

Brigitte Klose

# Meteorologie

Eine interdisziplinäre Einführung  
in die Physik der Atmosphäre

 Springer

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	1
1.1	Begriffsbildung und Einteilungsprinzipien .....	1
1.1.1	Zeitlicher und räumlicher Maßstab .....	2
1.2	Synoptische Meteorologie .....	2
1.3	Klimatologie .....	4
1.4	Physikalische Größen und ihre Maßeinheiten .....	6
<b>2</b>	<b>Die Erdatmosphäre: Ihre chemische Zusammensetzung, vertikale Struktur und Physik</b> .....	9
2.1	Zusammensetzung der Erdatmosphäre .....	10
2.1.1	Atmosphärischer Wasserdampf .....	13
2.1.2	Atmosphärisches Ozon .....	14
2.1.3	Atmosphärisches Kohlendioxid .....	22
2.1.4	Methan .....	25
2.1.5	Distickstoffoxid .....	25
2.2	Der Treibhauseffekt .....	26
2.2.1	Auswirkungen des Treibhauseffektes .....	28
2.2.2	Thermohaline Zirkulation .....	34
2.3	Vertikale Struktur der Erdatmosphäre .....	39
2.3.1	Einteilungsprinzip: Vertikaler Temperaturverlauf .....	39
2.3.2	Einteilungsprinzip: Solarer Strahlungsumsatz .....	43
2.3.3	Einteilungsprinzip: Ionisierungsgrad .....	44
2.3.4	Polarlichter .....	45
2.4	Die Lufthülle der Erde als thermodynamisches System .....	47
2.4.1	Gesetze für ideale Gase .....	48
	Übungen .....	49
<b>3</b>	<b>Thermodynamische Betrachtungen</b> .....	51
3.1	Wärmekapazität .....	52
3.2	Zustandsänderungen .....	53
3.2.1	Potentielle Temperatur .....	54

3.3	Vertikaler Temperaturgradient .....	56
3.3.1	Stüve-Diagramm .....	61
3.4	Änderungen der Schichtungsstabilität .....	62
	Übungen.....	64
<b>4</b>	<b>Meteorologische Größen:</b>	
	<b>Ihre Messung sowie räumliche und zeitliche Variabilität .....</b>	<b>65</b>
4.1	Der Luftdruck .....	65
4.1.1	Hydrostatische Grundgleichung .....	66
4.1.2	Barometrische Höhenformel .....	68
4.1.3	Geopotential und Höhenwetterkarte .....	70
4.1.4	Standardatmosphäre .....	71
4.1.5	Luftdruckverteilung im Meeresniveau .....	72
4.1.6	Barische Systeme der freien Atmosphäre .....	77
4.1.7	Globale Druckverteilung im Meeresniveau .....	79
4.1.8	Zeitliche Variation des Luftdrucks .....	79
	Übungen.....	85
4.2	Die Lufttemperatur.....	86
4.2.1	Der „Wärmezustand“ eines Körpers .....	86
4.2.2	Temperaturskalen .....	87
4.2.3	Temperaturmessung .....	88
4.2.4	Basismessverfahren.....	94
4.2.5	Zeitliche und räumliche Variation der Lufttemperatur .....	95
4.2.6	Wärmetransport durch Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung .....	97
4.2.7	Temperaturbestimmung in der meteorologischen Praxis .....	100
	Übungen.....	104
4.3	Die Luftfeuchtigkeit.....	104
4.3.1	Gleichgewichtsformen zwischen Wasser und Wasserdampf .....	105
4.3.2	Wasserdampfdruck bei Sättigung .....	106
4.3.3	Wasserdampf als ideales Gas .....	108
4.3.4	Feuchtigkeitsmaße.....	108
4.3.5	Feuchtemessung .....	112
	Übungen.....	113
4.4	Meteore, Hydrometeore, Wolken und Nebel .....	115
4.4.1	Wolken .....	116
4.4.2	Nebel .....	126
	Übungen.....	131
4.5	Der Wind.....	132
4.5.1	Windbestimmung an Bord .....	136
4.5.2	Charakteristika des Windfeldes .....	137
4.5.3	Änderung des Windes mit der Höhe .....	138
4.5.4	Windmessung .....	150
	Übungen.....	152

