

**Daniel Diers**

# **Simulation pneumatischer Regelventile**

**Können Simulation und Realität  
übereinstimmen?**



Diplomica Verlag

**Diers, Daniel: Simulation pneumatischer Regelventile: Können Simulation und Realität übereinstimmen?. Hamburg, Diplomica Verlag GmbH 2015**

Buch-ISBN: 978-3-8428-9887-5

PDF-eBook-ISBN: 978-3-8428-4887-0

Druck/Herstellung: Diplomica® Verlag GmbH, Hamburg, 2015

**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.

---

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden und die Diplomica Verlag GmbH, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Alle Rechte vorbehalten

© Diplomica Verlag GmbH

Hermannstal 119k, 22119 Hamburg

<http://www.diplomica-verlag.de>, Hamburg 2015

Printed in Germany

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung.....</b>	<b>5</b>
1.1 Allgemeines zur Pneumatik.....	5
1.1.1 Geschichtliches zur Pneumatik.....	5
1.1.2 Grundbegriffe der Pneumatik.....	8
1.1.2.1 Der Druck.....	8
1.1.2.2 Der Volumenstrom.....	9
1.2 Allgemeines zu Ventilen.....	9
1.2.1 Wegeventile.....	10
1.2.2 Druckventile.....	12
<b>2 Magnete.....</b>	<b>14</b>
2.1 Allgemeines zu elektromechanischen Umformern.....	14
2.2 Grundgesetze des magnetischen Feldes.....	14
2.3 Der Proportionalmagnet.....	17
2.4 Proportionalmagnet G RF Y 035 F20 B02.....	20
2.4.1 Allgemeines zum Proportionalmagnet G RF Y 035 F20 B02.....	20
2.4.2 Kennlinien zum Proportionalmagnet G RF Y 035 F20 B02.....	22
<b>3 Direktgesteuertes 3-Wege-Proportional-Druckregelventil Norgren Herion</b>	
<b>VP40.....</b>	<b>31</b>
3.1 Allgemeines zum direktgesteuerten 3-Wege-Proportional-Druckregelventil Norgren Herion VP40.....	31
3.2 Beschreibung der Funktion.....	33
3.3 Zusammenfassung.....	43
<b>4 WABCO Relaisventil 973 011 000 0.....</b>	<b>44</b>
4.1 Allgemeines zum untersuchten Relaisventil.....	44
4.2 Wirkungsweise.....	46
4.3 Kennlinien des Ventils.....	49
4.4 Zusammenfassung.....	52
<b>5 JCI Signalumformer EP 1110-7001 (elektrisch – pneumatisch).....</b>	<b>53</b>
5.1 Allgemeines zu dem elektrisch – pneumatischen Signalumformer.....	53
5.2 Beschreibung der Funktion.....	54
5.3 Zusammenfassung.....	56

<b>6 Festo Proportional-Wegeventil MPYE – 5 – 1/8.....</b>	<b>57</b>
6.1 Allgemeines zu Proportionalventilen.....	57
6.2 Allgemeines zu dem Festo Proportional-Wegeventil MPYE – 5 – 1/8.....	58
6.2.1 Vorteile des Ventils.....	58
6.2.2 Allgemeine technische Daten.....	60
6.2.3 Elektrische Daten.....	60
6.3 Beschreibung der Funktion.....	61
6.4 Diagramme.....	64
6.5 Zusammenfassung.....	65
<b>7 Norgren Herion 3-Wege-Proportional-Druckregelventil NG 8.....</b>	<b>66</b>
7.1 Allgemeines zum Norgren Herion	
3-Wege-Proportional-Druckregelventil NG 8.....	66
7.1.1 Allgemeine Daten zum untersuchten Ventil.....	67
7.1.2 Technische Daten des untersuchten Ventils.....	67
7.2 Beschreibung der Funktion.....	68
7.2.1 Die Vorstufe.....	71
7.2.2 Die Hauptstufe.....	72
7.3 Digitale Simulation des Ventils.....	72
7.3.1 Die Simulationssprache „Modelica“.....	73
7.3.2 Die digitale Simulation.....	73
7.3.2.1 Das Simulationswerkzeug „Dymola“.....	73
7.3.2.2 Die Modellierung.....	75
7.3.2.2.1 Modellierung in Dymola allgemein.....	75
7.3.2.2.2 Modellierung des Proportionalventils.....	76
7.3.2.2.2.1 Modellierung der Vorstufe.....	76
7.3.2.2.2.2 Modellierung der Hauptstufe.....	80
7.3.2.2.2.3 Gesamtmodellierung.....	82
7.3.2.3 Die Simulation und graphische Darstellung.....	82
7.3.2.3.1 Simulation in Dymola allgemein.....	82
7.3.2.3.2 Die Simulation des Proportionalventils.....	84
7.3.2.3.2.1 Die Simulation der Vorstufe.....	85
7.3.2.3.2.2 Die Gesamtsimulation.....	87
7.4 Diagramme.....	98
7.5 Zusammenfassung.....	100

