Inhalt

1	Einführung	1
1.1	Atmosphärische Wissenschaften	1
1.2	Die Begriffe Wetter, Witterung und Klima.....	4
1.3	Maßstäbe atmosphärischer Erscheinungen.....	5
1.4	Extremwerte meteorologischer Größen.....	7
1.5	Bewegungsformen und Figur des Planeten Erde.....	7
2	Aufbau und Zusammensetzung der Atmosphäre	15
2.1	Die Hauptschichten der Atmosphäre.....	15
2.1.1	Die Troposphäre	15
2.1.2	Die Stratosphäre.....	17
2.1.3	Die mittlere und obere Atmosphäre.....	18
2.1.4	Die Standardatmosphäre.....	19
2.2	Der Luftdruck	19
2.2.1	Statischer und dynamischer Druck.....	19
2.2.2	Das statische Gleichgewicht der Atmosphäre	20
2.2.3	Die Bestimmung des Luftdruckes im Meeresniveau	23
2.2.4	Die Höhe isobarer Flächen. Topografien.....	24
2.3	Die Zusammensetzung der Atmosphäre	25
2.3.1	Zur Entstehung der Atmosphäre der Erde.....	25
2.3.2	Die Hauptgase der Homosphäre	26
2.3.3	Die Spurengase und ihre Bedeutung	27
2.3.3.1	Kohlendioxid	28
2.3.3.2	Stratosphärisches Ozon	31
2.3.3.3	Troposphärisches Ozon	33
2.3.3.4	Weitere Spurengase	33
2.3.3.5	Aerosol.....	35
3	Strahlungs- und Wärmehaushalt	39
3.1	Die Solarstrahlung	39
3.1.1	Elektromagnetische Wellenstrahlung	39
3.1.2	Die Partikelstrahlung.....	40
3.1.3	Schwankungen der Solarstrahlung.....	41
3.2	Strahlungsgesetze	43
3.3	Die Veränderungen der Sonnenstrahlung in der Atmosphäre	45

3.3.1	Absorption	45
3.3.2	Streuung.....	47
3.3.3	Reflexion der Strahlung	48
3.3.4	Zur Bestimmung der Strahlungsextinktion in der Atmosphäre	50
3.3.5	Optische Erscheinungen in der Atmosphäre	51
3.4	Die kurzwellige Strahlung an der Erdoberfläche.....	53
3.5	Die terrestrische Strahlung	54
3.6	Strahlungsbilanzen.....	56
3.7	Die Wärmebilanz der Atmosphäre und der Erdoberfläche.....	57
3.8	Tages- und Jahresgänge der Wärmehaushaltsgrößen am Erdboden.....	61
3.9	Zur globalen Verteilung der Wärmehaushaltsgrößen	63
3.10	Lufttemperaturänderungen	64
3.11	Globale Temperaturverteilung	68
4	Grundprozesse der Thermodynamik der Atmosphäre	71
4.1	Thermodynamische Gesetze	71
4.1.1	Zustandsgleichung für Gase	71
4.1.2	Thermodynamische Hauptsätze	72
4.2	Vertikale Luftbewegung und Schichtung der Atmosphäre	73
4.2.1	Thermik und Konvektion	73
4.2.2	Trockenadiabatische Vorgänge	74
4.2.3	Feuchtadiabatische Vorgänge	76
4.2.4	Gleichgewichtszustände der Atmosphäre	77
4.2.4.1	Trockenlabile Schichtung	77
4.2.4.2	Trockenindifferente Schichtung	78
4.2.4.3	Trockenstabile Schichtung	78
4.2.4.4	Feuchtlabile Schichtung.....	78
4.2.4.5	Feuchtindifferente Schichtung	78
4.2.4.6	Feuchtstabile Schichtung	78
4.2.5	Thermodynamische Diagrammpapiere und Rechentemperaturen	79
4.2.6	Isothermie und Temperaturinversionen	81
4.2.6.1	Strahlungsinversionen	82
4.2.6.2	Absinkinversionen	82
4.2.6.3	Aufgleitinversionen.....	83
4.2.6.4	Turbulenzinversionen.....	83
4.2.6.5	Einfluss der Inversionen auf die Ausbreitung von Luftbeimengungen (Rauchfahrentypen).....	83

