

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	xi
Tabellenverzeichnis	xv
Nomenklatur	xvii
Formelzeichen	xvii
Indizes	xx
Abkürzungen	xxii
1 Einleitung	1
1.1 Stand der Wissenschaft und Technik	4
1.1.1 Hydraulische Energieversorgungssysteme im Flugzeug	4
1.1.2 Richtlinien zur Auslegung	6
1.1.3 Rechnerunterstützung im Flugzeug-Systementwurf	7
1.2 Zielsetzung und Gliederung der Arbeit	9
2 Hydraulische Energieversorgung in Flugzeugen	11
2.1 Aufbau von Flugzeug-Hydrauliksystemen	11
2.2 Konventionelle elektro-hydraulische Leistungserzeugung	13
2.3 Anforderungen und Auslegungskriterien	16
2.3.1 Systemarchitektur	17
2.3.2 Leistungserzeugung	18
2.3.3 Energieverteilung und Zubehör	20
3 Konzeption elektro-hydraulischer Leistungserzeugungsmodule	23
3.1 Architekturen zur elektro-hydraulischen Leistungserzeugung	23
3.2 Analyse und Auswahl von Komponententechnologien	26
3.2.1 Analyse der Motortypen	26
3.2.2 Analyse der Pumpentypen	28
3.2.3 Analyse der Motorelektronik	30
3.2.4 Getriebe zur Drehzahlentkopplung	31

3.2.5	Komponentenkühlung	32
3.3	Konzeptsynthese	33
3.4	Hydraulic Power Packages (HPP)	35
4	Regelungsstrategien für die Leistungserzeugung	39
4.1	Potentialanalyse für neue Systemregelungsstrategien	39
4.1.1	Load-Sensing Regelung	42
4.1.2	Elektro-hydraulisches Flow-Matching	44
4.1.3	Vergleich anhand eines dezentralen HPPs	45
4.2	Experimentelle Untersuchung einer EMP mit Konstantpumpe .	52
4.2.1	Allgemeiner Aufbau und Regelungskonzept	53
4.2.2	Motor- und Pumpenauslegung	54
4.2.3	Experimentalsystem	55
4.2.4	Analyse der Druckregeldynamik	56
4.2.5	Eigenschaften im Vergleich zur konventionellen EMP .	57
4.2.6	Fazit	59
5	Rechnergestützter Systementwurf	61
5.1	Entwurf einer Prozess- und Werkzeugkette	61
5.1.1	Herausforderungen und Ziele im Systementwurf	61
5.1.2	Konzeption einer Prozess- und Werkzeugkette	64
5.2	Methodik zur Architekturoptimierung	67
5.2.1	Grundlagen der <i>OPAL</i> Methodik	68
5.2.2	Erweiterung von <i>OPAL</i>	71
5.2.3	Evaluierung der Architekturen	75
5.3	Entwicklung eines Werkzeuges zum rechnergestützten Vorentwurf	77
5.3.1	Ausgangsbasis zur Werkzeugentwicklung	78
5.3.2	Aufbau des Werkzeuges <i>ArOLab</i>	78
5.3.3	Stationäre Berechnung des hydraulischen Netzwerkes .	80
5.3.4	Modellbildung für den Vorentwurf	84
5.3.5	Abschätzung und Bilanzierung der Bauteilmassen . . .	87
5.3.6	Automatisierte Rohrnetzauslegung	88
5.3.7	Visualisierung und Post-Processing	95
5.3.8	Automatisierte Modellsynthese für den Detailentwurf .	96

5.4	Detailentwurf und -analyse	99
5.4.1	Thermisch-dynamisches Rohrmodell	100
5.4.2	Fluidmodell	103
5.4.3	Thermisch-dynamisches Pumpenmodell	103
5.4.4	Thermisch-dynamisches Flugsteuerungsaktuatormodell	104
5.4.5	Motor- und Motorelektronikmodell	106
5.4.6	Modelle weiterer Komponenten	108
5.5	Angrenzende Prozesselemente in der Entwicklung	109
5.5.1	Entwicklung von Control-, Monitoring- und Diagnosefunktionen	109
5.5.2	Pulsationsminderung im Hydrauliksystem	111
5.5.3	Systemtest	111
6	Entwurf einer elektro-hydraulischen Energieversorgung	113
6.1	Referenzflugzeug und Referenzarchitektur	113
6.2	Architekturentwurf	114
6.2.1	Variation der Architektur der Energieversorgung	117
6.2.2	Optimierung der Leistungsallokation für 3eH Systeme	119
6.2.3	Optimierung der Leistungsallokation 2eH1deH	124
6.2.4	Vergleichende Analyse und Bewertung der Architekturen	129
6.3	Vorentwurf und Vorauslegung	131
6.3.1	Auslegungstemperatur und Systemnenndruck	132
6.3.2	Minimaler Verbraucherdifferenzdruck	134
6.3.3	Maximale Fluidgeschwindigkeit	137
6.3.4	Rohrstaffelung	139
6.3.5	Zusammenfassung der Ergebnisse	141
6.4	Detailanalyse	143
6.4.1	Beschreibung des Systemmodells	145
6.4.2	Detailanalyse und -auslegung des Systems mit konventioneller Konstantdruckregelung	148
6.4.3	Detailanalyse und -auslegung des Systems mit elektro-hydraulischer Load-Sensing Regelung	159
6.4.4	Zusammenfassende Betrachtung der Detailanalyse	169

7 Zusammenfassung und Ausblick	173
A Anhang	177
A.1 Parameter und Beziehungen zur Massenabschätzung	177
A.1.1 Rohrdaten	177
A.1.2 Komponentendaten	179
A.2 Parameter zur Rohrnetzoptimierung	183
A.3 Daten der drehzahlveränderbaren Elektromotor-Pumpe	183
Literaturverzeichnis	185