

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50754/2022
(22) Anmeldetag: 30.09.2022
(45) Veröffentlicht am: 15.09.2024

(51) Int. Cl.: **B25J 9/16** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
US 2014070752 A1
JP H0530776 A

(73) Patentinhaber:
WITTMANN Technology GmbH
1220 Wien (AT)

(74) Vertreter:
SONN Patentanwälte GmbH & Co KG
1010 Wien (AT)

(54) Verfahren und Vorrichtung zur Steuerung eines mehrachsigen Entnahmeroboters

(57) Verfahren und Vorrichtung zur Steuerung der Bewegung eines Handhabungselements (2) eines Entnahmeroboters (21) entlang eines vorgegebenen Pfades (25) mit einer ortsabhängigen Bahngeschwindigkeit (26), wobei der Entnahmeroboter mehrere Achsen (3) und für jede Achse (3) einen Motor (4) aufweist. Das Verfahren weist die folgenden Schritte auf:

- Ermitteln von nächsten Stellungen der Achsen (3) zum Anfahren einer nächsten Position des Handhabungselements (2) entlang des Pfades (25),
- Erfassen einer Versorgungsspannung (13);
- Anpassen, insbesondere Reduzieren, der Bahngeschwindigkeit (26) im Falle eines Unterschreitens eines Grenzwerts (16) der erfassten Versorgungsspannung (13); und
- Ermitteln einer Geschwindigkeit für jede der Achsen (3) zum Einnehmen der nächsten Position in Abhängigkeit von den ermittelten nächsten Stellungen der Achsen (3) und der angepassten Bahngeschwindigkeit;
- Steuern und/oder regeln der Motoren (4) entsprechend der ermittelten Geschwindigkeiten für jede der Achsen (3).

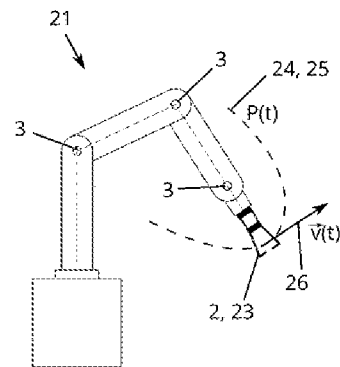


Fig.7

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Steuerung der Bewegung eines Handhabungselements eines Entnahmeroboters entlang eines vorgegebenen Pfades mit einer ortsabhängigen Bahngeschwindigkeit, wobei der Entnahmeroboter mehrere Achsen und für jede Achse einen Motor aufweist.

[0002] Die Fertigung von Bauteilen, beispielsweise aus Kunststoff, wird zunehmend weitgreifender automatisiert und durch Roboter unterstützt. Eine Klasse an dazu verwendeten Robotern sind Entnahmeroboter, die typischerweise ein Handhabungselement, insbesondere einen Greifer, aufweisen, mit dem Bauteile von einer Stelle entnommen bzw. genommen und an einer anderen Stelle abgelegt werden können. Beispielsweise können Entnahmeroboter dazu verwendet werden, Spritzgussteile aus einer Spritzgussanlage zu entnehmen und zur Weiterverarbeitung oder Lagerung an einen weiteren Ort zu transportieren. Aufgrund des komplexen Aufbaus, der meist engen Platzverhältnisse und der oftmals komplexen Geometrie von derartigen Fertigungsstrecken bzw. Anlagen, ist es notwendig, dass die Handhabungselemente entlang von entsprechend komplexen Pfaden geführt werden. Dazu weisen die Entnahmeroboter typischerweise eine Mehrzahl an Achsen auf, die jeweils motorisiert sind. Neben der Bahngeometrie gehört auch die Geschwindigkeit des Handhabungselements als Funktion des Ortes zur Spezifikation der Bahn. Typischerweise soll das Handhabungselement mit der größtmöglichen Geschwindigkeit bewegt werden, um den Durchsatz an Bauteilen zu maximieren. Die Geschwindigkeit des Handhabungselements entlang der Bahn ist bei Entnahmerobotern in der Regel nicht konstant und ist meist durch Limits in den einzelnen Achsen beschränkt.

[0003] Für eine fehlerfreie Abarbeitung der festgelegten Bahn und der Aufträge muss der Entnahmeroboter in der Lage sein, die benötigten Geschwindigkeiten und Beschleunigungen mit dem vor Ort verfügbaren Energienetz zu erreichen. Dazu darf die Versorgungsspannung des Entnahmeroboters typischerweise ein bestimmtes unteres Limit nicht unterschreiten. Sinkt die Versorgungsspannung unter dieses Limit, kann der Entnahmeroboter der vorgegebenen Bahn nicht folgen und wird meist insbesondere aus Sicherheitsgründen gestoppt. Typische Fehlermeldungen betreffen einen Positions- oder Schleppfehler, oder beispielsweise eine Unterspannung. Es stehen im Stand der Technik hardwareseitig zahlreiche Techniken zur Verfügung, um den Einfluss von Spannungseinbrüchen oder kurzzeitigen Netzunterbrechungen zu minimieren. Beispiele sind Spannungsstabilisatoren, zusätzliche Energiespeicher im Spannungszwischenkreis und USV („Unterbrechungsfreie Stromversorgung“) Anlagen. All diese Lösungen erfordern jedoch Platz und sind oft mit erheblichen Kosten verbunden.

[0004] Würde das Handhabungsgerät im Falle eines Spannungseinbruchs vom vorgegebenen Pfad abweichen, kann eine Beschädigung des Bauteils, der Anlage, sowie des Entnahmeroboters nicht ausgeschlossen werden. Ebenso kann eine Gefahr für anwesendes Personal bestehen. Es ist daher von kritischer Bedeutung, die Pfadtreue des Entnahmeroboters bzw. des Handhabungselements jederzeit zu gewährleisten. Instabile Netze mit häufigen Spannungseinbrüchen oder Netze, an denen elektrische Maschinen mit hohem Anfahrstrom angeschlossen sind, stellen daher ein herausforderndes Umfeld für Fertigungsanlagen im Allgemeinen und Entnahmeroboter im Speziellen dar.

[0005] Aus dem Stand der Technik sind mehrere Verfahren bekannt, um die Sicherheit im Umfeld von Entnahmeroboter im Falle eines Einbruches der Versorgungsspannung zu gewährleisten. Beispielsweise zeigt die KR 2012 00445766 B1 ein Notstopverfahren für einen Industrieroboter mit mehreren Achsen. Gezeigt ist eine Vorschrift zum raschen Bremsen der Achsen im Falle eines Notstopps, ohne dabei von der vorgegebenen Trajektorie abzuweichen. Ein gänzlich Stoppen des Entnahmeroboters beeinträchtigt allerdings die Produktivität des Industrieroboters. Dies kann zum Stillstand einer gesamten Fertigungsstraße führen.

[0006] Die EP 0 879 119 B1 zeigt ein Verfahren zur Steuerung eines Roboters mit einer Mehrzahl an Achsen entlang einer vorgegebenen Bahn. Um die mechanischen Komponenten des Roboters vor einer Überlastung zu schützen, kann die Bahngeschwindigkeit verringert werden, sollte ein

maximal zulässiges Drehmoment überschritten werden. Die Beschleunigung für die (anderen) Achsen wird in entsprechendem Maße begrenzt, so dass der Roboter weiterhin der Bahn folgt. Die EP 0 879 119 B1 enthält keinen Hinweis darauf, wie mit einem Spannungseinbruch umzugehen wäre.

[0007] Die EP 0 167 080 B1 zeigt eine Steuerung für die Roboterspitze von raumfesten Mehrachsen-Industrierobotern. Unzulässige Geschwindigkeiten einzelner Achsen sollen vermieden werden, da diese eine Beschädigung des Roboters bewirken könnten. Gleichzeitig kann die Bahntreue erhalten bleiben. Dazu ist eine Regeleinheit zur optimalen Veränderung der Bahngeschwindigkeit vorhanden, die in Fällen eingreift, in denen es zu unzulässigen Geschwindigkeiten in einzelnen Achsen kommen würde. Um unzulässige Geschwindigkeiten zu vermeiden, werden in der Regeleinheit zu erwartende Soll-Geschwindigkeiten in den einzelnen Achsen extrapoliert und es wird überprüft, ob in einer Achse eine zulässige Geschwindigkeit überschritten wird. Ist dies der Fall, so wird in einen Bahngeschwindigkeitsführungsteil eingegriffen und die Bahngeschwindigkeit solange verringert, bis der Grenzwert wieder unterschritten ist. Auch die EP 0 167 080 B1 enthält keinen Hinweis darauf, wie mit einem Spannungseinbruch umzugehen wäre.

[0008] US 10 345 827 B2 zeigt eine Kontrolleinrichtung für einen Roboter mit einem einzelnen Motor. Unter anderem ist die Kontrolleinrichtung mit einer Einrichtung zum Erkennen von Spannungsfuktuationen („Voltage Fluctuation Detection Unit“) ausgestattet. Wenn die Einrichtung zum Erkennen von Spannungsfuktuationen feststellt, dass die Spannung der Stromquelle unter einen vorgegebenen Referenzwert gefallen ist, wird entweder die Drehzahl des Motors verringert, und/oder die Geschwindigkeit reduziert. In einem zweiten Ausführungsbeispiel ist gezeigt, wie ein Roboter mit einem einzelnen Motor eine Halbleiter-Wafer auf einen Aligner transportiert. Wenn der Wafer auf dem Aligner abgelegt ist, kann der Aligner die Ausrichtung des Wafers anpassen. Der Aligner weist dazu einen separaten Motor auf. Der Motor des Roboters und der Motor des Aligners sind unabhängig voneinander und betreiben separate Vorrichtungen. Das Dokument gibt keinen Hinweis darauf, dass - oder gar wie - ein Roboter mit mehreren Achsen im Falle eines Spannungseinbruchs gesteuert werden könnte.

[0009] JP H0530776 A offenbart ein Verfahren zur Herstellung von Gläsern, wobei Spannungsvariationen erkannt werden können und die Drehzahl eines Motors verringert werden kann.

[0010] Es ist daher Aufgabe der Erfindung, alle oder zumindest einzelne Nachteile des Stands der Technik zu lindern bzw. zu beseitigen. Vorzugsweise ist es Aufgabe der Erfindung, einen Entnahmeroboter mit mehreren Achsen auch bei einem Einbruch der Versorgungsspannung stabil zu betreiben, ohne dass ein Abstoppen und/oder Abweichen von einem vorgegebenen Pfad eines Handhabungsgeräts des Entnahmeroboters erforderlich ist.

