

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
30. Oktober 2014 (30.10.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/174487 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
B62D 57/032 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/IB2014/060995

(22) Internationales Anmeldedatum:
24. April 2014 (24.04.2014)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102013104166.3 24. April 2013 (24.04.2013) DE
102013104578.2 3. Mai 2013 (03.05.2013) DE

(72) Erfinder; und

(71) Anmelder : WERNER, Tino [AT/DE]; Mannheimer Str.
6, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen (DE).

(74) Anwalt: TAHHAN, Isam; Am Birkenacker 13, 79199
Kirchzarten (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,

NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH,
TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,
ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE,
SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,
GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

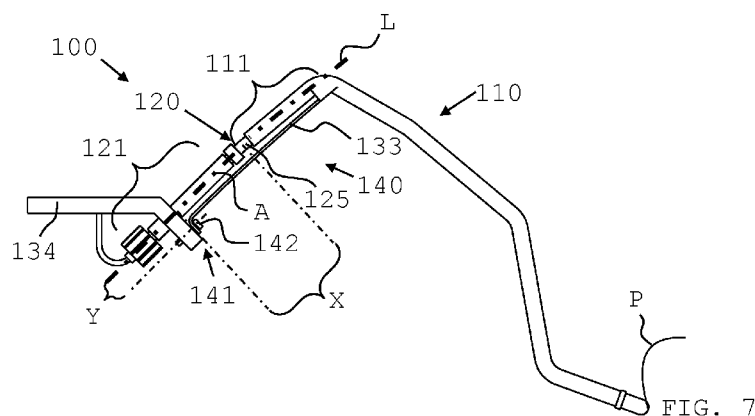
Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- hinsichtlich der Identität des Erfinders (Regel 4.17 Ziffer i)
- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu
beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)
- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, die Priorität
einer früheren Anmeldung zu beanspruchen (Regel 4.17
Ziffer iii)
- Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: IMPROVED WALKING ROBOT

(54) Bezeichnung : VERBESSERTER SCHREITROBOTER



(57) **Abstract:** The invention relates to a walking mechanism (100) for generating a striding motion of a leg (110), having a driveable shaft (120) and a leg (110), wherein the proximal section (111) of the leg (110) is rotatably connected to the shaft (120), while mobility of the leg (110) relative to the distal section (123) of the shaft (120) is limited, wherein a stop element (140) is provided which limits the rotation of the leg (110) around the longitudinal axis (L) thereof, and wherein the shaft (120) connected to the leg (110) has a kink (125). The invention also relates to a synchronisation device for a drive system for a robot comprising at least two drive units, wherein the drive units are connected together by at least one force coupling which is elastic and therefore the drive units can have a variable phase offset to one another. Finally, the invention relates to a control system detecting a risk of collision for the drive of a mobile robot comprising at least two independently operable motors (M1, M2), and to a method therefor.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2014/174487 A2

**Veröffentlicht:**

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Die Erfindung betrifft eine Schreitkinematik (100) zur Erzeugung einer Schreitbewegung eines Beines (110), mit einer antreibbaren Welle (120) und mit einem Bein (110), wobei der proximale Abschnitt (111) des Beines (100) mit der Welle (120) rotierbar verbunden ist, während eine Beweglichkeit des Beines (110) relativ zum distalen Abschnitt (123) der Welle (120) begrenzt ist, wobei ein Anschlagselement (140) vorgesehen ist, welches die Rotation des Beines (110) um seine Längsachse (L) begrenzt, und wobei die mit dem Bein (110) verbundene Welle (120) einen Knick (125) aufweist. Die Erfindung betrifft auch eine Synchronisationsvorrichtung für ein mindestens zwei Antriebseinheiten umfassendes Antriebssystem eines Roboters, wobei die Antriebseinheiten durch mindestens eine Kraftkopplung miteinander verbunden sind, welche elastisch ist, so dass die Antriebseinheiten einen variablen Phasenversatz zueinander aufweisen können. Schließlich betrifft die Erfindung eine Kollisionsgefahr detektierende Steuerung für den mindestens zwei unabhängig betreibbare Motoren (M1, M2) umfassenden Antrieb eines mobilen Roboters, und ein Verfahren dazu.

Verbesserter SchreitroboterEinleitung

Die Erfindung betrifft das Gebiet von sich fortbewegenden Maschinen. Insbesondere betrifft die Erfindung einen Roboter mit
5 einer verbesserten Schreitkinematik. Die Erfindung betrifft auch die Verbesserung der Synchronisation der Antriebe, sowie eine verbesserte Steuerung zur Navigation und/oder Hinderniserkennung für einen solchen Roboter.

Stand der Technik und Nachteile

- 10 Aus dem Stand der Technik sind ferngesteuert oder sich autonom zu Lande fortbewegende Maschinen hinlänglich bekannt. Derartige Maschinen, nachfolgend Roboter genannt, weisen Mittel zur Fortbewegung auf, die typischerweise als Räder, Raupen oder Beine ausgebildet sind.
- 15 Während rotierende Fortbewegungsmittel wie Räder oder Raupen einfach aufzubauen und anzutreiben sind, gilt dies für Roboter mit beinartigen Fortbewegungsmitteln nur bedingt. Dies ist insbesondere dann von Relevanz, wenn die Bewegung der Beine natürlichen Vorbildern wie beispielsweise sechsbeinigen Insekten
20 oder achtbeinigen Spinnentieren nachempfunden werden soll. Derartige, zumeist als Spielzeug Verwendung findende Roboter sind z.B. in den Druckschriften DE 2004 016 345 A1, US 5,423,708 A, US 2,827,735 A, US 4,629,440 A, US 4,662,465 A, US 3,331,463 A, US 6,488,560 B2, und US 5,127,484 A offenbart.
- 25 Natürliche Beinbewegungen lassen sich immer dann realisieren, wenn eine große Anzahl von Gelenken und Motoren und/oder eine komplexe Mechanik vorgesehen ist. Insbesondere für Spielzeuge, die ausreichende Robustheit bei geringen Kosten bieten sollen, kommt dieser Ansatz jedoch nicht in Betracht. Eine Schreitkinema-
30 tik, welche auch mit einfachen Mitteln ein natürliches Bewegen

der Beine erlauben soll, offenbart die Druckschrift US 6,866,557 B2. Die theoretische Bewegung der Beinspitze ist in der **Fig. 1** dargestellt. Wie ersichtlich, ist der „Fuß“ lange am Boden, hebt am hinteren Endpunkt der Bewegung ab, bewegt sich schnell an den vorderen Startpunkt, und berührt dann wieder den Boden. Durch das Vorsehen mehrerer Beine, welche die beschriebene Bewegung zeitlich und räumlich versetzt zueinander ausführen, ist eine verhältnismäßig gleichmäßige Fortbewegung eines von diesen Beinen getragenen Körpers möglich, wobei die Beinbewegungen denen eines entsprechenden Insekts ähneln.

Die besagte Druckschrift zeigt eine vergleichsweise einfache Kinematik (**Fig. 2**), welche das Abheben eines Beines mittels einer Schubbewegung realisiert wodurch sich die Länge des Beines verändert. Dies führt zu einer wenig realistischen Beinbewegung.

Die Druckschrift zeigt auch eine komplexe Kinematik (**Fig. 3**), welche eine Vor- und Rückrotation des Beines im Laufe eines Bewegungszyklus ermöglicht. Nachteilig an dieser Kinematik ist jedoch, dass sie aus einer Vielzahl von Gelenken und Stangen besteht, und somit kompliziert zu montieren und empfindlich gegen mechanische Einwirkungen ist. Dies, und die aus der komplexen Mechanik erwachsenden Kosten schränken die möglichen Anwendungsgebiete stark ein.

Ein weiteres Problem bei sich fortbewegenden Robotern tritt immer dann auf, wenn für die beiden Seiten des Roboters auch zwei Antriebe vorgesehen werden, wobei jeder Antrieb beispielsweise eine Beingruppe bewegt. Soll der Roboter von einer geradlinigen Bahn abweichen, so ist dies auf einfache Weise durch unterschiedlichen Antrieb der beiden Beingruppen möglich, wobei die Antriebe typischerweise „außer Tritt kommen“. Nachfolgend ist es sinnvoll, die Antriebe für eine dann wieder geradlinige Fortbewegung miteinander zu synchronisieren. Blieben die beiden Seiten weiterhin „außer Tritt“, so verlief die Fortbewegung

nicht mehr in der Art, dass die Bewegungen der Beingruppen beider Seiten aufeinander abgestimmt sind.

Eine starre Kopplung der Antriebe beider Seiten würde zwar das Problem des Synchronisationsverlustes von vornherein eliminieren;
5 allerdings wäre damit kein gezielter Richtungswechsel mehr möglich und es ist in der Praxis von großem Vorteil, wenn den Beingruppen beider Seiten eine vorübergehende mechanische Unabhängigkeit voneinander ermöglicht wird. So führt beispielsweise die Kollision einer Beingruppe mit einem Hindernis nicht zu
10 einer unkontrollierten Abprall-Bewegung des Roboters, sondern zu einem „sanften“ Entfernen von demselben. Um eine Re-Synchronisation zu erreichen, sind elektronische Hilfsmittel bekannt, welche die Position der Antriebe bzw. Beingruppen erkennen und an eine Steuerung rückmelden. Dies ist jedoch
15 aufwändig und entsprechend teuer umzusetzen.

Um sich fortbewegenden Robotern eine autonome Bewegung zu ermöglichen, benötigen diese eine entsprechende Steuerung. Die Steuerung ist typischerweise so gestaltet, dass sie von einem oder mehreren Sensoren bereitgestellte Signale („Reize“)
20 aufnimmt, verstärkt und auswertet, um den Antrieb der Fortbewegungsmittel wie insbesondere Beine oder Räder situationsabhängig anzusteuern. So kann beispielsweise ein Sensor an der Vorderseite eines solchen Roboters dazu dienen, ein Hindernis zu erkennen und die Beine so anzusteuern, dass diesem
25 Hindernis ausgewichen wird. Beispiele für solche Sensoren sind Lichtsensoren, Reflexlichtschranken, Ultraschallsensoren, bildgebende Sensoren, Berührungssensoren, Temperatursensoren oder Geräuschsensoren.

Bekannt sind einfache, mit Lichtsensoren ausgestattete und analog
30 gesteuerte Roboter, die ihre Fortbewegung aufgrund der auf sie einwirkenden Lichtverhältnisse ändern können. Die Druckschrift US 4,865,575 offenbart ein einmotoriges Spielzeuggefährt, welches im Wege des Anstrahlens zweier Fotodetektoren mittels eines farbigen

Lichtes auf einer vorgegebenen Bahn gesteuert wird. Eine autonome Steuerung des Fahrzeugs oder gar ein Lenken desselben ist mit dieser Steuerung jedoch nicht möglich. In der Druckschrift US 3,621,356 ist eine andere Steuerung für ein einen Motor umfassendes Spielzeuggefährt vorgeschlagen, welche sich ebenfalls zweier lichtempfindlicher Sensoren bedient, um das Gefährt mittels Licht fernsteuerbar zu machen. Ein einmal gewählter Betriebsmodus kann dabei auch nach abschalten des Lichtes aufrecht erhalten werden. Eine autonome Steuerung des Fahrzeugs oder gar ein Lenken desselben ist jedoch auch mit dieser Steuerung nicht möglich.

Sofern Steuerungen über mindestens zwei Sensoren sowie zwei unabhängig betreibbare Motoren verfügen, welche bevorzugt einen so genannten Differenzialantrieb erlauben, kann sich der Roboter beispielsweise auf Lichtquellen zubewegen, wenn jeweils ein Motor umso schneller angetrieben wird, je größer der Lichteinfall des ihm zugeordneten Sensors ist. In Folge wird ein solcher Roboter bei starker, einen maximalen Schwellwert übersteigender Beleuchtung jedoch immer geradeaus fahren und bei schwacher Beleuchtung zum Stillstand kommen oder rückwärts fahren. Soll Hindernissen ausgewichen werden, muss der Roboter mit vorzugsweise zusätzlichen Sensoren ausgestattet werden, beispielsweise mit Reflexlichtschranken, welche Infrarotlicht aussenden und das an Hindernissen reflektierte Licht aufnehmen, wofür in der Regel aufwändigere Schaltungen benutzt werden.

Bei all diesen Schaltungen wird zunächst mindestens ein Signal je Sensor generiert. Erst im Zuge einer Weiterverarbeitung wird gegebenenfalls eine Kombination von mehreren Signalen zur Steuerung des Roboters herangezogen.

Bekannt sind aus dem Stand der Technik auch Steuerungen digitaler Art. Diese sind optional vom Benutzer über Schnittstellen programmierbar, um das „Verhalten“ des Roboters beeinflussen zu können.

Nachteilig an derartigen Steuerungen sind die - insbesondere im Hinblick auf Spielzeuge - hohen Kosten, sowie die Notwendigkeit von Peripheriegeräten (PC, Smartphone), um ggf. eine Programmierung durchführen zu können. Nachteilig ist auch, dass zur Programmierung entsprechende Kenntnisse notwendig sind, die manche Zielgruppen (Kinder, technisch nicht versierte Erwachsene) sich anzueignen nicht willens oder fähig sind.

Herkömmliche analoge Steuerungen für derartige Roboter sind zwar zu geringeren Kosten herstellbar; sie bieten jedoch nur sehr eingeschränkte Möglichkeiten der Nutzung von Sensorsignalen und der Beeinflussbarkeit des Verhaltens des Roboters durch den Benutzer. Somit lassen sie das Interesse an einer Beschäftigung mit dem Roboter frühzeitig erlahmen.

In der US-Patentschrift 4,160,488 wird ein komplexes digitales Verfahren für einen pfadfolgenden Roboter offenbart, wobei im ersten Schritt der Signalverarbeitung sowohl die Summe wie auch die Differenz von zwei Sensorsignalen gebildet wird. Ein Differenzsignal wird jedoch umso schwächer, je weiter sich die Sensorsignalwerte vom idealen Arbeitspunkt entfernen. Das Ausgangssignal der lichtempfindlichen Sensoren liegt z.B. zwischen 0 und 5 V. Bei schwacher Beleuchtung generieren die beiden Sensoren entsprechend schwache Signale von z.B. nur 0,1 und 0,2 V. Somit ergibt sich trotz des großen Verhältnisses der Sensorsignale von 1:2 eine Differenz von nur 0,1 V, welche leicht im allgemeinen Signalrauschen untergeht. Ein analoges Problem tritt auch bei zu starker Beleuchtung auf.

Die Patentanmeldung EP 0564661 beschreibt einen Mikroroboter mit wenigstens zwei Sensoren, welche überlappende Erfassungsbereiche aufweisen. Die Ausgangssignale der Sensoren werden hierbei getrennt voneinander mit Hilfe einer Mikroprozessorsteuerung und einem entsprechenden Programm verarbeitet. Auch hier kann die Umwelterfassung nur innerhalb eines stark eingeschränkten Arbeitsbereiches der Sensoren zuverlässig funktionieren.

Die US Patentschrift 6,681,150 beschreibt einen Insektenroboter mit zwei Motoren, einem Mikroprozessor und mehreren Sensoren, zur Simulation eines insektenähnlichen Verhaltens. Das Verhalten wird dabei durch sehr aufwändige Softwareprozeduren generiert. Auch
5 hier werden die Sensorsignale einzeln verarbeitet, was die bereits erläuterten Nachteile mit sich bringt.

Aufgabe der Erfindung und Lösung

Die Aufgabe der Erfindung ist die Bereitstellung eines verbesserten, selbsttätig fortbewegbaren Roboters mit
10 Schreitkinematik, und einer Steuerung für einen autonom agierenden Roboter wie insbesondere einen Schreitroboter.

Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist demnach, eine Schreitkinematik bereitzustellen, welche die Nachteile des Standes der Technik vermeidet. Demnach soll die Schreitkinematik
15 einfach und robust aufbaubar sein und eine Beinbewegung ermöglichen, die den natürlichen Bewegungen von Insekten oder Spinnentieren möglichst nahe kommt, und die optional eine Vor- und Rückrotation des Beines im Laufe eines Bewegungszyklus erlaubt.

20 Eine andere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist die Bereitstellung einer verbesserten Synchronisation für zwei voneinander getrennte Antriebseinheiten eines selbsttätig fortbewegbaren Roboters, welche vorzugsweise zwei voneinander getrennte Beingruppen antreiben.

25 Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist, eine verbesserte Steuerung für einen sich selbstständig fortbewegenden Roboter bereitzustellen, welche zur Ansteuerung des Antriebs Signale von Sensoren aufnimmt und verarbeitet, wobei vorzugsweise die Art der Verarbeitung von einem Benutzer möglichst vielfältig
30 beeinflussbar ist, und wobei die Steuerung zu geringen Kosten herstellbar ist.

