



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Andocksystem für ein Unterwasserfahrzeug gemäß dem Anspruch 1. Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Andocken eines Unterwasserfahrzeugs an ein Andocksystem gemäß Anspruch 10.

**[0002]** Für Vermessungsaufgaben im Bereich der Meeresforschung werden selbstangetriebene, autonom agierende Unterwasserfahrzeuge zum Einsatz gebracht, da diese eine bewegungstabile Plattform zur Durchführung von Messaufgaben, wie zum Beispiel Tiefenvermessungen, darstellen. Um eine längere Einsatzdauer erzielen zu können, werden schon seit längerer Zeit Versuche unternommen, Andocksysteme zu entwickeln und operationell einsetzbar zu gestalten. Ein besonderer Aspekt besteht darin, ein zuverlässiges Andocken des Unterwasserfahrzeugs an eine energieführende Station herbeizuführen, um ein Wiederaufladen des Energiespeichers des Unterwasserfahrzeugs vornehmen zu können.

**[0003]** Die bisher erdachten und umgesetzten Andockkonzepte gehen davon aus, dass sich das Unterwasserfahrzeug mit einer geringen Geschwindigkeit dem Andocksystem nähert, wobei es sich bei dem Andocksystem im weitesten Sinne um einen einfachen Trichter handelt, der das Unterwasserfahrzeug auffängt.

**[0004]** Als Beispiel hierzu soll auf das Dokument CN 1 08 502 129 A verwiesen werden. Dieses Dokument offenbart eine Vorrichtung zum Andocken eines Unterwasserfahrzeugs. Diese Vorrichtung umfasst eine Basis mit einem Greifer, der beweglich an der Basis befestigt ist. Dieser Greifer dient dem Erfassen des Unterwasserfahrzeugs. Außerdem verfügt die Vorrichtung über einen Sensor zum Erkennen des Unterwasserfahrzeugs, wobei die von dem Sensor ermittelten Informationen von einer Steuereinheit verarbeitet werden und der Greifer in Abhängigkeit von den Informationen steuerbar ist.

**[0005]** Ein wesentliches Problem der bekannten Konzepte besteht darin, dass ein präzises Anfahren des Unterwasserfahrzeugs an das Andocksystem nur schwer realisierbar ist. Dabei setzt das Anfahren nicht nur eine möglichst geringe Relativgeschwindigkeit zwischen dem Unterwasserfahrzeug und dem Andocksystem voraus, sondern auch eine Kenntnis der genauen räumlichen Orientierung des Unterwasserfahrzeugs relativ zum Trichter des Andocksystems. Dieses Unterfangen des Andockens wird zusätzlich noch gestört durch Meeresströmungen oder durch Wellenbewegungen, die unter Wasser oder im Bereich der Wasseroberfläche auftreten.

**[0006]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Andocksystem für ein Unterwasserfahrzeug und ein Verfahren zum Andocken eines Unterwasserfahrzeugs an ein Andocksystem zu schaffen, mit dem sich ein Anfahren des Unterwasserfahrzeugs besonders einfach und zuverlässig realisieren lässt.

**[0007]** Eine Lösung dieser Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 beschrieben. Demnach ist es vorgesehen, dass ein Andocksystem für ein Unterwasserfahrzeug, insbesondere eine Tauchdrohne, einen Unterwasserroboter oder ein U-Boot, mindestens einen tauchfähigen Basiskörper und mindestens einen Greifarm aufweist. Bei dem Basiskörper kann es sich beispielsweise um einen geschlossenen Körper oder einen offenen Rahmen handeln, an dem mehrere Komponenten des Andocksystems befestigbar sind. Dieser Basiskörper lässt sich beispielsweise über ein entsprechendes Zugmittel im Wasser absenken und aus dem Wasser herausziehen. Gleichmaßen kann dieser Basiskörper Verankerungsmittel aufweisen, um das Andocksystem fest auf dem Meeresboden zu verankern. Ein weiteres Ausführungsbeispiel kann es vorsehen, dass der Basiskörper Antriebe aufweist, um im Wasser manövrierfähig zu sein. So ist es denkbar, dass das Andocksystem in einem vorbestimmten Abstand zum Meeresboden wenigstens weitestgehend stationär gehalten wird. Für ein zuverlässiges Heranfahren des Greifmittels an das Unterwasserfahrzeug ist es wesentlich, dass das Andocksystem einen Sensor zum Messen der Meeresströmung und der Dichte des Wassers aufweist. Für das zuverlässige Heranfahren des Greifmittels an das sich bewegende Unterwasserfahrzeug ist es wesentlich, dass etwaige Meeresströmungen berücksichtigt werden. Außerdem muss, insbesondere wenn das Andocksystem frei im Wasser schwebt, ein Auftrieb erzeugt werden, der bewirkt, dass die Position des Andocksystems konstant ist. Dies ist nicht nur während des Andockvorgangs wichtig, sondern auch für die Phase, während das Unterwasserfahrzeug an das Andocksystem angedockt ist, also geparkt wird.

**[0008]** Der mindestens eine Greifarm des Andocksystems weist an einem ersten Ende einen Aktuator auf, mit dem der Greifarm beweglich an dem Basiskörper befestigt ist. Außerdem weist der Greifarm an einem zweiten Ende einen weiteren Aktuator auf, an dem ein Greifmittel zum Erfassen des Unterwasserfahrzeugs angeordnet ist. Dieser Greifarm kann aus mindestens zwei Greifarmelementen zusammengesetzt sein, die durch mindestens einen weiteren Aktuator miteinander verbunden und relativ zueinander bewegbar sind. Gleichmaßen ist es auch denkbar, dass an dem Basiskörper zwei, drei oder mehr der hier beschriebenen Greifarme angeordnet sind. Außerdem weist das Andocksystem bzw. der Basiskörper oder der Greifarm mindestens einen Sensor zum Erfassen der Position des Unterwasserfahr-

zeugs auf, wobei die von dem mindestens einen Sensor ermittelten Informationen von einer dem Basiskörper zugeordneten Steuereinheit verarbeitet werden und der Greifarm und das Greifmittel in Abhängigkeit der Informationen von der Steuereinheit steuerbar sind. Dabei sind der Greifarm und das Greifmittel derart dimensioniert und beweglich ausgebildet, dass sie in einem festgelegten Arbeitsbereich um das Andocksystem herum nahezu jede Position anfahren können. Das hat den Vorteil, dass das Unterwasserfahrzeug zum Andocken lediglich in diesen Arbeitsbereich fahren muss, um vom Andocksystem bzw. dem Greifmittel erfasst zu werden. Durch diese hohe Flexibilität bzw. die Vielzahl von Freiheitsgraden, die durch den Greifarm, das Greifmittel und die Aktuatoren realisiert werden, lässt sich das Unterwasserfahrzeug auf eine besonders zuverlässige sowie einfache Art und Weise sicher ergreifen und mit dem Andocksystem verbinden.

**[0009]** Bevorzugt ist es vorgesehen, dass die Aktuatoren als Gelenkaktuatoren bzw. Gelenkmotoren und/oder als Linearantriebe ausgebildet sind. So ist der Greifarm, der beispielsweise mit einem Gelenkaktuator an dem Basiskörper befestigt ist, wenigstens innerhalb eines hemisphärischen Halbraumes frei beweglich. Durch die Verbindung der beiden Greifarmelemente durch einen weiteren Gelenkaktuator lässt sich die Flexibilität und die Reichweite des Greifarms noch erweitern. Schließlich ist es auch denkbar, dass das Greifmittel mittels eines Gelenkaktuators an dem Greifarm befestigt ist, um so das Unterwasserfahrzeug unabhängig von dessen relativen Orientierung zu dem Greifarm zu erfassen. Alternativ ist es ebenso denkbar, dass die beiden Greifarmelemente teleskopisch ausgebildet sind und untereinander mit einem Linearantrieb verbunden sind und dadurch relativ zueinander verschiebbar sind. Gleichmaßen sind auch Kombinationen von Gelenkaktuatoren und Linearantrieben möglich.