[0011] Gelöst wird die Aufgabe durch ein Verfahren nach Anspruch 1. Das Verfahren ist ein Verfahren der eingangs erwähnten Art und weist die folgenden Schritte auf:

- Ermitteln von nächsten Stellungen der Achsen zum Anfahren einer nächsten Position des Handhabungselements entlang des Pfades;
- Erfassen einer Versorgungsspannung;
- Anpassen, insbesondere Reduzieren, der Bahngeschwindigkeit im Falle eines Unterschreitens eines Grenzwerts der erfassten Versorgungsspannung; und
- Ermitteln einer Geschwindigkeit für jede der Achsen zum Einnehmen der nächsten Position in Abhängigkeit von den berechneten nächsten Stellungen der Achsen und der angepassten Bahngeschwindigkeit;
- Steuern und/oder regeln der Motoren entsprechend der berechneten Geschwindigkeiten für jede der Achsen.

[0012] Die Aufgabe wird ebenso von einer Vorrichtung nach Anspruch 6 gelöst. Die Vorrichtung ist eine Vorrichtung der eingangs erwähnten Art und weist auf:

- eine Messeinrichtung zur Erfassung einer Versorgungsspannung;
- eine Verarbeitungseinrichtung, vorzugsweise einen Prozessor, eingerichtet zum Erhalten der erfassten Versorgungsspannung von der Messeinrichtung, zum Ermitteln von nächsten Stellungen der Achsen zum Anfahren einer nächsten Position des Handhabungselements entlang

des Pfades, weiters eingerichtet zum Anpassen, insbesondere Reduzieren, der Bahngeschwindigkeit im Falle eines Unterschreitens eines Grenzwerts der erfassten Versorgungsspannung und zum Ermitteln der Geschwindigkeit für jede der Achsen zum Einnehmen der nächsten Position in Abhängigkeit von den ermittelten nächsten Stellungen der Achsen und der angepassten Bahngeschwindigkeit; und

- mindestens eine Achsensteuerungseinrichtung zum Steuern und/oder Regeln der Motoren entsprechend der ermittelten Geschwindigkeit für jede der Achsen.

[0013] Der Pfad bezeichnet hierbei eine Menge von Positionen bzw. einen Weg im dreidimensionalen Raum. Weist man den einzelnen Positionen entlang des Pfades streng monoton steigende Zeitpunkte zu, so ergibt sich eine Bahn. Die Bahn enthält zusätzlich zu der Information über die Positionen somit auch die vorgegebene Bahngeschwindigkeit entlang des Pfades. Der vorgegebene Pfad entlang dessen das Handhabungselement bewegt werden soll, wird typischerweise in Segmente unterteilt, die durch Polynome beschrieben bzw. approximiert werden und zu bestimmten Zeitpunkten evaluiert werden können. Das Handhabungselement kann einen Endeffektor des Entnahmeroboters bilden. Beispielsweise kann das Handhabungselement ein Greifer sein. Um die Bewegung des Handhabungselements zu ermitteln bzw. zu berechnen, werden von der Verarbeitungseinrichtung ausgehend von einer (momentanen) Position entlang der Bahn nächste Stellungen der Achsen zum Anfahren der jeweils nächsten Position/en entlang der Bahn ermittelt. Auf diese Weise kann das Handhabungselement entlang des Pfades bewegt werden. Die Positionen und/oder die Stellungen der Achsen können beispielsweise in einer Tabelle hinterlegt sein oder im laufenden Betrieb berechnet werden. Die Position entlang der Bahn kann dabei in die Koordinaten der Achsen, d.h. in den Gelenkraum, transformiert werden. Optional kann ein Feininterpolator zwischengeschaltet sein, der die Approximation des Pfades verbessert. Die Messeinrichtung zum Erfassen der Versorgungsspannung misst die aktuelle Versorgungsspannung und übermittelt diesen Wert an die Verarbeitungseinrichtung. Die Messeinrichtung kann beispielsweise Spannungsmesssensor, ein Multimeter oder ein Oszilloskop sein. Beispielsweise kann die Messeinrichtung ein mit der Verarbeitungseinrichtung verbundener Sensor sein. Vor jeden Motor kann eine Endstufe geschaltet sein, wobei jede Endstufe einen Analog/Digital-Umsetzer (ADC) zur Spannungsmessung beinhalten kann. Die Messeinrichtung kann daher auch durch einen oder mehrere ADC gebildet sein, die in den Endstufen enthalten sein können und die Spannung erfassen. Die Motoren können mittels Pulsweitenmodulation (PWM) gesteuert bzw. geregelt werden. Das PWM-Signal kann daher ebenfalls zur indirekten Messung der Versorgungsspannung herangezogen werden, da das PWM-Signal typischerweise annähernd umgekehrt proportional zu der Versorgungsspannung ist. Bei höheren Eingangsspannungen von Endstufen, insbesondere Wechselrichtern, kann der Tastgrad niedriger gewählt werden als bei niedrigen Eingangsspannungen. Die Messung kann kontinuierlich oder vorzugsweise zu diskreten Zeitpunkten erfolgen, beispielsweise kann mit einem Vielfachen der Frequenz des übergeordneten Stromnetzes abgetastet bzw. gemessen werden. Die Versorgungsspannung versorgt die Motoren der Achsen des Entnahmeroboters. Die Versorgungsspannung kann, aber muss nicht der Spannung eines übergeordneten Stromnetzes entsprechen. Bei der Versorgungsspannung kann es sich um eine von der Spannung eines übergeordneten Stromnetzes abgeleitete Spannung handeln.

[0014] Im Folgenden wird das Verfahren anhand einer Ausführungsform mit einer Kennlinie dargestellt. Der gemessene Spannungswert wird von der Verarbeitungseinrichtung verwendet, um eine Kennlinie auszuwerten. Die Kennlinie stellt eine Relation zwischen der Versorgungsspannung und einer jeweils zugehörigen maximalen Bahngeschwindigkeit dar. Die Bahngeschwindigkeit soll die maximale Bahngeschwindigkeit bei einer bestimmten Versorgungsspannung nicht überschreiten. In welcher konkreten Ausgestaltung die Kennlinie vorliegt, ist für die Erfindung nicht wesentlich. Die Kennlinie kann beispielsweise eine mathematische Funktion sein, die eine maximale Bahngeschwindigkeit in Abhängigkeit der Versorgungsspannung angibt. Die Kennlinie kann auch grafisch dargestellt sein. Um den Berechnungsaufwand zu reduzieren, kann die Kennlinie insbesondere als Wertetabelle vorliegen. Es wird bei der Erfindung also die maximale Bahngeschwindigkeit ermittelt, die bei der ermittelten Versorgungsspannung erreichbar ist. Die maximale Bahngeschwindigkeit kann auch bei deutlichen Spannungseinbrüchen, beispielsweise bei Spannungseinbrüchen unter 50% einer Nominalspannung, über null liegen, um einen Stillstand

des Entnahmeroboters zu vermeiden. Es gibt einen Grenzwert in der Versorgungsspannung, der sich auch in der Kennlinie findet, wobei die maximale Bahngeschwindigkeit oberhalb des Grenzwerts konstant ist. Der Grenzwert kann beispielsweise eine Nominalspannung der Versorgungsspannung sein, durch die der Roboter versorgt wird. Alternativ kann der Grenzwert auch unter der Nominalspannung liegen. Liegt die gemessene Versorgungsspannung über dem Grenzwert, ist die maximale Bahngeschwindigkeit konstant. Somit kommt es bei Versorgungsspannungen oberhalb des Grenzwerts zu keiner Anpassung der Bahngeschwindigkeit. Die Bahngeschwindigkeit wird derart angepasst, dass sie der maximalen Bahngeschwindigkeit zu der erfassten Versorgungsspannung entspricht oder geringer als diese ist. Dadurch wird ein Stillstand des Entnahmeroboters vermieden.

[0015] In einem nächsten Schritt passt die Verarbeitungseinrichtung die Bahngeschwindigkeit entsprechend der Kennlinie bzw. entsprechend der Auswertung der Kennlinie an, sodass die Bahngeschwindigkeit der maximalen Bahngeschwindigkeit zu der erfassten Versorgungsspannung entspricht oder geringer ist. Ist die Versorgungsspannung gleich oder höher als eine Nominalspannung, bleibt die vorgegebene Bahngeschwindigkeit unverändert, da in diesem Fall keine Anpassung notwendig ist. Fällt die Versorgungsspannung unter die Nominalspannung, kann eine Veränderung der Bahngeschwindigkeit notwendig sein, wenn die vorgegebene Bahngeschwindigkeit über der maximalen Bahngeschwindigkeit entsprechend der Kennlinie liegt. Die Nominalspannung kann insbesondere eine Zwischenkreisspannung sein, für die der Zwischenkreis unter Kenntnis der Spannung des übergeordneten Stromnetzes ausgelegt ist. Durch die Reduzierung der Bahngeschwindigkeit kann aufgrund reduzierter Motorenleistungen vermieden werden, dass die Versorgungsspannung weiter einbricht, und gleichzeitig aber ermöglicht werden, dass der Entnahmeroboter weiter in Betrieb bleibt. Wird beispielsweise ein Servomotor verwendet, kann eine vor den Motor geschaltete Endstufe Energie grundsätzlich in beide Richtungen übertragen. Beim Verringern einer Last oder beim Bremsen der entsprechenden Achse wird der Motor zum Generator und es fließt Energie über den Motor durch die Endstufe zurück zur Versorgung, beispielsweise in den Zwischenkreis. Die so eingebrachte Energie kann die Versorgungsspannung stabilisieren. Ein etwaiger Spannungsabfall kann also reduziert oder aufgehalten werden, indem die Bahngeschwindigkeit reduziert wird. Die Verarbeitungseinrichtung ermittelt auf Basis der angepassten, insbesondere reduzierten Bahngeschwindigkeit sowie der ermittelten nächsten Positionen entlang der Bahn bzw. des Pfades die Geschwindigkeit für jede der Achsen zum Einnehmen der nächsten Position. Dies kann auf Basis von Koordinatentransformationen, beispielsweise unter Verwendung der Denavit-Hartenberg-Transformation, erfolgen. Zusätzlich zur Geschwindigkeit kann auch die Beschleunigung für jede der Achsen ermittelt werden. Die Geschwindigkeit kann eine Winkelgeschwindigkeit sein. Die Beschleunigung kann eine Winkelbeschleunigung sein. Es können Randbedingungen für die Geschwindigkeit und die Beschleunigung in den einzelnen Achsen und/oder für das Handhabungselement sowie Randbedingungen für ruckartige Bewegungen (engl. „Jerk Constraints“) berücksichtigt werden. Beispielsweise kann die Verringerung der Bahngeschwindigkeit mathematisch durch eine Streckung der Zeitachse durchgeführt werden. Soll beispielsweise aufgrund eines Spannungseinbruchs die Bahngeschwindigkeit um 50 Prozent verringert werden, so wird die Zeitachse um einen Faktor 2 gestreckt. In diesem Fall würde für das Zurücklegen einer konstanten Strecke die doppelte ursprünglich veranschlagte Zeit veranschlagt werden, wodurch die Bahngeschwindigkeit halbiert würde. Die Beschleunigung kann zum Beispiel auf ein Viertel reduziert werden.

