

»Der Pilot«
Flugnavigation

Band 3

**Fliegen nach Instrumenten
für ATPL • IFR • CPL • CVFR**

Günter Sjöström

HLuHB Darmstadt



14164723



**Kartographischer Verlag
Reinhard Ryborsch**

| | | |
|----------------|---|----|
| | Hinweise zur Benutzung des Buches | 7 |
| | Vorwort | 8 |
| | Einleitung | 9 |
| Δ | 1. Grundlagen | 10 |
| | 1.1. Erde und Erdkoordinatensystem | 10 |
| | 1.1.1. Die Erde | 10 |
| | 1.1.2. Erdkoordinatensystem | 11 |
| | 1.1.2.1. Meridiane und geografische Länge | 11 |
| ↓ | 1.1.2.2. Breitenkreise und geografische Breite | 12 |
| | 1.2. Kurs- und Peilbegriffe | 13 |
| | 1.2.1. Kursbegriffe | 13 |
| | 1.2.1.1. Bezugslinien | 14 |
| | 1.2.1.2. Kurslinien | 14 |
| | 1.2.1.3. Kursumrechnungen | 17 |
| Δ | 1.2.2. Peilbegriffe | 21 |
| | <i>Fragen zur Selbstkontrolle</i> | 27 |
| Δ [☆] | 2. Funknavigationsanlagen | 29 |
| | 2.1. Anzeigeteil der Bordgeräte und Anzeige | 30 |
| | 2.1.1. Der Radiokompaß (ADF) | 30 |
| | 2.1.2. Deutung der ADF-Anzeige | 31 |
| | 2.1.3. Das VOR/LLZ-Anzeigegerät (VAG) | 34 |
| ↓ | 2.1.4. Interpretation der VAG-Anzeigen | 34 |
| | 2.1.5. Der Radiomagnetic-Indicator (RMI) | 36 |
| | 2.1.6. Interpretation der RMI-Anzeige | 36 |
| | 2.2. Sende-Empfangsschema der Boden-/ Bordanlagen | 37 |
| | 2.2.1. Das ungerichtete Funkfeuer (NDB) | 37 |
| | 2.2.2. Das UKW-Drehfunkfeuer (VOR) | 37 |
| Δ [☆] | 2.2.3. Grundlagen der VOR-Navigation | 37 |
| | <i>Fragen zur Selbstkontrolle</i> | 41 |
| Δ [☆] | 3. Funknavigationsverfahren | 43 |
| | 3.1. Vorbemerkungen | 43 |
| | 3.2. Navigatorische Durchführung der Funknavigationsverfahren | 44 |
| | 3.2.1. Anfliegen einer Bodenstation ohne Wind- berücksichtigung mittels ADF (Homing) | 44 |
| ↓ | 3.2.2. Homing mittels VOR/LLZ-Anzeigegerät (VAG) | 47 |
| | 3.2.3. Homing mittels RMI | 48 |
| | 3.3. Erfliegen einer stehenden Peilung | 48 |
| | 3.3.1. Grundsätzliches | 48 |
| | 3.3.2. Erfliegen einer stehenden Peilung mit dem ADF | 49 |
| | 3.3.3. Erfliegen einer stehenden Peilung mit dem VAG | 54 |
| Δ [☆] | 3.3.4. Erfliegen einer stehenden Peilung mit dem RMI | 55 |
| | 3.4. Anschneiden von vorgegebenen An- und Abflug- kursen (Interception) | 56 |
| | 3.4.1. Versetzungswinkel (Angle of Lead) | 56 |

