

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>v</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>xi</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>xvii</b>
<b>Formelzeichen</b>	<b>xxi</b>
<b>1. Einführung</b>	<b>1</b>
1.1. Motivation . . . . .	1
1.2. Ziele . . . . .	3
1.3. Vorgehensweise . . . . .	4
<b>2. Hintergrundinformationen</b>	<b>5</b>
2.1. Meteorologische Größen und deren Bestimmung . . . . .	5
2.1.1. Einfluss verschiedener Wetterphänomene auf die Luftfahrt . . . . .	5
2.1.2. Meteorologische Vorhersagemodelle und vorhergesagte Wetterdaten . . . . .	19
2.1.3. Meteorologische Daten von bodenbasierten Wetterradarstationen . . . . .	26
2.1.4. Von Bordsensoren gemessene Wetterdaten . . . . .	35
2.2. Überblick über die heutige strategische und taktische Flugplanung . . . . .	41
2.2.1. Aktueller Ablauf der Routenplanung mittels prognostischer und taktischer meteorologischer Daten . . . . .	41
2.2.2. Problemstellungen in der heutigen Flugplanung . . . . .	44
2.3. Aktuelle Forschungsbestreben . . . . .	45
2.3.1. System zur taktischen Planung von Ausweichrouten . . . . .	46
2.3.2. Modellierung von Flugroutenänderungen aufgrund von Gewittern . . . . .	50
2.3.3. Clean Sky . . . . .	52

<b>3. Routenoptimierungskonzept und Umsetzung</b>	<b>53</b>
3.1. Skizzierung des Konzeptes	53
3.1.1. Operationelle Nutzung des Verfahrens	53
3.1.2. Getroffene Annahmen und Problemstellungen	56
3.1.3. Bezug zu SESAR	58
3.2. Aufbau des Routenoptimierungssystems	61
3.3. Datenbankserver	64
3.3.1. Dynamische meteorologische Daten	64
3.4. Entwicklung der Routenoptimierungsapplikation	69
3.4.1. Softwarearchitektur	69
3.4.2. Anbindung an die Datenbank	70
3.4.3. Cell Tracking- und Extrapolationsalgorithmus	70
3.4.4. Pfadsuchalgorithmus	89
<b>4. Simulation und Auswertung</b>	<b>105</b>
4.1. Generierung eines Referenzszenarios	105
4.1.1. Aufbau des Referenzsystems	107
4.1.2. Algorithmische Umsetzung des Szenarios	107
4.2. Validierung des Nowcastalgorithmus	114
4.2.1. Meteorologische Bedingungen während der unter-	
suchten Tage	115
4.2.2. Auswahl der Start- und Zielkoordinaten	115
4.2.3. Analyse der Streckendifferenz zwischen der jeweils	
ersten berechneten Route und der tatsächlich geflo-	
genen Route	116
4.2.4. Analyse des Routenverlaufes	120
4.2.5. Analyse der Anzahl der Einflüge in Gefahrengebiete	125
4.2.6. Gesamtbewertung des Nowcastalgorithmus	127
4.3. Validierung des Routenoptimierungssystems mittels Simula-	
tion	129
4.3.1. Auswertung der Simulationsstudie	129
4.3.2. Kritische Betrachtung der Simulationsstudie	134
4.4. Validierung des Routenoptimierungssystems mittels Flugsim-	
ulation	134
4.4.1. Umsetzung der Versuche	135
4.4.2. Auswertung der Flugsimulatorstudie	139
4.4.3. Kommentare der Piloten	146
4.4.4. Kritische Betrachtung der Flugsimulatorstudie	148

4.5. Kritische Betrachtung des Systems und Optimierungspotential	151
4.5.1. Abweichung von der heutigen Realität hinsichtlich der Prozeduren . . . . .	151
4.5.2. Alleinige Verwendung von Radardaten . . . . .	152
4.5.3. Aktualisierungsrate der Radardaten . . . . .	152
4.5.4. Genauigkeit des Extrapolationsalgorithmus . . . . .	153
4.5.5. Ungenauigkeiten bei den Sicherheitsbereichen . . . . .	153
4.5.6. Berücksichtigung von Flugleistungsmodellen . . . . .	154
4.5.7. Berücksichtigung von vertikalen Ausweichmanövern . . . . .	154
4.5.8. Ungenauigkeiten durch Pfadsuchalgorithmus . . . . .	154
<b>5. Zusammenfassung</b>	<b>155</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>159</b>
<b>A. Meteorologische Informationen zur Flugvorbereitung</b>	<b>173</b>
<b>B. Datenlinktypen</b>	<b>177</b>
<b>C. Pfadsuchalgorithmen</b>	<b>179</b>
C.1. Pseudocode vom A*- und Theta*-Algorithmus . . . . .	179
C.2. Schwierigkeit beim Theta*-Algorithmus . . . . .	181
<b>D. Validierung des Nowcastalgorithmus</b>	<b>183</b>
D.1. Analyse der Streckendifferenzen . . . . .	183
D.2. Analyse des Routenverlaufes . . . . .	195
D.2.1. Anzahl der Flüge mit Routenänderungen . . . . .	195
D.2.2. Anzahl der beibehaltenen eingangs gewählten Seite zum Ausweichen des konvektiven Gebietes . . . . .	196
D.3. Anzahl der Einflüge in Gefahrengebiete . . . . .	197
<b>E. Validierung des Routenoptimierungssystems</b>	<b>203</b>
<b>F. Farbschema eines bordeigenen Wetterradars</b>	<b>215</b>