



**Hochschule für Technik
und Wirtschaft Berlin**

University of Applied Sciences

Gehirn-Computer-Schnittstellen in Neuroprothesen

20. Juni 2018

Fachbereich: 4 (Informatik, Kommunikation und Wirtschaft)
Studiengang: Angewandte Informatik (SoSe2018)
Seminar: B15 Gesellschaftliche Aspekte der Informatik
Dozentin: Prof.-Dr. Christin Schmidt

Gruppe: 5

Gruppenmitglied	Matrikelnummer	Kapitel
Louis Knorn	566546	1
John-Kevin Gold	566538	2
Jeremy Etienne Seipelt	566847	3
Kathrin Klocke	514403	4

Inhaltsverzeichnis

1 Funktionsweise der Gerätetechnik von Gelenkarmrobotern	5
1.1 Einführung	5
1.2 Kinematik	7
1.3 Aktorik	9
1.4 Sensorik	9
1.5 Fazit	10
Literatur	12

Abbildungsverzeichnis

1	Knickarmrobotersteuerung durch Kopfbewegungen	5
2	Einteilung von Handhabungsgeräten	7
3	Translation (a) und Rotation (b)	8
4	KR AGILUS sixx	8

Tabellenverzeichnis

1 Funktionsweise der Gerätetechnik von Gelenkarmrobotern

1.1 Einführung

Der Artikel „Neuroprothese: Gelähmter steuert Roboterarm mit bloßer Vorstellungskraft“ aus dem Jahr 2015 beschreibt, wie ein Mensch einen Industrieroboter-ähnlichen Gelenk- bzw. Knickarmroboter mittels eines Brain-Computer-Interface steuert (vgl. Merkelt 2015). Die Idee, verlorene oder gelähmte Gliedmaßen durch Roboterarme zu ersetzen, ist allerdings nicht völlig neu. Bereits im Jahr 1979 veröffentlichten Guittet u. a. eine Fallstudie, die eine vergleichbare Anwendung untersuchte. Man bezeichnete einen solchen Roboterarm auch als Telethese, allerdings wurde der Arm damals durch einfache Kopfbewegungen kontrolliert (vgl. Guittet u. a. 1979).

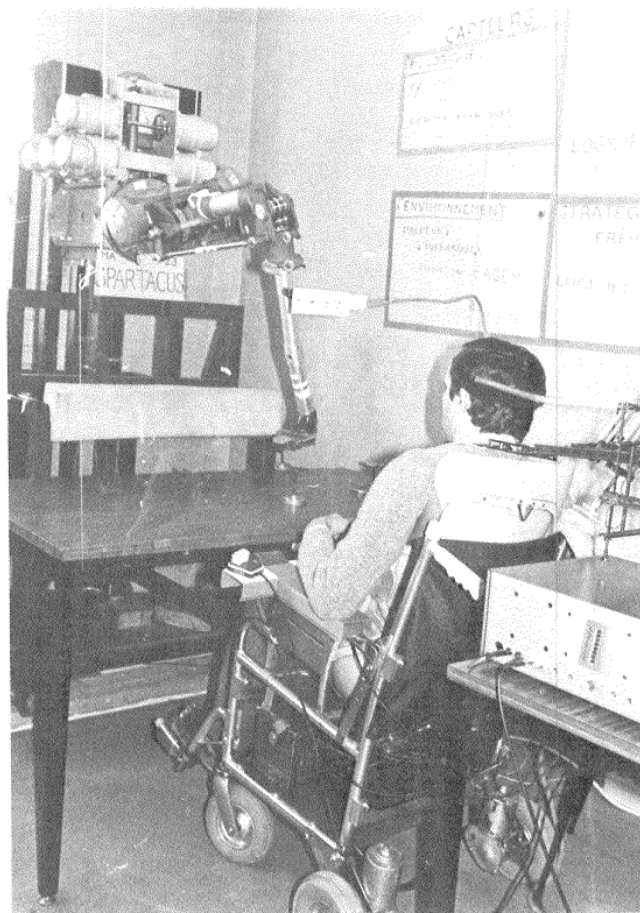


Abbildung 1: Knickarmrobotersteuerung durch Kopfbewegungen
(Guittet u. a. 1979, S. 84)

