



Josef Struber

Flugwetterkunde

Vom PPL zum ATPL
nach JAR-FCL-Kriterien

Weishaupt Verlag

INHALT

EINLEITUNG	13
KAPITEL I: DIE ATMOSPÄRE 050 01 00 00	14
1. DER AUFBAU DER ATMOSPÄRE 050 01 01 00	15
1.1 Thermische Struktur	15
Troposphäre	16
Tropopause	16
Stratosphäre	16
Mesosphäre	17
Ionosphäre	17
Exosphäre	17
1.2 Die Zusammensetzung der trockenen Luft	17
Hauptkomponenten	17
Beimengungen	17
Mischungsverhältnis der Gase	18
Kohlendioxid	18
Ozon	19
2. ENERGIETRANSPORTE IN DER ATMOSPÄRE 050 01 02 00	19
2.1 Strahlung	19
Kurzwellige Sonnenstrahlung	19
Langwellige Erdstrahlung	21
2.2 Erwärmung der Atmosphäre	21
Direkte Wärmeleitung	21
Turbulenz	21
Vertikaler Transport – Thermische Konvektion	22
Horizontaler Transport – Thermische Advektion	22
3. DIE LUFTTEMPERATUR 050 01 02 00	22
Definition	22
Wind Chill	22
Einheiten	23
Temperaturmessung	23
3.1 Temperaturschichtung der Troposphäre	24
Mittlerer vertikaler Temperaturgradient	24
Inversionen	24
Bodeninversionen	24
Höheninversionen	25
Beispiel einer Inversionswetterlage (Kaltluftseen)	25
3.2 Globale, regionale und lokale Einflüsse auf die Lufttemperatur	26
Land-Seeverteilung	26
Untergrund und Bewuchs	26
Einfallswinkel der Sonnenstrahlung	26
Langwellige Abstrahlung	27
Wolken und Luftfeuchtigkeit	27
Wind / Durchmischung	27
Topografische Lage	27
4. DER LUFTDRUCK 050 01 03 00	28
Definition	28
Einheiten	28
4.1 Messung des Luftdrucks	28
Quecksilberbarometer	28
Aneroid- oder Dosenbarometer	28
Piezo – Elektronische Drucksensoren	29

Korrekturen bei der Luftdruckmessung	29
4.2 Vertikaler Verlauf des Luftdrucks	30
Barometrische Höhenstufe	30
4.3 Reduktion des Luftdrucks	30
Reduktion auf Meeresniveau nach der ICAO-Standardatmosphäre	30
Reduktion auf Meeresniveau mit aktueller Temperatur und Feuchte	31
4.4 Die Standardatmosphäre 050 01 05 00	31
4.5 Altimetrie 050 01 06 00	31
Definition Q-Gruppen	31
Definition der Höhenangaben	32
Abweichungen der angezeigten von der tatsächlichen Flughöhe	33
Transition Level, Transition Altitude	34
5. DIE LUFTDICHTE 050 01 04 00	35
Die Dichtehöhe	35
Luftdichte und Flugzeugleistung	35
6. DIE LUFTFEUCHTIGKEIT 050 03 01 00	35
6.1 Die Zustandsänderung des Wassers 050 03 02 00	35
Verdunstung	36
Kondensation	36
Gefrieren	36
Sublimation	36
Latente Wärme	37
Kreislauf des Wassers	37
6.2 Maße und Einheiten der Luftfeuchte 050 03 01 00	37
Mischungsverhältnis [g/kg]	37
Der Taupunkt [° C]	38
Die relative Feuchte [%]	38
Die absolute Feuchte [g/m ³]	39
Die spezifische Feuchte [g/kg]	39
Der Dampfdruck [hPa]	39
Feuchtemessgeräte (Hygrometer)	39
6.3 Adiabatische Zustandsänderung in der Atmosphäre 050 03 03 00	40
Vertikale Bewegungsvorgänge in der Atmosphäre	40
Stabilitätskriterien der Atmosphäre	40
Inversionen, Vertikalbewegung und Wolkenbildung	41
KAPITEL II: WOLKEN UND NEBEL 050 04 00 00	42
1. WOLKEN 050 04 01 00	43
1.1 Wolkenarten	44
Quellwolken (Cumuliforme Wolken)	44
Schichtwolken (Stratiforme Wolken)	44
1.2 Wolkenklassifikation nach Untergrenzen	44
1.3 Aggregatzustand von Wolken	44
1.4 Inversionen und Wolken	45
1.5 Einfluss der Wolken auf Vereisung, Turbulenz und Flugsicht	46
Hohe Wolken (CI, CC, CS)	46
Mittelhohe Wolken (AC, AS, NS)	46
Tiefe Schichtwolken (ST, SC)	47
Tiefe Quellwolken (CU, TCU, CB)	47
1.6 Wolken als Wetterindikator	48
Starke Labilität (Gewitterboten)	48
Warmfrontvorbote	48
Föhn (Leewellen)	49
1.7 Bestimmung der Wolkenuntergrenze	49
Der Wolkenhöhenmesser	49
Der Wolkenscheinwerfer	50

