

INHALTSVERZEICHNIS

1 HINTERGRÜNDE UND MOTIVATION	1
1.1 Planung und Entscheidungsfindung im Cockpit	2
1.2 Technische Unterstützung bei Planung und Management kommerzieller Flüge	4
1.3 Intelligente Computersysteme zur on-board Planungsunterstützung in Forschung und Entwicklung	7
1.4 Das Cockpitassistenzsystem CASSY	10
1.5 Ziel und Aufbau der Arbeit	11
2 ZENTRALE ASPEKTE DES SYSTEMENTWURFS	13
2.1 Systematisches Vorgehen bei Automation im Cockpit	13
2.1.1 Richtlinien zur <i>human-centered automation</i> und Grundforderungen an maschinelle Systeme	13
2.1.2 Vorgehensweise beim Systementwurf	16
2.2 Missionsanalyse	18
2.2.1 Übergreifende Systemziele im zivilen Instrumentenflug	18
2.2.2 Planungsrelevante Vorgaben für die Durchführung von Instrumentenflügen	19
2.2.3 Einflußfaktoren auf die Flugplanung und -durchführung	20
2.3 Aufgaben- / Funktionsanalyse	22
2.3.1 Vorflugplanung	22
2.3.2 Situationserfassung zur Flugplanung	25
2.3.3 Aufgaben der Flugplanerzeugung im Flug	26
2.3.4 Kommunikation mit der operationellen Umgebung	27
2.3.5 Die Aufgabe der Koordination	28
2.4 Situationsanalyse	28
2.4.1 Grundidee zur Situationsbeschreibung	28
2.4.2 Flugsituationsklassen	29
2.4.3 Außergewöhnliche Betriebssituationen	30
2.4.4 Notfallsituationen	31
2.5 Aufgabenanalyse Mensch	32
2.5.1 Planungsverhalten und Fehlverhalten des Menschen	32
2.5.2 Situationsspezifische Aufgabenbewältigung durch den Piloten	34
2.6 Aufgabenanalyse Maschine	36
2.6.1 Funktionen des maschinellen Systems	36
2.6.2 Identifikation homogener Funktionsgruppen	38

2.6.3	Zeitanforderungen für die Aufgabenbewältigung	40
2.7	Interaktionsanalyse	41
2.7.1	Interaktion und Autorität	41
2.7.2	Interaktionsformen	42
2.7.2.1	Interaktion zum Abgleich des Situationsverständnisses zwischen Mensch und Maschine	42
2.7.2.2	Interaktion zur Problemlösung bei optimaler Ausnutzung der vorhandenen Ressourcen bei Mensch und Maschine	44
2.7.3	Situationspezifische Zuordnung der Interaktionsebenen und Aufgabenzuweisung	46
2.8	Informationsanalyse	48
2.8.1.	Informationsaustausch zwischen Pilot und Planungssystem als integraler Bestandteil von CASSY	48
2.8.2	Integration eines Assistenzsystems in die Cockpitinfrastruktur	50
2.8.3	Betrieb eines eigenständigen Planungssystems	51
2.8.4	Zusammenfassung und Überleitung	52
3	KONZEPTION DES FLUGPLANERS	53
3.1	Gesamtkonzept	54
3.1.1	Struktur des Flugplaners	54
3.1.2	Funktionsumfang	55
3.1.3	Informationsfluß	60
3.1.4	Zentrale Situationsrepräsentation	61
3.2	Übergeordnete Problemlösungsstrategie	62
3.2.1	Problemlösungsstrategie des Menschen	63
3.2.2	Problemlösungsstrategie des maschinellen Flugplaners	65
3.3	Konzeptüberlegungen zu den Einzelkomponenten	71
3.3.1	Konzeption der Informationsaufnahme	71
3.3.1.1	Aufgabe und Funktionsbeschreibung	71
3.3.1.2	Wahl der Wissensrepräsentation	72
3.3.2	Konzeption der Trajektorienplanung	73
3.3.2.1	Hierarchische Reduktion der Problemlösungskomplexität	73
3.3.2.2	Steuerung der Trajektorienplanung	74
3.3.2.2.1	Aufgabe und Funktionsbeschreibung	75
3.3.2.2.2	Wahl der Wissensrepräsentation zur Bestimmung der Problemlösung	76
3.3.2.2.3	Wahl der Wissensrepräsentation zur Sequentialisierung des Planungsablaufs	77