4.6	Die Strahlung .....	153
4.6.1	Solarstrahlung .....	154
4.6.2	Wärmestrahlung .....	156
4.6.3	Strahlungsgesetze .....	156
4.6.4	Solarkonstante .....	162
4.6.5	Strahlungsmodifikationen .....	163
4.6.6	Strahlungshaushalt Erde–Atmosphäre .....	173
4.6.7	Wärmeverteilung im Wasser .....	176
4.6.8	Strahlungsmessung .....	177
	Übungen .....	179
4.7	Die Sichtweite .....	180
4.7.1	Aerosole .....	181
4.7.2	Meteorologische Sichtweite .....	186
4.7.3	Experimentelle Bestimmung der Sichtweite .....	191
	Übungen .....	194
<b>5</b>	<b>Satelliten als Hilfsmittel der Analyse und Diagnose .....</b>	<b>197</b>
5.1	Satelliten und Satellitensysteme .....	198
5.1.1	Geostationäre Satelliten .....	198
5.1.2	Polumlaufende Satelliten .....	199
5.1.3	Globales System .....	199
5.2	Satellitenbildinformationen .....	199
5.2.1	Bildformate .....	200
5.2.2	Eigenschaften der Bilddaten .....	200
5.2.3	Atmosphärische Fenster und Absorptionsbereiche .....	201
5.2.4	Bilddaten .....	202
5.3	Satellitenprodukte .....	203
5.4	Analyse einer Bodenwetterkarte mittels Satellitenbilder .....	205
	Übungen .....	205
<b>6</b>	<b>Kräfte in einem rotierenden Bezugssystem .....</b>	<b>207</b>
6.1	Die Gradientkraft .....	207
6.1.1	Vertikalkomponente der Gradientkraft .....	208
6.1.2	Horizontalkomponente der Gradientkraft .....	209
6.2	Die Schwerkraft .....	210
6.3	Die Reibungskraft .....	211
6.4	Die Zentrifugal- und Corioliskraft .....	211
6.4.1	Unterschiedliche Koordinatensysteme .....	211
6.4.2	Zentrifugal- und Coriolisbeschleunigungen .....	212
6.4.3	Coriolisparameter .....	214
	Übungen .....	215

<b>7</b>	<b>Horizontale Bewegungsgleichungen</b> .....	217
7.1	Der geostrophische Wind .....	217
7.2	Der Gradientwind .....	218
7.3	Der zyklotrophische Wind .....	220
7.4	Trägheitsströmung .....	220
7.5	Der Bodenwind .....	221
	Übungen .....	222
<b>8</b>	<b>Eigenschaften von Geschwindigkeitsfeldern</b> .....	225
8.1	Konvergenz und Divergenz .....	225
8.1.1	Horizontaldivergenz als Skalarprodukt .....	227
8.1.2	Horizontaldivergenz in natürlichen Koordinaten .....	227
8.2	Krümmungs- und Scherungsvorticity .....	228
8.2.1	Krümmungs- und Scherungsvorticity in natürlichen Koordinaten .....	229
8.3	Zirkulation .....	230
8.4	Kontinuitätsgleichung .....	231
<b>9</b>	<b>Luftmassen und Wetterlagen</b> .....	233
9.1	Luftmassenklassifikation nach Scherhag .....	234
9.1.1	Charakterisierung von Luftmassen .....	236
9.1.2	Modifikation von Luftmassen .....	242
9.1.3	Wetterlagen .....	243
<b>10</b>	<b>Die Tiefdruckgebiete der gemäßigten Breiten</b> .....	245
10.1	Polarfrontzyklonen .....	245
10.1.1	Lebenszyklus einer Zyklone – Polarfronttheorie 1922 .....	247
10.1.2	Fronten .....	251
10.1.3	Frontmodelle .....	253
	Übungen .....	259
10.2	Konvektionszyklone .....	260
10.3	Leezyklonogenese .....	261
10.3.1	Theoretische Erklärung .....	263
10.3.2	Ablaufschema .....	264
10.3.3	Zyklonogenese .....	265
10.4	Polare Mesozyklone (Polar Low) .....	265
10.4.1	Empirische Untersuchungsergebnisse .....	266
10.4.2	Verlagerungsregeln .....	266
10.4.3	Polar Lows in der Norwegischen See und vor der Küste Norwegens .....	267
10.4.4	Wettercharakteristika .....	267