**[0010]** Die einzelnen Aktuatoren dienen nicht nur der Bewegung des Greifarms und des Greifmittels, sondern auch dem aktiven bzw. dynamischen Abbremsen des anfahrens Unterwasserfahrzeugs. Direkt nach dem Ergreifen des Unterwasserfahrzeugs durch das Greifmittel wird der relative Impuls zwischen dem Andocksystem und dem Unterwasserfahrzeug ermittelt und aktiv durch Beaufschlagung der Antriebe durch entsprechende Kräfte und/oder Drehmomente gebremst. Dabei erfolgt nicht nur ein Abbremsen der translatorischen Impuls-komponenten, sondern auch eine Rotation oder ein Driften des Unterwasserfahrzeugs.

**[0011]** Ein weiteres Ausführungsbeispiel kann es vorsehen, dass der Greifarm aus mehr als zwei Greifarmelementen ausgebildet ist. Dabei sind aufeinanderfolgende Greifarmelemente jeweils mittels eines Aktuators, vorzugsweise eines Gelenkaktua-

tors, miteinander verbunden. Dadurch lassen sich auch komplizierte Manöver des Greifmittels realisieren und das Abbremsen des anfahrens Unterwasserfahrzeugs mit einem geringeren Kraftaufwand pro Aktuator realisieren.

**[0012]** Insbesondere kann es die Erfindung vorsehen, dass das Greifmittel mindestens zwei Greifmittelelemente, vorzugsweise zwei Klauen, aufweist, die von der Steuereinheit derart ansteuerbar sind, dass das Unterwasserfahrzeug ergreifbar und manövrierbar ist. Dabei ist es insbesondere vorgesehen, dass es sich bei den mindestens zwei Greifmittelelementen des Greifmittels um Soft-Robotic-Komponenten handelt, durch die das Unterwasserfahrzeug auf eine besonders sanfte aber zuverlässige Art und Weise greifbar ist. Bei diesen Komponenten handelt es sich um Greifmittelelemente, die gummiert sind oder aus einem leicht deformierbaren Schaumstoff hergestellt sind und der Funktionsweise einer menschlichen Hand nachempfunden sind. Durch dieses flexible Greifmittel lässt sich das Unterwasserfahrzeug sicher an einer bevorzugten Position ergreifen. Dazu ist es nicht notwendig, dass das Unterwasserfahrzeug entsprechende komplementäre Mittel aufweist, in welche das Greifmittel eingreifen kann.

**[0013]** Ein weiteres besonders bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung kann es vorsehen, dass der Greifarm und die mindestens zwei Greifarmelemente und/oder die Aktuatoren als Compliant-Robotic-Komponenten ausgebildet sind und jeweils über ein Servosteuerungssystem verfügen. Dabei kann es die Erfindung vorsehen, dass der Greifarm und die mindestens zwei Greifarmelemente, die Aktuatoren und das Greifmittel über eine Regelungseinheit und Sensoren verfügen, wobei durch die Sensoren Kräfte, die auf den Greifarm und die mindestens zwei Greifarmelemente, die Aktuatoren und das Greifmittel wirken, messen und wobei anhand von gemessenen Anpressdrücken und Auslenkungskraftmessdaten durch die Regelungseinheit das ergriffene Unterwasserfahrzeug kontrolliert abbremsbar ist. Diese Sensoren können als Kraft- und/oder Drehmomentsensoren innerhalb der Aktuatoren angeordnet sein und müssen direkt die Kräfte, welche den Aktuatoren, bedingt durch den Impuls des Unterwasserfahrzeugs, entgegengesetzt werden, wenigstens kompensieren.

**[0014]** Die Regelungseinheit erfasst die Gesamtheit der auf die Aktuatoren wirkenden Kräfte und ermittelt wenigstens nahezu in Echtzeit die optimale Gegensteuerung bzw. eine optimale Gegenkraft, die durch jeden Aktuator auf die Greifarmelemente und das Greifmittel wirken müssen, um den relativen Impuls zwischen dem Andocksystem und dem Unterwasserfahrzeug auf 0 kg m/s zu reduzieren. Dabei wird durch die Regelungseinheit insbesondere berück-

sichtigt, wie viele Aktuatoren an dem Andockprozess bzw. dem Abbremsen beteiligt sind, welcher Art diese Akkumulatoren sind und wie die Eigenschaften der Greifarmelemente sind. Durch die Kenntnis dieser Informationen und die gemessenen kinematischen bzw. dynamischen Daten des Unterwasserfahrzeugs lässt sich selbiges auf eine besonders effiziente und schnelle Art und Weise abbremsen.

**[0015]** Ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung kann es vorsehen, dass der Basiskörper über mindestens einen Datenspeicher und/oder mindestens einen Energiespeicher, vorzugsweise einen Akkumulator oder eine Batterie, verfügt, wobei dieser mindestens eine Datenspeicher und/oder der mindestens eine Energiespeicher über eine Daten- und/oder Energieleitung mit dem Greifmittel verbunden ist. Dabei ist es insbesondere vorgesehen, dass die Daten- und/oder Energieleitung in den Greifarm integriert ist. Während des Andockprozesses lassen sich so das Unterwasserfahrzeug mit Energie, insbesondere elektrischer Energie, versorgen und gegebenenfalls auch andere Mittel, wie beispielsweise Wasser oder Sedimentproben austauschen. Darüber hinaus können Daten, die von dem Unterwasserfahrzeug während eines Messprozesses aufgenommen werden, auf dem Datenspeicher des Basiskörpers gesichert werden. Dabei ist es denkbar, dass diese Daten direkt weiter an eine Station oberhalb der Wasseroberfläche gesendet werden und das Andocksystem als eine Art Relaisstation funktioniert oder dass die Daten zunächst auf dem Datenspeicher gespeichert werden und später eingesammelt werden. Gleichermaßen ist es denkbar, dass der Energiespeicher des Basiskörpers über ein weiteres Kabel mit einer Versorgungsstation oberhalb der Wasseroberfläche verbunden ist oder dass der Energiespeicher des Andocksystems regelmäßig ausgetauscht oder aufgeladen werden muss. Ein besonderes Ausführungsbeispiel der Erfindung kann es vorsehen, dass sich der Energiespeicher bedingt durch die Wellenbildung oder durch Meeresströmungen selbstständig auflädt und somit unabhängig von einer externen Energieversorgung ist.

**[0016]** Weiter ist es denkbar, dass das Greifmittel mindestens eine Einrichtung zum Transfer von Energie und/oder Daten von oder zu dem Unterwasserfahrzeug aufweist und/oder mindestens ein Mittel zum Austausch von Proben aufweist. So ist es beispielsweise denkbar, dass das Greifmittel eine mechanische Steckverbindung aufweist, welche in eine entsprechende komplementäre Steckvorrichtung des Unterwasserfahrzeugs eingreift. Gleichermaßen ist es denkbar, dass der Daten- und Energieaustausch nahezu kontaktlos induktiv erfolgt. Zum Austausch von Proben ist es denkbar, dass das Greifmittel einzelne Probenbehälter aus einer entsprechenden Vorrichtung des Unterwasserfahrzeugs

entnimmt und gegebenenfalls leere Probenbehälter an das Unterwasserfahrzeug zurückgibt.

