

Innovative Antriebskonzepte für Industrieroboter

Ein Roboter mit Luftmuskelantrieb

DI Dr. **H. Gattringer**, Johannes Kepler Universität, Linz;
DI Dr. **R. Naderer**, MBA, FerRobotics Compliant Robot Technology GmbH, Linz;
DI Dr. **P. Ferrara**, FerRobotics Compliant Robot Technology GmbH, Linz;
Prof. Dr.-Ing. habil. **H. Bremer**, Johannes Kepler Universität, Linz;

Kurzfassung

Herkömmliche Industrieroboter charakterisieren sich durch starre Verbindungselemente mit steifen Servoantrieben. Damit ergibt sich eine sehr gute Positionier-/Wiederholgenauigkeit, die in vielen Industrieapplikationen gefordert wird. Geht der Roboter mit seinem Umfeld auf Kontakt, so treten aufgrund des starren Aufbaues zwangsläufig hohe Kräfte auf, die über eine entsprechende Sensorik sowie Regelungsaufwand abgefangen werden können. Mit dem neuen Konzept des mit Luftmuskeln angetriebenen Roboters wird diese spezielle Anforderung gelöst.

1. Einleitung

Bei wichtigen industriellen Anwendungen, z.B. Schleifen, Polieren, Einlegen in Pressen, ist ein Kontakt mit dem Umfeld unumgänglich. Daher entstand an der Universität Linz die Idee, einen Roboter mit elastischen Antrieben (Luftmuskeln) zu bauen, was aufgrund des Erfolges zur Gründung eines Spin Off's – FerRobotics Compliant Robot Technology GmbH - führte. Die Besonderheit und Innovation dieser „Roboter mit Feingefühl“ (siehe Bild 1) liegt in ihrer Nachgiebigkeit und ihrer Flexibilität der Komponenten, kombiniert mit einer einfachen „Show-Do“-Programmierung.

Die dadurch entstehende Charakteristik eröffnet bisher technologisch ungelöste und daher völlig neue Anwendungsmöglichkeiten in der industriellen Automation, Simulation, Virtual Reality bis hin zu Fitness, sporttherapeutischen und medizinertherapeutischen Anwendungen.



Bild 1: 7-Achsen Roboter ROMO der Firma FerRobotics

2. Elastische Roboter

Die Anwendung elastischer Roboter ist für viele Bereiche von großer Bedeutung. Dabei können grundsätzlich 3 verschiedene Arten der Elastizität unterschieden werden. In Bild 2 sind die unterschiedlichen Arten schematisch für 1 Gelenk dargestellt.

