

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
07. April 2022 (07.04.2022)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2022/068985 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:

B25J 15/00 (2006.01) *B25J 9/16* (2006.01)
B25J 15/06 (2006.01) *B25J 19/02* (2006.01)
B25J 13/08 (2006.01)

EINGETRAGENER VEREIN [DE/DE]; Hansastraße
27c, 80686 München (DE). **IDH TECHNISCHE PRO-
DUKTE GMBH** [DE/DE]; Meeraner Straße 25, 08371
Glauchau (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2021/000162

(22) Internationales Anmeldedatum:
29. September 2021 (29.09.2021)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2020 006 157.5
29. September 2020 (29.09.2020) DE

(71) Anmelder: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG**

(72) Erfinder: **RICHTER-TRUMMER, Valentin**; Reichen-
hainer Straße 88, 09126 Chemnitz (DE). **UNGER, Erik**;
Reichenhainer Straße 88, 09126 Chemnitz (DE). **JÄGER,
Erik**; Reichenhainer Straße 88, 09126 Chemnitz (DE).
SCHAFFRATH, Robert; Neue Reichenbacher Straße 30,
08496 Neumark (DE). **OLIJNYK, Tobias**; Bachstraße 14,
08396 Waldenburg (DE).

(74) Anwalt: **FINDEISEN NEUMANN SCHEIT PART-
NERSCHAFT MBB**; Pornitzstraße 1, 09112 Chemnitz
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

(54) Title: METHOD FOR HOLDING AN OBJECT WITH A GRIPPER AND ASSOCIATED GRIPPER

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM HALTEN EINES OBJEKTES MIT EINEM GREIFER UND EIN DIESBEZÜGLICHER
GREIFER

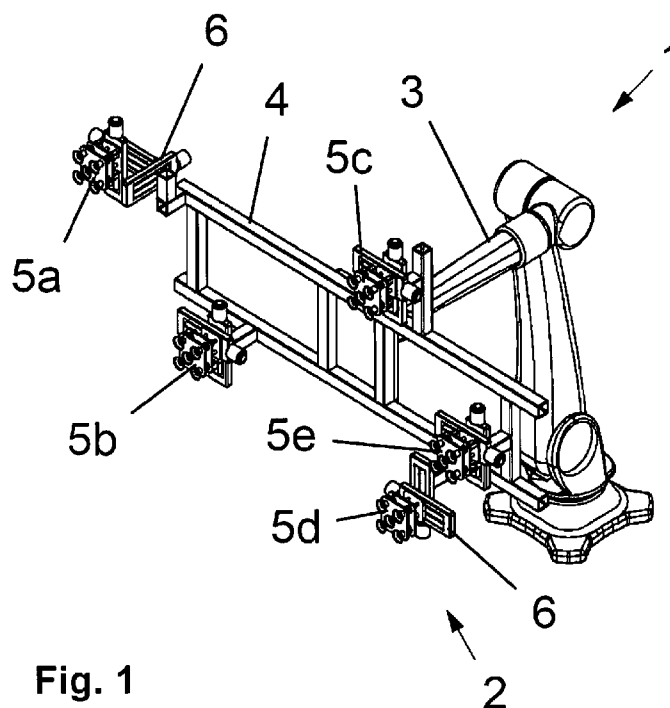


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method for holding an object with a gripper, wherein the gripper has at least one gripper element assembly with a plurality of gripper elements and wherein the gripper elements, to generate a holding force between the gripper and object, have a device for generating an adhesive force between the gripper elements bearing on the object and the object. The invention addresses the problem of creating a method for holding an object with a suction gripper such that the suction gripper can be independent of a compressed-air supply and at the same time a predefined minimum holding force is provided over a long period. The problem is solved in that, when the object is being held by the gripper, in a first part of the plurality of gripper elements (7), the adhesive force between these gripper elements (7) and the object is released in a secondary gripping procedure and subsequently these



WO 2022/068985 A2



AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

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

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

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

Veröffentlicht:

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

gripper elements (7) or a part of the released gripper elements (7) are attached to the object again with renewed development of the adhesive force, and the remaining part of the plurality of gripper elements (7) is attached to the object in a holding procedure during the release and renewed attachment of the first part of the plurality of gripper elements (7) on account of the adhesive force applied between the gripper elements (7) of the remaining part and the object.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Halten eines Objektes mit einem Greifer, wobei der Greifer zumindest einen Greiferelementeverbund mit einer Mehrzahl an Greiferelementen aufweist und wobei die Greiferelemente zur Erzeugung einer Haltekraft zwischen Greifer und Objekt eine Einrichtung zur Erzeugung einer Haftkraft zwischen den an dem Objekt anliegenden Greiferelementen und dem Objekt aufweisen. Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zum Halten eines Objektes mit einem Sauggreifer zu schaffen, sodass der Sauggreifer unabhängig von einer Druckluftversorgung sein kann und gleichzeitig eine vorgegebene Mindesthaltekraft über einen langen Zeitraum bereitgestellt wird. Die Aufgabe wird dadurch gelöst, dass beim Halten des Objektes mit dem Greifer bei einem ersten Teil der Mehrzahl der Greiferelemente (7) in einer Nachgreifprozedur die Haftkraft zwischen diesen Greiferelementen (7) und dem Objekt gelöst wird und anschließend diese Greiferelemente (7) oder ein Teil der gelösten Greiferelemente (7) durch erneuten Aufbau der Haftkraft erneut an dem Objekt angeheftet werden und der verbleibende Teil der Mehrzahl der Greiferelemente (7) in einer Halteprozedur während des Lösens und erneuten Anheftens des ersten Teils der Mehrzahl der Greiferelemente (7) aufgrund der zwischen den Greiferelementen (7) des verbleibenden Teils und dem Objekt anliegenden Haftkraft am Objekt anhaftet.

Verfahren zum Halten eines Objektes mit einem Greifer und ein diesbezüglicher Greifer

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Halten eines Objektes mit einem Greifer, wobei der Greifer zumindest einen Greiferelementeverbund mit einer Mehrzahl an Greiferelementen aufweist und wobei die Greiferelemente zur Erzeugung einer Haltekraft zwischen Greifer und Objekt eine Einrichtung zur Erzeugung einer Haftkraft zwischen den an dem Objekt anliegenden Greiferelementen und dem Objekt aufweisen.

Für die Bewegung von Bauteilen in einer Fertigung werden zunehmend Manipulatoren wie Roboter mit Greifern eingesetzt, welche diese Bauteile aufnehmen und versetzen. Insbesondere im Automobilbau werden aufgrund empfindlicher Oberflächen dieser Bauteile hierzu überwiegend Sauggreifer eingesetzt, wobei diese Sauggreifer üblicherweise mit aus passiven Saugnapfen gebildeten Saugeinheiten ausgestattet sind. Die Saugnapfe dieser Saugeinheiten werden über Vakuumejektoren und einer entsprechenden Druckluftversorgung mit einem Unterdruck beaufschlagt und haften damit an der Oberfläche des Bauteils. Zur Vermeidung des Aufwandes durch die Verlegung und den Betrieb eines Druckluftleitungsnetzes innerhalb einer Fertigung setzen aktuelle Lösungen dabei anstelle einer externen Druckluftversorgung auf eine dezentrale Druckluftversorgung. Aus dem Stand der Technik ist aus WO 2019/114893 A1 ein Sauggreifer bekannt, der über eine lösbare Verbindung mit einem Roboterarm verbindbar ist. Der Sauggreifer weist eine Mehrzahl von Saugnapfen auf, die teilweise an beweglichen Armen des Sauggreifers befestigt sind. Die Druckluftversorgung erfolgt über in dem Sauggreifer integrierte Pumpen. Nachteilig ist hier allerdings, dass entsprechend dimensionierte lokale Pumpen ein erhebliches Zusatzgewicht am Sauggreifer bedeuten, was unter anderem aus dynamischen Gründen nicht empfehlenswert ist. Weiterhin führen im Sauggreifer integrierte Pumpen neben hohen Kosten und großem Wartungsaufwand auch zu Störkonturen im Bauraum.

In der DE 10 2013 015 055 B4 wird vorgeschlagen, anstelle des aus Vakuumejektoren und Druckluftversorgung bestehenden Systems Faltenbälge einzusetzen, welche über eine Leitungssystem mit einem passiven Saugnapf verbunden sind. Über eine elektromotorische Antriebseinheit sind diese Faltenbälge wechselseitig expandierbar, sodass ein Unterdruck am Saugnapf erzeugt werden kann (Verdrängerprinzip). Anders als bei den druckluftbasierten Systemen wird der Unterdruck bei dem in DE 10 2013 015 055 B4 beschriebenen System beim Greifen eines Objektes einmalig aufgebaut und gehalten. Nachteilig ist hier allerdings, dass aufgrund von Undichtigkeiten zwischen Saugnapf und

Oberfläche des zu greifenden Objektes zunehmend Umgebungsluft in den evakuierten Raum des Saugnapfes eindringt und durch den damit verbundenen Druckanstieg im Saugnapf die Haltekraft zwischen Saugnapf und Objekt nachlässt. Da das verdrängbare Volumen in den Faltenbälgen begrenzt ist, besteht nur eine begrenzte Fähigkeit zur Nachsteuerung um Druckverluste auszugleichen. Eine vorgegebene Mindesthaltekraft kann also nur über einen gewissen Zeitraum bereitgestellt werden.

