

Berichte aus dem  
Lehrstuhl für Mechatronik  
Universität Rostock

Band 1

**Dominik Schindele**

**Einsatz pneumatischer Muskeln  
als Aktoren in der Robotik**

Shaker Verlag  
Aachen 2013

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

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

Zugl.: Rostock, Univ., Diss., 2012

Copyright Shaker Verlag 2013

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-1722-9

ISSN 2195-9234

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

# Kurzfassung

Pneumatische Muskeln stellen innovative pneumatische Antriebskomponenten mit einem sehr hohen Kraft/Gewicht-Verhältnis dar. Der einfache Aufbau dieser Aktoren führt dazu, dass sie sehr preisgünstig sind, keinem Stick-Slip-Effekt unterliegen und unempfindlich gegenüber schmutziger Arbeitsumgebung sind. Aufgrund der genannten Vorteile stellen pneumatische Muskeln für viele Anwendungen eine interessante Alternative zu herkömmlichen pneumatischen Antrieben und teilweise auch zu elektrischen Antrieben dar. Die Kraft- und die Volumencharakteristik dieser pneumatischen Aktoren ist jedoch durch starke nichtlineare Effekte geprägt, was durch geeignete Regelungskonzepte berücksichtigt werden muss.

In der Dissertation werden verschiedene Ansätze zur Regelung und Störgrößenreduktion vorgestellt, mit denen sich ein gutes Folgeverhalten bei hoher Dynamik von Positioniersystemen mit pneumatischen Muskeln erzielen lässt. Die Leistungsfähigkeit der vorgeschlagenen Regelungskonzepte wird an zwei unterschiedlichen Prüfständen aufgezeigt. Bei einer Linearachse mit pneumatischen Muskeln werden die Antriebskräfte der Muskeln über Flaschenzüge auf den Schlitten übertragen, wodurch sich ein größerer Arbeitsraum im Vergleich zu einer direkten Antriebskonfiguration ergibt. Der zweite Versuchsaufbau entspricht einer Parallelkinematik mit zwei Freiheitsgraden zur Positionierung eines Endeffektors in der Ebene. Die Zugkräfte der Muskeln werden hier über Zahnriemen und Umlenkrollen auf die aktiven Gelenke übertragen.

Basis für die eingesetzten modellgestützten Verfahren zur Regelung und Störgrößenkompensation sind regelungsorientierte Modelle der untersuchten Prüfstände. Zur Modellbildung werden die entsprechenden Systeme nach deren physikalischen Eigenschaften aufgeteilt und dynamische Modelle für das Verhalten der komprimierten Luft im Muskel sowie der einzelnen mechanischen Teilsysteme erstellt. Das nichtlineare Verhalten der Muskelkraft wird durch ein statisches Kraftmodell in Kombination mit einem dynamischen Hysterese-Modell wiedergegeben. Die Charakteristik des verwendeten Proportional-Wegeventils wird durch ein nichtlineares Kennfeld approximiert.

Für die untersuchten Systeme werden jeweils kaskadierte Regelungsansätze verfolgt. In schnellen unterlagerten Regelkreisen werden die Muskeldrücke geregelt, während in einem äußeren Regelkreis jeweils die Ausgangsgrößen der mechanischen Teilsysteme geregelt werden. Zur modellbasierten Regelung wird das Backstepping-Verfahren verwendet, das auf der Stabilitätstheorie von Ljapunow basiert. Dabei kann die differentielle Flachheit der geregelten Teilsysteme zur Kompensation aller Nichtlinearitäten ausgenutzt werden. Die Reglerstruktur wird mit unterschiedlichen Methoden zur Störgrößenkompensation erweitert. Neben einer adaptiven Strategie zur Schätzung der Unsicherheiten kommt auch ein Störgrößenbeobachter sowie die rekursive quadratische Gütemaßminimierung zum Einsatz. Ein weiterer Ansatz zur Verbesserung des Regelverhaltens besteht in der Verwendung von iterativ lernenden Regelungen.

Das hohe Potential der vorgestellten Regelungskonzepte wird anhand zahlreicher experimenteller Ergebnisse belegt. Dabei liegt das Augenmerk sowohl auf dem Trajektorienfolgeverhalten als auch auf der stationären Genauigkeit.