| | | | |
|-------------|------------|--|----|
| Bemerkungen | 3.4.2. | Anschneiden von vorgegebenen Anflugkursen | 57 |
| | 3.4.2.1. | Grundsätzliches | 57 |
| | 3.4.2.2. | Durchführung des Verfahrens nach Typ 1 | 59 |
| | 3.4.2.2.1. | Anschneiden von vorgegebenen Anflugkursen mit dem ADF (Typ 1) | 59 |
| | 3.4.2.2.2. | Anschneiden von vorgegebenen Anflugkursen mit dem VOR/LLZ-Anzeigegerät (Typ 1) | 62 |
| | 3.4.2.2.3. | Anschneiden von vorgegebenen Anflugkursen mit dem RMI (Typ 1) | 63 |
| | 3.4.2.3. | Durchführung des Verfahrens nach Typ 2 | 65 |
| | 3.4.2.3.1. | Grundsätzliches | 65 |
| | 3.4.2.3.2. | Anschneiden von vorgegebenen Anflugkursen mit dem ADF (Typ 2) | 66 |
| | 3.4.2.3.3. | Anschneiden von vorgegebenen Anflugkursen mit dem VOR/LLZ-Anzeigegerät (Typ 2) | 67 |
| | 3.4.2.3.4. | Anschneiden von vorgegebenen Anflugkursen mit dem RMI (Typ 2) | 67 |
| | 3.4.2.4. | Zusätzliche Anmerkungen zum Anschneiden von vorgegebenen Anflugkursen nach Typ 2 | 67 |
| Δ★ | 3.4.2.5. | Bezeichnung der Anflugkurse der VOR | 69 |
| | 3.4.3. | Anschneiden von vorgegebenen Abflugkursen | 70 |
| | 3.4.3.1. | Grundsätzliches | 70 |
| | 3.4.3.2. | Anschneiden mit dem ADF | 70 |
| | 3.4.3.3. | Anschneiden mit dem VAG | 72 |
| | 3.4.3.4. | Anschneiden mit dem RMI | 72 |
| | 3.4.3.5. | Bezeichnungen der Abflugkurse | 73 |
| Δ★ | 3.5. | Einhalten einer bestimmten mißweisenden Kurslinie (Tracking: Kursflug) | 73 |
| | 3.5.1. | Grundsätzliches | 73 |
| | 3.5.2. | Stationsanflug mit dem ADF (Tracking inbound) | 75 |
| ↓ | 3.5.3. | Stationsabflug mit dem ADF (Tracking outbound) | 77 |
| | 3.5.4. | Stationsanflug mit dem VAG (Tracking inbound) | 79 |
| | 3.5.5. | Stationsabflug mit dem VAG (Tracking outbound) | 81 |
| | 3.5.6. | Stationsanflug mit dem RMI (Tracking inbound) | 81 |
| Δ★ | 3.5.7. | Stationsabflug mit dem RMI (Tracking outbound) | 82 |
| | 3.5.8. | Übergang von Anflug- zu Abflugkursen vor Erreichen der Station | 82 |
| | | Fragen zur Selbstkontrolle | 86 |
| Δ★ | 3.6. | Abstandsbestimmung (Time/Distance-Check) | 88 |
| | 3.6.1. | 090° Abstandsbestimmung | 88 |
| ↓ | 3.6.1.1. | Grundsätzliches | 88 |
| | 3.6.1.2. | Time/Distance Check mit dem ADF | 88 |
| | 3.6.1.3. | Time/Distance Check mit dem VAG | 89 |
| Δ★ | 3.6.1.4. | Time/Distance Check mit dem RMI | 90 |
| ★ | 3.6.2. | 045° Abstandsbestimmung | 91 |
| | | Fragen zur Selbstkontrolle | 93 |
| | 3.7. | Warteverfahren | 94 |
| | 3.7.1. | Grundsätzliches | 94 |
| | 3.7.1.1. | Der Vollkreis | 94 |



