

**Analyse der Ventildfederbewegungen  
als Beitrag zur  
Beeinflussung der Verschleißursachen  
an den Auflageflächen**

Peter Taubmann



Universitätsverlag Ilmenau  
2013

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>STAND DER ERKENNTNISSE</b> .....	<b>3</b>
2.1	FEDERSCHÄDEN UND DEREN TRIBOLOGISCHE URSACHEN.....	3
2.2	DREHBEWEGUNGEN VON VENTILFEDERN UND FEDERTELLERN IM MOTOR .....	4
2.3	AUSLEGUNG UND BERECHNUNG VON VENTILFEDERN .....	5
2.4	WEITERE ERKENNTNISSE ZUM SCHWINGUNGSVERHALTEN VON VENTILFEDERN .....	10
<b>3</b>	<b>PROBLEMBESCHREIBUNG UND ZIELSTELLUNG DER ARBEIT</b> .....	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN</b> .....	<b>16</b>
4.1	VORBEMERKUNGEN UND DEFINITION DER DREHRICHTUNGEN .....	16
4.2	UNTERSUCHUNGEN ZUR DREHBEWEGUNG DER FEDERENDEN VON VENTILFEDERN BEI LANGSAMER STATISCHER EINFEDERUNG .....	17
4.3	UNTERSUCHUNGEN ZUR DREHBEWEGUNG VON VENTILFEDERN UND FEDERTELLERN BEI DYNAMISCHER ANREGUNG .....	29
4.3.1	<i>Versuchsprogramm und Anforderungen an den Versuchsstand</i> .....	29
4.3.2	<i>Versuchsstand und dessen Erprobung</i> .....	31
4.3.3	<i>Versuchsbedingungen</i> .....	34
4.3.4	<i>Versuchsplan und Versuchsdurchführung</i> .....	47
4.3.5	<i>Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen zu den verschiedenen Einflussgrößen auf die Drehbewegungen von Ventilfeder und Federteller</i> .....	48
4.3.6	<i>Beobachtung der Bewegungen von Ventilfeder und Federteller mit Hilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera</i> .....	75
4.3.7	<i>Zusammenfassung der Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen</i> .....	78
<b>5</b>	<b>ANALYSE DER DREHBEWEGUNGEN VON VENTILFEDER UND FEDERTELLER MIT DER THEORIE VON BEWEGTEN MECHANISCHEN SYSTEMEN IN DER UMGEBUNG VON DEREN RESONANZEN</b> .....	<b>80</b>
5.1	EINFÜHRENDE BEMERKUNGEN .....	80
5.2	SCHWINGUNGSMODELL FÜR FEDER UND FEDERTELLER .....	81

5.2.1	<i>Berechnung der Eigenkreisfrequenz eines Drehschwingers mit zwei Trägheitsmomenten</i> .....	83
5.2.2	<i>Annahmen zum Umformen auf dimensionslose Größen</i> .....	84
5.2.3	<i>Darstellung des Systems in dimensionsloser Form</i> .....	85
5.3	ANWENDUNG DER MITTELUNGSMETHODE UNTER VORAUSSETZUNG DES KLEINEN PARAMETERS $\varepsilon$ .....	85
5.3.1	<i>Umrechnung der Parameter</i> .....	86
5.3.2	<i>Berechnung des Bezugswinkels <math>\kappa</math></i> .....	87
5.3.3	<i>Zur Bedeutung des Parameters <math>\varepsilon</math> und Nachweis von <math>\varepsilon \ll 1</math></i> .....	88
5.3.4	<i>Überlegungen zur Schwingungsgleichung</i> .....	88
5.3.5	<i>Anwendung der Mittelungsmethode</i> .....	92
5.3.6	<i>Auswertung der numerischen Analyse des Gleichungssystems</i> .....	94
5.4	DISKUSSION DER ERGEBNISSE - ERKLÄRUNG DER EFFEKTE DER RICHTUNGSUMKEHR OHNE RICHTUNGSÄNDERUNG DER STÖRKRAFT .....	106
<b>6</b>	<b>COMPUTERGESTÜTZTE SIMULATION DER VENTILFEDER- UND FEDERTELLERDREHBEWEGUNG</b> .....	<b>107</b>
6.1	SIMULATION MIT SIMULATIONX <sup>®</sup> .....	108
6.1.1	<i>Modellansatz</i> .....	108
6.1.2	<i>Maßnahmen zur Modelloptimierung</i> .....	110
6.1.3	<i>Simulationsergebnisse</i> .....	114
6.2	MEHRKÖRPERSIMULATION MIT RECURDYN <sup>®</sup> .....	124
6.2.1	<i>Ausgangssituation</i> .....	124
6.2.2	<i>Modellierung der Feder und der Führung des Stößels</i> .....	125
6.3	VERGLEICH ZWISCHEN VERSUCH UND SIMULATION.....	131
<b>7</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN</b> .....	<b>138</b>
<b>8</b>	<b>AUSBLICK</b> .....	<b>144</b>