**[0017]** Ein Verfahren zur Lösung der eingangs genannten Aufgabe weist die Maßnahmen des Anspruchs 10 auf. Demnach ist es vorgesehen, dass zum Andocken eines Unterwasserfahrzeugs, insbesondere einer Tauchdrohne, eines Unterwasserroboters oder eines U-Boots, an ein Andocksystem gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 10 die Relativbewegung zwischen dem Unterwasserfahrzeug und einem Greifmittel, das an einem Greifarm befestigt ist, mittels mindestens eines Sensors gemessen wird und sodann das Greifmittel zum Ergreifen des sich bewegenden Unterwasserfahrzeugs herangeführt wird. Dabei werden die von dem mindestens einen Sensor aufgenommenen Informationen von einer Steuereinheit oder einer Regelungseinheit analysiert und entsprechende Signale an Aktuatoren des Greifarms bzw. des Greifmittels übermittelt. Die Aktuatoren bewirken, dass das Greifmittel an die Bewegung des Unterwasserfahrzeugs angeglichen wird. Durch dieses gezielte Heranfahren des Greifmittels an das Unterwasserfahrzeug können die oben beschriebenen Probleme der bisherigen Konzepte vermieden werden. Die Erfindung sieht es außerdem vor, dass während des Andockverfahrens Meeresströmungen und Wasserdichten in der unmittelbaren Nähe des Andocksystems gemessen werden und bei der Steuerung des Greifarms und des Greifmittels durch die Steuereinheit beachtet werden. Durch eine sich ändernde Meeresströmung oder eine sich ändernde Wasserdichte und dem damit verbundenen sich ändernden hydrostatischen Auftrieb des gesamten Andocksystems muss das Ansteuerungsverhalten des Greifarms und des Greifmittels angepasst werden. Bei einem Ausführungsbeispiel des Andocksystems, bei dem das System dicht unter der Wasseroberfläche positioniert ist, muss gegebenenfalls auch noch eine Wellenbewegung ausgeglichen werden. Dieses Ausgleichen bzw. Kompensieren von äußeren Einflüssen kann durch eine entsprechende Sensorausstattung erfasst und daraus resultierend eine entsprechende Anpassung der Drehmomente der einzelnen Aktuatoren erfolgen oder durch eine Ansteuerung der Antriebe des Andocksystems.

**[0018]** Bevorzugt kann es das erfindungsgemäße Verfahren vorsehen, dass durch den mindestens einen Sensor kontinuierlich, periodisch oder taktweise die Position, die Geschwindigkeit und die Orientierung des Unterwasserfahrzeugs und von der Steuereinheit die relative Orientierung des Unterwasserfahrzeugs zu dem Greifmittel bestimmt wird. Als weitere erfindungsgemäße Maßnahme ist es dann vorgesehen, dass die Bewegung, die Geschwindigkeit und die Orientierung des Greifmittels an die Bewegung, die Geschwindigkeit und die Orientierung des Unterwasserfahrzeugs angepasst

und nachgeführt wird. Im Folgenden wird sodann das Unterwasserfahrzeug gezielt von dem Greifmittel an einer besonders bevorzugten Position ergriffen, wobei in dieser Position auch Energie und Daten zwischen dem Andocksystem und dem Unterwasserfahrzeug ausgetauscht werden. Außerdem ist es vorgesehen, dass das Unterwasserfahrzeug derart von dem Greifmittel erfasst wird, dass es seine Fahrt nach Beendigung des Andockprozesses besonders energieeffizient fortsetzen kann

**[0019]** Ein besonders vorteilhaftes Ausführungsbeispiel der Erfindung kann es vorsehen, dass nach dem Ergreifen des Unterwasserfahrzeugs durch das Greifmittel Kräfte, die durch das sich bewegende Unterwasserfahrzeug auf das Greifmittel, den Greifarm und die Aktuatoren wirken, durch in den Greifarm, das Greifmittel und/oder die Aktuatoren integrierte Sensoren erfasst werden und durch die Aktuatoren Gegenkräfte erzeugt werden, um das Unterwasserfahrzeug gezielt abzubremsen und zu manövrieren. Dabei ist es vorgesehen, dass die notwendigen Informationen mittels Drehmomentsensoren innerhalb der Aktuatoren gewonnen werden und die Steuereinheit bzw. die Regeleinheit diese Informationen direkt analysiert, um möglichst zeitnah durch die Aktuatoren Gegenkräfte zu erzeugen, die zu einem Abbremsen des Unterwasserfahrzeugs führen.

**[0020]** Bevorzugt kann es vorgesehen sein, dass die translatorische und die rotatorische Bewegung des Unterwasserfahrzeugs durch den Greifarm und das Greifmittel komplett abgebremst werden, wobei dazu sowohl die Aktuatoren des Greifarms als auch des Greifmittels eingesetzt werden. In der Realität stellt es eher die Ausnahme dar, dass das Unterwasserfahrzeug in einer horizontalen Ausrichtung gerade auf das Andocksystem zufährt. Bedingt durch die Meeresströmung und eventuell durch die Steuerung des Unterwasserfahrzeugs nähert sich das Fahrzeug eher schräg und eventuell mit einer Rotationsbewegung dem Andocksystem. Diese komplexe Bewegung kann von den Sensormitteln des Andocksystems erfasst werden. Je nach Impuls des Unterwasserfahrzeugs, der Art bzw. Größe des Andocksystems und der Stellung des Greifarms wird durch die Steuerung bzw. die Regeleinheit ein Signal an die einzelnen Aktuatoren des Greifarms und des Greifmittels übermittelt, um mit abgestimmten Drehmomenten den Impuls des Unterwasserfahrzeugs aufzunehmen und langsam abzubremsen.

**[0021]** Außerdem ist es erfindungsgemäß denkbar, dass der Greifarm und das Greifmittel vor und nach dem Erfassen eines Unterwasserfahrzeugs in eine 0-Stellung geparkt werden, aus der jeder Bereich in einem Arbeitsbereich des Andocksystems schnell erreicht werden kann. Durch dieses Anfahren der 0-

Stellung lässt sich im Mittel jedes anfährende Wasserfahrzeug besonders zeiteffizient erfassen.

**[0022]** Ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung kann es vorsehen, dass das Andocksystem an einer festen Position auf dem Meeresboden verankert wird oder eine bestimmte Position in einer Wassersäule hält. Das Verankern des Andocksystems auf dem Meeresboden ist besonders vorteilhaft, da dadurch der relative Fixpunkt des Basiskörpers unabhängig von etwaigen Meeresströmungen eine feste Position beibehält. Dazu ist es denkbar, dass an dem Basiskörper Verankerungselemente beweglich angeordnet sind, die auf dem Meeresboden absetzbar oder verankerbar sind. Bei besonders großen Meerestiefen oder für entsprechende Einsätze kann es aber auch vorteilhaft sein, wenn das Andocksystem eine feste Position innerhalb einer Wassersäule hält. Um diese Position zu halten, ist es denkbar, dass dem Basiskörper mehrere Antriebe, wie beispielsweise Propeller oder Düsen, zugeordnet sind, durch welche etwaige Meeresströmungen oder Änderungen im Auftrieb kompensierbar sind. Im Bedarfsfall oder für den Austausch von Energie bzw. Daten ist es außerdem denkbar, dass für beide Fälle der Basiskörper über eine Leitung bzw. über ein Befestigungsmittel mit einer Basisstation unterhalb oder oberhalb der Wasseroberfläche verbunden ist.