[0016] Aufgrund von krummlinigen Bewegungen des Handhabungsgeräts unter anderem entlang einzelner Achsen, ist es im Allgemeinen nicht möglich, eine verringerte Bahngeschwindigkeit dadurch umzusetzen, dass die Geschwindigkeit jeder der einzelnen Achsen um denselben Prozentsatz reduziert wird, ohne dabei die vorgegebene Bahn zu verlassen. Beispielsweise ist ein zweiachsiger Entnahmeroboter mit einer linearen Achse und einer Achse für eine Rotation denkbar. Die Geschwindigkeit des Handhabungselements hängt in diesem Fall nicht-linear von der Stellung der linearen Achse bzw. vom Abstand des Handhabungselements zur Drehachse ab. In anderen Worten: die Bahngeschwindigkeit des Handhabungselements ist bei konstanter Winkelgeschwindigkeit um eine Drehachse je nach Radius bzw. Abstand zur Drehachse unterschiedlich. Daher ist es notwendig, die Geschwindigkeiten der einzelnen Achsen aufeinander abzustimmen,

um den vorgegebenen Pfad nicht zu verlassen und Pfadtreue zu gewährleisten. Pfadtreue bedeutet, dass das Handhabungselement den ursprünglich festgelegten Pfad im Wesentlichen im Rahmen der Bewegungstoleranzen des Entnahmeroboters einhält und trotz Anpassung der Bahngeschwindigkeit nicht verlässt. Andernfalls kann dies umstehende Gegenstände oder Personen gefährden, wenn das Handhabungselement von dem Pfad abweicht.

[0017] In einem weiteren Schritt wird die ermittelte Geschwindigkeit für jede der Achsen an mindestens eine Achsensteuerungseinrichtung zum Steuern und/oder Regeln der Motoren übergeben, die die Motoren entsprechend steuert. Die Motoren können beispielsweise Elektromotoren, vorzugsweise Drehstrommotoren oder Gleichstrommotoren, sein. Beispielsweise können die Motoren Linearmotoren oder Servomotoren sein. Zusammen mit Servo-Motoren können Servo-Controller verwendet werden. Servo-Controller enthalten zumindest eine Endstufe (Powerstage) mit Leistungstransistoren, die zugehörigen Treiber und eine Einheit zur Ansteuerung der Leistungsschalter (Transistoren). Dazu können z.B. PWM (Pulsweitenmodulation) Signale verwendet werden. Ein Servo-Controller kann ferner Sollwerte von einem übergeordneten Microcontroller, einem übergeordneten Prozessor oder vom Achsensteuerungsgerät empfangen. Je nach Architektur kann der Sollwert ein Spannungs-, Strom-, Drehzahl- oder Positions-sollwert sein. Die maximale Leistung eines Servo-Motors und je nach Bauart auch die maximale Geschwindigkeit hängen von der verfügbaren Versorgungsspannung ab. Durch die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren ist es somit möglich, auch bei Spannungseinbrüchen der Versorgungsspannung ein Abstoppen des mehrachsigen Entnahmeroboters zu vermeiden und Pfadtreue zu gewährleisten.

[0018] Vorzugsweise erfolgt das Anpassen der Bahngeschwindigkeit mittels eines Regelkreises mit einem Regler, wobei der Regelkreis die Bahngeschwindigkeit derart regelt, dass die Versorgungsspannung den Grenzwert nicht unterschreitet. In dieser Ausführungsform ist keine Kennlinie notwendig, da der Regelkreis ohne Kenntnis der Kennlinie die Bahngeschwindigkeit derart regeln kann, dass die Versorgungsspannung stabilisiert wird. Die Referenzgröße des Regelkreises ist der Grenzwert der Versorgungsspannung, die rückgeführte Messgröße ist die Versorgungsspannung und die Stellgröße ist die Bahngeschwindigkeit. Der Regler kann beispielsweise ein P-, ein PD- oder ein PID-Regler sein.

[0019] Bei einer Ausführungsform der Erfindung kann die Kennlinie unterhalb des Grenzwerts einen linearen Zusammenhang zwischen Versorgungsspannung und maximaler Bahngeschwindigkeit aufweisen. Der lineare Zusammenhang wird durch zwei Punkte festgelegt: einerseits durch den Grenzwert der Versorgungsspannung und die maximale Bahngeschwindigkeit bei dem Grenzwert, und andererseits durch die Versorgungsspannung bei der die maximale Bahngeschwindigkeit auf null abgefallen ist. Zumindest im Intervall zwischen diesen beiden Punkten besteht ein linearer Zusammenhang zwischen maximaler Bahngeschwindigkeit und Versorgungsspannung.

[0020] In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Versorgungsspannung eine Zwischenkreisspannung eines Zwischenkreises, wobei der Zwischenkreis von einem übergeordneten Stromnetz, beispielsweise mittels eines Gleichrichters, getrennt ist. Der Zwischenkreis ist eine elektrische Einrichtung, die mehrere elektrische Netze auf einer zwischengeschalteten Strom- oder Spannungsebene, beispielsweise über Gleichrichter oder Wechselrichter, elektrisch koppelt. Der Gleichrichter wandelt Wechselspannung in Gleichspannung um. In diesem Fall wird der Zwischenkreis auch als Gleichspannungs-Zwischenkreis bezeichnet. Der Gleichrichter kann beispielsweise unidirektional oder bi-direktional sein. Der Gleichrichter kann passiv oder aktiv sein. Ein Brückengleichrichter ist ein Beispiel für einen passiven unidirektionalen AC/DC-Gleichrichter. Im Gegensatz zu passiven Gleichrichtern wird die Ausgangsspannung aktiver Gleichrichter in der Regel geregelt, häufig auch auf ein höheres Spannungsniveau als bei einer passiven Gleichrichtung. Der Zwischenkreis kann eine Kapazität als Energiespeicher enthalten, beispielsweise kann zumindest ein Kondensator oder mehrere Kondensatoren vorgesehen sein. Die in der Kapazität gespeicherte Energie kann kurzzeitige Leistungs- oder Spannungseinbrüche des übergeordneten Stromnetzes abdecken. Der Zwischenkreis wird beispielsweise von einem übergeordneten Stromnetz gespeist und versorgt wiederum den Entnahmeroboter bzw. mindestens einen oder

alle Motoren. Speziell in instabilen Netzen kann die Verwendung eines oder mehrerer Zwischenkreise die Stabilität der Versorgung und damit der gesamten Anlage verbessern. Es ist somit günstig, nicht die Spannung des übergeordneten Stromnetzes zu überwachen bzw. zu messen, sondern die Zwischenkreisspannung zur Anpassung der Bahngeschwindigkeit heranzuziehen. Beispielsweise kann das übergeordnete Stromnetz einen Gleichrichter versorgen, über den alle Motoren mit Strom versorgt werden. In diesem Fall werden alle Motoren über denselben Zwischenkreis versorgt. Alternativ können mehrere Gleichrichter vom übergeordneten Stromnetz versorgt werden, wobei über jeden Gleichrichter einer oder mehrere Motoren mit Strom versorgt werden. In diesem Fall werden die Motoren über mehrere Zwischenkreise versorgt. Die Messeinrichtung kann jede Zwischenkreisspannung der mehreren Zwischenkreise messen. Vorzugsweise wird das Minimum der gemessenen Zwischenkreisspannungen ermittelt und zum Auswerten der Kennlinie herangezogen, um die Bahngeschwindigkeit anzupassen. Alternativ kann für jeden Zwischenkreis eine separate Kennlinie bereitgestellt sein. Es kann somit jede Kennlinie mit der jeweiligen Zwischenkreisspannung ausgewertet werden, wobei jede Auswertung zu einer maximalen Bahngeschwindigkeit führt. Das Minimum der ermittelten maximalen Bahngeschwindigkeiten wird weiter zur Anpassung der Geschwindigkeiten der Achsen verwendet. Die Messeinrichtung kann Teil des einen oder jeweils Teil jedes Gleichrichters sein. Der oder die Gleichrichter können dazu ausgebildet sein, die Zwischenkreisspannung zu messen und diesen Messwert bereitzustellen. Damit kann die Messeinrichtung bereits durch den oder die Gleichrichter realisiert sein.

[0021] Werden beispielsweise Servomotoren als Motoren verwendet, kann eine vor den Motor geschaltete Endstufe Energie grundsätzlich in beide Richtungen übertragen. Beim Verringern einer Last oder beim Bremsen der entsprechenden Achse wird der Servomotor zum Generator und es fließt Energie über den Servomotor durch die Endstufe zurück in den Zwischenkreis. Die so eingebrachte Energie kann die Versorgungsspannung bzw. den Zwischenkreis kurzfristig stabilisieren. Ein etwaiger Spannungsabfall kann reduziert oder aufgehalten werden. Durch die über den Motor eingebrachte Energie kann die Zwischenkreisspannung auf höhere Werte angehoben werden, als es dem übergeordneten Stromnetz entsprechen würde. Das Verfahren ist somit auch dazu geeignet, die Versorgungsspannung aktiv zu stabilisieren, indem Energie aus den Motoren bzw. aus der Last zurück in den Zwischenkreis gespeist wird.

[0022] Vorzugsweise wird die Versorgungsspannung beim Erfassen gefiltert, insbesondere gemittelt. Die Versorgungsspannung kann beispielsweise eine Gleichspannung oder eine Wechselspannung sein. Der momentane Wert der Versorgungsspannung kann einer Schwankung bzw. Oszillation mit einer Frequenz unterliegen, die keine Relevanz für den Entnahmeroboter bzw. die Motoren hat. Eine Mittelung oder ein Filtern der Versorgungsspannung kann daher die Stabilität der Steuerung des Entnahmeroboters verbessern. Der Filter kann beispielsweise digital oder analog implementiert sein. Der Filter kann ein Tiefpassfilter und/oder ein Notchfilter bzw. Kerbfilter, und/oder ein Bandpassfilter sein. Alternativ oder zusätzlich kann auch ein Filter mit Prediktor verwendet werden, der den weiteren Verlauf der Versorgungsspannung basierend auf dem aktuellen Wert und/oder vergangenen Werten extrapoliert. Der Filter kann beispielsweise auch eine Kombination aus einem Notchfilter und einem Tiefpassfilter sein.

[0023] Vorzugsweise ist zum Anpassen der Bahngeschwindigkeit ein Regelkreis mit einem Regler vorgesehen, wobei der Regelkreis die Bahngeschwindigkeit derart regelt, dass die Versorgungsspannung den Grenzwert nicht unterschreitet. Der Regelkreis kommt ohne Kennlinie aus, da ohne Kenntnis der Kennlinie die Bahngeschwindigkeit derart geregelt werden kann, dass die Versorgungsspannung den Grenzwert nicht unterschreitet. Der Regler kann Teil der Verarbeitungseinrichtung oder Teil der Achsensteuereinheit sein. Alternativ kann der Regler separat ausgeführt sein.