Aus der DE 10 2015 113 553 A1 ist weiterhin ein Greifer bekannt, der Greiferelemente ausweist, die nach dem Gecko-Prinzip arbeiten. Hierzu weisen die Oberflächen der Greiferelemente eine große Anzahl an haarartigen nur wenige μm dicken Verlängerungen auf. Beim Aufsetzen eines Greiferelementes auf die Oberfläche eines zu haltenden Objektes haften die haarartigen Verlängerungen aufgrund von Adhäsionskräften (van-der-Waals-Kräften) an der Oberfläche des Objektes, sodass aufgrund der Vielzahl der haarartigen Verlängerungen eine entsprechende Haftkraft zwischen dem Greiferelement und dem Objekt gebildet wird. Mehrere dieser Greiferelemente erzeugen damit eine aus der Summe der einzelnen Haftkräfte gebildete Haltekraft zum Halten des Objektes am Greifer. Zum Lösen der Greiferelemente werden diese gegenüber der Oberfläche des Objektes verdreht und können abgezogen werden. Durch das Verdrehen des Greiferelementes wird der Auftreffwinkel zwischen den einzelnen haarartigen Verlängerungen und der Oberfläche des Objektes geändert, wodurch die van-der-Waals-Kräfte reduziert werden. Ähnlich wie bei den nach Verdrängerprinzip arbeitenden Saugnapfen besteht aber auch bei den nach dem Gecko-Prinzip arbeitenden Greiferelementen das Problem, dass die Adhäsionskräfte von auf dem Objekt aufliegenden Greiferelementen mit der Zeit nachlassen, da sich einzelne haarartige Verlängerungen nach und nach von der Oberfläche des Objektes lösen. Im Ergebnis kann dann auch hier eine vorgegebene Haltekraft nur über einen bestimmten Zeitraum bereitgestellt werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zum Halten eines Objektes mit einem Greifer zu schaffen, sodass deren Greiferelemente unabhängig von einer Druckluftversorgung sein können und gleichzeitig eine vorgegebene Mindesthaltekraft über einen langen Zeitraum bereitgestellt wird.

Bei einem Greifer, der zumindest einen Greiferelementeverbund mit einer Mehrzahl an Greiferelementen aufweist, wobei über eine Einrichtung zur Erzeugung einer Haftkraft zwischen den an dem Objekt anliegenden Greiferelementen und dem Objekt eine Haltekraft zwischen Greifer und Objekt bereitgestellt wird, wird die Aufgabe dadurch gelöst, dass beim Halten des Objektes mit dem Greifer bei einem ersten Teil der Mehrzahl der Greiferelemente

in einer Nachgreifprozedur die Haftkraft zwischen diesen Greiferelementen und dem Objekt gelöst wird und anschließend diese Greiferelemente oder ein Teil der gelösten Greiferelemente durch erneuten Aufbau der Haftkraft erneut an dem Objekt angeheftet werden und der verbleibende Teil der Mehrzahl der Greiferelemente in einer Halteprozedur während des LöSENS und erneuten Anheften des ersten Teils oder des Teils des ersten Teils der Mehrzahl der Greiferelemente aufgrund der zwischen den Greiferelementen des verbleibenden Teils und dem Objekt anliegenden Haftkraft am Objekt anhaftet.

Durch die Nachgreifprozedur ist ein mögliches Nachlassen der Haftkraft zwischen den Greiferelementen und dem Objekt durch ein partielles erneutes Anheften der Greiferelemente ausgleichbar. Ein Teil der Greiferelemente greifen also zum erneuten Aufbau der Haftkraft nach.

In einer weiteren Ausführung ist vorgesehen, dass nach dem Lösen und erneuten Anheften des ersten Teils oder eines Teils des ersten Teils der Mehrzahl Greiferelemente beim weiteren Halten des Objektes ein zweiter Teil der Mehrzahl der Greiferelemente in der Nachgreifprozedur durch Lösen der Haftkraft zwischen diesen Greiferelementen und dem Objekt vom Objekt gelöst und anschließend dieser zweite Teil oder ein Teil dieses zweiten Teils der Greiferelemente durch erneuten Aufbau der Haftkraft wieder mit dem Objekt verbunden wird und der hierbei verbleibende Teil der Mehrzahl der Greiferelemente in der Halteprozedur während des LöSENS und erneuten Anheften des zweiten Teils oder des Teils des zweiten Teils der Mehrzahl der Greiferelemente über die Haftkraft am Objekt anhaftet. Umfasst der Greiferelementeverbund des Greifers beispielsweise zehn Greiferelemente 1 bis 10, werden als erster Teil beispielsweise die Greiferelemente 1 und 2 gelöst und wieder angeheftet, während die Greiferelemente 3 bis 10 weiter am Objekt haften. Als zweiter Teil werden danach beispielsweise die Greiferelemente 9 und 10 gelöst und wieder angeheftet, wobei die Saugnäpfe 1 bis 8 währenddessen am Objekt haften. Nach dem wieder anheften des zweiten Teils oder des Teils des zweiten Teils kann bei weiteren Teilen der Mehrzahl der Greiferelemente in analoger Weise mit dem Nachgreifen verfahren werden. Im weiteren Verlauf des Haltens des Objektes können bereits gelöste und wieder angeheftete Greiferelemente erneut Nachgreifen. Beim wiederholten Nachgreifen müssen nicht notwendigerweise dieselben Greiferelemente wie beim vorherigen Nachgreifen gruppiert sein. Ausgehend vom oben beschriebenen Beispiel können beim wiederholten Nachgreifen beispielsweise die Greiferelemente 1, 4 und 6 für die Nachgreifprozedur gruppiert werden. Anschließend könnten die Greiferelemente 7 und 10 erneut nachgreifen. Die Anzahl der jeweils im ersten, zweiten und allen weiteren Teilen gruppierten Greiferelemente muss auch nicht notwendigerweise immer gleich sein.

Als vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens werden nach dem erneuten Anheften des Teils des ersten Teils der Greiferelemente und dem Lösen des zweiten Teils der Mehrzahl der Greiferelemente der verbleibende noch vom Objekt gelöste Teil des ersten Teils der Greiferelemente und der zweite Teil oder ein Teil dieses zweiten Teils der Greiferelemente durch erneutes Aufbauen der Haftkraft wieder an das Objekt angeheftet. Gemäß dem oben genannten Beispiel der zehn Greiferelemente 1 bis 10 werden als erster Teil beispielsweise die Greiferelemente 1, 2 und 3 gelöst. Anschließend werden die Greiferelemente 1 und 2 (=ein Teil des ersten Teils) wieder an das Objekt angeheftet, während das Greiferelement 3 vom Objekt gelöst verbleibt. Als zweiter Teil werden dann beispielsweise die Greiferelemente 5, 6 und 7 vom Objekt gelöst. Anschließend werden das Greiferelement 3 und die Greiferelemente 5 und 6 (= ein Teil des zweiten Teils) wieder mit dem Objekt verbunden. Alternativ können natürlich auch das Greiferelement 3 und der gesamte zweite Teil (Greiferelemente 5, 6, 7) wieder mit dem Objekt verbunden werden. Durch ein derartiges „fließendes“ Nachgreifen kann das Halten des Objektes weiter optimiert werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird vorteilhafterweise für alle Greiferelemente des Greiferelementeverbundes angewendet. Durch entsprechende Anwendung des Verfahrens für weitere Teile der Mehrzahl der Greiferelemente und ggf. Wiederholung für bereits gelöste und wieder angeheftete Greiferelemente ist damit grundsätzlich ein dauerhaftes Halten des Objektes vom Greifer möglich.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung wird das erfindungsgemäße Verfahren bei einem Greifer mit mehreren Greiferelementeverbünden angewendet, wobei das Lösen und erneute Anheften der Greiferelemente innerhalb jedes Greiferelementeverbundes in der oben geschilderten entsprechenden Weise erfolgt.

Bei Greifern einer Fertigung werden teilweise sogenannte Fallsicherungen verwendet, die bei einem Ausfall aller Greiferelemente beim Halten des Objektes ein vollständiges Abfallen des Objektes verhindern sollen. Diese Fallsicherungen sind in einigen Ausführungen so ausgestaltet, dass diese auch eine Lagestabilität des Objektes garantieren. Bei einem Greifer mit einer derartigen Fallsicherung wäre prinzipiell auch das gleichzeitige Nachgreifen aller Greifeinheiten während des Haltens des Objektes denkbar. Das erfindungsgemäße Verfahren soll grundsätzlich auch diesen Fall mit einschließen.

Eine Ausgestaltung des Verfahrens sieht vor, dass der Greifer ein Sauggreifer ist, der zumindest einen als Saugerverbund ausgebildeten Greiferelementeverbund und als

Saugnäpfe ausgeführte Greiferelemente aufweist. Zum Aufbau der Haftkraft zwischen den am Objekt anliegenden Saugnäpfen werden diese mit Unterdruck beaufschlagt. Das Lösen der am Objekt anliegenden Saugnäpfe erfolgt durch Ausgleich des Unterdrucks auf Umgebungsdruck.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführung werden die Saugnäpfe über Verdrängerprinzip mit Unterdruck beaufschlagt. Gegenüber einer Beaufschlagung der Saugnäpfe über Druckluft und Vakuumejektoren mit Unterdruck entfällt hier der hohe Aufwand für die Bereitstellung einer zentralen Druckluftherzeugung bzw. eine am Sauggreifer angebrachte und dessen die Dynamik einschränkende dezentrale Druckluftherzeugung.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist damit ein dauerhaftes Halten eines Objektes mit einem Sauggreifer möglich, dessen Saugnäpfe nicht über einen kontinuierlichen Druckluftstrom und Vakuumejektoren mit einem Unterdruck beaufschlagt werden. Wird ein Unterdruck in den Saugnäpfen beispielsweise mit einem angeschlossenen Kolben über das Verdrängerprinzip erzeugt, ist nach vollständigem Hub des Kolbens aufgrund von möglichen Undichtigkeiten an der Grenzfläche zwischen Objekt und Saugnapf das Bestehen eines zum Bereitstellen einer Mindesthaftkraft notwendigen Unterdrucks zeitlich begrenzt. Durch das erfindungsgemäße Verfahren werden nun die Saugnäpfe des ersten Teils der Mehrzahl der Saugnäpfe durch Ausgleich des Unterdrucks an diesen Saugnäpfen kurz vom Objekt gelöst und durch neuerliches Beaufschlagen mit Unterdruck wieder mit dem Objekt verbunden. Durch das Lösen und wieder Anheften des ersten Teils der Mehrzahl der Saugnäpfe wird also ein eventueller Druckanstieg innerhalb dieser Saugnäpfe wieder ausgeglichen und der ursprüngliche Wert des Unterdrucks wieder hergestellt. Da die anderen (nicht zum ersten Teil gehörenden) Saugnäpfe während des Lösens und erneuten Anheftens des ersten Teils nach wie vor am Objekt haften, wird das Objekt über diese weiterhin am Sauggreifer bei gleichzeitig gewährter Lagestabilität des Objekts am Sauggreifer gehalten.

