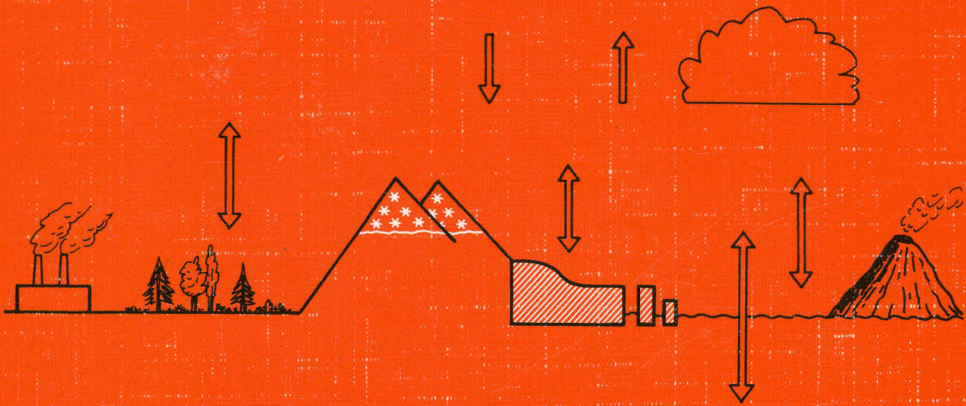


P. Hupfer/W. Kuttler (Hrsg.)

Witterung und Klima

Begründet von E. Heyer

10. Auflage



B. G. Teubner Stuttgart · Leipzig

Witterung und Klima

Eine Einführung
in die Meteorologie und Klimatologie

Begründet von Ernst Heyer

10., völlig neubearbeitete Auflage

Herausgegeben von
Peter Hupfer und Wilhelm Kuttler

Neu bearbeitet von
F.-M. Chmielewski, P. Hupfer, W. Kuttler und H. Pethe

326/4000

INSTITUT
FÜR METEOROLOGIE U. KLIMATOLOGIE
UNIVERSITÄT HANNOVER
HERRENHÄUSER STR. 2 - 30419 HANNOVER



B. G. Teubner Stuttgart · Leipzig 1998

Inhalt

nowotv

1	Einführung	13
1.1	Atmosphärische Wissenschaften	13
1.2	Die Begriffe Wetter, Witterung und Klima	16
1.3	Maßstäbe atmosphärischer Erscheinungen	17
1.4	Extremwerte meteorologischer Größen	19
1.5	Bewegungsformen und Figur des Planeten Erde	19
2	Aufbau und Zusammensetzung der Atmosphäre	25
2.1	Die Hauptschichten der Atmosphäre	25
2.1.1	Die Troposphäre	26
2.1.2	Die Stratosphäre	27
2.1.3	Die mittlere und obere Atmosphäre	28
2.1.4	Die Standardatmosphäre	29
2.2	Der Luftdruck	29
2.2.1	Statischer und dynamischer Druck	29
2.2.2	Das statische Gleichgewicht der Atmosphäre. Grundaufgaben der Statik	30
2.2.3	Die Bestimmung des Luftdruckes im Meeresniveau	33
2.2.4	Die Höhe isobarer Flächen. Topographien	34
2.3	Die Zusammensetzung der Atmosphäre	35
2.3.1	Zur Entstehung der Atmosphäre der Erde	35
2.3.2	Die Hauptgase der Homosphäre	36
2.3.3	Die Spurengase und ihre Bedeutung	37
2.3.3.1	Kohlendioxid	37
2.3.3.2	Stratosphärisches Ozon	38
2.3.3.3	Troposphärisches Ozon	40
2.3.3.4	Weitere Spurengase	41
2.3.3.5	Aerosol	42
3	Strahlungs- und Wärmehaushalt	45
3.1	Die Solarstrahlung	45
3.1.1	Elektromagnetische Wellenstrahlung	45
3.1.2	Die Partikelstrahlung	46
3.1.3	Schwankungen der Solarstrahlung	47
3.2	Strahlungsgesetze	49
3.3	Die Veränderungen der Sonnenstrahlung in der Atmosphäre	51
3.3.1	Absorption	51
3.3.2	Streuung	52
3.3.3	Reflexion der Strahlung	54
3.3.4	Zur Bestimmung der Strahlungsextinktion in der Atmosphäre	55

