

METEOROLOGIE IN STICHWORTEN

von

Stefan Emeis



Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung
Berlin · Stuttgart · 2000

Inhalt

Vorwort	V
Verzeichnis der farbigen Tafeln I–VIII	XIII
1 Begriff Meteorologie	1
1.1 Begriff, Gegenstand und Aufgabengebiete	1
1.2 Geschichte der Meteorologie	2
2 Die Erdatmosphäre	3
2.1 Zusammensetzung	3
2.1.1 Natürliche Spurengase	6
2.2 Entstehung	6
2.3 Schichteneinteilung	7
2.4 Barometrische Höhenformel	9
2.4.1 Homogene Atmosphäre	10
2.4.2 Isotherme Atmosphäre	10
2.4.3 Nicht-isotherme Atmosphäre	10
2.4.4 Polytrope Atmosphäre	11
2.4.5 Thermodynamische Diagrammpapiere	12
3 Meteorologische Elemente	13
3.1 Temperatur	13
3.1.1 Aktuelle Temperatur	14
3.1.2 Feuchttemperatur	15
3.1.3 Potentielle Temperatur	15
3.1.4 Pseudopotentielle Temperatur	15
3.1.5 Äquivalente Temperatur	16
3.1.6 Äquivalent-potentielle Temperatur	16
3.1.7 Taupunkt	16
3.1.8 Virtuelle Temperatur	17
3.2 Luftdruck	17
3.3 Feuchte	18
3.3.1 Dampfdruck	18
3.3.2 Sättigungsdefizit	19
3.3.3 Relative Feuchte	19
3.3.4 Absolute Feuchte	19
3.3.5 Spezifische Feuchte	20
3.3.6 Mischungsverhältnis	20
3.3.7 Als Temperaturen ausgedrückte Maße	21
3.4 Wolken	21
3.5 Niederschlag	23
3.5.1 Gewitter	25
3.5.2 Tau- und Reifbildung	28

3.6	Strahlungs- und Energieflüsse	28
3.6.1	Kurzwellige Strahlung	30
3.6.2	Langwellige Strahlung	32
3.6.3	Strahlungsbilanz der Erdoberfläche	33
3.6.4	Sensibler Wärmefluß	33
3.6.5	Latenter Wärmefluß	34
3.7	Wind	34
3.7.1	Kräftegleichgewichte und Wind	36
3.7.2	Lokale Windphänomene	37
4	Energiehaushalt und Allgemeine Zirkulation	38
4.1	Formen atmosphärischer Energie	38
4.2	Natürlicher Treibhauseffekt	40
4.3	Antrieb von Wetter und Klima	43
4.4	Allgemeine Zirkulation	45
4.4.1	Temperatur	45
4.4.2	Zonaler Wind	45
4.4.3	Meridionale und vertikale Windkomponenten	49
4.4.4	Die globalen Windgürtel	51
4.4.5	Monsune	53
4.4.6	Zonale Zirkulationen	53
4.4.6.1	El Niño	53
4.4.6.2	Quasi-zweijährige Oszillation	55
5	Klima	55
5.1	Begriffe	55
5.2	Klimaklassifikationen	56
5.2.1	Genetische Klassifikationen	56
5.2.2	Deskriptiv-effektive Klassifikationen	58
5.2.3	Klassifikation nach einzelnen Klimaelementen	58
5.3	Klimaschwankungen	60
5.3.1	Extraterrestrische Ursachen für Klimaänderungen	61
5.3.1.1.	Milankovich-Parameter	61
5.3.1.2	Sonnenaktivität	61
5.3.1.3	Meteoriten-Einschläge	62
5.3.2	Terrestrische Ursachen für Klimaänderungen	62
5.3.2.1	Kontinentalverschiebung	62
5.3.2.2	Vulkanismus	62
5.3.3	Interne Rückkopplungen im Klimasystem	63
5.4	Datenquellen zur Klimageschichte	63
5.4.1	Phänologische Daten	63
5.4.2	Chemisch-Physikalische Methoden	64
5.4.3	Geologische Methoden	64
5.4.4	Geomorphologische Methoden	64
5.5	Klimageschichte	64

