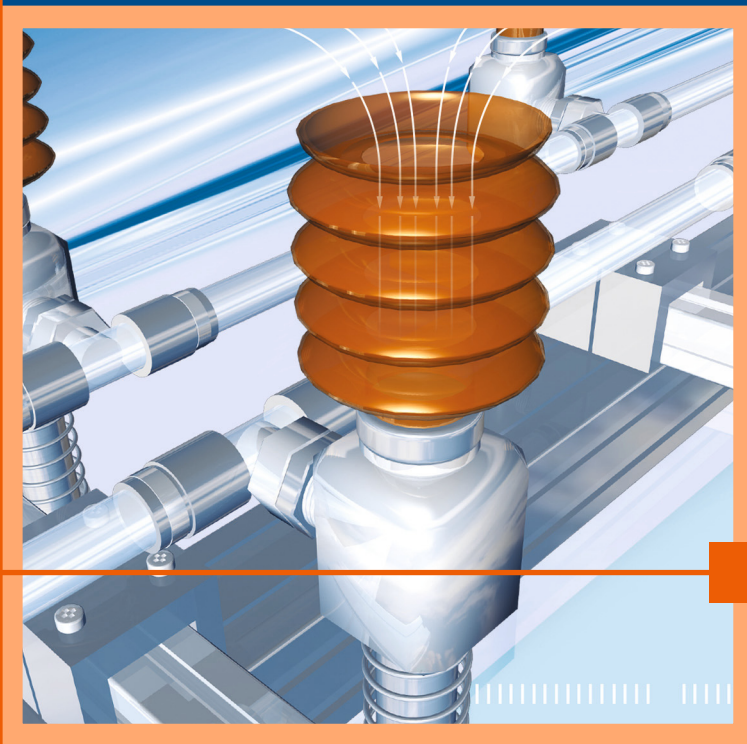


Stefan Hesse

Greifertechnik

Effektoren für Roboter
und Automaten



HANSER

Hesse
Greifertechnik

Stefan Hesse

Greifertechnik

Effektoren für Roboter
und Automaten

HANSER

Der Autor:

Dr.-Ing. habil. Stefan Hesse, Plauen

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek:

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.d-nb.de>> abrufbar.

ISBN: 978-3-446-42422-7

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Alle in diesem Buch enthaltenen Verfahren bzw. Daten wurden nach bestem Wissen erstellt und mit Sorgfalt getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die in diesem Buch enthaltenen Verfahren und Daten mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autoren und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Verfahren oder Daten oder Teilen davon entsteht.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle – reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© Carl Hanser Verlag, München 2011

Herstellung: Steffen Jörg

Satz: Dr.-Ing. habil. Stefan Hesse

Coverconcept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Coverrealisierung: Stephan Rönigk

Druck und Bindung: Druckhaus "Thomas Müntzer" GmbH, Bad Langensalza

Printed in Germany

Vorwort

Robotertechnik und automatisiertes Handhaben von Arbeitsgegenständen sind in unserer bewegten Zeit zu den treibenden Kräften der Automation weltweit geworden. Vom einfachen "Pick-and-Place Handling" der Werkobjekte bis zum technisierten "Griff in die Kiste" reichen die Bemühungen und die Handhabungstechnik schließt in Montage und Maschinenbeschickung meistens die Endeffektortechnik mit ein. Der Greifer repräsentiert letztlich die technische Version einer menschlichen Hand in der Fertigungstechnik, jedenfalls näherungsweise.

Die Erweiterung der Anwendungsgebiete von Robotern, Manipulatoren und von Handhabungseinrichtungen erfordert natürlich immer mehr oder weniger flexible und leistungsfähige Greifer. Die für industrielles Greifen benötigten Greifer werden in diesem Buch vorgestellt und sie sind in vielen Ausführungen erhältlich. Eigenschaften und Anforderungsbild sind entscheidend für die Auswahl eines Greifersystems und die Gestaltung der Greiforgane. Immerhin reicht der Spannungsbogen an Arbeitsgegenständen vom schweren und sperrigen Bauteil bis zu zierlichen Kleinstteilen für mechatronische Baugruppen mit vom Normalen abweichendem Ruhe- und Bewegungsverhalten. Neben den Funktionserklärungen findet der Leser in Kapitel 12 auch einige Aufgaben für das Selbststudium. Das Durchdenken von Berechnungsansätzen und Lösungswegen kann zum Verständnis der Thematik und zur gezielten Auswahl von Endeffektoren wie auch der erforderlichen Greiforgane beitragen. Schließlich wurden auch typische Begriffe der Greifertechnik in einem Glossar zusammengefasst, damit der Leser aktuelle Termini rasch nachschlagen kann.