[0024] In einer Ausführungsform steuert eine einzelne Achsensteuerungseinrichtung alle Motoren. Dadurch ist nur eine einzige Achsensteuerungseinrichtung notwendig.

[0025] In einer anderen Ausführungsform steuert jeweils eine Achsensteuerungseinrichtung genau einen der Motoren. Die Vorrichtung weist somit für jeden Motor eine eigene Achsensteue-

zungseinrichtung auf.

[0026] Bevorzugt ist jeder Motor jeweils mit einer Endstufe verbunden, wobei die Endstufe von einem Achsensteuerungsgerät gesteuert wird, um den Motor zu steuern und/oder zu regeln. Wie oben beschrieben, kann eine einzelne Achsensteuerungseinrichtung für alle Motoren oder je eine Achsensteuerungseinrichtung für einen Motor vorgesehen sein. Eine Endstufe (engl. Power Stage) ist die letzte elektronische Stufe, die das Signal gegebenenfalls verstärkt bevor das Signal zur Last bzw. zu den Motoren gelangt. Die Endstufe kann beispielsweise ein Wechselrichter oder ein Gleichrichter sein oder zumindest einen elektrischen Schalter, beispielsweise einen Transistor, aufweisen. Die Messeinrichtung kann Teil der Endstufen sein, indem die Versorgungsspannung bzw. die Zwischenkreisspannung von den Endstufen erfasst wird.

[0027] Die Messeinrichtung kann einen Filter, beispielsweise einen digitalen oder analogen Filter, aufweisen. Vorzugsweise wird die Versorgungsspannung beim Erfassen gefiltert, insbesondere gemittelt. Die Versorgungsspannung kann beispielsweise eine Gleichspannung oder eine Wechselspannung sein. Der momentane Wert der Versorgungsspannung kann einer Schwankung bzw. einer Oszillation unterliegen, die keine Relevanz für den Entnahmeroboter bzw. die Motoren hat. Eine Mittelung oder ein Filtern der Versorgungsspannung kann daher die Stabilität der Steuerung des Entnahmeroboters verbessern.

[0028] Der Filter kann ein Tiefpassfilter und/oder ein Notchfilter bzw. Kerbfilter, und/oder ein Bandpassfilter sein. Alternativ oder zusätzlich kann auch ein Filter mit Prediktor verwendet werden, der den weiteren Verlauf der Versorgungsspannung basierend auf dem aktuellen Wert und/oder vergangenen Werten extrapoliert. Es können auch mehrere Filter zusammen verwendet werden. Beispielsweise kann ein Notchfilter gemeinsam mit einem Tiefpassfilter verwendet werden. Die Verwendung eines Filters kann die Stabilität des Verfahrens verbessern.

[0029] Die Erfindung betrifft im Allgemeinen ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Steuerung der Bewegung eines Handhabungselements eines Entnahmeroboters entlang eines vorgegebenen Pfades mit einer ortsabhängigen Bahngeschwindigkeit, bei dem die benötigte Leistung auf die von einer Versorgung, beispielsweise von einem übergeordneten Stromnetz, bereitgestellte Leistung angepasst wird. Dazu kann die momentane Leistungsaufnahme ermittelt werden und mit einer maximal verfügbaren Leistung oder Versorgungsspannung verglichen werden. Es kann die momentane Leistungsaufnahme an die verfügbare Leistung angepasst werden, indem die Bahngeschwindigkeit entsprechend reduziert wird. Alternativ kann die verfügbare Leistung ermittelt werden und eine zu erwartende Leistungsaufnahme ermittelt werden. Liegt die zu erwartende Leistungsaufnahme über der verfügbaren Leistung (für die die Versorgungsspannung ein Maß darstellen kann), kann die Bahngeschwindigkeit des Handhabungselements derart angepasst werden, dass die zu erwartende Leistungsaufnahme die verfügbare Leistung nicht übersteigt. Im Allgemeinen ist die Leistungsaufnahme und damit auch die zu erwartende Leistungsaufnahme beim Bewegen des Handhabungselements entlang des kommenden Segments und/oder zur nächsten Position entlang der Bahn abhängig von zumindest einem oder mehrerer der folgenden Parameter:

- Bahngeschwindigkeit des Handhabungselements: Je höher die Bahngeschwindigkeit ist, desto höher ist in der Regel auch die Leistungsaufnahme. Wenn die Leistungsaufnahme zu hoch ist, bricht die Versorgungsspannung typischerweise ein. Durch eine Verringerung der Bahngeschwindigkeit kann die Leistungsaufnahme des Entnahmeroboters reduziert werden. Im Falle eines Spannungseinbruchs, der meist durch eine im Vergleich zum Leistungsbedarf zu geringe verfügbare Leistung bedingt ist, kann somit die Leistungsaufnahme soweit reduziert werden, dass das Handhabungsgerät nicht gänzlich gestoppt werden muss und die Pfadtreue gewährleistet wird.

- Beschleunigung des Handhabungselements: Wird das Handhabungselement auf eine höhere Geschwindigkeit beschleunigt, ist mit einer erhöhten Leistungsaufnahme zu rechnen.

- Stellungen der Achsen: Die einzelnen Achsen sind über das Handhabungselement miteinander gekoppelt, somit ist die Leistungsaufnahme der einzelnen Motoren der Achsen abhängig von der Stellung der Achsen. Beispielsweise hängt das Drehmoment auf eine Achse vom Abstand zur Achse ab. Auch die Lage des Handhabungselements in Relation zur Gravitation kann die Leistungsaufnahme beeinflussen.

- Last am Handhabungselement, insbesondere Masse eines vom Handhabungsgerät erfassten Bauteils: Die Masse des Handhabungselements selbst, sowie die Masse eines Bauteils, das vom Handhabungselement erfasst bzw. gegriffen ist, beeinflusst die Leistungsaufnahme.

- Leistungsaufnahme des Handhabungselements, insbesondere eines Endeffektors: Weist das Handhabungselement beispielsweise eine Komponente zum Greifen oder beispielsweise ein Werkzeug wie einen Bohrer auf, kann auch das Handhabungselement selbst Leistung aufnehmen.

[0030] Dieses Verfahren und eine dazugehörige Vorrichtung sind in den folgenden Ausführungsbeispielen dargelegt.

[0031] 1. Verfahren zur Steuerung der Bewegung eines Handhabungselements eines Entnahmeroboters entlang eines vorgegebenen Pfades mit einer ortsabhängigen Bahngeschwindigkeit, wobei der Entnahmeroboter mehrere Achsen und für jede Achse einen Motor aufweist, mit den folgenden Schritten:

- Ermitteln von nächsten Stellungen der Achsen zum Anfahren einer nächsten Position des Handhabungselements entlang des Pfades,
- Ermitteln einer verfügbaren Leistung;
- Ermitteln einer zu erwartenden Leistungsaufnahme des Entnahmeroboters zum Anfahren der nächsten Position entlang des Pfades;
- Vergleichen der verfügbaren Leistung mit der zu erwartenden Leistungsaufnahme;
- Anpassen der Bahngeschwindigkeit entsprechend des Vergleichs, wobei die Bahngeschwindigkeit derart angepasst wird, dass die zu erwartende Leistungsaufnahme kleiner oder gleich der verfügbaren Leistung ist; und
- Ermitteln einer Geschwindigkeit für jede der Achsen zum Einnehmen der nächsten Position in Abhängigkeit von den ermittelten nächsten Stellungen der Achsen und der angepassten Bahngeschwindigkeit;
- Steuern und/oder regeln der Motoren entsprechend der ermittelten Geschwindigkeiten für jede der Achsen.

[0032] 2. Verfahren nach Ausführungsbeispiel 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zu erwartende Leistungsaufnahme eine Funktion zumindest eines oder mehrerer der folgenden Parameter ist:

- Bahngeschwindigkeit des Handhabungselements
- eine Beschleunigung des Handhabungselements
- Stellungen der Achsen
- eine Last am Handhabungselement, insbesondere eine Masse eines vom Handhabungsgerät erfassten Bauteils
- weitere Leistungsaufnahme des Handhabungselements, insbesondere eines Endeffektors

[0033] 3. Verfahren nach Ausführungsbeispiel 2, dadurch gekennzeichnet, dass zum Erfassen der verfügbaren Leistung eine Versorgungsspannung erfasst wird, wobei die Versorgungsspannung proportional der verfügbaren Leistung ist.

[0034] 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ausführungsbeispiele, dadurch gekennzeichnet, dass die verfügbare Leistung durch einen Zwischenkreis bereitgestellt wird, wobei der Zwischenkreis von einem übergeordneten Stromnetz, beispielsweise mittels eines Gleichrichters, getrennt ist.

[0035] 5. Verfahren nach einem der Ausführungsbeispiele 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Versorgungsspannung beim Erfassen gefiltert, insbesondere gemittelt, wird.

[0036] 6. Vorrichtung zur Steuerung eines Handhabungselements eines Entnahmeroboters entlang eines vorgegebenen Pfades mit einer ortsabhängigen Bahngeschwindigkeit, wobei der Entnahmeroboter mehrere Achsen und für jede Achse einen Motor aufweist, aufweisend:

- eine Messeinrichtung zur Ermittlung einer verfügbaren Leistung;
- eine Verarbeitungseinrichtung, vorzugsweise einen Prozessor, eingerichtet zum Erhalten

der ermittelten verfügbaren Leistung von der Messeinrichtung, zum Ermitteln von nächsten Stellungen der Achsen zum Anfahren einer nächsten Position des Handhabungselements entlang des Pfades, und eingerichtet zum Ermitteln einer verfügbaren Leistung und zum Ermitteln einer zu erwartenden Leistungsaufnahme des Entnahmeroboters, weiter eingerichtet zum Vergleichen der verfügbaren Leistung mit der zu erwartenden Leistungsaufnahme, und weiters eingerichtet zum Anpassen der Bahngeschwindigkeit entsprechend des Vergleichs, wobei die Bahngeschwindigkeit derart angepasst wird, dass die zu erwartende Leistungsaufnahme kleiner oder gleich der verfügbaren Leistung ist, und zum Ermitteln der Geschwindigkeit für jede der Achsen zum Einnehmen der nächsten Position in Abhängigkeit von den ermittelten nächsten Stellungen der Achsen und der angepassten Bahngeschwindigkeit; und

- mindestens eine Achsensteuerungseinrichtung zum Steuern und/oder Regeln der Motoren entsprechend der ermittelten Geschwindigkeit für jede der Achsen.

[0037] 7. Vorrichtung nach Ausführungsbeispiel 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine einzelne Achsensteuerungseinrichtung alle Motoren steuert.

[0038] 8. Vorrichtung nach Ausführungsbeispiel 6, dadurch gekennzeichnet, dass jeweils eine Achsensteuerungseinrichtung genau einen der Motoren steuert.

