

2790-2864

Deutsche  
Forschungsgemeinschaft

## **Sicherheit im Luftverkehr**

Ergebnisse aus dem Sonderforschungsbereich 212  
der Technischen Universitäten Braunschweig,  
Berlin und Hannover und der  
Deutschen Forschungsanstalt für Luft- und  
Raumfahrt e.V., Braunschweig

Herausgegeben von Gunther Schänzer

 WILEY-VCH

**DFG**

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	XVII
<b>1 Einleitung</b> .....	1
<i>Gunther Schänzer</i>	
1.1 Sicherheit im Luftverkehr .....	1
1.2 Gefährdungsmaß .....	4
1.3 Auftretenswahrscheinlichkeit von Luftturbulenz .....	8
1.4 Der Mensch als Sicherheitsproblem .....	12
1.5 Ausfallwahrscheinlichkeit von Flugreglern .....	15
1.6 Aufgaben und Ziele des Sonderforschungsbereichs .....	20
1.7 Literatur .....	26
<b>Teil I Projektbereich A: Flugzeug und Atmosphäre</b>	
<b>1 Flugzeug, Atmosphäre und Flugaufgabe</b>	
<b>Übersicht zum Projektbereich A</b> .....	29
<i>Rudolf Brockhaus</i>	
1.1 Flugzeug und Atmosphäre .....	29
1.1.1 Atmosphäre .....	29
1.1.2 Flugzeug .....	31
1.2 Erweiterung der Aktivitäten .....	33
1.3 Intelligente Führungsregelung .....	34
1.3.1 Höhenänderung bei linearem Regler .....	34
1.3.2 Lineare Modellfolgeregelung .....	36
1.3.3 Führungsgrößen- und Sollzustandsgenerierung .....	37
1.3.4 Konfliktfreie Grenzregelung .....	40
1.4 Literatur .....	42
<b>2 Aspekte der Flugsicherheit bei der Wechselwirkung zwischen Flugzeug und Atmosphäre</b> .....	43
<i>Marc Pélegrin</i>	
2.1 Einleitung .....	43
2.2 Das Flugzeug .....	45

2.2.1	Die Entwicklung des Flugzeugs	45
2.2.2	Stabilität eines Flugzeugs	47
2.2.3	Einige grundlegende Definitionen und Bemerkungen	48
2.3	Die zufallsbestimmte Umgebung des Flugzeugs	49
2.3.1	Die Atmosphäre	49
2.3.2	Turbulenz	52
2.3.3	Schlußfolgerung zur Stabilität	53
2.4	Windscherung und Fallwinde	54
2.4.1	Atmosphärische Phänomene	54
2.4.2	Zwei typische Fallwinde	55
2.4.3	Tornados und Fallwinde	58
2.4.4	Windscherungs-Warnsysteme und Steuerung der Rettung des Flugzeugs	60
2.5	Wechselwirkungen zwischen Flugzeugen (Sogwirbel)	64
2.5.1	Die Entstehung von Sogwirbeln	64
2.5.2	Das TB-20-(Trinidad-)Unglück	64
2.5.3	Die Wechselwirkung zwischen Sogwirbeln und Atmosphäre	65
2.5.4	Ausblick	66
2.6	Vereisungsgefahr	68
2.6.1	Das Phänomen der Vereisung	68
2.6.2	Zwei Typen von Eiswolken	69
2.6.3	Ausblick	70
2.7	Blitze und/oder starke elektromagnetische Felder	72
2.8	Andere Risikofaktoren	74
2.9	Zusammenfassung	75
2.10	Literatur	76
	Anhang 1: Anmerkungen zur Datenverarbeitung	77
	Anhang 2: Allgemeine Bemerkungen zur Stabilität	78
	Das seltsame Verhalten linearer Systeme	79