Nachdem im ersten Kapitel der Gruppenarbeit die Funktionsweise von BCI erläutert wurde, beschäftigt sich der folgende Abschnitt mit der Gerätetechnik eines Gelenkarmoboters sowie Begriffen und Grundlagen der Robotik im Allgemeinen. Die Gerätetechnik gehört zu den Kernkomponenten in einem Robotersystem und beinhaltet technische Elemente für Kinematik, Sensorik und Aktorik. Zu den weiteren Kernkomponenten, die im Rahmen der Belegarbeit nicht weiter behandelt werden, zählen:

- Steuerung (z.B. Rechnerkopplung, Interpolation)
- Programmierung (z.B. Punkt- und Bahnsteuerung, Prozessbeschreibung)
- Prozessführung (Geometrie- und Technologiedatenverarbeitung, Steuer- und Regelstrategie)
- Endeffektor (z.B. Greifer, Werkzeuge)

(vgl. Hesse und Malisa 2016, S. 40)

Der Begriff Robotik ist laut DIN definiert als:

Robotertechnik, zu der man Entwurf und Berechnung, Herstellung, Steuerung von Robotern, Einsatz in Standard- und Problemlösungen, Erforschung von Steuerungsvorgängen bei Mensch und Maschine, Sensoren und Endeffektoren sowie deren Anwendung zählt (DIN EN ISO 8373, zitiert nach ebd., S. 39).

Roboter können nach verschiedenen Kriterien, wie Anwendungsbereich, Einsatzgebiet, Ausführung und Aufgaben, gruppiert werden (vgl. ebd., S. 25 f.). Die VDI-Richtlinie 2860 beschreibt Industrieroboter beispielsweise wie folgt:

Industrieroboter sind universell einsetzbare Bewegungsautomaten mit mehreren Achsen, deren Bewegungen hinsichtlich Bewegungsfolge und Wegen bzw. Winkeln frei programmierbar (d.h. ohne mechanischen Eingriff vorzugeben bzw. änderbar) und gegebenenfalls sensorgeführt sind. Sie sind mit Greifern, Werkzeugen oder anderen Fertigungsmitteln ausrüstbar und können Handhabe- oder andere Fertigungsaufgaben ausführen (VDI-Richtlinie 2860, zitiert nach Weber 2017, S. 16).

Roboter, insbesondere Industrieroboter, können demnach auch als Handhabungsgeräte bzw. -technik betrachtet werden. Abbildung 2 zeigt, dass Handhabungsgeräte primär in manuell gesteuerte oder programmgesteuerte Geräte eingeteilt werden können. Es gibt darüber hinaus aber auch Mischformen in der Robotik, z.B. beim Serviceroboter. Dieser ist ein Hybrid aus Industrieroboter und Manipulator, welcher Dienstleistungen für den Menschen erbringt. Serviceroboter reagieren auf menschliche Anweisungen (manuelle Steuerung) führen Teilaufgaben aber auch automatisch bzw. programmgesteuert aus. (vgl. ebd., S. 15–17)

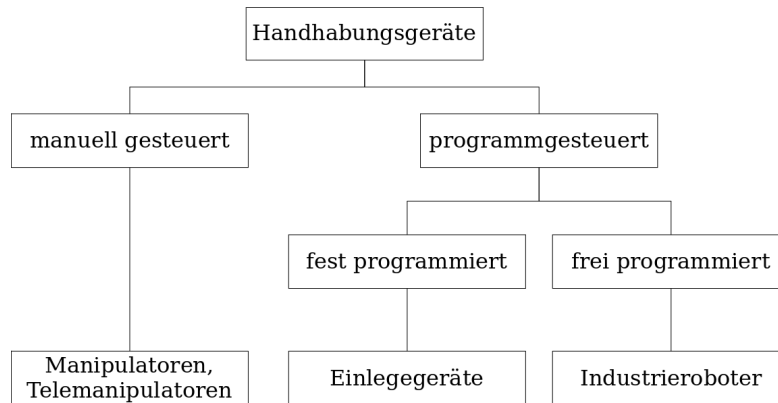


Abbildung 2: Einteilung von Handhabungsgeräten
(Weber 2017, S. 16)

