

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>xi</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>xvii</b>
<b>Nomenklatur</b>	<b>xix</b>
Formelzeichen . . . . .	xix
Indizes . . . . .	xxi
Abkürzungen . . . . .	xxii
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Stand der Wissenschaft und Technik . . . . .	2
1.1.1 Technologie und Methodik . . . . .	3
1.1.2 Prozess . . . . .	6
1.1.3 Werkzeuge . . . . .	8
1.1.4 Zusammenfassender Vergleich und Diskussion . . . . .	10
1.2 Ziel der Arbeit . . . . .	12
1.3 Gliederung der Arbeit . . . . .	13
<b>2 Fehlerdiagnose heutiger Verkehrsflugzeuge</b>	<b>15</b>
2.1 Begriffsdefinitionen . . . . .	15
2.1.1 Fehler . . . . .	15
2.1.2 Fehlerdiagnose . . . . .	19
2.2 Historische Entwicklung . . . . .	21
2.3 Aktuelle Ausführung einer Fehlerdiagnose . . . . .	25
2.4 Diskussion und Bewertung . . . . .	29
<b>3 Agenten-basierte Fehlerdiagnose</b>	<b>31</b>
3.1 Zustandsänderung . . . . .	31
3.2 Funktionale Ebenen . . . . .	34

3.3	Elemente und Architektur . . . . .	36
3.3.1	Anforderungen an Gesamtkonzept . . . . .	36
3.3.2	Lösungsansätze für die Fehlerdiagnose . . . . .	38
3.4	Gesamtkonzept für die Fehlerdiagnose an Bord eines Flugzeuges . . . . .	39
<b>4</b>	<b>Entwicklungsprozess für Fehlerdiagnose-Agenten</b>	<b>51</b>
4.1	Rahmen der Entwicklung einer Fehlerdiagnose . . . . .	51
4.2	Ablauf der Entwicklung einer Fehlerdiagnose . . . . .	54
4.2.1	Schritt 1: Modellbildung und Simulation . . . . .	54
4.2.2	Schritt 2: Ursache-Wirkungs Matrizen . . . . .	54
4.2.3	Schritt 3: Analyse . . . . .	54
4.2.4	Schritt 4: Bewertung . . . . .	56
4.2.5	Schritt 5: Coding . . . . .	56
4.2.6	Schritt 6: Implementierung . . . . .	56
4.3	Werkzeug zur Entwicklung einer Fehlerdiagnose . . . . .	57
4.3.1	Modul 1: Fehler-Effekt Modellierung . . . . .	57
4.3.2	Modul 2: Indikator- und Sensorauswahl . . . . .	58
4.3.3	Modul 3: Regelgenerierung . . . . .	58
4.3.4	Modul 4: Konfiguration der Fehlerdiagnose-Engine . . . . .	58
<b>5</b>	<b>Modellbildung und Simulation von Fehlverhalten</b>	<b>59</b>
5.1	Modellierung von Fehlern . . . . .	59
5.1.1	Modellierungsansatz . . . . .	60
5.1.2	Beispiele . . . . .	62
5.2	Simulation von Fehlern . . . . .	73
5.2.1	Randbedingungen . . . . .	73
5.2.2	Fehlerszenarien . . . . .	74
5.3	Auswertung von Fehlereffekten . . . . .	75
<b>6</b>	<b>Analyse von Ursache-Wirkungs Matrizen</b>	<b>87</b>
6.1	Analyse von Fehler-Indikator Matrizen . . . . .	87
6.1.1	Bildung von Fehler-Indikator Matrizen . . . . .	89
6.1.2	Analyse der Reihenfolge von Indikatoren . . . . .	94
6.1.3	Detektion von Fehlern . . . . .	97
6.1.4	Isolation von Fehlern . . . . .	101

6.1.5	Bewertung von Indikatormengen . . . . .	109
6.1.6	Anwendung exakter Fehlerdiagnoseregeln . . . . .	112
6.1.7	Weiterführende Bewertung von Fehler-Merkmalen . . .	114
6.2	Analyse von Fehler-Merkmal Matrizen . . . . .	117
6.2.1	Grundlagen der <i>Fuzzy</i> Logik und <i>Fuzzy</i> Inferenz . . . .	118
6.2.2	Automatisierungsansätze zur Generierung von <i>Fuzzy</i> Regeln . . . . .	121
6.2.3	Algorithmus zur Generierung von <i>Fuzzy</i> Fehlerdiagno- seregeln . . . . .	123
6.2.4	Anwendungsbeispiel von Fuzzy Fehlerdiagnoseregeln . .	135
<b>7</b>	<b>Implementierung von Fehlerdiagnose-Agenten</b>	<b>137</b>
7.1	Ablauf der Implementierung von Fehlerdiagnose-Agenten . . . .	137
7.2	Dokumentenstruktur und Module . . . . .	140
7.3	Expertensysteme . . . . .	141
<b>8</b>	<b>Demonstration am Beispiel des multifunktionalen Brennstoffzellen- systems</b>	<b>143</b>
8.1	Motivation für den Einsatz von Brennstoffzellen in der Luftfahrt	143
8.2	Integration von Brennstoffzellen an Bord von Verkehrsflugzeugen	144
8.3	Referenzarchitektur . . . . .	146
8.4	Entwicklung einer Fehlerdiagnose-Engine . . . . .	148
8.4.1	Fehlerszenarien . . . . .	149
8.4.2	Ergebnisse der Fehlersimulation . . . . .	149
8.4.3	Analyse von Ursache-Wirkungs Matrizen und Erzeu- gung von Fehlerdiagnoseregeln . . . . .	151
8.4.4	Demonstration der Fehlerdiagnose-Engine . . . . .	154
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>171</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>175</b>
A.1	Übersicht von Verfahren der Fehlerdiagnose . . . . .	175
A.1.1	Fehlerdetektion . . . . .	175
A.1.2	Fehlerisolation . . . . .	177
A.1.3	Fehleridentifikation . . . . .	191

A.2 Tabellen . . . . . 195

**Literaturverzeichnis** **201**