



Doctoral Thesis

## Beiträge zur Durchflussregelung von hochreinen und aggressiven Flüssigkeiten

**Author(s):**

Häfliger, Mario

**Publication Date:**

2006

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005271360> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 16745

***Beiträge zur Durchflussregelung von hochreinen  
und aggressiven Flüssigkeiten***

ABHANDLUNG  
zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER WISSENSCHAFTEN  
der  
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE  
ZÜRICH

vorgelegt von

MARIO HÄFLIGER

Dipl. El.-Ing. ETH  
geboren am 10. März 1977  
von Schenkon LU

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. J. W. Kolar, Referent  
Prof. em. Dr. J. Hugel, Korreferent

2006

# Kurzfassung

Durch den stetigen Trend zur Miniaturisierung integrierter Schaltungen werden in der Halbleiterfertigung immer höhere Anforderungen an die Prozessgrößenbestimmung sowie deren Regelung gestellt. Der zunehmende Bedarf an genauen Durchflussmessern und präzisen, hochdynamischen Aktoren verlangt nach neuen Mess- und Regelkonzepten.

Mechatronische Ansätze – zum Beispiel die Verwendung von Direktantrieben – eröffnen in diesem Anwendungsgebiet neue Perspektiven. Die Möglichkeit der hochdynamischen und exakten Positions- sowie Kraftregelung erlaubt die Realisierung neuer Durchfluss-Regelsysteme.

In der vorliegenden Arbeit werden drei neue mechatronische Konzepte zur Durchflussregelung untersucht, wobei Hauptaugenmerk auf die Aktorkomponente gelegt wird. Neben einer separierten Variante (Sensor und Aktor getrennt) wird auch das Konzept einer hochintegrierten Variante bestehend aus Sensor und Aktor in einem Element betrachtet. Diese Variante basiert auf der Technologie eines Durchflussmessers, welche in einer früheren Dissertation erarbeitet wurde. Das dritte Konzept behandelt die digitale Durchflussregelung. Hierbei wird die Prozessflüssigkeit durch mehrere zuschaltbare Durchflusszweige geführt.

Aufbauend auf den erarbeiteten Konzepten erfolgt die detaillierte Analyse. Jedem untersuchten Konzept ist hierbei ein eigenes Kapitel gewidmet. Neben fluiddynamischen und elektromagnetischen Betrachtungen werden auch thermische und materialwissenschaftliche Aspekte behandelt. Bei der hochintegrierten Variante wird das erarbeitete Softwarekonzept ausführlich diskutiert. Die separierte Variante wird mit Hilfe der Wachstumsgesetze bezüglich volumenspezifischer Güte optimiert. Die Untersuchungen zur digitalen Variante der Durchflussregelung umfassen sowohl den ausschliesslich ventilgeregelten Betrieb als auch das Gesamtsystem mit drehzahlregelbarer Pumpe und Absperrventilen.

Die Berechnungen basieren sowohl auf analytischen als auch auf numerischen (FEM) Ansätzen.

Die Machbarkeit und Leistungsfähigkeit der erarbeiteten Varianten zur Durchflussregelung wird abschliessend an Laborversuchsergebnissen gezeigt.

# Abstract

Due to the continuous trend to miniaturize integrated circuits, increasing demands are made on the determination and regulation of process parameters in semiconductor production. The increasing demand for accurate flow meters and precise, highly dynamic actuators requires new concepts of measuring and control.

Mechatrical approaches – as the use of direct drives – open up new vistas in this area of application. The feasibility of highly dynamic and accurate control of position and force enables the realization of new flow control systems.

In this work, three new mechatrical concepts of flow control are investigated, where the main focus is put on the actuator. In addition to a highly integrated (1) version containing sensor and actuator in one unit, a discrete type (2) is introduced, where sensor and actuator are separated. The integrated type is based on the technology of a flow meter which was developed earlier. The third concept is concerned with digital flow control. Here, the process fluid is carried through several switchable flow braces.

Based on the concepts lined out above, a detailed analysis is carried out. A separate chapter is dedicated to each of the investigated concepts. In addition to fluiddynamic and electromagnetic considerations, also thermal and materials scientific aspects are discussed. The software concept elaborated for the highly integrated version is discussed in detail. The discrete type is optimized with regard to the volume specific performance factor with the aid of growth laws. The investigations concerning the digital variant of flow control include both the solely valve-controlled mode and the complete system with an RPM-regulated pump and shut-off valves.

The calculations are based both on analytical and on numeric (FEM) approaches.

The feasibility and performance of the elaborated versions of flow control is verified by various experiments each involving one of the realized prototypes.