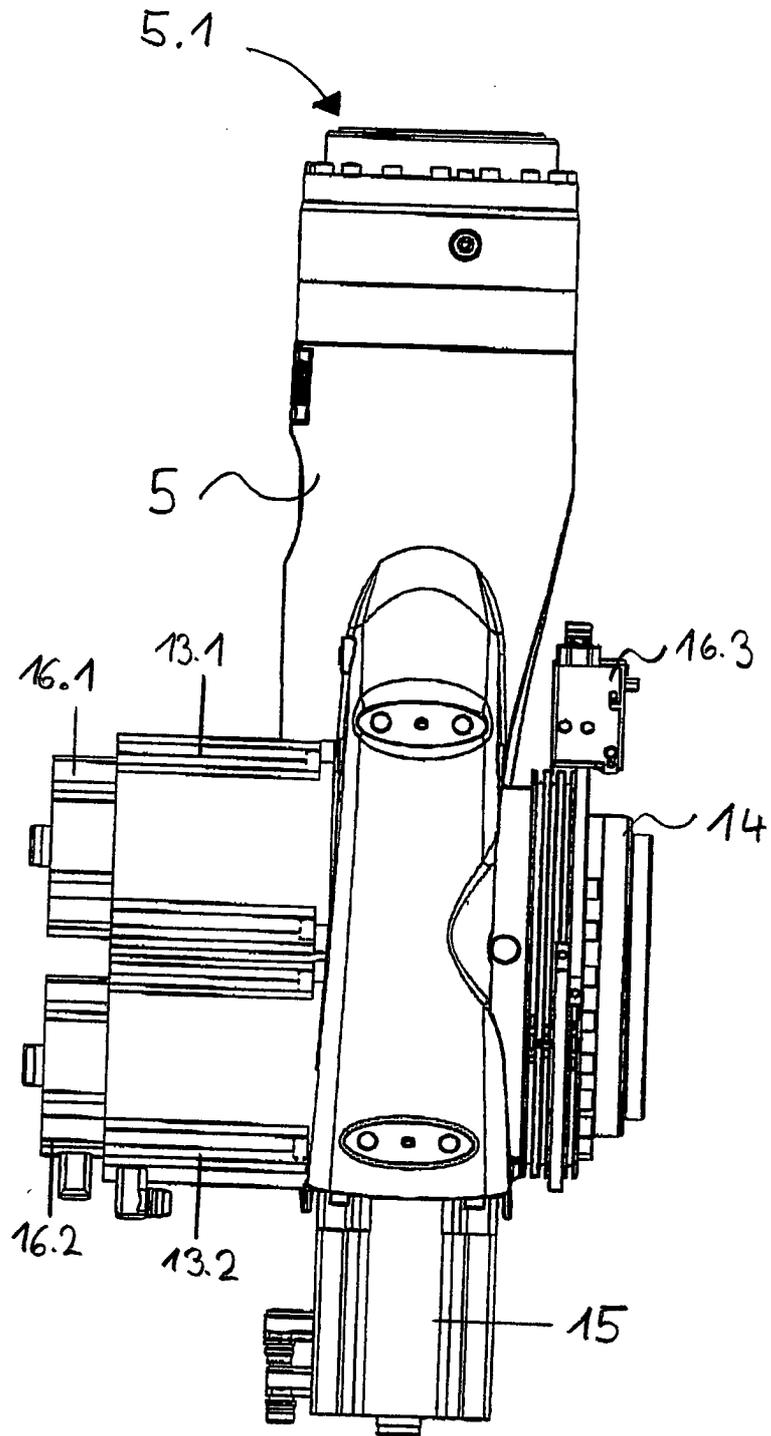


Fig. 4

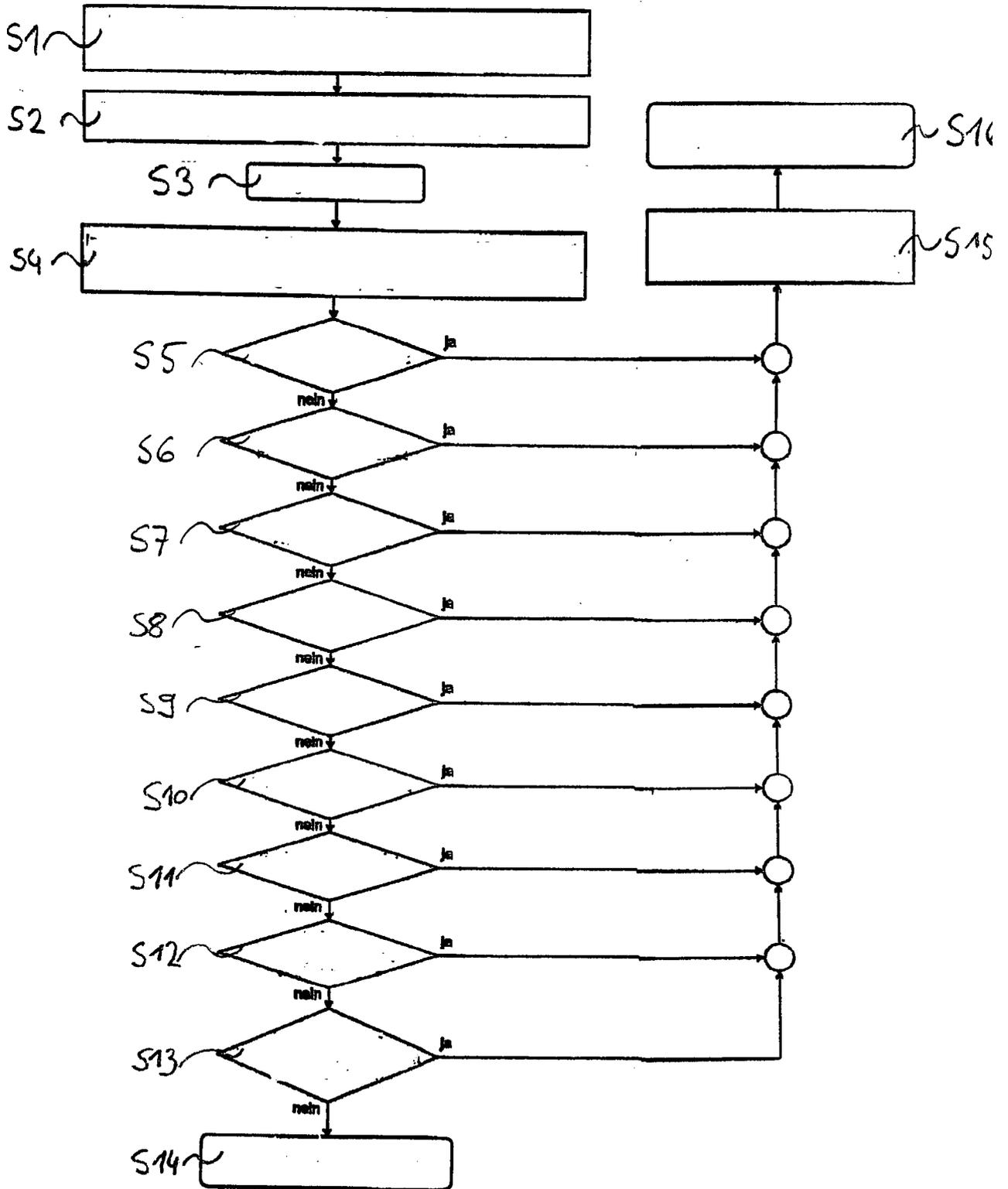


Fig.5