2.	NEBEL UND DUNST 050 04 02 00	50
	Sichtdefinition des Nebels	50
	Sichtdefinition des Dunstes	50
2.1	Arten des Dunstes	50
	Trockener Dunst (HAZE, HZ)	50
	Feuchter Dunst (MIST, BR)	50
	„Diesige Luft“	51
	Günstige Voraussetzungen zur Nebel- und Dunstbildung	51
2.2	Nebelarten	51
	Strahlungsnebel	51
	Advektionsnebel	52
	Mischungsnebel	52
	Verdunstungsnebel	52
	Frontnebel	53
	Orographischer Nebel	53
KAPITEL III: NIEDERSCHLAG 050 05 00 00		54
1.	DIE NIEDERSCHLAGSBILDUNG 050 05 01 00	55
	Kondensation an Kondensationskeimen	55
	Koaleszenz	55
	Koagulation	55
	Kondensation an Tröpfchen	55
	Bergeron-Findeisen Effekt	56
	Vergraupelung	56
	Schneeflocken	56
	Abgesetzter Niederschlag	56
2.	NIEDERSCHLAGSARTEN 050 05 02 00	57
	Nieseln oder Sprühregen (DZ)	57
	Regen (RA)	57
	Schnee (SN)	57
	Schneegriesel (SG)	58
	Eiskörner (PL)	58
	Graupel (GS)	58
	Hagel (GR)	58
	Eisnadeln (IC)	58
	Gefrierender Niederschlag (FZDZ, FZRA)	59
3.	NIEDERSCHLAGSMESSGERÄT (OMBROMETER)	59
4.	DIE NIEDERSCHLAGSFORMEN UND IHRE SYMBOLIK	59
KAPITEL IV: GLOBALE STRÖMUNGEN 050 02 00 00, 050 07 00 00		60
1.	ALLGEMEINE ZIRKULATION 050 02 03 00	61
1.1	Die globalen atmosphärischen Strömungen im klimatologischen Mittel	61
	Die Hadley-Zelle (Thermische Zirkulation)	62
	Die Ferrel-Zelle	62
	Die polare Zelle	62
1.2	Der Druckgradient	63
1.3	Die Coriolisbeschleunigung	63
2.	GLOBALE DRUCKSYSTEME 050 07 00 00	64
2.1	Mittlere Bodendruckverteilung 050 07 01 00	64
	Mittlere Bodendruckverteilung im Januar	64
	Mittlere Bodendruckverteilung im Juli	65
2.2	Antizyklonen (Hochdruckgebiete) 050 07 02 00	65
2.3	Zyklonen (Tiefdruckgebiete) 050 07 02 00	66

KAPITEL V: LUFTMASSEN UND FRONTEN	050 06 00 00	68
1. LUFTMASSEN	050 06 01 00	69
1.1 Luftmassenklassifikation		69
Tropische Luftmassen		69
Polare Luftmassen		70
Arktische Luftmassen		70
2. DIE GLOBALEN FRONTALZONEN	050 06 02 00	70
2.1 Die Polarfront		70
2.2 Die Arktikfront		71
2.3 Die Subtropikfront		71
3. DIE POLARFRONTTHEORIE	050 06 02 00	71
3.1 Die Warmfront (WF)		72
3.2 Der Warmsektor		73
3.3 Die Kaltfront (KF)		73
Typ der Katafront		74
Typ der Anafront		74
3.4 Die Rückseite		74
3.5 Die Okklusion		74
Die Kaltfrontokklusion		75
Die Warmfrontokklusion		75
3.6 Idealisierter Wetterverlauf bei Durchzug eines Tiefdruckgebietes		76
Darstellung des Luftdruckes und der Fronten in der Bodenwetterkarte		76
4. WETTERLAGEN IN DEN MITTLEREN BREITEN	050 08 03 00	77
4.1 Strömungslagen in Europa, Großwetterlagen		77
Höhenkarte		77
Westwetterlage		78
Nordwetterlage		78
Ostwetterlage		79
Südwestwetterlage		79
Vb-Wetterlage		79
Kaltlufttropfen und Höhentief		79
Rückseitenwetter		79
KAPITEL VI: KLIMATOLOGIE	050 08 00 00	80
1. KLIMATOLOGIE	050 08 01/02/03 00	81
1.1 Einige wichtige Klimafaktoren		81
1.2 Tropisches Klima		83
Gefahren für die Fliegerei		83
Innertropische Konvergenzzone (ITC)		83
1.3 Weitere Klimazonen		84
Arktisches oder Schneeklima		84
Wüstenklima bzw. Subtropenklima		85
Mittelmeerklima		85
KAPITEL VII: DER WIND	050 02 00 00	86
1. DER WIND	050 02 01 00	87
1.1 Der geostrophische Wind		88
1.2 Der Gradientwind		88
1.3 Die Reibung		88
2. WINDSYSTEME DER GROSSRÄUMIGEN ALLGEMEINEN ZIRKULATION	050 08 02 00	90
2.1 Passat, „Trade Winds“		90
2.2 Easterly Waves		90
2.3 Rossbreiten, „Horse Latitudes“		90