Beschreibung

Nachfolgend wird zunächst die erfindungsgemäße Schreitkinematik beschrieben. Im Anschluss daran erfolgt eine Beschreibung der erfindungsgemäßen Synchronisationsvorrichtung. Abschließend
5 erfolgt eine Beschreibung der erfindungsgemäßen Steuerung.

Die erfindungsgemäße Schreitkinematik dient der Erzeugung einer in Zyklen ablaufenden Schreitbewegung eines Beines eines Roboters. Sie umfasst eine motorisch antreibbare Welle, welche einen proximalen Abschnitt mit einem proximalen Ende sowie einen
10 distalen Abschnitt, der durch ein distales Ende abgeschlossen wird, aufweist. „Proximal“ meint in diesem Zusammenhang immer „zum Körper hinweisend“, „distal“ bedeutet „vom Körper wegweisend“. Die erfindungsgemäße Kinematik umfasst ferner ein Bein, welches einen proximalen Abschnitt, der durch ein proximales Ende
15 abgeschlossen wird, und ein distales Ende aufweist. Dabei ist klar, dass das Bein zur Befestigung an einem wie auch immer gearteten „Körper“ vorgesehen ist.

Erfindungsgemäß ist der proximale Abschnitt des Beines entlang einer Längsachse desselben mit dem distalen Abschnitt der Welle
20 rotierbar verbunden. Dies bedeutet, dass sich distaler Abschnitt der Welle und proximaler Abschnitt des Beines um eine gemeinsame Rotationsachse drehen können, wobei typischerweise sicherzustellen ist, dass beide Komponenten dauerhaft in physischem Kontakt zueinander sind.

25 Gleichzeitig zu dieser rotatorischen Verbindung ist eine entlang der Längsachse verlaufende, also „längsaxiale“ Beweglichkeit des proximalen Abschnitts des Beines relativ zum distalen Abschnitt der Welle durch ein geeignetes „Mittel zur Hemmung“ begrenzt. Dies ist beispielsweise durch dem Fachmann wohlbekannte
30 Vorrichtungen zu erreichen, worauf später detailliert eingegangen wird.

Schließlich ist ein „Anschlagselement“ vorgesehen, welches vorzugsweise auf den proximalen Abschnitt des Beines einwirkt, und welches die Rotation des Beines um seine Längsachse begrenzt. Ohne ein solches Anschlagselement könnte sich das Bein relativ zu
5 seiner (seinem proximalen Abschnitt zugeordneten) Längsachse frei drehen, was die gewünschte zyklische Beinbewegung verhindern würde, wie später noch erläutert wird.

Erfindungsgemäß weist nun die mit dem proximalen Abschnitt des Beines verbundene Welle am Übergang zwischen proximalem und
10 distalem Abschnitt einen „Knick“ auf. Er teilt die Welle in einen proximalen und einen distalen Abschnitt. Dieser Knick führt dazu, dass durch Rotation der Welle an einem dem proximalen Ende des Beines entgegengesetzten Ende des proximalen Abschnitts des Beines eine kreisartige Bewegung erzeugbar ist. Die Bewegung ist
15 dabei nicht auf die Form eines Kreises beschränkt. Mit anderen Worten, das distale Ende des proximalen Abschnitts des Beines wird durch den distalen, im Vergleich zum proximalen Abschnitt abgelenkten Abschnitt der Welle auf eine geschlossene und somit zyklische Kurvenbahn (mit zusammenfallendem Anfangs- und
20 Endpunkt) gezwungen. Die Bahn des proximalen Abschnitts des Beines bildet typischerweise die Oberfläche eines Kegels, an dessen Spitze sich das proximale Ende des Beines bzw. dessen gedachte Verlängerung bis zum Knick befindet.

Da die übrigen Abschnitte des Beines typischerweise fest mit dem
25 proximalen Abschnitt verbunden sind, ist es klar, dass die anderen Abschnitte des Beines, insbesondere dessen distales Ende (der „Fuß“), ebenfalls auf einer geschlossenen Kurvenbahn bewegt werden. In Abhängigkeit später genauer zu beschreibender Parameter ist es möglich, diese Kurvenbahn (das „Profil“) so
30 anzupassen, dass eine annähernd gleichmäßige Vorwärtsbewegung des Fußes, gepaart mit einem schnellen Abheben, Rückführen und Wiederabsetzen desselben erreicht wird. Dabei ist die in Richtung der Vorwärtsbewegung verlaufende „Schrittlänge“ vorzugsweise

deutlich größer dimensioniert als der Hub des Beines. Dies entspricht einer natürlichen Bewegung, was insbesondere im Hinblick auf Modelle von Insekten oder Spinnentieren wünschenswert ist, aber auch im Hinblick auf eine ökonomische
5 Bewegungsweise jeglicher schreitender Roboter einen Vorteil darstellt.

Nach einer Ausführungsform ist die Verbindung zwischen dem proximalen Abschnitt des Beines und dem distalen Abschnitt der Welle mittels mindestens eines Wälz- oder Gleitlagers
10 hergestellt. Vorzugsweise ist die Welle in das distale Ende des Beines einführbar, wobei ausreichender Platz für eines oder mehrere derartiger Lager vorzusehen ist, die sich dann zwischen Welle und Bein befinden, so dass eine reibungsarme relative Rotation der Komponenten zueinander ermöglicht ist. Als einfaches
15 Beispiel für eine Wälzlagerung seien zwei voneinander beabstandete Radial-Kugellager genannt.

Auch Lager, welche die Spitzen der Komponenten, also das distale Ende der Welle mit dem proximalen Ende des Beines, verbinden, können diese Aufgabe erfüllen, ohne einer Einführbarkeit von
20 Welle in das Bein zu bedürfen.

Bevorzugt ist jedoch eine Ausführungsform, nach welcher die Verbindung zwischen dem proximalen Abschnitt des Beines und dem distalen Abschnitt der Welle durch Einschieben des distalen Abschnitts der Welle in den hohl ausgeführten proximalen
25 Abschnitt des Beines hergestellt ist. Dies entspricht einer einfachen Gleitlagerung, welche sich für viele Zwecke als ausreichend herausgestellt hat und besonders kostengünstig herstellbar ist. Je nach konkreter Ausführungsform dient die Welle demnach als Rotationslager für den proximalen Abschnitt des
30 Beines. Sofern die Materialpaarungen entsprechend ausgewählt sind und/oder Schmiermittel in die Lagerung eingebracht werden, ist auch hier die Reibung sehr gering. Ein Beispiel für eine gute Materialpaarung ist Edelstahl (Welle) und Messing (Bein).

Selbstverständlich sind auch Kombinationen aller vorstehend genannten Lagerarten möglich.

Dem „Mittel zur Hemmung“ fällt, wie erwähnt, die wichtige Aufgabe zu, die axiale Relativbewegung von Welle und Bein zu begrenzen.

5 „Begrenzen“ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass durchaus ein gewisses axiales Spiel erlaubt ist, welches jedoch nur so groß sein darf, dass Bein und Welle physischen Kontakt zueinander haben. Aus konstruktiven Gesichtspunkten ist ein deutlich kleineres Spiel, bis hin zu einer vollständigen Verhinderung
10 desselben, jedoch zu bevorzugen.

Vorzugsweise ist das Mittel zur Hemmung ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus (i) einem flexiblen Schlauchelement, welches das proximale Ende des Beines und mindestens einen distalen Teil einer an einem Körper fixierten Lagerbuchse, welche der Welle als
15 Lager dient, umschließt; (ii) aus mindestens einem Wälz- bzw. Gleitlager gemäß Anspruch 2; (iii) und aus einem Bügel, welcher sich zwischen dem proximalen Abschnitt des Beines und einem den proximalen Abschnitt der Welle lagernden Körper erstreckt.

Ein flexibles Schlauchelement hat den Vorteil, besonders einfach
20 und kostengünstig herstell- und montierbar zu sein. Er stellt zuverlässig ein geringes, begrenztes axiales Spiel bereit, sofern er entsprechend fest auf o.g. Lagerbuchse der Welle und Bein befestigt ist und aus einem zumindest etwas längsdehnbaren Material besteht. Gleichzeitig behindert er die Rotation der
25 Welle relativ zum Bein nicht, wenn an seiner Innenseite ausreichendes Spiel zur Wellenoberfläche herrscht.

Eine Wälz- oder Gleitlagerung kann o.g. Aufgabe ebenfalls erfüllen, wenn mindestens ein axial festlegendes Lager wie insbesondere ein Radial-Kugellager, dessen Außenring fest mit dem
30 Bein, und dessen Innenring fest mit der Welle verbunden ist, verwendet wird. Es ist klar, dass die Welle selber entsprechend

in einem Körper gelagert sein sollte, beispielsweise mittels einer Lagerbuchse.

Ein Bügel stellt eine weitere effektive Möglichkeit der Hemmung axialer Beweglichkeit dar, sofern dieser entsprechend, 5 beispielsweise mit einem Ende am Bein und mit dem anderen Ende an besagter Lagerbuchse, befestigt ist. Beispiele hierfür werden später gegeben. Bevorzugt ist jedoch, dass der Bügel eine Rotation von Bein relativ zum Körper (und somit beispielsweise zur Lagerbuchse) nicht vollständig unterbindet, was im 10 Zusammenhang mit dem nachfolgenden Merkmal von Vorteil ist.

Demnach ist es besonders bevorzugt, dass das Anschlagselement die Rotation des Beines um seine Längsachse auf einen Schwenkwinkel von mehr als 0 Grad und zugleich weniger als 180 Grad und bevorzugt weniger als 90 Grad und besonders bevorzugt weniger als 15 30 Grad begrenzt, so dass eine der kreisartigen Bewegung überlagerte alternierende Rotationsbewegung des Beines um seine Längsachse ermöglicht ist.

Es sind demnach Fälle zu unterscheiden, in welchen die Relativrotation von Bein zu seiner Längsachse (und somit zu 20 Körper) auf Null begrenzt ist, und in welchen eine gewisse Rotation ermöglicht wird.

Ist keine Rotation des Beines um seine Längsachse möglich, erlaubt dies lediglich eine weniger natürlich wirkende Beinbewegung. Die Ebene, in der das Bein liegt bleibt während 25 eines gesamten Bewegungszyklus in einem festen Winkel zum Untergrund. Das Bein selber ist in diesem Fall vorzugsweise mittels eines Axialgelenks (Gelenk mit nur einem, nämlich rotatorischen Freiheitsgrad) unterbrochen, und der proximale Abschnitt liegt in dem letzten Teilstück jenseits dieses Lagers. 30 Mittels einer parallelogrammartigen Struktur, deren einer Schenkel vom proximalen Abschnitt des Beines, und dessen anderer Schenkel vom vorstehend genannten Bügel gebildet ist, erhält das

Bein die entsprechende Bewegbarkeit, ohne selber rotierbar zu sein. Zur Erläuterung wird auf die Figur 4 verwiesen.

Nach einer anderen und bevorzugten Ausführungsform ist das Bein jedoch um einen gewissen Schwenkwinkel um seine Längsachse rotierbar ausgestaltet. Auf diese Weise ist eine natürlicher erscheinende Bewegung des Beines möglich, da dieses nun nicht mehr dauerhaft in einem festen Schwenkwinkel zum Untergrund stehen muss, sondern seinen Schwenkwinkel im Laufe eines Bewegungszyklus variiert. Zur Erläuterung wird auf die Figuren 5 bis 8 verwiesen.

Für den Fall einer gewissen rotatorischen Beweglichkeit des Beines um seine Längsachse ist bevorzugt, dass das (dann vorzugsweise gleichzeitig als Mittel zur Hemmung der axialen Beweglichkeit dienende) Anschlagselement durch einen wie vorstehend genannten Bügel gebildet ist, der entweder (i) am Bein fixiert und mit dem entgegengesetzten Ende in ein am Körper angeordnetes Gleitlager eingreifend, oder (ii) am Körper fixiert und mit dem entgegengesetzten Ende in ein am Bein fixiertes Gleitlager eingreifend ausgestaltet ist, wobei jeweils die am Körper angeordnete Lagerung des Bügels, senkrecht zur Wellenachse gemessen, um einen Versatz, nachstehend mit „Y“ bezeichnet, von der Wellenachse beabstandet ist.

Mit anderen Worten, ein derartiger Bügel ist an Bein oder am Körper fixiert und mit der jeweils anderen Komponente über ein Gleitlager verbunden, welches zumindest eine begrenzte Rotation des Beines um seine Längsachse erlaubt. Selbstverständlich sind dem Bein auch Kipp- und/oder Nickbewegungen, vorzugsweise jedoch nur in begrenztem Umfang, möglich, damit ein Abheben, Vorwärts- oder Rückwärtsbewegen und Absetzen des Fußes möglich ist. Beispiele für derartige Konstruktionen sind in den Fig. 5 bis 8 gegeben.

Vorzugsweise weist die Welle einen Neigungswinkel zur Horizontalen von 45 ± 45 Grad auf, so dass der „Oberschenkel“ eines Beines weder parallel zum Boden, noch senkrecht nach oben oder unten weist. Ein Neigungswinkel von 45 bis 70 Grad ist für Spinnentiere typisch. Es sind aber auch Neigungswinkel von 90 Grad (senkrechter proximaler Abschnitt des Beines) denkbar, was ggf. zu einer Vereinfachung des Antriebs der Welle führen würde. Auch Neigungswinkel größer als 90 Grad sind möglich.

Ferner ist bevorzugt, dass der Knickwinkel 1 bis 10 Grad beträgt. Besonders bevorzugt beträgt der Knickwinkel ca. 2,5 Grad. Dieser Wert hat sich in der Praxis als besonders geeignet zur Erzeugung einer natürlichen Bewegung herausgestellt. Vereinfacht bestimmt der Knickwinkel die Anhebung des Beines. Kleine Knickwinkel bewirken demnach nur kleine und langsame Beinbewegungen, große Knickwinkel ausladende und (bei gleicher Umdrehungszahl der Welle) schnellere Beinbewegungen. Zu große Knickwinkel würden dazu führen, dass der „Körper“ während der Schreitbewegung übermäßig gehoben und gesenkt wird, was in einer ineffizienten Fortbewegung resultiert.

In Zusammenhang mit dem Vorhandensein eines oben genannten Körpers, der daran angeordneten Lagerung sowie des Bügels kann ein „Axialabstand“, nachstehend mit „X“ bezeichnet, definiert werden, und zwar durch den entlang der Wellenachse gemessenen Abstand vom Knick bis zu einer Ebene, die durch die am Körper angeordnete Lagerung des Bügels verläuft und normal zur Wellenachse steht.

Konkret bestimmt das Verhältnis von X zu Y das Verhältnis von Rotationsbewegung des Beines um seine Längsachse zur kreisartigen Bewegung des proximalen Abschnitts des Beines. Ein großes Verhältnis erzielt stärkere Bewegungen mit größerer Rotation um die Längsachse, und umgekehrt. In weiterer Folge erzielt ein großes Verhältnis eine große Vorwärtsbewegung im Vergleich zur Hubbewegung des Beines.

Dabei beträgt das Verhältnis des Axialabstands X zum ggf. vorhandenen Versatz Y bevorzugt 1 bis 10 und besonders bevorzugt 5 ± 2 . Ein bevorzugter Wert für den Axialabstand X beträgt beispielsweise 25 ± 10 mm. Mit einem wie beschrieben ausgewählten
5 Verhältnis von X zu Y kann eine besonders natürliche Bewegung erreicht werden.

Bevorzugt ist außerdem, dass Welle und Bein hohl ausgestaltet sind. Dies ermöglicht ein Durchführen von Signal- und/oder Versorgungsleitungen vom Körper zum Fuß bzw. umgekehrt. Zudem ist
10 das Gewicht eines Hohlkörpers geringer, wobei die Stabilität vergleichbar bleibt.

Besonders bevorzugt ist am distalen Ende des Beines ein oder mehrere Sensor(en) und/oder Aktuator(en) angeordnet. Ein Sensor kann beispielsweise ein Näherungssensor sein, welcher dem Roboter
15 ein Hindernis meldet, dem er dann – eine entsprechende Steuerung vorausgesetzt – ausweichen kann. Auch ein Aktuator kann dort angeordnet sein, um beispielsweise Vibrationen zu erzeugen, Flüssigkeit auszugeben oder anderes.

Die Erfindung betrifft auch die Verbesserung der Synchronisation der zu einem Antriebssystem gehörenden mindestens zwei
20 Antriebseinheiten, welche die Bein- oder Rädergruppen eines selbsttätig fortbewegbaren Roboters zwecks dessen Fortbewegung antreiben.