**[0023]** Schließlich stellt es auch ein mögliches Ausführungsbeispiel der Erfindung dar, dass das Andockverfahren des Unterwasserfahrzeugs vollständig automatisiert erfolgt oder halbautomatisch oder manuell von einer Bedienperson gesteuert wird, vorzugsweise durch eine Virtual-Reality Brille und/oder einen Roboterhandschuh. Zum vollautomatisierten Andocken tauscht das Unterwasserfahrzeug mit der Steuereinheit des Andocksystems Daten aus, um das Anfahren des Unterwasserfahrzeugs und das Positionieren des Greifarms zu koordinieren. Dieser Datenaustausch kann über Funk oder durch akustische Signale erfolgen. Gleichmaßen ist es denkbar, dass das Andocksystem mit dem Unterwasserfahrzeug nach dem Ergreifen induktiv über das Greifmittel kommuniziert.

**[0024]** Ein mögliches Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnung wiedergegeben. In dieser zeigen:

**Fig. 1** eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines Andocksystems,

**Fig. 2** eine schematische Darstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels des Andocksystems,

**Fig. 3** eine schematische Darstellung eines Arbeitsbereiches des Andocksystems,

**Fig. 4** die relative Ausrichtung eines Greifarms zu einem Unterwasserfahrzeug zu einer Zeit  $T_0$ ,

**Fig. 5** die relative Ausrichtung des Greifarms zu dem Unterwasserfahrzeug zu einer Zeit  $T_1$ ,

**Fig. 6** die relative Ausrichtung des Greifarms zu dem Unterwasserfahrzeug zu einer Zeit  $T_2$ , und

**Fig. 7** die relative Ausrichtung des Greifarms zu dem Unterwasserfahrzeug zu einer Zeit  $T_3$ .

**[0025]** In den **Fig. 1** und **2** sind zwei mögliche Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Andocksystems 10 für Unterwasserfahrzeuge 16 dargestellt. Es sei allerdings ausdrücklich darauf hingewiesen, dass der Schutzbereich der vorliegenden Erfindung nicht auf diese Ausführungsbeispiele eingeschränkt ist. Vielmehr sollen diese Figuren das erfindungsgemäße Prinzip skizzieren.

**[0026]** Das Andocksystem 10 besteht im Wesentlichen aus einer Basiskörper 11 und einem Greifarm 12, der mit einem ersten Ende 13 beweglich an dem Basiskörper 11 befestigt ist und mit einem zweiten Ende 14 mit einem Greifmittel 15 verbunden ist. Es sind aber auch Ausführungsformen denkbar, bei denen dem Basiskörper 11 mehrere Greifarme 12 zugeordnet sind. Erfindungsgemäß ist es nun vorgesehen, dass das Andocksystem 10 über den Greifarm 12 und das Greifmittel 15 ein Unterwasserfahrzeug 16 ergreifen und abbremsen kann. Bei diesem Unterwasserfahrzeug 16, das mit einem Impuls ungleich 0 kg m/s auf das Andocksystem 10 zufährt, kann es sich um eine Tauchdrohne, einen Unterwasserroboter oder ein andersartig ausgebildetes U-Boot handeln.

**[0027]** Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß der **Fig. 1** ist der Basiskörper 11 über Verankerungsmittel 17 auf einem Meeresboden 18 verankerbar. Dabei ist es denkbar, dass die stützenartigen Verankerungsmittel 17 einfach auf dem Meeresboden 18 abgesetzt werden oder sich in den Meeresboden 18 hineingraben. Es ist denkbar, dass diese Verankerungsmittel 17 aus mehreren Elementen bestehen, sodass etwaige Unebenheiten auf dem Meeresboden derart ausgeglichen werden können, dass der Basiskörper 11 relativ zu einer Horizontale aufrecht steht.

**[0028]** Alternativ ist es, wie in der **Fig. 2** dargestellt, denkbar, dass der Basiskörper 11 über mehrere Antriebe 19 verfügt. Bei diesen Antrieben 19 kann es sich beispielsweise um Propeller oder Düsen handeln, die an verschiedenen Positionen an einer Außenhülle 22 des Basiskörpers 11 angeordnet sind. Durch eine entsprechende Steuerung lassen sich der Basiskörper 11 bzw. das gesamte Andocksystem 10 durch diese Antriebe 19 stets an der gleichen Position relativ zu einem Meeresboden halten. Dabei lassen sich insbesondere Störungen durch Meeresströmungen oder sich ändernde Auftriebsbe-

dingungen kompensieren. Es ist denkbar, dass das Andocksystem 10 über diese Antriebe 19 auch seine Höhe ändert bzw. auf- und abtauchen kann. Zusätzlich ist es denkbar, dass für beide Ausführungsbeispiele der Basiskörper 11 eine Halterung 20 aufweist, mit der beispielsweise eine Kette oder ein Seil zum Positionieren oder Bergen des Andocksystems 10 befestigbar ist.

**[0029]** In dem Basiskörper 11 selbst können eine Steuereinheit 21, ein Energiespeicher, ein Datenspeicher, eine Regelungseinheit, Mittel zur Kommunikation, insbesondere ein Sender und ein Empfänger, sowie weitere Antriebe angeordnet sein. Außerdem ist die Hülle 22 des Basiskörpers 11 ausreichend stabil, um auch hohen Wasserdrücken standhalten zu können. Alternativ ist es auch denkbar, dass der Basiskörper 11 keine feste Hülle 22 aufweist, sondern als Rahmenstruktur ausgebildet ist. Dabei sind innerhalb dieser Rahmenstruktur die genannten Komponenten angeordnet.

**[0030]** Bei dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel befindet sich an der Hülle 22 des Basiskörpers 11 der Greifarm 12. Dieser Greifarm 12 setzt sich im Wesentlichen aus zwei Greifarmelementen 23 und 24 zusammen. Diese beiden Greifarmelemente 23 und 24 sind über einen Aktuator 26 miteinander verbunden. Außerdem ist das Greifelement 23 über einen weiteren Aktuator 25 mit dem Basiskörper 11 verbunden und das Greifarmelement 24 über einen Aktuator 27 mit dem Greifmittel 15. Bei diesen Aktuatoren 25, 26, 27 kann es sich um Gelenkaktuatoren oder Linearantriebe handeln. Insbesondere ist es denkbar, dass die Aktuatoren 25 und 27 als Gelenkaktuatoren und der Aktuator 26 als Linearantrieb ausgebildet sind. Durch eine Ansteuerung dieser Aktuatoren 25, 26, 27 lässt sich der Greifarm 12 derart im Raum bewegen, dass mit dem Greifmittel jede Position innerhalb eines Arbeitsbereichs 28 erreichbar ist (**Fig. 3**). Bei dem in der **Fig. 3** dargestellten Beispiel für den Arbeitsbereich 28 kann es sich um eine Halbkugel handeln bzw. einen hemisphärischen Halbraum. Es ist aber auch denkbar, dass der Aktionsradius des Greifarms 12 größer als diese Halbkugel ist.

