

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

**EP 1 614 448 A2**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**11.01.2006 Patentblatt 2006/02**

(51) Int Cl.:  
**A63B 21/005 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **05013561.5**

(22) Anmeldetag: **23.06.2005**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR  
 HU IE IS IT LI LT LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR**  
 Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL BA HR LV MK YU**

(72) Erfinder: **Miehlich, Dieter**  
**86494 Emersacker (DE)**

(74) Vertreter: **Munk, Ludwig**  
**Patentanwalt**  
**Prinzregentenstrasse 1**  
**86150 Augsburg (DE)**

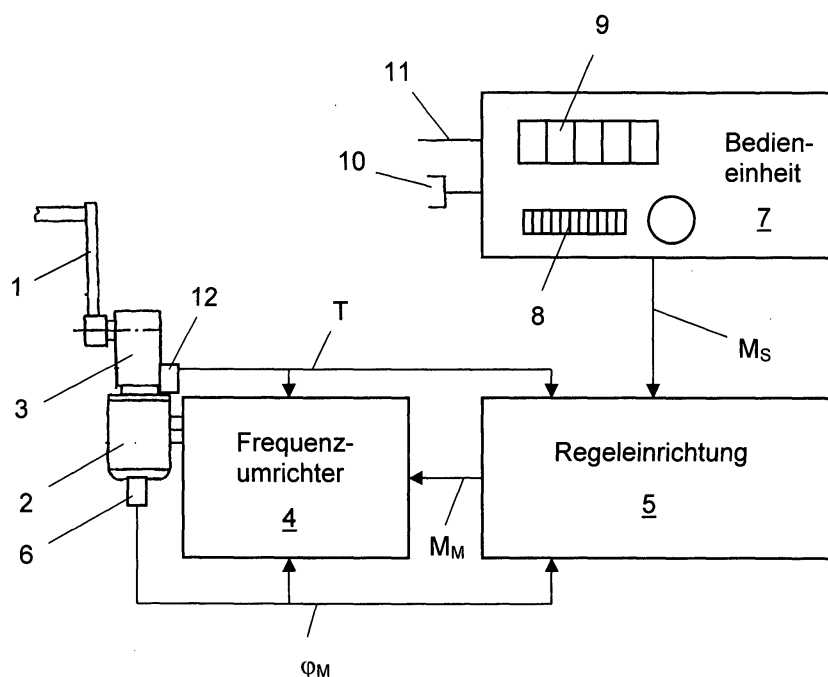
(30) Priorität: **08.07.2004 DE 102004033074**

(71) Anmelder: **Miehlich, Dieter**  
**86494 Emersacker (DE)**

**(54) Trainingsgerät**

(57) Bei einem Trainingsgerät, insbesondere für Krafttraining, mit einer Drehmomenterzeugungseinrichtung, die einen Elektromotor und ein Untersetzungsgetriebe aufweist, und deren Ausgang mit wenigstens einem der Übungsperson dargebotenen Übungsorgan zusammenwirkt, ist der Elektromotor als Drehstrommotor ausgebildet. Diesem ist ein Frequenzumrichter zugeordnet, mittels dessen die Frequenz und die Stärke des dem Elektromotor zugeführten Drehstroms einstellbar sind. Dem Frequenzumrichter ist eine Regeleinrichtung vorgeordnet. Dem Motor ist ein Drehwinkelsensor zugeordnet,

dessen Meßsignal sowohl dem Frequenzumrichter, als auch der Regeleinrichtung zugeführt wird. Dem Frequenzumrichter wird durch die Regeleinrichtung ein Sollwert für das von dem Motor abzugebende Drehmoment vorgegeben, in den das Meßsignal des Drehwinkelsensors eingeht. Der Frequenzumrichter stellt die Frequenz und die Stärke des Motorstromes nach dem Prinzip der feldorientierten Regelung ein. Die Regeleinrichtung weist zwei Regelkreise in Kaskadenstruktur für die Regelung der Position und der Drehzahl des Übungsorgans auf.

**Fig. 1****EP 1 614 448 A2**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Trainingsgerät nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Ein solches Trainingsgerät ist aus der EP 0 853 961 B1 bekannt. Bei diesem Trainingsgerät werden einem Frequenzumrichter von einer Recheneinrichtung Sollwerte für die Stromstärke und für die Frequenz des Stromes eines zur Drehmomenterzeugung vorgesehenen Drehstrommotors vorgegeben. Der Recheneinrichtung wird das Ausgangssignal eines Positionssensors zugeführt, welcher die Stellung einer als Übungsorgan fungierenden Kurbel, die von dem Motor angetrieben wird, erfaßt. Aus dem Positionswert ermittelt die Recheneinrichtung anhand gespeicherter Tabellen, in denen alle relevanten maschinenspezifischen Kenndaten abgelegt sind, die für einen gewünschten Verlauf des Drehmoments über der Position benötigten Werte der Stromstärke und der Frequenz des Motorstromes.

**[0002]** Dieses bekannte Trainingsgerät funktioniert zwar durchaus zufriedenstellend, ist aber im Hinblick auf bestimmte funktionale Anforderungen noch verbesserungsfähig. So sind insbesondere für die Anwendung derartiger Trainingsgeräte zu medizinischen Rehabilitationsmaßnahmen sowohl eine hohe Genauigkeit bei der Einhaltung eines gewünschten Drehmoments, als auch präzise einstellbare Endanschläge für den Bewegungsbereich des Übungsorgans gefordert. Letzteres ist beispielsweise dann von Bedeutung, wenn der maximale Auslenkungswinkel eines Körpergelenks nach einem chirurgischen Eingriff durch gymnastische Übungen in definierten Schritten wieder auf den normalen Wert gebracht werden soll.

**[0003]** Aus der FR 2 709 067 A1 ist ein Trainingsgerät mit einem Drehstrommotor zur Drehmomenterzeugung bekannt, bei dem sowohl die Drehzahl des Motors mit einem frequenzanalogen Drehratensensor, als auch das abgegebene Drehmoment mit einem Kraftsensor gemessen wird. Die gemessene Drehzahl wird zur Regelung der Frequenz und das gemessene Drehmoment zur Regelung der Stärke des Motorstromes verwendet. Das Konzept dieses Trainingsgerätes beinhaltet also zwei Sensoren und zwei miteinander gekoppelte Regelschleifen und ist relativ aufwendig in der Realisierung. Ferner birgt die Kraftmessung über einen Sensor potentielle Probleme in Form von Temperatureinfluß, Langzeitdrift und Störungen durch Vibration oder Stöße.

**[0004]** In Anbetracht dieses Standes der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Trainingsgerät der eingangs erwähnten Art zu schaffen, das ein vorgegebenes Drehmoment mit hoher Genauigkeit einhält, gleichzeitig den Bewegungsbereich durch präzise einstellbare Endanschläge begrenzt, und sich durch einfachen und zuverlässigen Aufbau auszeichnet.

**[0005]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Trainingsgerät mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

**[0006]** Das erfindungsgemäße Trainingsgerät zeichnet sich dadurch aus, daß zur Drehmomentregelung als Meßgröße der Drehwinkel des Motors mittels eines Drehwinkelsensors erfaßt wird, dessen Meßsignal sowohl dem Frequenzumrichter, als auch der Regeleinrichtung zugeführt wird. Durch die Regeleinrichtung wird dem Frequenzumrichter ein Sollwert für das von dem Motor abzugebende Drehmoment vorgegeben, in den das Meßsignal des Drehwinkelsensors eingeht. Der Frequenzumrichter stellt die Frequenz und die Stärke des Motorstromes nach dem Prinzip der feldorientierten Regelung ein. Letztere ist zwar an sich als Konzept zur Regelung eines Asynchronmotors bekannt, jedoch nicht im Zusammenhang mit Trainingsgeräten der hier interessierenden Art.

