

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	xv
Tabellenverzeichnis	xxi
1. Einleitung	1
1.1. Motivation und Problembeschreibung	1
1.2. Ziele der Arbeit	2
1.3. Aufbau der Arbeit	3
2. Grundlagen	7
2.1. Sicherheitsmanagement im Flugbetrieb	7
2.1.1. Ziele	8
2.1.2. Rechtliche Grundlagen	8
2.1.3. Strategien	9
2.1.4. Unfall- und Vorfallsdatenbanken	10
2.1.5. Analyse von Flugdaten	10
2.1.6. Cockpitbeobachtung	13
2.2. Pilotentraining	14
2.2.1. Ziele	14
2.2.2. Training als Lernprozess	15
2.2.3. Rechtliche Grundlagen	16
2.2.4. Line Oriented Flight Training	19
2.2.5. Evidence Based Training	21
2.2.6. Bewertung von Pilotenleistungen im Training	23
2.3. Anforderungen an zukünftige Trainingsmaßnahmen	27
3. Empirische Methoden für die Evaluierung von Pilotenleistungen	31
3.1. Überblick zu Bewertungsverfahren	32
3.1.1. Ziele	32
3.1.2. Problembeschreibung	32
3.1.3. Historischer Rückblick	33
3.2. Bewertung von Flugspuren	36
3.2.1. Grundlagen	36
3.2.2. Definitionen	37
3.2.3. Ereignisanalyse mit Einzelparametern	40
3.2.4. Erweiterte Ereignisanalyse mit modifizierten und kombinierten Parametern	44
3.2.5. Methodenauswahl	48
3.3. Bewertung von Steuerverhalten	49
3.3.1. Grundlagen	50
3.3.2. Definitionen	53
3.3.3. Frequenzanalyse	53

3.3.4. Steuereingabemuster	55
3.3.5. Methodenauswahl	57
3.4. Bewertungen von Handlungen	58
3.4.1. Grundlagen	58
3.4.2. Definitionen	60
3.4.3. Methoden zur Erfassung von Fehlern	62
3.4.4. Methoden zur Darstellung von Handlungsabläufen	67
3.4.5. Methodenauswahl	72
3.5. Bewertung von Beanspruchung	74
3.5.1. Grundlagen	74
3.5.2. Leistungsbezogene Methoden	76
3.5.3. Subjektive Methoden	77
3.5.4. Physiologische Methoden	77
3.5.5. Methodenauswahl	82
3.6. Methodenauswahl	83
4. Anwendungsfall Kabinendekompression	85
4.1. Flugmedizin	86
4.1.1. Vegetatives Nervensystem	86
4.1.2. Herz	87
4.1.3. Blutkreislauf	88
4.1.4. Atmung	89
4.1.5. Sauerstoffmangel	91
4.1.6. Zeit der sicheren Bewusstlosigkeit und Reservezeit	92
4.1.7. Sauerstoffatmung	94
4.1.8. Überdruckatmung	94
4.2. Kabinendrucksystem	97
4.2.1. Historischer Rückblick	97
4.2.2. Aufgaben	98
4.2.3. Funktionsweise	99
4.2.4. Zulassungsspezifikationen	100
4.2.5. Betriebsvorschriften	101
4.3. Sauerstoffsysteme	101
4.3.1. Historischer Rückblick	101
4.3.2. Aufgaben	102
4.3.3. Sauerstoffversorgung für die Kabine	103
4.3.4. Sauerstoffversorgung für die Cockpitbesatzung	104
4.3.5. Zulassungsspezifikationen	109
4.3.6. Betriebsvorschriften	109
4.4. Kabinendruckabfall	110
4.4.1. Definitionen	110
4.4.2. Unfälle	112
4.4.3. Störfälle	113
4.4.4. Ursachen	114
4.4.5. Triebwerksschäden	115
4.4.6. Zulassungsspezifikationen	116
4.4.7. Physiologische Auswirkungen	118
4.4.8. Auswirkungen auf die Handlungsfähigkeit	120

