

Günter Warnecke

# Meteorologie und Umwelt

Eine Einführung

Mit 266 Abbildungen, und 58 Tabellen



Springer

# Inhalt

1	<b>Einführung</b> .....	1
n	Begriffe, Definitionen, Motivation.....	1
1.1.1	Was ist Meteorologie?.....	1
1.1.2	Was ist Wetter?.....	2
1.1.3	Was ist Klima?.....	2
1.1.4	Warum beschäftigen wir uns mit der Meteorologie?.....	5
1.2	Prinzipielle Methoden und Besonderheiten der Meteorologie.....	9
2	<b>Das System Erdatmosphäre</b> .....	13
2.1	Zusammensetzung der Atmosphäre.....	15
2.1.1	Die Gaszusammensetzung.....	17
2.1.2	Das atmosphärische Aerosol.....	22
2.2	Erdgeschichtliche Entwicklung der Atmosphäre.....	26
2.3	Bemerkungen zur Schichteneinteilung der Atmosphäre.....	28
2.4	Atmosphärisches „Scale“-Verhalten und Folgerungen.....	31
2.5	Räumliche Vernetzungen.....	36
3	<b>Sonne und Erdatmosphäre (Strahlung)</b> .....	41
3.1	Energiequellen.....	41
3.2	Grundlegende physikalische Strahlungsgesetze.....	41
3.2.1	Das Plancksche Strahlungsgesetz.....	41
3.2.2	Das Stefan-Boltzmann-Gesetz.....	43
3.2.3	Das Wiensche Verschiebungsgesetz.....	45
3.2.4	Das Kirchhoffsche Strahlungsgesetz.....	46
3.3	Sonne, Sonnenwind, Magnetfeld, Obergrenze der Atmosphäre.....	47
3.4	Strahlung der Sonne, Solarkonstante.....	49
3.5	Wechselwirkungen zwischen Sonnenstrahlung und Atmosphäre.....	53
3.5.1	Absorption.....	53
3.5.1.1	Photo-Ionisierung, Ionosphäre.....	53
3.5.1.2	Photo-Dissoziation, Photochemie, Ozonschicht.....	56
3.5.1.2.1	Das stratosphärische Ozon.....	56
3.5.1.2.2	Anthropogene Eingriffe - Das „Ozonloch“.....	60
3.5.1.2.3	Das troposphärische Ozon.....	64
3.5.1.2.4	Bedeutung des stratosphärischen Ozons.....	66
3.5.1.3	Die hauptsächlichsten atmosphärischen Absorber.....	69

3.5.1.4	Das Lambert-Bouguer-Gesetz.....	71
3.5.2	Die Streuung.....	72
3.5.2.1	Streuung an Luftmolekülen (Rayleigh-Streuung).....	72
3.5.2.2	Aerosolstreuung (Dunststreuung, Mie-Streuung).....	74
3.5.3	Die Extinktion.....	75
3.5.4	Die atmosphärische Trübung.....	75
3.5.5	Bemerkungen zur Sichtweite.....	77
3.5.6	Die Reflexion.....	77
3.6	Die Terrestrische Strahlung.....	77
3.7	Der Strahlungshaushalt der Erde.....	80
3.7.1	Die Strahlungsbilanz der Erdoberfläche.....	80
3.7.1.1	Astronomische und geographische Einflüsse auf die Verteilung der Sonnenstrahlung auf der Erde.....	81
3.7.1.2	Die diffuse Himmelsstrahlung.....	84
3.7.1.3	Die atmosphärische Gegenstrahlung.....	88
3.7.2	Die Komponenten der Strahlungsbilanz am Beispiel der Messungen in Hamburg.....	90
3.7.3	Die Strahlungsbilanz der Atmosphäre.....	93
3.7.4	Die globale Verteilung der Strahlungsbilanz.....	97
3.8	Anmerkungen zum Glashauseffekt.....	100
4	Die Wärmebilanz der Erdoberfläche.....	105
4.1	Wärmeaustausch mit tieferen Schichten.....	106
4.2	Wärmeaustausch mit der Atmosphäre.....	111
4.2.1	Wärmeleitung.....	111
4.2.2	Verdunstung.....	114
4.2.2.1	Mikrophysikalische Beschreibung der Verdunstung.....	114
4.2.2.2	Makrophysikalische Beschreibung der Verdunstung.....	115
5	Statik und Thermodynamik der Atmosphäre.....	119
5.1	Allgemeine physikalische Grundlagen.....	119
5.2	Die hydrostatische Grundgleichung.....	119
5.3	Schwerebeschleunigung und Geopotential.....	121
5.4	Die Barometrische Höhenformel.....	123
5.5	Die Temperaturänderung adiabatisch vertikal bewegter Luft.....	124
5.6	Die vertikale Stabilität der Luftschichtung.....	125
5.6.1	Die Auftriebskraft.....	125
5.6.2	Hydrostatische Stabilität/Instabilität.....	126
5.7	Potentielle Temperatur und vertikale Stabilität.....	130
5.8	Stabilitätsänderungen bei erzwungenen Vertikalbewegungen.....	132
5.9	Thermodynamik feuchter Luft.....	134
5.9.1	Zustandsgrößen des Wasserdampfes und der feuchten Luft.....	135
5.9.2	Adiabatische Zustandsänderungen feuchter Luft.....	141
5.9.3	Berechnung der Auslösung von Konvektionsbewölkung.....	148
5.9.4	Die Stabilität (Instabilität) feuchter Luft.....	150
5.9.5	Zusammenfassung der wichtigsten Feuchtigkeitsmaße und der die Feuchtigkeit berücksichtigenden Temperaturbegriffe.....	152

