

Inhalt

Abkürzungen und Variablenverzeichnis	1
 Kapitel 1	
Einleitung	31
 1.1 Problematik	32
1.2 Zielsetzung der Arbeit	35
1.3 Gliederung der Arbeit	37
 Kapitel 2	
Navigation	41
 2.1 Navigation - Übersicht	41
2.2 Inertialsysteme - Übersicht	42
2.3 GNSS - Übersicht	45
2.4 Integrierte Navigationssysteme - Übersicht	47
 Kapitel 3	
Instrumente und Aspekte der mathematischen Modellierung der Navigation	49
 3.1 Koordinatensysteme und Orientierung von Körpern	49
3.2 Transformationen zwischen den Koordinatensystemen	66
3.3 Die Auswahl des Strapdown-Modells	70
3.4 Die Referenzgrößen	73
3.5 Kalman-Filter	85
3.6 Diskretisierung des stetigen linearen Systems	89

Kapitel 4

Die mathematische Modellierung der Luftschiffnavigation	91
4.1 Das prinzipielle Schema des mathematischen Navigationsmodells	92
4.2 Blöcke für die Eingangsdaten	93
4.3 Blöcke für den Kalman-Vorfilter der Eingangsdaten	94
4.4 Der Direkte Kalman-Filter „DKF - h_{MSL} “ und der Block „Sub - D“	102
4.5 Der Direkte Kalman-Filter „DKF - EA“ (das Offset-Modell)	106
4.6 Der Direkte Kalman-Filter „DKF - Triplet“	119
4.7 Die Bestimmung $h_{\text{MSL}}^{\text{R}}$ und h_{RE}^{R}	124

Kapitel 5

Algorithmisierung und Implementierung des Modells für die Navigation des Luftschiffs	125
5.1 Eingangs- und Ausgangsbeschreibung des Algorithmus für die Navigation	126
5.2 Funktionsweise des Navigationsalgorithmus	135
5.3 Verwendete Sensoren und die Herstellung des experimentellen elektronischen Systems	136

Kapitel 6

Ergebnisse, Diskussion und Bewertung	139
6.1 Tests mit dem Prototyp I des experimentellen elektronischen System	139
6.2 Testergebnisse für den Prototyp I des Navigationssystems	141
6.3 Zusammenfassung: die Problematik der Luftschiffnavigation	151

Kapitel 7

Übersicht zur Modellierung der Flugmechanik	153
7.1 Meilensteine im Bereich der Luftschiffgeschichte, der Mathematik und Physik	154

7.2 Beschreibung des experimentellen Luftschiffs und grundlegende Begriffe	157
 Kapitel 8	
Modellierung der Flugmechanik des Luftschifffluges	161
8.1 Grundmodell der Körperbewegungs-dynamik	162
8.2 Anwendung der Grundgleichung der Dynamik der Körperbewegung auf das Luftschiff	165
8.2.1 Interpretation der Schwerkraft F^G und des Drehmomentes Q^G	166
8.2.2 Interpretation der Auftriebskraft F^B und des Drehmomentes Q^B	167
8.2.3 Interpretation der Kräfte F^T und Drehmomente Q^T der Antriebseinheiten	172
8.2.3.1 Interpretation der Kräfte der Hauptantriebseinheit F_p^T	172
8.2.3.2 Umrechnung der statischen Schubkraft der Hauptantriebseinheit in dynamische Schubkraft	175
8.2.3.3 Interpretation der Kräfte des Antriebs im Seitenruder	175
8.2.3.4 Gesamtbilanz der Kräfte F^T und Drehmomente Q^T der Antriebseinheiten	177
8.2.4 Zusammenfassung der Teilbilanzierung der Kräfte und Drehmomente	177
8.2.5 Interpretation der aerodynamischen Kräfte F^A und Drehmomente Q^A	178
8.2.5.1 Interpretation der aerodynamischen Kräfte F^{AN} und Drehmomente Q^{AN}	180
8.2.5.2 Methodik des Projektionsäquivalents (PEM)	183
8.2.5.3 Anwendung der PEM auf das Luftschiff	207
8.2.5.4 Zusammenfassung der aerodynamischen Kräfte F^{AN} und Drehmomente Q^{AN}	224
8.2.6 Umrechnung der statischen Schubkraft der Hauptantriebseinheit in dynamische Schubkraft	227

8.3 Das vollständige mathematische Modell der Mechanik des Luftschifffluges	229
8.4 Die nicht modellierten Einflüsse	237

Kapitel 9

Modellparameter der Flugmechanik des Luftschiffs	239
9.1 Klassifizierung der Modellparameter der Flugmechanik des Luftschiffs	239
9.2 Trimmung des Luftschiffs und Ermittlung des Schwerpunktes	240
9.3 Durch Wiegen ermittelte Parameter	244
9.4 Über das geometrische Modell in der Entwicklungsumgebung Solid-Works ermittelte Parameter	246
9.5 Die nach Munk bestimmten Parameter	251
9.6 Durch statische Messungen ermittelte Parameter	252
9.7 Durch Identifikation mittels experimenteller Flüge ermittelte Modellparameter	254
9.8 Die Identifikationsmethode RMOCI	256
9.9 Bedingungen zur Identifikation der aerodynamischen Parameter der Mechanik des Luftschifffluges	266
9.10 Grafische Darstellung des grundlegenden Modellverhaltens	267

Kapitel 10

Regelung der grundlegenden Fluggrößen und partielle Substitution der nicht modellierten Einflüsse	271
10.1 Entwurfsprinzipien der Regler für die grundlegenden Fluggrößen und die Flugqualität	271
10.2 Partielle Substitution der nicht modellierten Einflüsse	283
10.3 Präzisierung der Reglerparameter durch die Simulation	286

Kapitel 11

Experimentelle Flüge, erzielte Ergebnisse,

Vergleich und Zusammenfassung 293

11.1 Experimentelle Flüge und erzielte Ergebnisse 293

11.2 Vergleich mit der Simulation 300

11.3 Ergebnisse aus weiteren Simulationen
und experimentellen Flügen 311

11.4 Zusammenfassung der Problematik der Mechanik des
Luftschifffluges und der Steuerung grundlegender
Fluggrößen des Luftschiffs 315

Kapitel 12

Zusammenfassung und Ausblick 319

Literatur 323

Lebenslauf 333