## **Teilprojekt A 1: Start und Landung**

<b>3</b>	<b>Präzisionsnavigation bei Fluganwendungen durch die Kombination von Inertialsensoren mit Globalen Satellitennavigationssystemen</b>	<b>81</b>
	<i>Stefan Vieweg</i>	
3.1	Einleitung	81
3.2	Genauigkeitsanforderungen	82
3.3	Integration von Globalen Satellitennavigationssystemen mit Inertialinformationen	83
3.3.1	Sensorinformationen und -verarbeitung	83
3.3.1.1	Globale Satellitennavigationssysteme	83
3.3.1.2	Inertialnavigation	84
3.3.2	Beobachtungsmodell	85
3.3.3	Integrationskonzept	85
3.3.4	Echtzeitimplementation	90
3.4	Zusammenfassung	91
3.5	Literatur	92

**Teilprojekt A2: Meteorologie der planetaren Grenzschicht**

<b>4</b>	<b>Flugzeuggestützte meteorologische Messungen turbulenter Flüsse – systematische Fehler und ihre Behandlung</b> . . . . .	93
	<i>Andreas H. Siemer, Rainer Roth, Christoph Jacobi</i>	
4.1	Einleitung . . . . .	93
4.2	Die Korrelationsmethode zur Bestimmung turbulenter Flüsse . . . . .	95
4.3	Meßtechnische Ursachen systematischer Fehler . . . . .	97
4.3.1	Messungen in konvektiver Grenzschicht . . . . .	97
4.3.2	Messungen bei stabiler Schichtung . . . . .	98
4.4	Virtuelle Flüsse infolge der Eigenbewegung des Flugzeugs . . . . .	101
4.5	Organisierte Strukturen in der Atmosphäre . . . . .	107
4.6	Zusammenfassung . . . . .	108
4.7	Literatur . . . . .	108
 <b>5</b>	 <b>Starke Windscherungen unter nicht extremen meteorologischen Bedingungen</b> . . . . .	 111
	<i>Christoph Jacobi, Andreas H. Siemer, Rainer Roth</i>	
5.1	Einleitung . . . . .	111
5.2	Scherungen an nächtlichen Grenzschichtstrahlströmen . . . . .	112
5.2.1	Zur Theorie von Grenzschichtstrahlströmen . . . . .	112
5.2.2	Sondierungen in der nächtlichen Grenzschicht . . . . .	113
5.2.3	Der Zusammenhang von Scherung und geostrophischem Wind . . . . .	114
5.3	Windscherung an Fronten und Inversionen . . . . .	116
5.3.1	Der Zusammenhang von Scherung und Richardsonzahl . . . . .	116
5.3.2	Ergebnisse flugzeuggestützter Messungen . . . . .	118
5.4	Zusammenfassung . . . . .	121
5.5	Literatur . . . . .	122
5.6	Weitere Literatur zum Thema . . . . .	123

**Teilprojekt A3: Adaptive und lernende Regler**

<b>6</b>	<b>Ein selbsteinstellender robuster Regler für die Flugzeuggesamt- bewegung</b> . . . . .	125
	<i>Hartwig Ohmstede</i>	
6.1	Einleitung . . . . .	125
6.2	Identifizierung . . . . .	125
6.3	Reglerauslegung . . . . .	126
6.3.1	Robuste Stabilität und Regelverhalten . . . . .	127
6.3.2	Wichtungsfunktionen . . . . .	127
6.3.3	Reglerentwurf . . . . .	129
6.3.4	Simulationsergebnisse . . . . .	129
6.4	Vorsteuerung . . . . .	130
6.5	Zusammenfassung . . . . .	133
6.6	Literatur . . . . .	134

<b>7</b>	<b>Ein robuster Hubschrauber-Flugregler</b> .....	135
	<i>Rüdiger Reichow</i>	
7.1	Einleitung .....	135
7.2	Modellbildung .....	135
7.2.1	Linearisierung .....	137
7.3	Echtzeitsimulation .....	138
7.4	Regelung .....	139
7.4.1	Robuste Stabilität .....	139
7.4.2	Reglerentwurf durch Norm-Minimierung .....	140
7.4.3	Analyse des Reglers .....	141
7.5	Vorsteuerung .....	142
7.6	Zusammenfassung .....	144
7.7	Literatur .....	145