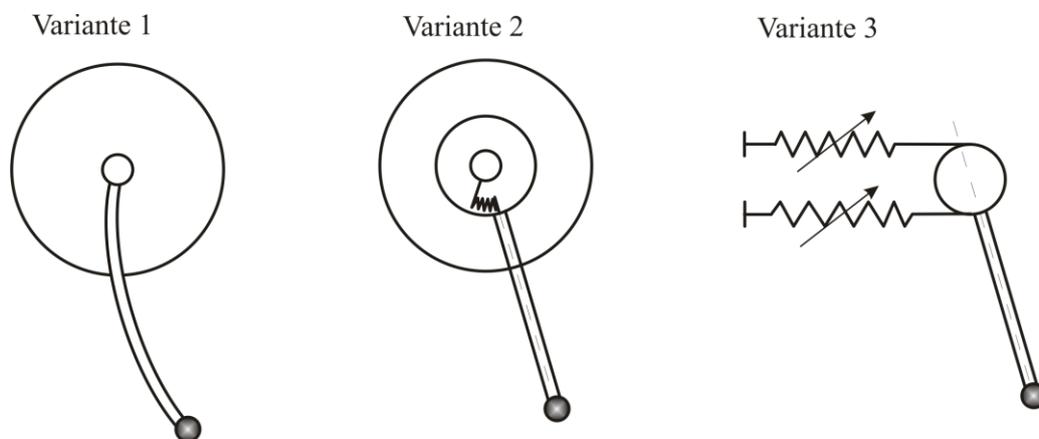


Bild 2: Ausführungsformen elastischer Roboter

Bei der ersten Variante wird ein Motor mit starrem Getriebe verwendet. Der Abtrieb ist ein elastischer Balken. Der Modellierungs- und Regelungsaufwand ist für diesen Fall enorm. Außerdem müssen die Krümmungen an mehreren Positionen des elastischen Balkens gemessen werden, um die elastischen Schwingungen zu unterdrücken, siehe [1], [3] und [5]. Variante 2 besteht aus einem starren Abtrieb. Allerdings ist die Elastizität hier im Getriebe, siehe auch [8]. Als Vertreter dieses Typs kann der LWR III des DLR [6] genannt werden. Dieser Roboter verfügt über eine motor- und abtriebsseitige Winkelmessung und eine

Drehmomentenmessung in jedem Arm. Damit kann über die Regelung ein entsprechendes elastisches Verhalten eingepreßt werden. Der Aufwand zur genauen Messung des Drehmomentes und der Abtriebsposition ist relativ hoch. Die Variante 3 kommt beim ROMO zum Einsatz. Durch den Einsatz von elastischen Luftmuskeln und damit Druckluft als Antriebsmedium liegt die Elastizität hier im Antrieb selbst. Als Messung sind die Abtriebsposition und der jeweilige Druck im Muskel erforderlich.

3. Modellierung und Regelung des ROMO

Der Antrieb des Roboters erfolgt sowohl über Luftmuskeln von Festo, als auch über Elektromotoren (PowerCubes von Schunk). Um ein Moment auf den Abtriebsarm einzuprägen, müssen im pneumatischen Fall, ähnlich wie beim Menschen, zwei Luftmuskeln (Agonist - Antagonist) geregelt werden, siehe Bild 3, da die Muskeln nur in der Lage sind translatorische Zugkräfte abzugeben (bis zu 6000N/Muskel).

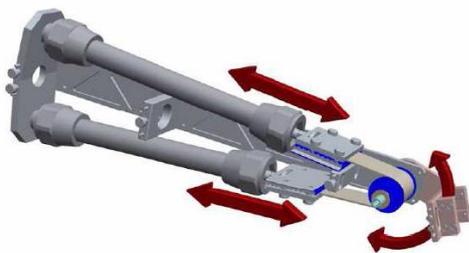


Bild 3: Antriebskonzept

Das Kraft – Druck Verhalten wird vom Hersteller über nichtlineare Kennlinienfelder angegeben. Bild 4 zeigt das Kennlinienfeld für den Festo Luftmuskel DMSP40.

