

Peter Hupfer, Wilhelm Kuttler (Hrsg.)

Witterung und Klima

Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie

Begründet von Ernst Heyer

12., überarbeitete Auflage

Herausgegeben von Peter Hupfer und Wilhelm Kuttler

Neu bearbeitet von Frank-Michael Chmielewski, Peter Hupfer,
Wilhelm Kuttler und Hermann Pethe



Teubner

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 Jahrgänge 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 desDWD.....	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.....	216
9.3.1.4	Wetterablauf beim Durchzug einer Idealzyklone.....	219
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.....	226
• 9.3.2.3	Kalte Hochs und Zwischenhochs.....	226
9.4	Wetterprognose.....	228
9.4.1	Synoptische Beobachtung und Wetterkarte.....	228
9.4.2	Grundzüge der synoptischen Wetteranalyse.....	230
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	Bodennahe 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