**Teilprojekt A 4: Schätzen von Flugzustandsgrößen**

<b>8</b>	<b>Validierung von Schätzfiltern mit erweiterten Modellen für Flugzeug und Meßsystem</b> .....	147
	<i>Winfried Dunkel</i>	
8.1	Übersicht des Teilprojekts A4 und Einleitung .....	147
8.2	Verbesserung des Modells durch Systemidentifizierung .....	151
8.2.1	Meßdatencheck mit dem Differential Global Positioning System .....	151
8.2.1.1	Diskussion von dem Differential Global Positioning System .....	152
8.2.1.2	Ergebnisse .....	153
8.2.2	Identifizierung flugzeugspezifischer Parameter .....	154
8.2.2.1	Druckmessung hinter dem Propeller .....	155
8.2.2.2	Flügeldruckmessungen .....	156
8.3	Zusammenfassung und Ausblick .....	159
8.4	Literatur .....	159

<b>9</b>	<b>Integrierte Sensorüberwachung mit Hilfe innovationsbasierter Fehlerklassifikation</b> .....	161
	<i>Harald Göllinger</i>	
9.1	Übersicht und Einleitung .....	161
9.2	Der Sequential-Probability-Ratio-Test .....	162
9.2.1	Der Sequential-Probability-Ratio-Test für mehrere Hypothesen .....	163
9.3	Eigenschaften des Kalmanfilters .....	163
9.4	Fehlererkennung in der Messung der Vertikalbewegung .....	165
9.4.1	Die Strecke .....	165
9.4.2	Modellierung von Sensorfehlern .....	166
9.4.3	Zeitvariante Struktur der Meßgleichungen .....	167
9.4.4	Adaption der Kalmanfilter nach einer Entscheidung .....	167
9.4.5	Simulationsergebnisse .....	168
9.4.6	Fehlererkennung in Flugmeßdaten .....	169
9.5	Zusammenfassung .....	170
9.6	Literatur .....	171

**Teilprojekt A6: Methoden zur Ermittlung deterministischer und stochastischer Flugzustände**

<b>10</b>	<b>Arbeits- und Ergebnisbericht 1983–1994</b> . . . . .	173
	<i>Karl-Friedrich Doherr</i>	
10.1	Übersicht des Teilprojekts A6 . . . . .	173
10.2	Angewandte Methoden und Ergebnisse . . . . .	173
10.3	Literatur . . . . .	174
<b>11</b>	<b>Online-Überwachung kritischer Luftdatensensoren am Forschungsflugzeug ATTAS</b> . . . . .	176
	<i>Thomas Jann</i>	
11.1	Einleitung . . . . .	176
11.1.1	Redundanz . . . . .	176
11.1.2	Aufgaben bei der Sensorfehlererkennung . . . . .	177
11.1.3	Airlog . . . . .	177
11.2	Generierung der Residuen . . . . .	178
11.2.1	Meßgrößen im Prozeß . . . . .	178
11.2.2	ATTAS-Flugmeßdaten . . . . .	179
11.3	Auswertung des Residuums . . . . .	180
11.3.1	Mehrstufige Filterbank . . . . .	181
11.3.2	Einsatz von Zählern . . . . .	182
11.3.3	Entscheidung mit Hilfe einer Schwellwertlogik . . . . .	183
11.3.4	Beispiele . . . . .	184
11.4	Anwendung im Flugversuch . . . . .	185
11.5	Zusammenfassung . . . . .	186
11.6	Literatur . . . . .	187
<b>12</b>	<b>Anwendung von Methoden der Systemidentifizierung zur Entwicklung von Simulator-Datenbasen</b> . . . . .	188
	<i>Ravindra V. Jategaonkar</i>	
12.1	Einleitung . . . . .	188
12.2	Parameterschätzverfahren . . . . .	189
12.3	Aerodynamische Datenbasen . . . . .	190
12.3.1	Die aerodynamische Datenbasis für den fliegenden Simulator ATTAS . . . . .	191
12.3.2	Die aerodynamische Datenbasis für die C-160 „Transall“ . . . . .	193
12.4	Zusammenfassung . . . . .	196
12.5	Literatur . . . . .	197
<b>13</b>	<b>Methoden zur Schätzung der Parameter eines Flugzeugs im Post-Stall-Bereich</b> . . . . .	198
	<i>Ermin Plaetschke, Ravindra V. Jategaonkar, Detlef Rohlf, Susanne Weiß</i>	
13.1	Einleitung . . . . .	198
13.2	Parameterschätzverfahren . . . . .	199
13.2.1	Maximum-Likelihood-Filterfehlerverfahren . . . . .	199
13.2.2	Extended-Kalmanfilter-Verfahren . . . . .	200
13.2.3	Regressionsverfahren . . . . .	201

