

# Schlauchmodellierung und Zustandsschätzung bei pneumatischen Antrieben

Tube Modelling and State Estimation of Pneumatic Actuators

Von der Fakultät für Maschinenwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen  
Hochschule Aachen zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der  
Ingenieurwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von

David Rager geb. Hörmann

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hubertus Murrenhoff  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Oliver Sawodny  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Katharina Schmitz

Tag der mündlichen Prüfung: 7. Februar 2020

# Kurzfassung

In der Automatisierungstechnik sind pneumatische Antriebe aufgrund ihrer geringen Kosten und der hohen Robustheit weit verbreitet. Das Bewegungsverhalten des Antriebs, zum Beispiel Verfahrzeit und Endgeschwindigkeit, wird über mechanisch einstellbare Drosseln und Dämpfungssysteme realisiert. Für wandelbare Fertigungsanlagen und geringe Losgrößen, wie sie im Kontext von Industrie 4.0 diskutiert werden, sind standardpneumatische Antriebe aufgrund fehlender Flexibilität und elektronischer Schnittstellen nur eingeschränkt geeignet.

Mit einer programmierbaren Servoventilinsel – bestehend aus Proportionalventilen, integrierten Sensoren und Prozessoreinheit – kann das Bewegungsverhalten des Antriebs durch elektronische Ansteuerung des Ventils vorgegeben werden. Durch die Ventilinselstruktur sind die Schläuche zu den Antrieben lang und beeinflussen deren Bewegungsverhalten. Wegen des Druckverlusts und der Luftschwingungen im Schlauch spiegeln die ventilinternen Sensoren nicht die benötigten Messgrößen am Antrieb wieder. Das Verhalten der Luft im Schlauch ist damit nicht vernachlässigbar.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Weiterentwicklung von standardpneumatischen Antrieben zu mechatronischen Systemen. Mechanische Funktionen sollen durch Software ersetzt und Bewegungsparameter elektronisch vorgegeben werden. Ein wichtiger Aspekt ist die Berücksichtigung der Luftdynamik im Schlauch. Dafür wird ein pneumatisches Schlauchmodell entwickelt, das die niederfrequente Dynamik abbildet, turbulente Strömung berücksichtigt und eine geringe Ordnung hat. Auf Basis dieses Modells und der ventilinternen Sensorik werden antriebsnahe Größen wie Kammerdruck oder Kolbenposition geschätzt und damit ein neuer Betriebsmodus für Punkt-zu-Punkt-Bewegungen pneumatischer Antriebe entwickelt.

# Abstract

Pneumatic drives are widely used in industrial automation due to their low cost and high robustness. The motion behavior of a standard pneumatic drive, like travel time and final speed, is realized via mechanically adjustable throttles and damping systems. Due to a lack of flexibility and electronic interfaces standard pneumatic drives are only suitable to a limited extent for convertible production plants and small batch sizes, as discussed in the context of Industry 4.0.

With a programmable servo valve terminal – consisting of proportional valves, integrated sensors and processor unit the motion behavior of the actuator can be influenced by electronic control of the servo valve. Because of the valve terminal structure the hoses to the drives are long and affect their motion behavior. The valve-internal sensors do not reflect the required measured quantities at the actuator due to pressure loss and air vibrations in the hose. The behavior of the air in the hose is therefore not to be neglected.

The aim of this work is the further development of standard pneumatic drives into mechatronic systems. Mechanical functions are to be replaced by software and motion parameters electronically set. An important aspect is the consideration of air dynamics in the tube. A pneumatic tube model is being developed for this purpose which depicts the low-frequency dynamics, takes turbulent flow into account and has a low order. On the basis of the model and the valve-internal sensors, quantities close to the actuator, such as chamber pressure or piston position, are estimated and a new operating mode for point-to-point movements of pneumatic actuators is developed.