Es ist aber nicht ausgeschlossen, das erfindungsgemäße Verfahren auch bei Sauggreifern mit Saugnäpfen anzuwenden, die mit Druckluft betrieben werden. Ist beispielsweise am Sauggreifer eine dezentrale Druckluftversorgung vorgesehen, kann diese über entsprechende Ventile und deren Ansteuerung auf die einzelnen Saugnäpfe verteilt werden. Auch hier kann es vorteilhaft sein, einzelne Saugnäpfe zu lösen und wieder neu an das Objekt anzuheften. So ließe sich die Druckluft energieeffizienter nutzen, was insbesondere die Kosten zur Druckluftherzeugung minimieren würde, da beispielsweise weniger oder kleinere Leitungen und Kompressoren benötigt werden würden.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist aber nicht auf Greifer beschränkt, deren Greiferelemente Saugnäpfe aufweisen, die zur Erzeugung einer Haftkraft am Objekt mit Vakuum beaufschlagt werden. Grundsätzlich ist das erfindungsgemäße Verfahren auch bei Greifern mit Greiferelementen anwendbar, bei denen der Aufbau der Haftkraft nach anderen Wirkprinzipien erfolgt. Beispielsweise ist das Verfahren auch bei Greiferelementen einsetzbar deren Haftkraft durch Adhäsionskräfte erzeugt wird. In einer Ausführung können die Greiferelemente nach dem Gecko-Prinzip arbeiten. Die Haftkraft zwischen Greiferelement wird hier über die zwischen Oberfläche des Objektes und haarartigen Verlängerungen der Greiferelemente wirkenden Van-der-Waals-Kräften gebildet. Zum Aufbau der Haftkraft wird das jeweilige Greiferelement mit einer Aufsetzvorrichtung auf die Oberfläche des Objektes aufgesetzt. Zum Lösen werden die Greiferelemente mit der Aufsetzvorrichtung verdreht und von der Oberfläche angezogen.

Hinsichtlich einer Abfolge der Nachgreifprozeduren und der Halteprozeduren der einzelnen Teile der Mehrzahl der Greiferelemente können verschiedene Greiferstrategien eingesetzt werden. In einer ersten Ausführung erfolgt diese Abfolge nach einem vorgegebenen Schema, wobei die Abfolge sowohl eine lokale Reihenfolge der jeweiligen Greiferelemente, als auch eine zeitliche Abfolge enthält. Beispielsweise wird bei sechs Greiferelementen in einem Greiferelementeverbund zunächst bei den Greiferelementen 1 und 2 die Nachgreifprozedur, nach weiteren fünf Sekunden bei den Greiferelementen 3 und 4 die Nachgreifprozedur und nach weiteren fünf Sekunden bei den Greiferelemente 5 und 6 die Nachgreifprozedur ausgeführt. Bei Bedarf kann diese Abfolge wiederholt werden. Diese Verfahrensweise ist steuerungstechnisch einfach umsetzbar

In einer weiteren Ausführung erfolgt die Abfolge in Abhängigkeit der tatsächlich an den Greiferelementen anliegenden Haftkräfte, wobei die Haftkräfte an den jeweiligen Greiferelementen hierzu messtechnisch erfasst werden. Wird beispielsweise an einem Greiferelement eines Greiferelementeverbundes eine Unterschreitung einer festgelegten Haltekraft erfasst, erfolgt für dieses Greiferelement eine Nachgreifprozedur. Damit erfolgt ein Nachgreifen der Greiferelemente nur bei einem tatsächlichen Nachlassen der Haftkraft am jeweiligen Greiferelemente, was gegenüber der vorgenannten festen Abfolge die Anzahl der Nachgreifprozeduren verringern kann.

Es wird vorgeschlagen, dass bei den als Saugnäpfen ausgestalteten Greiferelementen die tatsächlich anliegende Haftkraft über die Erfassung des an den jeweiligen Saugnäpfen anliegenden Unterdrucks mit der Sensoreinheit messtechnisch erfasst wird. Die Sensoreinheit kann in diesem Fall beispielsweise ein Drucksensor sein.

Eine weitere Ausführung sieht vor, dass die Steuerung der Nachgreifprozedur und der Halteprozedur der Greiferelemente anhand der tatsächlich anliegenden Haftkräfte mittels Künstlicher Intelligenz dahingehend optimiert wird, dass das Objekt am Greifer gehalten und dabei eine Anzahl der Nachgreifprozeduren der Greiferelemente minimiert wird. Mit einem entsprechenden Anlernen dieser Künstlichen Intelligenz erfolgt dann ein Nachgreifen der Greiferelemente nur dann, wenn ohne Nachgreifprozeduren ein Abfallen des Objektes vom Greifer innerhalb der notwendigen Haltezeit erwartet wird. Gegenüber der vorher genannten Strategie, die ein Nachgreifen der Greiferelemente bei Unterschreiten einer festgelegten Haftkraft vorsieht, wird hier ein Nachgreifen beim Unterschreiten der festgelegten Haftkraft an einzelnen Greiferelementen nicht in jedem Falle durchgeführt. Hat sich beim Anlernen der Künstlichen Intelligenz herausgestellt, dass auch beim Unterschreiten der Haftkraft an einzelnen Greiferelementen über die Gesamtheit aller Greiferelemente noch eine ausreichende Haltekraft für das Objekt bereitgestellt wird, so erfolgt kein Nachgreifen. Ein Nachgreifen erfolgt nur dann, wenn anhand der angelernten Daten der Künstlichen Intelligenz ein Abfallen des Objektes innerhalb der Haltezeit zu erwarten ist. Somit lässt sich die Anzahl der Nachgreifprozeduren auf ein notwendiges Minimum verringern. Die damit verbundenen Vorteile sind insbesondere ein reduzierter Energiebedarf und damit geringere Betriebskosten, geringere Abnutzung/Verschleiß aktiv beanspruchter Bauteile und damit ein reduzierter Wartungs- und Ersatzteilaufwand.

Die Abfolge der Druckzustände gekoppelt mit den möglichen Aktionszuständen lässt sich als Markowscher Entscheidungsprozess modellieren. Als Methode der Künstlichen Intelligenz wird ein Reinforcement Learning Verfahren. Als Reinforcement Learning (dt.: Bestärkendes Lernen oder verstärkendes Lernen) wird ein Verfahren des maschinellen Lernens verstanden, bei dem ein Algorithmus selbstständig eine Strategie erlernt, um erhaltene Belohnungen zu maximieren. Dabei werden dem Algorithmus keine Vorgaben gemacht, welche Aktion in welcher Situation die beste ist. Dies erlernt der Algorithmus durch zu bestimmten Zeitpunkten erhaltende Belohnungen, wobei diese auch negativ sein können. Anhand dieser Belohnungen approximiert der Algorithmus eine Nutzenfunktion, die beschreibt, welchen Wert ein bestimmter Zustand oder Aktion hat. Für das Reinforcement Learning wird vorteilhafterweise ein deep Q-Network vorgeschlagen. Die Verwendung eines deep Q-networks ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn die möglichen Zustände nicht diskret, sondern kontinuierlich verteilt sind. Beispielsweise sind die tatsächlichen Druckzustände an den Saugnäpfen kontinuierlicher Natur, sodass sich insbesondere hierfür ein deep Q-network eignet.

In einer vorteilhaften Ausführung ist vorgesehen, dass im Falle mehrerer Greiferelementeverbünde innerhalb des Greifers diese Greiferelementeverbünde untereinander kommunizieren, wobei die Kommunikation kabelgebunden oder kabellos erfolgt. Die Greiferstrategie innerhalb der einzelnen Greiferelementeverbünde kann damit in Abhängigkeit von den Druckverhältnissen an den jeweils anderen Greiferelementeverbünden abgestimmt werden. Sollte sich beispielsweise ergeben, dass zwar innerhalb eines Greiferelementeverbundes ein Lösen des Objektes von diesem Greiferelementeverbund prognostiziert wird, die restlichen Greiferelementeverbünde aber ein sicheres Halten des Objektes gewährleisten können, erfolgt kein Nachgreifen. In einer derartigen Gesamtsicht lässt sich die Anzahl der Nachgreifprozeduren innerhalb eines Greifers mit mehreren Greiferelementeverbünden weiter reduzieren.