Bei einer erfindungsgemäßen Synchronisationsvorrichtung für ein
25 mindestens zwei Antriebseinheiten umfassendes Antriebssystem eines Roboters, bei dem je eine Antriebseinheit für je eine Bein- oder Rädergruppe vorgesehen und mit den Mitgliedern dieser Gruppe zwecks deren Antriebs verbunden ist, sind die Antriebseinheiten oder die Gruppen durch mindestens eine Kraftkopplung miteinander
30 verbunden. Die Kraftkopplung ist „elastisch“, so dass die Antriebseinheiten einen variablen Phasenversatz zueinander aufweisen können. Außerdem ist in der Kraftkopplung potenzielle

Energie speicherbar, deren Höhe vom Phasenversatz der Antriebseinheiten abhängt. Das bedeutet, dass den unterschiedlichen Phasenversätzen der Antriebseinheiten unterschiedlich hohe potenzielle Energien zugeordnet werden können, welche in der Kraftkopplung gespeichert werden. Dabei tendieren die Antriebseinheiten dazu, einen festen Phasenversatz einzunehmen, der einem Minimum der potenziellen Energie entspricht.

Mit einer derartigen Synchronisationsvorrichtung kann auf einfache Weise die Antriebsgeschwindigkeit, also beispielsweise die Drehgeschwindigkeit mindestens (und bevorzugt) zweier identischer Antriebsmotoren, angeglichen werden. Somit wird ein Fahrzeug, dessen rechte und linke Seite von je einem dieser Motoren angetrieben ist, auf eine gerade Bahn gebracht, da beide Seiten den gleichen Vortrieb bereitstellen.

Außerdem kann mit einer solchen Synchronisationsvorrichtung auch der Phasenversatz zweier oder mehr Antriebsmotoren auf einen ganz bestimmten, gewünschten Wert gebracht werden, nämlich auf denjenigen Phasenversatz, welcher der geringsten potenziellen Energie der Kraftkopplung zugeordnet ist.

Vorzugsweise ist dies gerade der Phasenversatz, bei dem die den Antriebseinheiten zugeordneten Gruppen sich so zueinander bewegen, dass eine gleichmäßige (ruhige) Fortbewegung ergibt. Dies trifft insbesondere dann zu, wenn es sich bei den Gruppen um Beingruppen handelt, da hier beispielsweise gerade bei einem Phasenversatz von 180 Grad eine ruhige Fortbewegung eines Schreitroboters erreicht wird. (Bei Rädergruppen tritt dieses Problem naturgemäß nicht auf.)

Nach einer Ausführungsform erfolgt die elastisch wirkende Kraftkopplung durch eine mechanisch elastische Verbindung (z.B. Gummiband oder Feder). Mittels dieses „Verbindungsmittels“ werden die beiden Antriebseinheiten, insbesondere deren Antriebssachsen, der typischerweise zwei (linken und rechten) Bein- oder

Rädergruppen, oder die Gruppen selber miteinander verbunden. Auch die Elastizität der Gruppen kann bereits einen ausreichenden elastischen Anteil bereitstellen, so dass das Verbindungsmittel selber eher undehnbar sein kann (z.B. Schnur, Stange).

- 5 Nach einer besonders bevorzugten Ausführungsform erfolgt die elastisch wirkende Kraftkopplung mittels Magnetkraft, z.B. mittels diametraler Magnetringe oder -scheiben, also flachen und (vorzugsweise) rotationssymmetrischen Magneten, deren Pole an entgegengesetzten Punkten ihres Umfangs angeordnet sind.
- 10 Alternativ sind auch entsprechend ausgerichtete Stabmagnete verwendbar. Dabei können die beiden mit Rundmagneten bestückten und zu synchronisierenden Achsen der Antriebseinheiten axial, parallel oder in einem anderen Winkel zueinander ausgerichtet sein, vorausgesetzt, die Achsen haben einen gemeinsamen
- 15 Schnittpunkt und der Abstand der Magnete ist ausreichend gering um eine effektive Kraftkopplung zu ermöglichen.

Für den Fall eines Roboters mit Schreitkinematiken, bei dem je Antriebseinheit mehrere Schreitkinematiken und somit Beine von derselben angetrieben werden, lassen sich auf diese Weise die

20 jeweils an gleicher Längsposition entlang des Körpers gegenüber liegenden Beine im Falle einer gleich schnellen Antriebsgeschwindigkeit miteinander synchronisieren, wobei sie besonders bevorzugt eine entgegengesetzte Bewegung ausführen. Ihr Phasenversatz wird auf einen festen Wert zurückgeführt

25 (synchronisiert), der durch die Positionierung der Magnete zueinander vorbestimmt ist. Dieser Wert beträgt bevorzugt 180 Grad.

Da die Kraftkopplung nicht starr ist, treten auch die aus dem Stand der Technik bekannten Probleme nicht auf. Aufgrund der

30 vorstehend genannten Konstruktion sind die beiden Antriebseinheiten in gewissen Grenzen mechanisch voneinander entkoppelt. Da die Antriebseinheiten jedoch bestrebt sind, eine bevorzugte („energieärmste“) Lage zueinander einzunehmen, werden sie nach

und nach zueinander synchronisiert. Die schrittweise Synchronisation ist typischerweise nach wenigen Umdrehungen der Antriebe abgeschlossen.

Die Erfindung betrifft auch eine Kollisionsgefahr detektierende Steuerung für den mindestens zwei unabhängig betreibbare Motoren umfassenden Antrieb eines mobilen Roboters wie insbesondere des vorstehend beschriebenen Schreitroboters. Erfindungsgemäß umfasst die Steuerung eine Mehrzahl von Sensoren, welche Umwelteinflüsse detektieren, und mindestens ein Verstärkerelement mit jeweils mindestens einem Eingang und einem Ausgang, welches jedem der mindestens zwei Motoren zugeordnet und an den es bevorzugt angeschlossen ist. Dabei sind eine Anzahl n von Sensoren, mindestens jedoch zwei Sensoren, mit unterschiedlichen Erfassungsbereichen zu einer Sensorgruppe mit maximal $n-1$ gemeinsamen Ausgangssignalen zusammengefasst, welche unmittelbar oder mittelbar als Eingangssignale für den Eingang des jeweiligen Verstärkerelements dienen. Durch diese Zusammenfassung der Sensoren zu einer Gruppe werden nicht wie aus dem Stand der Technik bekannt die Signale der einzelnen Sensoren der Steuerung zu Verfügung gestellt. Die ggf. mehreren gemeinsamen Ausgangssignale einer Sensorgruppe stellen vielmehr eines bzw. mehrere „relative“ Signale der Einzelsensoren dar. Im einfachsten Fall umfasst eine Gruppe $n =$ zwei Sensoren mit einem gemeinsamen Ausgangssignal. Im allgemeinen Fall umfasst eine Gruppe für jedes Ausgangssignal zwei „Untergruppen“ von Sensoren, wobei eine Untergruppe auch mehr als einen Sensor umfassen kann, und wobei sich eine Beeinflussung der einen Untergruppe z.B. positiv und eine entsprechende Beeinflussung der anderen Untergruppe negativ auf das entsprechende Ausgangssignal der Sensorgruppe auswirkt. Werden beispielsweise drei Sensoren zu einer Gruppe zusammengefasst, so gibt es zwei mögliche Ausgangssignale: Ein erstes Ausgangssignal wird bereitgestellt, indem eine erste Untergruppe den ersten, und eine zweite Untergruppe den zweiten und den dritten Sensor enthält. Ein zweites Ausgangssignal wird

bereitgestellt, indem eine erste Untergruppe den ersten und den zweiten, und eine zweite Untergruppe lediglich den dritten Sensor enthält. Bei mehr als drei Sensoren in einer Gruppe sind entsprechend mehr Ausgangssignale möglich, wobei je
5 Ausgangssignal immer nur genau zwei Untergruppen zu bilden sind.

Eine solche Steuerung ist zu geringen Kosten herstellbar, weil sie im Vergleich zu den aus dem Stand der Technik bekannten Steuerungen vergleichbarer Flexibilität mit einer geringen Anzahl von zudem kostengünstigen Bauelementen auskommt, die sich
10 optional auch einzeln austauschen lassen.

Vorzugsweise umfasst der Antrieb genau zwei Motoren, sodass ein Richtungswechsel des Roboters in Form eines Differenzialantriebs ermöglicht wird.

Nach einer bevorzugten Ausführungsform ist die Anzahl n der zu
15 einer Sensorgruppe zusammengefassten Sensoren gleich 2, so dass aus dieser Sensorgruppe genau ein gemeinsames Ausgangssignal erhalten wird. Die „Untergruppen“ enthalten demnach jeweils nur einen Sensor. Bei Verwendung von mehr als zwei Sensoren je Gruppe sind aber auch mehrere Ausgangssignale (bei n Sensoren maximal $n-1$ Signale) denkbar, wie oben dargelegt.
20

Mithilfe dieser Sensorgruppen ist es möglich, unabhängig von der absoluten Stärke des zu registrierenden Umwelteinflusses sensibel auf Differenzen in der Umgebung zu reagieren. Ein mit solchen Sensorgruppen ausgestatteter mobiler Roboter wird damit befähigt,
25 entsprechend den Umwelteinflüssen zu navigieren, beispielsweise zuverlässig ausreichend kontraststarken Linien zu folgen und unterschiedliche Arten von Hindernissen zu erkennen, ohne aktiv Licht, Ultraschall oder ähnliches aussenden zu müssen.

Die erfindungsgemäße Nutzung der Sensoren in Gruppen ermöglicht,
30 eine entsprechende Steuerschaltung vorausgesetzt, eine große Bandbreite an Fähigkeiten und Verhaltensweisen eines mobilen Roboters.

Die Steuerschaltung umfasst mindestens ein Verstärkerelement, bevorzugt jedoch mindestens ein Verstärkerelement je Motor. Zur Ansteuerung eines Gleichstrommotors beispielsweise werden maximal zwei Verstärkerelemente verwendet, wobei je ein Output eines Verstärkerelements mit einem der beiden Motoranschlüsse verbunden ist. Als Verstärkerelemente können beispielsweise Transistoren, logische Bauelemente, Operationsverstärker (OPs), Motortreiber oder Kombinationen davon herangezogen werden. OPs bieten den Vorteil einer sehr hohen und nahezu linearen Spannungsverstärkung, sowie die Möglichkeit zahlreicher Beschaltungsvarianten. Sie besitzen bekanntermaßen je einen negativen und einen positiven Eingang, sowie einen Ausgang. Das am Ausgang gebildete Signal entspricht der verstärkten Differenz der beiden Eingangssignale. Die Einstellung der Verstärkung ist durch Wahl einer entsprechenden negativen Rückkopplung der OPs nach dem Stand der Technik möglich. Somit kann entweder ein bedächtiges Reagieren des Roboters auf äußere Reize, oder aber ein sprunghaftes, digitales Verhalten hervorgerufen werden, was z.B. bei maximaler Verstärkung ohne jegliche Rückkopplung erreicht wird. Dabei können die Motoren nur die Zustände Vorwärts, Rückwärts und Stillstand einnehmen, woraus sich bei einem Differenzialantrieb mit zwei Motoren die fünf möglichen Zustände Vorwärts, Rückwärts, Stillstand, Linksrotation und Rechtsrotation, sowie optional vier weitere Zustände Linkskurve vorwärts, Rechtskurve vorwärts, Linkskurve rückwärts und Rechtskurve rückwärts ergeben. Durch eine Beschaltung der OPs als Schmitt-Trigger kann optional eine Hysterese integriert werden, um ein unkontrolliertes Wechseln der Zustände und unerwünschte Schwingungen zu unterdrücken.

Mit Hilfe einer solchen Steuerung zeigt der Roboter ein unmittelbares und reaktives Verhalten auf die Umwelt und wird sich in exakt identischen Situationen immer gleich verhalten. Ist es gewünscht, dass auch zeitlich zurückliegende Umwelteinflüsse und/oder die Änderungsgeschwindigkeit der Einflüsse auf das

Verhalten des Roboters einwirken, so können durch die Integration von kapazitiven und/oder induktiven Elementen (bevorzugt jedoch Kondensatoren) Tief- und Hochpassglieder sowie Integrier- und Differenzier-Glieder realisiert werden. Diese Beschaltungsvarianten sind für OPs wiederum aus dem Stand der Technik bekannt. Das Verhalten eines auf diese Weise gesteuerten Roboters setzt sich demzufolge aus der Summe dreier Einflüsse zusammen, nämlich den relativen durch die Sensoren erfassten Umwelteinflüssen, der Änderungsgeschwindigkeit der relativen Umwelteinflüsse, sowie den über eine gewisse Zeitspanne aufsummierten relativen Umwelteinflüssen.

Neben der Möglichkeit, die Ausgangssignale von Sensorgruppen auf unterschiedliche Arten parallel zu verarbeiten und den Motoren eines Roboters zuzuführen, bietet es sich vorzugsweise an, eine Vernetzung der Verstärkerelemente vorzunehmen, ähnlich der Struktur von künstlichen neuronalen Netzen. Die Verbindungen werden so mit Hilfe von Widerständen und/oder Kondensatoren vorgenommen, dass das Ausgangssignal eines Verstärkerelementes auf einen Eingang eines anderen Verstärkerelementes Einfluss nimmt. Damit lassen sich zum Beispiel Ringkopplungen in die Steuerung integrieren, welche wiederkehrende Abläufe in das Verhalten des Roboters einfließen lassen können. Das generierte Verhalten einer solchen Schaltung kann bereits mit nur vier Sensoren und vier Verstärkerelementen eine Komplexität und Unvorhersehbarkeit erreichen, welche mit der von einfachen Lebewesen vergleichbar ist.

Eine weitere Möglichkeit, die relativen Signale der Sensorgruppen zu verarbeiten, sind digitale Schaltungen, die vorzugsweise mit Mikroprozessoren ausgeführt werden, um das Verhalten der Steuerung variieren zu können. Zur Ansteuerung der Motoren sind in der Regel jedoch zusätzlich Verstärkerelemente vonnöten, welche die Ausgangssignale der digitalen Schaltung verstärken.

Nach einer bevorzugten Ausführungsform befinden sich die Sensoren einer Sensorgruppe zur Bereitstellung eines gemeinsamen Ausgangssignals in Reihenschaltung. Ein Spannungsteiler ist eine Anwendung der Reihenschaltung von Widerständen. Bei Verwendung von zwei Widerständen besitzt er einen Abgriff (Abzweig) an der Verbindungsstelle und erlaubt eine Teilung der Gesamtspannung im Verhältnis der beiden Widerstände, sofern kein Strom an der Verbindungsstelle entnommen wird. Andernfalls ist der Innenwiderstand zu berücksichtigen, der gleich der Parallelschaltung der beiden Widerstände plus dem (meist zu vernachlässigenden) Widerstand der Versorgungsspannung ist.

In der vorliegend beschriebenen Anwendung der Robotersteuerung werden anstelle von konstanten Widerständen die Sensoren einer Sensorgruppe verwendet, deren Widerstandswerte sich in Abhängigkeit von der zu erfassenden Größe verändern. Das Ausgangssignal einer Reihenschaltung von zwei Sensoren ist eine Spannung, die einem Relativwert der aufgenommenen Umwelteinflüsse innerhalb der den Sensoren entsprechenden Erfassungsbereichen entspricht. Werden mehr als zwei Sensoren zu einer Sensorgruppe zusammengefasst, so ergibt sich eine Reihenschaltung von zwei Untergruppen von Sensoren. Innerhalb dieser Untergruppen können mehrere Sensoren entweder wiederum in Reihe oder aber parallel zusammengeschaltet werden.

Die Reihenschaltung in Form eines Spannungsteilers bietet den Vorteil, mindestens zwei Sensoren mit je zwei Anschlüssen zu kombinieren, um variable Einflüsse bzw. Schwankungen, wie sie sich zum Beispiel aufgrund sich ändernder Beleuchtungsverhältnisse ergeben, und die auf mehrere der Sensoren einwirken, nicht in das gemeinsame Sensorsignal einfließen zu lassen. Diese Vorteile sind aus der Messtechnik bekannt und finden bei der Verwendung von Messbrücken Anwendung. Ein Nachteil hingegen ist der Verlust der „absoluten“ Sensorinformationen, wie sie üblicherweise zur Robotersteuerung herangezogen werden. Diese sind jedoch für die

meisten Aufgaben mobiler Roboter nicht erforderlich und wirken sich zumeist sogar störend auf eine sensorbasierte Navigation aus.

Nach einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist mindestens
5 einer der Sensoren als ein lichtempfindlicher Sensor ausgeführt. Lichtempfindliche Sensoren (Fotosensoren) eignen sich im Besonderen für die Umwelterfassung mobiler Roboter, da sie klein, kostengünstig und einfach auszuwerten sind, und daher problemlos auch mehrfach an kleinen Robotern angebracht werden können.

10 Zur Hindernisdetektion wird zudem üblicherweise Infrarotlicht mit Hilfe von IR-LEDs ausgesendet, deren an Hindernissen reflektiertes Licht von den entsprechenden Fotosensoren detektiert wird. Bei solchen Reflexionslichtschranken muss das Hindernis eine ausreichend große bzw. stark reflektierende Fläche
15 aufweisen, sodass genügend Licht vom Sensor erfasst werden kann. Je größer die reflektierende Fläche ist, desto weiter kann das zu detektierende Objekt vom Roboter entfernt sein. In der Regel handelt es sich dabei aber nur um wenige Millimeter oder Zentimeter.