[0039] 9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ausführungsbeispiele, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Motor jeweils mit einer Endstufe verbunden ist, wobei die Endstufe von einem Achsensteuerungsgerät gesteuert wird, um den Motor zu steuern und/oder zu regeln.

[0040] 10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ausführungsbeispiele, dadurch gekennzeichnet, dass die Messeinrichtung einen Filter, beispielsweise einen digitalen Filter, vorzugsweise einen analogen Filter, aufweist.

[0041] 11. Vorrichtung nach Ausführungsbeispiel 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Filter ein Tiefpassfilter und/oder ein Notch-Filter (= "Kerbfiler") und/oder ein Bandpassfilter ist.

[0042] Die vorliegende Erfindung wird anhand von in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen weiter erläutert, auf die sie jedoch nicht beschränkt sein soll.

[0043] Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Steuerung eines Handhabungselements eines Entnahmeroboters mit einer Achsensteuerungseinrichtung.

[0044] Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Steuerung eines Handhabungselements eines Entnahmeroboters mit mehreren Achsensteuerungseinrichtungen.

[0045] Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung der Implementation der Messeinrichtung bei Versorgung der Motoren durch einen Zwischenkreis.

[0046] Fig. 4 zeigt eine schematische Darstellung der Implementation der Messeinrichtung bei der Versorgung der Motoren durch mehrere Zwischenkreise.

[0047] Fig. 5 zeigt eine schematische Darstellung eines Programmablaufs zur Steuerung eines Entnahmeroboters mit mehreren Achsen.

[0048] Fig. 6 zeigt eine schematische Darstellung eines Programmablaufs zur Steuerung eines Entnahmeroboters mit Anpassung der Bahngeschwindigkeit in Abhängigkeit der Versorgungsspannung.

[0049] Fig. 7 zeigt schematisch einen Entnahmeroboter mit drei Achsen und einem Greifer.

[0050] Fig. 1 zeigt eine Vorrichtung 1 zur Steuerung eines Handhabungselements 2 eines Entnahmeroboters 21 (siehe Fig. 7) entlang eines vorgegebenen Pfades 25 mit einer ortsabhängigen Bahngeschwindigkeit 26 (siehe Fig. 7), wobei der Entnahmeroboter 21 mehrere Achsen 3 und für jede Achse 3 einen Motor 4 aufweist. In dieser Ausführungsform weist der Entnahmeroboter 21 drei Achsen 3 und drei Motoren 4 auf. Es ist eine Messeinrichtung 5 vorgesehen, die eine Versorgungsspannung 13 erfasst. Die Messeinrichtung 5 weist einen digitalen Filter auf, wobei der

digitale Filter bevorzugt ein Notch-Filter ist. Des Weiteren wird die Versorgungsspannung 13 beim Erfassen gemittelt. Weiters ist eine Verarbeitungseinrichtung 6 vorgesehen, wobei die Verarbeitungseinrichtung 6 ein Prozessor 7 ist. Der Prozessor 7 ermittelt nächste Stellungen der Achsen 3 zum Anfahren einer nächsten Position des Handhabungselements 2 entlang des Pfades. Der Prozessor 7 erhält den Messwert der gemessenen Versorgungsspannung 13 von der Messeinrichtung 5 und ist eingerichtet zum Auswerten einer Kennlinie 8 (siehe Fig. 6) mittels der erfassten Versorgungsspannung 13, (siehe Fig. 6), wobei die Kennlinie 8 eine Relation zwischen Versorgungsspannung 13 und maximaler Bahngeschwindigkeit angibt. Der Prozessor 7 ist weiters eingerichtet zum Anpassen der Bahngeschwindigkeit 26 entsprechend der Kennlinie 8, sodass die Bahngeschwindigkeit 26 der maximalen Bahngeschwindigkeit zu der erfassten Versorgungsspannung entspricht oder geringer ist, und zum Ermitteln der Geschwindigkeit für jede der Achsen 3 zum Einnehmen der nächsten Position in Abhängigkeit von den ermittelten nächsten Stellungen der Achsen 3 und der angepassten Bahngeschwindigkeit. Eine Achsensteuerungseinrichtung 9 ist dazu eingerichtet, die Motoren 4 entsprechend der ermittelten Geschwindigkeit für jede der Achsen 3 zu steuern und/oder zu regeln. Dazu übergibt der Prozessor 7 die ermittelten Geschwindigkeiten an die Achsensteuerungseinrichtung 9. Es sind drei Endstufen 10 vorgesehen, die mit jeweils einem Motor 4 verbunden sind. Die Endstufen 10 werden von der Achsensteuerungseinrichtung 9 gesteuert, um den jeweiligen Motor 4 zu steuern und/oder zu regeln. In dieser Ausführungsform steuert eine einzelne Achsensteuerungseinrichtung 9 alle Motoren 4. Je nach Architektur können von der Achsensteuerungseinrichtung Soll-positionen, Sollgeschwindigkeiten, oder Sollspannungen vorgegeben werden.

[0051] Fig. 2 zeigt im Unterschied zu Fig. 1 drei Achsensteuerungseinrichtungen 9, wobei jeweils eine Achsensteuerungseinrichtung 9 einen der drei Motoren 4 steuert. Jede Achsensteuerungseinrichtung 9 steuert somit genau einen Motor 4. Die Verarbeitungseinrichtung 6 ist in diesem Ausführungsbeispiel auch der Regler 20. Der Regler 20 ist Teil eines Regelkreises, der die Bahngeschwindigkeit 26 derart regelt, dass die Versorgungsspannung (13) den Grenzwert (16) nicht unterschreitet. In diesem Ausführungsbeispiel ist keine Kennlinie 16 hinterlegt.

[0052] Fig. 3 zeigt ein übergeordnetes Stromnetz 11, durch welches eine Wechselspannung bereitgestellt wird. Mittels eines Gleichrichters 12 wird die vom übergeordneten Stromnetz 11 bereitgestellte Wechselspannung in eine Gleichspannung umgewandelt. Der Gleichrichter 12 trennt somit einen Zwischenkreis 18 vom übergeordneten Stromnetz 11. Es ist ein Kondensator 17 im Zwischenkreis 18 vorgesehen. Mittels des Kondensators 17 kann elektrische Energie im Zwischenkreis 18 gespeichert werden, die kurzfristige Leistungs- und/oder Spannungseinbrüche vom übergeordneten Stromnetz 11 abdecken kann. Es sind drei Endstufen 10 vorgesehen, die mit jeweils einem Motor 4 verbunden sind. Die Endstufen 10 werden von einer Achsensteuerungseinrichtung 9 (nicht in Fig. 3 gezeigt, siehe Fig. 1) gesteuert, um den jeweiligen Motor 4 zu steuern und/oder zu regeln. Die Endstufen 10 und somit die Motoren 4 werden mittels der Gleichspannung aus dem Zwischenkreis 18 versorgt. Die Endstufen 10 und damit auch die Motoren 4 werden daher von einem einzelnen Zwischenkreis 18 versorgt, der durch den Gleichrichter 12 vom übergeordneten Stromnetz 11 getrennt ist. Die Messeinrichtung 5 ist dazu eingerichtet die Zwischenkreisspannung 19 dieses Zwischenkreises 18 zu messen, wobei die Zwischenkreisspannung 19 die Versorgungsspannung 13 ist.

[0053] Fig. 4 zeigt ein übergeordnetes Stromnetz 11, welches eine Wechselspannung bereitstellt. Mittels Gleichrichtern 12 wird die Wechselspannung zu Gleichspannung umgewandelt. Es sind drei Servo-Controller 14 vorgesehen, die mit jeweils einem Motor 4 verbunden sind. Die Motoren 4 sind Servo-Motoren 15. Die Servo-Controller 14 werden von einer Achsensteuerungseinrichtung 9 (nicht in Fig. 4 gezeigt, siehe Fig. 1) gesteuert, um den jeweiligen Servo-Motor 15 zu steuern und/oder zu regeln. Die Servo-Controller 14 und somit die Servo-Motoren 15 werden mittels Gleichspannung von je einem Gleichrichter 12 versorgt. Die Servo-Controller und damit auch die Servo-Motoren 15 werden daher von je einem Zwischenkreis 18 (siehe Fig. 3) versorgt, der durch je einen Gleichrichter 12 vom übergeordneten Stromnetz 11 getrennt ist. Jeder Zwischenkreis 18 enthält einen Kondensator 17, der jeweils eine entsprechende Kapazität zur Deckung kurzfristiger Spannungseinbrüche und/oder Leistungsspitzen aufweist. Die Messeinrich-

tung 5 ist dazu eingerichtet jede Zwischenkreisspannung 19 der Zwischenkreise 18 zu messen. Es wird ein Minimum der gemessenen Zwischenkreisspannungen 19 ermittelt und weiters zum Vergleich mit der Kennlinie 8 bzw. zur weiteren Anpassung der Bahngeschwindigkeit 26 herangezogen.

[0054] Gemäß Fig. 5 kann ein Entnahmeroboter 21 mittels eines Benutzerprogramms 101 gesteuert werden, das auf einer Verarbeitungseinrichtung 6 (siehe Fig. 1) implementiert ist. Das Benutzerprogramm 101 enthält Informationen über die Geometrie des Entnahmeroboters 21 und des Umfeldes des Entnahmeroboters 21, sowie Randbedingungen für die Geschwindigkeit und die Beschleunigung, sowie Randbedingungen für ruckartige Bewegungen (engl. „Jerk - Constraints“) sowie weitere Basisdaten bezüglich des Entnahmeroboters 21. Die hinterlegten Randbedingungen bzw. Limits dürfen zu keinem Zeitpunkt überschritten werden. Diese Limits können im Betrieb nicht geändert oder überschrieben werden. In einem Block Bahnplanung 102 wird die Bahn entsprechend geplant und die Bahn in Segmente unterteilt, die durch Polynome $s(t)$ beschrieben werden. Die Polynome $s(t)$ beschreiben die Position des Handhabungselements als Funktion der Zeit t . Im Block Bahn-Evaluierung 103 werden die Polynome $s(t)$ zu bestimmten Zeitpunkten evaluiert. Die Evaluierung der Polynome kann in der Form $s(t) = \sum_n c_n t^n$ durchgeführt werden, wobei c_n Konstanten sind. Typischerweise wird die Bahn mittels eines Polynoms mindestens dritter Ordnung ($n=3$) approximiert. Nach der Evaluierung der Polynome zu einem Zeitpunkt t werden die Polynome an einem nächsten Zeitpunkt $t+T_c$ evaluiert, wobei T_c eine (positive) Zykluszeit bzw. ein Zeitinkrement ist. Daraus ergeben sich nächste (zeitabhängige) Positionen des Handhabungselements 2, die durch eine Koordinatentransformation 104 in die Koordinaten der Achsen 3 des Entnahmeroboters 21 transformiert werden. Die ermittelten Sollwerte werden an eine Achsensteuerungseinrichtung 9 (siehe Figur 1) übertragen, die die Motoren 4 (siehe Figur 1) entsprechend steuert und daher die ermittelten Sollwerte auf die Achsen 3 überträgt. Der Entnahmeroboter 21 kann eine Anzahl von N Achsen 3 aufweisen, wobei N eine ganze Zahl größer eins ist. Die Achsen 3 bzw. die Motoren 4 der Achsen 3 werden mit Spannung versorgt.