Das Buch ist ein Endeffektor-Kompendium für Praktiker, Studierende, Lehrende, Ingenieure, Projekteplaner und Konstrukteure, die sich mit der Robotisierung automatischer Anlagen beschäftigen. Diese nicht einfachen Bemühungen sollen mit diesem Buch begleitet werden.

Für das Zustandekommen des Buches und die fachkundige Unterstützung danke ich Frau SABINE HÄUSER und besonders Herrn STEPHAN EIFLER vom Unternehmen FIPA sowie Herrn VOLKER HERZBERG vom CARL HANSER Verlag.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Greifen in natürlichen und technischen Systemen	3
2.1 Greifen in biologischen Systemen	3
2.2 Greifen in technischen Systemen.....	7
2.3 Gliederung und Grundaufbau eines Greifers	11
2.4 Kinematische Ketten	16
3 Greifen durch Klemmen	19
3.1 Grundlagen und Einsatzbedingungen	19
3.2 Greifgenauigkeit.....	27
3.3 Kräfte am mechanischen Greifer	31
3.4 Sicherung der Greifkraft	40
3.5 Antriebssysteme und Kraftübertragung	41
3.5.1 Elektromotorische Antriebe	42
3.5.2 Fluidische Antriebe	46
3.5.3 Kraftübertragung bei mechanischen Greifern	49
3.6 Backenführung	60
3.7 Bauformen der Klemmgreifer	67
3.7.1 Parallelbackengreifer.....	69
3.7.2 Radialgreifer	72
3.7.3 Winkelgreifer.....	74
3.7.4 Innengreifer	77
3.7.5 Dreibackengreifer	81
3.7.6 Umfassungsgreifer	82
3.8 Greifbacken	85
3.9 Greiferauswahl	91
4 Greifen durch Eindringen	97
4.1 Nadelgreifer	97
4.2 Kratzengreifer	99

5 Greifen durch Grenzflächeneffekte	101
5.1 Flüssig-adhäsive Greifer	101
5.2 Klebebandgreifer	103
5.3 Elektrostatische Greifer	103
6 Greifen durch Anhaften	105
6.1 Permanentmagnetgreifer	105
6.2 Elektromagnetgreifer	106
6.3 Vakuumbreifer	109
6.3.1 Grundlagen und Einsatzbedingungen	110
6.3.2 Saugerausführungen	118
6.3.3 Kräfte am Saugergreifer	128
6.3.4 Servopneumatische Greifer	136
6.4 Bernoulligreifer	137
7 Mikrogreifer	139
7.1 Mikrohandhabungstechnik	139
7.2 Greiferausführungen	140
8 Flexible technische Hände	149
8.1 Flexible Greiftechnik	149
8.2 Gelenkfingergreifer	152
8.3 Roboterhände	160
9 Spezialisierte Greifer	165
9.1 Greifer für Spritzgussteile	165
9.2 Flaschengreifer	170
9.3 Greifer für die Blechhandhabung	173
9.4 Montagegreifer	178
9.5 Stangengreifer	186
9.6 Greifer für Schmiedeteile	187
9.7 Greifer für die Maschinenbeschickung	188
10 Greifersensorik	195
10.1 Greiferfunktionsüberwachung	196
10.2 Tastsensorik	201
10.3 Näherungssensorik	205
10.4 Messende Sensorik	206

11 Wechselsysteme und Greifermagazine.....	211
12 Aufgaben.....	217
13 Fachbegriffe.....	251
14 Normen und Richtlinien.....	270
Quellen und weiterführende Literatur	271
Sachwortverzeichnis	275