| | | | | |
|----|------------|--|-----|-------------|
| | 3.7.2. | Die Warteschleife (Holding Pattern) | 96 | Bemerkungen |
| | 3.7.2.1. | Geometrie der Warteschleife | 96 | |
| | 3.7.2.2. | Einflugverfahren in die Warteschleife (Entry Procedures) ohne Windberücksichtigung | 99 | |
| | 3.7.2.3. | Höchstgeschwindigkeiten innerhalb der Warteschleife | 102 | |
| | 3.7.2.4 | Verlassen der Warteschleife | 103 | |
| | 3.7.2.5. | Beispiele zum Fliegen von Warteverfahren | 104 | |
| | 3.7.2.5.1. | Fliegen der Warteschleife mit dem ADF | 106 | |
| | 3.7.2.5.2. | Fliegen der Warteschleife mit dem VAG | 109 | |
| | 3.7.2.5.3. | Fliegen der Warteschleife mit dem RMI | 111 | |
| | 3.7.2.6. | Korrekturen für Windversetzungen | 113 | |
| | 3.7.2.6.1. | Berechnung des WCA im Kopf | 113 | |
| | 3.7.2.6.2. | Korrekturen der Kurse und Abflugzeiten im Holding Pattern | 118 | |
| | 3.7.2.7. | Warteschleifen an Schnittpunkten von VOR-Leitstrahlen | 129 | |
| | 3.7.2.8. | VOR/DME-Holding | 131 | |
| | | <i>Fragen zur Selbstkontrolle</i> | 134 | |
| | 4. | Technische Grundlagen der Boden- und Bordanlagen | 135 | |
| Δ★ | 4.1. | Vorbemerkung | 135 | |
| | 4.2 | Schwingungen und Wellen | 135 | |
| ↓ | 4.2.1. | Grundbegriffe der Schwingungslehre | 135 | |
| | 4.2.2. | Grundbegriffe der Wellenlehre | 137 | |
| Δ★ | 4.2.3. | Frequenzspektrum der Funktechnik | 141 | |
| | 4.3. | Arbeitsweise eines einfachen Senders | 141 | |
| | 4.4. | Arbeitsweise eines Funkempfängers | 143 | |
| | 4.4.1. | Geradeempfänger | 143 | |
| | 4.4.2. | Überlagerungsempfänger | 145 | |
| Δ★ | 4.5. | Kennzeichnungen von Funkaussendungen | 145 | |
| | 4.6. | Ausbreitung der Funkwellen | 150 | |
| | 4.6.1. | Direkte Welle, Boden- und Raumwelle | 150 | |
| | 4.6.2. | Schichten der Erdatmosphäre | 151 | |
| | 4.6.2.1. | Eigenschaften der Ionosphäre | 152 | |
| | 4.6.3. | Verhalten der Funkwellen in Abhängigkeit von ihrer Länge (Frequenz) | 153 | |
| ↓ | 4.6.3.1. | Ausbreitung von Längst- und Langwellen | 153 | |
| | 4.6.3.2. | Ausbreitung der Mittelwellen | 154 | |
| | 4.6.3.3. | Ausbreitung der Kurzwellen | 155 | |
| | 4.6.3.4. | Ausbreitung der Ultrakurzwellen und Wellen höherer Frequenz | 156 | |
| Δ★ | 4.6.3.5. | Störungen des Funkempfangs | 157 | |
| | | <i>Fragen zur Selbstkontrolle</i> | 162 | |
| Δ★ | 4.7. | Technische Grundlagen des NDB und ADF | 163 | |
| | 4.7.1. | Das ungerichtete Funkfeuer (NDB) | 163 | |
| | 4.7.2. | Der Radiokompaß | 164 | |
| | 4.7.2.1. | Funkempfang mit dem Radiokompaß | 164 | |
| | 4.7.2.2. | Bedienung des Radiokompasses | 169 | |

| | | | |
|----------------|------------|---|-----|
| Bemerkungen | 4.7.2.3. | Peilgenauigkeit und Peilfehler des Radiokompasses | 171 |
| | 4.8. | Technische Grundlagen der VOR und des VAG | 174 |
| | 4.8.1. | Das UKW-Drehfunkfeuer (VOR) | 174 |
| | 4.8.1.1. | Allgemeines | 174 |
| | 4.8.1.2. | Aufbau und Arbeitsweise der VOR-Anlagen | 175 |
| | 4.8.2. | Die VOR-Bordanlage | 182 |
| Δ [☆] | 4.8.2.1. | Komponenten der VOR-Bordanlage | 182 |
| | 4.8.2.2. | Integrierte Flugüberwachungssysteme | 185 |
| | 4.8.2.2.1. | Der Pictorial Navigation Indicator | 185 |
| | 4.8.2.2.2. | Der Flightdirector | 187 |
| | 4.9. | Das Instrumentenlandesystem (ILS) | 194 |
| | 4.9.1. | Grundsätzliches | 194 |
| | 4.9.2. | Der Landekurs (Localizer) | 195 |
| | 4.9.2.1. | Der Zwei-Frequenz-Landekursender | 197 |
| | 4.9.3. | Localizer Backcourse | 197 |
| | 4.9.4. | Gleitweg (Glidepath) | 198 |
| | 4.9.5. | ILS-Bordanlage | 199 |
| | 4.9.5.1. | Landekurs-Empfangssystem | 199 |
| | 4.9.5.2. | Gleitweg-Empfangssystem | 200 |
| | 4.9.6. | Störungen des ILS-Empfanges | 201 |
| | 4.9.7. | ILS-Markierungsfunkfeuer (Marker Beacons) | 201 |
| | 4.9.8. | Platzfunkfeuer (Locator Beacons) | 203 |
| | 4.9.9. | Mikrowellen-Landesystem | 203 |
| | | Fragen zur Selbstkontrolle | 209 |
| Δ [☆] | 5. | Luftfahrtkarten für Instrumentenflüge | 213 |
| | 5.1. | Allgemeines | 213 |
| | 5.1.1. | Das Arbeiten mit einer Karte | 213 |
| ↓ | 5.2. | Die Karten im einzelnen | 214 |
| | 5.2.1. | Die Streckenkarte-ICAO | 214 |
| | 5.2.2. | Standard Arrival Charts-Instrument (STAR) | 214 |
| Δ [☆] | 5.2.3. | Standard Departure Charts-Instrument (SID) | 215 |
| | 5.2.4. | Instrumentenanflugkarten-ICAO | 215 |
| Δ [☆] | 5.3. | Berichtigung der AIP-Karten | 222 |
| | 5.4. | Beispiel für das Erarbeiten einer Karte | 222 |
| | | Fragen zur Selbstkontrolle | 226 |
| | 6. | IFR-Anflugverfahren | 227 |
| | 6.1. | Vorbemerkung | 227 |
| | 6.2. | Allgemeines | 228 |
| | 6.2.1. | Der ILS-Anflug | 236 |
| | 6.2.2. | Der NDB-DME-Anflug | 239 |
| | 6.2.3. | Weitere Non Precision Approaches | 242 |
| | 6.2.4. | Platzrundenanflug | 242 |
| | 6.3. | Befuerungshilfen | 243 |
| | | Fragen zur Selbstkontrolle | 246 |
| | 6.4. | Wendeverfahren | 247 |
| | 6.4.1. | Vorbemerkung | 247 |