20 In der erfindungsgemäßen Anwendung jedoch funktioniert die Hinderniserkennung ohne ein aktives Aussenden von Licht. Eine Voraussetzung dafür ist, dass die Sensoren in geeigneter Form von der direkten Bestrahlung mit Leuchtmitteln, die sich in der Regel oberhalb des Roboters befinden, abgeschirmt sind. Zudem muss eine
25 der drei nachfolgenden Bedingungen erfüllt sein:

- 1) Die Hindernisse sind heller oder dunkler als der Untergrund und entsprechend groß, sodass sie einen relevanten Teil des Erfassungsbereichs der Sensoren abdecken.
- 2) Die Hindernisse und der Roboter selbst sind so gestaltet,
30 dass sie einen relevanten Schatten (mindestens eine Beleuchtung vorausgesetzt) auf den Untergrund werfen, der von den Sensoren detektiert werden kann.

- 3) Der Erfassungsbereich des Sensors wird in der Art eingeschränkt, dass der Lichteinfall auf den Sensor spätestens bei Kollision des Roboters mit einem Hindernis in einem für eine Hinderniserkennung ausreichenden Umfang unterdrückt wird.

Einige Grundfunktionen von mit Hilfe von Lichtsensoren gesteuerten mobilen Robotern sind das Folgen von Lichtquellen, hellen oder dunklen Gegenständen oder einer am Untergrund angebrachten, ausreichend kontraststarken Linie. Des Weiteren ist es unter Verwendung von mindestens zwei Sensorgruppen in einer geeigneten Anordnung möglich, nicht nur beispielsweise die Seiten „rechts“ und „links“, sondern auch frontale und seitliche Einflüsse zu differenzieren. Da sich das Verhältnis der frontalen Beleuchtung zur seitlichen Beleuchtung mit dem Abstand des Roboters zu einer Lichtquelle verändert, ist es möglich, einen bestimmten Abstand zu bewegten Lichtquellen oder hellen bzw. dunklen Gegenständen zu halten und auf diese ausgerichtet zu bleiben, selbst wenn sich diese Objekte in Bewegung befinden.

Nach einer weiteren Ausführungsform umfasst der Roboter mindestens eine Infrarotlichtquelle, deren Licht von mindestens einem der Sensoren desselben und/oder eines weiteren Roboters detektierbar ist. Sind die Lichtsensoren im Besonderen für den infraroten Bereich ausgelegt, so ist es möglich, einen solchen Roboter mit einer Infrarotlicht aussendenden Quelle gezielt zu navigieren. Befindet sich diese Quelle auf einem weiteren Roboter, so ist beispielsweise ein gegenseitiges Folgen von Robotern möglich. Wird die Infrarotlichtquelle entsprechend der Motoren des Roboters in Abhängigkeit der Sensorinformationen angesteuert, so ist eine einfache Art von Kommunikation mehrerer Roboter zu erreichen, die sich aus einer Kombination aus der relativen Bewegung zueinander und der ausgesendeten Signale ergibt. Auf diese Weise sind Szenarien ähnlich eines „Tanzes“ generierbar.

Nach einer anderen Ausführungsform sind mindestens einer, bevorzugt jedoch alle Sensoren einer Sensorgruppe an unterschiedlichen Stellen der Peripherie des Roboters angeordnet und weisen zum Abschirmen der Sensoren vor der direkten Bestrahlung eine Abschirmung auf, welche bei Kontakt dieser Peripherie mit einem Hindernis den Lichteinfall auf den jeweiligen Sensor um wenigstens 25%, bevorzugt um wenigstens 50% und besonders bevorzugt um wenigstens 75% reduziert.

Mit der Abschirmung wird erreicht, dass Hindernisse, die sich in ihrer Helligkeit nicht von der Umgebung abheben und die auf dem Untergrund keinen Schatten werfen, spätestens bei einer Kollision mit dem an der Peripherie des Roboters angeordneten Sensor detektiert werden können. Die Reduktion des Lichteinfalls hängt im Besonderen von der Ausrichtung der Oberfläche des Hindernisses bezogen auf die Abschirmung ab.

Bevorzugt besteht die Abschirmung aus einem zylindrischen Röhrchen, das über den Sensor geschoben wird und horizontal ausgerichtet ist. Nach einer weiteren Ausführungsform befindet sich der Sensor entsprechend in einer horizontal ausgerichteten Bohrung an der Peripherie des Roboters. Die Höhe des Sensors muss sich verständlicherweise in Höhe der zu erkennenden Hindernisse befinden, welche bevorzugt von vertikal verlaufenden Flächen umgeben sind, so dass bei Kontakt einer Abschirmung mit einer dieser Flächen ein Lichteinfall von oben wie auch von unten unterbunden wird. Je nach Anzahl und Winkelversatz der Sensoren am Umfang des Roboters wird auch ein seitlicher Lichteinfall bei mindestens einem dieser Sensoren mehr oder weniger stark reduziert. Bevorzugt tritt bereits vor einer Kollision eine für die Hinderniserkennung ausreichend hohe Reduktion des Lichteinfalls auf.

Die Erfindung betrifft außerdem ein Verfahren zum Steuern eines mindestens zwei unabhängig betreibbare Motoren umfassenden Antriebs eines mobilen Roboters. Dieses umfasst erfindungsgemäß

die folgenden Schritte, wobei zur Vermeidung von Wiederholungen auf die oben stehenden Erläuterungen betreffend die Kollisionsgefahr detektierende Steuerung verwiesen wird:

- 5 - Bereitstellen eines gemeinsamen Ausgangssignals durch Kombination der Anschlüsse mindestens zweier, Umwelteinflüsse detektierender Sensoren. Diese Kombination wird bevorzugt durch eine Reihenschaltung von Sensoren mit je zwei Anschlüssen erreicht, wobei die Sensoren einen Spannungsteiler bilden und ein relatives Ausgangssignal in Form einer Spannung
10 am Abgriff zu Verfügung stellen.
- 15 - Verarbeiten und/oder Verstärken dieses gemeinsamen Ausgangssignals oder einer Differenz aus diesem gemeinsamen Ausgangssignal und einem Schwellwert mittels jeweils mindestens eines ein- oder mehrstufigen Verstärkerelements,
20 das jedem der mindestens zwei Motoren zugeordnet ist. Als Verstärkerelemente kommen z.B. Transistoren, logische Bauteile, Operationsverstärker, spezielle Motortreiber oder eine Kombination daraus in Frage. Das gemeinsame Ausgangssignal der Sensoren kann auch mithilfe von digitalen Schaltungen,
25 wie z.B. einer Mikroprozessorschaltung, weiterverarbeitet werden, wobei vorzugsweise der damit generierte Output dem eigentlichen Verstärkerelement zugeführt wird.
- 30 - Ansteuern des jeweiligen Motors mittels des verarbeiteten und/oder verstärkten gemeinsamen Ausgangssignals bzw. der verstärkten Differenz aus diesem gemeinsamen Ausgangssignal und dem Schwellwert. Die Ausführung der Ansteuerung hängt von der Art der verwendeten Verstärkerelemente, sowie von der Art der jeweiligen Motoren ab. Im einfachsten Fall handelt es sich um mindestens zwei oder mehr Gleichstrommotoren mit je zwei
30 Anschlüssen. Dabei können entweder beide Anschlüsse oder nur ein Anschluss von Verstärkerelementen angesteuert werden.

Auf diese Weise wird eine Navigation und/oder Hinderniserkennung des Roboters aufgrund von relativen Sensorsignalen ermöglicht. Die Navigation mit Hilfe von relativen Sensorsignalen ist eine kostengünstige und zuverlässige Möglichkeit, um die Einwirkung störender Umwelteinflüsse, wie z.B. ungeeigneter (zu heller, zu dunkler oder wechselnder) Beleuchtungsverhältnisse, bereits während der Erfassung zu verhindern, ohne diese Störungen anschließend mit verhältnismäßig aufwändigen Schaltungen herausfiltern zu müssen. Durch die Bereitstellung der relevanten Informationen über die Umwelt können einfache mobile Roboter so sensibel auf entsprechende Umwelteinflüsse reagieren, dass eine Hinderniserkennung ohne aufwändigere Hilfsmittel wie z.B. Reflexlichtschranken, Ultraschallsensoren oder bildgebende Verfahren ermöglicht ist.

Die Erfindung betrifft schließlich auch einen selbsttätig fortbewegbaren und vorzugsweise autonom agierenden Roboter, welcher eine Mehrzahl der vorstehend beschriebenen Schreitkinematiken, und/oder eine Synchronisationsvorrichtung gemäß obiger Definition, und/oder eine Steuerung wie vorstehend ausgeführt umfasst. Besonders bevorzugt umfasst der Roboter alle diese Komponenten. Die Schreitkinematiken können dabei aus Metall wie insbesondere Messing oder aus Kunststoff gefertigt sein. Der Körper kann vorzugsweise als entsprechend geformte Leiterplatte ausgestaltet sein und/oder die erfindungsgemäße Steuerung tragen. Die Synchronisierung der Antriebe erfolgt vorzugsweise mittels eines Gummibandes, mittels einer Feder, mittels eines elastischen Bügels oder magnetisch.

Besonders bevorzugt ist der Roboter als Bausatz ausgestaltet. Demnach sind die einzelnen Komponenten mit einfachen Hilfsmitteln zusammensetzbar. Demensprechend werden zur Befestigung vorzugsweise Löt-, Clip- oder einfache Schraubverbindungen verwendet. Elektronische Komponenten wie z.B. Widerstände und Kondensatoren sind mithilfe entsprechender Steckplätze variabel

an der Steuerschaltung anbringbar, um eine einfache und direkte Beeinflussung der Verhaltensweise des Roboters zu ermöglichen.

Die vorliegende Erfindung stellt eine Schreitkinematik bereit, welche die Nachteile des Standes der Technik vermeidet. Sie ist
5 einfach und robust aufbaubar und ermöglicht eine Beinbewegung, die den natürlichen Bewegungen von Insekten oder Spinnentieren nahe kommt, und die optional eine Vor- und Rückrotation des Beines im Laufe eines Bewegungszyklus erlaubt.

Die Erfindung stellt auch eine verbesserte Synchronisation für
10 zwei voneinander getrennte Antriebseinheiten eines selbsttätig fortbewegbaren Roboters bereit, welche vorzugsweise zwei voneinander getrennte Beingruppen antreiben, die besonders bevorzugt von den vorstehend beschriebenen Schreitkinematiken angetrieben werden.

Die vorliegende Erfindung stellt außerdem eine verbesserte Steuerung für den Antrieb eines sich autonom fortbewegenden Roboters bereit, welche zur Ansteuerung des Antriebs Signale von Sensoren aufnimmt und verarbeitet. Optional ist die Art der Verarbeitung von einem Benutzer möglichst vielfältig beeinfluss-
20 bar. Außerdem ist die Steuerung zu geringen Kosten herstellbar.

Figurenbeschreibung

Figur 1 zeigt eine Beinkurve aus dem Stand der Technik.

Figur 2 zeigt eine einfache Kinematik aus dem Stand der Technik.

Figur 3 zeigt eine komplexe Kinematik aus dem Stand der Technik.

Figur 4 zeigt eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Schreitkinematik.

Figur 5 zeigt eine zweite Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Schreitkinematik.

Figur 6 zeigt eine dritte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Schreitkinematik.

Figur 7 zeigt eine vierte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Schreitkinematik in einer Vorderansicht.

5 **Figur 8** zeigt ein Detail der vierten Ausführungsform nach Fig. 7.

Figur 9 zeigt eine vierte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Schreitkinematik in einer Seitenansicht.

10 **Figur 10** zeigt eine perspektivische Ansicht eines als Spinne ausgeführten Roboters mit der erfindungsgemäßen Schreitkinematik.

Figur 11 zeigt schematisch eine Ausführungsform einer Synchronisationsvorrichtung für den Antrieb eines selbsttätig fortbewegbaren Roboters.

15 **Figur 12** zeigt schematisch eine weitere Ausführungsform einer Synchronisationsvorrichtung.

Figur 13 zeigt eine Schaltung für eine Steuerung für einen mobilen Roboter nach einer ersten, einfachen Ausführungsform mit Transistoren.

20 **Figur 14** zeigt eine Schaltung für eine Steuerung für einen mobilen Roboter mit einer Sensorgruppe sowie zwei Operationsverstärkern.

25 **Figur 15** zeigt eine Schaltung für eine Steuerung für einen mobilen Roboter mit zwei Sensorgruppen und vier Operationsverstärkern.

Figur 16 zeigt eine variabel bestückbare Schaltung für eine Steuerung für einen mobilen Roboter.

In der **Fig. 1** ist eine Beinkurve aus dem Stand der Technik dargestellt. Der Abstand der Punkte symbolisiert die Geschwindigkeit der Bewegung. Demnach bewegt sich der Fuß langsam auf dem Boden, wohingegen er sich schnell durch die Luft zurück bewegt. Daraus resultiert eine besonders gute Standfestigkeit, da der Fuß die meiste Zeit Kontakt zum Boden hat.

In der **Fig. 2** ist eine einfache, aus dem Stand der Technik bekannte Schreitkinematik für einen Roboter dargestellt. Das Abheben eines Beines wird mittels einer Schubbewegung realisiert, wodurch sich die Länge des Beines verändert. Dies führt zu einer wenig realistischen Beinbewegung.

Eine verbesserte Beinbewegung ist mit einer in **Fig. 3** gezeigten Kinematik des Standes der Technik erreichbar. Sie besteht aus einer Vielzahl von Gelenken und Stangen, und ist somit kompliziert zu montieren und empfindlich gegen mechanische Einwirkungen.

Fig. 4 zeigt eine erste Ausführungsform der erfindungsgemäßen Schreitkinematik 100. Das Bein 110 weist einen proximalen und hohl ausgeführten Abschnitt 111 auf, der ein proximales Ende 112 hat. In diesen Abschnitt 111 ist der distale Abschnitt 123 der Welle 120 zumindest teilweise eingeführt. Die Welle 120 ist mit ihrem proximalen Abschnitt 121 zumindest teilweise in einer Lagerbuchse 132 gelagert, welche ihrerseits in einem Körper 134 fixiert ist. Am proximalen Ende 122 der Welle 120 ist ein Zahnrad (ohne Bezugszeichen) zur Kraftübertragung eines Antriebs (nicht dargestellt) angebracht. Somit kann die Welle 120 in Rotation gebracht werden.

Die Welle 120 weist am Übergang zwischen proximalem Abschnitt 121 und distalem Abschnitt 123 einen Knick 125 auf. Dieser führt zu der weiter oben beschriebenen kreisartigen Bewegung des dem proximalen Ende 112 des Beines 110 entgegengesetzten Ende 115 des proximalen Abschnitts 111 des Beines 110. Auf diese Weise wird

sich das distale Ende 114 des Beines 110 ebenfalls entlang einer geschlossenen Kurvenbahn, die vorliegend ellipsenartig ist, bewegen.

Die Welle 120 weist ferner einen Neigungswinkel W zur Horizontalen von 45 Grad auf, und der (nicht eingezeichnete) Winkel des Knicks 125 (Knickwinkel) beträgt im Hinblick auf die in der Fig. 4 gezeigte Ausführungsform typischerweise ca. 10 Grad, gemessen zwischen Wellenachse A und Längsachse L des Beines 110. Aufgrund der parallelogrammartigen Konstruktion ist der Hub des Beines 110 wesentlich geringer als dessen Vorwärtsbewegung, was in der ellipsenartigen Bewegung des Beinendes 114 resultiert.

Die gezeigte Ausführungsform weist als Mittel zur Hemmung 130 ein flexibles Schlauchelement 131 auf, welches das proximale Ende 112 des Beines 110 und einen distalen Teil der an dem Körper 134 fixierten Lagerbuchse 132, welche der Welle 120 als Lager dient, umschließt. Somit kann sich das Bein 110 nicht in axialer Richtung von der Welle 120 abziehen lassen.

Als Anschlagselement 140 ist ein Bügel 133 vorgesehen, welcher die Rotation des Beines 110 um seine Längsachse L begrenzt. In der gezeigten Ausführungsform ist die Rotation um die Längsachse vollständig behindert, der Schwenkwinkel beträgt demnach 0 Grad.

Um ein Vor- und Zurückbewegen des Beines zu erlauben, ist am körpernahen Ende des Bügels 133 neben dem für die parallelogrammartige Bewegung benötigten Gelenk (ohne Bezugszeichen) ein Drehgelenk 143 angeordnet. Dieses ist vorzugsweise mit seiner Drehachse (strichpunktierte Linie, ohne Bezugszeichen), die vorzugsweise senkrecht verläuft, in einer Linie mit dem Knick 125 angeordnet.