1 Einleitung

Die Automatisierung der Produktionssysteme wächst seit Jahren kontinuierlich und erfordert den Einsatz von Geräten, die die möglichst flexible Handhabung von Arbeitsgegenständen sicher und selbsttätig ausführen können. Das hat zu einer beachtlichen Entwicklung von Pick-and-Place Geräten, Manipulatoren und Industrierobotern geführt. Industrieroboter sind Arbeitsmaschinen, die Tätigkeiten verrichten, die sonst nur von Menschen ausgeführt werden können. Diese Tätigkeiten setzen sich aus Einzelaktionen zusammen, die von einem Programm vorgegeben werden. Man kann die Handlungen des Roboters in seiner Umgebung mit den Begriffen "Ergreifen" und "Hantieren" beschreiben, sowohl von Werkstücken als auch von Werkzeugen. Nun stellt der Roboter selbst keine wirtschaftliche Prozesslösung dar, d.h. es bedarf eines Arbeitsorgans (Endeffektor) und eine dem Anwendungsfall angepasste Peripherie. Die **Greifer** sind hierbei die wichtigsten Einzelkomponenten einer hantierenden Maschine (Bild 1.1). Grundsätzlich ersetzen Greifer in automatischen Prozessen die menschliche Hand. Greifer dienen als Schnittstelle zwischen Roboter und Werkstück [1.1].

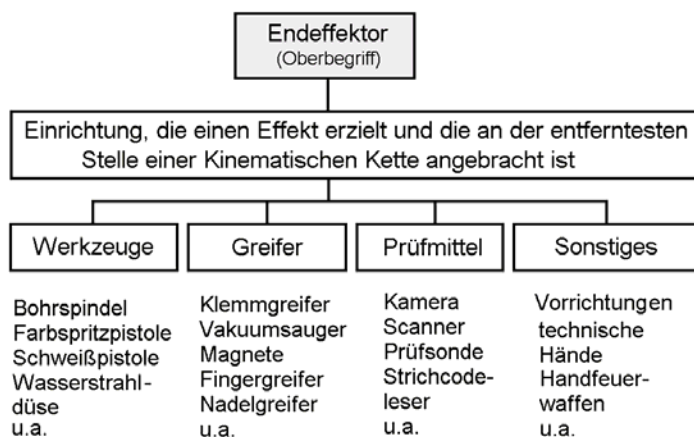


Bild 1.1: Grobeinteilung der Endeffektoren (*End-of-arm-tooling; EOAT*)

Es ist üblich, den Begriff "Greifer" auch dann zu benutzen, wenn im Sinne des Wortes nicht zugegriffen wird, sondern das Halten mit flächig wirkenden Kräften wie Vakuum oder Magnetfeld erfolgt. Je nach Verwendungszweck werden die Greiforgane passend zum Greifobjekt ausgeführt. Greifer gehören meistens nicht zur Roboterserienausführung. Bei humanoiden Robotern bzw. Servicerobotern bestrebt man, mehr oder weniger anthropomorphe (mensenähnliche) **Greifhände** zu gestalten.

Bei der Gestaltung von Greifsystemen entscheidet vor allem die Anwendung. Das Greifprinzip wird nach Leistung und Flexibilität bewertet. Bezogen auf die Aufgabenstellung und die Geometrie des Handhabungsobjekts wird eine möglichst große Vielseitigkeit angestrebt. Doch was versteht man unter "**Greifen**"?

Greifen: Herstellen einer zeitweiligen Verbindung zwischen einer oder mehreren Wirkflächen eines Greiforgans mit dem Greifobjekt über eine Kraft.

Weil Greifeinrichtungen nicht immer mehrere Wirkorgane benötigen und auch verschiedene physikalische Effekte ausgenutzt werden, ist es richtig, von einer oder von mehreren Wirkflächen zu sprechen.

Nach REFA ist "Greifen" ein Grundbewegungselement innerhalb eines Bewegungszyklus, bei dem durch Schließen der Finger ein Arbeitsgegenstand erfasst wird. Man definiert wie folgt:

Greifen (*grasp*): Einen Gegenstand unter Kontrolle nehmen
Loslassen (*release*): Aufheben der Kontrolle über einen Gegenstand

Künftig wird mit einer weiteren Vergrößerung des Anwendungsgebietes von Robotern durch Anreicherung mit künstlicher Intelligenz, Sensorik und flexibel benutzbaren Greiforganen gerechnet. Bei den bisher umfangreich eingesetzten Greifern mit pneumatischem Antrieb ist Flexibilität kaum vorhanden. Die Steuerung beschränkt sich meist nur auf einen Auf-Zu-Vorgang (oder Ein-Aus). **Flexibilität** ist bei Greifern neben einer anforderungsgerechten Kinematik nur mit hohem steuerungs- und regelungstechnischem Aufwand erreichbar. Merkmale solcher Greifsysteme als Schlüssel für eine weitgehende Materialflussautomatisierung und Montage sind:

- Feinfühligkeit beim Greifen durch Kraftregelung
- Selbstanpassung der Greiforgane an unterschiedliche Werkstückgeometrien
- Vermessung der Werkstückabmessungen im Greifer z.B. für Sortiervorgänge
- Sensorgestützte Greiffehlerdiagnose z.B. bei Werkstückverlust
- Unabhängige Bewegung (Entkopplung) der Greiforgane zur Positionsanpassung (taktiles Greifen)
- Implementierung neuer Wirkprinzipie und anwendungsspezifische Gestaltung von Greifsystemen
- Anwendung neuer artikelspezifischer Greifstrategien
- Positions- und Orientierungserkennung von Objekten vor dem Zugriff
- Optimierung der Anzahl und Anordnung der Greiferwirkelemente
- Nutzung von technischen Fortschritten bezüglich Material-, Form- und Operationsvielfalt

2 Greifen in natürlichen und technischen Systemen

Das Studium biologischer Organismen kann im Hinblick auf das Greifen zu interessanten Anregungen für die technische Umsetzung in Greifermechanismen führen. Folgende Bereiche sind hierbei wichtig:

- Ergebnisse der Evolution bezüglich der Greiforgane bei Tier und Mensch
- Aufbau von Greiforganen und ihr biologisch-physikalisches Prinzip
- Ablauf des Greifens, insbesondere Phasen bis zur Griffsicherung
- Informationsverarbeitung fürs Greifen bezüglich Zeit, Regelung, Kontrolle

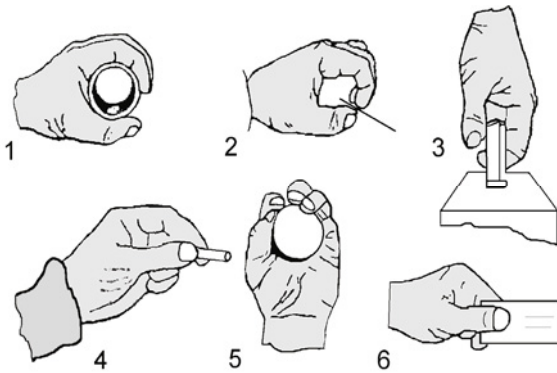
Erst wenn man tiefer über das Werkzeug "Menschliche Hand" nachdenkt wird bewusst, wie universell ihre Leistungsfähigkeit ist. Schließlich ist der Begriff "**Handhabungstechnik**" von der menschlichen Hand abgeleitet, von der wir wissen, dass sie außerordentlich vielseitig einsetzbar ist. Welche Erkenntnisse lassen sich daraus für die Entwicklung künstlicher Greifwerkzeuge gewinnen?

2.1 Greifen in biologischen Systemen

Biologische Organismen zeigen an vielen Beispielen, wie Objekte gegriffen werden können. So gibt es bei den Gliederfüßlern Greif-, Klammer- und Fangbeine in großer Typenvielfalt. Flexibles Greifen beherrschen vor allem die verschiedenen Affenarten und natürlich der Mensch. Ob der *Bambiraptor*, ein kleiner Dinosaurier, bereits vor 75 Millionen Jahren eine Greiffunktion entwickelt hat, wie amerikanische Forscher vermuten, muss noch gesichert werden. Der kleine Fleischfresser konnte ähnlich wie ein Mensch mit der Daumenspitze die Spitze des Mittelfingers berühren. Das Prinzip "Greifen durch Saugen" lässt sich bei Wassertieren beobachten, wie z.B. Saugnäpfe an Krakenarmen.

Zunächst wäre festzustellen, dass sich evolutionsgeschichtlich verschiedene Arten von Griffen etabliert haben, die im Gehirn gespeichert sind und bei Bedarf abgerufen werden können. Die Greiforgane folgen dann den Absichten. Hinzu kommt die sensorische Ausstattung der Hand, die Vibration, Tastdruck, Feuchtigkeit und Wärme wahrnehmen kann.

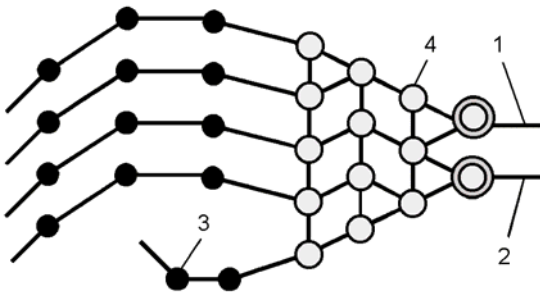
Was der Mensch mit 5-Finger- Händen an Griffen hervorbringen kann, ist eine unglaubliche Anzahl von Einzelgriffen, die er trainieren, speichern, abrufen und variieren kann. Man kann sie in typische Griffklassen einteilen, wie in Bild 2.1 gezeigt. Weitere über 100 mögliche Griffe sind mehr oder weniger Abarten der natürlichen **Grundgriffe**.