<b>8 Zusammenfassung.....</b>	<b>101</b>
<b>9 Literaturverzeichnis.....</b>	<b>103</b>

## Vorwort

In der Automatisierungstechnik ist die Pneumatik unverzichtbar, wenn es gilt, relativ geringe Massen mit großer Geschwindigkeit über Entfernungen im Dezimeterbereich zu bewegen. Dabei ist häufig erforderlich Drücke konstant zu halten. Dieses Buch beschäftigt sich mit dazu typischen Ventilen:

- Druckminderventil mit Ansteuerung durch einen Proportionalmagneten
- Vorgesteuertes Druckminderventil mit elektronischer Regelung
- Spannungs-Druck-Wandler aus der Prozessautomatisierung
- Schieberventil mit geregelter Position
- Relaisventil als Druckkopierer

In diesem Buch wird die Funktionsweise dieser Ventile untersucht und dargestellt werden. Dazu gehört das statische und dynamische Verhalten, das zum Teil in den Herstellerunterlagen beschrieben, zum Teil aber experimentell im Labor zu untersucht worden ist.

Die Funktionsweise ist mit Hilfe von Fotos bzw. zwei- und dreidimensionalen Illustrationen beschrieben

Am Beispiel der vorgesteuerten Druckminderventile ist darüber hinaus ein Simulationsmodell in der Sprache Modelica erstellt worden und zeigt, wie mit Hilfe dieses Modells Parametervariationen untersucht werden können.

# **1 Einführung**

## **1.1 Allgemeines zur Pneumatik**

Die Pneumatik ist ein Teilgebiet der Technik, das sich allgemein mit dem Verhalten der Gase und mit der Anwendung von Druck- und Saugluft als Energieträger für Arbeitsprozesse, Steuerungen und Regelungen befasst.