5.9.6	Periodische Änderungen von Dampfdruck und relativer Feuchte in Bodennähe.....	153
5.10	Das Thermodynamische Diagrammpapier nach Stüve.....	155
5.11	Temperatur und Wärmeempfinden.....	157
5.12	Kondensation und Niederschlagsprozesse.....	158
5.12.1	Tropfenbildung.....	158
5.12.2	Tropfenwachstum und Niederschlag.....	161
5.12.3	Wolken- bzw. Niederschlagsteilchen und Luftbeimengungen.....	167
5.13	Die internationale (phänomenologische) Wolkenklassifikation.....	167
6	<b>Dynamik der Atmosphäre.....</b>	<b>171</b>
6.1	Der Wind.....	171
6.2	Die Druckkraft.....	173
6.3	Horizontale Luftdruckverteilung und Topographie von Druckflächen (Isobarflächen).....	174
6.4	Thermisch angeregte Zirkulationen.....	176
6.4.1	Zirkulationen aufgrund unterschiedlicher Erwärmung.....	176
6.4.1.1	Die Seewindzirkulation.....	178
6.4.1.2	Die Landwindzirkulation.....	182
6.4.2	Baroklinität und Zirkulation.....	182
6.4.3	Zirkulationen an geneigten Flächen.....	183
6.4.3.1	Anabatische Winde.....	184
6.4.3.2	Katabatische Strömungen.....	184
6.5	Topographisch bedingte, mechanisch verursachte Zirkulationen.....	186
6.5.1	Wirkungen von Hindernissen.....	187
6.5.1.1	Wellen und Wirbel mit horizontaler Achse.....	187
6.5.1.2	„Föhn“-Wirkungen von Hindernissen.....	189
6.5.1.3	Wirbel mit vertikaler Achse.....	190
6.5.2	Auswirkungen von Großstädten.....	191
6.6	Konvektive Erscheinungen.....	191
6.6.1	Niedrige Konvektion („shallow convection“)......	192
6.6.1.1	Zellularkonvektion.....	192
6.6.1.2	Wolkenstraßen.....	192
6.6.1.3	Konvektionsbänder.....	193
6.6.2	„Durchgreifende“ Konvektion („deep convection“), Gewitter.....	193
6.6.3	Squall-lines (Instabilitätslinien).....	196
6.7	Schwerewellen.....	196
6.8	Bewegungsgesetze.....	197
6.8.1	Bewegungen auf der rotierenden Erde.....	197
6.8.2	Der geostrophische Wind.....	201
6.8.3	Der Gradientwind.....	204
6.8.4	Einfluß der Bodenreibung, antitriptischer Wind.....	206
6.8.5	Wind im Nicht-Gleichgewicht, dynamische Druckänderungen.....	211
6.9	Zusammenhang zwischen Temperatur-, Druck- und Windfeld.....	213
6.9.1	Änderung des Windes mit der Höhe.....	213
6.9.2	Veränderung der Drucksysteme mit der Höhe.....	217
6.10	Großräumige Zirkulation - Strahlströme, Wellen und Wirbel.....	233

6.10.1	Die allgemeine atmosphärische Zirkulation.....	233
6.10.2	Dynamik der extratropischen Wirbel.....	236
6.10.3	Wirbelstruktur, Fronten und Wetter.....	244
6.10.4	Darstellung in der Wetterkarte.....	257
6.10.5	Besondere Erscheinungen in den Tropen.....	258
6.10.6	Besondere Erscheinungen in der Stratosphäre.....	267
<b>7</b>	<b>Die Planetarische Grenzschicht.....</b>	<b>275</b>
7.1	Definitionen und allgemeine Beschreibung.....	275
7.2	Die atmosphärische Turbulenz.....	281
7.3	Turbulenz und vertikales Windprofil.....	284
7.3.1	Einfluß von Bodenbeschaffenheit und Stabilität.....	284
7.3.2	Windstruktur in der Prandtl-Schicht.....	289
7.3.3	Windstruktur in der Ekman-Schicht.....	291
7.3.4	Der Einfluß inhomogenen Terrains auf die Grenzschicht.....	294
7.4	Grenzschichtstruktur und Ausbreitungsvorgänge.....	298
7.4.1	Auswirkungen der Schichtungsstabilität.....	298
7.4.2	Auswirkungen interner Grenzschichten.....	301
7.4.3	Wirkungen thermischer Zirkulationen über irregulärem Terrain.....	303
7.4.4	Auswirkungen besonderer Geländeformen.....	304
<b>8</b>	<b>Anmerkungen zu speziellen Problemen.....</b>	<b>307</b>
8.1	Anmerkungen zu den Luftbahnen (Trajektorien).....	307
8.2	Anmerkungen zur Ermittlung von Emittenten-Rezeptor-Beziehung.....	313
8.3	Anmerkungen zur Simulation regionaler Schadstofftransporte in der Atmosphäre - das TADAP-Modell.....	316
8.4	Anmerkungen zum „Nuklearen Winter“.....	324
<b>9</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>327</b>
9.1	Einige durchschnittliche klimatologische Mittel- und Extremwerte meteorologischer Beobachtungen von Berlin.....	327
9.2	Literaturempfehlungen zur Begleitung und Vertiefung.....	329
9.3	Glossar.....	330
<b>10</b>	<b>Literaturnachweis.....</b>	<b>339</b>
<b>11</b>	<b>Filmliste.....</b>	<b>347</b>
<b>12</b>	<b>Sachverzeichnis.....</b>	<b>351</b>