**[0031]** Über den Aktuator 27 ist der Greifarm 12 bzw. das Greifarmelement 24 mit dem Greifmittel 15 verbunden. Dieses Greifmittel 15 weist gemäß dem hier beispielhaft dargestellten Ausführungsbeispiel zwei klammer- oder klauenartige Greifmittelelemente 29 auf. Diese Greifmittelelemente 29 können jeweils zweigliedrig ausgebildet sein, um das Unterwasserfahrzeug 16 handartig ergreifen zu können. Bei der erfindungsgemäßen Ausgestaltung des Greifmittels 15 braucht das Unterwasserfahrzeug 16 nicht unbedingt eine bevorzugte Position aufzuweisen, an der dieses ergriffen werden kann. Vielmehr ist es vorgesehen, dass das Greifmittel 15 das Unterwasserfahr-

zeug 16 an nahezu jeder beliebigen Position ergreifen kann. Dazu ist es vorgesehen, dass die Greifmittelelemente 29 als Soft-Robotic-Komponenten ausgebildet sind. Die Greifmittelelemente 29 sind demnach flexibel bzw. gummiartig und aus einem leicht deformierbaren Material ausgebildet und können zusätzlich noch Sensoren aufweisen, über welche der Andruck bzw. die Kraft, mit der auf das Unterwasserfahrzeug 16 gedrückt wird, messbar ist. In Abhängigkeit von dieser ermittelten Kraft kann der auf das Unterwasserfahrzeug 16 wirkende Andruck noch erhöht, verringert oder konstant gehalten werden. Gleichmaßen ist es denkbar, dass über die Greifmittelelemente 29 ermittelt wird, wo das Unterwasserfahrzeug 16 ergriffen wurde.

**[0032]** Das hier beispielhaft dargestellte Unterwasserfahrzeug 16 ist als u-bootartige Einheit dargestellt. Letztendlich ist es aber für die Erfindung vollkommen irrelevant wie dieses Unterwasserfahrzeug 16 ausgebildet ist. Es ist vielmehr ausschlaggebend, dass dieses Unterwasserfahrzeug 16 einen eigenen Antrieb aufweist und soweit manövrierfähig ist, um auf das Andocksystem 10 zuzufahren.

**[0033]** In den Fig. 4 bis 7 ist die erfindungsgemäße Funktionsweise des Andocksystems 10 und insbesondere des Greifarms 12 zu vier verschiedenen Zeitpunkten  $T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_2$  und  $T_3$  dargestellt, wobei  $T_0$  den Zeitpunkt vor dem Ergreifen des Unterwasserfahrzeugs 16 darstellt und  $T_3$  den Zeitpunkt nach dem Ergreifen. Letztendlich ist es das Ziel des Greifarms 12 die Relativgeschwindigkeit zwischen dem Andocksystem 10 und dem Unterwasserfahrzeug 16 auf 0 km m/s zu reduzieren bzw. abzubremesen.

**[0034]** Durch die Aktuatoren 25, 26, 27 können gesteuert durch die Steuereinheit oder eine Regelung Drehmomente  $M_A$ ,  $M_B$  und  $M_C$  auf die Greifarmelemente 23 und 24 sowie auf das Greifmittel 15 übertragen werden. Durch die Aktuatoren 25, 26, 27 lassen sich somit die Greifarme 23 und 24 und das Greifmittel 15 dementsprechend gemäß den in Fig. 4 dargestellten Pfeilen 30, 31, 32 verschwenken. Dabei sei darauf hingewiesen, dass dieses Verschwenken nicht nur in der zweidimensionalen Blattebene erfolgt, sondern im dreidimensionalen Raum. Zusätzlich können durch den Aktuator 27 oder durch einen zusätzlichen nicht dargestellten Aktuator die Greifmittelelemente 29 in Pfeilrichtung 33 bewegt werden.

**[0035]** Das Unterwasserfahrzeug 16 nähert sich nun mit der Masse  $m$  und der Geschwindigkeit  $v_{m,0}$  dem Andocksystem 10. Dabei ist es denkbar, dass die Geschwindigkeit  $v_{m,0}$  mehrere Geschwindigkeitsvektoren im dreidimensionalen Raum aufweist. Außerdem ist es denkbar, dass das Unterwasserfahrzeug um seinen Schwerpunkt 34 rotiert. Diese Bewegungen sind durch nicht dargestellte Sensoren an dem

Basiskörper 11 oder dem Greifarm 12 messbar. Darüber hinaus ist es denkbar, dass durch das Unterwasserfahrzeug 16 Informationen hinsichtlich der Geschwindigkeit und der Richtung, mit der sich das Unterwasserfahrzeug 16 dem Andocksystem 10 nähert, an das Andocksystem 10 übermittelt werden. Sobald das Andocksystem 10 diese Informationen gemessen oder erhalten hat, wird der Greifarm 12 mitsamt dem Greifmittel 15 in Richtung des Unterwasserfahrzeugs 16 bewegt und an die Geschwindigkeit  $v_{m,0}$  angeglichen (Fig. 5). Zu diesem Zeitpunkt  $T_1$  ist die Geschwindigkeit  $v_{C,1}$  des Greifmittels 15 gleich der Geschwindigkeit  $v_{m,0}$  bzw.  $v_{m,1}$  des Unterwasserfahrzeugs 16. Für dieses Heranfahren des Greifmittels 15 an das Unterwasserfahrzeug 16 werden die Aktuatoren 25, 26, 27 entsprechend angesteuert.

**[0036]** Im nächsten Schritt gemäß Fig. 6 zum Zeitpunkt  $T_2$  wird das Unterwasserfahrzeug 16 von dem Greifmittel 15 erfasst. Die Steuereinheit 21 bzw. die Regeleinheit misst nun die Kraft bzw. den Impuls, den das sich bewegende Unterwasserfahrzeug 16 auf das Greifmittel 15 bzw. den Greifarm 12 ausübt. Dazu sind in den Aktuatoren 25, 26 und 27 entsprechende Sensoren angeordnet. Durch diese Sensoren lässt sich die Krafteinwirkung auf den Greifarm 12 durch das Unterwasserfahrzeug 16 messen. Basierend auf diesen Daten wird durch die Steuereinheit 21 eine Gegenkraft bestimmt, mit der das Unterwasserfahrzeug 16 durch den Greifarm 12 abgebremst wird. Dazu werden die Aktuatoren 25, 26, 27 mit den entsprechenden Drehmomenten  $M_A$ ,  $M_B$ ,  $M_C$  beaufschlagt. Die Geschwindigkeit  $v_{C,2}$  des Greifmittels 15 ist jetzt geringer als die vorherige Geschwindigkeit  $v_{C,1}$  bzw. die ursprüngliche Geschwindigkeit  $v_{m,0}$  des Unterwasserfahrzeugs 16.

**[0037]** Durch dieses Abbremsen des Unterwasserfahrzeugs 16 durch eine fortwährende Messung der Impulsübertragung des Unterwasserfahrzeugs 16 auf den Greifarm 12 und der Regelung der Drehmomente  $M_A$ ,  $M_B$ ,  $M_C$  kann die Relativbewegung zwischen dem Andocksystem 10 und dem Unterwasserfahrzeug 16 letztendlich auf 0 m/s reduziert werden (Fig. 7). Gleichzeitig ist der Eigenantrieb des Unterwasserfahrzeugs 16 abzuschalten. Die Art und die Geschwindigkeit, mit der das Abbremsen erfolgt, kann voreingestellt werden bzw. hängt von dem Anfangsimpuls des Unterwasserfahrzeugs 16 ab.

**[0038]** Während des Andockens des Unterwasserfahrzeugs 16 an das Andocksystem 10 lassen sich das Unterwasserfahrzeug 16 über nicht dargestellte Energieleitungen oder Datenleitungen mit Energie versorgen bzw. Daten austauschen oder Daten an den Speicher in dem Basiskörper 11 übertragen. Die Übertragung von Energie und/oder Daten von dem Unterwasserfahrzeug 16 auf das Greifmittel 15 kann über ein nicht dargestelltes Steckmittel oder

induktiv also kontaktlos erfolgen. Die Leitungen zur Übertragung von Energie oder Daten können in den Greifarm 12 integriert sein.