1.2 Kinematik

Die Anordnung der Armteile und Gelenke bestimmt die kinematische Struktur eines Roboters, hierbei unterscheidet man hauptsächlich zwischen serieller Kinematik und Parallelkinematik. Roboter die aus einer Aneinanderreihung von Armteilen bestehen, welche wiederum durch Gelenke bzw. Achsen verbunden sind, ordnet man der seriellen Kinematik zu. Das letzte Armteil in einer solchen Anordnung, kann auch als Effektor bzw. Endeffektor bezeichnet werden. Hierbei handelt es sich um das Teil des Roboters, welches in Kontakt mit der Umgebung tritt, um z.B. Objekte zu greifen. Bei der Parallelkinematik hingegen sind mehrere Schub- oder Drehgelenke mit dem Effektor verbunden und wirken direkt auf diesen. Der Gelenkarmroboter weist eine serielle Kinematik auf. Die kinematische Struktur eines Roboters bestimmt wiederum seinen Freiheits- bzw. Getriebefreiheitsgrad. (vgl. Weber 2017, S. 17–20)

Der Freiheitsgrad f beschreibt „[...] die Anzahl der möglichen unabhängigen Bewegungen (Verschiebungen, Drehungen) eines starren Körpers gegenüber einem Bezugssystem“ (ebd., S. 18). Es gibt hierbei zwei wesentliche Grundbewegungen, die Translation (Gleit- oder Verschiebewegung) und die Rotation (Drehbewegung). Bei der Translation bewegt sich der Körper theoretisch ohne sich selbst zu drehen (starr) entlang einer oder mehrerer Raumachsen (x-, y- und z-Achse). Bei der Rotation hingegen dreht sich der Körper um einen bestimmten Mittelpunkt bzw. um eine bestimmte Achse, die innerhalb oder außerhalb des Körpers liegen kann. (vgl. Schünke 2014, S. 53 f.)

Abbildung 3 stellt die Freiheitsgrade am Beispiel der Bewegungsmöglichkeiten eines Tennisballs im Raum dar.

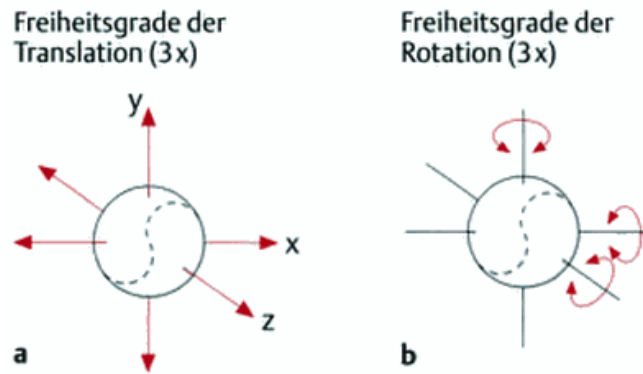


Abbildung 3: Translation (a) und Rotation (b)
(Schünke 2014, S. 53)

Der Getriebefreiheitsgrad F gibt an, „[...] wie viele unabhängig voneinander angetriebene Achsen zu einer eindeutigen Bewegung des Roboterarms führen“ (Weber 2017, S. 18). Bei Gelenkarmrobotern mit sechs Achsen ($F=6$), kann der Effektor durch geschickte Anordnung der Gelenke, den maximalen Freiheitsgrad $f=6$ erreichen. Roboter können generell aber auch mit mehr als sechs Achsen ($F>6$) konstruiert werden, dies bezeichnet man als redundante Kinematiken. Hierdurch erzielt man auf Kosten eines erhöhten Steuerungsaufwands eine Verbesserung der Feinbewegungen. (vgl. ebd.)

Abbildung 4 zeigt die Drehrichtung der Roboterachsen des Gelenkroboters KUKA KR AGILUS sixx.

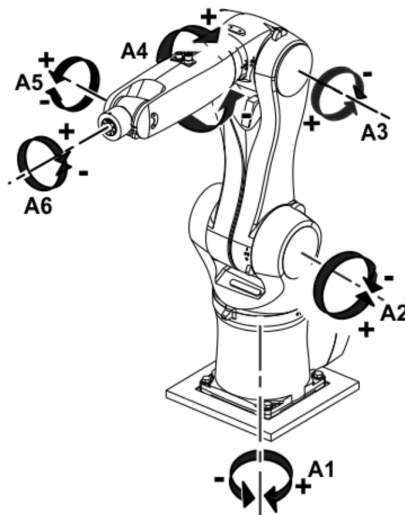


Abbildung 4: KR AGILUS sixx
(KUKA GmbH 2018)

1.3 Aktorik

Gelenkmodule und Achsverbindungen werden durch die Aktorik eines Roboters angetrieben und ermöglichen somit die Bewegung des Effektors. Der Aktor hat demnach die Aufgabe eine Achse von einer Position auf eine andere zu bewegen, hierzu gibt es vier typische Betriebszustände:

- Antrieb und Beschleunigung im Rechtslauf
- Abbremsung im Rechtslauf
- Antrieb und Beschleunigung im Linkslauf
- Abbremsung im Linkslauf

Zu den wesentlichen Gruppen in der Aktorik gehören pneumatische oder hydraulische Aktoren (z.B. doppeltwirkende Zylinder oder Druckluftmotoren) sowie elektrische Aktoren (z.B. bürstenbehaftete und bürstenlose Gleichstrommaschinen). Jede Gruppe hat ihre individuellen Vor- und Nachteile, weshalb in einem Robotersystem, und so z.B. auch bei einem Gelenkarmroboter, verschiedene Kombinationen von Aktoren zum Einsatz kommen können. Generell lässt sich festhalten, dass pneumatische und hydraulische Aktoren die höchsten Kräfte erzielen und daher sehr hohe Geschwindigkeiten erreichen können, allerdings erreichen sie nicht die hohe Positioniergenauigkeit von elektrischen Aktoren. (vgl. Hesse und Malisa 2016, S. 63–79)

Neben dem eigentlichen Antrieb bzw. Motor sind auch Getriebe Teil der Aktorik in einem Roboter. Getriebe sind notwendig, da die Bewegungen der Aktoren nicht immer direkt den Anforderungen des mechatronischen Systems entsprechen. Sie dienen allgemein der Übertragung und Umformung von Bewegungen sowie von Kräften, mittels der Änderung von Drehmomenten, -richtungen oder der Umsetzung einer Drehbewegung in eine Linearbewegung. Auch hier gibt es viele verschiedene Bauformen, deren Anwendung je nach Anforderung variiert, z.B. Kugelumlaufspindeln, Planetengetriebe, Kegelradgetriebe oder Zahnriemengetriebe. (vgl. MacCloy und Harris 1989, S. 121 f.; Hesse und Malisa 2016, S. 89–96)

1.4 Sensorik

Die Sensorik in einem Robotersystem ermittelt inner- und außerhalb des Systems vorliegende Informationen. Dies ist erforderlich, um die komplexen Bewegungsabläufe in einer nur teilweise bestimmbaren Umwelt auszuführen. Die Robotik stützt sich dabei häufig auf Erkenntnisse aus der Bionik¹ und man unterscheidet primär zwischen internen (interozeptiven bzw. propriozeptiven) und externen (exterozeptiven) Sensoren. Interozeptive Sensoren messen interne Zustände wie Motorgeschwindigkeit, Ladezustand oder Greifkraft und exterozeptive Sensoren ermitteln Informationen aus der Umgebung, z.B. zur Entfernungsmessung von Objekten. Nutzt ein Sensor dabei nur die Energie bzw. Signale aus der Umgebung, bezeichnet man ihn auch als

¹ Die Bionik erforscht, wie biologische Phänomene auf technische Systeme übertragen werden können. (Feess 2018)

passiven Sensor (z.B. Kameras oder Kontaktsensoren). Aktive Sensoren hingegen senden Energie aus und messen die Reaktion der Umgebung darauf (z.B. Laser- & Ultraschallscanner sowie Infrarotsensoren). (vgl. Hertzberg, Lingemann und Nüchter 2012, S. 23 f.; Kruse 2013, S. 73; Hesse und Malisa 2016, S. 97)

Zu den wesentlichen Aufgaben der Sensorik zählen: „

- Bewegungsüberwachung (z.B. Abgleich- und Justiervorgänge)
- Bewegungssteuerung (z.B. Konturverfolgung)
- Kraftsteuerung (z.B. Einpressen, Zusammenstecken)
- Sensorgesteuertes Erreichen einer Zielposition (unbekannte Position und Orientierung eines Teils)
- Programmablaufkontrolle (z.B. selektive Montage)
- Überwachung von Endeffektoren (z.B. Greifkraft, Rutschsensoren)

“ (Hesse und Malisa 2016, S. 97)