13.3	Identifizierung der X-31A-Seitenbewegung .....	201
13.4	Zusammenfassung .....	206
13.5	Literatur .....	206

**Teilprojekt A7: Start und Landung von Hubschraubern**

<b>14</b>	<b>Untersuchung zum Steilanflug von Hubschraubern – Bahngenerierung und Möglichkeiten zur Automatisierung .....</b>	<b>209</b>
	<i>Heiko Hepp</i>	
14.1	Übersicht des Teilprojekts A7 und Einleitung .....	209
14.2	Der Steilanflug .....	210
14.2.1	Definition des Steilanflugs .....	210
14.2.2	Grenzen des Steilanflugs .....	212
14.3	Die Bahngenerierung .....	215
14.3.1	Möglichkeiten von Anflügen .....	215
14.3.2	Aufteilung der Anflugbahn in Segmente .....	215
14.3.3	Anforderungen an den Bahngenerierungsalgorithmus .....	216
14.3.4	Bahngenerierung mit einem Polynom sechsten Grads .....	217
14.4	Das Automatisierungskonzept .....	219
14.5	Zusammenfassung und Ausblick .....	224
14.6	Literatur .....	225
<b>15</b>	<b>Windeinfluß bei Start und Landung von Hubschraubern .....</b>	<b>226</b>
	<i>Norbert Tränapp, Günther Reichert</i>	
15.1	Übersicht und Einleitung .....	226
15.2	Simulations- und Windmodelle .....	230
15.2.1	Modellbeschreibung und Vergleich mit Flugversuchsmessungen .....	230
15.2.2	Berücksichtigung der Bodeneffektwirkung .....	232
15.3	Flugsicherheit bei Start und Landung unter Windeinfluß .....	238
15.3.1	Leistungsbetrachtungen .....	238
15.3.2	Betrachtungen zum Kurvenflug .....	241
15.4	Zusammenfassung .....	248
15.5	Literatur .....	250

**Teilprojekt A8: Modellierung und Identifizierung von Drehflüglern**

<b>16</b>	<b>Beiträge zur Bewertung der Flugeigenschaften von Helikoptern: Nick-Roll-Kopplung .....</b>	<b>253</b>
	<i>Carl J. Ockier</i>	
16.1	Übersicht des Teilprojekts A8 und Einleitung .....	253
16.2	Untersuchungen am fliegenden Simulator .....	255
16.2.1	Versuchsbeschreibung .....	255
16.2.2	Das Kopplungsmodell .....	256
16.2.3	Diskussion der Ergebnisse .....	257
16.3	Bewertung der Kopplungskriterien .....	260
16.3.1	Bewertung des Zeitbereichskriteriums .....	261

16.3.2	Bewertung des Frequenzbereichskriteriums .....	261
16.4	Zusammenfassung .....	262
16.5	Literatur .....	262
<b>17</b>	<b>Anwendung der Systemidentifizierung für die Entwicklung von Reglersystemen für Hubschrauber .....</b>	<b>264</b>
	<i>Wolfgang von Grünhagen, Jürgen Kaletka</i>	
17.1	Einleitung .....	264
17.2	ATTheS, der fliegende Simulator der Deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt .....	264
17.3	Aufbau des Modellfolge-Reglersystems .....	265
17.4	Modellierung des Basishubschraubers .....	267
17.5	Systemidentifizierung .....	269
17.6	Auslegung des Modellfolge-Reglersystems .....	271
17.6.1	Auslegung der Vorsteuerung .....	271
17.6.2	Auslegung des Rückführungszweigs .....	272
17.7	Leistungsfähigkeit der Modellfolge .....	273
17.8	Fliegende Simulation mit dem Hubschrauber Lynx .....	273
17.9	Zusammenfassung und Ausblick .....	275
17.10	Literatur .....	278