5.6	Lokale Klimate	66
5.6.1	Großwetterlagen	66
5.6.2	Singularitäten	67
6	Dynamik und Synoptik	68
6.1	Grundlagen der Dynamik	69
6.1.1	Massenerhaltung	69
6.1.2	Energieerhaltung	70
6.1.3	Impulserhaltung	71
6.1.4	Wahl der vertikalen Koordinate	73
6.1.5	Hilfsgrößen zur Dynamik	73
6.1.5.1	Vorticity	73
6.2	Grundlagen der Synoptik	75
6.2.1	Bodendaten	78
6.2.2	Aerologische Daten	78
6.2.3	Satellitendaten	78
6.2.4	Bodenkarte	79
6.2.4.1	Tief- und Hochdruckgebiete	80
6.2.4.2	Fronten	83
6.2.4.3	Tropische Wirbelstürme	84
6.2.5	Höhenkarten	85
6.2.6	Vertikalschnitte	86
6.2.7	Weitere Karten	87
6.3	Wettervorhersage	87
6.3.1	Numerische Vorhersagemodelle	88
6.3.2	Kurzfristvorhersage	90
6.3.3	Mittelfristvorhersage	91
6.3.4	Langfristvorhersage	91
6.3.5	Wettervorhersage in den Medien	91
6.3.6	Vorhersagen für bestimmte Nutzergruppen	92
6.4	Meso- und mikroskalige numerische Modelle	93
6.4.1	Einteilung nach räumlicher und zeitlicher Skala	93
6.4.2	Einteilung nach dem Umfang der Turbulenzparametrisierung	94
6.4.3	Einteilung nach Betrachtungssystemen	94
6.5	Klimamodelle	96
7	Grenzschicht	97
7.1	Einteilungen	97
7.2	Turbulenz	98
7.3	Laminare Unterschicht	99
7.3.1	Windprofil in der laminaren Unterschicht	100
7.4	Die bodennahe Schicht (Prandtl-Schicht)	101
7.4.1	Das logarithmische Windprofil	101
7.4.2	Thermisch nicht neutrale Schichtung der Luft	103
7.4.2.1	Maßzahlen für die thermische Schichtung der Luft	103

7.4.2.1.1	Potentielle Temperatur	103
7.4.2.1.2	Richardson-Zahlen	103
7.4.2.1.3	Monin-Obukhov-Länge	104
7.4.2.2	Windprofile bei thermisch nicht-neutraler Schichtung	104
7.5	Die Drehschicht (Ekman-Schicht)	105
7.6	Der Tagesgang der Grenzschicht	106
7.6.1	Tagesperiodische Phänomene	108
7.6.1.1	Grenzschichtstrahlstrom	108
7.7	Interne Grenzschichten	108
7.8	Städtische Grenzschicht	109
7.9	Grenzschichtwindssysteme	110
7.9.1	Flurwinde	110
7.9.2	Land- und Seewinde	110
7.9.3	Berg- und Talwinde	112
7.9.4	Hangwinde	112
8	Messmethoden	113
8.1	In situ-Verfahren	114
8.1.1	Thermometer	115
8.1.1.1	Flüssigkeitsthermometer	116
8.1.1.2	Bimetallthermometer	116
8.1.1.3	Widerstandsthermometer	116
8.1.1.4	Thermoelemente	117
8.1.1.5	Minimum- und Maximumthermometer	117
8.1.2	Feuchtemesser	118
8.1.2.1	Hygrometer	118
8.1.2.2	Psychrometer	119
8.1.2.3	Taupunktmessfühler	119
8.1.3	Barometer	120
8.1.3.1	Quecksilberbarometer	120
8.1.3.2	Aneroidbarometer	120
8.1.3.3	Hypsometer	121
8.1.4	Anemometer	121
8.1.4.1	Schalenkreuzanemometer	121
8.1.4.2	Staurohr	122
8.1.4.3	Hitzdrahtanemometer	122
8.1.4.4	Ultraschallanemometer	122
8.1.4.5	Propeller-Anemometer	123
8.1.5	Niederschlagsmesser	123
8.1.5.1	Totalisatoren	124
8.1.5.2	Regenschreiber	124
8.1.5.3	Disdrometer	124
8.1.5.4	Spezielle Schneemessgeräte	125
8.1.6	Strahlungsmesser	126
8.1.6.1	Messung der direkten Sonnenstrahlung	126