**[0007]** Ein wesentlicher Vorteil der Erfindung gegenüber dem eingangs erwähnten Stand der Technik besteht darin, daß sie eine genauere Regelung des von dem Motor abgegebenen Drehmoments erlaubt. Hierzu trägt insbesondere bei, daß der Motor im normalen Betriebsbereich einer Asynchronmaschine, d.h. bei relativ geringem Schlupf betrieben wird, wo mit nur geringen Exemplarstreuungen der Momentenkennlinie zu rechnen ist. Demgegenüber ist der Betriebsbereich nach besagtem Stand der Technik, d.h. bei relativ großem Schlupf, von deutlich größeren Exemplarstreuungen betroffen. Eine weitere vorteilhafte Wirkung des anderen Betriebsbereiches ist die Verringerung der Verlustleistung des Motors und somit eine Energieersparnis. Die geringere Verlustleistung macht auch eine Kühlung durch Zwangskonvektion entbehrlich, so daß die von einem Lüfter ausgehende Geräuschentwicklung vermieden wird. Schließlich wird durch die direkte Erfassung des Drehwinkels des Motors anstelle seiner rechnerischen Ermittlung aus einem gemessenen Drehwinkel des Übungsorgans auch die Dynamik des Regelkreises nachhaltig verbessert.

**[0008]** In einer vorteilhaften Betriebsart regelt die Regeleinrichtung die Position des Übungsorgans auf einen Sollwert, so daß der Benutzer zur Auslenkung des Übungsorgans aus einer Ruheposition eine Kraft aufwenden muß, und der Frequenzumrichter regelt seinerseits das Drehmoment des Motors auf den durch die Regeleinrichtung vorgegebenen Sollwert, wodurch die Größe der von dem Benutzer zur Bewegung des Übungsorgans aufzubringenden Kraft festgelegt wird.

**[0009]** Um einen vorbestimmten Verlauf des Drehmoments in Abhängigkeit vom Drehwinkel vorgeben zu können, ist es zweckmäßig, für die Regeleinrichtung zwei Regelkreise in Kaskadenstruktur, nämlich einen äußeren zur Regelung der Position und einen inneren zur Regelung der Drehzahl des Übungsorgans vorzusehen. Hierzu wird eine Auswertungseinrichtung benötigt, die aus dem Meßsignal des Drehwinkelsensors sowohl die Position, als auch die Drehzahl des Übungsorgans ermittelt und als Istgrößen für die beiden Regelkreise bereitstellt.

**[0010]** Aus Sicherheitsgründen ist es äußerst ratsam, in dem Positionsregelkreis einen Begrenzer vorzusehen,

der die Solldrehzahl des Übungsorgans auf einen Maximalwert begrenzt, damit der Motor das Übungsorgan nicht mit der systembedingten Höchstdrehzahl in seine vorgegebene Sollposition zurückschnellen läßt, wenn die trainierende Person es losläßt oder von ihm abrutscht.

**[0011]** Im Interesse der Ergonomie ist es darüber hinaus auch empfehlenswert, wenn in dem Positionsregelkreis ein weiterer Begrenzer vorgesehen ist, der die Änderungsrate der Solldrehzahl des Übungsorgans auf einen Maximalwert begrenzt, um ein ruckartiges Bewegungsverhalten desselben zu vermeiden.

**[0012]** Um einen bestimmten Drehmomentverlauf in Abhängigkeit von der Position des Übungsorgans und/oder von dessen Drehzahl nach einer bestimmten Funktion vorzugeben, ist in dem Drehzahlregelkreis ein entsprechendes Übertragungsglied vorzusehen, welches diese Funktionen realisiert. Bestandteile dieser Funktionen können sprunghafte Änderungen des Drehmoments bei bestimmten Positionen sein, wodurch mechanische Anschläge simuliert werden können. Werden solche positionsabhängigen Drehmomentänderungen nicht als sprunghaft, sondern als kontinuierlich verlaufend ausgelegt, so lassen sich dadurch mechanische Anschläge mit Federung nachbilden, indem das von dem Benutzer zu überwindende Drehmoment nach dem Überfahren einer festgelegten Endposition beispielsweise mit zunehmender weiterer Auslenkung linear ansteigt. Ferner kann auch eine Anschlagdämpfung simuliert werden, nämlich durch eine kontinuierliche Erhöhung des nach dem Überfahren einer festgelegten Endposition zu überwindenden Drehmoments mit zunehmender Drehzahl.

**[0013]** Aus Sicherheitsgründen ist es hierbei sinnvoll, das Solldrehmoment des Übungsorgans betragsmäßig auf einen Maximalwert zu begrenzen. Hierdurch läßt sich einer möglichen Überanstrengung der trainierenden Person und der Gefahr von Verletzungen bei unsachgemäßer Benutzung des Trainingsgerätes, insbesondere durch eine falsche Körperhaltung oder durch eine Verwendung unzulässiger Hilfsmittel, entgegenwirken.

**[0014]** Da die von dem Übungsorgan auf die trainierende Person ausgeübte Kraft nicht nur von dem Motordrehmoment und der Getriebeuntersetzung abhängt, sondern zusätzlich von einer Vielzahl mechanischer und/oder thermischer Betriebsparameter wie beispielsweise der Getriebereibung, der Temperatur des Motors und des Getriebes, und dem Gewicht des Übungsorgans, erfordert die genaue Einhaltung einer am Übungsorgan für die trainierende Person wirksamen Kraft eine Korrektur des Solldrehmoments des Motors in Abhängigkeit von besagten mechanischen und/oder thermischen Betriebsparametern des Gerätes. Hierzu wird in dem Drehzahlregelkreis eine Recheneinrichtung benötigt, die außer der Umrechnung des Solldrehmoment des Übungsorgans in ein Solldrehmoment des Motors auch besagte Korrektur ausführt, wozu ihr von der Auswertungseinrichtung aus dem Meßsignal des Drehwinkel-

sensors ermittelte Bewegungsgrößen des Übungsorgans, wie die Istposition und/oder die Istdrehzahl als weitere Eingangsgrößen zugeführt werden müssen. So hängt beispielsweise der Beitrag des Eigengewichtes des Übungsorgans zur Kraft von der Position des Übungsorgans ab. Teilweise handelt es sich bei besagten Betriebsparametern aber auch um feste Größen wie beispielsweise die Hebellänge des Übungsorgans.

**[0015]** Aus dem Ausgangssignal des Drehwinkelsensors kann von der Auswertungseinrichtung nach der Umrechnung in die Drehzahl des Übungsorgans durch nochmalige zeitliche Differentiation auch die Winkelbeschleunigung des Übungsorgans gewonnen werden. Diese ist von Interesse, wenn in die zuvor erwähnte Korrektur auch Trägheitseffekte einbezogen werden sollen. So kann die Recheneinrichtung aus der Winkelbeschleunigung des Übungsorgans als weiteren mechanischen Betriebsparameter die Trägheitskomponente der von dem Übungsorgan auf die trainierende Person ausgeübten Kraft ermitteln und berücksichtigen.

**[0016]** Schließlich zählt auch die Temperatur zu den wesentlichen Betriebsparametern eines erfindungsgemäßen Trainingsgerätes, da sowohl die elektrischen Parameter des Motors, als auch Reibung und Trägheit des Getriebes von der Temperatur abhängen. Um Temperatureffekte zu kompensieren, kann das Solldrehmoment des Motors temperaturabhängig korrigiert werden, wozu dem Motor und/oder dem Getriebe mindestens ein Temperatursensor zur Erfassung der aktuellen Temperatur zugeordnet sein muß. Die temperaturabhängige Korrektur kann entweder gemeinsam mit der mechanischen Korrektur in der Recheneinrichtung oder in einer separaten Kompensationseinrichtung erfolgen, wobei diese auch bereits in den Frequenzumrichter integriert sein kann.