**[0039]** Alternativ zu dem hier dargestellten zweigliedrigen Greifarm 12 ist es auch denkbar, dass der Greifarm 12 mehrere Elemente 23, 24 aufweist. Dementsprechend ist auch die Anzahl der einzelnen Aktuatoren zu vergrößern. Dadurch lässt sich der Impuls des Unterwasserfahrzeugs 16 auf mehrere Greifarmelemente 23, 24 und Aktuatoren verteilen, wodurch letztendlich die Baugröße der einzelnen Elemente reduziert werden kann.

**[0040]** Zum Aufladen des Unterwasserfahrzeugs 16 mit Energie und für den Austausch von Daten kann das Unterwasserfahrzeug 16 in einer bevorzugten Stellung relativ zu dem Basiskörper 11 gehalten werden, um die Energie für die Positionshaltung zu reduzieren. So wird das Unterwasserfahrzeug 16 vorzugsweise so ausgerichtet, dass es entgegen der Strömungsrichtung des Gewässers steht.

### Patentansprüche

1. Andocksystem (10) für ein Unterwasserfahrzeug (16), insbesondere eine Tauchdrohne, einen Unterwasserroboter oder ein U-Boot, mit einem tauchfähigen Basiskörper (11) und mindestens einem Greifarm (12), der an einem ersten Ende (13) einen Aktuator (25) aufweist, mit dem der Greifarm (12) beweglich an dem Basiskörper (11) befestigt ist und der an einem zweiten Ende (14) einen weiteren Aktuator (27) aufweist, an dem ein Greifmittel (15) zum Erfassen des Unterwasserfahrzeugs (16) angeordnet ist, wobei der Greifarm (12) aus mindestens zwei Greifarmelementen (23, 24) zusammengesetzt ist, die durch mindestens einen weiteren Aktuator (26) miteinander verbunden und relativ zueinander bewegbar sind und mit mindestens einem Sensor zum Erfassen des Unterwasserfahrzeugs (16), wobei die von dem mindestens einen Sensor ermittelten Informationen von einer dem Basiskörper (11) zugeordneten Steuereinheit (21) verarbeitbar sind und der Greifarm (12) und das Greifmittel (15) in Abhängigkeit von den Informationen von der Steuereinheit (21) steuerbar sind, wobei an dem Basiskörper (11) und/oder an dem Greifmittel (15) ein Strömungs- und/oder Dichtesensor befestigt ist.

2. Andocksystem (10) für ein Unterwasserfahrzeug (16) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Aktuatoren (25, 26, 27) als Gelenkaktuatoren und/oder als Linearantriebe ausgebildet sind.

3. Andocksystem (10) für ein Unterwasserfahrzeug (16) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Greifmittel (15) mindes-

tens zwei Greifmittelelemente (29), vorzugsweise zwei Klauen, aufweist, die von der Steuereinheit (21) derart ansteuerbar sind, dass das Unterwasserfahrzeug (16) ergreifbar und manövrierbar ist.

4. Andocksystem (10) für ein Unterwasserfahrzeug (16) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens zwei Greifmittelelemente (29) des Greifmittels (15) als Soft-Robotic-Komponente ausgebildet sind, mit denen das Unterwasserfahrzeug (16) ergreifbar und manövrierbar ist.

5. Andocksystem (10) für ein Unterwasserfahrzeug (16) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Greifarm (12) und die mindestens zwei Greifarmelemente (23, 24) und/oder die Aktuatoren (25, 26, 27) als Compliant-Robotic-Komponenten ausgebildet sind und jeweils über ein Servosteuerungssystem verfügen.

6. Andocksystem (10) für ein Unterwasserfahrzeug (16) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Greifarm (12) und die mindestens zwei Greifarmelemente (23, 24), die Aktuatoren (25, 26, 27) und das Greifmittel (15) über eine Regelungseinheit und Sensoren verfügen, wobei durch die Sensoren Kräfte, die auf den Greifarm (12) und die mindestens zwei Greifarmelemente (23, 24), die Aktuatoren (25, 26, 27) und das Greifmittel (15) wirken, gemessen werden und wobei anhand von gemessenen Anpressdruck- und Auslenkungskraftmessdaten durch die Regelungseinheit das ergriffene Unterwasserfahrzeug (16) kontrolliert abbrembar ist.

7. Andocksystem (10) für ein Unterwasserfahrzeug (16) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Basiskörper (11) ein Verankerungsmittel (17) zur temporären Verankerung im Meeresboden (18) und/oder einen Antrieb zum Manövrieren und zur Positionsstabilisierung aufweist.

8. Andocksystem (10) für ein Unterwasserfahrzeug (16) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Basiskörper (11) über mindestens einen Datenspeicher und/oder mindestens einen Energiespeicher, vorzugsweise einen Akkumulator oder eine Batterie, verfügt, wobei dieser mindestens eine Datenspeicher und/oder der mindestens eine Energiespeicher über eine Daten- und/oder Energieleitung mit dem Greifmittel (15) verbunden ist.

9. Andocksystem (10) für ein Unterwasserfahrzeug (16) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Greifmittel (15) mindestens eine Einrichtung zum Transfer von Energie und/oder Daten von oder zu dem Unterwas-



serfahrzeug (16) aufweist und/oder mindestens ein Mittel zum Austausch von Proben.

10. Verfahren zum Andocken eines Unterwasserfahrzeugs (16), insbesondere einer Tauchdrohne, eines Unterwasserroboters oder eines U-Boots, an ein Andocksystem (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 9 mit einem tauchfähigen Basiskörper (11) und mindestens einem Greifarm (12), der an einem ersten Ende (13) einen Aktuator (25) aufweist, mit dem der Greifarm (12) beweglich an dem Basiskörper (11) befestigt ist und der an einem zweiten Ende (14) einen weiteren Aktuator (27) aufweist, an dem ein Greifmittel (15) zum Erfassen des Unterwasserfahrzeugs (16) angeordnet ist, wobei der Greifarm (12) aus mindestens zwei Greifarmelementen (23, 24) zusammengesetzt ist, die durch mindestens einen weiteren Aktuator (26) miteinander verbunden und relativ zueinander bewegbar sind und mit mindestens einem Sensor, durch den das Unterwasserfahrzeug (16) erfasst wird, wobei die von dem mindestens einen Sensor ermittelten Informationen von einer dem Basiskörper (11) zugeordneten Steuereinheit (21) verarbeitet werden und der Greifarm (12) und das Greifmittel (15) in Abhängigkeit von den Informationen von der Steuereinheit (21) gesteuert werden, um das Unterwasserfahrzeug (16) zu erfassen und abzubremesen, wobei während des Andockverfahrens Meeresströmungen und Wasserdichten in der unmittelbaren Nähe des Andocksystems (10) gemessen und bei der Steuerung des Greifarms (12) und des Greifmittels (15) durch die Steuereinheit (21) beachtet werden.

11. Verfahren zum Andocken eines Unterwasserfahrzeugs (16) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch den mindestens einen Sensor kontinuierlich, periodisch oder taktweise die Position, die Geschwindigkeit und die Orientierung des Unterwasserfahrzeugs (16) bestimmt und von der Steuereinheit (21) die relative Orientierung des Unterwasserfahrzeugs (16) zu dem Greifmittel (15) bestimmt wird.

12. Verfahren zum Andocken eines Unterwasserfahrzeugs (16) nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bewegung, die Geschwindigkeit und die Orientierung des Greifmittels (15) an die Bewegung, die Geschwindigkeit und die Orientierung des Unterwasserfahrzeugs (16) angepasst und angepasst wird.