<b>11 Allgemeine Zirkulation der Atmosphäre</b> .....	269
11.1 Strahlungsbilanz des Systems Erde–Atmosphäre .....	269
11.1.1 Modellzirkulation nach Hadley .....	270
11.1.2 Modifikationen der Hadley-Zirkulation .....	271
11.1.3 Vertikale Zirkulationsräder .....	271
11.1.4 Meridionale Energietransporte .....	272
11.1.5 Zusammenfassung der Energiebilanzbetrachtung .....	273
11.2 Dynamische Betrachtungen .....	274
11.2.1 Subtropische Hochdruckgebiete .....	275
11.2.2 Tropische Zirkulation .....	276
11.2.3 ITCZ und ihre Besonderheiten .....	276
11.2.4 Monsuntief über Indien .....	278
11.3 Die außertropische Zirkulation .....	278
11.4 Zusammenfassung der dynamischen Betrachtung .....	278
11.5 Die Monsunzirkulation .....	279
11.5.1 Monsune im Indischen Ozean .....	279
11.6 ENSO (El Niño Southern Oscillation) .....	285
11.6.1 La Niña .....	288
11.6.2 El Niño .....	289
11.6.3 ENSO Index (MEI) .....	290
11.7 Nordatlantische Oszillation (NAO) .....	290
11.8 Fernwirkungen .....	293
11.8.1 Arktische Oszillation (AO) .....	293
11.8.2 Nordpazifische Oszillation (NPO) .....	293
11.8.3 Pazifische dekadische Oszillation (PDO) .....	294
<b>12 Konvektive Ereignisse und Systeme</b> .....	295
12.1 Hochreichende Konvektion .....	296
12.1.1 Klassifikation von Gewittern .....	297
12.2 Verlagerung von Gewittern .....	304
12.3 Gewittertypen .....	304
12.3.1 Luftmasseneigene Gewitter .....	304
12.3.2 Frontgewitter .....	304
12.3.3 Höheninduzierte Gewitter .....	305
12.4 Gewitter als luftelektrische Erscheinungen .....	305
12.4.1 Gewitterstatistik .....	307
12.4.2 Elektrische Struktur von Gewitterwolken .....	308
12.4.3 Gewitterblitze .....	311
12.5 Gewitter mit Tornadobildung .....	317
12.5.1 Meteorologische Bedingungen .....	319
12.5.2 Tornadoentwicklung .....	320
12.5.3 Tornadoskalen .....	321
12.5.4 Tornadostatistik .....	322
12.6 Kleintromben .....	323

<b>13</b>	<b>Tropische Wirbelstürme</b> .....	325
13.1	Wettersysteme in den Tropen .....	325
13.2	Empirische Befunde .....	327
13.3	Räumliche und zeitliche Verteilung .....	330
13.4	Struktur einer tropischen Zyklone .....	331
13.5	Skalen zur Intensitätsbestimmung .....	333
13.6	Wirbelstürme über dem Nordatlantik .....	334
13.7	Meteorologische Navigationshilfen .....	336
13.7.1	Berechnung der maximalen Windgeschwindigkeiten .....	337
13.7.2	Verlagerung (Orkanbahn) .....	338
13.7.3	Seegang und Dünung .....	338
13.7.4	Drucktendenzen .....	339
13.7.5	Nautische Hinweise .....	340
13.7.6	Entfernung vom Zentrum .....	340
13.7.7	Verlagerungsregeln .....	340
13.8	Graphisches Plottverfahren .....	342
13.8.1	Vorgehensweise und Wettersituation .....	343
13.8.2	Bestimmung des Ausweichkurses .....	344
13.9	Die 40°-Methode .....	345
13.10	Verfahren des National Hurricane Center (NHC) Miami .....	347
<b>14</b>	<b>Farbtafeln</b> .....	349
<b>15</b>	<b>Quellenverzeichnis</b> .....	367
15.1	Literatur .....	367
15.2	Internetquellen .....	375
<b>16</b>	<b>Anhang</b> .....	377
16.1	Schlüssel FM12 SYNOP .....	377
16.2	Symbolverzeichnis .....	382
16.3	Konstanten .....	385
	<b>Sachverzeichnis</b> .....	387