[0055] Fig. 6 zeigt eine Implementation des erfindungsgemäßen Verfahrens mit der in Fig. 5 gezeigten Steuerung. Eine Messeinrichtung 5 (siehe Fig. 1) misst die Versorgungsspannung 13 in einem Block Spannungsmessung 105 und leitet den Messwert an eine Verarbeitungseinrichtung 6 (siehe Fig. 1) weiter. Die gemessene Versorgungsspannung 13 wird in einem Block Filtern 106 gefiltert. In einem Block Auswerten 107 wird eine Kennlinie 8 mittels des ermittelten Messwerts der Versorgungsspannung 13 ausgewertet. Alternativ könnte an dieser Stelle ein Regler 20 stehen, der die Versorgungsspannung 13 mit dem Grenzwert 16 vergleicht und im Falle, dass die Versorgungsspannung den Grenzwert unterschreitet, die Bahngeschwindigkeit 26 entsprechend anpasst bzw. reduziert. Die gezeigte Kennlinie 8 ist eine grafische Darstellung einer mathematischen Funktion. Die gezeigte Kennlinie 8 ist auch als Wertetabelle hinterlegt. Dazu wird die maximale Bahngeschwindigkeit ermittelt, die bei der ermittelten Versorgungsspannung 13 erreichbar ist. Die Kennlinie 8 gibt eine Relation zwischen Versorgungsspannung 13 und maximaler Bahngeschwindigkeit an. Die Kennlinie 8 weist einen Grenzwert 16 in der Versorgungsspannung 13 auf, wobei die maximale Bahngeschwindigkeit über dem Grenzwert konstant ist. Unterhalb des Grenzwerts 16 weist die Kennlinie einen linearen Zusammenhang zwischen Versorgungsspannung 13 und maximaler Bahngeschwindigkeit auf. Durch das Auswerten der Kennlinie 8 mittels der Versorgungsspannung 13 wird ein Reduktionswert für die relative Geschwindigkeitsreduzierung ermittelt. Der ermittelte Reduktionswert liegt zwischen 0% und 100% und wird durch eine Skalierung der Zeitachse bei der Polynomberechnung für die weitere Steuerung des Entnahmeroboters 21 berücksichtigt. Ein Reduktionswert von 50% bedeutet beispielsweise, dass die Zeitbasis bei der Polynomberechnung mit 50% der normalen Zykluszeit T_c inkrementiert wird. Bei einem Reduktionswert von 50% wäre eine skalierte Zeitdauer T' doppelt so lange wie eine nominale Zeitdauer T (entsprechend $T' = T/0.5 = 2 \cdot T$). Ein Programmblock Berechnung des Zeitinkrements T_x 108 stellt sicher, dass die Bestimmung des angepassten Zeitinkrements T_x unter Berücksichtigung der aktuell gültigen Grenzwerte erfolgt. T_x liegt dabei zwischen 0 und dem ursprünglichen Zeitinkrements T_c . Das angepasste Zeitinkrement T_x wird an den Block Bahn-Evaluierung 103 übergeben, tritt dort an die Stelle des ursprünglichen Zeitinkrements T_c und geht damit in die Ermittlung bzw. Berechnung der Achsengeschwindigkeiten ein.

[0056] Fig. 7 zeigt schematisch einen Entnahmeroboter 21 mit drei Achsen 3 und einem Handhabungselement 2, das ein Greifer 23 ist. Der Greifer 23 wird entlang des Pfads 23 bewegt. Die Bahn $P(t)$ 25 enthält zusätzlich zu der Information über die Positionen P weiters die Information über die zeitliche Abfolge der Positionen $P(t)$ entlang des Pfads 23. Somit enthält die Bahn 25 auch Informationen über die Bahngeschwindigkeit $\vec{v}(t)$ 26 entlang des Pfads 25. Die Bahngeschwindigkeit 26 des Roboters verläuft tangential zur Bahn 24. Um die Bahngeschwindigkeit 26 anzupassen bzw. zu reduzieren wird der Absolutbetrag der Bahngeschwindigkeit 26 ermittelt. Die Anpassung erfolgt derart, sodass die Bahngeschwindigkeit 26 bzw. deren Absolutbetrag der maximalen Bahngeschwindigkeit zu der erfassten Versorgungsspannung entspricht oder geringer ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung der Bewegung eines Handhabungselements (2) eines Entnahmeroboters (21) entlang eines vorgegebenen Pfades mit einer ortsabhängigen Bahngeschwindigkeit (26), wobei der Entnahmeroboter (21) mehrere Achsen (3) und für jede Achse (3) einen Motor (4) aufweist, mit den folgenden Schritten:
 - Ermitteln von nächsten Stellungen der Achsen (3) zum Anfahren einer nächsten Position des Handhabungselements (2) entlang des Pfades,
 - Erfassen einer Versorgungsspannung (13);
 - Anpassen, insbesondere Reduzieren, der Bahngeschwindigkeit (26) im Falle eines Unterschreitens eines Grenzwerts (16) der erfassten Versorgungsspannung (13); und
 - Ermitteln einer Geschwindigkeit für jede der Achsen (3) zum Einnehmen der nächsten Position in Abhängigkeit von den ermittelten nächsten Stellungen der Achsen (3) und der angepassten Bahngeschwindigkeit (26);
 - Steuern und/oder regeln der Motoren (4) entsprechend der ermittelten Geschwindigkeiten für jede der Achsen (3).
2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch den weiteren Schritt:
 - Auswerten einer Kennlinie (8) mittels der erfassten Versorgungsspannung, wobei die Kennlinie (8) eine Relation zwischen Versorgungsspannung (13) und maximaler Bahngeschwindigkeit angibt und den Grenzwert (16) in der Versorgungsspannung aufweist, wobei das Anpassen der Bahngeschwindigkeit (26) entsprechend der Kennlinie (8) erfolgt, sodass die Bahngeschwindigkeit (26) der maximalen Bahngeschwindigkeit zu der erfassten Versorgungsspannung entspricht oder geringer ist.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kennlinie (8) unterhalb des Grenzwerts (16) einen linearen Zusammenhang zwischen Versorgungsspannung (13) und maximaler Bahngeschwindigkeit aufweist.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Versorgungsspannung (13) eine Zwischenkreisspannung (19) eines Zwischenkreises (18) ist, wobei der Zwischenkreis (18) von einem übergeordneten Stromnetz (11), beispielsweise mittels eines Gleichrichters (12), getrennt ist.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Versorgungsspannung (13) beim Erfassen gefiltert, insbesondere gemittelt, wird.
6. Vorrichtung (1) zur Steuerung eines Handhabungselements (2) eines Entnahmeroboters (21) entlang eines vorgegebenen Pfades (25) mit einer ortsabhängigen Bahngeschwindigkeit (26), wobei der Entnahmeroboter mehrere Achsen (3) und für jede Achse (3) einen Motor (4) aufweist, aufweisend:
 - eine Messeinrichtung (5) zur Erfassung einer Versorgungsspannung (13);
 - eine Verarbeitungseinrichtung (6), vorzugsweise einen Prozessor (7), eingerichtet zum Erhalten der erfassten Versorgungsspannung (13) von der Messeinrichtung (5), zum Ermitteln von nächsten Stellungen der Achsen (3) zum Anfahren einer nächsten Position des Handhabungselements (2) entlang des Pfades (25), weiters eingerichtet zum Anpassen, insbesondere Reduzieren, der Bahngeschwindigkeit (26) im Falle eines Unterschreitens eines Grenzwerts (16) der erfassten Versorgungsspannung (13) und zum Ermitteln der Geschwindigkeit für jede der Achsen (3) zum Einnehmen der nächsten Position in Abhängigkeit von den ermittelten nächsten Stellungen der Achsen (3) und der angepassten Bahngeschwindigkeit; und
 - mindestens eine Achsensteuerungseinrichtung (9) zum Steuern und/oder Regeln der Motoren (4) entsprechend der ermittelten Geschwindigkeit für jede der Achsen (3).
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verarbeitungseinrichtung (6) eingerichtet ist zum Auswerten einer Kennlinie (8) mittels der erfassten Versorgungsspannung (13), wobei die Kennlinie (8) eine Relation zwischen Versorgungsspannung (13)

und Bahngeschwindigkeit angibt, wobei das Anpassen der Bahngeschwindigkeit (26) entsprechend der Kennlinie (8) erfolgt.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine einzelne Achsensteuerungseinrichtung (9) alle Motoren (4) steuert.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeweils eine Achsensteuerungseinrichtung (9) genau einen der Motoren (4) steuert.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeder Motor (4) jeweils mit einer Endstufe (10) verbunden ist, wobei die Endstufe (10) von einem Achsensteuerungsgerät (9) gesteuert wird, um den Motor (4) zu steuern und/oder zu regeln.
11. Vorrichtung (2) nach einem der Ansprüche 6 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messeinrichtung (5) einen Filter, beispielsweise einen digitalen Filter, vorzugsweise einen analogen Filter, aufweist.
12. Vorrichtung (2) nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Filter ein Tiefpassfilter und/oder ein Notch-Filter (= "Kerbfiler") und/oder ein Bandpassfilter ist.