4.2.6.6	Smog	84
5	Wasser in der Atmosphäre	87
5.1	Die Atmosphäre im hydrologischen Zyklus	87
5.2	Verdunstung und Luftfeuchte	88
5.3	Der Sättigungsdampfdruck	90
5.4	Makrophysikalische Wolken- und Nebelentstehung.....	91
5.4.1	Erreichen des Sättigungsdampfdruckes.....	91
5.4.2	Nebelformen	92
5.4.3	Wolkenformen.....	93
5.4.4	Wolkenklassifikation	94
5.5	Mikrophysikalische Basisprozesse für die Wolken- und Nebelbildung.....	95
5.5.1	Aerosolphysikalische Aspekte	95
5.5.2	Kondensations- und Gefrierkerne.....	98
5.5.3	Nukleation, homogene und heterogene Kondensation bzw. Eisbildung.....	99
5.5.4	Diffusionswachstum.....	100
5.5.5	Mikrophysikalische Grundcharakteristiken von Wolken und Wolkenpartikeln	100
5.6	Niederschlagsbildende Prozesse	102
5.6.1	Terminalgeschwindigkeit von Wolkenpartikeln.....	103
5.6.2	Koaleszenz und Akkreszenzwachstum	103
5.6.3	Zusammenfassung von Niederschlagstheorien	104
5.7	Gewitter	106
5.7.1	Gewitterarten	106
5.7.2	Entstehung von Raumladungen	108
5.7.3	Blitz und Donner	108
5.7.4	Weltgewitteraktivität.....	110
5.8	Luftfeuchte- und Niederschlagsverteilung auf der Erde	111
5.8.1	Luftfeuchteverteilung	111
5.8.2	Niederschlagsverteilung	112
6	Grundlagen der Dynamik der Luftbewegungen	119
6.1	Zur Kinematik der Luftbewegungen.....	119
6.1.1	Darstellung und Eigenschaften horizontaler Luftbewegungen	119
6.1.2	Die Kontinuitätsgleichung	122
6.2	Der Wind.....	123
6.3	Kräfte bei reibungsfreier horizontaler Bewegung	125
6.3.1	Luftdruckgradientkraft.....	125

6.3.2	Die Corioliskraft als ablenkende Kraft der Erdrotation	126
6.3.3	Der geostrophische Wind.....	128
6.3.4	Die Zentrifugalkraft und der Gradientwind	130
6.4	Horizontale Luftbewegungen unter dem Einfluss der Reibung	131
6.4.1	Definition der Bodenrauigkeit	131
6.4.2	Die Reibungskraft und der geotriptide Wind	132
6.5	Zur vollständigen Bewegungsgleichung	133
6.6	Atmosphärische Turbulenz	134
6.6.1	Definition, Entstehung und Charakteristiken der Turbulenz	134
6.6.2	Bedeutung der atmosphärischen Turbulenz.....	136
6.7	Vertikale Windstruktur.....	137
6.7.1	Vertikale Änderung des Windes in der Reibungsschicht.....	138
6.7.1.1	Allgemeines.....	138
6.7.1.2	Logarithmisches Windgesetz	138
6.7.1.3	Ekman-Spirale.....	139
6.7.2	Vertikale Änderung des geostrophischen Windes. Thermischer Wind	140
6.7.3	Integrale Betrachtung der vertikalen Windstruktur in der freien Atmosphäre.....	141
6.8	Strahlströme	142
7	Allgemeine atmosphärische Zirkulation	145
7.1.	Definition und Funktion	145
7.2	Entstehung, vertikale Temperaturverteilung und Energetik	145
7.3	Grundstruktur der allgemeinen Zirkulation.....	151
7.3.1	Der planetare Wirbel	151
7.3.2	Struktur der Meridionalzirkulation	155
7.4	Zirkulationsglieder an der Erdoberfläche	156
7.5	Besondere Zirkulationsphänomene in den Tropen.....	160
7.6	Praktisch anwendbare Zirkulationsmaße.....	161
8	Meteorologische Größen. Ihre Erfassung und Grundeigenschaften	169
8.1	Meteorologische Größen am Erdboden.....	169
8.1.1	Begriffe und Festlegungen.....	169
8.1.2	Herkömmlich routinemäßig angewendete Mess- und Beobachtungsmethoden	173
8.1.3	Moderne Netzgestaltung – das Konzept Messnetz 2000 des DWD.....	184