**[0017]** Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand der Zeichnungen beschrieben. In diesen zeigt

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Trainingsgerätes,

Fig. 2 die Momentenkennlinie eines Drehstrommotors,

Fig. 3 einen Drehmomentverlauf eines erfindungsgemäßen Trainingsgerätes als Funktion der Position, und

Fig. 4 ein elektrisches Blockschaltbild eines erfindungsgemäßen Trainingsgerätes.

**[0018]** Gemäß Fig. 1 zählen zu den Hauptkomponenten eines erfindungsgemäßen Trainingsgerätes ein Übungsorgan 1, beispielsweise in Form einer Kurbel, und ein Drehstrommotor 2, die durch ein Untersetzungsgetriebe 3 miteinander verbunden sind. Der Motor 2 wird durch einen Frequenzumrichter 4 angesteuert, der die

Frequenz und die Stärke des dem Motor 2 zugeführten Stromes vorgibt, um ein gewünschtes Drehmoment  $M_M$  des Motors 2 einzustellen. Dem Frequenzumrichter 4 wird das Sollmoment  $M_M$  des Motors 2 durch eine Regeleinrichtung 5 vorgegeben. Zum Zweck der Regelung wird als Istgröße des Motors 2 mittels eines Drehwinkelsensors 6 dessen Drehwinkel  $\phi_M$  erfaßt und sowohl dem Frequenzumrichter 4, als auch der Regeleinrichtung 5 zugeführt.

**[0019]** Die Vorgabe des Sollwertes  $M_s$  des Drehmomentes, mit dem die Kurbel 1 anzutreiben ist, erfolgt durch eine Bedieneinheit 7, die ein Tastenfeld 8 und eine Anzeigeeinheit 9 aufweist. Optional können an der Bedieneinheit 7 auch ein Magnet- oder Chipkartenleser 10 zur Dateneingabe und/oder eine Busschnittstelle 11 zur Vernetzung mit einem nicht dargestellten Zentralrechner, der mehrere Trainingsgeräte steuert, vorgesehen sein.

**[0020]** An dem Motor 2 und/oder an dem Getriebe 3 ist noch ein Temperatursensor 12 angebracht, dessen Temperatursignal T dem Frequenzumrichter 4 und/oder der Regeleinrichtung 5 zugeführt wird, um den Einfluß der Temperatur bei der Regelung zu berücksichtigen und damit zu kompensieren.

**[0021]** Im Unterschied zum Stand der Technik setzt die Istwerterfassung zur Bildung eines Regelkreises erfindungsgemäß am Drehwinkel  $\phi_M$  des Motors 2 und nicht an demjenigen der Kurbel 1 an. Ein weiterer in der schematischen Darstellung von Fig. 1 nicht erkennbarer, aber entscheidender Unterschied ist die Realisierung einer feldorientierten Regelung des Asynchronmotors 2 durch den Frequenzumrichter 4.

**[0022]** Bei der feldorientierten Regelung handelt es sich um einen Algorithmus zur Regelung eines Asynchronmotors, der in einem Frequenzumrichter abläuft und auf einem sich mit dem Rotor des Motors drehenden Koordinatensystem basiert. Durch die sogenannte Raumzeigertransformation erhält man in diesem rotierenden Koordinatensystem einen komplexen Stromraumzeiger, der sich in eine Komponente parallel zum magnetischen Fluß und eine Komponente senkrecht zum magnetischen Fluß zerlegen läßt. Im stationären Zustand sind die zu regelnden Stromkomponenten Gleichgrößen, die durch digitale Regler auf den jeweiligen Sollwerten gehalten werden. Es erfolgt eine Rücktransformation in ein Dreiphasensystem, mit dem die Pulsbreitenmodulatoren des Frequenzumrichters angesteuert werden können. Die senkrecht zum magnetischen Fluß gerichtete Komponente des Motorstromes ist proportional zum Drehmoment, welches dem Umrichter als Sollwert vorgegeben wird. Der Motor kann je nach Bewegungsrichtung sowohl motorisch, als auch generatorisch arbeiten, wobei die nicht durch Verluste aufgezeehrte Energie über Bremswiderstände in Wärme umgesetzt wird.

**[0023]** Das Prinzip der feldorientierten Regelung von Asynchronmotoren ist in Fachkreisen an sich bekannt, beispielsweise aus D. Schröder, "Elektrische Antriebe

2", Springer Verlag, 1995, Kap. 15.5 oder aus J. Vogel, "Elektrische Antriebstechnik", 5. Auflage, Hüthig-Verlag, 1991, Kap. 5.2.3.3.. Es braucht daher hier nicht eingehend erläutert zu werden und ist als solches auch nicht Gegenstand der vorliegenden Erfindung. Jedoch wurde es beim Einsatz von Asynchronmotoren in Trainingsgeräten bisher noch nicht angewendet, obwohl es gerade in dieser Anwendung entscheidende Vorteile bietet.

**[0024]** Dies wird anhand Fig. 2 deutlich, welche den grundsätzlichen Verlauf der Momentenkennlinie eines Asynchronmotors, d.h. den Verlauf des Drehmoments als Funktion der Drehzahl  $n$ , bzw. des Schlupfes  $s$  zeigt. Dieser Kennlinienverlauf ist an sich bekannt und in etlichen Werken, die sich mit der Regelung von Elektromotoren befassen, wie beispielsweise in den beiden zuvor genannten Lehrbüchern, in ähnlicher Form wiedergegeben.

**[0025]** Demnach untergliedert sich das Betriebsverhalten eines Asynchronmotors in einen Bremsbereich, einen Motorbereich und einen Generatorbereich, wobei der Stillstand die Grenze zwischen dem Bremsbereich und dem Motorbereich markiert und der Leerlauf die Grenze zwischen dem Motorbereich und dem Generatorbereich markiert. Die eigentliche Momentenkennlinie ist die glatt verlaufende Kurve. Zusätzlich eingezeichnet sind die durch die beiden Nennpunkte verlaufende Gerade und zwei nur in größerer Entfernung von den beiden Kippunkten gültige Näherungskurven.

**[0026]** In Fig. 2 sind die beiden Bereiche gekennzeichnet, in denen ein Asynchronmotor als Antriebselement eines Trainingsgeräts einerseits bei feldorientierter Regelung im Sinne der vorliegenden Erfindung und andererseits nach dem eingangs genannten Stand der Technik mit einer Steuerung der Spannung und der Frequenz eines Umrichters betrieben wird. Während der erfindungsgemäße Betriebsbereich zwischen den beiden Kippunkten des motorischen und des generatorischen Bereichs um den Leerlaufpunkt herum liegt, erstreckt sich der Betriebsbereich nach dem Stand der Technik um den Stillstand herum, und zwar vom Kippunkt des motorischen Bereichs aus bis weit in den Bremsbereich hinein.

**[0027]** Es wird deutlich, daß der erfindungsgemäße Betriebsbereich dem normalen Betrieb eines Asynchronmotors entspricht, während der nach dem eingangs erwähnten Stand der Technik vorgesehene Bereich gewissermaßen einen Dauerbetrieb im Anlaufbereich und damit eine Zweckentfremdung eines Asynchronmotors darstellt, also anormal ist. Daraus ergibt sich beim Stand der Technik das Problem, daß der Kennlinienverlauf in seinem maßgeblichen Bereich schlecht reproduzierbar ist, da Motorhersteller die Einhaltung der Kenndaten nur für den normalen Betriebsbereich in der Umgebung des Nennpunktes garantieren. Um in besagtem anormalen Betriebsbereich eine genaue Drehmomenteinstellung vornehmen zu können, muß der Kennlinienverlauf daher an jedem einzelnen Exemplar vermessen werden, was mit einem hohen Aufwand verbunden ist, oder es müssen

aufgrund der Exemplarstreuungen der Kennlinie höhere Toleranzen der Genauigkeit des eingestellten Drehmoments in Kauf genommen werden. Dieses Problem entfällt im normalen Betriebsbereich, der bei der feldorientierten Regelung eingehalten wird, da dort die Kenndaten genau stimmen.

