

Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur	iv
1 Einleitung	1
1.1 Funktionen der Höhenflosse	4
1.2 Stand der Wissenschaft und Technik	7
1.2.1 Konventionelle Höhenflossenstellantriebe	8
1.2.2 Problemstellung	9
1.2.3 Literaturübersicht	11
1.3 Zielsetzung und Gliederung der Arbeit	14
2 Prinzip des neuen Systemkonzeptes für Höhenflossenstellantriebe	17
2.1 Systemarchitektur	17
2.1.1 Grundlegendes theoretisches Konzept	17
2.1.2 Mechanische Leistungsübertragung	19
2.1.3 Realisierung	25
2.2 Untersuchungen zur Lastsynchronisation	27
2.3 Anforderungen an Regelung und Überwachung	34
3 Modellierung und systemtechnische Untersuchung des Stellsystems	43
3.1 Nichtlineares Streckenmodell	43
3.1.1 Grundelemente des mechanischen Teils der Modellbildung	45
3.1.2 Hydromotor	50
3.1.3 Differenzialgetriebe	53
3.1.4 Spindelaktuator	57
3.1.5 Höhenflosse	58
3.2 Vollständiges nichtlineares Modell	61
3.3 Linearisierung des Systemmodells	65
3.4 Untersuchung der Stellsystemdynamik	67
3.4.1 Lineares Modell	67
3.4.2 Untersuchung der Synchronisationsgüte in Abhängigkeit der nichtlinearen Effekte	70
4 Experimentalsystem	75
4.1 Systemaufbau	75
4.1.1 Prüfumgebung	75
4.1.2 Experimental THSA	77
4.1.3 Messtechnik	79
4.2 Belastungseinheit	80

4.2.1	Drosselsteuerung des Linearaktuators	81
4.2.2	Kraftregelung	81
4.3	Versuchssteuerung	83
4.3.1	Echtzeitsystem	83
4.3.2	Steuerung des Experimentalsystems mithilfe von Zustands- automaten	84
4.4	Versuche zur Parameteridentifikation	85
4.4.1	Ermittlung des mechanischen Spiels	86
4.4.2	Ermittlung der Reibparameter der mechanischen Kompo- nenten	87
4.4.3	Frequenzganganalyse der Schwenkscheibenverstellung	93
5	Reglersynthese und Systemdynamik	97
5.1	Anforderungen an die Reglerstruktur	98
5.1.1	Regelungsaufgabe	100
5.1.2	Entwurfsmodelle und Auswahl der Reglerstruktur	102
5.2	Reglersynthese am nominalen Modell	109
5.2.1	Prinzipien der dezentralen und der Mehrgrößenregelung	110
5.2.2	Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit	117
5.2.3	Stabilität von Mehrgrößenregelkreisen	120
5.2.4	Konventioneller dezentraler Kaskadenregler	120
5.2.5	Mixed Sensitivity Mehrgrößenreglerentwurf	130
5.2.6	\mathcal{H}_∞ -Entwurf mit fester Reglerstruktur	148
5.3	Systemdynamik und Vergleich der verschiedenen Regler	155
5.3.1	Systemdynamik des konventionellen Kaskadenreglerentwurfs	156
5.3.2	Systemdynamik der Mehrgrößenreglerentwürfe	159
5.3.3	Vergleich Kaskadenregler und ausgewählte Mehrgrößenregler	162
5.3.4	Frequenzgangmessungen am Experimentalsystem	168
5.4	Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse der Reglersynthese	169
5.4.1	Zusammenfassung	170
5.4.2	Bewertung	171
5.5	Robustheitsanalyse	172
5.5.1	Modellunsicherheiten	173
5.5.2	Robustheit der Mehrgrößenreglerentwürfe	179
6	Fehlerüberwachung und Untersuchung degraderter Systemzu- stände	183
6.1	Fehlerfälle	184
6.2	Systemüberwachung	187
6.2.1	Sensorik	188
6.2.2	Fehlererkennung	189
6.2.3	Monitorentwurf	191

6.2.4	Testroutine am Boden	194
6.3	Simulationen und Messungen am Prüfstand mit induzierten Fehlern	197
6.3.1	Powered Runaway	198
6.3.2	Wellenbruch	200
6.3.3	Klemmen einer Kugelumlaufspindel	202
6.3.4	Ausfall einer Hydraulikversorgung	203
7	Zusammenfassung und Ausblick	205
A	Technische Daten und Parameter des THSA	211
B	Lineare Teilmodelle	214
B.1	Servoventil	214
B.2	Hydromotor	214
B.3	Wellenabschnitt	215
B.4	Differenzialgetriebe	216
B.5	Kugelumlaufspindel	220
B.6	Höhenflosse	221
C	Numerische Entwurfsmodelle	222
C.1	Entwurfsmodelle dezentrale Kaskadenregelung	222
C.2	Entwurfsmodelle Mehrgrößenregelung	224
Literaturverzeichnis		227