- 1 Zylinderhohlgriff
- 2 Spitzgriff
- 3 Hakengriff
- 4 Dreifingergriff
- 5 Handinnenflächengriff
- 6 Zangengriff

Bild 2.1: Mögliche Einteilung typischer Griffe in Griffklassen

Das Bild 2.2 zeigt den mechanischen **Gelenkaufbau** der menschlichen Hand. Schon daraus kann man erahnen, wie universell ein solches Greifwerkzeug relativ zu einer speziellen Aufgabenstellung ist, wie viel Aufwand man aber auch für eine spezielle Handhabungsaufgabe ersparen könnte, wenn es gelingt, Teile der Handfunktion nachzubauen. Vieles erledigt der Mensch auch in Verbindung mit dem Sehsinn. In dieser Kombination ergibt sich das, was wir als Auge-Hand-Koordination bezeichnen.



- 1 Speiche
- 2 Elle
- 3 Fingergelenk
- 4 Handgelenk

Bild 2.2: Mechanischer Gelenkaufbau der Hand

Aus der Anzahl an Gelenken (Freiheitsgrad $F = 1$, einige auch mit $F = 2$) ergibt sich für die gesamte Hand ein **Freiheitsgrad** von $F = 22$. Die Knochen der Hand sind als kinematische Bauteile anatomisch in drei Gruppen einteilbar:

- Handgelenks- oder Handwurzelknochen (8 Knochen)
- Mittelhandknochen (5 Knochen)
- Fingerknochen (14 Glieder)

Betrachtet man den an sich einfachen Fügevorgang "Bolzen-in-Loch", so zeigt sich, dass sich das Fügeteil verkanten kann. Es entsteht eine Kraft F_2 , die den Klemmeffekt verstärkt. Auch bei noch so großer Kraftaufwendung ist der Bolzen nicht in die Bohrung zu bewegen (Bild 2.3). Es geht wirklich nur mit Gefühl.

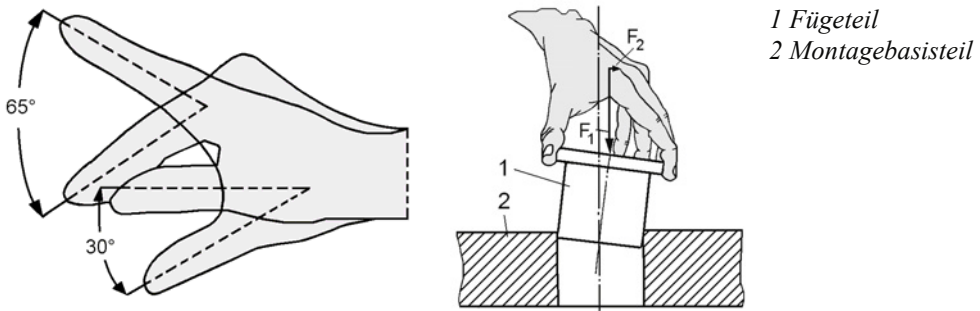


Bild 2.3: Was kann die menschliche Hand beim Manipulieren leisten?

links: Fingerwinkel, rechts: Bolzen-in-Loch-Montage - Ein Standardfall in der Montage

In der industriellen Fertigung braucht man nur in wenigen Fällen eine 5-Finger-Hand. Aus Untersuchungen weiß man, dass etwa 90 Prozent aller in der Industrie vorkommenden Griffe mit drei Fingern ausführbar sind. Auf alle diese Besonderheiten muss Rücksicht genommen werden, wenn man Greifer konzipiert, die problemlos funktionieren sollen. Auch das Verkanten beim Fügen hat man übrigens gelöst. In Kap. 9.4 wird ein ungesteuerter **RCC-Mechanismus** gezeigt, der von selbst auf kleine Positions- und Winkelfehler reagiert. Die Teile können auch bei kleinem Fügenspiel von nur $5\ \mu\text{m}$ zusammengesteckt werden.