4.4.9. Training in der Druckkammer	121
5. Untersuchung	123
5.1. Ziele	124
5.2. Forschungsfragen	124
5.3. Hypothesen	125
5.3.1. Hypothesen bezogen auf Flugspuren	125
5.3.2. Hypothesen bezogen auf Steuerverhalten	127
5.3.3. Hypothesen bezogen auf Handlungen	128
5.3.4. Hypothesen bezogen auf Beanspruchung	129
5.4. Anforderungen	129
5.4.1. Definitionen	130
5.4.2. Untersuchungsdesign	130
5.4.3. Szenarioentwicklung	131
5.4.4. Untersuchungsdurchführung	132
5.5. Untersuchungsdesign	133
5.5.1. Zweigruppenversuchsplan	133
5.5.2. Versuchsgruppe	133
5.5.3. Kontrollgruppe	134
5.6. Schulung in Überdruckatmung	134
5.6.1. Anforderungen	134
5.6.2. Inhalt	134
5.7. Untersuchungsszenario	136
5.7.1. Linienflug	137
5.7.2. Wetterbedingungen	138
5.7.3. Kommunikation mit Flugsicherung	138
5.7.4. Start	139
5.7.5. Reiseflug	139
5.7.6. Kabinendruckabfall	140
5.7.7. Ausweichflug	142
5.7.8. Anflug und Landung	143
5.8. Versuchsumgebung	144
5.8.1. Full Flight Simulator Airbus A330	144
5.8.2. Scientific Research Facility	147
5.8.3. Implementierung Szenario	147
5.8.4. Implementierung Datenaufzeichnung	148
5.9. Untersuchungsablauf	148
5.9.1. Personal	149
5.9.2. Vorbereitung	150
5.9.3. Pilotenbriefing	150
5.9.4. Technische Vorbereitung	151
5.9.5. Simulatorversuch	152
5.9.6. Schulung in Überdruckatmung	153
5.9.7. Befragung	153
5.10. Datenerhebung	153
5.10.1. Simulatordaten	153
5.10.2. Elektrokardiogramm	154
5.10.3. Fragebögen	154

5.10.4. Video- und Audioaufzeichnungen	154
5.11. Datenauswertung	155
5.11.1. Paket SODA-Datatypes	155
5.11.2. Paket SODA-DataContainer	156
5.11.3. Paket SODA-Group	157
5.11.4. Paket SODA-Pilot	157
5.11.5. Paket SODA-Scenario	157
5.11.6. Paket SODA-Parameter	158
5.11.7. Paket SODA-EventAnalysis	158
5.11.8. Paket SODA-Heart	158
5.11.9. Paket SODA-HumanAction	159
5.11.10. Paket SODA-Index	159
5.11.11. Paket SODA-Graphics	160
5.11.12. Paket SODA-Analysis	160
5.11.13. Paket SODA-Comparison	161
5.11.14. Paket SODA-Research	161
5.11.15. SODA MYSQL Datenbank	161
6. Ergebnisse	165
6.1. Hypothesenprüfung	165
6.1.1. Prüfung auf Normalverteilung	166
6.1.2. Prüfung auf Varianz	167
6.1.3. Parametrische Tests zur Hypothesenprüfung	168
6.1.4. Nicht-parametrische Tests zur Hypothesenprüfung	168
6.2. Charakteristik der Untersuchungsteilnehmer	169
6.3. Hypothesen bezogen auf Flugspuren	170
6.3.1. Zeiten von Dekompression bis Pitch-Down-Kommando (Hypothese AC.1)	170
6.3.2. Seitenabweichung vom Sollflugweg (Hypothese AC.2)	170
6.3.3. Höhenabweichung vom Sollflugweg (Hypothese AC.3)	172
6.3.4. Zeit bis zum Erreichen von FL370 (Hypothese AC.4)	172
6.3.5. Zeit bis zum Erreichen von FL120 (Hypothese AC.5)	173
6.3.6. Geschwindigkeitsabweichungen (RMSE) von Sollfluggeschwindigkeiten (Hypothese AC.6)	173
6.3.7. Einhalten der Sollflugkriterien (Hypothese AC.7)	174
6.3.8. Gütekriterium für FL430 bis FL370 (Hypothese AC.8)	174
6.3.9. Einhalten der Loss-of-Control-Inflight-Kriterien (Hypothese AC.9)	175
6.3.10. DEI (Hypothese AC.10)	177
6.3.11. Übersicht	177
6.4. Hypothesen bezogen auf Steuerverhalten	182
6.4.1. Anzahl der Steuereingaben (Hypothese CT.1)	182
6.4.2. Amplitude (Mittelwert) der Steuereingaben (Hypothese CT.2)	182
6.4.3. Frequenzen der Steuereingaben (Hypothese CT.3)	183
6.4.4. Eingabegeschwindigkeit von Steuereingaben (Hypothese CT.4)	185
6.4.5. Eingabegeschwindigkeit von korrigierten Steuereingaben (Hypothese CT.5)	185
6.4.6. Eingabegeschwindigkeit von zweiachsigen Steuereingaben (Hypothese CT.6)	187