8.1.6.2	Messung der kurzwelligigen Strahlung	126
8.1.6.3	Messung der langwelligigen Strahlung	127
8.1.6.4	Messung der gesamten Strahlung	127
8.1.6.5	Messung der Abkühlungsgröße	128
8.1.7	Messung der Sonnenscheindauer	128
8.1.8	Messung der Sichtweite	128
8.1.9	Messung der Bodenfeuchte	129
8.1.10	Messung der Verdunstung	129
8.1.11	Fesselballone	130
8.1.12	Radiosonden	130
8.1.13	Messung gasförmiger Luftbestandteile	131
8.1.13.1	Physikalische Messverfahren	131
8.1.13.2	Chemische Messverfahren	132
8.1.13.3	Olfaktometrie	134
8.1.14	Messung von Aerosolen und Stäuben	134
8.1.15	Messung der Radioaktivität	135
8.2	Fernerkundungsverfahren	135
8.2.1	Verfahren, die mit Schallwellen arbeiten	136
8.2.2	Verfahren, die mit elektromagnetischen Wellen arbeiten	138
8.2.2.1	Windprofiler	138
8.2.2.2	RADAR	139
8.2.2.3	RASS	140
8.2.2.4	LIDAR	140
8.2.2.5	DOAS	142
8.2.2.6	FTIR	142
8.2.2.7	Satelliten	142
8.2.3	Messung der Höhe der Wolkenuntergrenze	144
9	Beeinflussung der Atmosphäre durch den Menschen	145
9.1	Transportwege von Spurengasen	146
9.2	Verschmutzung der bodennahen Luftschichten (Smog)	146
9.2.1	Wintersmog	147
9.2.2	Sommersmog	148
9.2.3	Benzol	150
9.3	Stratosphärischer Ozonabbau (Ozonloch)	150
9.4	Treibhauseffekt	153
9.4.1	Kohlenstoffkreislauf	156
9.4.1.1	Kohlendioxid	157
9.4.1.2	Methan	159
9.4.2	Weitere Klimagase	161
9.4.2.1	Lachgas	161
9.4.2.2	Fluorchlorkohlenwasserstoffe	162
9.4.2.3	Schwefelhexafluorid	162
9.4.2.4	Wasserdampf	162

10	Angewandte Meteorologie	163
10.1	Windenergie	163
10.2	Agrarmeteorologie	164
10.2.1	Phänologie	164
10.2.2	Bodenwassergehalt	165
10.2.3	Bestandsklima	166
10.3	Flugmeteorologie	166
10.4	Schiffsroutenbestimmung	167
10.5	Straßenzustandsvorhersage	167
10.6	Meteorologie im Bauwesen	168
10.7	Ausbreitungsrechnung	169
10.8	Biometeorologie	169
10.8.1	Thermische Behaglichkeit	170
10.8.2	Licht und Wärme	170
10.8.3	Einwirkungen von Luftbeimengungen	170
10.8.4	Wetterfühligkeit	171
11	Verbindungen zu Nachbardisziplinen	171
11.1	Physik	172
11.1.1	Hydrodynamik	172
11.1.1.1	Turbulenz	172
11.1.2	Thermodynamik	172
11.1.3	Optik und Elektrodynamik	173
11.2	Chemie	173
11.3	Biologie	173
11.3.1	Beeinflussung des Stoff- und Energieaustauschs an der Erdoberfläche	173
11.3.2	Von Pflanzen und Tieren emittierte Spurengase	173
11.4	Hydrologie	174
11.5	Ozeanographie	174
11.6	Geophysik	175
11.7	Astronomie	176
11.7.1	Erdbahnelemente	176
11.7.2	Planetologie	176
Literatur		177
Sachregister		183