2.4	Westwindband (Drift) der mittleren Breiten	90
2.5	Roaring Forties und Steaming Fifties	91
3.	JETSTREAMS (STRAHLSTRÖME) 050 02 07 00	91
3.1	Der äquatoriale Jetstream	92
3.2	Der Subtropen-Jetstream	92
3.3	Der Polarfront-Jetstream	92
4.	JAHRESZEITLICHE WINDSYSTEME 050 08 02 00	93
4.1	Die Monsune	93
5.	LOKALWINDSYSTEME (OROGRAFISCH INDUZIERT) 050 08 04 00	94
5.1	Der Föhn (Südföhn)	95
	Gefahren und Wetter bei Föhn	96
5.2	Der Chinook	97
5.3	Der Mistral	97
5.4	Die Bora	97
5.5	Scirocco, Ghibli und Chamsin	98
5.6	Etesien oder Meltemi	98
6.	THERMISCHE ZIRKULATIONSSYSTEME 050 02 06 00	98
6.1	Das Land-Seewindsystem	98
6.2	Das Berg-Talwindssystem	99
7.	TROPISCHE WIRBELSTÜRME (HURRIKANE) 050 07 04 00	99
	Hurrikan-Skala von Saffir-Simpson (1970)	100
	Tornado-Skala von Fujita-Pearson und Torro-Skala	101

KAPITEL VIII: GEFAHREN IN DER FLIEGEREI 050 09 00 00		102
1.	DIE VEREISUNG 050 09 01 00	103
1.1	Vereisungsfaktoren	103
	Auffangwirkungsgrad (Droplet Catch)	103
	Temperatur der Flugzeugoberfläche	104
	Lufttemperatur	104
	Luftfeuchte	105
	Tropfengrößenverteilung	105
	Einfluss des Aufwindes	106
	Flüssigwassergehalt (LWC = Liquid Water Content)	106
1.2	Vereisungsarten	106
	Klareis (Clear Ice)	106
	Raueis (Rime Ice)	106
	Mischeis (Mixed Ice)	107
	Reif (Frost)	107
	Raureif (Hoar Frost)	107
1.3	Intensität, Gefahren, Vermeidung	107
	Intensität	107
	Gefahren	108
	Vereisung in Fronten	109
1.4	Maßnahmen gegen die Vereisung	109
	Mechanische Enteiser	109
	Thermische Enteiser (Heißluft, heiße Flüssigkeiten, Elektrizität)	110
	Infrarot-Enteiser	110
	Chemische Enteiser	110
2.	DIE TURBULENZ 050 09 02 00	111
2.1	Die Turbulenz-Intensitäten	111
	Leichte Turbulenz	111
	Mäßige Turbulenz	112
	Schwere Turbulenz	112
	Extreme Turbulenz	112
2.2	Beispiele von Turbulenzonen	112

2.3	CAT (Clear Air Turbulence)	113
3.	WINDSCHERUNGEN (WS) 050 09 03 00	114
3.1	Vertikale Windscherungen (VWS)	114
3.2	Horizontale Windscherungen (HWS)	115
3.3	Auswirkungen der Windscherung im Flug	115
4.	DAS GEWITTER 050 09 04 00	116
4.1	Voraussetzung für die Gewitterbildung	116
4.2	Die drei Phasen einer idealisierten Gewitterentwicklung (Single Cell)	116
	Aufbaustadium (Initial State)	116
	Reifestadium (Mature State)	117
	Abbaustadium (Dissipating State)	117
	Die Superzelle (Super Cell)	117
4.3.	Gewitter und Blitzschlag	118
	Die Blitzenladung	118
4.4	Luftmassengewitter (Air Mass Thunderstorms)	119
4.5	Frontgewitter (Frontal Thunderstorms)	119
4.6.	Gefahren durch Gewitter	120
	Regen	120
	Hagel	120
	Vereisung	120
	Turbulenz	120
	Blitze	120
	Tornados	120
	Böen am Boden	120
	Sicht / Untergrenzen	120
	Macro- und Microburst	120
	Vermeidung von Gewitterflügen	121
4.7	Downburst	121
	Flugverlauf im Microburst	121
5.	TROMBEN 050 09 05 00	122
5.1	Großtromben (Tornados)	122
5.2	Kleintromben (Dust Devils)	123
6.	WEITERE GEFAHREN IN DER FLIEGEREI 050 09 06/07 00	123
6.1	Einfluss von Inversionen auf die Triebwerksleistung	123
6.2	Einfluss der Stratosphäre	123
7.	GEFAHREN IM GEBIRGE 050 09 08 00	124
7.1	Turbulenz, Vereisung	124
7.2	Fronten	124
8.	SICHTBEEINTRÄCHTIGENDE WETTERERSCHINUNGEN 050 09 09 00	125
	Dunst	125
	Rauch (FU), Staub (DU), Sand (SA)	125
	Sandsturm (SS) und Sandfegen (DRSA)	125
	Schneefegen (DRSN) und Schneetreiben (BLSN)	126
	Niederschlag und Sicht	126
	Vogelschlag	127

