

Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur	XI
1 Einleitung	1
1.1 Stand der Wissenschaft und Technik	3
1.1.1 Antriebssysteme von Hochauftriebssystemen	4
1.1.2 Rechnerwerkzeuge für den Vorentwurf von Flugzeugsystemen	6
1.1.3 Wissensbasierte Software-Systeme	8
1.2 Ziele und Inhalt der Arbeit	11
1.3 Struktur der Arbeit	13
2 Beschreibung von Hochauftriebssystemen	16
2.1 Notwendigkeit von Hochauftriebssystemen	16
2.2 Wirkprinzip und Ausführungen von Hochauftriebssystemen	18
2.2.1 Klappenarten zur Hochauftriebserzeugung	19
2.2.2 Klappenführungsmechanismen	22
2.3 Antriebssystem	25
2.3.1 Antriebseinheit	28
2.3.2 Wellentransmission	30
2.3.3 Monitoring System	32
2.4 Auslegungsaspekte von Landeklappenantriebssystemen	33
2.4.1 Randbedingungen	34
2.4.2 Anforderungen an das Antriebssystem	34
2.4.3 Herausforderungen der Systemdimensionierung	37
3 Modellierungsansätze für die Auslegung und Analyse des Antriebssystems	40
3.1 Übersicht von Transmissionsmodellen für die Systemauslegung	40
3.2 Analyse stationärer Betriebszustände	43
3.3 Lineare Modelle zur Analyse dynamischer Betriebszustände	44
3.3.1 Starrkörpermodell	45
3.3.2 Einfacher Torsionsschwinger	46

3.3.3	Torsionsschwingerkette	47
3.4	Nichtlineares Simulationsmodell zur Analyse dynamischer Betriebszustände	50
3.4.1	Modularer Aufbau eines Simulationsmodells für Landeklappenantriebssysteme	50
3.4.2	Modellstruktur der Wellentransmission	52
3.4.3	Ordnungsreduktion des Wellentransmissionsmodells	53
3.4.4	Umsetzung der Modellierung mit MODELICA	56
3.5	Diskussion der Modellierungsansätze	58
3.5.1	Bewertung von Modellierungsunsicherheiten im Vorentwurf	58
3.5.2	Anforderungen der Modellbildung an einen rechnerbasierten Entwurfsprozess	61
4	Rechnergestützter Entwurfsprozess für Landeklappenantriebssysteme	64
4.1	Entwurfsprozess von Hochauftriebssystemen	64
4.2	Analyse des Entwurfsprozesses von Landeklappenantriebssystemen	68
4.2.1	Merkmale des Entwurfsprozesses von Landeklappenantriebssystemen	68
4.2.2	Optimierungspotential im Entwurfsprozess	69
4.2.3	Anforderungen und Ziele eines rechnerbasierten Entwurfsprozesses von Landeklappenantriebssystemen	70
4.3	Konzept für ein wissensbasiertes Entwurfswerkzeug	71
4.3.1	Beschreibungsebenen	73
4.3.2	Informationsfluss und Datenaustausch	75
4.4	Entwicklungswerkzeug WISSBASYS	76
4.4.1	Implementierungsgrundlagen zur Modellbildung in WISSBASYS	77
4.4.2	Benutzerschnittstelle	79
4.4.3	Integration weiterer Softwaretools	80
4.5	Constraints	82
4.5.1	Algebraische Constraints	83
4.5.2	Skriptbasierte Berechnungsfunktionen	84
4.5.3	Berechnung stationärer Systemkennwerte	85

4.5.4	Berechnung dynamischer Lastspitzen	88
4.6	Erzeugen eines nichtlinearen Simulationsmodells	89
5	Methoden zur Lösung von Constraint Satisfaction Problemen	93
5.1	Grundlagen von Constraint Satisfaction Problemen	93
5.1.1	Ausprägungen von CSP	94
5.1.2	Suchverfahren zum Lösen klassischer CSP	95
5.1.3	Konsistenzverfahren zur Suchraumkontraktion	98
5.1.4	Graphentheoretische Aspekte von Constraint-Netzwerken .	100
5.2	Die Dimensionierung von Landeklappenantriebssystemen als CSP .	102
5.3	Interval Constraint Satisfaction Probleme	104
5.3.1	Intervallararithmetische Grundlagen	105
5.3.2	Konsistenzverfahren für ICSP	106
5.4	Numerische Verfahren für Constraint Optimization Probleme	111
5.4.1	Globale Optimierung durch deterministische Suchstrategien	113
5.4.2	Globale Optimierung durch stochastische Suchverfahren . .	116
5.5	Lösungsstrategie von WISSBASYS	119
5.5.1	Auswahl eines Konsistenzverfahrens	119
5.5.2	Auswahl eines Optimierungsverfahrens	121
5.5.3	Aufbereitung des ICSP für numerische Optimierungsalgo- rithmen	123
5.5.4	Zweistufiges Vorgehen zur Lösung von Dimensionierungs- problemen	124
6	Funktionen zur Komponentenauslegung	127
6.1	Mathematische Grundbeziehungen zur Komponentenauslegung . . .	127
6.1.1	Dimensionierung von Transmissionswellen	127
6.1.2	Auslegung von Lagern und Gelenken	130
6.1.3	Auslegung der Systemüberwachung	132
6.1.4	Auslegung der Antriebseinheit	133
6.2	Funktionen zur Skalierung von Komponentenparametern	135
6.2.1	Skalierungsfunktionen für Systemlastbegrenzer	136

6.2.2	Skalierungsfunktionen für Wellenbremsen	137
6.2.3	Skalierungsfunktionen für Getriebe	138
6.2.4	Skalierungsfunktionen für Aktuatoren	140
6.2.5	Skalierungsfunktion für die Masse der Antriebseinheit . . .	144
6.3	Unsicherheitsbetrachtung der Skalierungsansätze	145
7	Demonstration der Entwurfsmethoden an Fallbeispielen	147
7.1	Beschreibung des Referenzsystems	148
7.2	Nachprojektierung und Analyse	149
7.2.1	Vergleich mit Referenzdaten	151
7.2.2	Systemanalyse	152
7.2.3	Verifikation durch Systemsimulation	155
7.3	Entwurfsüberprüfung nach Parameteränderungen	157
7.4	Anwendung des Optimierungsverfahrens zur Systemauslegung . . .	160
7.4.1	Beschreibung des Dimensionierungsproblems	160
7.4.2	Lösen des Dimensionierungsproblems durch Parameteroptimierung	163
7.4.3	Sensitivitätsanalyse	168
7.4.4	Bewertung konzeptioneller Änderungen	169
7.5	Fazit	172
8	Zusammenfassung und Ausblick	174
A	Anhang	179
A.1	Komponentenmodelle	179
A.2	Vorgaben für die Systemauslegung	193
A.3	Erweiterungen für die Dimensionierung einer Systemarchitektur . .	194
A.4	Constraint-Netze für die Dimensionierung modifizierter Systeme . .	197
	Literatur	199