13. Verfahren zum Andocken eines Unterwasserfahrzeugs (16) nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Unterwasserfahrzeug (16) gezielt von dem Greifmittel (15) an einer besonders bevorzugten Position ergriffen wird, wobei in dieser Position auch Energie und Daten zwischen dem Andocksystem (10) und dem Unterwasserfahrzeug (16) ausgetauscht werden

und aus der das Unterwasserfahrzeug (16) vorzugsweise wieder schnell das Andocksystem (10) verlassen kann.

14. Verfahren zum Andocken eines Unterwasserfahrzeugs (16) nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach dem Erreichen des Unterwasserfahrzeugs (16) durch das Greifmittel (15) Kräfte, die durch das sich bewegende Unterwasserfahrzeug (16) auf das Greifmittel (15), den Greifarm (12) und die Aktuatoren (25, 26, 27) wirken, durch in den Greifarm (12), das Greifmittel (15) und/oder die Aktuatoren (25, 26, 27) integrierte Sensoren erfasst werden und durch die Aktuatoren (25, 26, 27) Gegenkräfte erzeugt werden, um das Unterwasserfahrzeug (16) gezielt abzubremesen.

15. Verfahren zum Andocken eines Unterwasserfahrzeugs (16) nach einem der Ansprüche 10 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die translatorische und die rotatorische Bewegung des Unterwasserfahrzeugs (16) durch den Greifarm (12) und das Greifmittel (15) komplett abgebremst werden, wobei dazu sowohl die Aktuatoren (25, 26, 27) des Greifarms (12) als auch des Greifmittels (15) eingesetzt werden.

16. Verfahren zum Andocken eines Unterwasserfahrzeugs (16) nach einem der Ansprüche 10 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Greifarm (12) und das Greifmittel (15) vor und nach dem Erfassen eines Unterwasserfahrzeugs (16) in einer Ausgangstellung geparkt werden, aus der jeder Punkt in einem Arbeitsbereich des Andocksystems (10) schnell erreicht werden kann.

17. Verfahren zum Andocken eines Unterwasserfahrzeugs (16) nach einem der Ansprüche 10 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Andocksystem (10) an einer festen Position auf dem Meeresboden (18) verankert wird oder eine bestimmte Position in einer Wassersäule hält.

18. Verfahren zum Andocken eines Unterwasserfahrzeugs (16) nach einem der Ansprüche 10 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Andockverfahren des Unterwasserfahrzeugs (16) vollständig automatisiert erfolgt, halbautomatisch oder manuell von einer Bedienperson gesteuert wird, vorzugsweise durch eine virtual reality Brille und/oder einen Roboterhandschuh.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