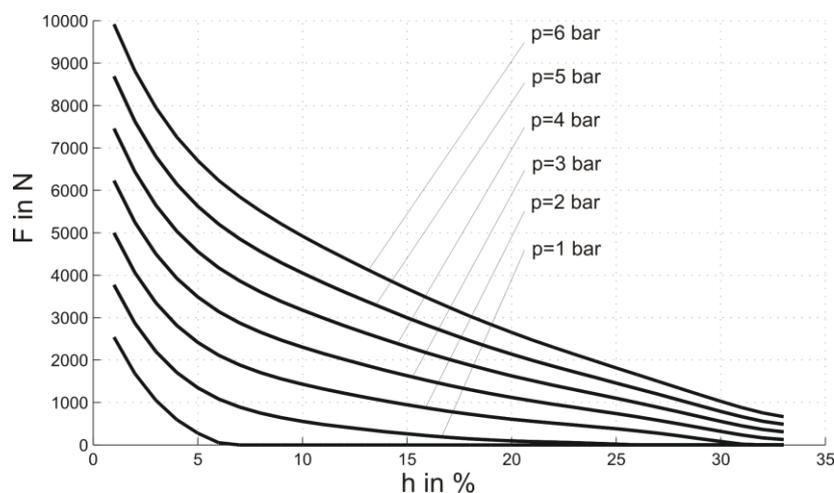


Bild 4: Kennlinien des Festo Muskel DMSP40

Alle 7 Freiheitsgrade werden über modulare Antriebseinheiten realisiert. Für die mechanische Modellbildung wird eine solche Einheit als „Subsystem“ abgebildet. Über die Projektionsgleichung werden diese Subsysteme zum Gesamtsystem projiziert. Besonders von Vorteil ist dabei der modulare Aufbau der Subsysteme. Zunächst werden jeweils ein Subsystem und dessen Interaktion mit den Nachbarsystemen optimiert. Dann kann das dynamische Gesamtmodell bei der Regelung als Vorsteuerung (Inverse Dynamik) eingebunden werden. Um Parameterungenauigkeiten und Reibungseffekte auszugleichen, sorgt eine zusätzliche Regelung, die speziell auf die Eigenschaften der pneumatischen Aktoren ausgelegt ist, für die Vorgabe an die Stellgrößen. Die Regelung hat eine Kaskadenstruktur bestehend aus unterlagerter Druckregelung, Linearisierung der Kennlinie und einer überlagerten Positionsregelung inklusive Momentenvorsteuerung. Bild 5 gibt eine graphische Übersicht des verwendeten Regelungskonzeptes. Der Trajektoriengenerator erzeugt die Bahnen in Weltkoordinaten, welche mit Hilfe der inversen Kinematik in die Gelenkskoordinaten des Roboters umgerechnet werden.

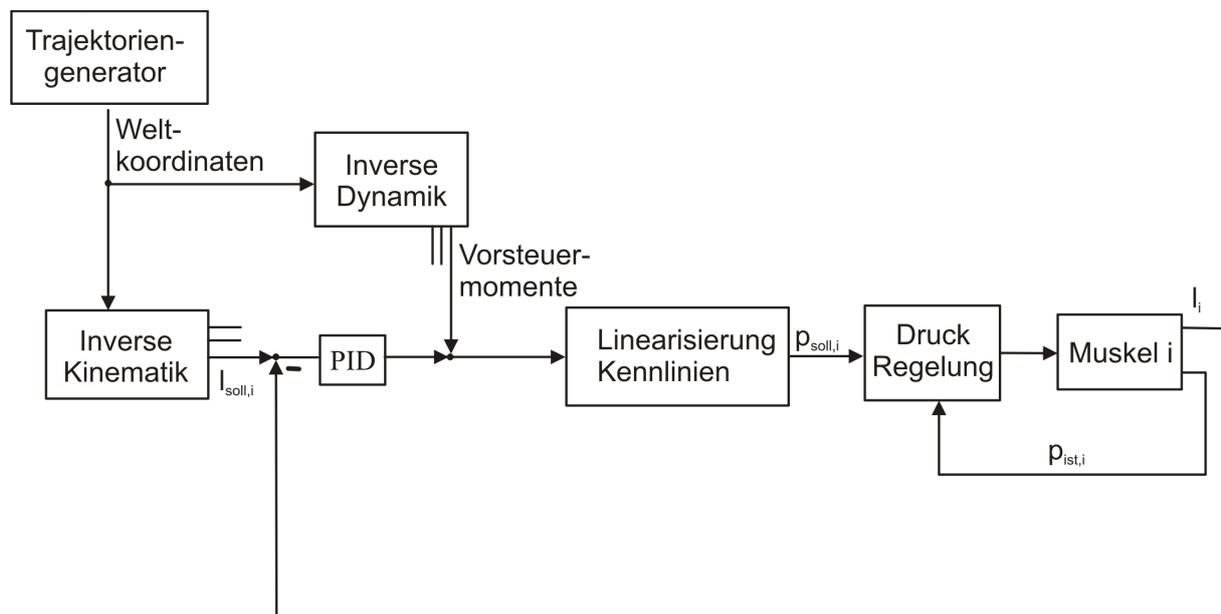


Bild 5: Implementiertes Regelungskonzept

Ähnliche Regelungskonzepte werden auch in [4] und [7] angewendet.