3.3.2.3	Landeplatzplanung	78
3.3.2.3.1	Aufgabe und Funktionsbeschreibung	78
3.3.2.3.2	Wahl der Wissensrepräsentation	79
3.3.2.4	Flugwegplanung	80
3.3.2.4.1	Aufgabe und Funktionsbeschreibung	81
3.3.2.4.2	Vorabplanung eindeutiger Bereiche	82
3.3.2.4.3	Wahl der Wissensrepräsentation	83
3.3.2.5	Profilplanung	83
3.3.2.5.1	Aufgabe und Funktionsbeschreibung	84
3.3.2.5.2	Grundidee der flugsituationsabhängigen Profilplanung	84
3.3.2.5.3	Wahl der Wissensrepräsentation	86
3.3.2.6	Zeitplanung	88
3.3.2.6.1	Aufgabe und Funktionsbeschreibung	89
3.3.2.6.2	Möglichkeiten zur Zeitanpassung und betrachtete Flugabschnitte	89
3.3.2.6.3	Verfahrensaspekte	90
3.3.2.7	Ausgewählte Funktionen für lokale Planungsaufgaben	92
3.3.2.7.1	Anflugplanung bei Radarführung	92
3.3.2.7.2	Umfliegen von Störgebieten	94
3.3.3	Konzeption der Flugplanerstellung und -überarbeitung	95
3.3.3.1	Aufgabe und Funktionsbeschreibung	95
3.3.3.2	Wahl der Wissensrepräsentation	96
3.3.4	Konzeption der Planüberwachung und -anpassung	98
3.3.4.1	Aufgabe und Funktionsbeschreibung	98
3.3.4.2	Wahl der Wissensrepräsentation zur Konfliktdetektion	99
3.3.4.3	Beschreibung der Konfliktsituation	100
3.3.5	Zusammenfassung der Konzeption der Einzelkomponenten	101
3.4	Konzeption von Entscheidungsverfahren und Suchverfahren	103
3.4.1	Entscheidungsfindung bei komplexen Problemstellungen	103
3.4.1.1	Entscheidungstheoretische Hintergründe	103
3.4.1.2	Entscheidungsablauf	104
3.4.1.3	Hierarchisches Bewertungsmodell	104
3.4.1.4	Bewertung und Verknüpfung unscharfer Kriterien	106
3.4.1.5	Rekursive Bewertungsprozedur	108
3.4.2	Suchverfahren	110
3.4.2.1	Suchproblem und Suchverfahren der Künstlichen Intelligenz	110
3.4.2.2	Suchverfahren für das Problem der Streckenplanung	112
3.4.2.3	Dynamische Ganzpfadsuche mit Nur-Kostenschätzung	114
3.5	Zusammenfassung und Überleitung	117

4 REALISIERUNG DES FLUGPLANERS	118
4.1 Realisierung des Gesamtsystems	118
4.1.1 Modulare Struktur	118
4.1.2 Ereignissteuerung	119
4.1.3 Zentrale Situationsrepräsentation	120
4.2 Informationsaufnahme	121
4.2.1 Realisierung der Frames zur Ereignisanalyse	121
4.2.2 Realisierung des Interpreters zur Ereignisanalyse	122
4.3 Steuerung der Trajektorienplanung	123
4.3.1 Realisierung der Entscheidungstabelle zur Bestimmung der Problemlösung	123
4.3.2 Realisierung der Skripte	125
4.3.3 Beispiel einer komplexen Trajektorienplanung	127
4.4 Landeplatzplanung	129
4.4.1 Realisierung der Zielhierarchien	129
4.4.2 Beispiel zur Funktionsweise der Landeplatzplanung aus Realflug	132
4.5 Flugwegplanung	136
4.5.1 Generierung mehrerer Flugwegvorschläge	136
4.5.2 Realisierung der einzelnen Phasen der Flugwegplanung	137
4.5.3 Wahl der Zielhierarchien	140
4.5.4 Zeitbedarf für Flugwegplanungen aus Realflügen	141
4.6 Profilplanung	143
4.6.1 Realisierung von Regelbasis und Regelinterpreter	143
4.6.2 Realisierung des lokalen Agenten zur Planung des Reiseflugprofils	145
4.6.3 Anpassung der Profilplanung an Flugfortschritt und Flugsicherungsanweisungen	145
4.7 Zeitplanung	148
4.7.1 Management der Zeitplanung	148
4.8 Realisierung des lokalen Agenten zur Anflugplanung bei Radarführung	149
4.8.1 Realisierung der Flugwegabschätzung	149
4.8.2 Beispiel für eine Anflugplanung bei Radarführung aus Realflug	150
4.9 Flugplanerstellung und -überarbeitung	153
4.9.1 Ablaufschema der Flugplanerstellung und -überarbeitung	153
4.9.2 Realisierte Teilfunktionen	154
4.9.3 Flugplanbeispiel	155