8.1.4	Datenquellen.....	185
8.1.5	Statistische Grundbearbeitung der Datenreihen	186
8.1.6	Zur Homogenität meteorologischer Datenreihen	187
8.1.7	Repräsentativität meteorologischer Stationen.....	188
8.2	Aerologische Größen.....	188
8.2.1	Allgemeines	188
8.2.2	Geräte.....	189
8.3	Fernerkundung atmosphärischer Parameter.....	191
8.3.1	Allgemeine Bemerkungen	191
8.3.2	Nutzung von Radiowellen	192
8.3.3	Mikrowellen.....	193
8.3.4	Radar	193
8.3.5	Messungen im optischen Spektralbereich.....	196
8.3.6	Lidar.....	197
8.3.7	Nutzung von Schallwellen	199
8.4	Spezielle Messverfahren	200
8.4.1	Meteorologische Geländemessungen	200
8.4.2	Profil- und Turbulenzmessungen.....	202
9	Wetteranalyse und -prognose.....	207
9.1	Zum Begriff der synoptischen Meteorologie.....	207
9.2	Luftmassen	207
9.2.1	Definition der Luftmassen	207
9.2.2	Hauptluftmassen und ihre Entstehungsgebiete.....	207
9.2.3	Luftmassentransformation	209
9.2.4	Frontalzonen als Grenzgebiete zwischen Luftmassen.....	210
9.2.5	Die Polarfront.....	211
9.3	Zyklonen und Antizyklonen.....	211
9.3.1	Zyklonen	212
9.3.1.1	Historische Aspekte.....	212
9.3.1.2	Lebenszyklus der Idealzyklonen.....	213
9.3.1.3	Fronten der Zyklonen.....	215
9.3.1.4	Wetterablauf beim Durchzug einer Idealzyklone.....	218
9.3.1.5	Tropische Wirbelstürme.....	220
9.3.1.6	Kleinräumige Wirbelstürme	222
9.3.2	Antizyklonen	224
9.3.2.1	Warme Hochs	225
9.3.2.2	Blockierende Hochs.....	225
9.3.2.3	Kalte Hochs und Zwischenhochs	226
9.4	Wetterprognose	227
9.4.1	Synoptische Beobachtung und Wetterkarte.....	228
9.4.2	Grundzüge der synoptischen Wetteranalyse	229
9.4.3	Herkömmliche Verfahren der Wettervorhersage.....	230
9.4.4	Numerische Wettervorhersage.....	231

9.4.5	Wege zur Langfristprognose	233
9.4.6	Zur Prognosegüte	234
10	Das Klimasystem der Erde	237
10.1	Zum Klimabegriff	237
10.2	Klimafaktoren und -elemente	238
10.3	Das Klimasystem und seine Haupteigenschaften	238
10.4	Antriebe des Klimasystems.....	242
10.5	Teilsysteme	247
10.5.1	Atmosphäre	247
10.5.2	Ozean.....	250
10.5.3	Landoberflächen und Biosphäre	256
10.5.4	Kryosphäre	259
10.6	Fernwirkungen im Klimasystem	263
10.7	Klimazonen und Klimatypen	266
10.8	Hauptrichtungen der modernen Klimatologie	272
11	Klimaschwankungen und ihre Wirkungen	275
11.1	Definition und Ursachen von Klimaschwankungen.....	275
11.2	Warmzeiten und Eiszeitalter – Grundzustände des Klimasystems	278
11.3	Zur jüngsten Klimageschichte	281
11.4	Klimaschwankungen des 19. und 20. Jahrhunderts	285
11.5	Zur künftigen Klimaentwicklung	294
11.5.1	Klimamodelle	294
11.5.2	Szenarien der zukünftigen Entwicklung der Treibhausgase und Aerosole	299
11.5.3	Das anthropogene Klima	299
11.6	Auswirkungen von Klimaschwankungen	303
11.6.1	Auswirkungen auf das Klimasystem	304
11.6.2	Klimaempfindliche Bereiche.....	309
11.7	Das Klimaproblem der Gegenwart.....	311
12	Mikro- und Mesoklima	315
12.1	Charakteristika des Mikro- und Mesoklimas	315
12.2	Geschichtliche Aspekte der Mikro- und Mesoklimatologie	317
12.3	Bodennahes Klima	318
12.3.1	Wärmeumsatz des unbewachsenen Untergrundes	320
12.3.2	Luftfeuchtigkeit und Wind	326
12.3.3	Mikroklima des vegetationsbedeckten Bodens.....	328