6.4.7. Eingabegeschwindigkeit von richtungsändernden Steuereingaben (Hypothese CT.7)	187
6.4.8. Übersicht	187
6.5. Hypothesen bezogen auf Handlungen	191
6.5.1. Handlungen nach Dekompression	191
6.5.2. Handlungen nach Triebwerksausfall	193
6.5.3. Zeit zum Aufsetzen der Sauerstoffmaske (Hypothese TA.1)	193
6.5.4. Zeitbedarf zum Abarbeiten der Prozeduren (Hypothese TA.2)	193
6.5.5. Fehlerrate beim Abarbeiten der Prozeduren (Hypothese TA.3a)	195
6.5.6. Erfolgsraten beim Abarbeiten der Prozeduren (Hypothese TA.3b)	196
6.5.7. Anzahl der Handlungen durch Unsicherheit mit Überdruckatmung (Hypothese TA.4)	198
6.5.8. Übersicht	198
6.6. Hypothesen bezogen auf Beanspruchung	199
6.6.1. Subjektive Beanspruchung (Hypothese HU.1)	199
6.6.2. Herzrate (Hypothese HU.2)	200
6.6.3. Herzratenvariabilität (Hypothese HU.3)	200
6.6.4. Aktivierung von Sympathikus und Parasympathikus (Hypothese HU.4)	201
6.6.5. Übersicht	201
6.7. Individuelle Ergebnisse von Pilotenleistungen	204
6.7.1. Flugspuren	204
6.7.2. Steuerverhalten	206
6.7.3. Handlungen	207
6.7.4. Beanspruchung	208
6.8. Anwendung Fehlermodell	208
6.9. Ergebnisse aus den Fragebögen	209
6.9.1. Start und Reiseflug	209
6.9.2. Notabstieg und Überdruckatmung	210
6.9.3. Schulung in Überdruckatmung	210
6.9.4. Gesamtbewertung des Versuchs	211
7. Diskussion und Ausblick	213
7.1. Diskussion der Ergebnisse	213
7.2. Beantwortung der Forschungsfragen	214
7.3. Ausblick	217
Anhang	217
A. Grundlagen	219
B. Methodenauswahl	221
B.1. Bewertung von Flugspuren	221
B.1.1. Ereignisanalyse mit Einzelparameter	221
B.1.2. Erweiterte Ereignisanalyse mit modifizierten und kombinierten Parametern	224
B.1.3. Ergebnis der Methodenbewertung	228
B.2. Bewertung von Steuerverhalten	229
B.2.1. Frequenzanalyse	229

B.2.2. Steuereingabemuster	229
B.2.3. Ergebnis der Methodenbewertung	231
B.3. Bewertungen von Handlungen	232
B.3.1. Methoden zur Darstellung von Handlungsabläufen	232
B.3.2. Ergebnis der Methodenbewertung	236
B.4. Tabellen zu Fehlermodellen	237
B.5. Bewertung von Beanspruchung	239
B.5.1. Leistungsbezogene Methoden	239
B.5.2. Subjektive Methoden	240
B.5.3. Physiologische Methoden	241
B.5.4. Ergebnis der Methodenbewertung	244
C. Anwendungsfall	245
C.1. Druck nach ICAO Standardatmosphäre	245
C.2. Unfälle mit Kabinendruckabfall	245
C.3. Störfälle mit Kabinendekompression	247
C.4. UML Klassendiagramme zu SODA-Programm	250
C.4.1. SODA-DataTypes Paket	251
C.4.2. SODA-DataContainer Paket	252
C.4.3. SODA-GroupAnalysis Paket	253
C.4.4. SODA-Pilot Paket	254
C.4.5. SODA-Scenario Paket	255
C.4.6. SODA-Parameter Paket	256
C.4.7. SODA-EventAnalysis Paket	257
C.4.8. SODA-Heart Paket	258
C.4.9. SODA-HumanAction Paket	259
C.4.10. SODA-Index Paket	260
C.4.11. SODA-Graphics Paket	261
C.4.12. SODA-Analysis Paket	262
C.4.13. SODA-Comparison Paket	263
C.4.14. SODA-Research Paket	264
D. Ergebnisse	265
D.1. Charakteristik der Untersuchungsteilnehmer	265
D.2. Statistische Ergebnisse für Hypothesenprüfung	268
D.3. Bewertungen von Individualleistungen	318
D.3.1. Flugspuren	319
D.3.2. Steuerverhalten	323
D.3.3. Handlungen	327
D.3.4. Beanspruchung	331
D.4. Versuchsauswertung unter Anwendung des Fehlermodells	333
D.5. Fragebogen	337
D.6. Auswertung der Fragebögen	354
D.6.1. Auswertung Fragebögen zu Start	354
D.6.2. Auswertung Fragebögen zu Reiseflug	355
D.6.3. Auswertung Fragebögen zu Notabstieg	356
D.6.4. Auswertung Fragebögen zu Landung	360
D.6.5. Auswertung Fragebögen zur Schulung in Überdruckatmung	362

D.6.6. Auswertung Fragebögen zu Gesamtbewertung	363
Literaturverzeichnis	365
Abkürzungsverzeichnis	389
Symbolverzeichnis	393
Index	399