3.3.5	Optische Erscheinungen in der Atmosphäre	56
3.4	Die kurzwellige Strahlung an der Erdoberfläche	59
3.5	Die terrestrische Strahlung	60
3.6	Strahlungsbilanzen	62
3.7	Die Wärmebilanz der Atmosphäre und der Erdoberfläche .	63
3.8	Tages- und Jahresgänge der Wärmehaushaltsgrößen am Erdboden	65
3.9	Zur globalen Verteilung der Wärmehaushaltsgrößen	67
3.10	Lufttemperaturänderungen	70
3.11	Globale Temperaturverteilung	73
4	Grundprozesse der Thermodynamik der Atmosphäre ..	75
4.1	Thermodynamische Gesetze	75
4.1.1	Zustandsgleichung für Gase	75
4.1.2	Thermodynamische Hauptsätze	76
4.2	Vertikale Luftbewegung und Schichtung der Atmosphäre .	77
4.2.1	Thermik und Konvektion	77
4.2.2	Trockenadiabatische Vorgänge	78
4.2.3	Feuchtadiabatische Vorgänge	79
4.2.4	Gleichgewichtszustände der Atmosphäre	80
4.2.4.1	Trockenlabile Schichtung	81
4.2.4.2	Trockenindifferente Schichtung	81
4.2.4.3	Trockenstabile Schichtung	82
4.2.4.4	Feuchtlabile Schichtung	82
4.2.4.5	Feuchtindifferente Schichtung	82
4.2.4.6	Feuchtstabile Schichtung	82
4.2.5	Thermodynamische Diagrammpapiere und Rechentempe- raturen	83
4.2.6	Isothermie und Temperaturinversionen	85
4.2.6.1	Strahlungsinversionen	85
4.2.6.2	Absinkinversionen	86
4.2.6.3	Aufgleitinversionen	86
4.2.6.4	Turbulenzinversionen	86
4.2.6.5	Einfluß der Inversionen auf die Ausbreitung von Luftbei- mengungen (Rauchfahrentypen)	87
4.2.6.6	Smog	87
5	Wasser in der Atmosphäre	90
5.1	Die Atmosphäre im hydrologischen Zyklus	90
5.2	Verdunstung und Luftfeuchte	91
5.3	Der Sättigungsdampfdruck	93
5.4	Makrophysikalische Wolken- und Nebelentstehung	94
5.4.1	Erreichen des Sättigungsdampfdruckes	94
5.4.2	Nebelformen	94
5.4.3	Wolkenformen	95
5.4.4	Wolkenklassifikation	96

5.5	Mikrophysikalische Basisprozesse für die Wolken- und Nebelbildung	100
5.5.1	Aerosolphysikalische Aspekte	100
5.5.2	Kondensations- und Gefrierkerne	102
5.5.3	Nukleation, homogene und heterogene Kondensation bzw. Eisbildung.....	103
5.5.4	Diffusionswachstum.....	103
5.5.5	Mikrophysikalische Grundcharakteristiken von Wolken und Wolkenpartikeln.....	105
5.6	Niederschlagsbildende Prozesse.....	106
5.6.1	Terminalgeschwindigkeit von Wolkenpartikeln.....	106
5.6.2	Koaleszenz- und Akkreszenzwachstum.....	107
5.6.3	Zusammenfassung von Niederschlagstheorien.....	108
5.7	Gewitter	110
5.7.1	Gewitterarten.....	110
5.7.2	Entstehung von Raumladungen.....	111
5.7.3	Blitz und Donner.....	112
5.7.4	Weltgewitteraktivität.....	114
5.8	Luftfeuchte- und Niederschlagsverteilung auf der Erde ...	114
5.8.1	Die Luftfeuchteverteilung.....	114
5.8.2	Die Niederschlagsverteilung.....	116
6	Grundlagen der Dynamik der Luftbewegungen.....	121
6.1	Zur Kinematik der Luftbewegungen	121
6.1.1	Darstellung und Eigenschaften horizontaler Luftbewegungen	121
6.1.2	Die Kontinuitätsgleichung	124
6.2	Der Wind	125
6.3	Kräfte bei reibungsfreier horizontaler Bewegung.....	125
6.3.1	Luftdruckgradientkraft	125
6.3.2	Die Corioliskraft als ablenkende Kraft der Erdrotation.....	127
6.3.3	Der geostrophische Wind	130
6.3.4	Die Zentrifugalkraft und der Gradientwind.....	131
6.4	Horizontale Luftbewegungen unter dem Einfluß der Reibung	132
6.4.1	Definition der Bodenrauigkeit.....	133
6.4.2	Die Reibungskraft und der geotriptische Wind	134
6.5	Zur vollständigen Bewegungsgleichung.....	135
6.6	Atmosphärische Turbulenz	135
6.6.1	Definition, Entstehung und Charakteristiken der Turbulenz	135
6.6.2	Bedeutung der atmosphärischen Turbulenz	137
6.7	Vertikale Windstruktur	139
6.7.1	Vertikale Änderung des Windes in der Reibungsschicht...	139
6.7.1.1	Allgemeines	139
6.7.1.2	Logarithmisches Windgesetz	139
6.7.1.3	Ekman-Spirale.....	140