Hierzu 7 Blatt Zeichnungen

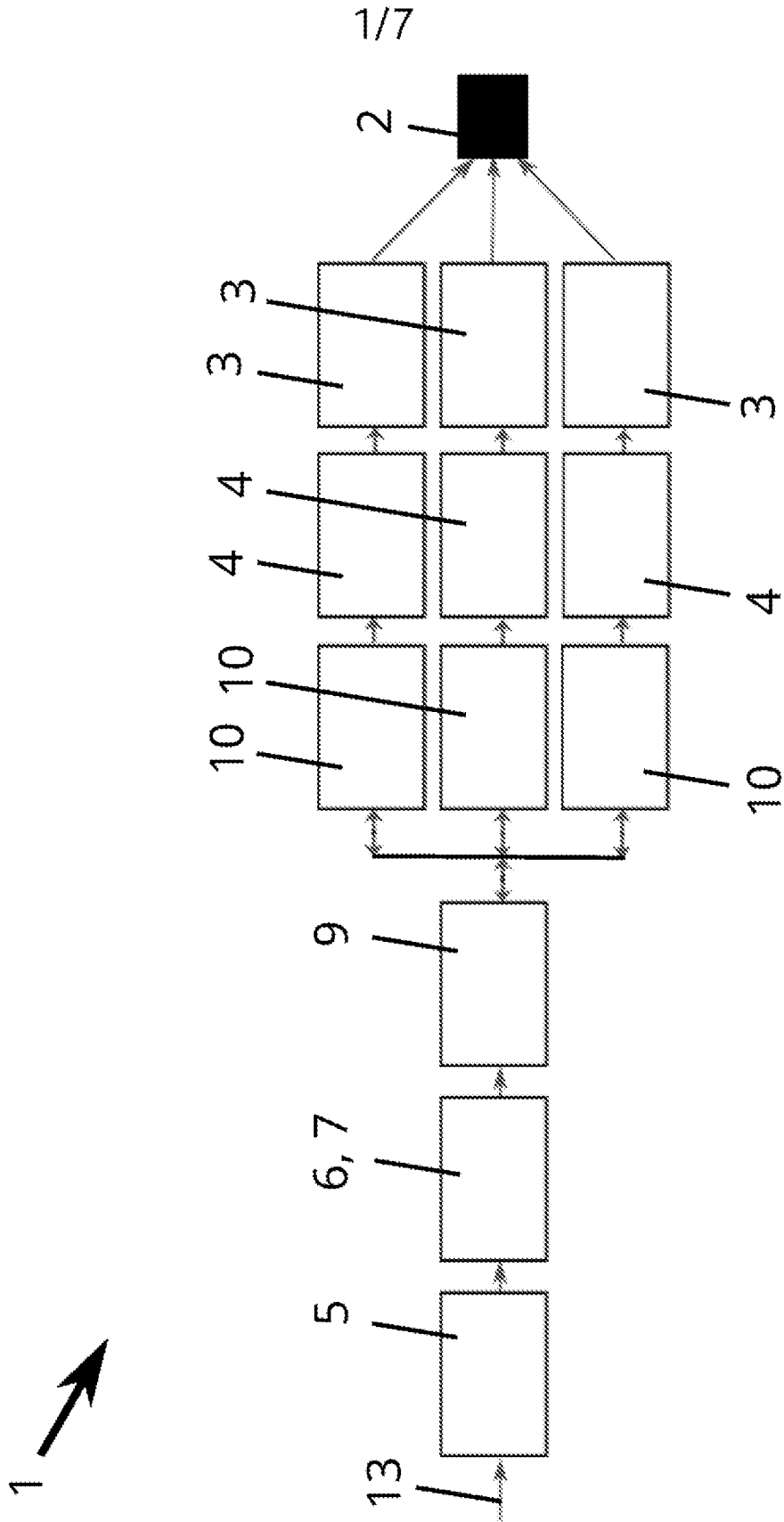


Fig. 1

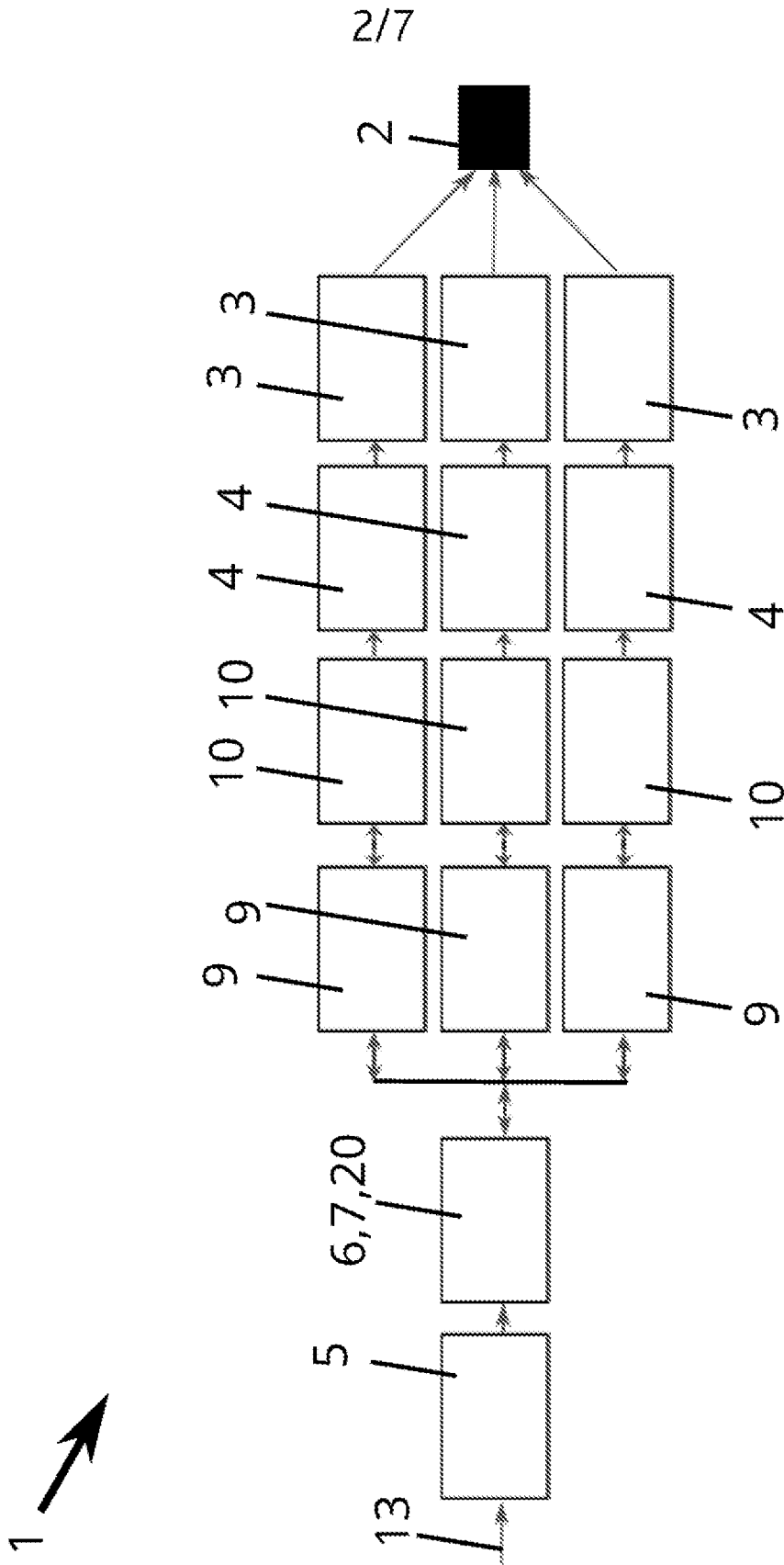


Fig. 2

3/7

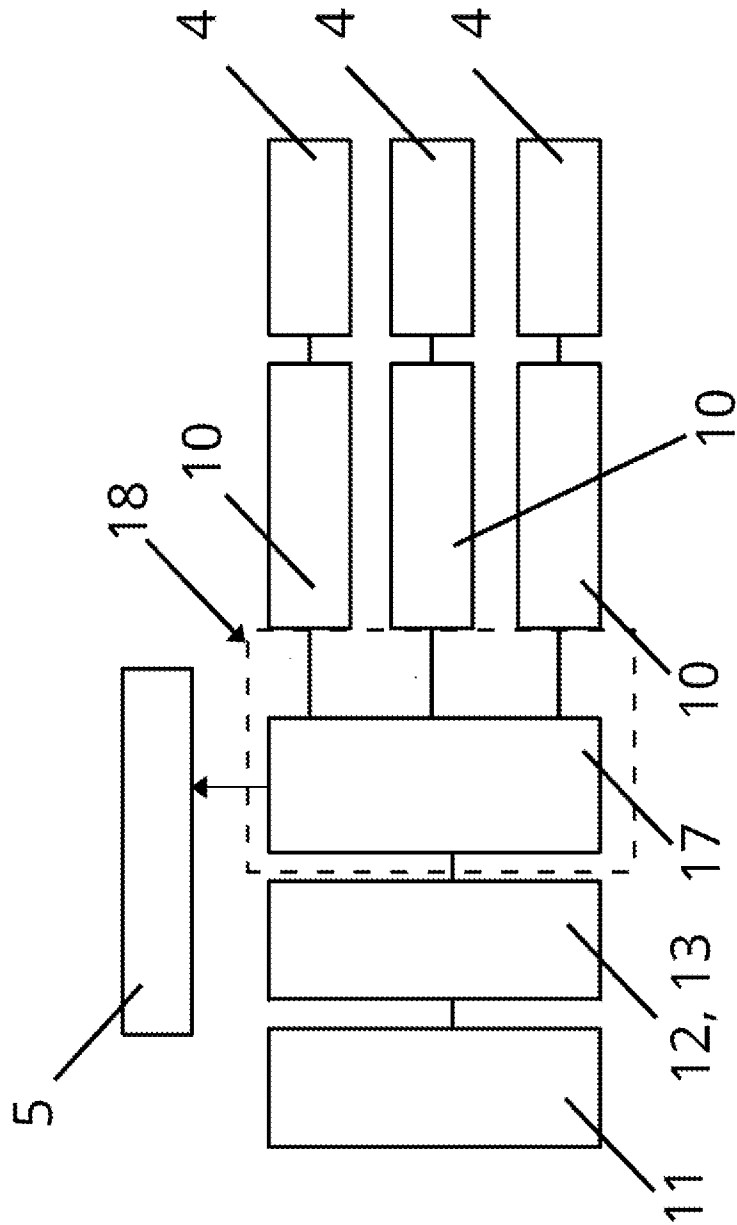


Fig. 3

4/7