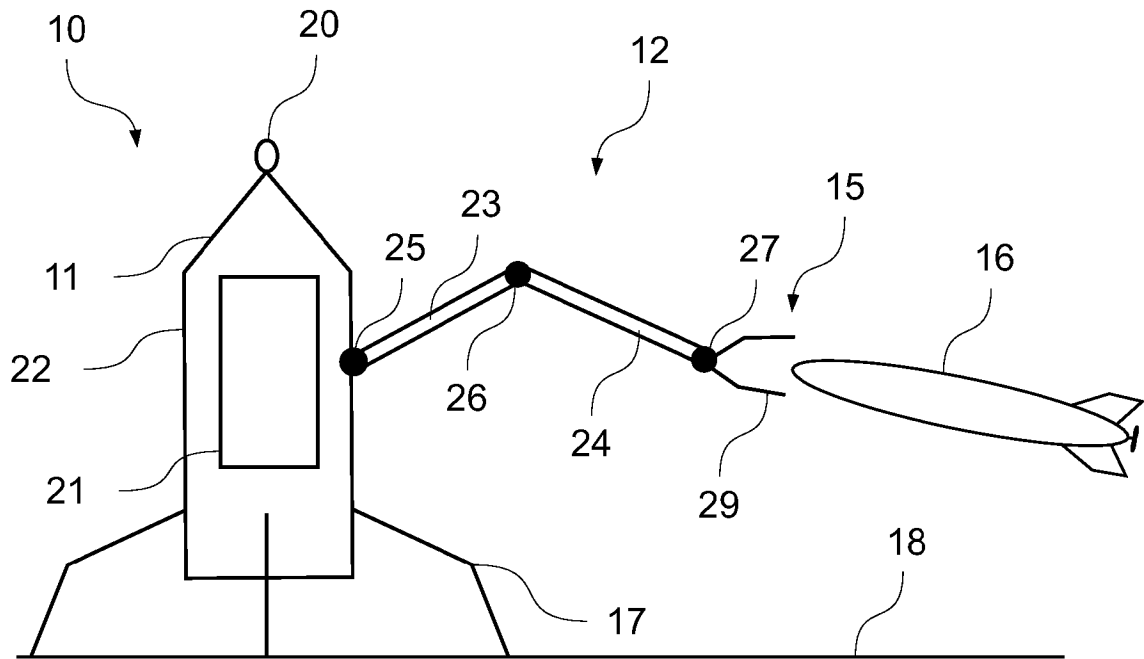


Fig. 1

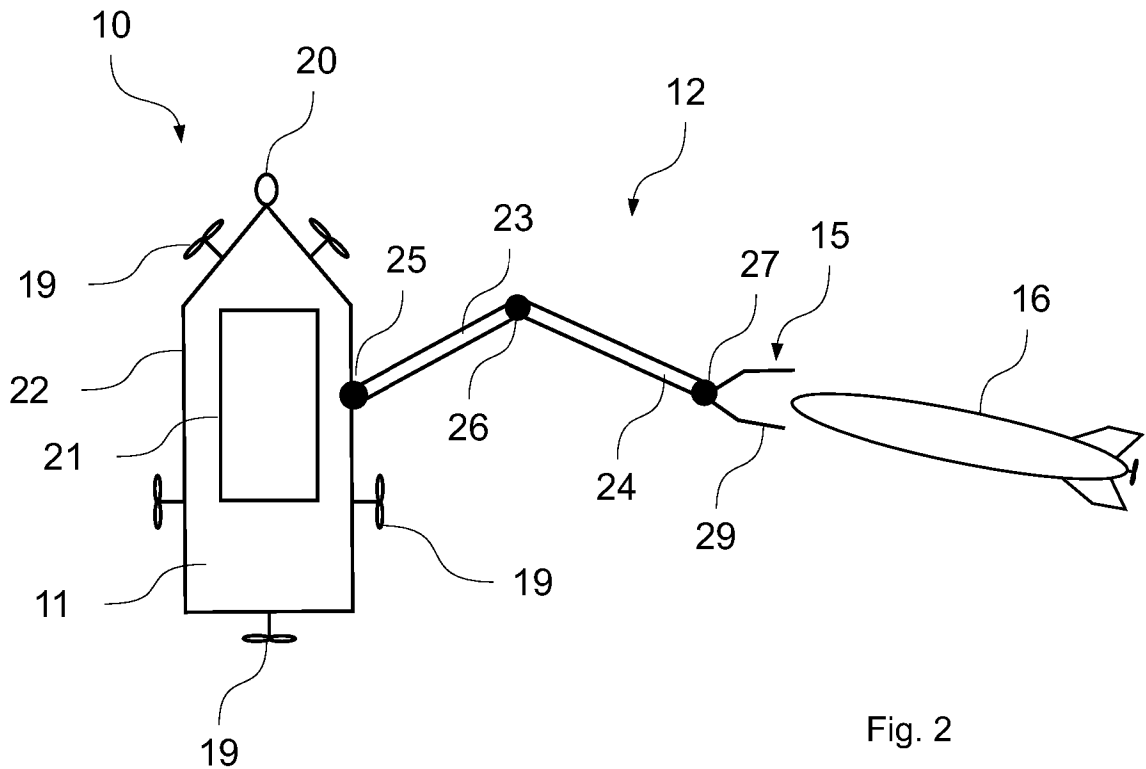


Fig. 2

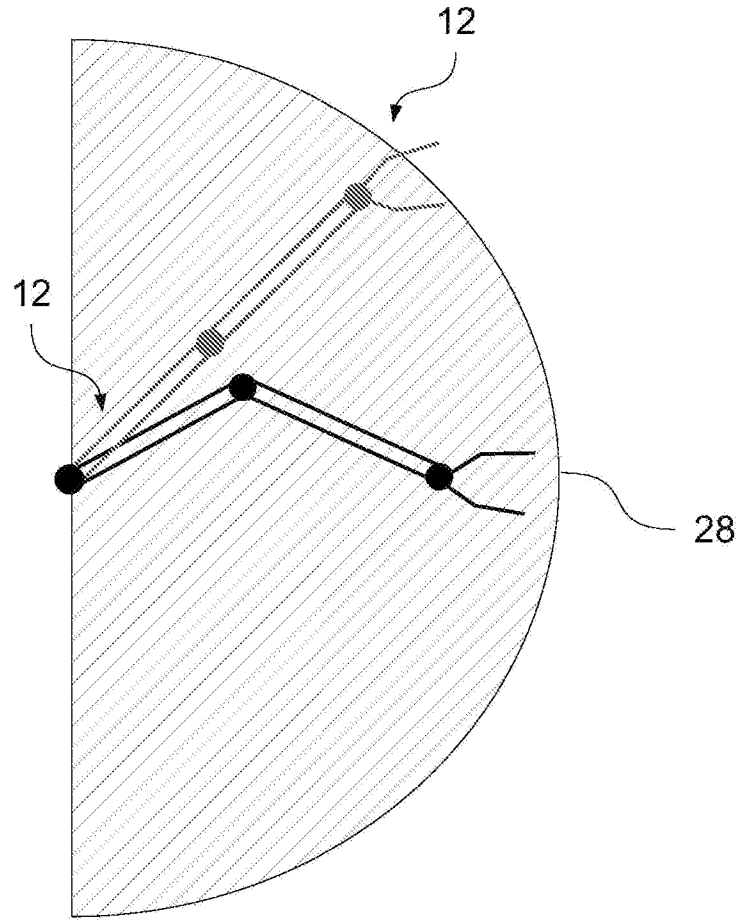


Fig. 3

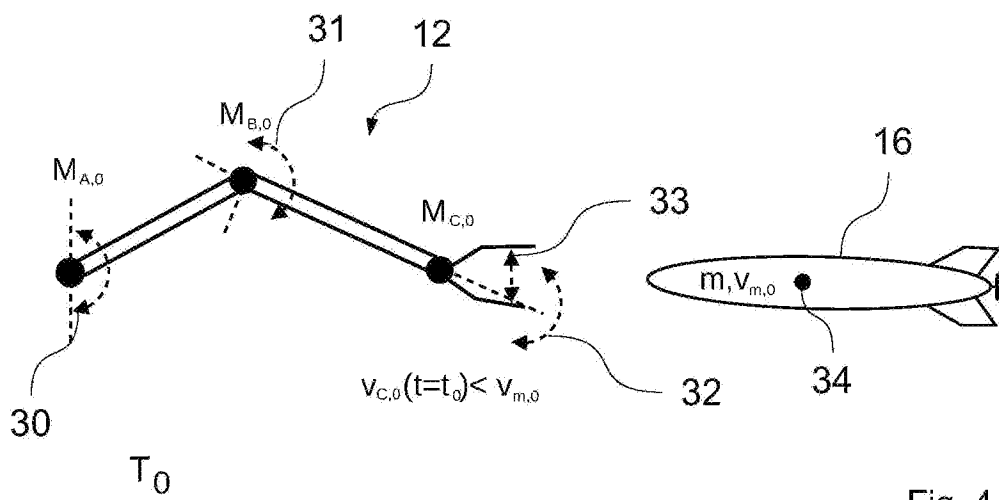


Fig. 4

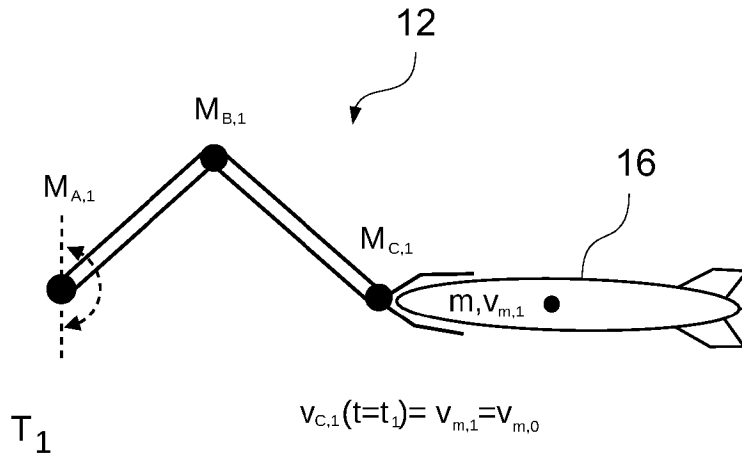


Fig. 5

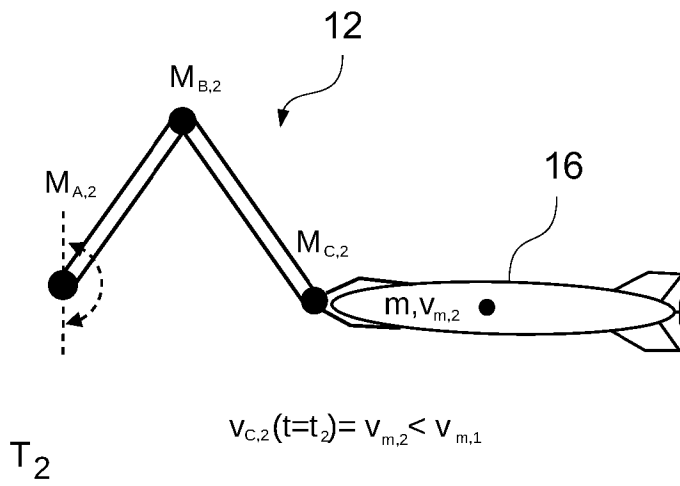


Fig. 6

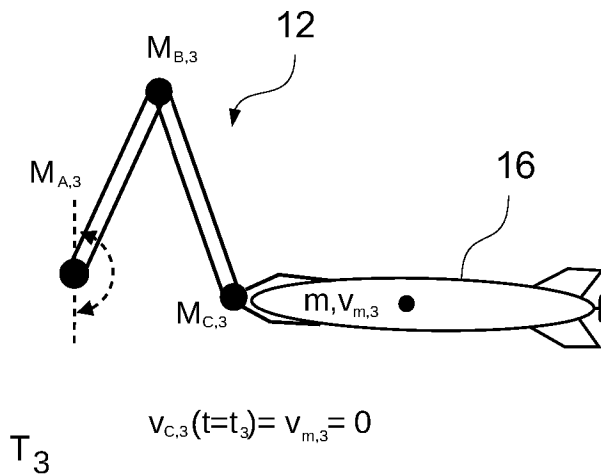


Fig. 7