## **Teil II Projektbereich B: Sicherung des Luftverkehrs**

<b>1</b>	<b>Sicherung des Luftverkehrs</b>	
	<b>Übersicht zum Projektbereich B .....</b>	<b>281</b>
	<i>Manfred Fricke</i>	
1.1	Einleitung .....	281
1.2	Aufgaben und Zielsetzungen des Projektbereichs B .....	282
1.2.1	Vorstellung der Einzelprojekte B1 bis B3 .....	283
1.2.2	Kooperationen und Synergieeffekte .....	285
1.3	Ausblick auf zukünftiges Forschungspotential .....	286
1.4	Literatur .....	286
<b>2</b>	<b>Gastvortrag zum 4. Braunschweiger Aerospace Symposium .....</b>	<b>287</b>
	<i>Hansjürgen Frhr. von Villiez</i>	
2.1	Sicherung des Luftverkehrs .....	287
2.2	EUROCONTROL-Programme .....	289
2.2.1	Zur Flugsicherungsforschung .....	289
2.2.2	Bezug zur Hochschulforschung .....	290

## **Teilprojekt B1: Steuerungs- und Kontrollkonzepte zum Air-Traffic-Management**

<b>3</b>	<b>Intelligentes Fluglotsenassistenzsystem für Planungs- und Überwachungsarbeiten .....</b>	<b>293</b>
	<i>André Wattler</i>	
3.1	Einleitung .....	293



3.2	Entscheidungsunterstützung in der Flugsicherung durch intelligente Assistenzsysteme .....	294
3.2.1	Merkmale und Aufbau eines Expertensystems .....	294
3.2.2	Studien und Prototypen für eine Expertensystemunterstützung im Bereich der Flugsicherung .....	295
3.3	Fluglotsenassistenzsystem für Planungs- und Überwachungsaufgaben ..	296
3.3.1	Systemkonzept und Realisierung .....	296
3.3.1.1	Integration in das Flugsicherungssystem .....	296
3.3.1.2	Struktur des Fluglotsenassistenzsystems .....	298
3.3.2	Evaluation des Assistenzsystems .....	302
3.4	Literatur .....	305
<b>4</b>	<b>Vernetzung von Flug- und Flugsicherungssimulatoren für die Forschung zum kooperativen Air-Traffic-Management .....</b>	<b>306</b>
	<i>Alexander Schmid</i>	
4.1	Übersicht und Einleitung .....	306
4.2	Problemstellung .....	307
4.3	Konzeption des Experimentalsystems .....	308
4.4	Aufbau des Experimentalsystems .....	309
4.4.1	Hardware-Architektur .....	309
4.4.2	Software-Architektur des DC 9-Datenübertragungsmoduls .....	309
4.4.3	Software-Architektur der Data Link-Prozesse .....	311
4.5	Validierung der Data Link-Software .....	314
4.6	Anwendungspotential .....	314
4.7	Zusammenfassung und Ausblick .....	315
4.8	Literatur .....	316
 <b>Teilprojekt B2: Minderung der Kollisionsgefahr durch Konflikterkennung und Manöverführung</b>		
<b>5</b>	<b>Der Einsatz der Mode S-spezifischen Übertragung zur Unterstützung der Allgemeinen Luftfahrt .....</b>	<b>317</b>
	<i>Klaus-Peter Berg</i>	
5.1	Einleitung .....	317
5.2	Vergleich Aeronautical Telecommunication Network/MODE S-spezifische Datenübertragung .....	318
5.3	Zugriff auf die Mode S-spezifische Datenübertragung .....	319
5.4	Die Mode S-spezifischen Netzwerkdienste .....	320
5.4.1	Broadcast-Protokolle .....	320
5.4.2	Ground-Initiated-Comm-B-Protokoll .....	321
5.4.3	Mode S-spezifische Protokolle .....	321
5.5	Applikationen zur Unterstützung der Allgemeinen Luftfahrt .....	321
5.5.1	Enhanced Surveillance als Basis für automatische Mode S-Dienste .....	322
5.5.2	Traffic Information System .....	324
5.5.3	Area Intrusion and Deviation Alert .....	324
5.5.4	Wetterinformation .....	325

