

Inhaltsverzeichnis

Vorwort..... iii

Abstract v

Kurzfassung vii

Inhaltsverzeichnis..... ix

1 Einleitung..... 1

2 Physikalische Grundlagen..... 3

2.1 Grundlagen der modalen Analyse.....3

2.1.1 Der gedämpfte Einmassenschwinger.....3

2.1.2 Experimentelle Modalanalyse (EMA).....5

2.1.3 Betriebsschwingungsanalyse (BSA).....7

2.1.4 Identifikation kohärenter Eigenmoden.....7

2.2 Grundlagen der Akustik8

2.2.1 Körper- und Luftschall8

2.2.2 Schallpegelgrößen und deren Filterung.....10

2.2.3 Gestörte Schallausbreitung.....12

2.2.4 Raumakustik.....13

2.3 Drehmomentaufnahme.....15

3 Stand der Technik17

3.1 Moderne Common Rail Einspritzsysteme.....17

3.1.1 Systemübersicht.....17

3.1.2 Niederdrucksystem.....18

3.1.3 Hochdrucksystem.....18

3.2 Die Hochdruckpumpe19

3.2.1 Klassifizierung von Pumpentypen.....19

3.2.2 Aufbau und Antrieb von EZKP20

3.2.3 Mengenregelung von EZKP21

- 3.3 Messung von Luft- und Körperschall.....23
 - 3.3.1 Luftschallwandler.....23
 - 3.3.2 Körperschallwandler24
 - 3.3.3 Akustische Vermessung von Hochdruckpumpen.....25
- 3.4 Messung des Drehmomentes26
 - 3.4.1 Messverfahren26
 - 3.4.2 Messung von Drehmomenten mittels DMS28
- 4 Versuchsaufbau und Messtechnik31**
 - 4.1 Konzept des Komponentenprüfstandes.....31
 - 4.1.1 Mechanische Grundstruktur32
 - 4.1.2 Tribologisches System und Schmiermittelzyklus33
 - 4.1.3 Kraftstoffkreislauf.....34
 - 4.1.4 Peripherie des Prüfstandes34
 - 4.2 Metrologische Erfassung der Zielgrößen.....35
 - 4.2.1 Antriebsmoment35
 - 4.2.2 Drehzahl35
 - 4.2.3 Hydraulischer Durchfluss.....36
 - 4.2.4 Absolutdruck und Temperatur36
 - 4.3 Funktion und Regelung der Betriebskenngrößen.....37
- 5 Analyse und Implementierung eines Messkonzeptes zur Erfassung von Luftschall.....39**
 - 5.1 Akustische Vorbetrachtung39
 - 5.1.1 Problemstellung39
 - 5.1.2 Verbesserungsmöglichkeiten41
 - 5.1.3 Diskussion und Entscheidungsfindung.....42
 - 5.1.4 Vibroakustische Signalerfassung und -auswertung45
 - 5.1.5 Vorgehensweise: Analysekonzept46
 - 5.2 Optimierungskette48
 - 5.2.1 Analysestufe 1: Psychoakustisch offensichtliche Störquellen48
 - 5.2.2 Analysestufe 2: Modales Verhalten und vibroakustische Zusammenhänge.....51

5.2.3	Analysestufe 3: Lokalisierung psychoakustisch nicht offensichtlicher Störquellen.....	59
5.2.4	Analysestufe 4: Störpegelkorrektur	60
5.3	Evaluierung anhand von Messungen in einer Schallmesskammer.....	60
5.3.1	Vergleich der Terzspektren.....	61
5.3.2	Vergleich der Summenpegel.....	63
6	Messbarkeit des dynamischen Drehmomentes	65
6.1	Phänomenologie des Messfehlers.....	65
6.2	Fehlerursachenforschung.....	66
6.2.1	Methodik und Vorgehen: Fehlerbaumanalyse.....	66
6.2.2	Physikalische Beschreibung des kausalen Zusammenhanges	73
6.3	Möglichkeiten zur Verbesserung: Entscheidungsfindung	76
6.3.1	Optimierungsmöglichkeiten des Systems	76
6.3.2	Findung einer geeigneten Abhilfemaßnahme	77
6.4	Umsetzung und Validierung	80
6.4.1	Simulative Prognose des Systemverhaltens	80
6.4.2	Konstruktive Realisierung	83
6.4.3	Validierung	88
7	Diskussion der Messgrößen	91
7.1	Schallemission	91
7.1.1	Einfluss der Betriebsparameter.....	91
7.1.2	Sensitivitätsanalyse.....	96
7.1.3	Reproduzierbarkeit	99
7.1.4	Grenzen und Genauigkeit des Messaufbaus.....	101
7.2	Dynamisches Drehmoment	104
7.2.1	Einfluss der Betriebsparameter.....	104
7.2.2	Sensitivitätsanalyse.....	110
7.2.3	Reproduzierbarkeit	114
7.2.4	Grenzen des Messkonzeptes	115
7.3	Ableitung von Messplänen.....	118
7.3.1	Schallemission	119

7.3.2	Drehmoment	121
8	Zusammenfassung und Ausblick	123
8.1	Zusammenfassung	123
8.2	Ausblick	125
Anhang.....		127
Abkürzungsverzeichnis.....		153
Nomenklatur		155
Abbildungsverzeichnis.....		163
Tabellenverzeichnis		167
Literaturverzeichnis		169
Lebenslauf		177
Publikationen.....		179