**[0028]** Die Verlustleistung eines Asynchronmotors ist darüber hinaus bekanntermaßen im normalen Betriebsbereich, d.h. bei kleinem Schlupf, wesentlich geringer als bei großem Schlupf. Durch den Übergang in den normalen Betriebsbereich aufgrund der Anwendung der feldorientierten Regelung ergibt sich also eine geringere Wärmeentwicklung, so daß sich der Einsatz eines Lüfters erübrigt.

**[0029]** Einen typischen Drehmomentverlauf eines erfindungsgemäßen Trainingsgeräts in Abhängigkeit von der Position einer als Übungsorgan vorgesehenen Kurbel 1 zeigt Fig. 3. Das Drehmoment liegt zwischen den Positionen  $\varphi_{\min}$  und  $\varphi_{\max}$  konstant auf dem Wert  $M_0$ . Dieses konstante Drehmoment  $M_0$  entspricht einer bestimmten Kraft, welche die trainierende Person auf die Kurbel 1 ausüben muß, um sie entgegen der Wirkung des Motors 2 in einer der beiden möglichen Drehrichtungen bewegen zu können. Der Sollwert für die Positionsregelung der Kurbel 1 ist die Position  $\varphi_{\min}$ , d.h. bei Entlastung der Kurbel 1 durch die trainierende Person wird die Position  $\varphi_{\min}$  angefahren und beibehalten. Um die Kurbel 1 von dort aus in Richtung der Position  $\varphi_{\max}$  zu bewegen, muß die trainierende Person das Drehmoment  $M_0$  überwinden.

**[0030]** Bei der Position  $\varphi_{\max}$  springt das Drehmoment nahezu abrupt auf einen wesentlich höheren Wert  $M_{\max}$ , wodurch ein oberer mechanischer Anschlag mit Hilfe des Motors 2 und seiner Regelung simuliert wird. Ebenso springt das Drehmoment bei der Position  $\varphi_{\min}$  im Fall einer Beaufschlagung der Kurbel 1 mit einem Drehmoment in entgegengesetzter Richtung durch die trainierende Person nahezu abrupt auf den negativen Wert  $-M_{\max}$ , wodurch ein unterer mechanischer Anschlag simuliert wird. Der für die trainierende Person zur Verfügung stehende Bewegungsbereich der Kurbel liegt demnach zwischen den Positionswerten  $\varphi_{\min}$  und  $\varphi_{\max}$ .

**[0031]** Zwar ist in Fig. 3 angenommen, daß das Drehmoment zwischen den beiden Endpositionen  $\varphi_{\min}$  und  $\varphi_{\max}$  konstant  $M_0$  betragen soll, doch wäre es ohne weiteres auch möglich, hier einen positionsabhängigen Drehmomentverlauf vorzugeben, beispielsweise in Form eines linearen Anstiegs des Drehmoments mit der Position  $\varphi$ .

**[0032]** Ebenso ist es möglich, anstelle nahezu abrupter Sprünge des Drehmoments an den beiden Endpositionen  $\varphi_{\min}$  und  $\varphi_{\max}$  jeweils eine kontinuierliche Änderung mit einer vorgegebenen Rate bis zum jeweiligen Endwert  $-M_{\max}$  bzw.  $M_{\max}$  vorzusehen, wodurch Endanschläge mit Federung nachgebildet werden. Dabei kann die Änderungsrate auch positionsabhängig sein, was einer nichtlinearen Federcharakteristik entspricht.

**[0033]** Darüber hinaus kann an den beiden Endposi-

tionen  $\varphi_{\min}$  und  $\varphi_{\max}$  im Übergangsbereich vom Trainingsdrehmoment  $M_0$  zum jeweiligen Endwert  $-M_{\max}$  bzw.  $M_{\max}$  auch eine Abhängigkeit des Drehmoments von der Drehzahl  $\omega_1$  und damit von der Geschwindigkeit der Kurbel 1 vorgesehen sein. Dies entspricht der Wirkung eines mechanischen Dämpfers. Mit der Erfindung kann somit die Ausstattung von Endanschlägen eines Übungsorgans mit einem Feder-Dämpfer-System motorisch nachgebildet werden, wobei die Härte der Feder- bzw. Dämpfungseigenschaft über die Bedieneinheit 7, den Kartenleser 10 oder die Busschnittstelle 11 einstellbar ist.

**[0034]** Der Betrag des maximalen Drehmoments  $M_{\max}$  entspricht nicht unbedingt dem maximalen Drehmoment, das der Motor 2 über das Getriebe 3 überhaupt an die Kurbel 1 abgeben kann, sondern ist auf einen niedrigeren Wert begrenzt, um einer Verletzungsgefahr vorzubeugen. Er ist aber so hoch gewählt, daß das Erreichen einer der beiden Endpositionen  $\varphi_{\min}$  oder  $\varphi_{\max}$  von der trainierenden Person jeweils als mechanischer Anschlag empfunden wird.

**[0035]** Um den in Fig. 3 gezeigten Drehmomentverlauf über der Position  $\varphi$  zu realisieren, ist eine Regeleinrichtung 5 vorgesehen, deren interne Funktionsweise nachfolgend anhand des Blockschaltbildes von Fig. 4 erläutert wird. Die in Fig. 4 rechts eingezeichneten Komponenten, nämlich die aus der Kurbel 1 und dem Getriebe 3 bestehende Maschine, der Motor 2, der Frequenzumrichter 4 sowie der Drehwinkelsensor 6 und der Temperatursensor 12 entsprechen den bereits anhand Fig. 1 erwähnten Komponenten des Trainingsgeräts und bedürfen daher keiner weiteren Erläuterung.

**[0036]** Die Regeleinrichtung 5 enthält, wie Fig. 4 erkennen läßt, zwei Regelkreise in Kaskadenstruktur, nämlich einen inneren Regelkreis für die Drehzahl  $\omega$  und einen äußeren Regelkreis für die Position  $\varphi$ . Dabei arbeiten diese Regelkreise im Bezugssystem des Übungsorgans, d.h. der Kurbel 1. Die Position in Form eines Drehwinkels  $\varphi$  und die Drehzahl  $\omega$  beziehen sich also auf die Bewegung der Kurbel 1. Um aus dem von dem Sensor 6 gelieferten Signal, welches den Drehwinkel  $\varphi_M$  des Motors 2 anzeigt, die Istposition  $\varphi_1$  und die Ist-drehzahl  $\omega_1$  der Kurbel 1 zu errechnen, ist eine Auswertungs-einrichtung 13 vorgesehen, in deren Berechnungen insbesondere die Untersetzung des Getriebes 3 eingeht.

**[0037]** Die Differenz aus einer Sollposition  $\varphi_s$  und der Istposition  $\varphi_1$  wird einem ersten Regler 14 zugeführt, bei dem es sich vorzugsweise um einen Proportional-Regler handelt. Dabei entspricht die Sollposition  $\varphi_s$  der unteren Endposition  $\varphi_{\min}$  in Fig. 3. Die Ausgangsgröße des Reglers 14 ist eine Drehzahl, die zunächst durch einen Begrenzer 15 auf einen Maximalwert  $\omega_{\max}$  begrenzt wird. Hierdurch wird vermieden, daß die Kurbel 1 die durch den Motor 2 und das Getriebe 3 gegebene Maximalgeschwindigkeit erreichen kann, da bei solch extrem raschen Bewegungen der Kurbel 1, beispielsweise im Fall einer plötzlichen Entlastung durch Abrutschen der trainierenden Person von der Kurbel 1, eine hohe Verlet-

zungsgefahr gegeben wäre. Ein zweiter Begrenzer 16 begrenzt auch noch die Winkelbeschleunigung auf einen Maximalwert  $\alpha_{\max}$ , um einen übermäßigen Ruck beim Anfahren der Kurbel 1 zu vermeiden, was zwar weniger gefährlich, aber dem Trainingskomfort abträglich wäre. Die beiden Begrenzer 15 und 16 sind grundsätzlich optional, aber unter den Gesichtspunkten der Sicherheit und des Komforts sehr nützlich.