4. Anwendungen des ROMO

Neben den traditionellen Roboteranwendungen im Fertigungsbereich bietet die neue Compliance-Technologie erstmals die Möglichkeit, Tätigkeiten mit definiertem Anpressdruck bei gleichzeitiger Oberflächenanpassung, einfach zu automatisieren:

Konturenverfolgung	(Schleifen Polieren, Entgraten, ...)
Handhaben weicher Materialien	(Schaumstoff/Fließ anbringen, ...)
Sanftes Positionieren	(Handling, Sandstrahlen, Lackieren,...)
Mobile Roboter	(Rollstuhl, Assistenz, ...)
Unterwassereinsatz	(Putzaufgaben am Schiffsrumpf, ...)

Hervorzuheben ist, dass die spezielle Charakteristik dieser Technologie nun auch die Automatisierung und dadurch Produktivitätssteigerung in Kleinserien ermöglicht. Dies ist ein wichtiges Thema der Produktentwicklung, da sich die Produktlebenszyklen immer mehr verkürzen, siehe Bild 6.

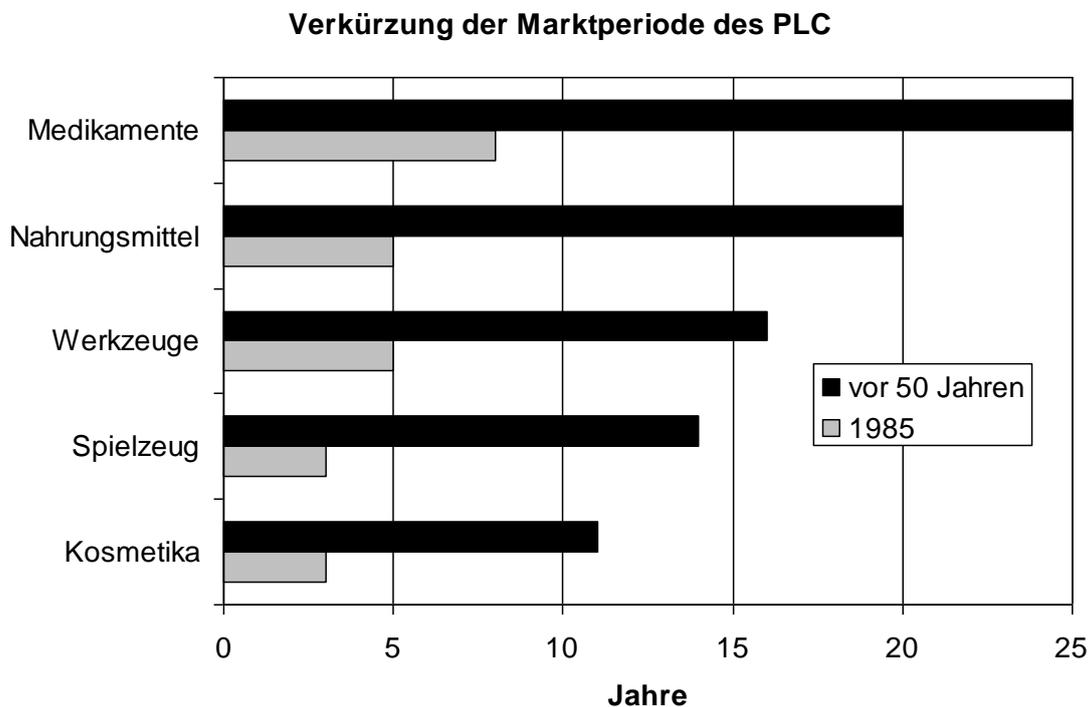


Bild 6: Verkürzung der Marktperiode für verschiedene Produkte, [11]

Zusätzliche Anwendungsoptionen bieten sich im besonders stark belasteten Arbeitsumfeld. Die intuitive Nutzbarkeit von ROMO lädt dazu ein, Tätigkeiten unter für Menschen nur schwer verträglichen Bedingungen, automatisiert auszuführen.