5.6	Funkfeldbelastung .....	325
5.7	Literatur .....	326
<b>6</b>	<b>Untersuchung der Wirksamkeit von Airborne Collision Avoidance System im realen Luftverkehr .....</b>	<b>327</b>
	<i>Dirk Kügler</i>	
6.1	Einleitung .....	327
6.2	Das Funktionsprinzip von Airborne Collision Avoidance System .....	328
6.2.1	Überwachung von Flugzeugen mit Secondary Surveillance Radar Mode A/C .....	328
6.2.2	Überwachung von Flugzeugen mit Mode S-Transponder .....	329
6.3	Verkehrsanzeigen und Ausweichempfehlungen .....	330
6.4	Verhalten von Airborne Collision Avoidance System im realen Luftverkehr .....	331
6.4.1	Wirkungsweise von Traffic Alert and Collision Avoidance System II in planmäßigen Verkehrsabläufen .....	331
6.4.2	Wirkungsweise von Traffic Alert and Collision Avoidance System II in gemeldeten gefährlichen Begegnungen .....	333
6.4.3	Einfluß der Verkehrsanzeige auf die Sichtentdeckung .....	334
6.5	Beobachtung von Traffic Alert and Collision Avoidance System im Funkfeld .....	335
6.6	Zusammenfassung .....	336
6.7	Literatur .....	336
<b>7</b>	<b>Rollverkehrsüberwachung auf der Basis von Secondary Surveillance Radar Mode S .....</b>	<b>338</b>
	<i>Holger Neufeldt</i>	
7.1	Einleitung .....	338
7.2	Konzeption eines Rollfeldüberwachungssystems .....	340
7.2.1	Die Ortungskomponente .....	340
7.2.2	Datenübertragung .....	341
7.2.3	Unterstützung der Multilateration in besonderen Situationen .....	342
7.2.4	Unterstützung der Rollführung .....	342
7.2.5	Weitere Applikationen .....	343
7.3	Die Experimentalanlage .....	344
7.4	Literatur .....	346
 <b>Teilprojekt B3: Sichere Datenübertragung</b>		
<b>8</b>	<b>Differential Global Positioning System-Korrekturdatenübertragung ..</b>	<b>349</b>
	<i>Thomas Müller</i>	
8.1	Einleitung .....	349
8.2	Anforderungen an den Differential Global Positioning System-Data Link .....	349
8.3	Mehrwegeausbreitung .....	352
8.4	Datensicherheit .....	354

8.4.1	Verkettete Codes .....	354
8.4.2	Fehlererkennung .....	354
8.4.3	Fehlerkorrektur .....	355
8.5	Zusammenfassung .....	358
8.6	Literatur .....	358
<b>9</b>	<b>Satellitenkommunikation in der Luftfahrt</b> .....	<b>359</b>
	<i>Matthias Poppe</i>	
9.1	Einleitung .....	359
9.2	Das International Maritime Satellite Organisation-Satellitensystem .....	359
9.2.1	Design .....	359
9.2.2	Systemparameter .....	360
9.2.3	Betriebsarten .....	361
9.3	Aircraft Communication Addressing and Reporting System(ACARS)- Boden-Bord-Datenübertragung .....	361
9.3.1	Infrastruktur .....	361
9.3.2	Routing von Aircraft Communication Addressing and Reporting System-Nachrichten .....	362
9.3.3	Untersuchungen der Technischen Universität Braunschweig im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 212 .....	363
9.3.4	Meßergebnisse .....	364
9.4	Die neue Herausforderung: Aeronautical Telecommunication Network ..	367
9.4.1	Die Einbindung des Satellitensubnetzwerks in das Aeronautical Telecommunication Network .....	367
9.4.2	Die Open System Interconnection-Schichtenstruktur im Satellitensubnetzwerk .....	367
9.5	Literatur .....	368
<b>10</b>	<b>Das Mode S-Subnetzwerk innerhalb des Aeronautical Telecommunication Network</b> .....	<b>369</b>
	<i>Dietmar Schröder</i>	
10.1	Einleitung .....	369
10.2	Aufbau des Aeronautical Telecommunication Network .....	369
10.2.1	Struktur nach International Standardisation Organisation/Open System Interconnection .....	369
10.2.2	Subnetzwerke .....	370
10.3	Verfahren der Mode S-Datenübertragung .....	371
10.4	Einbindung des Mode S-Subnetzwerks in das Aeronautical Telecommunication Network .....	372
10.4.1	Allgemeines .....	372
10.4.2	Randbedingungen .....	372
10.4.3	Protokollumsetzung durch einen Ground Data Link-Prozessor und einen Aircraft Data Link-Prozessor .....	372
10.4.4	Prinzip eines Aircraft Data Link-Prozessors/Ground Data Link- Prozessors .....	373
10.5	Leistungsfähigkeit und Grenzen .....	374