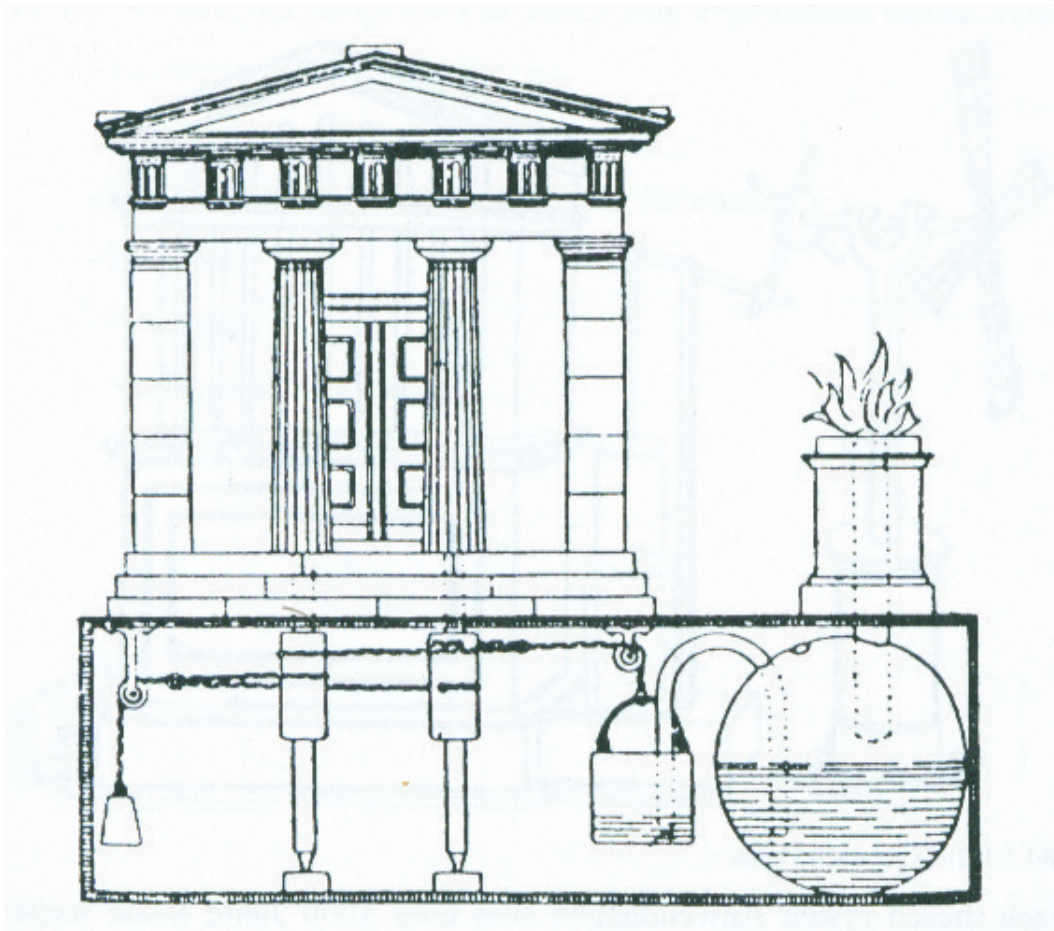
Pneumatische Einrichtungen dienen als Antriebe v.a. von hin- und hergehenden Bewegungen (z.B. bei Werkzeugmaschinen), als Bremsanlagen (Druckluftbremse), als Förderanlagen bei der pneumatischen Förderung von Schütt- und Stückgütern in Rohren (z.B. Rohrpost), als Druckluftwerkzeuge u.a., zur Steuerung und/oder Regelung von Arbeitsabläufen, sowie auch zur Durchführung logarithmischer Schaltfunktionen. Sie sind meist unkompliziert aufgebaut, einfach regelbar (durch Drosseln und Druckventile), wirtschaftlich und betriebssicher.

Pneumatische Bauelemente sind u.a.: Druckluftherzeuger (meist Kolbenverdichter und –speicher), Druckregler und –speicher, Druckminderventile, Regelventile und Drosseln. Wegeventile zur Steuerung sowie einfach- oder doppeltwirkende Arbeitszylinder (mit Kolben oder Membran). Mit Hilfe dieser Bauelemente lassen sich die verschiedenen Arbeits- und Steuerfunktionen ausführen. (Brockhaus Enzyklopädie, 19. Auflage)

### **1.1.1 Geschichtliches zur Pneumatik**

Neben dem Wasser ist die Luft der älteste Energieträger, dessen sich der Mensch bedient. Vor mehr als 2000 Jahren wurde bereits Druckluft erzeugt, gespeichert und als Energieträger verwendet. (...) Bereits im 3. Jahrhundert v. Chr. entwickelten der Mechaniker Ktesibios in Alexandria und der Mathematiker Archimedes von Syrakus druckluftbetriebene Maschinen.

Ausführliche Unterlagen existieren aber erst seit dem 1. Jahrhundert n. Chr. durch den alexandrinischen Mechaniker Heron, von dem der in Bild 1. 1 dargestellte Tempeltürenöffner für ägyptische Priester gebaut wurde.