6.7.2	Vertikale Änderung des geostrophischen Windes. Thermischer Wind.....	141
6.7.3	Integrale Betrachtung der vertikalen Windstruktur in der freien Atmosphäre.....	142
6.8	Strahlströme	143
7	Allgemeine atmosphärische Zirkulation.....	144
7.1	Definition und Funktion	144
7.2	Entstehung. Vertikale Temperaturverteilung und Energetik	144
7.3	Grundstruktur der allgemeinen Zirkulation	150
7.3.1	Der planetare Wirbel.....	150
7.3.2	Struktur der Meridionalzirkulation	154
7.4	Zirkulationsglieder an der Erdoberfläche	155
7.5	Besondere Zirkulationsphänomene in den Tropen	158
7.6	Praktisch anwendbare Zirkulationsmaße	160
8	Meteorologische Größen. Ihre Erfassung und Grundeigenschaften	165
8.1	Meteorologische Größen am Erdboden	165
8.1.1	Begriffe und Festlegungen	165
8.1.2	Meß- und Beobachtungsmethoden.....	168
8.1.3	Datenquellen	178
8.1.4	Statistische Grundbearbeitung der Datenreihen	179
8.1.5	Zur Homogenität meteorologischer Datenreihen	179
8.1.6	Repräsentativität meteorologischer Stationen.....	180
8.2	Aerologische Größen	181
8.2.1	Allgemeines	181
8.2.2	Geräte	182
8.3	Fernerkundung atmosphärischer Parameter	183
8.3.1	Allgemeine Bemerkungen	183
8.3.2	Nutzung von Radiowellen	185
8.3.3	Mikrowellen	185
8.3.4	Radar	186
8.3.5	Messungen im optischen Spektralbereich	188
8.3.6	Lidar	190
8.3.7	Nutzung von Schallwellen.....	191
8.4	Spezielle Meßverfahren	192
8.4.1	Meteorologische Geländemessungen.....	192
8.4.2	Profil- und Turbulenzmessungen	194
9	Wetteranalyse und -prognose.....	198
9.1	Zum Begriff der synoptischen Meteorologie	198
9.2	Luftmassen	198
9.2.1	Definition der Luftmassen	198
9.2.2	Hauptluftmassen und ihre Entstehungsgebiete.....	198

9.2.3	Luftmassentransformation.....	200
9.2.4	Frontalzonen als Grenzgebiete zwischen Luftmassen.....	201
9.2.5	Die Polarfront.....	201
9.3	Zyklonen und Antizyklonen.....	202
9.3.1	Zyklonen.....	202
9.3.1.1	Historische Aspekte.....	202
9.3.1.2	Lebenszyklus der Idealzyklonen.....	204
9.3.1.3	Fronten der Zyklonen.....	206
9.3.1.4	Wetterablauf beim Durchzug einer Idealzyklone.....	209
9.3.1.5	Tropische Wirbelstürme.....	211
9.3.1.6	Kleinräumige Wirbelstürme.....	213
9.3.2	Antizyklonen.....	215
9.3.2.1	Warme Hochs.....	215
9.3.2.2	Blockierende Hochs.....	216
9.3.2.3	Kalte Hochs und Zwischenhochs.....	216
9.4	Wetterprognose.....	218
9.4.1	Synoptische Beobachtung und Wetterkarte.....	218
9.4.2	Grundzüge der synoptischen Wetteranalyse.....	220
9.4.3	Herkömmliche Verfahren der Wettervorhersage.....	221
9.4.4	Numerische Wettervorhersage.....	221
9.4.5	Wege zur Langfristprognose.....	223
9.4.6	Zur Prognosegüte.....	224
10	Das Klimasystem der Erde.....	226
10.1	Zum Klimabegriff.....	226
10.2	Klimafaktoren und -elemente.....	226
10.3	Das Klimasystem und seine Haupteigenschaften.....	227
10.4	Antriebe des Klimasystems.....	231
10.5	Teilsysteme.....	234
10.5.1	Atmosphäre.....	234
10.5.2	Ozean.....	237
10.5.3	Landoberflächen und Biosphäre.....	242
10.5.4	Kryosphäre.....	245
10.6	Fernwirkungen im Klimasystem.....	249
10.7	Klimazonen und Klimatypen.....	253
10.8	Hauptrichtungen der modernen Klimatologie.....	259
11	Klimaschwankungen und ihre Wirkungen.....	261
11.1	Definition und Ursachen von Klimaschwankungen.....	261
11.2	Warmzeiten und Eiszeitalter – Grundzustände des Klimasystems.....	263
11.3	Zur jüngsten Klimageschichte.....	265
11.4	Klimaschwankungen des 19. und 20. Jahrhunderts.....	268
11.5	Zur künftigen Klimaentwicklung.....	275
11.5.1	Klimamodelle.....	275

