

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Technologie von Verbrennungsmotoren	5
2.1	Funktionsweise des Viertaktmotors	6
2.2	Benzindirekteinspritzung	8
2.2.1.1	Hochdruckpumpe	10
2.2.1.2	Einspritzventil	14
2.3	Dieseinspritzung	16
2.3.1.1	Niederdrucksystem	18
2.3.1.2	Hochdrucksystem	19
2.3.1.3	Hochdruckpumpe	20
2.3.1.4	Injektoren	21
3	Fluiddynamik in Einspritzsystemen	25
3.1	Ursachen der Ausprägung von Pulsationen	26
3.1.1	Einspritzvorgang der Injektoren	27
3.1.1.1	Mengenentnahme	27
3.1.1.2	Druckstoß aufgrund des Nadelschließvorgangs	34
3.1.1.3	Reflektion der Druckwellen	38
3.1.1.4	Druckverlust	40
3.1.2	Förderung der Hochdruckpumpe	42
3.2	Dämpfung der Druckamplituden	47
3.2.1	Hydrospeicher	47
3.2.2	Druckwellenreflektion	51
3.2.2.1	Blenden	51
3.2.2.2	Resonatoren	53
3.2.3	Dissipative Energieumwandlung	56
3.2.4	Reflektion und Dissipation der Pulsationsenergie	57
3.2.4.1	Dämpfungsdrossel	57
3.2.4.2	Poröse Materialien	58
4	Konzeption und Aufbau der Versuchsanlagen	63
4.1	Versuchsstände zur Untersuchung der Fluiddynamik	63
4.1.1	Fahrzeugspezifische Common-Rail Komponenten	63
4.1.2	Ottomotorischer Common-Rail Versuchsaufbau	66
4.1.3	Dieselmotorischer Common-Rail Versuchsaufbau	70

4.1.4	Steuerungs- und Messtechnik.....	72
4.1.4.1	Anlagensteuerung und -regelung.....	72
4.1.4.2	Messtechnik zur Erfassung der Fluidodynamik.....	75
4.1.4.3	Einspritzmengenmessung.....	76
4.1.4.4	Datenerfassung.....	78
4.1.5	Anlagenbedienung und -steuerung.....	79
4.2	Porendämpferaufnahme für das Benzineinspritzsystem.....	80
4.2.1	Poröse Werkstoffe.....	81
4.2.2	Konstruktive Auslegung.....	83
5	Experimentelle Untersuchungen und Ergebnisse.....	89
5.1	Definition der Versuchs- und Auswerteparameter.....	89
5.1.1	Betriebsparameter.....	89
5.1.2	Ansteuerung der Regelventile.....	92
5.1.3	Auswertestrategie.....	95
5.2	Fluidpulsationen in Common-Rail Einspritzsystemen.....	96
5.2.1	Dieselbetriebenes System.....	97
5.2.1.1	Statischer Anlagenbetrieb.....	98
5.2.1.2	Dynamische Betriebsweise.....	100
5.2.2	Benzinbetriebenes System.....	104
5.2.2.1	Einspritzung bei statischem Systemdruck.....	104
5.2.2.2	Dynamische Betriebsstrategie.....	108
5.3	Dämpfungspotential poröser Werkstoffe für das Benzinsystem.....	114
5.3.1	Verifikation im statischen Anlagenbetrieb.....	115
5.3.1.1	Einfluss der Porenqualität.....	115
5.3.1.2	Auswirkung des Dämpferaufbaus.....	123
5.3.1.3	Zusammenhang Druckverlust und Dämpfung.....	126
5.3.2	Dämpfungspotential mit Anlagendynamik.....	128
5.3.2.1	Verifikation mit einem Dämpfer im System.....	130
5.3.2.2	Realitätsabgleich mit 4 Dämpfern.....	139
6	Alternative Dämpfungsmethoden für Common-Rail Einspritzsysteme....	145
6.1	Elastomerdämpfer für dieselbetriebene Common-Rail Systeme.....	145
6.2	Gasgeladener Inline-Dämpfer für benzinbetriebene Systeme.....	151
7	Simulation der Fluidodynamik.....	163
7.1	Modellierung des Common-Rail Benzineinspritzsystems.....	164
7.1.1.1	Vereinfachtes Modell des Common-Rail Systems.....	164
7.1.1.2	Berechnungsergebnisse zum Modell des Originalsystems.....	167

7.2	Modellierung des Porendämpfers	169
7.2.1	Ergebnisse mit Leitungäquivalent	170
7.2.2	Poröse Werkstoffe zur Amplitudendämpfung	173
8	Einfluss der Pulsationsdämpfung auf die Schallemission	181
8.1	Analyse der Schallquellen des Common-Rail Systems	182
8.2	Evaluierung des Einflusses von Dämpfelementen	186
9	Zusammenfassung und Ausblick	199
10	Symbol- und Abkürzungsverzeichnis	203
10.1	Symbolverzeichnis	203
10.2	Abkürzungsverzeichnis	208
11	Literaturverzeichnis	211
12	Anhang	225
12.1	Statische Untersuchung des Einflusses der Rondenlänge	225
12.2	Ergebnisse reduzierter Rondendurchmesser	226