



**Meteorologie  
in Stichworten**

**H I R T <sup>s</sup> S T I C H W O R T B Ü C H E R**

2

# METEOROLOGIE IN STICHWORTEN

von

Stefan Emeis

336/4100 INSTITUT  
FÜR METEOROLOGIE U. KLIMATOLOGIE  
UNIVERSITÄT HANNOVER  
HERRENHAUSER STR. 2 - 30419 HANNOVER



Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung  
Berlin · Stuttgart · 2000

# Inhalt

Vorwort . . . . .	V
Verzeichnis der farbigen Tafeln I–VIII . . . . .	XIII
<b>1 Begriff Meteorologie . . . . .</b>	<b>1</b>
1.1 Begriff, Gegenstand und Aufgabengebiete . . . . .	1
1.2 Geschichte der Meteorologie . . . . .	2
<b>2 Die Erdatmosphäre . . . . .</b>	<b>3</b>
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
<b>3 Meteorologische Elemente . . . . .</b>	<b>13</b>
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
<b>4</b>	<b>Energiehaushalt und Allgemeine Zirkulation . . . . .</b>	<b>38</b>
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
<b>5</b>	<b>Klima . . . . .</b>	<b>55</b>
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
<b>6</b>	<b>Dynamik und Synoptik . . . . .</b>	<b>68</b>
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
<b>7</b>	<b>Grenzschicht . . . . .</b>	<b>97</b>
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
<b>8</b>	<b>Messmethoden</b>	<b>113</b>
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 kurzwelligen Strahlung . . . . .	126
8.1.6.3	Messung der langwelligen 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
<b>9</b>	<b>Beeinflussung der Atmosphäre durch den Menschen . . . . .</b>	<b>145</b>
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

<b>10</b>	<b>Angewandte Meteorologie</b>	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	Wetterfähigkeit	171
<b>11</b>	<b>Verbindungen zu Nachbardisziplinen</b>	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
<b>Literatur</b>		177
<b>Sachregister</b>		183