
1	EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG	1
2	DIE VENTILSTEUERUNG UND IHR BETRIEBSVERHALTEN	3
	2.1 Ventilsteuerungsbaarten	3
	2.2 Ansätze zur Beschreibung der Dynamik von Ventilsteuerungen	6
3	THEORIE DER SCHRAUBENFEDER	9
	3.1 Grundgleichungen zur Auslegung der Schraubendruckfeder	9
	3.1.1 Annahme gerader Stab	10
	3.1.2 Näherung mit Krümmungseinfluß	13
	3.1.3 Exakte Theorie für kleine Steigungswinkel	15
	3.1.4 Exakte Lösung mit Berücksichtigung des Steigungswinkels	18
	3.1.5 Zusammenstellung der Berechnungsformeln	21
	3.1.6 Betrachtung der Fehlereinflüsse	22
	3.2 Abwicklungsfunktion und Kontaktverhalten	24
	3.3 Spannungsverlauf im Federdraht einer Schraubenfeder mit angelegten Endwindungen	27
	3.4 Dynamik der Schraubenfeder	29
	3.4.1 Schwingungsgleichung	29
	3.4.2 Eigenfrequenzen	31
	3.4.3 Berechnung von Spannungsüberhöhungen aufgrund von Resonanz mit der Hubanregung	32
	3.4.4 Stoßbelastung in Ventildedern	32
	3.4.5 Quasistatische Betrachtung der kinetischen Energie der Ventildeder über eine Nockenumdrehung	33
	3.4.6 Reduzierte Masse der Ventildeder	35
4	RECHENVERFAHREN UND MODELLENTWICKLUNG	37
	4.1 Beschreibung des Rechenverfahrens	37
	4.2 Entwicklung des Rechenmodells	43
	4.2.1 Ventildeder	43
	4.2.2 Ventil	45
	4.2.3 Nocken	46
	4.2.4 Nockenwelle	46
	4.2.5 Tassenstößel, Federteller, Zylinderkopf	47
	4.2.6 Gesamtsystem	47

4.3	Prüfstand und Messeinrichtungen	47
4.4	Validierung des Rechenmodells mit Rechnungs-Messungs-Vergleichen	50
4.4.1	Ventilgeschwindigkeit	50
4.4.2	Ventilschaftkraft	52
4.4.3	Ventilfeder: Auflagekraft und Spannung	53
5	UNTERSUCHUNGEN AN VENTILFEDERN	55
5.1	Struktureigenschaften der Ventildedern	58
5.1.1	Eigenfrequenzen und Eigenformen der Ventildedern	59
5.1.2	Eigenfrequenzen der Ventildeder in Abhängigkeit von der Zusammendrückung	59
5.2	Statische Belastung der Ventildeder	65
5.2.1	Spannungsverteilung im Drahtquerschnitt	65
5.2.2	Kontaktverhalten	68
5.2.3	Biegespannungen im Draht	70
5.2.4	Querkraft	71
5.3	Dynamische Belastung der Ventildeder	73
5.3.1	Kontaktkraft zwischen Ventildeder und Federteller	73
5.3.2	Spannungsverlauf in der Ventildeder während einer Nockenumdrehung	76
5.3.3	Wechselspannungsamplituden in der Ventildeder	76
5.4	Das System Nocken - Ventildeder im dynamischen Betrieb	80
5.4.1	Einfluß der Startbedingungen an einer Hubphase auf das Verhalten der Ventildeder	80
5.4.2	Berechnung der Phase der Grundkreisschwingung zum Zeitpunkt des Einlaufs in die Hubphase	84
5.4.3	Voraussage von optimalen und pessimalen Drehzahlen	86
5.4.4	Untersuchung des dynamischen Verhaltens der Ventildeder bei Variation der Ventildedereigenschaften	88
5.5	Beschreibung des dynamischen Verhaltens mit Energieansätzen	93
5.5.1	Kinetische Energie der Ventildeder	94
5.5.2	Formänderungsenergie der Ventildeder	98
5.5.3	Korrelationsanalyse der Energieverläufe	101
6	ZUSAMMENFASSUNG	106
7	ANHANG	108
8	LITERATUR	119