**[0038]** Am Ausgang des zweiten Begrenzers 16 liegt als Signal eine Solldrehzahl  $\omega_s$  vor, von der die in der Auswertungseinrichtung 13 berechnete Istdrehzahl  $\omega_i$  subtrahiert wird. Diese wird einem vorzugsweise als Proportional/Integral-Regler ausgebildeten Drehzahlregler 17 zugeführt, der als Ausgangsgröße ein Drehmoment liefert. Dieses wird in einer Kennlinieneinheit 18 in Abhängigkeit von der Istposition  $\varphi_i$  entsprechend einer vorgegebenen Funktion variiert, wozu der Kennlinieneinheit 18 die Istposition  $\varphi_i$  als weitere Eingangsgröße zugeführt wird. Eine hierfür bevorzugte Funktion mit drei konstanten Abschnitten und zwei gleich hohen Stufen zwischen diesen Abschnitten wurde zuvor anhand Fig. 3 erläutert.

**[0039]** Grundsätzlich könnte durch die Kennlinieneinheit 18 aber auch ein anderer Verlauf des Drehmoments in Abhängigkeit von der Istposition  $\varphi_i$  als derjenige von Fig. 3 vorgegeben werden. Insbesondere könnten die Änderungen im Bereich der beiden Endpositionen  $\varphi_{\min}$  und  $\varphi_{\max}$  im Sinne einer Federung kontinuierlich anstatt sprunghaft verlaufen. Ferner könnte im Sinne einer Dämpfung auch eine zusätzliche Abhängigkeit von der Istdrehzahl  $\omega_i$  vorgesehen sein. Die Ausgangsgröße der Kennlinieneinheit 18 ist das Solldrehmoment  $M_s$  für die Kurbel 1.

**[0040]** Da der Frequenzumrichter 4 als Eingangsgröße ein Solldrehmoment  $M_M$  für den Motor 2 benötigt, muß das von der Kennlinieneinheit 18 gelieferte Solldrehmoment  $M_s$  für die Kurbel 1 in einer Recheneinrichtung 19 in besagtes Solldrehmoment  $M_M$  für den Motor 2 umgerechnet werden. Zunächst geht in diese Umrechnung die Untersetzung des Getriebes 3 ein. Darüber hinaus verfügt die Recheneinrichtung 19 über einen Speicher, in dem Tabellen abgelegt sind, die den Einfluß weiterer mechanischer Systemparameter auf den Zusammenhang zwischen den beiden Solldrehmomenten  $M_s$  und  $M_M$  beschreiben. Hierzu gehören beispielsweise das Gewicht der Kurbel, die Reibungsverluste des Getriebes, Trägheitsmomente des Getriebes und der Kurbel, die Viskosität des Getriebeöls und dessen Temperaturabhängigkeit.

**[0041]** Die in den Zusammenhang zwischen den beiden Drehmomenten  $M_s$  und  $M_M$  eingehenden Parameter sind teilweise konstant, teilweise aber auch von Bewegungsgrößen und/oder von der Temperatur abhängig. Daher werden der Recheneinrichtung 19 von der Auswertungseinrichtung 13 zumindest die Istposition  $\varphi_i$  und die Istdrehzahl  $\omega_i$  der Kurbel 1, optional auch zusätzlich die Istwinkelbeschleunigung  $\alpha_i$  zugeführt, die zur Berücksichtigung von Trägheitseffekten benötigt wird. Des weiteren wird ihr zur Kompensation von Temperaturein-

flüssen auch das Meßsignal T des Temperatursensors 12 zugeführt.

**[0042]** Die Recheneinrichtung 19 führt im Zuge der Umrechnung des Solldrehmoments  $M_s$  der Kurbel 1 in ein entsprechendes Solldrehmoment  $M_M$  des Motors 2 zugleich Korrekturen aus, welche zusätzliche mechanische und thermische Einflüsse, die außer der Getriebeuntersetzung noch in die Umwandlung des Drehmoments des Motors 2 in dasjenige der Kurbel 1 eingehen, kompensieren.

**[0043]** Was die Temperatur anbelangt, so kann die Kompensation ihres Einflusses zwischen der Recheneinrichtung 19 und einer separaten Kompensationseinrichtung 20 oder dem Frequenzumrichter 4 aufgeteilt sein, und zwar bevorzugt dahingehend, daß die Kompensation der Temperaturabhängigkeit des Motors 2 allein bereits in den Frequenzumrichter 4 integriert ist, oder von einer separaten Kompensationseinrichtung 20 wahrgenommen wird, da diese Temperaturabhängigkeit eine motorspezifische Eigenschaft ist. Das Vorhandensein der Kompensationseinrichtung 20 ist demnach optional und hängt davon ab, ob der verwendete Frequenzumrichter 4 bereits eine interne Kompensation der Motortemperatur vorsieht oder nicht.

**[0044]** Soweit die Recheneinrichtung 19 eine Temperaturkompensation erfüllt, beschränkt sich diese bevorzugt auf die Temperaturabhängigkeit der dem Motor 2 nachgeschalteten mechanischen Komponenten, insbesondere auf das Getriebe 3, bei dem beispielsweise die Viskosität des Öls und damit die Reibung und die Trägheit von der Temperatur abhängen.

**[0045]** Die bei der Korrektur durch die Recheneinrichtung 19 berücksichtigbaren Parameter sind vielfältiger Art. So ist es beispielsweise denkbar, der Recheneinrichtung 19 einen Betriebsdauerzähler zuzuordnen, einen von der Betriebsdauer abhängigen mechanischen Verschleiß bestimmter Komponenten anhand eines mathematischen Modells vorherzusagen, und das Solldrehmoment  $M_M$  zur Kompensation der Verschleißerscheinungen im Laufe der Zeit entsprechend zu verändern.

**[0046]** Auch ist es möglich, die Länge des Hebelarmes der Kurbel 1 zur Anpassung an die Körpermaße der trainierenden Person variabel zu gestalten. In diesem Fall hängt die von der Kurbel 1 in Tangentialrichtung ausgeübte Kraft, die das maßgebliche Kriterium für die physiotherapeutische Wirkung des Trainings ist, von der Hebellänge ab, so daß zur Einstellung einer bestimmten Kraft bei variabler Hebellänge das Drehmoment entsprechend korrigiert werden muß. Dabei kann die Körpergröße dem Trainingsgerät über den Magnet- oder Chipkartenleser 10 mitgeteilt werden, woraufhin die Hebellänge über einen Servomotor passend eingestellt und von der Recheneinrichtung 19 aus den in ihrem Speicher abgelegten Datensätzen ein bestimmter zur Berücksichtigung der eingestellten Hebellänge ausgewählt wird.

**[0047]** Das aus dem Drehmoment  $M_s$  der Kurbel 1 umgerechnete und korrigierte Solldrehmoment  $M_M$  des Motors 2 wird dem Frequenzumrichter 4 als Eingangsgröße

zugeführt. Dieser regelt den Motor 2 eigenständig nach dem zuvor erläuterten Prinzip der feldorientierten Regelung, bildet also mit dem Motor 2 einen unterlagerten weiteren Regelkreis. Hierzu benötigt er das Meßsignal des Drehwinkelgebers 6 an der Welle des Motors 2, das ihm direkt zugeführt wird. Da der durch den Frequenzumrichter 4 gebildete Regelkreis auf der Messung einer unmittelbaren Zustandsgröße des Motors, nämlich des Motordrehwinkels  $\varphi_M$  basiert, reagiert dieser innerste Regelkreis sehr schnell. Dies ist für die dynamischen Eigenschaften und für die Stabilität der gesamten Regelung von großem Vorteil. Frequenzumrichter für Drehstrommotoren, die nach dem Prinzip der feldorientierten Regelung arbeiten, sind auf dem heutigen Markt für Antriebselektronik verfügbar. Die Anwendung in einem Trainingsgerät ist jedoch eine Neuerung, die hier erstmals vorgeschlagen wird.