Nachfolgend sind Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Schreitkinematik dargestellt, welche zusätzlich eine Rotation des Beines um seine Längsachse erlauben (Schwenkwinkel größer als 0 Grad), was zu einem natürlicheren Bewegungsablauf des Beines

führt. Nach diesen Ausführungsformen ist der Knickwinkel typischerweise kleiner als nach der zuvor beschriebenen Ausführungsform und beträgt bevorzugt ca. 2,5 Grad.

Wenn nicht explizit benötigt, so sind bereits eingeführte
5 Bezugszeichen in den folgenden Figuren aus Gründen der Übersicht weggelassen.

In der **Fig. 5** ist eine zweite Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Schreitkinematik gezeigt.

Nach dieser Ausführungsform ist das Mittel zur Hemmung 130 wieder
10 durch ein flexibles Schlauchelement 131 gebildet. Als Anschlagselement 140 dient ein Bügel 133, der mit einem Ende (oben im Bild) am Bein 110 fixiert ist und mit dem entgegengesetzten Ende in ein am Körper 134 angeordnetes Gleitlager 141 eingreift. In der gezeigten Ausführungsform wird dieses
15 Gleitlager 141 durch einen Spalt gebildet, in dem ein Zapfen 142 läuft, welcher am Körper 134 fixiert ist. Somit kann der Bügel 133 im Bereich der Lagerung eine rotatorische wie auch translatorische Bewegungen vollführen, wobei er durch die Geometrie des Spaltes in diesen Bewegungen begrenzt ist.

20 Eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Schreitkinematik 100 ist in **Fig. 6** dargestellt. Nach dieser Ausführungsform ist als Anschlagselement 140 wiederum ein Bügel 133 vorgesehen, der mit einem Ende (unten im Bild) am Körper 134 fixiert ist, und mit dem entgegengesetzten Ende in ein am Bein 110 fixiertes
25 Gleitlager 141 eingreifend ausgestaltet ist.

Auch nach dieser Ausführungsform wird dieses Gleitlager 141 durch einen Spalt gebildet, in dem ein Zapfen 142 läuft, welcher am Bügel 133 und somit am Körper 134 fixiert ist.

Die **Fig. 7** zeigt eine vierte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Schreitkinematik 100 in einer Vorderansicht, also in einer
30 Ansicht von der Vorderseite eines Roboters, von welchem lediglich

ein Teil des Körpers 134 sowie eine einzelne Schreitkinematik 100 dargestellt sind.

Die Welle 120 ist in einer Lagerbuchse 132 gelagert und mit einem Klemmring (ohne Bezugszeichen) gesichert.

5 Nach dieser Ausführungsform ist das Mittel zur Hemmung 130 aus einem flexiblen Bügel 133 gebildet, welcher sich zwischen dem proximalen Abschnitt 111 des Beines 110 und dem proximalen Abschnitt 121 der Welle 120 lagernden Körper 134 erstreckt. Aufgrund der flachen Form des Bügels 133 biegt sich dieser
10 ausschließlich in vertikaler Richtung entsprechend dem Knickwinkel der Welle 120. Wie ersichtlich hemmt demnach dieser Bügel die axiale Beweglichkeit zwischen Bein 110 und Welle 120.

Der Bügel 133 dient auch als Anschlagselement 140. Mit dem einen Ende (oben im Bild) ist er, wie erwähnt, am Bein 110 fixiert, und
15 greift mit dem entgegengesetzten Ende in ein am Körper 134 angeordnetes Gleitlager 141 ein. In der gezeigten Ausführungsform wird dieses Gleitlager 141 durch einen Zapfen 142 gebildet, welcher am Körper 134 fixiert ist. Der Bügel 133 weist an seinem dem Körper 134 zugewandten Ende (unten im Bild) eine Bohrung
20 (ohne Bezugszeichen) auf, welche mit dem Zapfen 141 zusammenwirkt. Somit kann der Bügel 133 eine rotatorische wie auch translatorische Bewegungen vollführen, wobei er durch die Geometrie des Zapfens 141 sowie der Bohrung in diesen Bewegungen begrenzt ist. Dementsprechend kann das Bein 110 eine (zyklische)
25 Schwenkbewegung um seine Längsachse L vollführen.

Wie aus der Fig. 7 weiterhin hervorgeht, ist die am Körper 134 angeordnete Lagerung 141 des Bügels 133, senkrecht zur Wellenachse A gemessen, um einen Versatz Y von der Wellenachse A beabstandet.

30 Ferner ist ein Axialabstand X durch den entlang der Wellenachse A gemessenen Abstand vom Knick 125 bis zu einer (nicht eingezeichneten) Ebene definiert, die durch die am Körper 134

angeordnete Lagerung 141 des Bügels 133 verläuft und normal zur Wellenachse A steht.

Das Verhältnis von X zu Y bestimmt das Verhältnis von Schwenkbewegung des Beines 110 um seine Längsachse L zu kreisartiger Bewegung des proximalen Abschnitts des Beines; auf die Erläuterungen weiter oben wird verwiesen. Der Versatz Y und der Axialabstand X sind auch in den übrigen Ausführungsformen vorhanden, jedoch aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

Die eine Detailansicht der Fig. 7 darstellende **Fig. 8** zeigt die Parameter a und b. Diese geben die untere und obere Grenze des Normalabstandes von der Lagerung des Bügels am Körper zur bewegenden Längsachse des Beines an. Der Versatz Y ergibt sich aus dem Mittelwert der Parameter a und b. Das Verhältnis der Geschwindigkeit am höchsten und am tiefsten Punkt des Beines wird durch das Verhältnis von b zu a bestimmt. Diese Geschwindigkeitsdifferenz wirkt sich positiv auf eine möglichst gleichmäßige Vorwärtsbewegung des Beines bzw. des Fußes während dem Kontakt mit dem Boden, sowie auf eine erhöhte Kraftübertragung in dieser Phase der Bewegung aus. Des Weiteren folgt daraus eine Vorwärtsbewegung des Beines über mehr als 50% der Zyklusdauer (Dauer einer vollen Umdrehung der Welle 120).

Die Bewegung des distalen Endes des Beines 110, auch „Profil“ P genannt, ist in der **Fig. 7** ebenfalls eingezeichnet. An dessen Form ist zu erkennen, dass sich das Bein nahezu senkrecht auf den Untergrund zubewegt bzw. von ihm abhebt, und nur während der „Schwungphase“ (Bewegungsphase, während der das Bein keinen Kontakt zum Untergrund aufweist) auch eine horizontale Bewegung weg vom Körper ausführt. Noch besser ist diese Bewegung in **Fig. 9** erkennbar, welche die Ausführungsform der Fig. 7 in einer Seitenansicht zeigt. Würde sich der Körper 134 des Roboters nach links bewegen, so würde der Bodenkontakt vom nachfolgenden Bein (nicht gezeigt) hergestellt werden, noch bevor das Bein 110 den

hinteren Umkehrpunkt erreicht, wo es den Bodenkontakt verliert, vorausgesetzt die betreffenden Beine bewegen sich mit einer relativen Phasenverschiebung von 180 Grad zueinander.

Das gezeigte Profil P ist auch vorteilhaft gegenüber dem aus dem
5 in Fig. 1 gezeigten Profil aus dem Stand der Technik. Letzteres ist aus einem Winkel dargestellt, welcher steil zum Untergrund verläuft. Eine Transformation in eine echte Seitenansicht, wie sie die Fig. 7 und Fig. 8 zeigen, würde ein sehr flaches Profil ergeben. Dieses ist nur bei glatten und ebenen Untergründen
10 vorteilhaft, welche jedoch auch durch Räder befahrbar wären. In den Fällen, in denen Beine aufgrund ihrer größeren Geländegängigkeit Rädern überlegen sind, ist ein größerer Hub unabdingbar, wie er durch die erfindungsgemäße Schreitkinematik bereitgestellt wird. Auch kann so der Aufsetzpunkt des Beines bei Unebenheiten
15 des Untergrundes variieren.

In der **Fig. 10** ist eine perspektivische Ansicht eines als Spinne ausgeführten Roboters mit der erfindungsgemäßen Schreitkinematik (ohne Bezugszeichen) gezeigt. Wie ersichtlich weist der Roboter je Seite vier erfindungsgemäße Schreitkinematiken auf. Zudem ist
20 auf seinem Körper eine Steuerplatine 150 angeordnet. Diese ist unter anderem mit Sensoren 151 verbunden, so dass der Roboter auf seine Umgebung reagieren kann. Dargestellt ist außerdem das Profil P eines Beines 110.

Die **Fig. 11** zeigt schematisch eine Ausführungsform einer
25 Synchronisationsvorrichtung für den Antrieb eines selbsttätig fortbewegbaren und bevorzugt autonom agierenden Roboters. Die beiden rotierbaren Antriebsachsen 161, 162 sind kollinear zu einander angeordnet und tragen an ihren jeweiligen zueinander weisenden Enden eine Scheibe 163, 164, die jeweils eine
30 diametrale Magnetscheibe ist. Die Pole der Scheiben 163, 164 sind mit N bzw. S bezeichnet. In der Figur befinden sich die jeweils beiden Pole N, S der beiden Scheiben 161, 162 nicht in ihrer bevorzugten Lage zueinander. Aufgrund der magnetischen

Anziehungskräfte sind die beiden Scheiben 163, 164, und somit die Antriebsachsen 161, 162 bestrebt, eine Lage zueinander anzunehmen, in denen die entgegengesetzten Pole N/S bzw. S/N der Scheiben 163, 164 den geringstmöglichen Abstand zueinander haben (nicht gezeigt), bzw. die von N nach S verlaufenden Magnetisierungsachsen (nicht eingezeichnet) parallel zueinander verlaufen. Somit sind die Antriebe mechanisch voneinander entkoppelt und trotzdem mittels einer elastisch wirkenden Kraftkopplung synchronisiert.

Die **Fig. 12** zeigt eine analoge Situation, wobei anstelle der magnetischen Kräfte eine Feder 165 die elastisch wirkende Kraftkopplung bereitstellt. Die Feder 165 ist an Scheiben 161, 162 befestigt, die nicht magnetisch sind. Zwar können die Antriebsachsen 161, 162 prinzipiell jeden Phasenversatz zueinander aufweisen, sie werden jedoch bestrebt sein, diejenige Lage zueinander einzunehmen, in der die Feder am wenigsten gespannt ist. Diese Lage führt zu der gewünschten Positionierung der Beingruppen zueinander und entspricht einem Phasenversatz der Beingruppen von 180 Grad. Nach Kurvenläufen des Roboters, während denen der Phasenversatz variiert, weil die Beingruppen unterschiedlich schnell angetrieben werden, führt die gezeigte Synchronisationsvorrichtung zu einem automatischen Angleich der Geschwindigkeiten und der Bewegungen der beiden Beingruppen.

In der **Fig. 13** ist eine Steuerung für einen mobilen Roboter nach einer ersten, einfachen Ausführungsform dargestellt.

Die gezeigte Schaltung dient der Veranschaulichung der Wirkungsweise der erfindungsgemäßen Sensorkombination. V+ und V- bezeichnen die Versorgungsspannung. Die Sensoren S1 und S2 sind vorzugsweise Infrarottransistoren, welche sensibel sowohl auf Tageslicht und besonders bevorzugt auf Infrarotlicht reagieren, indem sie ihren Widerstand bei zunehmender Lichtintensität verringern. Sensor S1 kann beispielsweise am Roboter (nicht gezeigt) vorne rechts, und Sensor S2 vorne links angebracht sein.

Das Ausgangssignal (Output) O der Sensorgruppe, die aus einer Reihenschaltung der Sensoren S1 und S2 besteht, dient als gemeinsames Eingangssignal (Input) für zwei Transistoren T1 und T2, die jeweils einen Motor M1 und M2 (entsprechend einem Differenzialantrieb) ansteuern. Die Schwellspannungen, ab der die Transistoren T1, T2 typischerweise durchzuschalten beginnen, ergeben sich bei einer Basis-Emitter-Spannung der Transistoren von 0,7 V aus $V_- + 0,7 \text{ V}$ für T2 bzw. $V_+ - 0,7 \text{ V}$ für T1. Zwischen diesen beiden Schwellspannungen sind beide Motoren M1, M2, abhängig vom Widerstandswert R, in ihrer Geschwindigkeit regelbar.

Bei gleicher Lichteinstrahlung der Sensoren S1, S2 werden die Motoren M1, M2 gleich schnell angesteuert, wodurch sich der Roboter gerade aus bewegt. Bei einer geringen Differenz der Einstrahlung ergibt sich, unabhängig von der absoluten Helligkeit der Umgebung, eine Geschwindigkeitsdifferenz der Motoren M1, M2, und der Roboter fährt eine Kurve in Richtung der stärkeren Einstrahlung.

Der Nachteil dieser einfachen Umsetzung ist, dass die Motoren M1, M2 nur in eine Richtung (z.B. vorwärts) drehen können und demnach ein mit der gezeigten Schaltung gesteuerter Roboter nicht auf der Stelle drehen oder reversieren (rückwärts fahren) kann.

In der **Fig. 14** ist eine Schaltung für eine Steuerung für einen mobilen Roboter mit Operationsverstärkern und kapazitiven Rückkopplungen gezeigt.

Die in dieser Schaltung verwendeten Widerstände R1, R2 und R3 bilden einen Spannungsteiler und generieren zwei konstante Schwellspannungen, die vorzugsweise etwas über bzw. entsprechend unter 0 V liegen (z.B. +1 V und -1 V). Die beiden Operationsverstärker OP1, OP2 verstärken die Differenz von Ausgangssignal O der Sensorgruppe und dieser Schwellspannungen. Bei gleicher Lichteinstrahlung der Sensoren S1, S2 wird O zu Null. In diesem

statischen Fall drehen beide Motoren M1, M2 gleichermaßen in eine Richtung, vorzugsweise vorwärts. Je nach Gleichspannungsverstärkung, die bekannterweise durch die Widerstandsverhältnisse R6 zu R4 sowie R7 zu R5 bestimmt ist, variieren die Motorgeschwindigkeiten, sobald O von Null abweicht. Überschreitet O eine der beiden Schwellspannungen, so wechselt der entsprechende Motor M1 bzw. M2 seine Drehrichtung. Bei entsprechend hoher Helligkeitsdifferenz kann der Roboter somit auch im Stand drehen, um beispielsweise die Kollision mit einem nahen Hindernis zu verhindern (jeweils nicht gezeigt). Mithilfe der Kondensatoren C1 und C2 in den Rückkopplungszweigen ergeben sich aktive Tiefpassfilter 1. Ordnung, wodurch sprunghafte Drehzahl- und somit Geschwindigkeitsänderungen vermieden werden. Im statischen Fall ist ein Rückwärtsfahren des Roboters nicht möglich, da immer nur eine der Schwellspannungen überschritten werden kann. Durch die gegenseitige Beeinflussung der für die linke und rechte Seite vorgesehenen Verstärkerelemente (Ringkopplung) über R8 und C4 bzw. R9 und C3 ist aufgrund der Hochpasswirkung von C3 bzw. C4 jedoch bei einem schnellen Wechsel der Helligkeitsdifferenz zu erreichen, dass beide Motoren M1, M2 für eine bestimmte Zeit rückwärts laufen, um den Roboter z.B. vor einem sich nähernden Hindernisses zurückweichen zu lassen.

Die **Fig. 15** zeigt eine Schaltung für eine Steuerung für einen mobilen Roboter mit zwei Sensorgruppen und vier Operationsverstärkern.

Diese Steuerung basiert auf den Sensorsignalen zweier überkreuzt angeordneter Sensorgruppen mit den Ausgangssignalen O1 der Sensoren S1, S4 bzw. O2 der Sensoren S2, S3. Die Sensoren S1 und S2 sind auf dem Roboter (nicht gezeigt) bevorzugt nach vorne links und vorne rechts ausgerichtet; auf einem Roboter in Form einer Spinne befänden sie sich vorzugsweise am Ende der Taster. In Gegensatz dazu sind die Sensoren S3 und S4 bevorzugt zur Seite hin, jedoch noch im vorderen Bereich des Roboters ausgerichtet;

auf dem Spinnenroboter befänden sie sich vorzugsweise am Ende der beiden vordersten Beine.