KAPITEL IX: WETTERSCHLÜSSEL – WETTERBEOBACHTUNG 050 10 00 00 128

1.	DAS METAR 050 10 01 00	129
	Metar oder SA (Surface Actual)	129
	Ortskennung	129
	Datum/Zeit-Gruppe	130
	Auto	130
	Bodenwind	130
	Sicht (Bodensicht)	130
	CAVOK	130

Pistensichtweite (Runway Visual Range, RVR)	131
Gegenwärtiges Wetter	131
Wolken	134
Hauptwolkenuntergrenze (Ceiling)	135
Temperatur / Taupunkt	135
Höhenmessereinstellwert (QNH)	135
Nachwettererscheinung	135
Informationen über Windscherung	136
Pistenzustandsgruppe	136
Klartextzusätze und RMK	138
Metar-Beispiele	138
2. MET REPORT 050 10 01 01	138
2.1 Bodenwind (magnetisch Nord)	138
2.2 Sicht	139
2.3 Pistensichtweite	139
2.4 Wettererscheinung	139
2.5 Wolken	139
2.6 Temperatur / Taupunkt	140
2.7 Luftdruck	140
2.8 Nachwettererscheinungen / Klartextzusätze / Gefahrenzusätze	140
2.9 Radar-Wettermeldung (RAREP)	141
2.10 Beispiele für einen MET REP	141
3. VORHERSAGEN UND WARNUNGEN 050 10 03 00	142
3.1 Trendvorhersage (Trend)	142
3.2 TAF – Terminal Aerodrome Forecast	143
Temperaturvorhersage	144
Änderungsgruppe(n)	144
Wetterkurzbeschreibungen	145
TAF-Beispiele	145
3.3 Warnungen in der Zivilluftfahrt	147
SIGMET (WS = Warning Sigmet)	147
AIRMET (WA = Warning Airmet)	148
MET REP-Warnzusätze	148
Flugplatz-Wetterwarnungen (WO)	149
SPECIAL AIREP	150
Der Pilotenbericht (PIREP)	150
Electric Storm Warning	151
4. WETTERKARTEN FÜR DIE LUFTFAHRT 050 10 02 00	152
4.1 SIG-Charts	152
Erläuterungen zur SIG-Chart	154
4.2 Höhenvorhersagen: Wind- und Temperaturkarten	155
4.3 GAFOR – General Aviation Forecast	156
4.4 GAMET	160
4.5 ALPFOR	160
KAPITEL X: SATELLITEN- UND RADARMETEOROLOGIE 050 10 01 03	162
1. POLARUMLAUFENDE SATELLITEN	163
2. GEOSTATIONÄRE SATELLITEN	164
3. SICHTBARER SPEKTRALBEREICH (VIS)	165
4. INFRAROTER SPEKTRALBEREICH (IR)	166
5. DER WASSERDAMPF-KANAL (WV)	167
Zusammenfassung Satellitenbilder	168
6. DAS WETTERRADAR 050 10 01 04	168
6.1. Interpretation von Radarbildern	169
Gebräuchliche Farbabstufung der Niederschlagsintensität (Reflexivität)	169

Reichweite des Radars	169
Einschränkungen	170
7. RADIOSONDEN 050 10 01 02	171
8. SNOWTAM 050 10 03 01	172
9. BLITZORTUNG	173
EUCLID-Blitzortungssystem	174
ANHANG	176
Weitere Lokalwindssysteme aus aller Welt	177
Isolinien	183
Wetterrekorde	184
Weitere Extremwerte	186
Windchill-Temperatur	186
Erdbeben-Skala	187
Fallgeschwindigkeit von Niederschlägen	187
Symbole	188
Decoding of Significant Present and Forecast Weather	189
CAVOK (Clouds and Visibility OK)	190
Von Militärflughäfen verwendeter NATO-Code	190
Runway State Group	190
Synoptafel	191
Abbreviations / Abkürzungen	192
Register und Abkürzungen	193