10.5.1	Allgemeines .....	374
10.5.2	Maximaler Datendurchsatz .....	375
10.5.3	Mehrzielsituationen .....	377
10.6	Literatur .....	377

**Teil III Projektbereich FS: Flugversuch und Simulation**

**Teilprojekt FV: Flugversuch**

<b>1</b>	<b>Validierung von Modellen der Flugzeugdynamik in turbulenten Windfeldern</b> .....	<b>381</b>
	<i>Andreas Knüppel</i>	
1.1	Übersicht des Teilprojekts FV und Einleitung .....	381
1.2	Stochastische Windmodelle für Turbulenz .....	383
1.3	Die Systemantwort des Flugzeugs im turbulenten Windfeld .....	386
1.4	Übertragungsfunktionen der Längsbewegung mit instationärer Aerodynamik .....	386
1.5	Vergleich von Meßwerten mit den Ergebnissen des mathematischen Modells .....	389
1.6	Zusammenfassung und Ausblick .....	392
1.7	Literatur .....	393

**Teilprojekt SI: Simulation**

<b>2</b>	<b>Modellierung von Wirbelschleppen für die Echtzeitflugsimulation</b> ...	<b>395</b>
	<i>Ronald Blume</i>	
2.1	Übersicht des Teilprojekts SI und Einleitung .....	395
2.2	Die Wirbelströmung .....	397
2.3	Einflußgrößen .....	398
2.4	Einfache Modelle .....	399
2.5	Entstehung des Echtzeitmodells .....	400
2.6	Versuchsdurchführung .....	402
2.7	Zusammenfassung und Ausblick .....	406
2.8	Literatur .....	406
<b>3</b>	<b>Echtzeitfähige Simulationsmodelle für Flugzeuge in räumlichen Windfeldern</b> .....	<b>407</b>
	<i>Eckhard Fegel</i>	
3.1	Übersicht und Einleitung .....	407
3.2	Mehrpunktmodelle .....	409
3.2.1	Allgemeine Grundlagen .....	411
3.2.2	Instationäre Effekte .....	412
3.2.2.1	Instationäre Aerodynamik .....	412
3.2.2.2	Laufzeiteffekte .....	412
3.2.3	Das Vierpunktmodell .....	415
3.2.4	Dynamisches Verhalten infolge einer Höhenrudernanregung .....	418
3.2.5	Dynamisches Verhalten in räumlichen Windfeldern .....	419

## *Inhalt*

---

3.2.6	Mehrpunktmodell nach Truckenbrodt .....	420
3.3	Zusammenfassung .....	422
3.4	Literatur .....	422
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>		<b>425</b>
<b>Dokumentation .....</b>		<b>430</b>
1	Sprecher des Sonderforschungsbereichs 212 .....	430
2	Mitglieder des Sonderforschungsbereichs 212 .....	430
3	Beteiligte Institute .....	432
4	Teilprojekte und Dauer der Finanzierung .....	432
5	Gastwissenschaftler .....	433
6	Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses .....	435
7	Ausgewählte Veröffentlichungen, Vorträge, Arbeitspapiere, Ausstellungen, Berichte und Anträge .....	439
8	Gesamtförderungssumme .....	460
<b>Autorenverzeichnis .....</b>		<b>461</b>