Zu den wichtigsten Sensoren gehören Positionssensoren, Beschleunigungssensoren und Sensoren zur Kräftemessung. Positionssensoren ermitteln die Position bewegter Komponenten wie dem Endeffektor und lassen sich z.B. durch inkrementale Weg- und Winkelgeber, Resolver oder elektrische Kompass realisieren. Zur optischen Positionsmessung gibt es neben Kameras eine Vielzahl von Lasersensoren mit unterschiedlichen Funktionsweisen wie Laserlaufzeitmessung, Lasermodulation, -triangulation oder -interferometrie. Beschleunigungssensoren messen Beschleunigungen und Rotationsraten, um die aktuelle Position und Orientierung eines betrachteten Körpers ausgehend von einer bestimmten Startposition zu berechnen. Hier kommen z.B. elektrische oder optische Gyroskope zum Einsatz. Zur Kräftemessung werden in der modernen Robotik Kraft-Moment-Sensoren eingesetzt, welche in der Regel alle drei Raumkräfte und -momente messen. Die Messung erfolgt dabei über piezoelektrische Elemente oder Dehnmessstreifen. (vgl. ebd., S. 98–117)

1.5 Fazit

Roboter sind höchst komplexe mechatronische Systeme, die primär aufgrund ihrer industriellen Nutzung weiterentwickelt wurden. Es hat sich gezeigt, dass der Effektor eines Gelenkarmroboters im Vergleich zu anderen kinematischen Strukturen den höchsten Freiheitsgrad erreichen kann. Daraus begründet sich auch der geeignete Einsatz als Telethese. Allerdings konnten im Rahmen der Belegarbeit viele wichtige Fragen, wie beispielsweise zur Steuerung, Prozessführung oder den Endeffektoren, nicht geklärt werden. In Anbetracht der Komplexität von Robotersystemen stellt sich auch die Frage nach sicherheitstechnischen Anforderungen, insbesondere wenn solche Systeme als Prothesen genutzt werden. Während bei stationären Industrierobotern z.B. umzäunte Sperrbereiche eingerichtet werden können, bestünde im Fall

von Fehlfunktionen bei einem mobilen Roboterarm die Gefahr Lebewesen oder Objekte im unmittelbaren Umfeld oder den Anwender selbst zu verletzen.

Literatur

- Feess, Eberhard (19. Feb. 2018). *Definition: Bionik*. Gabler Wirtschaftslexikon Online. URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/bionik-27087/version-250750> (besucht am 19.06.2018).
- Guittet, J. u. a. (1979). „The Spartacus telethesis: manipulator control studies“. In: *Bulletin of Prosthetics Research* 16.2, S. 69–105. ISSN: 0007-506X.
- Hertzberg, Joachim, Kai Lingemann und Andreas Nüchter (2012). *Mobile Roboter: eine Einführung aus Sicht der Informatik*. eXamen.press. OCLC: 554956189. Berlin: Springer Vieweg. 389 S. ISBN: 978-3-642-01726-1 978-3-642-01725-4.
- Hesse, Stefan und Viktorio Malisa, Hrsg. (2016). *Taschenbuch Robotik - Montage - Handhabung*. 2., neu bearbeitete Auflage. OCLC: 932644906. München: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag. 614 S. ISBN: 978-3-446-44365-5 978-3-446-44549-9.
- Kruse, Marco (2013). *Mehrobjekt-Zustandsschätzung mit verteilten Sensorträgern am Beispiel der Umfeldwahrnehmung im Straßenverkehr*. Forschungsberichte aus der industriellen Informationstechnik Bd. 5. OCLC: 840010245. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing. 186 S. ISBN: 978-3-86644-982-4.
- KUKA GmbH (19. Apr. 2018). *KR AGILUS sixx Spezifikation*.
- MacCloy, Don und Michael J. Harris (1989). *Robotertechnik: Einführung*. Robotik. OCLC: 75094788. Weinheim: VCH. 412 S. ISBN: 978-3-527-26917-4.
- Merkelt, Judith (2015). „Neuroprothesen: High-Five mit Roboterarm“. In: *Spektrum - Die Woche* 21. URL: <https://www.spektrum.de/news/neuroprothese-gelaehmter-steuert-roboterarm-mit-blosser-vorstellungskraft/1347474> (besucht am 13.06.2018).
- Schünke, Michael (2014). *Funktionelle Anatomie: Topografie und Funktion des Bewegungssystems*. 2., vollständig überarbeitete Auflage. OCLC: 875226062. Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag. 391 S. ISBN: 978-3-13-118572-3 978-3-13-169402-7 978-3-13-199682-4.
- Weber, Wolfgang (2017). *Industrieroboter: Methoden der Steuerung und Regelung*. 3., neu bearbeitete Auflage. OCLC: 947105564. München: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag. 242 S. ISBN: 978-3-446-43355-7 978-3-446-43578-0.