

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung dieser Untersuchung	6
1.3 Vorgehensweise	8
2 Entwicklung und Belastungsbereiche im Luftverkehr	11
2.1 Flugsicherung	11
2.2 Flughafenkapazität	14
2.3 Probleme durch unterschiedliche Flugzeuggröße	16
3 Verfahren zur Gefahrenanalyse	19
3.1 Allgemeines	19
3.2 Failure Mode and Effect Criticality Analysis	20
3.3 Benötigte Systeminformation	21
3.4 Durchführung der Analyse	21
3.5 Beispiel zur Anwendung der FMEA	22
3.6 Ausfalleffektanalyse zur Bestimmung von Gefahrenzuständen im Flugverkehr	23
4 Systemtechnisches Verfahren zur Modellierung und Simulation	25
4.1 Systemtechnisches Vorgehen	25
4.2 Formalisierung von Systemen	29
4.3 Modellentwicklung von Systemen	31
4.3.1 Systemanalyse	31
4.3.2 Vorgehensweise beim Modellbildungsprozeß	34

4.4	Komplexität von Systemen	37
4.5	Dynamische Simulation von Systemen	45
4.5.1	Grundlagen der dynamischen Simulation	45
4.5.2	Initialisierung des Modells	46
4.5.3	Quasistationäre Simulation und Konvergenz	47
4.5.4	Besonderheiten der Simulation mit Hilfe systemtechnischer Modelle	49
4.5.5	Anwendung der Netzplantechnik auf das systemtechnische Modell	51
5	Modellierung des Systems Luftverkehr	53
5.1	Zielsetzung und Anforderungen an das Modell	53
5.2	Das Bewertungsmodell	58
5.2.1	Zusammenhang zwischen Bewertungsmodell und Systemmodell	58
5.2.2	Aufbau des Bewertungsmodells	61
5.2.3	Ermittlung der Wichtungsfaktoren	65
5.3	Strukturierte Analyse des Systems Luftverkehr	70
5.4	Funktionsanalyse der Elemente	72
5.5	Element Flugzeug	73
5.5.1	Modellstruktur	73
5.5.2	Flugmechanisches Modell	74
5.5.3	Bewertung des flugmechanischen Zustandes	89
5.5.3.1	Strömungseinflüsse	89
5.5.3.2	Einflüsse der Position und der Lage	95
5.5.4	Hindernisbetrachtung	97
5.5.4.1	Einfluß der Höhe	97
5.5.4.2	Einflüsse beim Landevorgang	99
5.5.4.3	Kollisionsbetrachtung	100
5.5.5	Systemausfälle	101
5.5.6	Mensch-Maschine-Schnittstelle	101
5.6	Element Wetter	102
5.6.1	Modellstruktur	102
5.6.2	Sicht des Piloten	104
5.6.3	Geschwindigkeitsfeld in Wirbelschleppen	106
5.7	Element Pilot	115
5.7.1	Allgemeines	115
5.7.2	Modellstruktur	117

5.7.3 Belastungs-Beanspruchungs-Modell	120
5.7.3.1 Pilotenreaktionen	121
5.7.3.2 Pilotenbelastung	122
5.7.3.3 Einfluß der Erfahrung	124
5.7.3.4 Einfluß des Flugzeugzustandes	125
5.7.3.5 Einfluß der Wahrnehmung	125
5.7.3.6 Einfluß der Konversation	126
5.7.3.7 Einfluß der Ergonomie	127
5.7.4 Beanspruchung des Piloten	127
5.8 Rechnergestützte Realisierung des Modells	128
5.8.1 Programntechnisches Verfahren	128
5.8.2 Initialisierung	130
5.8.3 Simulation	130
6 Simulation des Systems Luftverkehr	134
6.1 Möglichkeiten der Simulation	134
6.2 Simulation von Fallbeispielen	135
6.3 Allgemeine Aussagen	150
6.3.1 Variation der Erfahrung und der Procedures	151
6.3.2 Variation der Flugzeugklassen und der Staffelnabstände	152
6.3.3 Variation der Systemredundanz	153
6.3.4 Variation der Flugsicherungscompatibilität	155
6.4 Weitere Simulationsmöglichkeiten	156
6.5 Berechnung der Komplexität	156
7 Zusammenfassung und Ausblick	161
 Formelzeichen	 164
Literaturverzeichnis	170
Struktur des systemtechnischen Modells des Luftverkehrssystems	178
Legende (Bild 5.14)	180