Aufgrund der vier Sensoren S1 bis S4 wird, im Falle ihrer engeren sowie überlappenden Anordnung im vorderen Bereich eines Roboters, 5 zum einen der Erfassungsbereich vergrößert, zum anderen erhält der Roboter auch Informationen darüber, ob es sich tendenziell um frontale oder eher seitliche Umwelteinflüsse handelt. Registriert der Roboter beispielsweise eine Lichtquelle und steuert auf diese zu, so werden die frontal ausgerichteten Sensoren S1 und S2 im 10 Vergleich zu den eher seitlich ausgerichteten Sensoren S3 und S4 zunehmend stärker bestrahlt, was einen Anstieg der Sensorsignalswerte O1 und O2 zur Folge hat. Überschreiten O1 und O2 den oberen der beiden Spannungsschwellwerte, die wiederum aus den Widerständen R1, R2 und R3 gebildet werden, so kann der Roboter 15 zum Stillstand kommen, bevor er mit der Lichtquelle kollidiert. Dies befähigt den Roboter, einen gewissen Abstand und/oder eine gewisse Orientierung zu hellen oder auch dunklen Gegenständen (nicht gezeigt) zu halten, auch wenn sich diese in Bewegung befinden. Entsprechend ist der Roboter auch über Lichtquellen 20 (bevorzugt Infrarotlichtquellen) steuerbar.

Aufgrund der Symmetrie der Schaltung beschränkt sich die folgende Erläuterung auf die Ansteuerung des linken Motors M1. Die Drehzahl von M1 wird durch die Spannungsdifferenz der Outputs (ohne Bezugszeichen) von den Operationsverstärkern OP1 und OP3 25 bestimmt. OP1 verstärkt das Sensorsignal O1, bezogen auf die höhere der beiden Schwellwertspannungen. OP3 reagiert hingegen aufgrund von C1 und C3 auf zeitliche Änderungen des Sensorsignals O2. Aufgrund einer fehlenden ohmschen Rückkopplung vom Output auf den negativen Input wird der Output von OP3 bei konstantem Wert 30 O1 mehr oder weniger schnell entweder auf V+ ansteigen oder auf V- abfallen, je nachdem, ob der über R8 eingekoppelte Output von OP1 unter oder über der unteren Schwellwertspannung liegt. Damit wird erreicht, dass sich ein entsprechend angesteuerter Roboter,

sollte er aufgrund der äußeren Einflüsse zum Stillstand kommen, nach einer gewissen Zeit wieder in Bewegung setzt. Umgekehrt wird der Output von OP3 über C5 auf OP1 rückgekoppelt, was zu einer kurzzeitigen zusätzlichen Beschleunigung des Motors M1 führt. Der Roboter erhält durch diese Art der Ringkopplung ein äußerst dynamisches und spontan erscheinendes Verhalten, das sowohl schnelle wie auch langsame Änderungen der Geschwindigkeit beinhaltet.

Auf eine gegenseitige Beeinflussung der linken und rechten Verstärkerelemente, wie sie in einfacherer Weise aus der Beschreibung der Fig. 14 hervorgeht, wird aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet.

In der **Fig. 16** ist eine variabel bestückbare Schaltung für eine Steuerung für einen mobilen Roboter gezeigt.

Diese Schaltung ist mit 24 Platzhaltern Z1 bis Z24 ausgestattet, welche bevorzugt als Steckplätze für Elemente wie Widerstände und/oder Kondensatoren (jeweils nicht eingezeichnet) ausgeführt sind. Ein Platzhalter kann mit einzelnen Elementen oder auch mit einem Widerstand und einem Kondensator in Parallel- oder Serienschaltung belegt werden.

Besonders bevorzugt entspricht die Anordnung der Bauelemente auf dem Schaltplan auch der physikalischen Anordnung auf einer Leiterplatte und somit am (nicht gezeigten) Roboter, um dem Benutzer eine schnelle und intuitive Änderung der Beschaltung mithilfe des Schaltplanes zu ermöglichen.

Die Elemente an den Stellen Z1 bis Z8 bestimmen die direkte Einflussnahme der Ausgangssignale O1 und O2 auf die Eingänge der Operationsverstärker OP1 bis OP4. Werden im Gegensatz zu der in der Fig. 15 gezeigten Ausführungsform nicht die Platzhalter Z1 bis Z4 belegt, sondern die Platzhalter Z5 bis Z8, bei denen die Signale O1 und O2 vertauscht an die Operationsverstärker weitergegeben werden, so resultiert daraus ein Verhalten, bei dem

tendenziell Lichtquellen gemieden und dunkle Areale bevorzugt werden. Durch eine Kombination dieser Ausführungsformen ist es auch möglich, die entsprechenden Verhaltensweisen zeitlich versetzt hervorzurufen.

- 5 Die Elemente an den Stellen Z9 bis Z24 decken alle sechzehn möglichen Kombinationen ab, um die vier Operationsverstärker OP1 bis OP4 miteinander zu koppeln oder rückzukoppeln, wobei sich die Kopplungsvarianten Z9 bis Z16 nur auf einen Motor M1 oder M2 beziehen (entsprechend der Ausführungsform nach Fig. 15) und die
- 10 Varianten Z17 bis Z24 auf die Steuerung des jeweils anderen Motors M2 bzw. M1 Einfluss nehmen. Die Widerstände R4 bis R7 haben die Aufgabe, den Stromfluss bei mehrfacher Kopplung durch Kondensatoren (nicht eingezeichnet) zu begrenzen und potentielle Schwingungen zu unterdrücken.

Bezugszeichenliste

	100	Kinematik, Schreitkinematik
	110	Bein
	111	proximaler Abschnitt des Beines
5	112	proximales Ende des proximalen Abschnitts des Beines
	114	distales Ende des Beines, Beinende
	115	dem proximalen Ende entgegengesetztes Ende des proximalen Abschnitts des Beines
	120	Welle
10	121	proximaler Abschnitt der Welle
	122	proximales Ende des proximalen Abschnitts der Welle
	123	distaler Abschnitt der Welle
	125	Knick
	130	Mittel zur Hemmung
15	131	flexibles Schlauchelement
	132	Lagerbuchse
	133	Bügel
	134	Körper
	140	Anschlagselement
20	141	Gleitlager, Lagerung
	142	Zapfen
	143	Drehgelenk
	150	Steuerplatine
	151	Sensor
25	161,162	Antriebsachse
	163,164	Scheibe
	L	Längsachse des Beines
	A	Wellenachse
	W	Neigungswinkel der Welle
30	X	Axialabstand
	Y	Versatz
	P	Profil
	a	Parameter
	b	Parameter
35	n	Anzahl

S, Sn	Sensor, Sensor n
T1, T2	Transistor
M1, M2	Motor
O, On	Ausgangssignal, Ausgangssignal n
5 R, Rn	Widerstand, Widerstand n
GND	Erdung
OPn	Operationsverstärker n
Cn	Kondensator n
Zn	Steckplatz n

10

Patentansprüche

1. Schreitkinematik (100) zur Erzeugung einer Schreitbewegung eines Beines (110) eines Roboters, mit einer motorisch antreibbaren Welle (120), welche einen proximalen Abschnitt (121) mit einem proximalen Ende (122) sowie einen distalen Abschnitt (123) aufweist, und mit einem Bein (110), welches einen proximalen Abschnitt (111), der durch ein proximales Ende (112) abgeschlossen wird, und ein distales Ende (114) aufweist,

- wobei der proximale Abschnitt (111) des Beines (110) entlang einer Längsachse (L) desselben mit dem distalen Abschnitt (123) der Welle (120) rotierbar verbunden ist, während

- eine entlang der Längsachse (L) verlaufende Beweglichkeit des proximalen Abschnitts (111) des Beines (110) relativ zum distalen Abschnitt (123) der Welle (120) durch ein geeignetes Mittel zur Hemmung (130) begrenzt ist, und

- ein Anschlagselement (140) vorgesehen ist, welches die Rotation des Beines (110) um seine Längsachse (L) begrenzt, und

- wobei die mit dem proximalen Abschnitt (111) des Beines (110) verbundene Welle (120) am Übergang zwischen proximalem und distalem Abschnitt (121, 123) einen Knick (125) aufweist,

so dass durch Rotation der Welle (120) an einem dem proximalen Ende (112) des Beines (110) entgegengesetzten Ende (115) des proximalen Abschnitts (111) des Beines (110) eine kreisartige Bewegung erzeugbar ist, wodurch das distale Ende (114) des Beines (110) auf einer geschlossenen Kurvenbahn bewegbar ist.

2. Schreitkinematik nach Anspruch 1, wobei die Verbindung zwischen dem proximalen Abschnitt (111) des Beines (110) und dem distalen Abschnitt (123) der Welle (120) mittels mindestens eines Wälz- oder Gleitlagers hergestellt ist.
- 5 3. Schreitkinematik nach Anspruch 1, wobei die Verbindung zwischen dem proximalen Abschnitt (111) des Beines (110) und dem distalen Abschnitt (123) der Welle (120) durch Einschieben des distalen Abschnitts (123) der Welle (120) in den hohl ausgeführten proximalen Abschnitt (111) des Beines (110)
10 hergestellt ist.
4. Schreitkinematik nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Mittel zur Hemmung (130) ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus (i) einem flexiblen Schlauchelement (131), welches das proximale Ende (112) des Beines (110) und
15 mindestens einen distalen Teil einer an einem Körper (134) fixierten Lagerbuchse (132), welche der Welle (120) als Lager dient, umschließt; (ii) aus mindestens einem Wälz- bzw. Gleitlager gemäß Anspruch 2; (iii) und aus einem Bügel (133), welcher sich zwischen dem proximalen Abschnitt (111) des
20 Beines (110) und einem den proximalen Abschnitt (121) der Welle (120) lagernden Körper (134) erstreckt.
5. Schreitkinematik nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Anschlagselement (140) die Rotation des Beines (110) um seine Längsachse (L) auf einen Schwenkwinkel von
25 mehr als 0 Grad und zugleich weniger als 180 Grad und bevorzugt weniger als 90 Grad und besonders bevorzugt weniger als 30 Grad begrenzt, so dass eine der kreisartigen Bewegung überlagerte alternierende Rotationsbewegung des Beines (110) um seine Längsachse (L) ermöglicht ist.
- 30 6. Schreitkinematik nach Anspruch 5, wobei das Anschlagselement (140) durch einen Bügel (133) nach Anspruch 4 gebildet ist, der entweder (i) am Bein (110) fixiert und mit dem entgegengesetzten Ende in ein am Körper (134) angeordnetes Gleitlager

(141) eingreifend, oder (ii) am Körper (134) fixiert und mit dem entgegengesetzten Ende in ein am Bein (110) fixiertes Gleitlager (141) eingreifend ausgestaltet ist, wobei jeweils die am Körper (134) angeordnete Lagerung des Bügels, senkrecht zur Wellenachse (A) gemessen, um einen Versatz (Y) von der Wellenachse (A) beabstandet ist.

7. Schreitkinematik nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Welle (120) einen Neigungswinkel (W) zur Horizontalen von 45 ± 45 Grad aufweist, und/oder der Knick (125) 1 bis 10 Grad beträgt, und/oder bei Vorhandensein eines gemäß Anspruch 6 definierten Körpers (134), der daran angeordneten Lagerung sowie des Bügels (133) ein Axialabstand (X) durch den entlang der Wellenachse (A) gemessenen Abstand vom Knick (125) bis zu einer Ebene definiert ist, die durch die am Körper (134) angeordnete Lagerung des Bügels (133) verläuft und normal zur Wellenachse (A) steht, wobei das Verhältnis des Axialabstands (X) zum ggf. nach Anspruch 6 vorhandenen Versatz (Y) bevorzugt 1 bis 10 und besonders bevorzugt 5 ± 2 beträgt.

8. Schreitkinematik nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei Welle (120) und Bein (110) hohl ausgestaltet sind.

9. Schreitkinematik nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei am distalen Ende (114) des Beines (110) ein Sensor (151) und/oder Aktuator angeordnet ist.

10. Synchronisationsvorrichtung für ein mindestens zwei Antriebseinheiten umfassendes Antriebssystem eines Roboters, bei dem je eine Antriebseinheit für je eine Bein- oder Rädergruppe vorgesehen und mit den Mitgliedern dieser Gruppe zwecks deren Antriebs verbunden ist, wobei die Antriebseinheiten oder die Gruppen durch mindestens eine Kraftkopplung miteinander verbunden sind, welche elastisch ist, so dass die Antriebseinheiten einen variablen Phasenversatz zueinander aufweisen können, und in welcher potenzielle Energie

speicherbar ist, deren Höhe vom Phasenversatz der Antriebseinheiten abhängt, wobei die Antriebseinheiten einen festen Phasenversatz, der einem Minimum der potenziellen Energie entspricht, einnehmen können.

- 5 11. Synchronisationsvorrichtung nach Anspruch 10, wobei dieselbe zur Angleichung der Antriebsgeschwindigkeiten mindestens zweier Antriebsmotoren verwendet wird.
12. Synchronisationsvorrichtung nach Anspruch 10, wobei dieselbe zur Angleichung des Phasenversatzes mindestens zweier
10 Antriebsmotoren verwendet wird.
13. Synchronisationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, wobei die elastisch wirkende Kraftkopplung durch eine mechanisch elastische Verbindung erfolgt.
14. Synchronisationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis
15 12, wobei die elastisch wirkende Kraftkopplung mittels Magnetkraft erfolgt.
15. Synchronisationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 14, wobei dieselbe in einem Roboter mit Schreitkinematiken gemäß Definition in einem der Ansprüche 1 bis 9 verwendet
20 wird, wobei von jeder Antriebseinheit mehrere Schreitkinematiken antreibbar sind.
16. Kollisionsgefahr detektierende Steuerung für den mindestens zwei unabhängig betreibbare Motoren (M1, M2) umfassenden Antrieb eines mobilen Roboters, die Steuerung umfassend eine
25 Mehrzahl Umwelteinflüsse detektierender Sensoren (S1, S2, ...) und ein Verstärkerelement (T1, T2, OP1, OP2, ...) je Motor (M1, M2), welches dem jeweiligen Motor (M1; M2) zugeordnet ist, wobei eine Anzahl (n) von Sensoren (S1, S2, ...) mit unterschiedlichen Erfassungsbereichen zu einer
30 Sensorgruppe mit maximal (n)-1 gemeinsamen Ausgangssignalen (O, O1, O2) zusammengefasst sind, welche unmittelbar oder mittelbar als Eingangssignale für das jeweilige Verstärkerelement (T1, T2, OP1, OP2, ...) dienen.

17. Steuerung nach Anspruch 16, wobei der Antrieb genau zwei Motoren (M1, M2) umfasst.

18. Steuerung nach Anspruch 16 oder 17, wobei die Anzahl (n) der zu einer Sensorgruppe zusammengefassten Sensoren (S1, S2) gleich 2 ist, so dass genau ein gemeinsames Ausgangssignal (O, O1, O2) erhalten wird.

19. Steuerung nach einem der Ansprüche 16 bis 18, wobei sich die Sensoren (S1, S2, ...) einer Gruppe zur Bereitstellung eines gemeinsamen Ausgangssignals (O, O1, O2) in Reihenschaltung befinden.

20. Steuerung nach einem der Ansprüche 16 bis 19, wobei mindestens einer der Sensoren (S1, S2, ...) ein lichtempfindlicher Sensor ist.

21. Steuerung nach einem der Ansprüche 16 bis 20, wobei der Roboter mindestens eine Infrarotlichtquelle umfasst, deren Licht von mindestens einem der Sensoren (S1, S2, ...) desselben und/oder eines weiteren Roboters detektierbar ist.

22. Steuerung nach einem der Ansprüche 20 oder 21, wobei die Sensoren (S1, S2, ...) einer Sensorgruppe an unterschiedlichen Stellen der Peripherie des Roboters angeordnet sind und eine Abschirmung aufweisen, welche bei Kontakt dieser Peripherie mit einem Hindernis den Lichteinfall auf den jeweiligen Sensor (S1, S2, ...) um wenigstens 50% reduziert.

23. Verfahren zum Steuern eines mindestens zwei unabhängig betreibbare Motoren (M1, M2) umfassenden Antriebs eines mobilen Roboters, umfassend die folgenden Schritte:

- Bereitstellen eines gemeinsamen Ausgangssignals (O, O1, O2) durch Kombination der Anschlüsse mindestens zweier Umwelteinflüsse detektierender Sensoren (S1, S2, ...);

- Verarbeiten und/oder Verstärken dieses gemeinsamen Ausgangssignals (O, O1, O2) oder einer Differenz aus diesem gemeinsamen Ausgangssignal (O, O1, O2) und einem Schwell-

wert mittels jeweils eines Verstärkerelements (T1, T2, OP1, OP2, ...) je Motor (M1, M2), das dem jeweiligen Motor (M1, M2) zugeordnet ist;

5 - Ansteuern des jeweiligen Motors (M1, M2) mittels des verarbeiteten und/oder verstärkten gemeinsamen Ausgangssignals (O, O1, O2) bzw. der verstärkten Differenz aus diesem gemeinsamen Ausgangssignal (O, O1, O2) und dem Schwellwert;

so dass eine Navigation und/oder Hinderniserkennung des Roboters aufgrund von relativen Sensorsignalen ermöglicht
10 wird.