**[0048]** In dem vorausgehend beschriebenen Ausführungsbeispiel handelt es sich bei dem Übungsorgan, gegen das der Benutzer des Trainingsgeräts während des Trainings eine Kraft ausübt, um eine Kurbel. Wie der Fachmann ohne weiteres erkennt, kann das Übungsorgan aber auch eine Vielzahl anderer Formen haben, wie z.B. die eines Bügels, eines Griffs, oder eines oder zweier Pedale. Die vorliegende Erfindung ist nicht auf eine Kurbel beschränkt, sondern sie umfaßt sämtliche denkbaren Varianten eines Übungsorgans, das sich dazu eignet, von einer Person mit Muskelkraft beaufschlagt zu werden. Dies schließt unter anderem auch Übungsorgane ein, die keine Drehung, sondern eine translatorische Bewegung ausführen, welche dann mechanisch in eine Drehung einer Motorwelle umgesetzt wird. In diesem Fall entsprechen die hier verwendeten Begriffe des Drehwinkels, der Drehzahl und des Drehmoments einer translatorischen Verschiebung bzw. einer translatorischen Geschwindigkeit bzw. einer Kraft. Solche Abwandlungen, die für einen Fachmann offensichtlich sind, sollen vom Schutz der Ansprüche umfaßt sein.

## Patentansprüche

1. Trainingsgerät, insbesondere für Krafttraining, mit einer Drehmomenterzeugungseinrichtung, die einen Elektromotor und ein Untersetzungsgetriebe aufweist und deren Ausgang mit wenigstens einem der Übungsperson dargebotenen Übungsorgan zusammenwirkt, wobei der Elektromotor als Drehstrommotor ausgebildet ist, dem ein Frequenzumrichter zugeordnet ist, mittels dessen die Frequenz und die Stärke des dem Elektromotor zugeführten Drehstroms einstellbar sind, und wobei dem Frequenzumrichter eine Regeleinrichtung vorgeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet, daß** dem Motor (2) ein Drehwinkelsensor (6) zugeordnet ist, dessen Meßsignal ( $\varphi_M$ ) sowohl dem Frequenzumrichter (4), als auch der Regeleinrichtung (5) zugeführt wird, daß dem Frequenzumrichter (4) durch die Regelein-

richtung (5) ein Sollwert ( $M_M$ ) für das von dem Motor (2) abzugebende Drehmoment vorgegeben wird, in den das Meßsignal ( $\varphi_M$ ) des Drehwinkelsensors (6) eingeht, und daß der Frequenzumrichter (4) die Frequenz und die Stärke des Motorstromes nach dem Prinzip der feldorientierten Regelung einstellt.

2. Trainingsgerät nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Regeleinrichtung (5) die Position des Übungsorgans (1) auf einen Sollwert ( $\varphi_{min}$ ) regelt, und daß der Frequenzumrichter (4) das Drehmoment des Motors (2) auf den durch die Regeleinrichtung (5) vorgegebenen Sollwert ( $M_M$ ) regelt.

3. Trainingsgerät nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Regeleinrichtung (5) zwei Regelkreise in Kaskadenstruktur für die Regelung der Position und der Drehzahl des Übungsorgans (1) aufweist, und daß sie eine Auswertungseinrichtung (13) aufweist, die aus dem Meßsignal ( $\varphi_M$ ) des Drehwinkelsensors (6) zumindest die Position ( $\varphi_I$ ) und die Drehzahl ( $\omega_I$ ) des Übungsorgans (1) ermittelt und als Istgrößen für die beiden Regelkreise bereitstellt.

4. Trainingsgerät nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** in dem Positionsregelkreis ein erster Begrenzer (15) vorgesehen ist, der die Solldrehzahl ( $\omega_S$ ) des Übungsorgans (1) auf einen Maximalwert ( $\omega_{max}$ ) begrenzt.

5. Trainingsgerät nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** in dem Positionsregelkreis ein zweiter Begrenzer (16) vorgesehen ist, der die Änderungsrate der Solldrehzahl ( $\omega_S$ ) des Übungsorgans (1) auf einen Maximalwert ( $\alpha_{max}$ ) begrenzt.

6. Trainingsgerät nach einem der Ansprüche 3 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** in dem Drehzahlregelkreis ein Übertragungsglied (18) vorgesehen ist, welches das Solldrehmoment ( $M_S$ ) des Übungsorgans (1) nach einer vorgegebenen Funktion in Abhängigkeit von der Position ( $\varphi_I$ ) und/oder der Drehzahl ( $\omega_I$ ) variiert.

7. Trainingsgerät nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** die vorgegebene Funktion eine Erhöhung des Betrages des Solldrehmoments ( $M_S$ ) des Übungsorgans (1) mit einer vorgegebenen Rate bei zunehmender Unter- bzw. Überschreitung mindestens einer vorgegebenen Endposition  $\varphi_{min}$ ;  $\varphi_{max}$ ) des Übungsorgans (1) beinhaltet.

8. Trainingsgerät nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** die vorgegebene Funktion eine Erhöhung des Betrages des Solldrehmoments ( $M_S$ ) des Übungsorgans (1) mit zunehmender Drehzahl ( $\omega_I$ ) bei Unter- bzw. Überschreitung mindestens

einer vorgegebenen Endposition ( $\varphi_{\min}$ ;  $\varphi_{\max}$ ) des Übungsorgans (1) beinhaltet.

9. Trainingsgerät nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, daß** die vorgegebene Funktion eine Begrenzung des Betrages der Solldrehmoments ( $M_s$ ) auf einen vorbestimmten Maximalwert ( $M_{\max}$ ) beinhaltet. 5
  
10. Trainingsgerät nach einem der Ansprüche 3 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, daß** in dem Drehzahlregelkreis eine Recheneinrichtung (19) vorgesehen ist, die das Solldrehmoment ( $M_s$ ) des Übungsorgans (1) in ein Solldrehmoment ( $M_M$ ) des Motors (2) umrechnet und dieses in Abhängigkeit von mechanischen und/oder thermischen Betriebsparametern des Gerätes korrigiert. 10  
15
  
11. Trainingsgerät nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Recheneinrichtung (19) von der Auswertungseinrichtung (13) aus dem Meßsignal ( $\varphi_M$ ) des Drehwinkelsensors (6) ermittelte Bewegungsgrößen ( $\varphi_I$ ,  $\omega_I$ ,  $\alpha_I$ ) des Übungsorgans (1), insbesondere dessen Istposition ( $\varphi_I$ ) und/oder dessen Ist Drehzahl ( $\omega_I$ ), als weitere Eingangsgrößen zugeführt und von der Recheneinrichtung (19) in die Korrektur des Solldrehmoments ( $M_M$ ) des Motors (2) einbezogen werden. 20  
25
  
12. Trainingsgerät nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, daß** zu den von der Auswertungseinrichtung (13) ermittelten, der Recheneinrichtung (19) zugeführten und von dieser in die Korrektur des Solldrehmoments ( $M_M$ ) des Motors (2) einbezogenen Bewegungsgrößen auch die Winkelbeschleunigung ( $\alpha_I$ ) des Übungsorgans (1) gehört. 30  
35
  
13. Trainingsgerät nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, daß** dem Motor (2) und/oder dem Getriebe (3) mindestens ein Temperatursensor (12) zugeordnet ist, dessen Meßsignal (T) der Recheneinrichtung (19) und/oder einer separaten Kompensationseinrichtung (20) als Eingangsgröße zugeführt und dort zu einer temperaturabhängigen Korrektur des Solldrehmoments ( $M_M$ ) des Motors (2) verwendet wird. 40  
45
  
14. Trainingsgerät nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, daß** eine von der Recheneinrichtung (19) separate Kompensationseinrichtung zur Korrektur des Temperatureinflusses auf den Motor (2) vorgesehen ist, die in den Frequenzumrichter (4) integriert ist. 50
  
15. Trainingsgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Übungsorgan translatorisch bewegbar ist, und daß Mittel zur mechanischen Umsetzung der translatorischen Bewe-

gung in eine Drehbewegung der Welle des Elektromotors vorgesehen sind, so daß auf der Seite des Übungsorgans die Bewegungsgrößen anstelle eines Drehwinkels, einer Drehzahl und eines Drehmoments ein Weg, bzw. eine Geschwindigkeit bzw. eine Kraft sind.

