

# 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 Forschungsbestrebungen . . . . .	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 untersuchten 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 geflogenen 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 Simulation . . . . .	129
4.3.1. Auswertung der Simulationsstudie . . . . .	129
4.3.2. Kritische Betrachtung der Simulationsstudie . . . . .	134
4.4. Validierung des Routenoptimierungssystems mittels Flugsimulation . . . . .	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 Nowcastalgorithms</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>