12.3.3.1	Niedrige Pflanzendecken.....	333
12.3.3.2	Waldbestände.....	337
12.4	Einfluss der Geländegestalt auf das Mikro- und Mesoklima.....	347
12.4.1	Besonderheiten des Energieumsatzes.....	347
12.4.2	Kaltluftentstehung und -dynamik.....	350
12.5	Niederschläge in reliefiertem Gelände.....	356
12.6	Mesoräumige Windsysteme.....	356
12.6.1	Land- und Seewind.....	357
12.6.2	Berg- und Talwind.....	359
12.6.3	Gebirgsüberströmungen.....	361
12.6.3.1	Föhn.....	362
12.6.3.2	Bora und Chinook.....	365
12.7	Anwendungsorientierte Mikro- und Mesoklimatologie.....	366
13	Stadtklima.....	371
13.1	Begriffsdefinition und geschichtlicher Aspekt.....	371
13.2	Genese des Stadtklimas.....	372
13.3	Nachweis des Stadtklimas.....	373
13.4	Struktur und Beschaffenheit städtischer Oberflächen.....	374
13.4.1	Thermische und hydrologische Eigenschaften städtischer Oberflächen.....	376
13.4.1.1	Thermische Eigenschaften städtischer Oberflächen.....	376
13.4.1.2	Hydrologische Eigenschaften städtischer Oberflächen.....	379
13.5	Aufbau der Stadtatmosphäre.....	379
13.6	Städtischer Strahlungs- und Wärmehaushalt.....	382
13.6.1	Städtische Strahlungsbilanz.....	383
13.6.2	Städtische Wärmebilanz.....	385
13.6.2.1	Anthropogene Wärmeproduktion.....	387
13.7	Städtische Überwärmung.....	389
13.7.1	Charakteristiken der städtischen Überwärmung.....	389
13.7.1.1	Räumliches Erscheinungsbild.....	389
13.7.1.2	Zeitliches Erscheinungsbild.....	392
13.7.2	Abhängigkeiten der städtischen Überwärmung.....	394
13.7.3	Auswirkungen der städtischen Überwärmung.....	399
13.8	Stadthydrologische Aspekte.....	400
13.9	Luftfeuchtigkeit, Nebel und Niederschlag.....	403
13.9.1	Luftfeuchtigkeit.....	403
13.9.2	Nebel.....	405
13.9.3	Niederschlag.....	406
13.10	Städtisches Windfeld.....	409
13.10.1	Grundeigenschaften des Windfeldes.....	409
13.10.2	Städtische Lokalwindzirkulation.....	412
13.11	Stadttypische Luftverunreinigungen.....	414

13.11.1	Emission und Entstehung	414
13.11.2	Immissionssituation	417
13.11.2.1	Internationale Fallbeispiele	417
13.11.2.2	Nationale Fallbeispiele	419
13.12	Gezielte Beeinflussung des Stadtklimas.....	422
13.12.1	Wirkungen innerstädtischer Grün- und Wasserflächen	423
13.12.2	Klimaangepasstes Bauen	429
13.12.3	Stadtklima und globale Klimaentwicklung.....	430
14	Modellierung für den Meso- und Mikroklimabereich	433
14.1	Anforderungen der Praxis	433
14.2	Statistische Voruntersuchungen	434
14.3	Modelle für das Mesoklima (MEKM)	436
14.3.1	Allgemeine Grundlagen für dreidimensionale MEKM	436
14.3.2	Vereinfachte Modelle	441
14.3.3	Ausgewählte Modelle	442
14.4	Modelle für das Mikroklima (MIKM)	444
14.4.1	Allgemeine Grundlagen für MIKM.....	444
14.4.2	Charakterisierung ausgewählter Modelle	446
14.5	Ausbreitungsmodelle.....	449
14.5.1	Einführung	449
14.5.2	Ausbreitungsmodell vom Gauß-Typ	450
14.5.3	Eulersche Ausbreitungsmodelle	451
14.5.4	Lagrangesche Ausbreitungsmodelle.....	452
14.5.5	Modellwahl	453
14.6	Weitere Modelle	453
14.7	Abschließende Hinweise.....	456
15	Biometeorologie	459
15.1	Einleitung	459
15.2	Agrarmeteorologie.....	460
15.2.1	Aufgaben der Agrarmeteorologie	460
15.2.2	Aspekte der Energiebilanz eines Pflanzenbestandes.....	460
15.2.3	Der Bodenwärmehaushalt	463
15.2.4	Der Bodenwasserhaushalt.....	465
15.2.4.1	Die Verdunstung von Pflanzenbeständen	469
15.2.4.2	Die potenzielle Evapotranspiration	470
15.2.4.3	Die tatsächliche Evapotranspiration.....	473
15.2.5	Das Bestandsklima	475
15.2.6	Agrarmeteorologische Beratung	478
15.2.7	Klimawandel und Agrarmeteorologie	479

15.3	Pflanzenphänologie	481
15.3.1	Internationale Phänologische Beobachtungsnetze	483
15.3.2	Pflanzenentwicklung und Witterung	484
15.3.3	Verwendung phänologischer Daten	488
15.3.4	Klimawandel und Phänologie	490
15.4	Human-Biometeorologie	491
15.4.1	Der thermische Wirkungskomplex	492
15.4.1.1	Die Wärmebilanz des Menschen	492
15.4.1.2	Thermische Behaglichkeit	493
15.4.1.3	Thermische Bewertungsmethoden	494
15.4.2	Der fotoaktinische Wirkungskomplex	500
15.4.2.1	UV-Strahlung und Erythembildung	500
15.4.3	Der luftchemische Wirkungskomplex	502
15.4.3.1	Atmosphärische Spurengase	502
15.4.3.2	Aerosolpartikeln	505
15.4.3.3	Luftbelastungs- und Luftqualitätsindizes	506
15.4.4	Der neurotrope Wirkungskomplex	509
15.4.5	Klimawandel und Gesundheit	511
Literaturverzeichnis		515
Symbolverzeichnis		535
Sachregister		543