| | | | | |
|----------------|------------|---|-----|-------------|
| | 6.4.2. | Allgemeines | 247 | Bemerkungen |
| | 6.4.3. | Umkehrverfahren (Reversal Procedure) | 248 | |
| | 6.4.3.1. | Verfahrenskurven (Procedure Turn) | 248 | |
| | 6.4.3.1.1. | Die 045°/180° – Verfahrenskurve | 249 | |
| | 6.4.3.1.2. | Die 080°/260° – Verfahrenskurve | 255 | |
| | | <i>Fragen zur Selbstkontrolle</i> | 263 | |
| | 6.4.3.2. | Wendekurve (Base Turn) | 264 | |
| | | <i>Fragen zur Selbstkontrolle</i> | 269 | |
| | 6.4.4. | Rennbahnverfahren (Racetrack Procedure) | 270 | |
| | | <i>Fragen zur Selbstkontrolle</i> | 273 | |
| Δ [☆] | 7. | Radaranlagen | 275 | |
| | 7.1. | Allgemeines | 275 | |
| | 7.1.1. | Frequenzbereiche | 276 | |
| ↓ | 7.2 | Primärradar-Anlagen | 276 | |
| | 7.2.1. | Rundsichtradaranlage | 276 | |
| Δ [☆] | 7.2.1.1. | Funktionsschema eines Rundsichtradars | 277 | |
| | 7.2.1.2. | Radarsender und Entfernungsmessung | 277 | |
| | 7.2.1.3. | Die Radarantenne | 281 | |
| Δ [☆] | 7.2.1.4. | Reflektierende Objekte | 282 | |
| | 7.2.1.5. | Der Radarempfänger | 283 | |
| Δ [☆] | 7.2.1.6. | Der Anzeigeteil des Radargerätes | 283 | |
| Δ [☆] | 7.2.1.7. | Das Schirmbild | 287 | |
| | 7.2.2. | Zusatzeinrichtungen zum Rundsichtradar | 288 | |
| | 7.2.2.1. | Festziellöschung (MTI) | 288 | |
| | 7.2.2.2. | Sonstige Vorrichtungen | 294 | |
| | 7.2.3. | Kenngößen einer Radaranlage | 294 | |
| | 7.2.3.1. | Allgemeines | 294 | |
| | 7.2.3.2. | Das radiale Auflösungsvermögen | 295 | |
| | 7.2.3.3. | Das azimutale Auflösungsvermögen | 296 | |
| Δ [☆] | 7.2.4. | Unzulänglichkeiten des Rundsichtradars | 298 | |
| | 7.2.5. | Zusammenfassung der Daten des ASR | 299 | |
| | 7.2.6. | Das Streckenrundsicht-Radar (RSR) | 299 | |
| | 7.2.7. | Das Flughafen-Rollfeld-Radar | 300 | |
| | 7.2.8. | Das Präzisionsanflug-Radar | 302 | |
| | 7.2.9. | Das Bordwetterradar | 303 | |
| | 7.2.10. | Ergänzung zum Kapitel „Rundsichtradar“ | 309 | |
| | 7.2.10.1. | Der Radarsender | 310 | |
| | 7.2.10.2. | Die Antenne | 311 | |
| | 7.2.10.3. | Ausbreitung der Radarwellen | 313 | |
| | 7.2.10.4. | Der Radarempfänger | 313 | |
| | 7.2.10.5. | Der Anzeigeteil | 315 | |
| | 7.2.10.6. | Technische Details des MTI | 316 | |
| | 7.3. | Anlagen für aktive Ortung | 318 | |
| Δ [☆] | 7.3.1. | Rundsicht-Sekundärradar (SSR) | 318 | |
| | 7.3.1.1. | Allgemeines | 318 | |
| | 7.3.1.2. | SSR-Abfragen | 320 | |
| ↓ | 7.3.1.3. | SSR-Antworten | 322 | |