24. Autonom agierender Roboter, umfassend eine Mehrzahl von Schreitkinematiken gemäß Definition in einem der Ansprüche 1 bis 9, und/oder eine Synchronisationsvorrichtung gemäß Definition in einem der Ansprüche 10 bis 15, und/oder eine
15 Steuerung gemäß Definition in einem der Ansprüche 16 bis 23.

25. Roboter nach Anspruch 24, wobei derselbe als Bausatz ausgeführt ist.

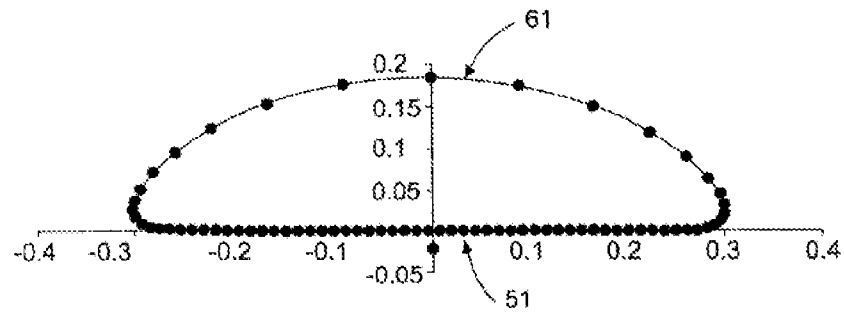


FIG. 1 (Stand der Technik)

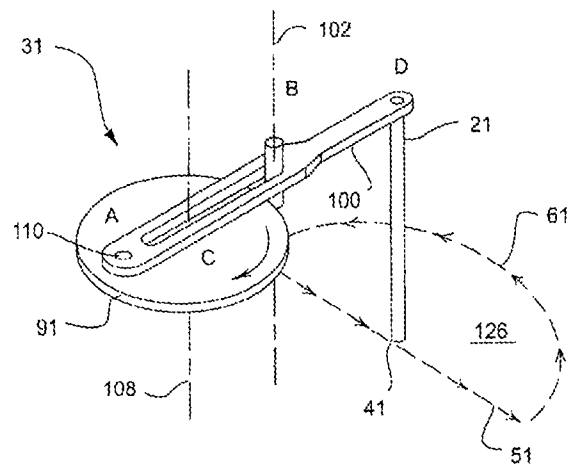


FIG. 2 (Stand der Technik)

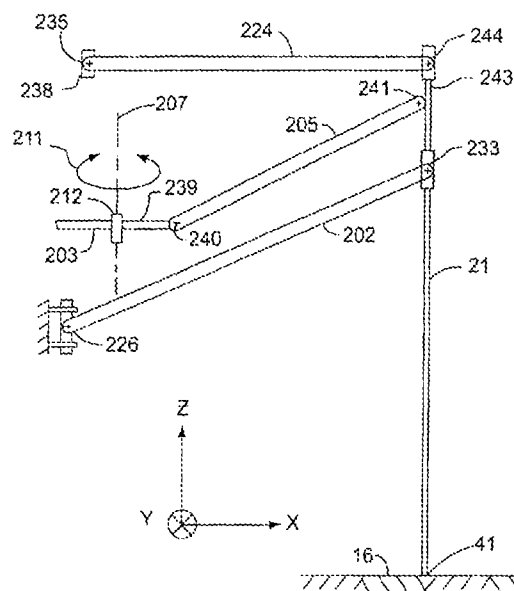


FIG. 3 (Stand der Technik)