Anwendungen in Rehabilitation und Pflege, Fitness, sporttherapeutischen und medizintherapeutischen Belangen sind die viel versprechenden Anwendungsfelder für die Roboter-Assistenz der Zukunft. Schon die demographische Entwicklung fordert auf, Pflegepersonal und Therapeuten technisch optimal zu unterstützen und zugunsten ihrer Haupttätigkeiten zu entlasten.

Tabelle 1: Leistungsdaten des ROMO

Freiheitsgrade	bis 7
Nennlast	bis 5 kg
Reichweite	2 m
Wiederholgenauigkeit	+/- 2 mm
Geschwindigkeit	max. 120°/s
Versorgung	220V, 7 bar Pressluft

Ziel der Innovation war es, dem Einsatz von Robotern eine völlig neue Charakteristik und Dimension zu geben:

- besonders einfache Handhabung und Bedienfreundlichkeit
- leichte Transportierbarkeit, große Robustheit
- äußerst vielfältige Einsatzmöglichkeiten → vor allem auch bei Kleinserien
- optimales Preis-Leistungsverhältnis

Die neue Generation der leichten, flexiblen, elastischen ‚Servo-‘ Robotern führen zu einem Paradigmenwechsel in der Anwendung der bisher sperrigen „programmierbaren Mehrzweck-Handhabungsgeräte“ mit starren Programmabläufen.

ROMO ist sicher und intuitiv handhabbar, reagiert berührungssensitiv auf sein unmittelbares Umfeld.

Der neue Leichtbauroboter besitzt bis zu 7 Freiheitsgrade und hat dadurch sehr viele Bewegungsmöglichkeiten, die man durchaus mit einem menschlichen Arm vergleichen kann.

Dieses hochtechnologische und gleichzeitig „einfache“ Setup verleiht dem Roboterarm seine einzigartige Charakteristik.

5. Innovation – elastischer Roboter

Nach Joseph Schumpeter ist Innovation die Durchsetzung einer technischen oder organisatorischen Neuerung, nicht allein ihre Erfindung, vgl. [12].

In einer allgemeinen Definition von Everett M. Rogers ist eine Innovation eine Idee oder ein Objekt, das von den Übernehmern (Adoptierern, engl. Adopter) als neu angesehen wird, siehe [10].

Es gibt eine Vielzahl weiterer Definitionen, auf die aber hier nicht näher eingegangen wird. Eine Gemeinsamkeit der gebräuchlichsten Definitionen besteht darin, dass eine Neuerung (Invention) erst dann als Innovation betrachtet wird, wenn sie auf dem Markt erfolgreich eingeführt wurde.

Bei den elastischen Robotern kann man daher von einer Innovation sprechen, da bereits erste Geräte am Markt sind.

Die Art der Innovation kann unter anderen aufgrund von Technologie und Markt eingeteilt werden. Bild 7 zeigt eine derartige Unterscheidung. Für den elastischen Roboter trifft eine Radikalinnovation zu.