| | | | |
|-------------|----------------|--|------------|
| Bemerkungen | | | |
| | Δ [☆] | 7.3.1.4. Betrieb der Bodenanlage | 324 |
| | | 7.3.1.5. Betrieb der Bordanlage | 325 |
| | | 7.3.2. Störungen des SSR | 326 |
| | | 7.3.3. Entfernungsmeßgerät (DME) | 328 |
| | | 7.3.3.1. Komponenten des DME | 329 |
| | | 7.3.3.2. Arbeitsweise des DME | 329 |
| | | 7.4. Ergänzung zu „Darstellung von Radardaten“ | 335 |
| | | 7.4.1. Grundsätzliche Arbeitsweise des Systems DERD | 336 |
| | | 7.4.2. DERD-MC | 339 |
| | | 8. Radarverfahren | 341 |
| | | 8.1. Rundstrahlradar-Anflug (SRE-Approach) | 344 |
| | | 8.2. Präzisionsradar-Anflug | 347 |
| | | 8.3. Zusatzdienste | 348 |
| | | Fragen zur Selbstkontrolle | 349 |
| | | 9. Flächennavigation (Area Navigation) | 353 |
| | | 9.1. Vorbemerkung | 353 |
| | | 9.2. Flächennavigationsverfahren | 353 |
| | | 9.2.1. Hyperbelverfahren | 355 |
| | | 9.2.2. VLF-Navigationsverfahren | 356 |
| | | 9.2.3. Dopplerradar-Navigation | 356 |
| | | 9.2.4. Trägheitsnavigation | 357 |
| | | 9.3. Flächennavigation mittels VOR/DME (VORTAC) | 358 |
| | | 9.3.1. Vorbemerkung | 358 |
| | | 9.3.2. Bordanlage | 358 |
| | | 9.3.3. Theoretische Grundlagen des Verfahrens | 360 |
| | | 9.3.4. Navigationsverfahren | 362 |
| | | 9.3.4.1. Anflug eines Waypoint (WP) von einer beliebigen Position | 362 |
| | | 9.3.4.2. Flug von WP ₁ über WP ₂ . . . zu WP _n ohne wesentliche Kursänderung | 363 |
| | | 9.3.4.3. Flug von WP ₁ über WP ₂ . . . zu WP _n mit größeren Kursänderungen | 363 |
| | | 9.3.4.4. Parallelflug zu einer vorgegebenen Kurslinie | 364 |
| | | 9.3.4.5. Genauigkeitsbetrachtungen zur ρ/θ-Navigation | 365 |
| | | 9.3.4.6. Fehler durch Schräg Entfernung | 366 |
| | | Fragen zur Selbstkontrolle | 372 |
| | | 10. Navigation mit Fremdpeilung | 373 |
| | Δ [☆] | 10.1 Allgemeines | 373 |
| | Δ [☆] | 10.2 Begriffe aus dem Peilfunk | 374 |
| | | 10.3 Genauigkeit von Funkpeilungen | 375 |
| | Δ [☆] | 10.4 Peilverfahren (Δ [☆] nur VFR-Verfahren) | 376 |
| | | Fragen zur Selbstkontrolle | 382 |
| | | Anhang | 383 |
| | | Anhang 1 Ableitungen wichtiger Formeln | 385 |
| | | Anhang 2 Verzeichnis wichtiger Abkürzungen | 397 |
| | | Anhang 3 Maßeinheiten, mathematische Zeichen, Lösungen zu den <i>Fragen zur Selbstkontrolle</i> | 403 405 |
| | | Stichwortverzeichnis | 445 |
| | | Quellenverzeichnis | 462 |
| | | Zeichenerklärung der Instrumenten- und Anlagensymbole in den Abbildungen | 463 |

