

haltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	xi
Einleitung zum Flugsicherungskontext mit abgeleiteter Aufgabenstellung	1
1.1 Veränderungen und Auswirkungen auf Fluglotsenarbeitsplätze mit dem Fokus des Anflugbereichs	1
1.2 Aufgabenstellung der migrationstoleranten Transitionen von inkrementellen Displaystufen für Fluglotsen	4
1.3 Thematische Abgrenzung mit unterschiedlichen Betrachtungsweisen von „Migrationstoleranz“	6
Stand der Technik und aktuelle Forschung zu Mensch-Maschine-Schnittstellen	9
2.1 Entwicklungen des Luftverkehrs und -managements mit heutiger Situation und Arbeitsmitteln von Fluglotsen sowie zukünftigen Änderungen	9
2.1.1 Geschichtliche Entwicklung des europäischen Luftverkehrs	9
2.1.2 Verschiedene Lotsenarbeitsplätze mit beispielhaftem Ablauf eines momentan gültigen Flugsicherungsszenarios	11
2.1.3 Neue Technologien und Verfahren sowie Auswirkungen auf Lotsenarbeitsplätze	15
2.1.4 Abstandsbierte Luftverkehrsführung im Endanflug	20
2.1.5 Zeitbierte Luftverkehrsführung im Endanflug	21
2.1.6 Trajektorienbierte Luftverkehrsführung am Beispiel Endanflug	23
2.1.7 Leistungsbierte Luftverkehrsführung	25
2.1.8 Veränderung von Fluglotsenrollen und deren mögliche Auswirkungen auf Lotsen-HMIs	26
2.1.9 Visuelle Assistenzfunktionalitäten für Fluglotsen-HMIs	28
2.1.10 Visuelle Wahrnehmung in Displays mit den Aspekten Farbe, Kontrast, Größe und Symbolik	33
2.1.11 Reduktion von Komplexität in HMIs	35
2.2 Human Factors, Software-Ergonomie und Psychologie bezogen auf Mensch-Maschine-Schnittstellen und deren Entwicklung	36
2.2.1 Menschliche Wahrnehmungskanäle und Informationsübertragung	36
2.2.2 Das mentale Bild, Situationsbewusstsein und Aufmerksamkeit des Lotsen	38
2.2.3 Designstudien zu verschiedenen Aspekten einer Mensch-Maschine-Schnittstelle	40
2.2.4 Auswirkungen von Automatisierung	41
2.2.5 Human Factors in Bezug auf Mensch-Maschine-Schnittstellen	44
2.2.6 Prozesse zur Entwicklung von Mensch-Maschine-Schnittstellen und serviceorientierte, modulare Softwarearchitektur	46

Konzept einer migrationstoleranten Mensch-Maschine-Schnittstelle	4	Re
3.1 Migrationstoleranz angewendet auf Mensch-Maschine-Schnittstellen über Transitionen-Modell mit Displaystufen für verschiedene Luftverkehrsführungsweisen	4	5.1
3.1.1 Meta-Lotsendisplay als Startpunkt für weitere Iterationen	5	
3.1.2 Distanzmarkierung auf allen Routen	51	
3.1.3 Einführung von Symbolik für Routen	5	5.2
3.1.4 Begrädigung von Routen im äußeren Bereich der TMA bis zu Downwinds und Merge-Punkten	5	
3.1.5 Veränderung durch die Modifikation von Routenwinkeln	5	5.3
3.1.6 Eliminierung der Ortsauflösung durch Dimensionsreduktion im Display und Auswirkung auf Lotsenarbeit	5	5.4
3.1.7 Neue Arbeitsplatzaufteilung mit Monitoring- und Executive-Lotsen	5	
3.1.8 Homogenisierung der Flugroutenvereinigungswinkel im TMA-Außenbereich	5	
3.1.9 Rechtwinkligkeit der angezeigten Routenwinkel	5	
3.1.10 Drehung der Luftraumdarstellung in Horizontale	6	
3.1.11 Einführung einer neuen Symbolik für Luftfahrzeuge	6	
3.1.12 Parallelisierung der Luftraumstruktur durch Streckung der Merge-Punkte	6	
3.1.13 Umklappen aller Routen auf eine Seite der Piste	6	
3.2 Zusammenfassung und Diskussion der Transitionen der Displaystufen	6	
3.3 Anwendung der Transitionen für alternativen Feeder-Lotsenarbeitsplatz	7	
3.4 Übertragung auf andere Luftraumstrukturen, skalierbare Ausschnitte eines beispielhaften Displays und weitere Migrationsgedanken	7	5.
3.5 Auswirkung der Displaystufen auf das mentale Bild des Lotsen	7	5.
3.6 Conformance Monitoring von 4D-Trajektorien	7	5.
3.7 TargetWindow und GhostSpots zur Integration von Luftfahrzeugen mit unterschiedlicher FMS-Ausrüstung in einen zeitbasiert geplanten Anflugstrom	7	5.
3.8 Trawl-Nets für zeitlich präzise Turn-to-Base-Kommandos des Lotsen	7	5.
3.9 Zeitbasierte manuelle Anflugroutenanpassung und Luftverkehrsführung	8	5.
3.10 Kleinschrittiges Lernen neuer Luftverkehrsmanagement-Methoden im Training	8	5.
3.11 Implementierungsprozess mit stetem Feedback angelehnt an Rapid Prototyping	8	5.
Evaluation des implementierten Mensch-Maschine-Schnittstellen-Konzepts	8	5.
4.1 Fragestellungen für die Evaluation der migrationstoleranten Displays	87	5.
4.2 Qualitative Ausgestaltung der Evaluation mit Überlegungen zu Stichprobengröße und Stichprobenart	8	5.
4.3 Aufbau der Evaluationsstudie mit Trainings- und Simulationsphasen	8	5.
4.4 Szenarien für die Displayevaluation und Aufgaben für Probanden	9	Z
4.5 Abschätzung von Situationsbewusstsein, Arbeitsbeanspruchung und Bearbeitung der gestellten Monitoring-Aufgabe	9	6.
4.6 Fragebögen nach jeder Displayiteration und Debriefing	9	6.
4.7 Gesamtfragebogen zum migrationstoleranten Konzept	9	r
4.8 Vorstudie mit Lotsen zum TargetWindow-Konzept	9	
4.9 Vorstudie mit Lotsen zum Trawl-Net-Konzept	9	ii

