

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen	VIII
1 Einleitung	1
2 Anforderungen an Einspritzanlagen für direkte Einspritzung	3
3 Stand der Technik	5
3.1 Ausgeführte Speichereinspritzsysteme	7
3.1.1 Externer Speicher mit Druckübersetzung	8
3.1.2 Externer Speicher ohne Druckübersetzung	10
3.1.3 Speicher im Injektor mit Druckübersetzung	13
3.1.4 Speicher im Injektor ohne Druckübersetzung	14
3.1.5 Kritikpunkte bisher ausgeführter Speichersysteme	16
4 Konzeption eines elektronisch gesteuerten Einspritzsystems	18
4.1 Auslegung des Injektors	20
4.1.1 Umsetzung der Druckenergie	21
4.1.2 Einspritzdüse	23
4.1.3 Auswahl und Berechnung des Piezo-Aktors	27
4.1.4 Injektorgehäuse	31
4.2 Hochdruckversorgung	35
4.2.1 Auslegung des Speichers	35
4.2.2 Auslegung der Pumpe und der Druckregelung	38
4.3 Steuerung	43
4.3.1 Leistungsteil	44
4.3.2 Steuerrechner	46
5 Simulation der Düsenströmung	47
5.1 Vorgehensweise und zugrundeliegende Daten	47
5.2 Grundlagen Fluidmechanik	49
5.2.1 Bewegungsgleichungen	50
5.2.2 Reynoldszahl	51
5.2.3 Turbulente Strömungen	51

5.2.4	$k - \varepsilon$ Modell	52
5.2.5	Berechnungsmethoden in der Grenzschicht	53
5.2.6	Rohreinläufe	54
5.3	Finite-Elemente-Methode (FEM)	54
5.3.1	Idee der FEM	54
5.3.2	Diskretisierung des Strömungsbereichs	56
5.4	Simulation der Einspritzdüsengeometrie	57
5.4.1	Simulation des Einstrombereichs	58
5.4.2	Dreidimensionaler Düsenlocheinlauf	61
6	Vergleichbare mechanische Systeme	69
6.1	Bosch Verteilereinspritzpumpe	69
6.1.1	Einspritzleitungen	71
6.1.2	Einspritzdüsen	71
6.2	Steyr-Daimler-Puch Pumpe-Düse-Element	71
6.2.1	Einspritzdüsen	74
7	Meßtechnik	75
7.1	Einspritzpumpenprüfstand	75
7.2	Aufbau der Versuchsträger	76
7.2.1	Piezoinjektor	76
7.2.2	Verteilereinspritzpumpe	77
7.2.3	Pumpe-Düse	78
7.3	Mengenmessung	79
7.4	Indikatormessung	79
7.5	Druckmessung	81
7.6	Nadelhubmessung	83
7.7	Drehmomentenmessung	85
7.8	Betätigungskraftmessung	85
7.9	Auswerteelektronik	87

8 Messungen und Ergebnisse	89
8.1 Mengenverhalten	93
8.1.1 Piezoinjektor	93
8.1.2 Verteilereinspritzpumpe	95
8.1.3 Pumpe-Düse	98
8.2 Druckaufbau	99
8.2.1 Piezoinjektor	99
8.2.2 Verteilereinspritzpumpe	100
8.2.3 Pumpe-Düse	102
8.3 Einspritzzeiten	103
8.3.1 Piezoinjektor	103
8.3.2 Verteilereinspritzpumpe	104
8.3.3 Pumpe-Düse	106
8.4 Einspritzverläufe	109
8.4.1 Piezoinjektor	109
8.4.2 Verteilereinspritzpumpe	112
8.4.3 Pumpe-Düse	114
8.5 Leistungsbedarf	115
8.5.1 Piezoinjektor	115
8.5.2 Verteilereinspritzpumpe	118
8.5.3 Pumpe-Düse	119
8.6 Systemkräfte	121
8.6.1 Piezoinjektor	121
8.6.2 Pumpe-Düse	122
8.7 Betriebsverhalten	124
8.7.1 Piezoinjektor	124
8.7.2 Verteilereinspritzpumpe	125
8.7.3 Pumpe-Düse	125
9 Zusammenfassung und Ausblick	127
Literatur	132