Weiterhin wird vorgeschlagen, dass der zumindest eine Greiferelementeverbund des Greifers mit zumindest einem Greiferelementeverbund eines weiteren Greifers kommuniziert, wobei die Kommunikation kabelgebunden oder kabellos erfolgt. In einer vorteilhaften Ausführung erfolgt die Kommunikation zwischen den Greiferelementeverbünden der Greifer serverbasiert. Neben der Kommunikation zwischen Greifern innerhalb einer Fertigung ist damit beispielsweise auch die Kommunikation eines Greifers in Deutschland mit einem Greifer in Frankreich möglich, sodass ein bereits in Deutschland angelernter Greifer beispielsweise zum optimierten Halten von Glas diese Greiferstrategie an den Greifer in Frankreich übertragen kann, sodass die Anlernzeit bei dem Greifer in Frankreich reduziert werden kann.

Es wird vorgeschlagen, dass die Haftkraft an den Greiferelementen adaptiv erzeugt wird. Beispielsweise werden die Saugnapfe des Sauggreifers adaptiv mit Unterdruck beaufschlagt. Mit einer adaptiven Steuerung des Unterdrucks kann dieser an das jeweils zu haltende Objekt angepasst werden, sodass nicht der maximal mögliche Unterdruck lokal in jedem Saugnapf erzeugt wird. Dies ermöglicht auch das präzise Handling hochsensibler Bauteile wie beispielsweise Folien oder biegeschlaiffe Bauteile.

Zur Durchführung des Verfahrens wird ein Greifer vorgeschlagen, wobei der Greifer zumindest einen Greiferelementeverbund mit einer Mehrzahl an Greiferelementen zum Halten eines Objektes aufweist und die Greiferelemente eine Einrichtung zur Erzeugung einer Haftkraft zwischen den an dem Objekt anliegenden Greiferelementen und dem Objekt aufweisen. Mit einer Steuereinheit des Greifers ist die Einrichtung zur Erzeugung einer Haftkraft derart steuerbar, dass die Haftkräfte an den einzelnen Greiferelementen voneinander unabhängig erzeugt werden können. Weiterhin weist der Greifer eine

Sensorvorrichtung zur Erfassung der tatsächlich an den Greiferelementen vorliegenden Haftkräfte auf und ist mit einer Auswerteeinheit zur zeitlichen Auswertung der tatsächlich an den Greiferelementen erfassten Haftkräfte verbunden.

In einer Ausführung des Greifers ist dieser als Sauggreifer mit als Saugnäpfen ausgebildeten Greiferelementen ausgestaltet. Die Einrichtung zur Erzeugung einer Haftkraft ist eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Unterdrucks in den Saugnäpfen, wobei eine Beaufschlagung der Saugnäpfe mit Unterdruck unabhängig voneinander über die Steuereinheit steuerbar ist. Als Sensorvorrichtung zur Erfassung der tatsächlich an den Greiferelementen (Saugnäpfen) vorliegenden Haftkräfte sind als Sensoreinheiten zur Erfassung der an den Saugnäpfen anliegenden Unterdrücke ausgeführt. Diese Sensoreinheiten sind mit einer Auswerteeinheit zur zeitlichen Auswertung der tatsächlich an den Saugnäpfen erfassten Unterdrücke verbunden. Ein Saugerverbund (Greiferelementeverbund) ersetzt damit einen aus dem Stand der Technik bekannten einzelnen druckluftbasierten Saugnapf. Vorteilhafterweise ist die Steuereinheit für die Saugnäpfe innerhalb des Saugerverbundes integriert, sodass ein Saugnapf aus dem Stand der Technik ohne signifikanten Aufwand gegen einen erfindungsgemäßen Saugerverbund ausgetauscht werden kann.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Sauggreifers sind die Saugnäpfe jeweils mit einem Aktuator verbunden, wobei diese Aktuatoren ausgebildet sind, einen Unterdruck in dem jeweiligen Saugnapf zu erzeugen. Zur unabhängigen Erzeugung eines Unterdrucks an den Saugnäpfen sind die Aktuatoren unabhängig voneinander von der Steuereinheit ansteuerbar.

Eine Ausführung sieht vor, dass die Aktuatoren als künstlicher Muskel ausgebildet sind. Die Aktuatoren dienen dabei einer aktiven Verformung des jeweiligen Saugnapfes zur Erzeugung eines Unterdrucks. Die Verformung des Saugnapfes geht mit einer Vergrößerung des Volumens innerhalb des Saugnapfes einher, sodass bei am Objekt anliegendem Saugnapf gegenüber der Umgebung ein Unterdruck erzeugt wird. Als künstlicher Muskel wird ein Aktor verstanden dessen Funktionsweise Ähnlichkeiten mit der Funktionsweise natürlicher Muskeln hat. Die Funktionsweise eines natürlichen Muskels basiert auf einer Abfolge von Kontraktion und Relaxation mit einer einhergehenden Längenänderung. Technisch sind derartige Kontraktionen und Relaxationen beispielsweise mit einer Formgedächtnislegierung realisierbar. Weitere künstliche Muskel sind beispielsweise pneumatische Muskeln in Form eines Membran-Kontraktions-Systems oder auch Elektroaktive Polymere, die durch das Anlegen einer elektrischen Spannung ihre Form ändern.

Es wird vorgeschlagen, dass die Sensoreinheit zur Erfassung der tatsächlich an den Saugnapfen anliegenden Unterdrücke aus jeweils mit einem Saugnapf verbundenen Drucksensoren gebildet ist. Eine beispielhafte, wirtschaftliche und fertigungstechnische Umsetzungsmöglichkeit ist, den Drucksensor als Einlegeteil in die Vulkanisierungsform (Compression-Molding-Verfahren) bzw. in die Spritzgussform (Injection-Molding-Verfahren) in den Saugnapf zu integrieren.

Wird der Unterdruck in den Saugnapfen mittels Verdrängerprinzip erzeugt, kann der tatsächlich anliegende Unterdruck alternativ beispielsweise auch indirekt aus der Stellung des Verdrängerkolbens bzw. der zur Bewegung des Verdrängerkolbens nötigen Kraft bestimmt werden. Ebenso kann auch indirekt auf einen Druckanstieg geschlossen werden, wenn beispielsweise ein elektrischer Aktuator, der nach dem Verdrängerprinzip Vakuum erzeugt, mehr oder weniger Strom benötigt um seine Position zu halten.

Weiterhin wird eine Greifeinheit vorgeschlagen, bei der ein erfindungsgemäßer Greifer an einer Trägerstruktur fixiert ist.

In einer vorteilhaften Ausführung ist zumindest ein Greiferelementeverbund des Sauggreifers über zumindest einen Linearaktor in zumindest einer Raumrichtung gegenüber der Trägerstruktur bewegbar. Über den Linearaktor ist die Position des zumindest einen Greiferelementeverbundes gegenüber dem Objekt bewegbar und damit die Position des Greiferelementeverbundes am jeweiligen zu haltenden Objekt vor dem Greifen variierbar.

Weiterhin wird ein Manipulator mit einer Manipulatorachse, die in zumindest einer Raumrichtung bewegbar ist, vorgeschlagen, wobei der Manipulator zumindest eine erfindungsgemäße Greifeinheit aufweist und diese Greifeinheit an der Manipulatorachse fixiert ist. Die Greifeinheit ist damit mit dem Manipulator in der zumindest einen Raumrichtung gegenüber dem zu greifenden Objekt positionierbar. Der Manipulator kann beispielsweise als Roboter mit einem Roboterarm ausgestaltet sein, wobei der Roboterarm in allen drei Raumrichtungen bewegbar ist. Ebenso kann der Manipulator beispielsweise auch ein Linearportal mit drei Linearachsen sein, wobei jede Linearachse in einer Raumrichtung bewegbar ist.

Weiterhin wird ein Verfahren zum Anlernen einer in einer Steuereinheit hinterlegten Künstlichen Intelligenz zur Steuerung des Haltens eines Objektes mit dem erfindungsgemäßen Greifer vorgeschlagen. Dieses Verfahren sieht vor, dass die

Greiferelemente des Greiferelementverbundes verschiedene Abfolgen aus Nachgreifprozeduren und Halteprozeduren ausführen, wobei jede Abfolge einen Aktionszustand aller Greiferelemente bildet. Bei jeder Abfolge wird die tatsächlich anliegende Haftkraft an den Greiferelementen mit der Sensorvorrichtung im zeitlichen Verlauf erfasst, wobei die erfassten Haftkräfte innerhalb eines Zeitintervalls einen Haftzustand der Greiferelemente bilden. Ein Abfallen des Objektes vom Greifer wird mit einer Erfassungseinheit detektiert. Jedem Aktionszustand werden dann die jeweiligen Haftzustände und jedem Haftzustand eine Wertung hinsichtlich des Haltens und/oder Abfallens des Objektes zugeordnet. Beim Anlernen werden also für die Greiferelemente verschiedene Abfolgen an Nachgreifprozeduren und Halteprozeduren (Aktionszustände) eingestellt, dabei die Haftzustände an den Greiferelementen im zeitlichen Verlauf erfasst und der Misserfolg bzw. Erfolg zum Halten eines Objektes über die Detektion des Abfallens bzw. Nicht-Abfallens des Objektes vom Greifer bewertet. Nach dem Einstellen eines bestimmten Aktionszustandes wird im Anschluss der zeitliche Verlauf der Haftzustände bis ggf. hin zum Abfallen des Objektes erfasst. Fällt das Objekt bei einem bestimmten Haftzustand vom Greifer ab, erhält dieser Haftzustand eine negative Wertung hinsichtlich des Haltens des Objektes und ist damit als Haftzustand gekennzeichnet, der kein Halten des Objektes ermöglicht. Wird hingegen kein Abfallen des Objektes bei einem bestimmten Haftzustand erkannt, wird diesem Haftzustand eine positive Wertung hinsichtlich des Haltens des Objektes zugewiesen, sodass dieser Haftzustand hinsichtlich des Haltens des Objektes als erfolgreich gekennzeichnet ist. Mit Voranschreiten des Lernprozesses wird durch die zeitliche Erfassung der Haftzustände für den jeweiligen Aktionszustand eine zeitliche Prognose bis zum Abfallen des Objektes vom Greifer möglich. Das Anlernen des Greiferelementverbundes kann beispielsweise mit einer ebenen Platte eines bestimmten Gewichtes erfolgen, wobei die Ergebnisse des Anlernverfahrens auch auf eine andere ebene Platte mit einem anderem Gewicht übertragbar sein kann. Erwartungsgemäß fällt eine schwerere Platte ohne Nachgreifen schneller vom Greifer ab, was durch schnellere Übergänge von einem zum nächsten Haftzustand (= Nachlassen der Haftkraft) sichtbar ist und damit ein schnelleres Nachgreifen (=Änderung des Aktionszustandes) eingeleitet wird. Ähnlich verhält es sich bei baugleichen Objekten, die aber teilweise ölige oder verschmutzte Oberflächen aufweisen. Auch hier kann eine erfolgreiche Greiferstrategie eines Bauteils mit sauberer Oberfläche auf ein baugleiches Objekt mit schmutziger/öliger Oberfläche übertragen werden, da lediglich ein schnellerer Übergang von einem Haftzustand zum nächsten erfolgt und damit eher eine Nachgreifprozedur eingeleitet wird. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können damit also auch Objekte gehalten werden, die für aus dem Stand der Technik bekannten Sauggreifer hinsichtlich Dichtigkeit und Haltekraft bzw. -zeit nur unzuverlässig greifbar sind. Grundsätzlich sind die aus dem Anlernen mit einer

