

# **Elektromagnetische Einspritzventile für Ottomotoren**

Ein Beitrag zur Charakterisierung  
und Systemintegration  
schnellschaltender Aktuatoren

Frank Denk



Universitätsverlag Ilmenau  
2018

# Impressum

## Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Die dieser Publikation zugrundeliegende Arbeit hat der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Ilmenau im Jahr 2018 unter dem Titel „Beitrag zur Charakterisierung und Systemintegration schnellschaltender elektromagnetischer Aktuatoren - insbesondere Einspritzventile für Ottomotoren“ als Dissertation vorgelegen.

Technische Universität Ilmenau/Universitätsbibliothek

**Universitätsverlag Ilmenau**

Postfach 10 05 65

98684 Ilmenau

<http://www.tu-ilmenau.de/universitaetsverlag>

readbox unipress

in der readbox publishing GmbH

Am Hawerkamp 31

48155 Münster

<http://unipress.readbox.net>

**ISBN** 978-3-86360-176-8 (Druckausgabe)

**URN** urn:nbn:de:gbv:ilm1-2018100029

---

Titelgrafik: Veit Henkel | Fakultät für Maschinenbau, TU Ilmenau

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Gesetzliche Vorgaben .....	1
1.2 Einfluss auf das Einspritzsystem.....	8
1.3 Ziel der Untersuchung.....	10
<b>2. Technik des Einspritzsystems</b> .....	<b>13</b>
2.1 Zeitliche Entwicklung .....	13
2.2 Komponentenverbund .....	16
2.3 Arbeitsbereich des Einspritzventils.....	17
2.4 Einspritzventil ohne Ankerfreiweg .....	19
2.4.1 Funktionelle Clusterung .....	19
2.4.2 Hydraulischer Öffnungsvorgang.....	20
2.4.3 Hydraulischer Schließvorgang .....	21
2.5 Einspritzventil mit Ankerfreiweg.....	22
2.5.1 Funktionelle Clusterung .....	22
2.5.2 Hydraulischer Öffnungsvorgang.....	23
2.5.3 Hydraulischer Schließvorgang .....	24
2.6 Elektronik.....	25
2.6.1 Konzeptübersicht.....	25
2.6.2 Prinzip des Stromreglers .....	25
2.6.3 DC-DC-Wandler .....	28
2.6.4 Spulenspannungsprofil und Spulenstromverlauf .....	29
2.7 Funktionen der Software .....	30
2.8 Elektrische Signalinformationen.....	31
2.9 Normen und Standards.....	34
<b>3. Physikalische Formulierung</b> .....	<b>37</b>
3.1 Elektromagnetische Kräfte.....	37
3.2 Magnetkräfte des Einspritzventils.....	44
3.3 Elektrische Beschreibung.....	46
3.3.1 Fremderregung .....	48
3.3.2 Eigenerregung .....	51
3.3.3 Sonderfall Batterie nach Boostphase .....	56
3.4 Magnetische Beschreibung .....	57
3.4.1 Induktionsanteil des Stromgradienten.....	59

---

3.4.2	Induktionsanteil der Ankerbewegung.....	60
3.5	Leitfähigkeit des Einspritzventils .....	60
<b>4.</b>	<b>Messsysteme und Auswertung.....</b>	<b>61</b>
4.1	Prüfaufbauten .....	61
4.2	Magnetische Flussmessung .....	64
4.3	Auswertung .....	69
4.4	Simulation .....	70
<b>5.</b>	<b>Hydraulisches Öffnen.....</b>	<b>73</b>
5.1	Beschreibung .....	73
5.2	Definition der Untersuchungen .....	75
5.3	Einfluss der Boostparameter .....	76
5.4	Differenzpulsverfahren.....	86
5.5	Einspritzventil mit variablem Hub .....	91
5.6	Freilauf Masse oder Batterie .....	98
5.7	Doppelpulsverfahren .....	104
5.8	Quasistatischer Betrieb.....	109
<b>6.</b>	<b>Hydraulisches Schließen .....</b>	<b>113</b>
6.1	Beschreibung.....	113
6.2	Definition der Untersuchungen .....	114
6.3	Abschaltspannung ohne Bewegung.....	115
6.4	Abschaltspannung mit Bewegung.....	118
6.5	Einfluss des Haltestroms .....	122
6.6	Einfluss der Abschaltspannung .....	125
6.7	Abschaltstrom mit Bewegung .....	127
<b>7.</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>131</b>
<b>8.</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>135</b>
8.1	Einfluss der Boostparameter .....	135
8.2	Einfluss der Abschaltspannung .....	138
<b>9.</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>143</b>