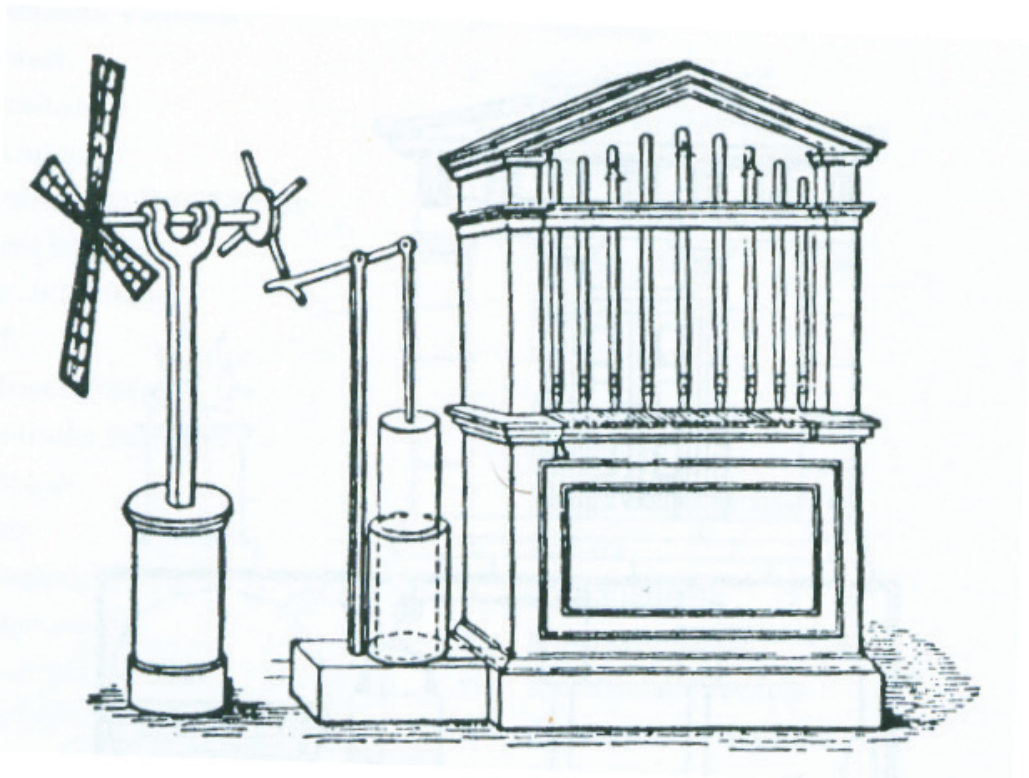


*Bild 1. 1: Tempeltürenöffner nach Heron (W. Backe/H. Murrenhoff – Grundlagen der Pneumatik (1999))*

Der vor dem Tempel stehende Altar war hohl und mit einem unterirdischen, wasser-gefüllten Behälter verbunden. Die Hitze des Altarfeuers erwärmte die Luft im Behälter. Dadurch dehnte sich die Luft aus und drückte das Wasser über ein Rohr in den daneben aufgehängten Eimer. Durch das zunehmende Gewicht des Eimers wurde der über die verlängerten Achsen der Türen gewickelte Kettenzug bewegt, und die Türen öffneten sich. Zog sich nach Erkalten des Altars die Luft im Behälter zusammen, ergab sich ein Unterdruck, der das Wasser aus dem Eimer in den Behälter zurück saugte. Dadurch konnte das Gegengewicht die Türen wieder schließen.

Von Heron stammt auch der Entwurf einer pneumatisch angetriebenen Orgel (s. Bild 1. 2). Durch eine Windmühle als Motor wird eine Kolbenpumpe betätigt, die Luft in eine unter Wasser installierte Glocke fördert, von wo sie zu den entsprechenden Orgelpfeifen geführt wird. Diese Glocke ist der erste druckausgleichende Windkessel, der auf Ktesibios im 3. Jahrhundert zurückgeht.





*Bild 1. 2: Orgel nach Heron (W. Backe/H. Murrenhoff – Grundlagen der Pneumatik (1999))*

Nach diesen Anwendungen sind über 1000 Jahre keine weiteren Entwicklungen feststellbar. Erst im 12. Jahrhundert kam die Windmühle, deren Technik der von Philon und Heron entsprach, von Persien in den Westen.

Im 17. Jahrhundert begann man sich von den bis dahin angewandten Techniken zu lösen. Bis zum 19. Jahrhundert sind vereinzelte Anwendungen der Druckluft in sehr kleinem Umfang bekannt. Am Ende des 19. Jahrhunderts begann dann eine schnelle Entwicklung, die bis in die Gegenwart anhält. Zum Beispiel wurde 1861 zum Antrieb einer Gesteinsbohrmaschine für Tunnelbauten Druckluft eingesetzt. Zur Erzeugung der Druckluft wurde von den Gebirgen kommendes Druckwasser benutzt, wobei die Verbindung mit dem Zu- bzw. Abfluss über ein Ventilsystem erfolgte.

Seit Ende des 19. Jahrhunderts gibt es in Paris eine sogenannte Druckluftzentrale, die Handwerks- und Industriebetriebe mit Druckluft versorgt.