ebenen Platte gewonnenen Greiferstrategien auch auf beliebige Teile verallgemeinerbar, da freigeformte Bauteile auch hinreichend lokal durch Ebenen approximiert werden können.

Durch das Anlernen der Künstlichen Intelligenz werden Aktionszustände bekannt, welche eingestellt werden können, um bei einem drohenden Abfallen des Objektes eine Änderung der Haftzustände für ein möglichst langes Halten des Objektes herbeizuführen. Um den Lernprozess des Greifers zu beschleunigen kann ein Objekt mit einer großen Oberflächenrauheit verwendet werden, weil dadurch eine erhöhte Leckage-Rate realisiert wird und damit im Lernprozess ein schnellerer Wechsel der Druckzustände erzielt wird.

Zum Anlernen der in der Steuereinheit hinterlegten Künstlichen Intelligenz zur Steuerung des Haltens des Objektes mit dem Greifer wird die Künstliche Intelligenz einem den eigentlichen Einsatz des Greifers vorgelagerten Trainingsprozess unterzogen. Dieser Lernprozess wird vorteilhafterweise auch im eigentlichen produktiven Einsatz fortgesetzt. Beispielsweise kann die Steuerung so ausgestaltet sein, dass die Greiferstrategie zu Beginn des produktiven Einsatzes durch einen schnellen Wechsel der Aktionszustände geprägt ist und mit Zunahme der bekannten (erfolgreichen) Haftzustände die Wechsel der Aktionszustände verringert wird, was insbesondere zur Langlebigkeit des Greifers und zur Energieeinsparung bei dessen Betrieb beiträgt. Dies ist insbesondere bei künstlichen Muskeln mit begrenzter Lebensdauer wichtig.

In einer Ausführung wird die Erfassungseinheit zur Detektion des Abfallens des Objektes von der Sensorvorrichtung (zur Erfassung der tatsächlichen Haftkräfte an den Greiferelementen) selbst gebildet. Wird beispielsweise bei der Ausführung des Greifers als Sauggreifer für alle Saugnäpfe eines Saugerverbundes ein Druckanstieg bis auf Umgebungsdruck detektiert, kann daraus ein Abfallen des Objektes vom Sauggreifer geschlossen werden.

Eine alternative Ausführung sieht vor, dass die Erfassungseinheit zur Detektion des Abfallens des Objektes ein gegenüber dem Greifer ortsfest positionierter Abstandssensor ist. Der Abstandssensor kann beispielsweise direkt am Greifer angebracht und mit Detektionsrichtung in Richtung zu haltendem Objekt angeordnet sein. Bei anhaftendem Objekt wird ein fester Abstand zwischen Objekt und Abstandssensor detektiert. Fällt das Objekt vom Greifer ab, ist dies über eine Vergrößerung des Abstandes detektierbar.

In einer vorteilhaften Ausführung wird das Verfahren zum Anlernen der Künstlichen Intelligenz bei einer erfindungsgemäßen Greifeinheit genutzt, wobei eine Position des zumindest einen Greiferelementverbundes gegenüber der Trägerstruktur der Greifeinheit

einen Positionszustand des Greiferelementeverbundes bildet und die Aktionszustände der Greiferelemente beim Anlernen der Künstlichen Intelligenz auch für verschiedene Positionszustände eingestellt werden. Neben den Haftzuständen und der jedem Haftzustand zugeordneten Wertung hinsichtlich des Haltens und/oder Abfallens des Objektes werden jedem Aktionszustand auch entsprechend zugehörige Positionszustände zugeordnet. Je nach Konstellation des zu haltenden Objektes kann die Position des Greifers am Objekt eine andere Greiferstrategie erfordern. Beispielsweise kann die Greiferstrategie beim Halten einer Platte in deren Mitte von der Greiferstrategie beim Halten derselben Platte am äußeren Rand aufgrund auftretender Hebelkräfte abweichen. Sowohl beim Betrieb des Greifers, als auch bereits beim Anlernen der Künstlichen Intelligenz kann daher die Kenntnis dieser Position vorteilhaft sein. Bei der erfindungsgemäßen Greifeinheit kann hier die Stellung des Linearaktors als Maß für die Position des Greifers gegenüber der Trägerstruktur und damit der Position gegenüber dem zu haltenden Objekt ausgewertet werden und als Positionszustand in den Anlernprozess einfließen. Ein weiteres Beispiel wären Bauteile mit unterschiedlich stark ausgeprägten Krümmungen oder Steifigkeiten der Oberfläche, sodass an einem derartigen Objekt gut greifbare und schlecht greifbare lokale Stellen vorliegen, sodass die lokale Positionierung des Saugerverbundes oder der Saugerverbünde die Greiferstrategie beeinflusst.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens zum Anlernen der Künstlichen Intelligenz wird bei einem erfindungsgemäßen Manipulator genutzt. Eine Stellung der Manipulatorachse im Raum bildet hierbei einen Stellungszustand der Manipulatorachse, wobei die Aktionszustände beim Anlernen der Künstlichen Intelligenz neben verschiedenen Positionszuständen auch für verschiedene Stellungszustände eingestellt werden. Neben den Haftzuständen, der Wertungen hinsichtlich des Haltens und/oder Abfallens des Objektes und dem Positionszustand wird jedem Aktionszustand dann auch der zugehörige Stellungszustand zugeordnet. Beim Halten des Objektes kann je nach Stellung der Manipulatorachse die Neigung des Objektes im Raum variieren und damit eine entsprechend angepasst Greiferstrategie erfordern. Sowohl im späteren Betrieb, als auch beim Anlernen kann diese Stellung über den Stellungszustand erfasst und ausgewertet werden. Neben den bereits genannten Möglichkeiten zur Erkennung des Abfallens des Objektes kann bei einem Manipulator/Roboter auch eine Kraftmessdose genutzt werden, die am Übergang zwischen Manipulatorachse und Greifer installiert ist. Ein Abfallen des Objektes hat einen Einfluss auf die wirkenden Kräfte und ist damit über die Kraftmessdose erkennbar.

Weiterhin wird ein Verfahren zur Erkennung eines Verschleißes an den Greiferelementen des zumindest einen Greiferelementeverbundes des erfindungsgemäßen Greifers

vorgeschlagen, wobei beim aufeinanderfolgenden Halten baugleicher Objekte ein zeitlicher Verlauf einer Änderung der Haftzustände bei gleichen Aktionszuständen erfasst wird und eine schnellere Änderung der Haftzustände den Verschleiß des Greifers anzeigt. Ein Verschleiß kann beispielsweise bei einem Sauggreifer ein zunehmender Abrieb an den Saugnäpfen sein, wobei dabei die Grenzfläche zwischen Saugnapf und Objekt von einer zunehmenden Undichtigkeit gekennzeichnet ist. Dies ist durch einen schnelleren Druckanstieg der tatsächlich in den Saugnäpfen anliegenden Unterdrücke (= schnelleres Nachlassen der Haftkräfte) erkennbar. Gegenüber der beim Anlernen der Künstlichen Intelligenz gewonnenen Daten werden also Druckzustände an den Saugnäpfen bei gegebenem Aktionszustand in einer schnelleren Abfolge durchlaufen (= Druck in den Saugnäpfen steigt schneller). Ein Abfallen des Objektes wird dabei eher erwartet und ein Nachgreifen somit schneller nötig. Die zunehmend schneller werdende Abfolge der Druckzustände mit Druckanstieg kann daher als Maß für Verschleißerscheinungen am Sauggreifer während des regulären Betriebs des Sauggreifers genutzt werden.

Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand der Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 Als Roboter ausgestalteter Manipulator mit einer Greifeinheit zum Aufnehmen und Bewegen von Bauteilen in einer Fertigung

Fig. 2 ein Saugerverbund der Greifeinheit des Manipulators gemäß Fig. 1

Fig. 1 zeigt einen als Roboter ausgestalteten Manipulator 1 mit einer Greifeinheit 2 zum Aufnehmen und Bewegen von Bauteilen (Objekten) in einer Fertigung. Die Bauteile selbst sind nicht dargestellt. Der Roboter 1 weist einen Roboterarm 3 auf, der über mehrere Drehgelenke in allen drei Raumrichtungen bewegbar ist. Die Greifeinheit 2 ist am frei beweglichen Ende des Roboterarms 3 fixiert und weist eine Trägerstruktur 4 und einen daran befestigten und als Sauggreifer ausgebildeten Greifer auf. Der Sauggreifer besteht wiederum aus fünf als Saugerverbünde ausgestalteten Greiferelementeverbünden 5a, 5b, 5c, 5d, 5e, die jeweils über Linearaktoren 6 an der Trägerstruktur 4 fixiert sind. Vier der fünf Saugerverbünde 5b, 5c, 5d, 5e sind in dieser Ausführung jeweils über zwei orthogonal zueinander ausgerichtete Linearaktoren 6 mit der Trägerstruktur 4 verbunden und dadurch in zwei Raumrichtungen gegenüber der Trägerstruktur 4 verschiebbar. Der fünfte Saugerverbund 5a ist über drei jeweils orthogonal zueinander ausgerichtete Linearaktoren 6 an der Trägerstruktur 4 fixiert und damit in drei Raumrichtungen gegenüber der Trägerstruktur 4 verschiebbar.

In **Fig. 2** ist eine Detaildarstellung einer der Saugerverbünde 5c mit zwei Linearaktoren 6 gemäß **Fig. 1** zu sehen. Dieser Saugerverbund 5c weist fünf einzelne als Saugnäpfe ausgeführte Greiferelemente 7 auf, die jeweils mit einer Vorrichtung zur Erzeugung eines Unterdrucks (= Erzeugung einer Haftkraft) verbunden sind. In der dargestellten Ausführung besteht diese Vorrichtung aus elektrisch angetriebenen Verdrängerkolben 8, die jeweils mit einem der Saugnäpfe 7 verbunden sind. Die Verdrängerkolben 8 sind so mit den Saugnäpfen 7 verbunden, dass bei einer Verschiebung des Kolbens einem Innenbereich des jeweiligen Saugnapses 7 Luft entzogen und damit beim Anlegen des Saugnapses 7 an einem Objekt ein Unterdruck im Saugnapf 7 erzeugt wird. Durch diesen bezogen auf den Umgebungsdruck erzeugten Unterdruck wird dann die Haftkraft zwischen dem Objekt und dem jeweiligen Saugnapf 7 erzeugt. Die Summe der Haftkräfte der am Objekt anliegenden Saugnäpfe 7 bildet dann die Haltekraft zwischen Sauggreifer und Objekt. Die Verdrängerkolben 8 der fünf Saugnäpfe 7 des Saugerverbundes 5c sind mit einer Steuereinheit unabhängig voneinander ansteuerbar, sodass ein Unterdruck in den einzelnen Saugnäpfen 7 unabhängig voneinander erzeugbar ist. Weiterhin weist der Sauggreifer eine Sensoreinheit zur Erfassung der tatsächlich an den Saugnäpfen 7 anliegenden Unterdrücke auf. In der dargestellten Ausführung wird diese Sensoreinheit von aus jeweils in einem Saugnapf 7 integrierten Drucksensoren gebildet. Diese Drucksensoren sind in der Darstellung allerdings nicht gezeigt. Weiterhin ist der Sauggreifer mit einer Auswerteeinheit zur Auswertung der tatsächlich an den Saugnäpfen 7 erfassten Unterdrücke verbunden. Die von den Drucksensoren erfassten tatsächlichen Unterdrücke in den Saugnäpfen 7 werden von der Auswerteeinheit im zeitlichen Verlauf aufgezeichnet und ausgewertet. Nachdem ein bestimmter Unterdruck am jeweiligen Saugnapf 7 angelegt worden ist, kann damit die Änderung des tatsächlich im Saugnapf 7 vorliegenden Unterdrucks im zeitlichen Verlauf erfasst und damit ein Druckanstieg beispielsweise durch Undichtigkeiten an der Grenzfläche zwischen Objekt und Saugnapf 7 erkannt werden.

Die Vorrichtung zur Erzeugung eines Unterdrucks in den Saugnäpfen 7 ist allerdings nicht auf als Verdrängerkolben 8 ausgebildete Aktuatoren beschränkt. Beispielsweise können die Aktuatoren der Saugnäpfe 7 auch als künstlicher Muskel ausgebildet sein, wobei diese Aktuatoren dann eine Verformung des jeweiligen Saugnapses 7 zur Erzeugung eines Unterdrucks hervorrufen. Diese als künstlicher Muskel ausgebildeten Aktuatoren verformen also den Saugnapf 7 aktiv, was mit einer Volumenvergrößerung einhergehen kann und damit den Unterdruck erzeugt.

Die Steuereinheit ist nun so ausgebildet, dass zum Greifen des Objektes zunächst die Trägerstruktur 4 und die einzelnen Saugerverbünde 5a, 5b, 5c, 5d, 5e gegenüber dem

Objekt positioniert und auf die Oberfläche des Objekt aufgesetzt werden. Zur Erzeugung der Haftkräfte werden die Saugnäpfe 7 mit Unterdruck beaufschlagt, sodass eine Haltekraft zum Haltens des Objekts gebildet wird. Zum weiteren Halten des Objektes werden dann jeweils ein Teil der Saugnäpfe 7 eines oder mehrerer Saugerverbünde 5a, 5b, 5c, 5d, 5e in einer Nachgreifprozedur durch Ausgleich des Unterdrucks an diesen Saugnäpfen 7 vom Objekt gelöst und anschließend durch erneute Beaufschlagung mit Unterdruck wieder mit dem Objekt verbunden. Der verbleibende Teil der Saugnäpfe 7 bleibt in einer Halteprozedur während des Lösen und erneuten Anheften des anderen Teils der Saugnäpfe 7 mit Unterdruck beaufschlagt am Objekt haften. Für ein dauerhaftes Halten des Objektes werden nun nach und nach verschiedene Saugnäpfe 7 der Saugerverbünde 5a, 5b, 5c, 5d, 5e in der Nachgreifprozedur vom Objekt gelöst und wieder angeheftet, während der jeweils verbleibende Teil der Saugnäpfe 7 am Objekt haften bleibt. Mit zunehmender Haltedauer werden dabei nach und nach alle Saugnäpfe 7 ein- oder mehrmals der Nachgreifprozedur unterzogen und damit jeweils neu auf das Objekt aufgesetzt. Das Lösen und wieder Aufsetzen der Saugnäpfe 7 wird bei allen Saugerverbünden 5a, 5b, 5c, 5d, 5e der Greifeinheit gemäß **Fig. 1** durchgeführt.

Zur Steuerung des Lösen und Wiederaufsetzens der einzelnen Saugnäpfe 7 werden die mit der Sensoreinheit erfassten tatsächlich an den Saugnäpfen 7 anliegenden Unterdrücke (= Maß für Haftkräfte) herangezogen. Zur Minimierung einer Anzahl an Nachgreifprozeduren zum Halten des Objektes ist in der Steuereinheit eine Künstliche Intelligenz vorgesehen. Die Abfolge der Druckzustände gekoppelt mit den möglichen Aktionszuständen lässt sich als Markowscher Entscheidungsprozess modellieren. Als Methode der Künstlichen Intelligenz wird ein Reinforcement Learning Verfahren wie bspw. Deep-Q-Networks vorgeschlagen. Nach erfolgtem Anlernen der Künstlichen Intelligenz wird die Entscheidung, welcher der Saugnäpfe 7 eines Saugerverbundes 5a, 5b, 5c, 5d, 5e gelöst und wieder neu aufgesetzt wird von dieser Künstlichen Intelligenz getroffen. Es ist dabei vorgesehen, dass die fünf in **Fig. 1** dargestellten Saugerverbünde 5a, 5b, 5c, 5d, 5e untereinander kommunizieren, wobei die Kommunikation kabelgebunden oder kabellos erfolgt. Somit kann die Entscheidung zum Lösen und wieder Aufsetzen eines Saugnapfes 7 eines Saugerverbundes 5a, 5b, 5c, 5d, 5e in Abhängigkeit von den tatsächlichen Druckverhältnissen an den Saugnäpfen 7 der anderen Saugerverbünde 5a, 5b, 5c, 5d, 5e abhängig gemacht werden.

Die Erfindung ist allerdings nicht auf eine Steuerung anhand der tatsächlich an den Saugnäpfen 7 anliegenden Unterdrücke mittels Künstlicher Intelligenz beschränkt. Ebenso kann die Steuerung auch konventionell anhand der anliegenden Unterdrücke erfolgen, wobei ein Nachgreifen immer dann erfolgt, sobald der Unterdruck im Saugnapf 7 einen

vorgegebenen Wert überschreitet, auch dann, wenn die verbleibenden Saugnäpfe 7 ein weiteres Halten des Objektes gewährleisten würden. Weiterhin ist die Erfindung auch nicht auf die Verwendung der tatsächlich in den Saugnäpfen 7 anliegenden Unterdrücke zur Steuerung der Nachgreif- und Halteprozeduren beschränkt. Beispielsweise kann die Steuerung der Nachgreifprozedur und der Halteprozedur an den Saugnäpfen 7 auch nach einer fest vorgegebenen Abfolge durchgeführt werden, ohne dass die tatsächlich an den Saugnäpfen 7 anliegenden Unterdrücke berücksichtigt werden.