4.10 Planüberwachung und -anpassung	156
4.10.1 Realisierung der Frames zur Repräsentation der Konflikttypen	156
4.10.2 Realisierung des Generieren und Testen-Verfahrens	157
4.11 Zusammenfassung der Realisierung	158
5 ERPROBUNG	159
<hr/>	
5.1 Bewertungskonzept	159
5.1.1 Gegenstand der Untersuchung	159
5.1.2 Bewertungskriterien	159
5.1.3 Experimentierumgebung	161
5.1.4 Verfahren zur Bewertung der einzelnen Kriterien	162
5.1.4.1 Allgemeine Leistungsfähigkeit	162
5.1.4.2 Leistungserweiterungen gegenüber heutigen Systemen	164
5.1.4.3 Belastung des Piloten durch Planungstätigkeiten	165
5.1.4.4 Akzeptanz durch den Piloten	166
5.1.5 Zusammenfassung des Bewertungskonzepts	167
5.2 Erprobungsflüge	167
5.2.1 Versuchsflugzeug	167
5.2.2 Anforderungen an die Flüge	170
5.2.3 Versuchsplanung	171
5.3 Ergebnisse der Flugerprobung	173
5.3.1 Werkzeuge zur Auswertung der durchgeführten Flüge	173
5.3.2 Auswertung der Repräsentativ-Merkmale der durchgeführten Flüge	175
5.3.3 Bewertung der allgemeinen Leistungsfähigkeit	177
5.3.3.1 Flexibilität	178
5.3.3.2 Korrektheit	180
5.3.3.3 Planungsdauer bei unterschiedlichen Interaktionsformen	183
5.3.3.4 Rechtzeitigkeit	184
5.3.4 Bewertung ausgewählter Leistungserweiterungen	186
5.3.5 Belastung des Piloten durch Planung als Primäraufgabe	187
5.3.6 Akzeptanz	190
5.3.7 Zusammenfassung der Ergebnisse	191
6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	193
<hr/>	

ANHANG

195

ANHANG 1 : ZIELHIERARCHIEN **195**

- A.1.1 Zielhierarchie zur Bewertung der Eignung eines Flugplatzes als 'Alternate' 196
- A.1.2 Zielhierarchie zur Bewertung der Eignung eines Flugplatzes als 'Notlandeplatz' 197
- A.1.3 Zielhierarchie zur Bewertung eines Flugweges auf Standardrouten 198
- A.1.4 Zielhierarchie zur Bewertung eines Flugweges beim Radar Vectoring 199
- A.1.5 Zielhierarchie zur Bewertung eines Flugweges zur Funknavigation 200

ANHANG 2: DARSTELLUNG DER FLUGVERSUCHE **202**

- A.2.1 Ablauf von Flug 1 (EDVE-EDDH-EDVE) 203
- A.2.2 Ablauf von Flug 2 (EDDF-EDDF- *In-flight Simulation*) 204
- A.2.3 Ablauf von Flug 3 (EDVE-EDDF-EDVE) 205
- A.2.4 Ablauf von Flug 4 (EDVE-EDVV-EDVE) 206
- A.2.5 Ablauf von Flug 5 (EDVE-EDDF-EDVE) 207
- A.2.6 Ablauf von Flug 6 (EDVE-EDDH-EDVE) 209
- A.2.7 Ablauf von Flug 7 (EDVE-EDDH-EDVE) 210
- A.2.8 Ablauf von Flug 8 (EDVE-EDDH-EDVE) 211
- A.2.9 Ablauf von Flug 9 (EDVE-EDDF-EDVV-EDVE) 212

ANHANG 3: ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS **214**

LITERATURVERZEICHNIS

217