(W. Backe/H. Murrenhoff – Grundlagen der Pneumatik (1999))

## 1.1.2 Grundbegriffe der Pneumatik

In diesem Kapitel sollen die zwei wichtigen Grundbegriffe Druck und Volumenstrom kurz erläutert werden. Diese beiden Größen sind die Entscheidenden, wenn man eine Aussage über die Qualität von pneumatischen Ventilen treffen möchte.

### 1.1.2.1 Der Druck<sup>1</sup>

In der Technik werden verschiedene Druckgrößen benutzt, für die unterschiedliche Bezeichnungen gebräuchlich sind. Im folgenden sind die nach DIN 1314 empfohlenen Bezeichnungen mit „\*“ gekennzeichnet. Die SI-Einheit für den Druck ist 1 Pa ( $\hat{=} 1 \text{ N/m}^2$ ). Es hat sich aber als zweckmäßig erwiesen, mit der Einheit „bar“ eine Druckeinheit in der Größenordnung des Atmosphärendrucks zur Verfügung zu haben. Aus diesem Grund wird im Verlauf des Buches die Einheit bar ( $\hat{=} 10^5 \text{ Pa}$ ) als Druckeinheit verwendet. (...)

Atmosphärischer Druck\*:

Der am Messort ermittelte absolute Druck der Atmosphäre.

Überdruck\*:

Der am Messort ermittelte Druck, wobei der atmosphärische Druck den Bezugspunkt (Nullpunkt) darstellt.

Absoluter Druck\*:

Der in Bezug auf ein absolutes Vakuum gemessene Druck. Er ist gleich der Summe des atmosphärischen und des Überdrucks.

Statischer Druck:

Der in einem Gas senkrecht zur Strömungsrichtung wirkende Druck.

---

<sup>1</sup> Die Kapitel 1.1.2.1 und 1.1.2.2 sind W. Backe/H. Murrenhoff – Grundlagen der Pneumatik (1999) zu entnehmen

Dynamischer Druck: Der sich ergebende Druckanstieg, wenn sich die Geschwindigkeitsenergie eines gleichförmig strömenden Gases vollständig und verlustfrei (isentrop) in Druck umwandelt.

### 1.1.2.2 Der Volumenstrom

In der Strömungstechnik ist es üblich, die Liefermenge, den Luftdurchsatz und den Verbrauch, d.h. den „Luftstrom“ in volumetrischen Begriffen auszudrücken. Die SI-Einheit für den Volumenstrom ist  $\text{m}^3/\text{s}$ ; gebräuchliche Einheiten sind außerdem  $\text{m}^3/\text{min}$ ,  $\text{m}^3/\text{h}$ ,  $\text{l}/\text{min}$  und  $\text{ml}/\text{min}$ . Da eine bestimmte Luftmenge je nach Umgebungsbedingungen verschiedene Rauminhalte ausfüllt, ist es erforderlich, einen Normzustand zu definieren, der einen Druck und eine Temperatur festlegt, auf welche die betrachtete Luftmenge bezogen wird. Nur danach kann z.B. ein direkter Vergleich zwischen der Liefermenge eines Verdichters und dem Luftverbrauch von Druckluftmotoren gezogen werden.

Der Normzustand bei den durchgeführten Versuchen liegt bei einer Temperatur von  $20^\circ\text{C}$  und einem Druck von 1,013 bar.

## 1.2 Allgemeines zu Ventilen<sup>2</sup>

Steuerelemente in der Pneumatik sind Ventile, die den Leistungsfluss schaltend oder stetig beeinflussen. Ventile unterscheiden sich durch ihre Betätigungsart. Entsprechend der Funktion differenziert man:

Wegeventile bestimmen die Richtung, den Beginn und das Ende des Durchflusses

Druckventile beeinflussen den Druck der Luft

Sperrventile schalten den Durchfluss in Abhängigkeit von der Strömungsrichtung

Stromventile beeinflussen die Menge des Durchflusses

Im Rahmen des Buches wurden die beiden Ventilarten der Druckventile und der Wegeventile untersucht. Die Bezeichnung und die symbolische Darstellung der Ventile

---

<sup>2</sup> Kapitel 1.2 und 1.2.1 sind auszugsweise W. Backe/H. Murrenhoff – Grundlagen der Pneumatik (1999) zu entnehmen