

Wieland Richter

Navigation in der Zivilluftfahrt

Grundlagen und Systeme konventioneller und integrierter Flugnavigation

TUD*press*
2007

Inhaltsverzeichnis

Seite

Einleitung	1
1 Allgemeine Grundlagen der Flugnavigation	3
1.1 Begriffsbestimmung und Einteilung	3
1.2 Standflächen und Standlinien	4
1.3 Navigatorische Grundbegriffe	7
1.3.1 Begriff des Kurses und der Peilung	7
1.3.2 Berücksichtigung des Windeinflusses	9
1.3.3 Entfernungs- und Geschwindigkeitsmaß in der Navigation	10
1.3.4 Begriff der Abweitung	11
1.4 Navigatorisch wichtige Linien	12
1.4.1 Großkreis (Orthodrome) als Flugweg	12
1.4.2 Kursgleiche (Loxodrome) als Flugweg	13
1.4.3 Arten von Standlinien bei Funknavigationssystemen	15
1.5 Zeitsysteme	17
1.5.1 Sonnenzeit	17
1.5.2 Sternzeit	19
1.5.3 Atomzeit und dynamische Zeit	22
2 Geodätische und kartographische Grundlagen	25
2.1 Bestimmung der Gestalt des Erdkörpers	25
2.1.1 Exkurs - Koordinatentransformation	26
2.1.2 Geographische Begriffe	31
2.2 Kartographische Grundlagen	32
2.2.1 Aufnahme der Erdoberfläche	33
2.2.2 Geodätische Abbildung	37
2.2.3 Referenzsysteme und deren Orientierung	40
2.2.4 Projektionsarten und Kartennetze	44
2.3 Arten von Luftfahrtkarten	49
3 Funknavigation	53
3.1 Ungerichtete Funkfeuer - NDB	53
3.1.1 Bodenanlage	54
3.1.2 Bordanlage	55
3.1.3 Verwendung und Flugverfahren	59
3.1.4 Genauigkeit und Fehlereinflüsse bei NDB-Navigation	60
3.2 Peileranlagen	60
3.3 Richtsendeanlagen - VOR	61
3.3.1 Bodenanlage	62
3.3.2 Bordanlage	66
3.3.3 Verwendung und Flugverfahren	69
3.3.4 Genauigkeit und Fehlereinflüsse bei VOR-Navigation	70

3.4	Funkentfernungsmesssystem - DME	71
3.4.1	Funktionsprinzip von Bord-/Bodenanlage und Signalformat	71
3.4.2	Frequenzverteilung	74
3.4.3	Betriebsarten und Parameter	75
3.4.4	Darstellung in Luftfahrt-/Funknavigationskarten	76
3.4.5	Bordseitige Anzeige- und Bedieneinheit	77
3.4.6	Genauigkeit und Fehlerursachen	78
3.4.7	Ermittlung einer DME-Position	79
3.5	Präzisionsanflug - ILS	82
3.5.1	Bodenanlage, Komponenten und Arbeitsweise	84
3.5.2	Bordanlage	91
3.5.3	Betriebsminima und Darstellung in Anflugkarten	94
3.5.4	Zuverlässigkeit und Fehlerquellen	96
3.5.5	Instandhaltung und Kalibrierung	97
4	Trägheitsnavigation	99
4.1	Wirkungsprinzip der Trägheitsnavigation	100
4.2	Koppelnavigation	102
4.3	Koordinatensysteme und Anlagensystematik	104
4.4	Trägheitsnavigationssysteme mit stabilisierter Plattform (INS)	106
4.4.1	Notwendige Plattformkorrektursignale	108
4.4.2	Schuler-Abstimmung	111
4.4.3	Karussell-(Carouseling) Technik	112
4.5	Strapdown-Systeme (IRS)	113
4.6	Fehlerbetrachtung und Systemgenauigkeit	117
4.7	Betriebsarten, Bedien- und Anzeigeeinheit	118
5	Satellitennavigation	121
5.1	Übersicht der Satellitennavigationssysteme	121
5.2	GPS - Entwicklung und Systemkonfiguration	122
5.2.1	GPS-Kontrollsegment	124
5.2.2	GPS-Raumsegment	125
5.2.3	GPS-Nutzersegment	129
5.3	Ortungsprinzip	129
5.3.1	Messgrößen der Entfernungsmessung mittels Codes und Datenmodulation	132
5.3.2	GPS-Systemsicherungsmaßnahmen	138
5.3.3	Navigationsnachricht und Empfänger	139
5.4	Bezugssysteme	141
5.5	Fehlereinflüsse und Systemgenauigkeit	142
5.6	GPS-Ergänzungssysteme	146
5.6.1	Unterstützungssysteme für den Weitbereich	146
5.6.2	Unterstützungssysteme für den Nahbereich	148
5.6.3	Integritätsprüfung	150
5.6.4	Vorgesehene Modernisierungen und Ergänzungen bei GPS	151
5.7	GALILEO	151

6	Integrierte Navigation	153
6.1	Architektur eines integrierten Navigationssystems	153
6.2	Exkurs - Flight Management System (FMS)	157
6.3	Gewinnung der Navigationsdaten, Algorithmen in der Navigation	161
6.3.1	Verwendete Sensoren	161
6.3.2	Kalman-Filter	161
6.4	Flächennavigation	163
6.4.1	Wirkungsprinzip der Flächennavigation	163
6.4.2	RNAV-Flugverfahren	167
6.4.3	Integration RNAV/RNP	169
6.5	Darstellung einer Flugmission	170
6.6	Systematisierung der Instrumentenanflugarten	175
Anhang		177
Anhang A	In der Funktechnik genutzter Bereich des Spektrums elektromagnetischer Wellen	177
	Übersicht der genutzten Frequenzbereiche und Betriebsfrequenzen in der Luftfahrt (NAV/COM)	177
Anhang B	Exkurs - Ausbreitungseigenschaften der genutzten Funkwellen	178
	Aufbau der Erdatmosphäre	179
	Ausbreitung in Abhängigkeit von Frequenz und atmosphärischem Zustand	182
Anhang C	Fehlerbetrachtung bezugspunktabhängiger Funknavigationssysteme	185
	Analyse des Ortungsfehlers	186
	Statistischer Charakter des Ortungsfehlers	189
	Fehlernormierung	190
Abkürzungsverzeichnis		193
Literaturverzeichnis		201
Abbildungsnachweis		204