11.5.2	Szenarien der zukünftigen Entwicklung der Treibhausgase und Aerosole	280
11.5.3	Das anthropogen veränderte Klima.....	281
11.6	Auswirkungen von Klimaschwankungen	284
11.6.1	Auswirkungen auf das Klimasystem	285
11.6.2	Klimaempfindliche Bereiche	288
11.7	Das Klimaproblem der Gegenwart.....	292
12	Mikro- und Mesoklima	295
12.1	Charakteristika des Mikro- und Mesoklimas	295
12.2	Geschichtliche Aspekte der Mikro- und Mesoklimatologie	296
12.3	Zum Klima in der Nähe der Bodenoberfläche.....	297
12.3.1	Wärmeumsatz des unbewachsenen Untergrundes	299
12.3.2	Luftfeuchtigkeit und Wind.....	304
12.3.3	Mikroklima des vegetationsbedeckten Bodens.....	305
12.3.3.1	Niedrige Pflanzendecken.....	310
12.3.3.2	Waldbestände	312
12.4	Einfluß der Geländegestalt auf das Mikro- und Mesoklima	317
12.4.1	Besonderheiten des Energieumsatzes	317
12.4.2	Kaltluftbildung und -dynamik	319
12.5	Mesoräumige Windsysteme	322
12.5.1	Land- und Seewind	322
12.5.2	Berg- und Talwind.....	323
12.5.3	Orographische Fallwinde.....	324
12.6	Anwendungsorientierte Geländeklimatologie.....	325
13	Stadtklima	328
13.1	Einführung	328
13.2	Probleme des Nachweises von Lokalklimaveränderungen	328
13.3	Ursachen des Stadtklimas	329
13.3.1	Thermische und hydrologische Eigenschaften künstlicher und natürlicher Materialien	330
13.3.2	Städtische Oberflächenstruktur	331
13.4	Aufbau der Stadtatmosphäre	334
13.5	Städtischer Strahlungs- und Energiehaushalt	336
13.6	Städtische Überwärmung	340
13.6.1	Eigenschaften der Wärmeinsel.....	340
13.6.2	Modifikationen und Auswirkungen der städtischen Wärmeinsel.....	342
13.7	Luftfeuchtigkeit, Nebel und Niederschlag	345
13.8	Hydrologische Aspekte	348
13.9	Städtisches Windfeld	349
13.9.1	Grundeigenschaften des Windfeldes	349
13.9.2	Städtische Lokalwindzirkulation.....	353
13.10	Luftverunreinigungen	354
13.11	Gezielte Beeinflussung des Stadtklimas.....	358

14	Gebiete der Angewandten Meteorologie	365
14.1	Interdisziplinäre Verflechtungen der Meteorologie	365
14.2	Agrarmeteorologie	368
14.2.1	Aufgaben der Agrarmeteorologie	368
14.2.2	Aspekte der Energiebilanz eines Pflanzenbestandes	369
14.2.3	Der Bodenwärmehaushalt	370
14.2.4	Der Bodenwasserhaushalt	372
14.2.4.1	Die Verdunstung von Pflanzenbeständen	374
14.2.4.2	Die potentielle Evapotranspiration	375
14.2.4.3	Die aktuelle Evapotranspiration	376
14.2.5	Das Bestandsklima	377
14.2.6	Pflanzenphänologie	378
14.2.6.1	Phänologische Beobachtungsnetze	379
14.2.6.2	Pflanzenentwicklung und Witterung	380
14.2.6.3	Verwendung und Darstellung phänologischer Daten	383
14.2.7	Agrarmeteorologische Beratung	384
14.3	Medizinmeteorologie	384
14.3.1	Der thermische Wirkungskomplex	385
14.3.1.1	Die Wärmebilanz des Menschen	385
14.3.1.2	Thermische Behaglichkeit	386
14.3.1.3	Thermische Bewertungsmethoden	387
14.3.2	Der photoaktinische Wirkungskomplex	388
14.3.2.1	Tendenzen einer zunehmenden UV-Strahlung	389
14.3.2.2	Erythembildung	389
14.3.3	Der luftchemische Wirkungskomplex	390
14.3.3.1	Luftschadstoffe	390
14.3.3.2	Aerosolpartikel	391
14.3.4	Der neurotrophe Wirkungskomplex	391
14.3.5	Medizinmeteorologische Beratung	393
	Literaturverzeichnis	394
	Symbolverzeichnis	402
	Sachregister	407