Zum Anlernen der in der Steuereinheit hinterlegten Künstlichen Intelligenz zur Steuerung des Haltens des Objektes mit dem Sauggreifer wird die Künstliche Intelligenz einem den eigentlichen Einsatz des Sauggreifers vorgelagerten Trainingsprozess unterzogen. Hierzu wird ein zu haltendes Trainingsobjekt von den Saugnäpfen 7 der Saugerverbünde 5a, 5b, 5c, 5d, 5e aufgenommen. Beim Halten dieses Objektes werden dann verschiedene Abfolgen aus Nachgreifprozeduren und Halteprozeduren ausgeführt, wobei jede Abfolge einen Aktionszustand aller Saugnäpfe 7 eines Saugerverbundes 5a, 5b, 5c, 5d, 5e bildet. Bei jedem Aktionszustand werden die tatsächlich anliegenden Unterdrücke an den Saugnäpfen 7 mit der Sensoreinheit im zeitlichen Verlauf erfasst, wobei die erfassten Unterdrücke innerhalb eines Zeitintervalls einen Druckzustand (= Haftzustand) der Saugnäpfe 7 bilden. Jedem Aktionszustand kann damit ein zeitlicher Verlauf der Druckverhältnisse an den Saugnäpfen 7 der Saugerverbünde 5a, 5b, 5c, 5d, 5e zugeordnet werden. Der zeitliche Verlauf der Druckverhältnisse wird durch die Abfolge der Druckzustände der chronologisch aneinandergereihten Zeitintervalle abgebildet. Bei einem Abfallen des Objektes vom Sauggreifer wird dies mittels einer Erfassungseinheit detektiert und repräsentiert dabei den Erfolg bzw. Misserfolg bezogen auf eine bestimmte Haltedauer. Jedem Aktionszustand werden dann die jeweiligen Druckzustände und jedem Druckzustand eine Wertung hinsichtlich des Haltens und/oder Abfallens des Objektes zugeordnet. Auch im eigentlichen Betrieb des Sauggreifers soll der Lernprozess fortgeführt werden.

In der dargestellten Ausführung wird die Erfassungseinheit zur Detektion des Abfallens des Objektes von der Sensoreinheit (= Drucksensoren an den Saugnäpfen 7 zur Erfassung der tatsächlich an den Saugnäpfen 7 anliegenden Unterdrücke) gebildet. Bei einem Abfallen des Objektes vom Saugerverbund 5a, 5b, 5c, 5d, 5e wird dies über einen Druckanstieg an den Saugnäpfen 7 bis auf Umgebungsdruck erkennbar. Allerdings ist die Erfindung nicht auf eine derartige Erfassungseinheit beschränkt. Beispielsweise kann die Erfassungseinheit auch von einem gegenüber dem Sauggreifer ortsfest positionierten Abstandssensor gebildet werden, wobei eine Vergrößerung des Abstandes zwischen Abstandssensor und zu haltendem Objekt dann ein Abfallen des Objektes anzeigt.

In einer weiteren Ausführung des Verfahrens zum Anlernen der Künstlichen Intelligenz wird auch die Position der Saugerverbünde 5a, 5b, 5c, 5d, 5e an der Trägerstruktur 4 und damit die Position der Saugerverbünde 5a, 5b, 5c, 5d, 5e (= Stellung der Linearaktoren der Trägerstruktur 4 der Greifeinheit 2) am zu haltenden Objekt berücksichtigt. Eine Position zumindest eines der Saugerverbünde 5a, 5b, 5c, 5d, 5e gegenüber der Trägerstruktur 4 der Greifeinheit 2 bildet dabei einen Positionszustand des Saugerverbundes 5a, 5b, 5c, 5d, 5e. Aktionszustände der Saugnäpfe 7 werden nun auch für verschiedene Positionszustände eingestellt, wobei neben den Druckzuständen und der Wertungen hinsichtlich des Haltens und/oder Abfallens des Objektes jedem Aktionszustand dann auch der zugehörige Positionszustand zugeordnet wird.

Zur Berücksichtigung der Stellung des Roboterarms 3 wird in einer weiteren Ausführung des Verfahrens zum Anlernen der Künstlichen Intelligenz eine Stellung des Roboterarms 3 im Raum als Stellungszustand (= Stellung der Drehgelenke des Roboterarms 3) des Roboterarms 3 berücksichtigt. Zum Anlernen werden die Aktionszustände neben verschiedenen Positionszuständen auch für verschiedene Stellungszustände eingestellt und den Druckzuständen, der Wertungen hinsichtlich des Haltens und/oder Abfallens des Objektes, dem Positionszustand und dem zugehörigen Stellungszustand zugeordnet.

Im Lernprozess werden also Daten generiert, aus denen beim Vorliegen eines bestimmten Druckzustandes (= Verteilung der tatsächlich an den Saugnäpfen vorliegenden Unterdrücke) eine Prognose abgeleitet werden kann, wie lange das Objekt noch am Sauggreifer anhaftet. Während des Betriebes des Sauggreifers kann mittels der Künstlichen Intelligenz daher eine Entscheidung getroffen werden, ob ein Nachgreifen von Saugnäpfen 7 notwendig ist, um das Halten des Objektes für einen vorgegebenen Zeitraum noch zu gewährleisten. Dabei wählt die Künstliche Intelligenz aus einer Menge erfolgreicher Aktionszustände aus. Ein Aktionszustand wird dann als erfolgreich angesehen, wenn mit diesem ein Halten des Objektes über einen vorgegebenen Zeitraum erreicht wird.

Die Künstliche Intelligenz ist weiterhin so ausgestaltet, dass diese auch im regulären Betrieb weiterhin einen Lernprozess ausführt. Dieser Lernprozess kann ein Verfahren zur Erkennung eines Verschleißes an den Saugnäpfen 7 zumindest einer der Saugerverbünde 5a, 5b, 5c, 5d, 5e des Sauggreifers sein. Beim aufeinander folgenden Halten baugleicher Objekte wird hierbei ein zeitlicher Verlauf einer Änderung der Druckzustände bei gleichen Aktionszuständen erfasst. Eine schnellere Änderung der Druckzustände zeigt dabei den Verschleiß des Sauggreifers an.

Bezugszeichenliste

- 1 Manipulator, Roboter
- 2 Greifeinheit
- 3 Manipulatorachse, Roboterarm
- 4 Trägerstruktur
- 5a Greiferelementeverbund, Saugerverbund
- 5b Greiferelementeverbund, Saugerverbund
- 5c Greiferelementeverbund, Saugerverbund
- 5d Greiferelementeverbund, Saugerverbund
- 5e Greiferelementeverbund, Saugerverbund
- 6 Linearaktor
- 7 Saugnapf, Greiferelement
- 8 Verdrängerkolben

Patentansprüche

1. Verfahren zum Halten eines Objektes mit einem Greifer, wobei der Greifer zumindest einen Greiferelementeverbund (5a, 5b, 5c, 5d, 5e) mit einer Mehrzahl an Greiferelementen (7) aufweist und wobei die Greiferelemente (7) zur Erzeugung einer Haltekraft zwischen Greifer und Objekt eine Einrichtung zur Erzeugung einer Haftkraft zwischen den an dem Objekt anliegenden Greiferelementen (7) und dem Objekt aufweisen, **dadurch gekennzeichnet**, dass beim Halten des Objektes mit dem Greifer bei einem ersten Teil der Mehrzahl der Greiferelemente (7) in einer Nachgreifprozedur die Haftkraft zwischen diesem Teil der Greiferelemente (7) und dem Objekt gelöst wird und anschließend diese Greiferelemente (7) oder ein Teil der gelösten Greiferelemente (7) in einer Halteprozedur durch erneuten Aufbau der Haftkraft erneut an dem Objekt angeheftet werden und der verbleibende Teil der Mehrzahl der Greiferelemente (7) während des LöSENS und erneuten Anheftens des ersten Teils oder des Teils des ersten Teils der Mehrzahl der Greiferelemente (7) aufgrund der zwischen den Greiferelementen (7) des verbleibenden Teils und dem Objekt anliegenden Haftkraft am Objekt anhaftet.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach dem Lösen und erneuten Anheften des ersten Teils oder eines Teils des ersten Teils der Mehrzahl der Greiferelemente (7) beim weiteren Halten des Objektes ein zweiter Teil der Mehrzahl der Greiferelemente (7) in der Nachgreifprozedur durch Lösen der Haftkraft zwischen diesen Greiferelementen (7) und dem Objekt vom Objekt gelöst und anschließend dieser zweite Teil oder ein Teil dieses zweiten Teils der Greiferelemente (7) durch erneuten Aufbau der Haftkraft wieder mit dem Objekt verbunden wird und der hierbei verbleibende Teil der Mehrzahl der Greiferelemente (7) in der Halteprozedur während des LöSENS und erneuten Anheftens des zweiten Teils oder des Teils des zweiten Teils der Mehrzahl der Greiferelemente (7) über die Haftkraft am Objekt anhaftet.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach dem erneuten Anheften des Teils des ersten Teils der Greiferelemente (7) und dem Lösen des zweiten Teils der Mehrzahl der Greiferelemente (7) der verbleibende noch vom Objekt gelöste Teil des ersten Teils der Greiferelemente (7) und der zweite Teil oder ein Teil dieses zweiten Teils der Greiferelemente (7) durch erneutes Aufbauen der Haftkraft wieder an das Objekt angeheftet werden.

4. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Greifer mehrere Greiferelementverbünde (5a, 5b, 5c, 5d, 5e) aufweist, in denen das Lösen und erneute Anheften des Teils der Mehrzahl der Greiferelemente (7) erfolgt.
5. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Greifer ein Sauggreifer ist, der der zumindest einen als Saugerverbund ausgebildeten Greiferelementverbund (5a, 5b, 5c, 5d, 5e) aufweist, dessen Greiferelemente (7) als Saugnäpfe ausgeführt sind und dass zum Aufbau der Haftkraft die am Objekt anliegenden Saugnäpfe mit Unterdruck beaufschlagt werden und dass zum Lösen der am Objekt anliegenden Saugnäpfe der Unterdruck ausgeglichen wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Saugnäpfe über Verdrängerprinzip mit Unterdruck beaufschlagt werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Haftkräfte zwischen den Greiferelementen (7) und dem Objekt durch Adhäsionskräfte bereitgestellt werden.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Greiferelemente (7) nach dem Gecko-Prinzip arbeiten.
9. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Steuerung der Nachgreifprozedur und der Halteprozedur der Greiferelemente (7) nach einer fest vorgegebenen Abfolge der Greiferelemente (7) abläuft.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass an den Greiferelementen (7) eine tatsächlich anliegende Haftkraft mit einer Sensoreinheit messtechnisch erfasst wird und eine Steuerung einer Abfolge der Nachgreifprozedur und der Halteprozedur der Greiferelemente (7) anhand der tatsächlich anliegenden Haftkräfte an den Greiferelementen (7) erfolgt.

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuerung der Nachgreifprozedur und der Halteprozedur der Greiferelemente (7) anhand der tatsächlich anliegenden Haftkräfte mittels Künstlicher Intelligenz dahingehend optimiert wird, dass das Objekt am Greifer gehalten und dabei eine Anzahl der Nachgreifprozeduren der Greiferelemente (7) minimiert wird.
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Künstliche Intelligenz ein Reinforcement Learning Prozess ist.
13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Reinforcement Learning Prozess von einem deep Q-Network gebildet wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Falle mehrerer Greiferelementeverbünde (5a, 5b, 5c, 5d, 5e) innerhalb des Greifers diese Greiferelementeverbünde (5a, 5b, 5c, 5d, 5e) untereinander kommunizieren, wobei die Kommunikation kabelgebunden oder kabellos erfolgt.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zumindest eine Greiferelementeverbund (5a, 5b, 5c, 5d, 5e) des Greifers mit zumindest einem Greiferelementeverbund (5a, 5b, 5c, 5d, 5e) eines weiteren Greifers kommuniziert, wobei die Kommunikation kabelgebunden oder kabellos erfolgt.
16. Verfahren nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kommunikation zwischen den Greiferelementeverbünden (5a, 5b, 5c, 5d, 5e) der Greifer serverbasiert erfolgt.
17. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Haftkraft an den Greiferelementen (7) adaptiv erzeugt wird.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei den als Saugnäpfen ausgestalteten Greiferelementen (7) die tatsächlich anliegende Haftkraft über die Erfassung des an den jeweiligen Saugnäpfen anliegenden Unterdrucks mit der Sensoreinheit messtechnisch erfasst wird.

19. Greifer zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 18, aufweisend zumindest einen Greiferelementeverbund (5a, 5b, 5c, 5d, 5e) mit einer Mehrzahl an Greiferelementen (7) zum Halten eines Objektes, wobei die Greiferelemente (7) eine Einrichtung zur Erzeugung einer Haftkraft zwischen den an dem Objekt anliegenden Greiferelementen (7) und dem Objekt aufweisen und die Einrichtung zur Erzeugung der Haltekraft an den Greiferelementen (7) über eine Steuereinheit steuerbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinheit und die Einrichtung zur Erzeugung der Haftkräfte ausgebildet sind, die Haftkräfte an den Greiferelementen (7) innerhalb des Greiferelementeverbundes (5a, 5b, 5c, 5d, 5e) unabhängig voneinander zu erzeugen und dass der Greifer eine Sensorvorrichtung zur Erfassung der tatsächlich an den Greiferelementen (7) anliegenden Haftkräfte aufweist und dass der Greifer mit einer Auswerteeinheit zur zeitlichen Auswertung der tatsächlich an den Greiferelementen (7) erfassten Haftkräfte verbunden ist.
20. Greifer nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Greifer ein Sauggreifer mit als Saugnäpfen ausgebildeten Greiferelementen (7) ist und dass die Einrichtung zur Erzeugung einer Haftkraft eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Unterdrucks in den Saugnäpfen ist und dass eine Beaufschlagung der Saugnäpfe mit Unterdruck unabhängig voneinander über die Steuereinheit steuerbar ist und dass die Sensorvorrichtung zur Erfassung der tatsächlichen Haftkräfte Sensoreinheiten zur Erfassung der an den Saugnäpfen anliegenden Unterdrücke aufweist und dass der Sauggreifer mit einer Auswerteeinheit zur zeitlichen Auswertung der tatsächlich an den Saugnäpfen erfassten Unterdrücke verbunden ist.
21. Sauggreifer nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Saugnäpfe jeweils mit einem Aktuator verbunden sind und diese Aktuatoren ausgebildet sind, einen Unterdruck in dem jeweiligen Saugnapf zu erzeugen und dass die Aktuatoren der Saugnäpfe unabhängig voneinander von der Steuereinheit ansteuerbar sind.
22. Sauggreifer nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Aktuator als künstlicher Muskel ausgebildet ist, eine Verformung des jeweiligen Saugnapfes zur Erzeugung eines Unterdrucks hervorzurufen.
23. Sauggreifer nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet**, dass der künstliche Muskel aus einer Formgedächtnislegierung oder einem pneumatischen Muskel oder einem elektroaktiven Polymer gebildet ist.

24. Sauggreifer nach einem der Ansprüche 20 bis 23, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sensoreinheit zur Erfassung der tatsächlich an den Saugnäpfen anliegenden Unterdrücke aus jeweils mit einem Saugnapf verbundenen Drucksensoren gebildet ist.
25. Sauggreifer nach Anspruch 24, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Saugnäpfe mittels Compression-Molding-Verfahren oder Injection-Molding-Verfahren gebildet sind und die Drucksensoren bei der Bildung der Saugnäpfe als Einlegeteil in die Vulkanisierungsform (Compression-Molding-Verfahren) oder in die Spritzgussform (Injection-Molding-Verfahren) in den Saugnapf integriert sind.
26. Greifeinheit, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Greifer nach einem der Ansprüche 19 bis 25 an einer Trägerstruktur (4) der Greifeinheit (2) fixiert ist.
27. Greifeinheit nach Anspruch 26, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zumindest eine Greiferelementeverbund (5a, 5b, 5c, 5d, 5e) des Greifers über zumindest einen Linearaktor (6) in zumindest einer Raumrichtung gegenüber der Trägerstruktur (4) bewegbar ist.
28. Manipulator mit einer Manipulatorachse, die in zumindest einer Raumrichtung bewegbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Manipulator (1) zumindest eine Greifeinheit (2) nach Anspruch 26 oder 27 aufweist und dass die Greifeinheit (2) an der Manipulatorachse (3) fixiert ist.
29. Verfahren zum Anlernen einer in einer Steuereinheit hinterlegten Künstlichen Intelligenz zur Steuerung des Haltens eines Objektes mit einem Greifer gemäß einem der Ansprüche 20 bis 27, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Greiferelemente (7) des Greiferelementeverbundes (5a, 5b, 5c, 5d, 5e) verschiedene Abfolgen aus Nachgreifprozeduren und Halteprozeduren ausführen, wobei jede Abfolge einen Aktionszustand aller Greiferelemente (7) bildet und dass bei jeder Abfolge die tatsächlich anliegenden Haftkräfte der Greiferelemente (7) mit der Sensorvorrichtung im zeitlichen Verlauf erfasst werden, wobei die erfassten Haftkräfte innerhalb eines Zeitintervalls einen Haftzustand der Greiferelemente (7) bilden und dass ein Abfallen des Objektes vom Greifer mittels einer Erfassungseinheit detektiert wird und dass jedem Aktionszustand die jeweiligen Haftzustände und jedem Haftzustand eine

Wertung hinsichtlich des Haltens und/oder Abfallens des Objektes zugeordnet werden.

30. Verfahren nach Anspruch 29, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Erfassungseinheit zur Detektion des Abfallens des Objektes von der Sensoreinheit gebildet wird oder dass die Erfassungseinheit ein gegenüber dem Greifer ortsfest positionierter Abstandssensor ist.
31. Verfahren zum Anlernen der Künstlichen Intelligenz gemäß Anspruch 29 oder 30 bei einer Greifeinheit gemäß Anspruch 27, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Position des zumindest einen Greiferelementverbundes (5a, 5b, 5c, 5d, 5e) gegenüber der Trägerstruktur der Greifeinheit (2) einen Positionszustand des Greiferelementverbundes (5a, 5b, 5c, 5d, 5e) bildet und dass Aktionszustände der Greiferelemente (7) auch für verschiedene Positionszustände eingestellt werden und dass neben den Haftzuständen und der Wertungen hinsichtlich des Haltens und/oder Abfallens des Objektes jedem Aktionszustand auch der zugehörige Positionszustand zugeordnet wird.
32. Verfahren zum Anlernen der Künstlichen Intelligenz gemäß Anspruch 31 bei einem Manipulator gemäß Anspruch 28, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Stellung der Manipulatorachse (3) im Raum einen Stellungszustand der Manipulatorachse (3) bildet und dass die Aktionszustände neben verschiedenen Positionszustände auch für verschiedene Stellungszustände eingestellt werden und dass neben den Haftzuständen, der Wertungen hinsichtlich des Haltens und/oder Abfallens des Objektes und dem Positionszustand jedem Aktionszustand auch der zugehörige Stellungszustand zugeordnet wird.
33. Verfahren zur Erkennung eines Verschleißes an den Greiferelementen des zumindest einen Greiferelementverbundes des Greifers gemäß einem der Ansprüche 19 bis 25, **dadurch gekennzeichnet**, dass beim aufeinander folgenden Halten baugleicher Objekte ein zeitlicher Verlauf einer Änderung der Haftzustände bei gleichen Aktionszuständen erfasst wird und eine schnellere Änderung der Haftzustände den Verschleiß des Greifers anzeigt.