5.1 Probandenleistung beim Monitoring der Luftverkehrsszenarien 97

5.1.1 Erkennung von Konflikten an Merge-Punkten und auf der Centerline 98

5.1.2 Erkennung von Abweichungen von der STAR 101

5.1.3 Erkennung von Geschwindigkeits- und Höhendatenverletzungen 102

5.2 Situationsbewusstsein anhand von Online- und Offline-Frageblöcken 103

5.2.1 Fragen zum Szenario während der Simulation 103

5.2.2 Fragen zum Szenario bei angehaltener Simulation 104

5.3 Selbstbewertung der Probanden zur Arbeitsbeanspruchung 105

5.4 Fragebogen zum Thema „Transitionen“ 106

5.4.1 Baseline „Meta-Lotsendisplay“ mit minimalen Zusätzen „Lagesymbolik und Mileage-Erweiterung“ 109

5.4.2 Resultate der beiden Displayiterationen mit „IAF-begradigten Routen und homogenisierten Routenwinkeln“ 109

5.4.3 Diskussion der Stufen mit „orthogonaler Darstellung und rechtwinkligen Routenvereinigungen“ 109

5.4.4 Ergebnisse der Displayiterationen mit „paralleler Überwachungsansicht und Luftfahrzeugoptimierungssymbolik“ 110

5.4.5 Diskussion des „unidirektionalen parallelen Monitoringdisplays“ 110

5.4.6 Zusammenfassung der Probanden-Antworten des Transitionsfragebogens 111

5.5 Fragebogen zum Thema „Benutzerfreundlichkeit“ 111

5.6 Antworten auf die Fragen des Abschlussfragebogens 115

5.6.1 Erlernen der weiterführenden Displaystufen 115

5.6.2 Verständlichkeit der Transitionen 116

5.6.3 Integration kleiner Updates 116

5.6.4 Reduktion der Komplexität 116

5.6.5 Weitergehende Conformance Monitoring-Ansicht als nächster Schritt 116

5.6.6 Monitoring und Lösungsdelegation 117

5.6.7 Diskussion der Ergebnisse des Abschlussfragebogens 117

5.7 Unterstützungsleistung des TargetWindows beim „Turn-to-Base“ 117

5.8 Unterstützungsleistung des Trawl-Nets beim „Turn-to-Base“ 119

5.9 Kommentare der Probanden zu den in der Simulation evaluierten Displaystufen 120

5.10 Abgeleitete Hinweise zum Transitionskonzept und Bemerkungen zur Durchführung der Simulationen 122

5.11 Zusammenfassung der diskutierten Studienergebnisse und abgeleiteten Aussagen 123

Zusammenfassung und Ausblick **125**

6.1 Konzept und Evaluation einer migrationstoleranten Mensch-Maschine-Schnittstelle . . . 125

6.2 Ausblick auf weitere mögliche Entwicklungen 127

Tabellenverzeichnis	16
Formelverzeichnis	16
Quellcodeverzeichnis	16
Glossar (Bedeutung zentraler Begrifflichkeiten)	16
I Migration und Transition	16
II Mensch-Maschine-Interaktion	16
III Bediener und Benutzer	16
IV Automatisierung und Automation	16
V Belastung und Beanspruchung nach der Norm DIN EN ISO 100751-3	16
VI Fähigkeit und Fertigkeit	16
VII adaptiv und adaptierbar	16
Veröffentlichungen	16
Anhang	17
A Implementierung der Displaystufen in Quellcode	17
B Lotsen-Briefing zu iterativen Displaystufen	17
C Displaykonfiguration für die Evaluationsstudie	17
D Tagesablauf der Hauptevaluationsstudie	18
E Signifikanztabellen zu iterativen Displaystufen	18
F Lotsen-Briefing zum Konzept TargetWindow	19
G Lotsen-Fragebogen zum Konzept TargetWindow	19
H Lotsen-Briefing zum Konzept Trawl-Net	19
I Lotsen-Fragebogen zum Konzept Trawl-Net	19
J Das Anflugplanungssystem 4D-CARMA	19
Lebenslauf	19
Danksagung	19
Ehrenwörtliche Erklärung	19