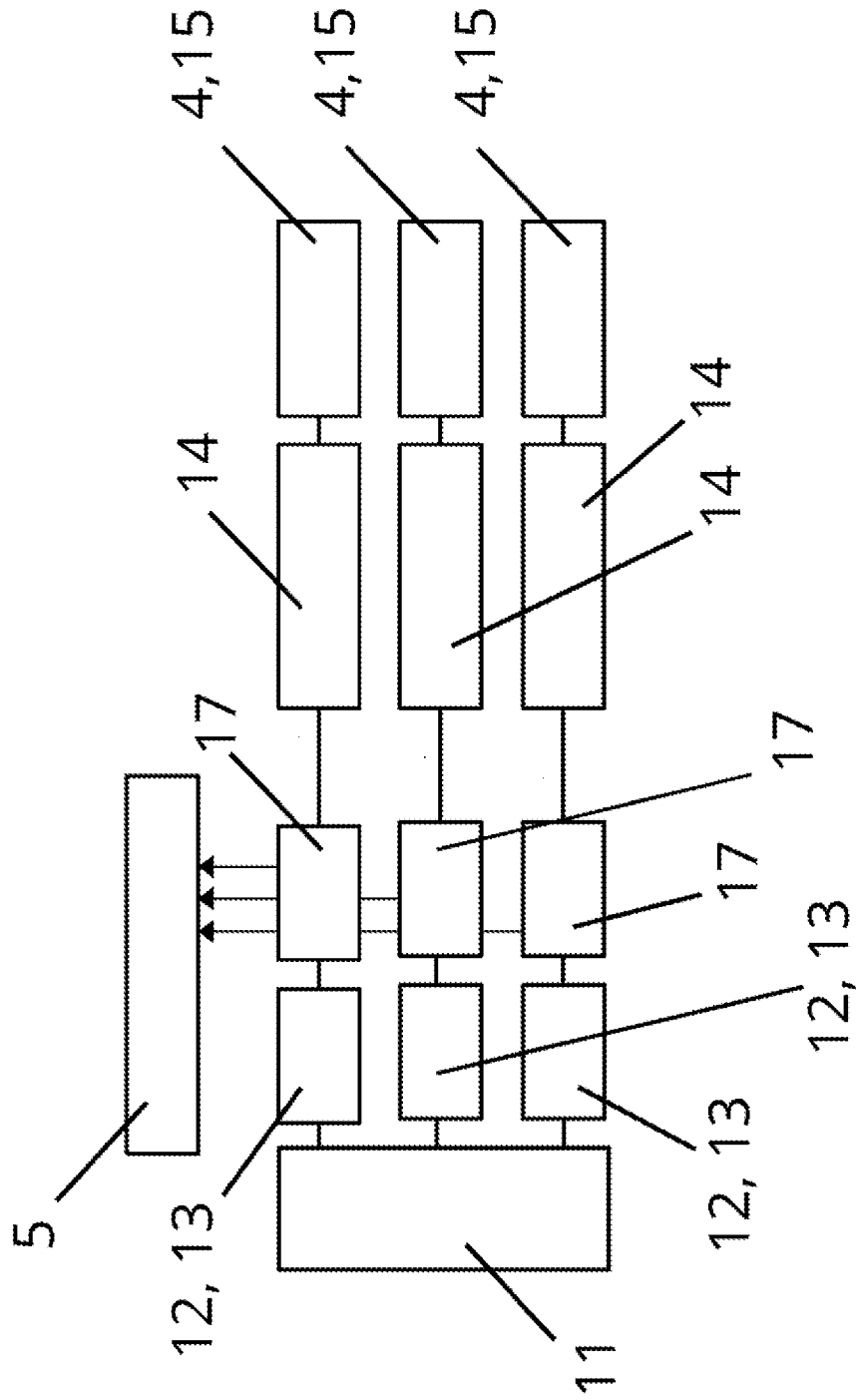


Fig. 4

5/7

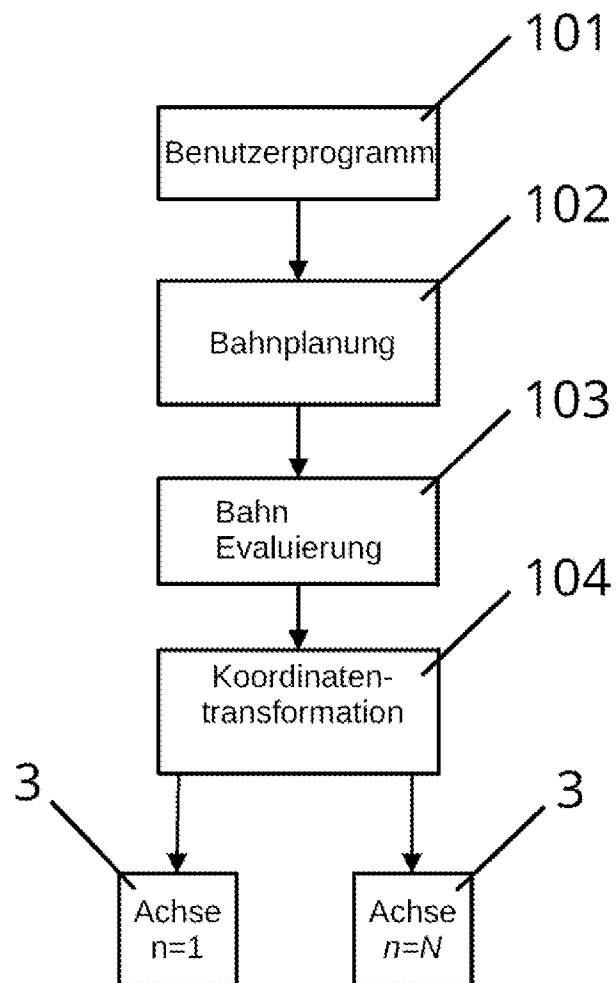


Fig.5

6/7

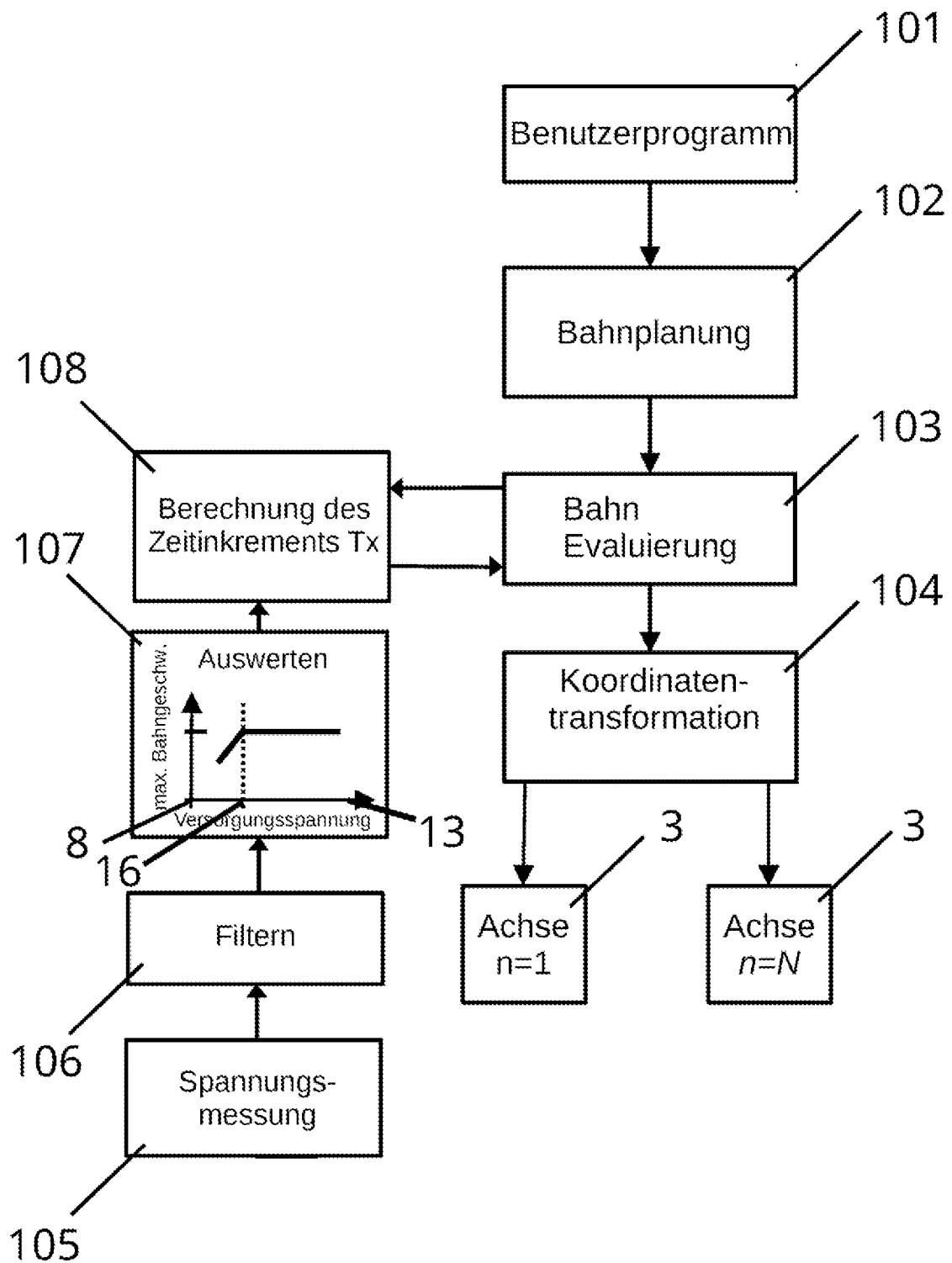


Fig.6

7/7

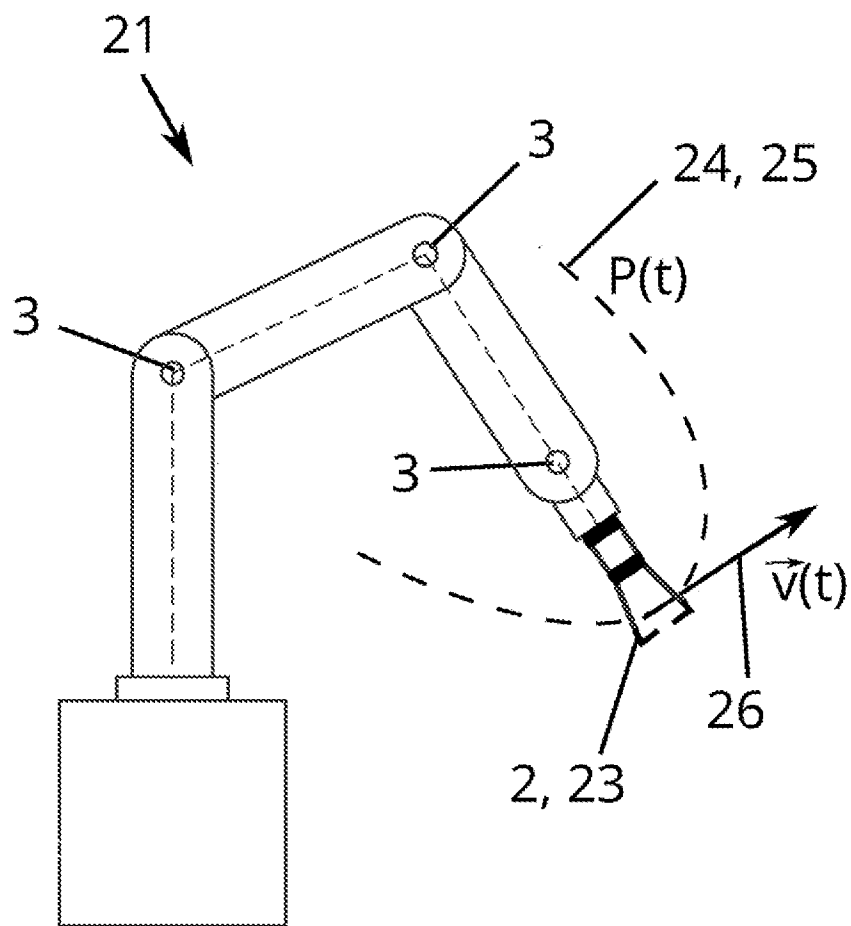


Fig.7