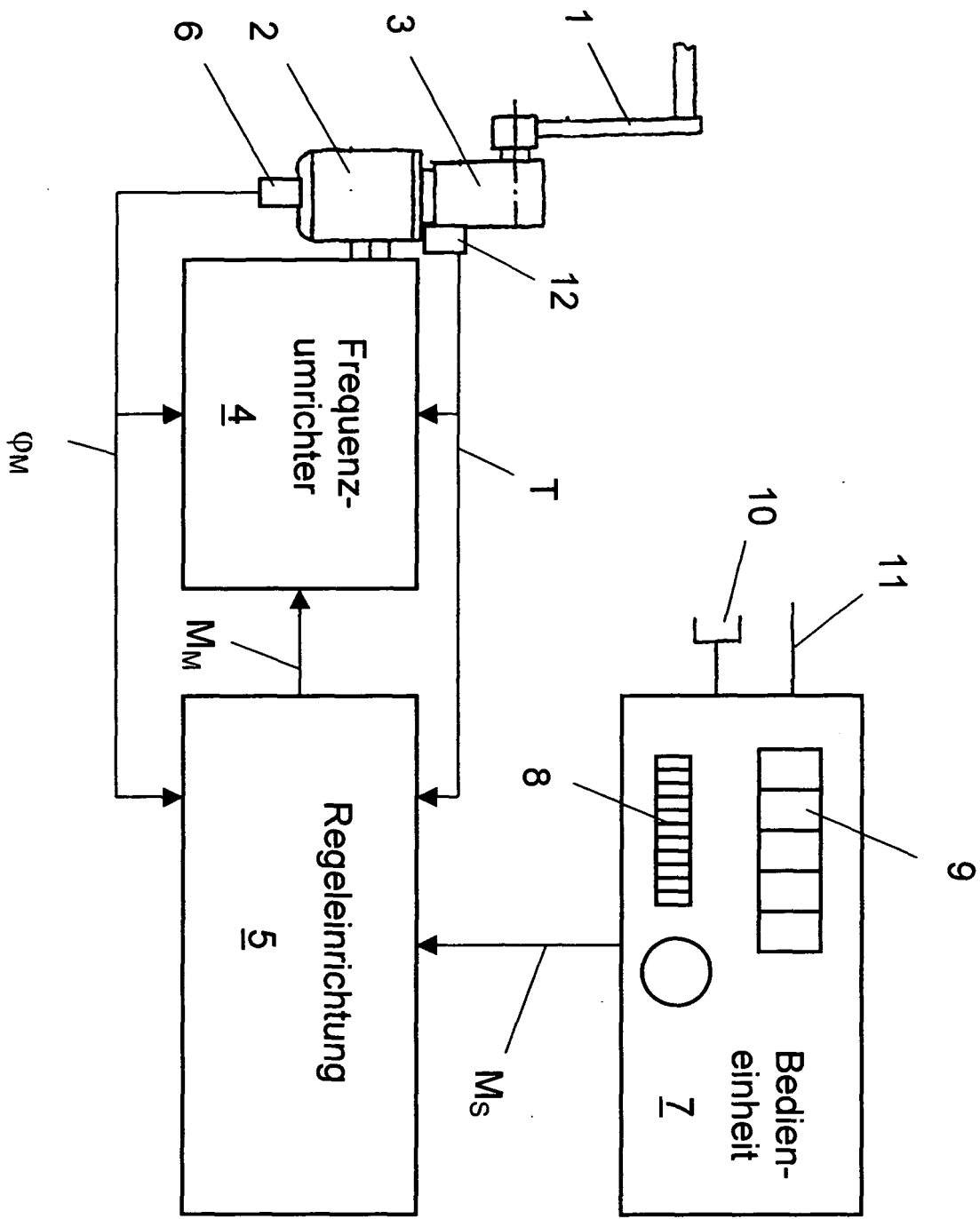
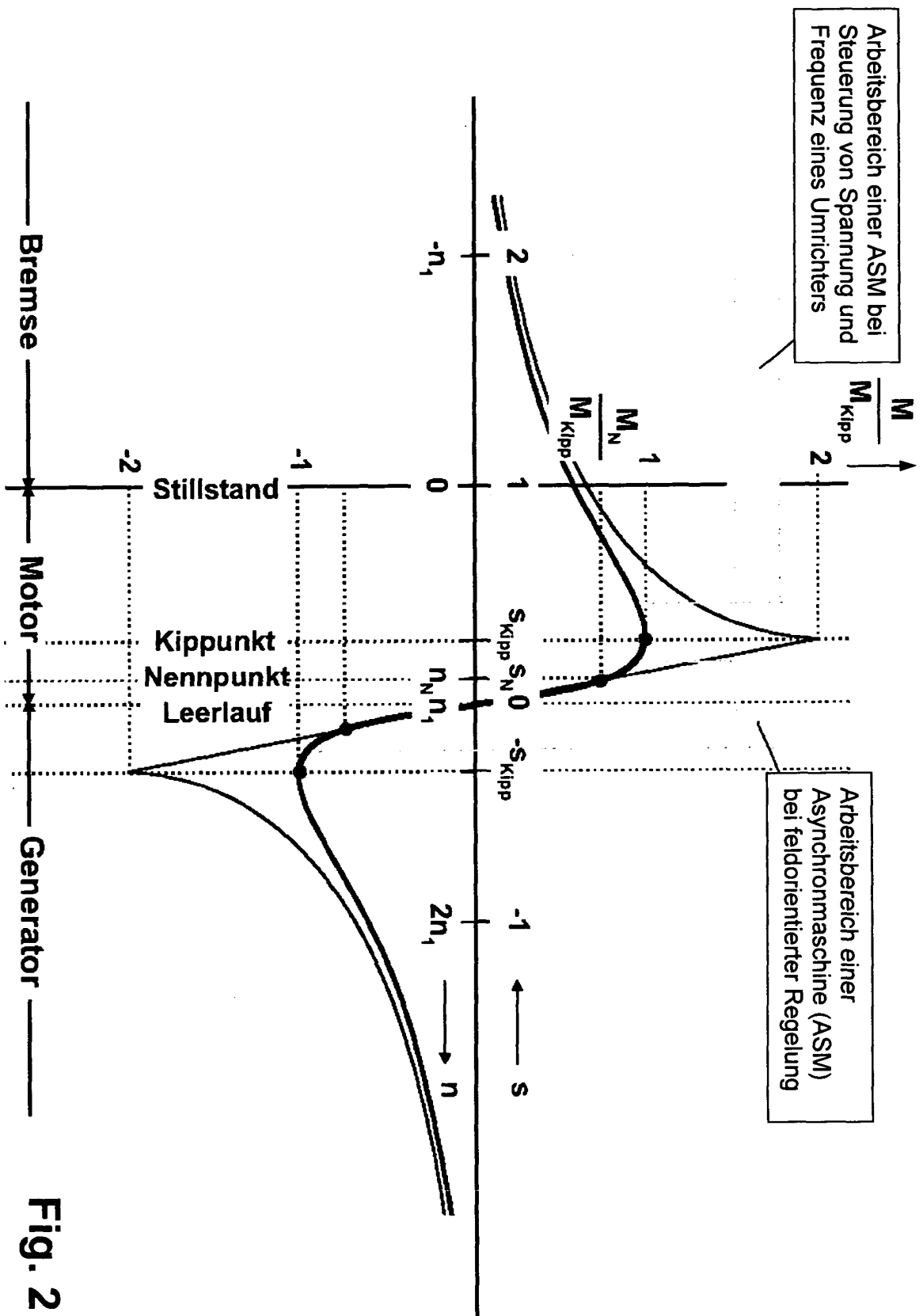
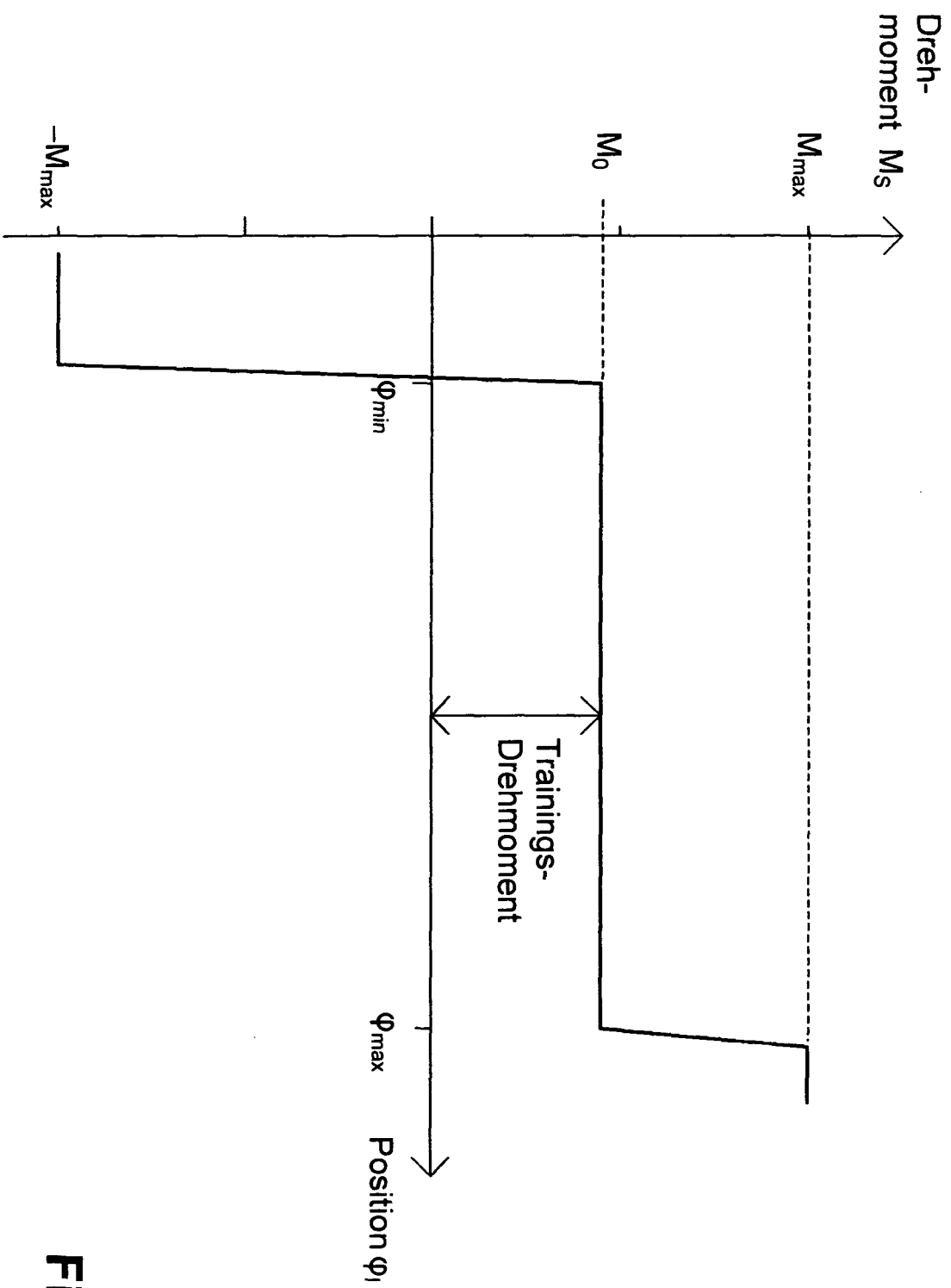