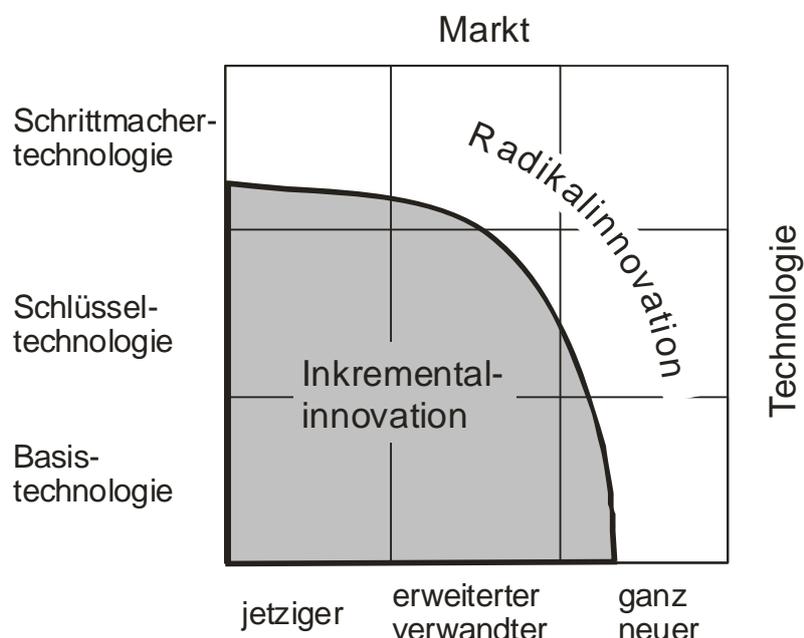


Bild 7: Differenzierung von Inkremental- und Radikalinnovationen

6. Zusammenfassung

Das technologische Zusammenspiel der neuen, flexiblen Robotergeneration ist ein ganz wesentlicher Meilenstein. Nach dem Vorbild der Natur (wie ein Grashalm, der sich im Wind biegt und sich danach wieder aufrichtet) findet sich dieses geniale Prinzip der Nachgiebigkeit nun auch in der Robotik wider.

Die bisherigen Anwendungen stellen lediglich den Anfang einer neuen Roboterintegration dar. Das pulsierende Wechselspiel zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft wird ein ganz wesentlicher Motor für die Anwendungsfülle dieser Robotergeneration sein.

7. Literatur

- [1] Bremer, H.: Elastische Roboter. ZAMM, 2003, S. 507-523
- [2] Naderer, R.: Konzeptbewertungsmethoden und Weiterentwicklungsprozesse für innovative mechatronische Produkte, Johannes Kepler Universität Linz Diss. 2006
- [3] Ferrara, P.: Modulare Simulation elastischer Roboter – Fallstudie ebenes Mehrfachpendel, Johannes Kepler Universität Linz Diss. 2007
- [4] Ramsauer, M.: Entwicklung eines Roboterarms mit Luftmuskeln, Johannes Kepler Universität Linz Diplomarb. 2005
- [5] Mitterhuber, R.: Modellierung und Regelung kooperierender Knickarmroboter mit elastischen Komponenten, Johannes Kepler Universität Linz Diss. 2005
- [6] Ott, C.: Cartesian Impedance Control of Flexible Joint Manipulators, Universität des Saarlandes Diss. 2005
- [7] Schwandtner, J.: Konstruktion, Modellierung und Regelung eines Hexapods mit Luftmuskel Aktuatorik, Johannes Kepler Universität Linz Diplomarb. 2007
- [8] Gattringer, H.: Realisierung, Modellbildung und Regelung einer zweibeinigen Laufmaschine, Johannes Kepler Universität Linz Diss. 2006
- [9] Vahs D., Burmester R.: Innovations Management – Von der Produktidee zur erfolgreichen Vermarktung, Schäffer Poeschel, Stuttgart, 1999
- [10] Rogers E.M.: Diffusion of Innovations, 3. Auflage, New York 1983
- [11] Pernicky R.: Rendite für Angreifer, Wirtschaftswoche Nr. 39/1987
- [12] Schumpeter J.A.: Theory of Innovation, The Review of Economic Statistics (now The Review of Economics and Statistics), February 1943