Trotz enormer Flexibilität ist die Hand für so manchen industriellen Griff als Vorbild nicht verwendbar. Im Wege stehen solche Kriterien wie Temperaturempfindlichkeit, Tragkraft, Positioniergenauigkeit, Flächenpressung u.a. Probleme bereiten auch extreme Handhabungsobjekte (große sperrige Teile, winzige Miniaturbauteile). Der Bewegungsbereich der Finger ist ebenfalls eingeschränkt, wie in Bild 2.3 zu erkennen war. Der Daumen der menschlichen Hand steht bei jedem Griff in Opposition zu den übrigen Fingern und sein Bewegungsvermögen ist nur etwa halb so groß, wie das der Finger.

Das Interesse an vielfingrigen flexiblen Händen resultiert vor allem aus den Bereichen Prothetik, Servicerobotik und Weltraumtechnik. Griff Forscher haben untersucht, was aus dieser Sicht Richtschnur für die Entwicklung von Kunst Händen sein kann. Die wünschenswerten **Griffe** werden wie folgt eingeteilt:

- Fingerspitzengriff: z.B. Greifen einer Nadel mit zwei Fingern
- Fingerbeerengriff: z.B. Greifen eines Papierblattes
- Fingerbeeren-Fingerseitengriff: z.B. Halten eines Geldstückes während eines Schlitzeinwurfes
- Interdigitaler Griff: z.B. Klemmen einer Zigarette zwischen zwei Fingern

- Tridigitaler Griff: z.B. Halten eines Stiftes mit Daumen, Zeige- und Mittelfinger
- Tetradigitaler Griff: z.B. Halten eines Golfballs mit vier Fingern
- Pentadigitaler Griff: z.B. Halten einer CD beim Einlegen in einen CD-Player
- Handflächengriff: z.B. Halten einer Kugel mit Nutzung der Handinnenfläche

Für Industrieroboter gestalten sich die Anwendungsbedingungen viel einfacher, obwohl auch hier die Forderungen nach Flexibilität neue konstruktive Wege erfordern. Bei den Hand(unterarm)-Prothesen strebt man sogar gedanklich angesteuerte Prothesen an, die alltagstaugliches Greifen möglich machen. Das Prinzip einer bioelektrischen Hand beruht darauf, dass von den Muskeln im Unterarm Myoströme mit einer Spannung von 20 bis 80 Mikrovolt mittels Elektroden von der Hautoberfläche abgenommen werden. Diese schalten dann Kraftstromkreise, die die Mechanik der **Kunsthand** in Gang setzen (Bild 2.4).

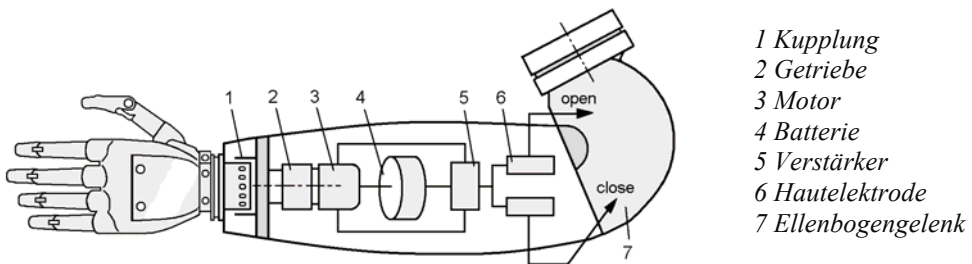


Bild 2.4: Prinzipaufbau einer myoelektrisch gesteuerten Kunsthand

Im Allgemeinen werden dazu zwei Muskeln benötigt, ein Agonist und ein Antagonist. Der eine Muskel steuert das Schließen, der andere das Öffnen der Prothesenhand. Die erste Kunsthand dieser Art wurde 1945 von R. REITER vorgestellt. Die zur Steuerung notwendigen Aggregate (Verstärker, Batterie) hatten allerdings noch die Größe einer Aktentasche. Die Hand lieferte aber erstmals den Beweis der Machbarkeit. Es zeigen sich interessante Zusammenhänge, wenn man den Bogen von der PROTHETIK über die BIONIK bis zur ROBOTIK spannt, wie es in der Tafel 2.1 zu sehen ist.

Kritikpunkte an herkömmlichen Prothesenhänden [2.1] sind gleichzeitig Aufgabenstellungen für Greifhände, die man für **Serviceroboter** im Heimbereich haben möchte. Das sind:

- Herkömmliche Prothesenhände sind zu schwer.
- Sie bieten zu wenig Bewegungsmöglichkeiten.
- Der PVC-Schutzhandschuh verschmutzt zu schnell.
- Das kosmetische Erscheinungsbild ist noch unzureichend.