Fig. 1





**Fig. 3**

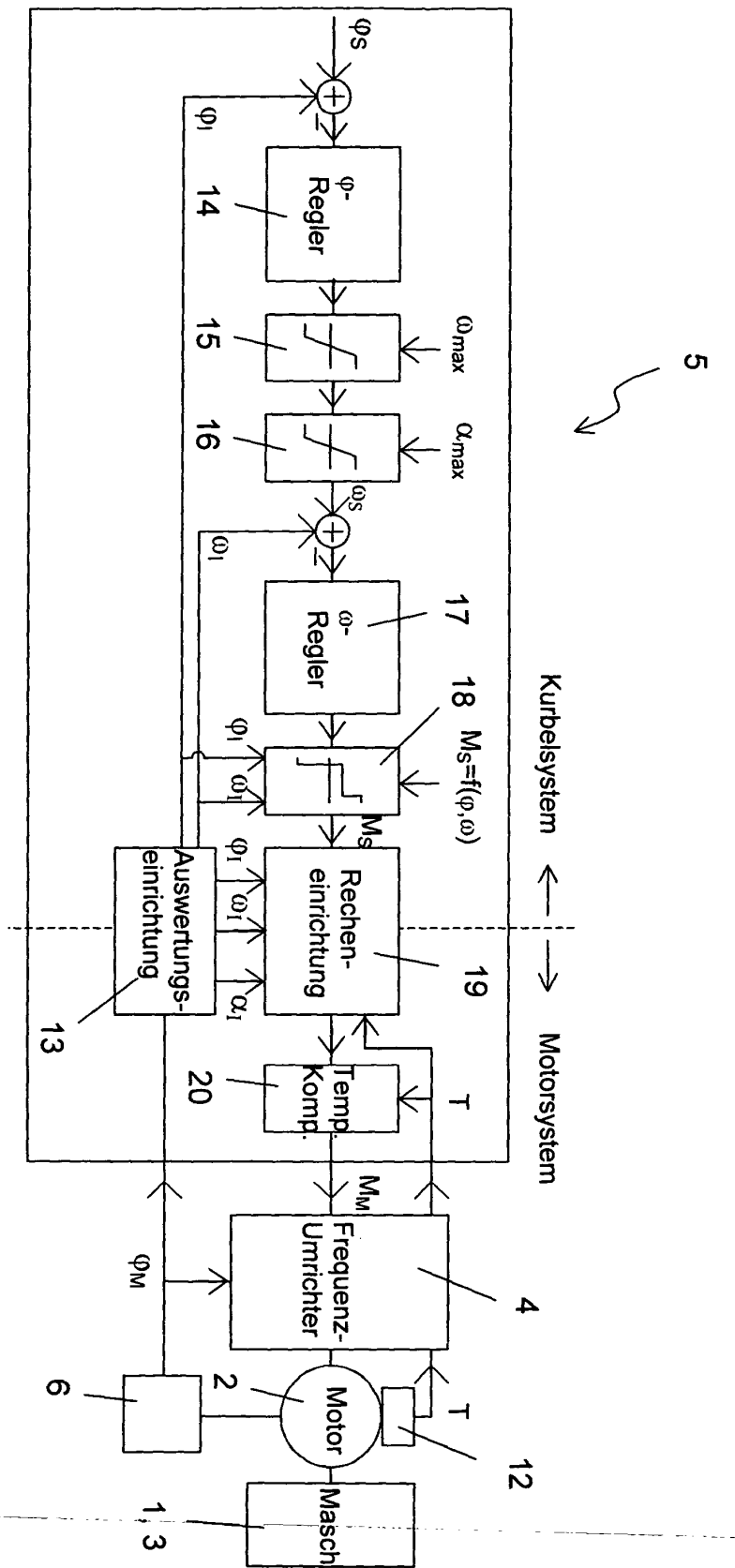


Fig. 4