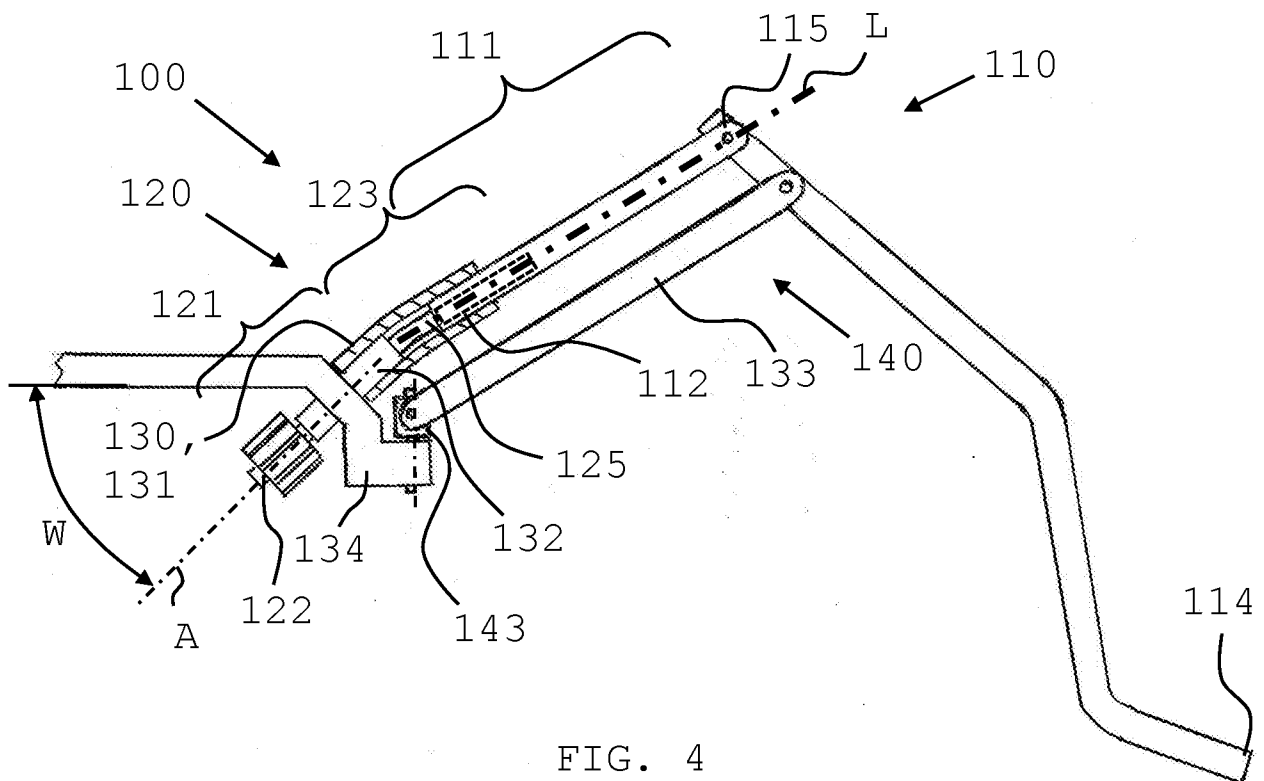


FIG. 4

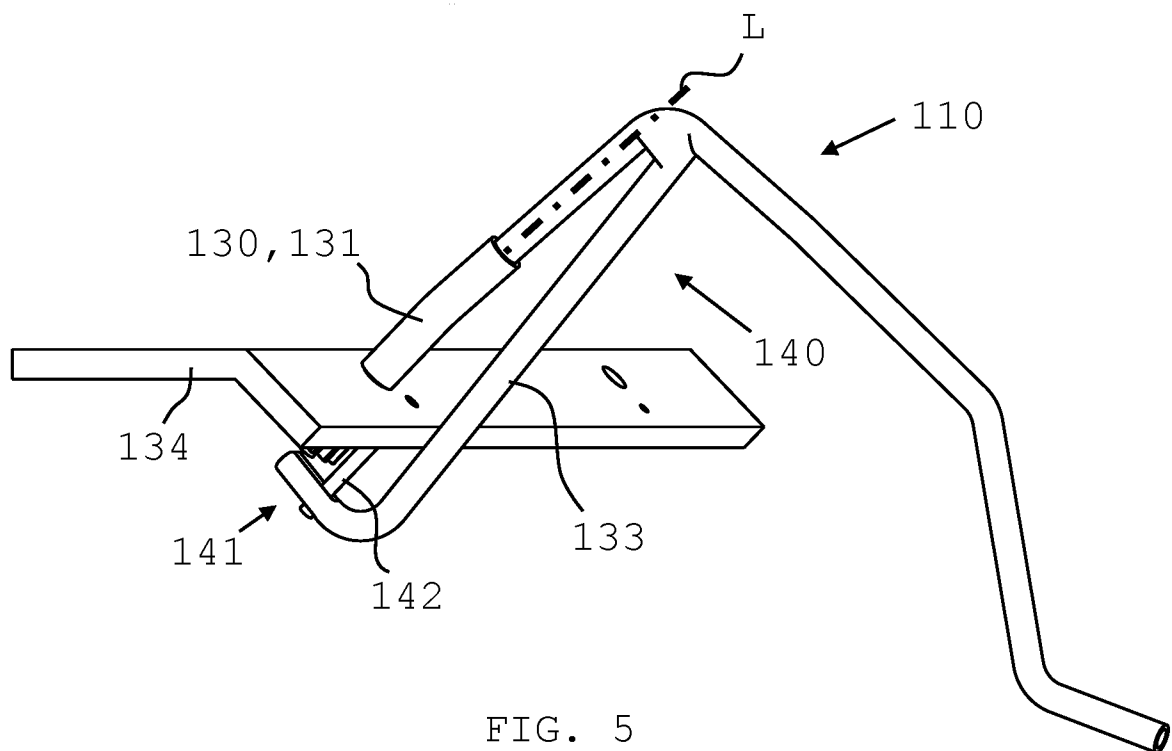


FIG. 5

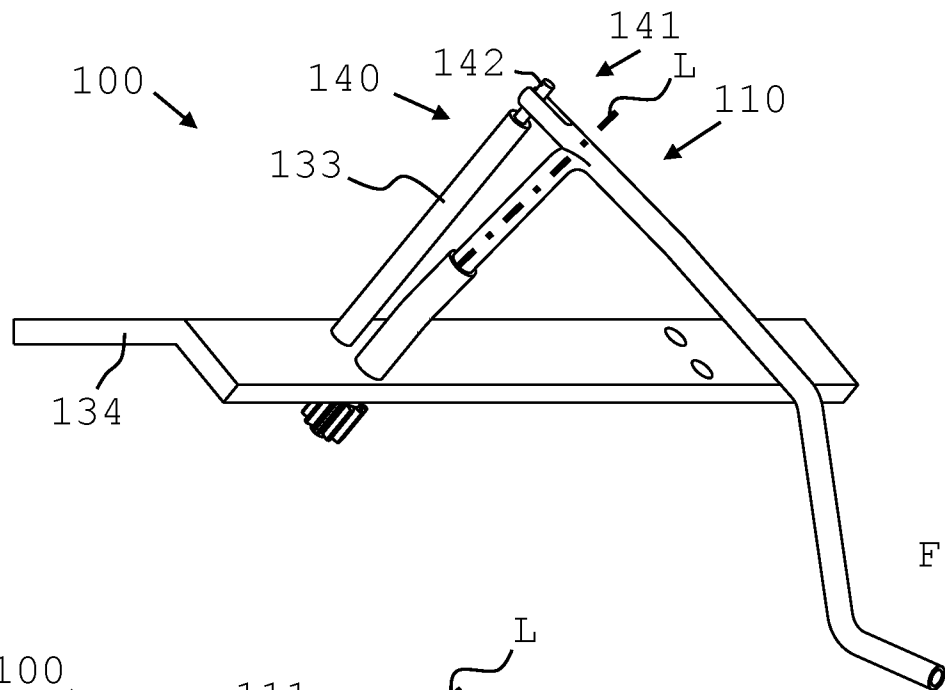


FIG. 6

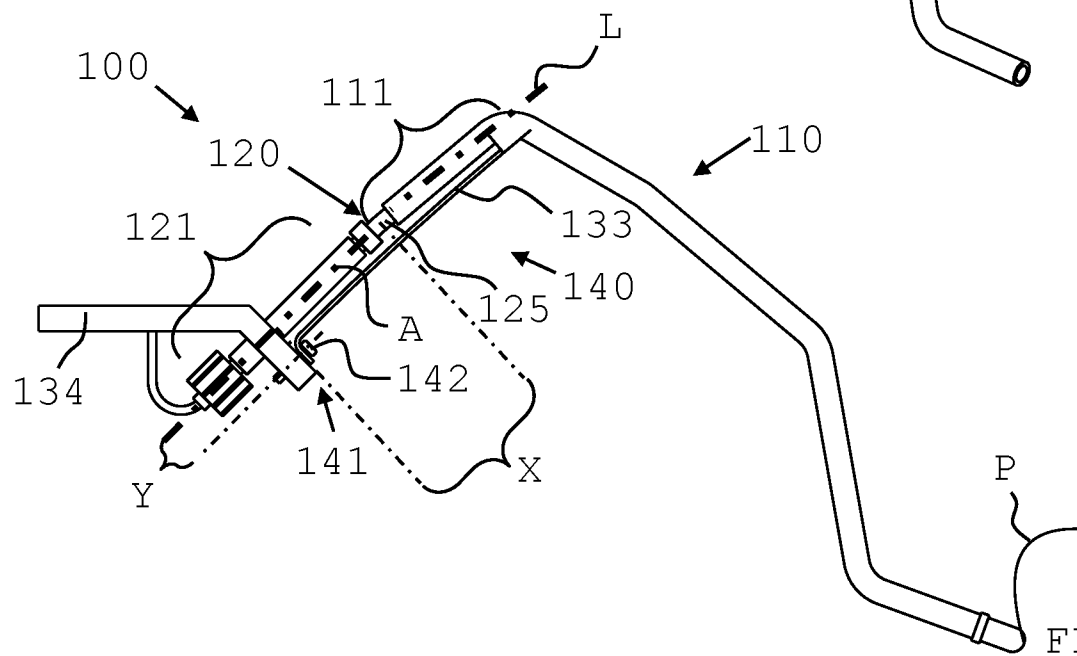


FIG. 7

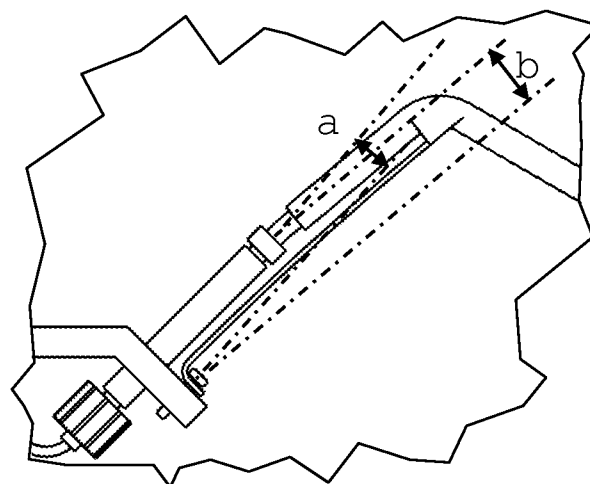


FIG. 8

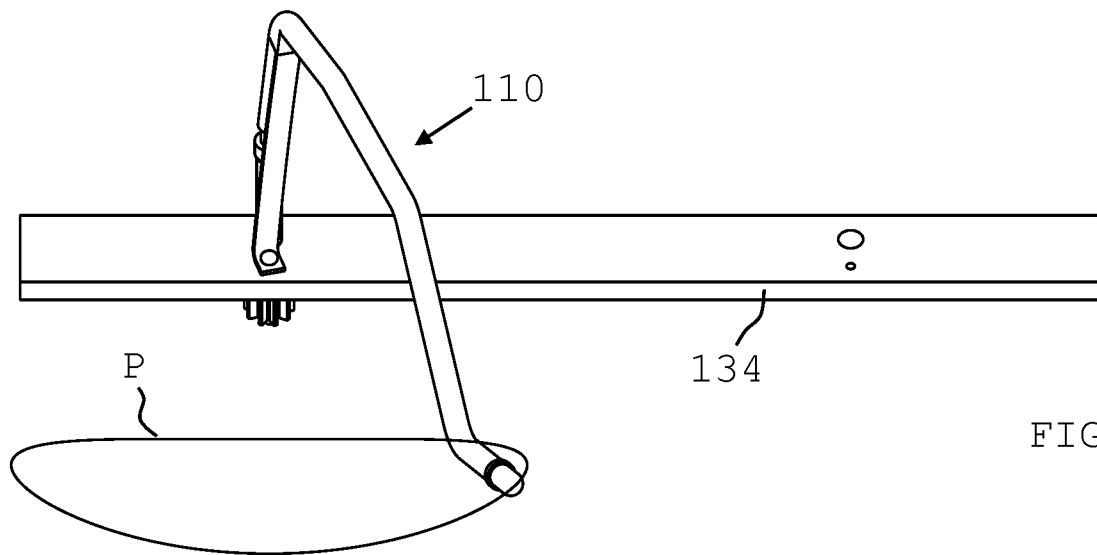


FIG. 9

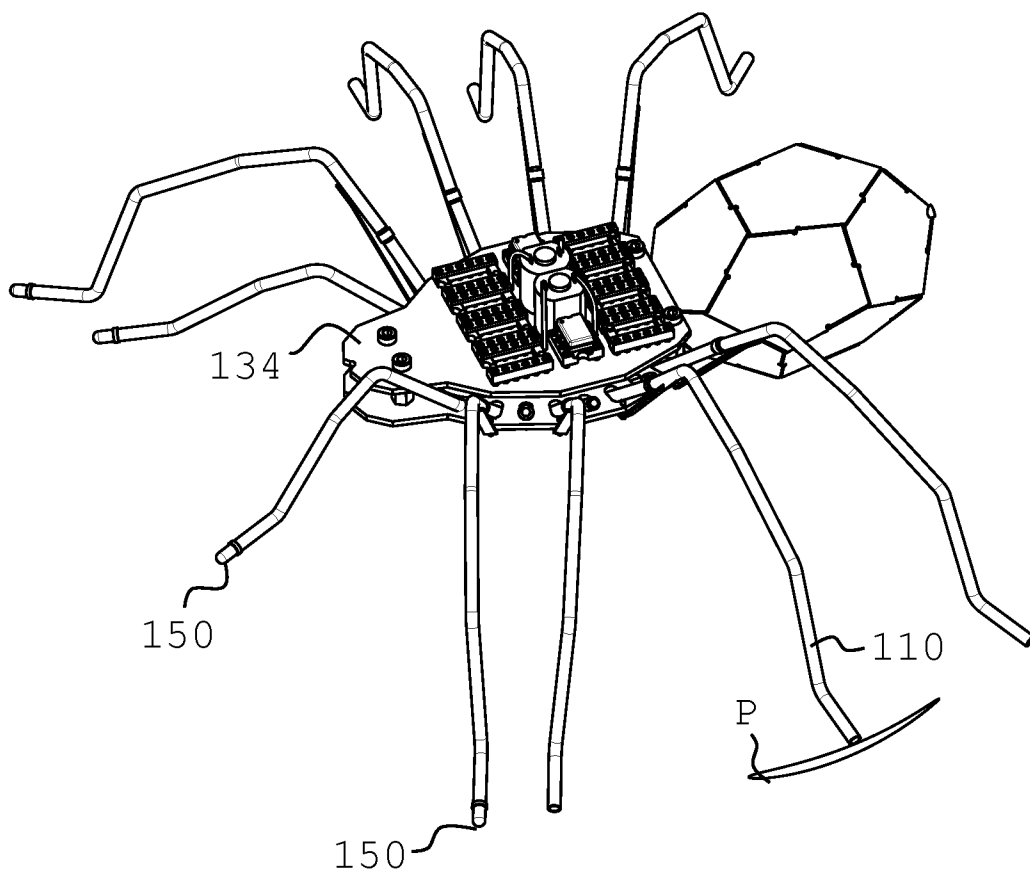


FIG. 10

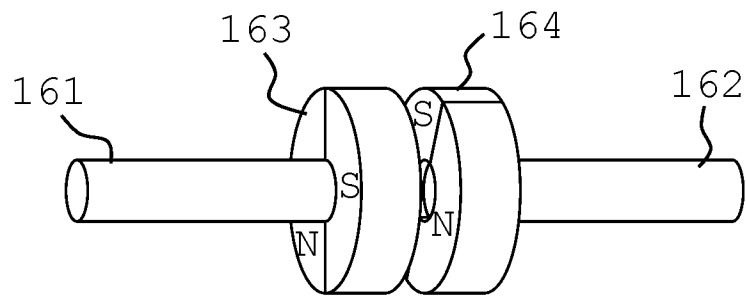


FIG. 11

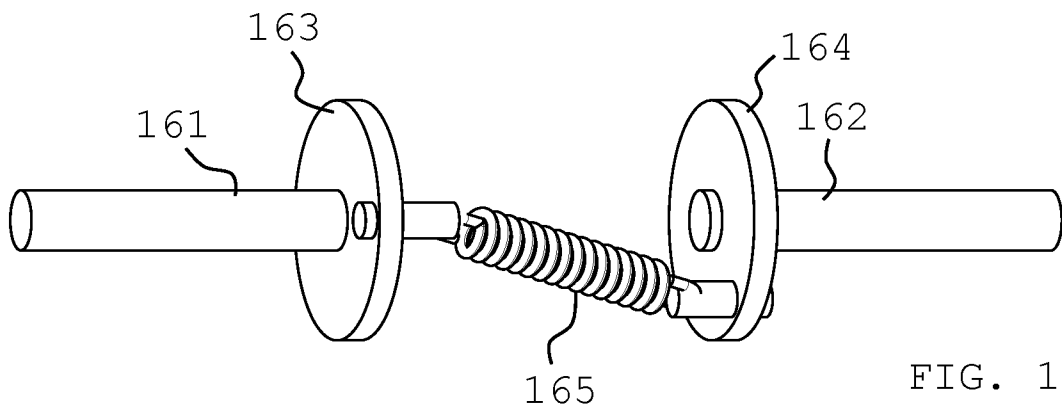


FIG. 12

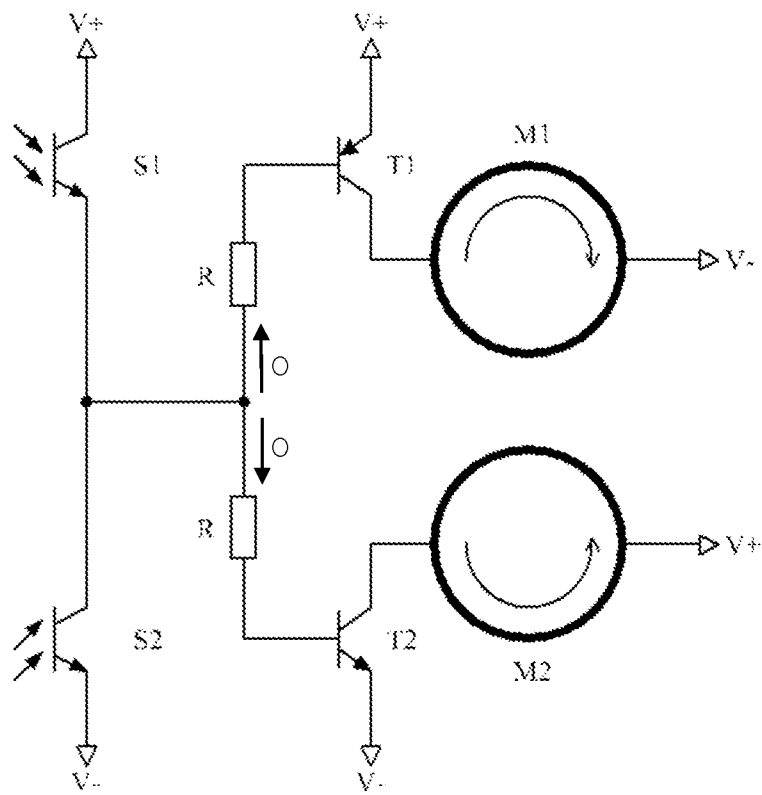


FIG. 13

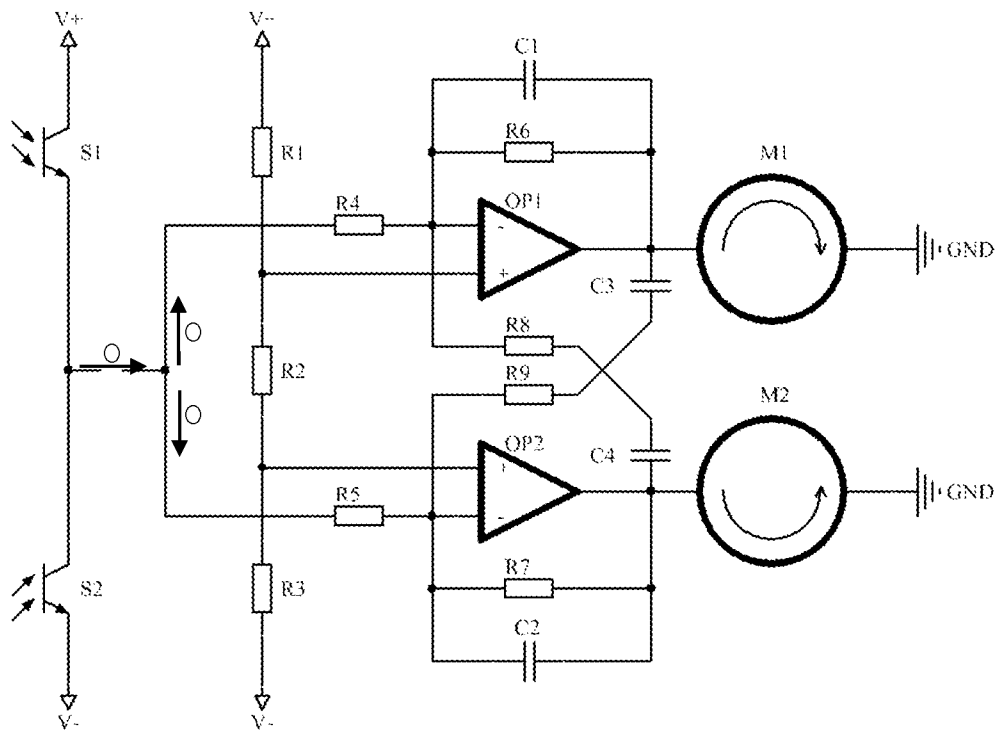


FIG. 14

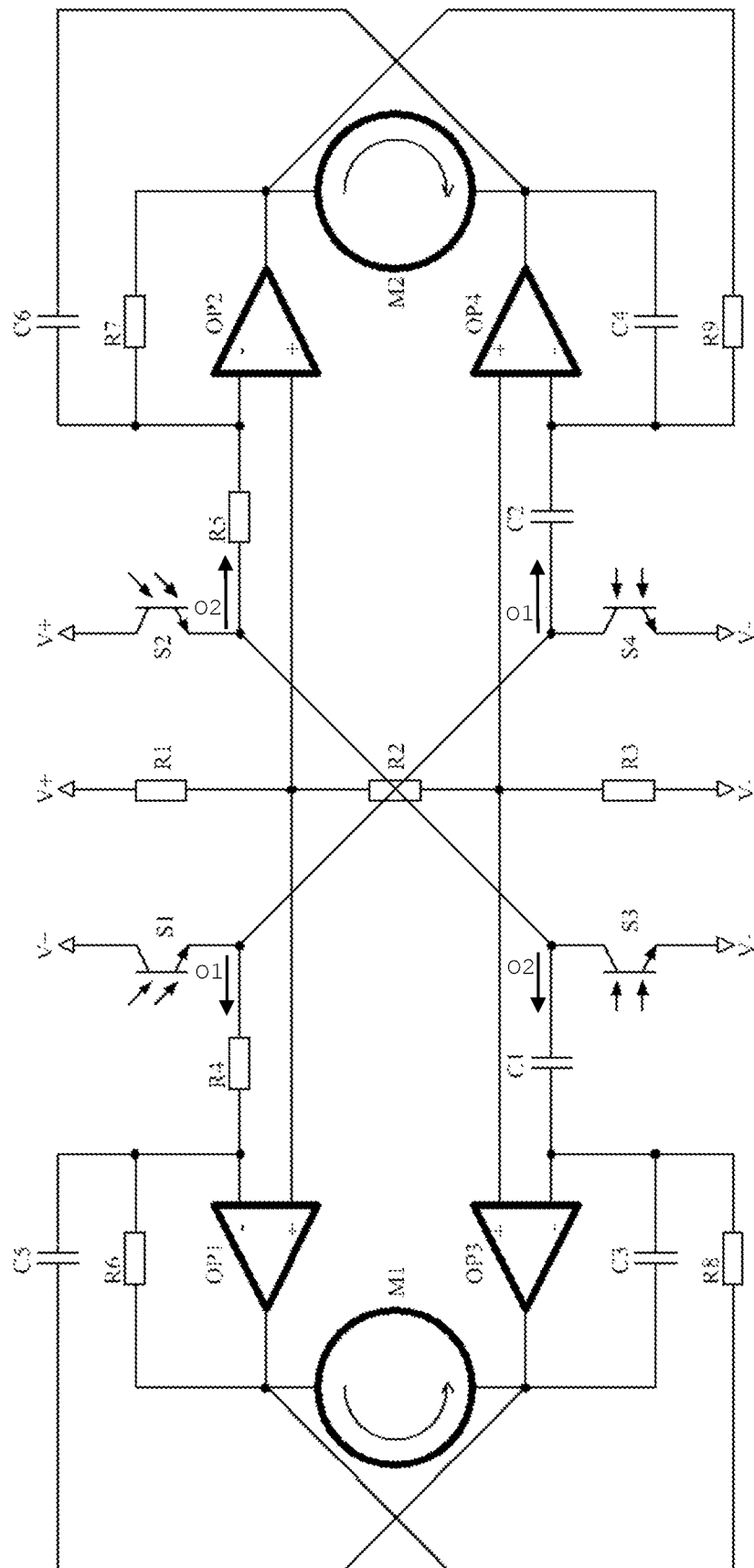


FIG. 15

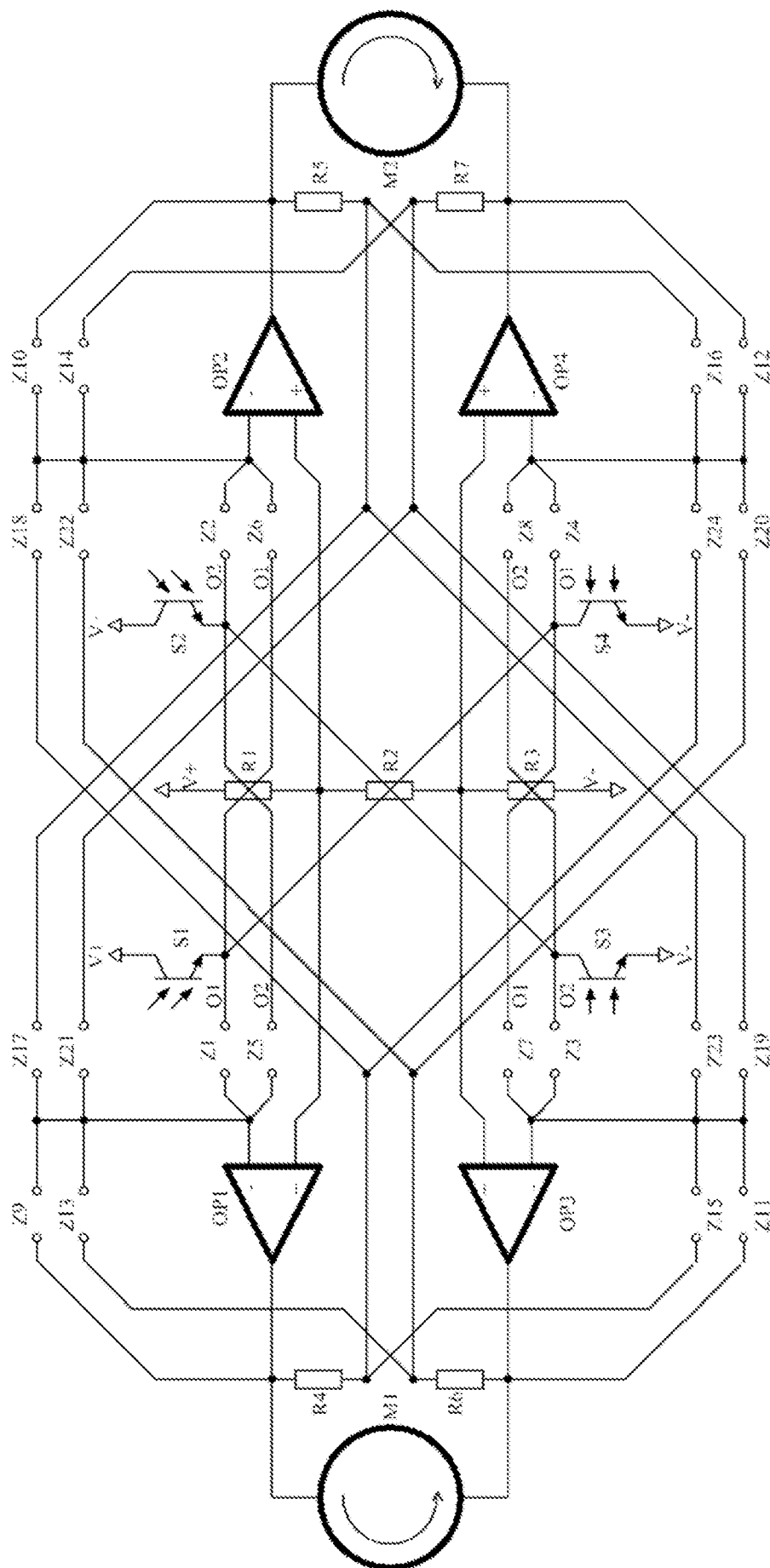


FIG. 16