

Das Klimasystem der Erde

Diagnose und Modellierung Schwankungen und Wirkungen

Unter Mitwirkung von

K. Bernhardt

W. Böhme

F.-M. Chmielewski

L. Eißmann

G. Flemming

M. B. Galin

G. S. Golicyn

H.-F. Graf

Chr. Hansel

A. Heibig

G. Heibig

M. Hendl

R. K. Klige

K. Ja. Kondrat'ev

M. Olberg

G. Schmitz

R. Stellmacher

mitverfaßt

und herausgegeben von

Peter Hupfer

Mit 180 Abbildungen und 69 Tabellen



Akademie Verlag

Inhaltsverzeichnis

1.	Das Klima — internationaler und interdisziplinärer Forschungsschwerpunkt (W. BÖHME, G. S. GOLIOYN)	.15
1.1.	Grundlegende Aspekte moderner Klimatologie	.15
1.2.	Das Weltklimaprogramm	23
1.2.1.	Anliegen und Anlage des Weltklimaprogramms	23
1.2.2.	Phasen der bisherigen Entwicklung des Programms	26
1.2.3.	Ergebnisse, Stand und neue Programme sowie Erfordernisse	30
1.2.4.	Zweite Weltklimakonferenz	35
2.	Eigenschaften und Komponenten des Klimasystems (G. FLEMMETG, M. B. GALTST, H.-F. GRAF, A. HELBIG, P. HTJPFER, K. JA. KONDRATEV)	37
2.1.	Klima und Klimasystem	37
2.1.1.	Klimabegriff	37
2.1.1.1.	Definitionen	37
2.1.1.2.	Maßstabsbezogenheit des Klimas	38
2.1.2.	Hauptwege der Erforschung des Klimas	39
2.1.3.	Klimafaktoren und -elemente	40
2.1.3.1.	Klimafaktoren	40
2.1.3.2.	Klimaelemente	40
2.1.4.	Das Klimasystem und seine Haupteigenschaften	41
2.2.	Solarstrahlung und globaler Energiehaushalt	44
2.2.1.	Die Solarkonstante und ihre Variationen	44
2.2.2.	Globale Energiebilanzen	48
2.2.3.	Grundlegende Energieflüsse im Klimasystem	51
2.3.	Die Atmosphäre als Komponente des Klimasystems	53
2.3.1.	Wolken	54
2.3.2.	Aerosol	56
2.3.3.	Strahlungsaktive Gase	58
2.3.3.1.	Allgemeine Übersicht	58
2.3.3.2.	Kohlenstoffkreislauf	59
2.3.3.3.	Ozon	62
2.3.3.4.	Vergleich von Klimaeffekten	64
2.4.	Klimafaktor Ozean	65
2.4.1.	Basisprozesse an der Grenzfläche Ozean/Atmosphäre	65
2.4.1.1.	Transformation der Solarstrahlung	65
2.4.1.2.	Fühlbarer und latenter Wärmestrom	66

2.4.1.3.	Hydrologischer Zyklus	. . . . .	68
2.4.1.4.	Austausch von Gasen	. . . . .	68
2.4.1.5.	Austausch von Stoff	. . . . .	69
2.4.1.6.	Übergang kinetischer Energie	. . . . .	69
2.4.1.7.	Gegenseitige Hauptwirkungen von Ozean und Atmosphäre	. . . . .	70
2.4.2.	Großräumige Wechselwirkungen Ozean/Atmosphäre	. . . . .	70
2.4.2.1.	Der Ozean als Wärmereservoir	. . . . .	71
2.4.2.2.	Ozeanischer Energietransport	. . . . .	73
2.4.2.3.	Wechselwirkung Ozean/Atmosphäre und innertropische Konvergenzzone (ITCZ)	. . . . .	75
2.4.2.4.	Ozeanische Absink- und Auftriebszonen	. . . . .	77
2.4.3.	Die energetisch aktiven Zonen des Ozeans und das Programm KAZREZY	. . . . .	78
2.5.	Festland und Biosphäre als Komponenten des Klimasystems	. . . . .	84
2.5.1.	Energetische Wechselwirkungen Erdoberfläche/Atmosphäre	. . . . .	84
2.5.2.	Massenaustausch Landoberfläche/Atmosphäre	. . . . .	89
2.5.2.1.	Hydrologischer Kreislauf und Bodenfeuchtereime	. . . . .	89
2.5.2.2.	Stoffaustausch	. . . . .	90
2.5.3.	Einfluß der Pflanzendecke	. . . . .	93
2.5.3.1.	Allgemeines	. . . . .	93
2.5.3.2.	Vergleich von Kurzgras mit pflanzenlosem Boden	. . . . .	93
2.5.3.3.	Besonderheiten niederwüchsiger Vegetationstypen	. . . . .	94
2.5.3.4.	Eigenschaften homogener Waldbestände	. . . . .	95
2.5.3.5.	Zur Berücksichtigung der Vegetation in Klimamodellen	. . . . .	97
2.5.4.	Der Einfluß der Gebirge auf das Klima	. . . . .	97
2.5.4.1.	Allgemeine Eigenschaften des Gebirgsklimas	. . . . .	97
2.5.4.2.	Der Einfluß der Meereshöhe und des Stockwerkaufbaus der Atmosphäre	. . . . .	98
2.5.5.	Gegenwärtige Änderungen der Landnutzung und ihre Bedeutung für das Klima	. . . . .	101
2.6.	Die Wirkung von Vulkaneruptionen im Klimasystem	. . . . .	103
2.6.1.	Einführung	. . . . .	103
2.6.2.	Eigenschaften vulkanischer Eruptionen	. . . . .	105
2.6.3.	Aeronomische Auswirkungen von Vulkaneruptionen — Entwicklung und Eigenschaften von Vulkanerosol	. . . . .	106
2.6.4.	Auswirkungen vulkanischen Aerosols auf den Strahlungshaushalt	. . . . .	108
2.6.5.	Beobachtete Klimavariationen nach Vulkanausbrüchen	. . . . .	112
2.6.6.	Modellierung der Auswirkungen stratosphärischen Aerosols auf das Klimasystem	. . . . .	115
2.7.	Kryosphäre als Komponente des Klimasystems	. . . . .	117
2.7.1.	Kryosphäre und Klimaentwicklung	. . . . .	117
2.7.2.	Landeisformen	. . . . .	122
2.7.2.1.	Schneedecke	. . . . .	122
2.7.2.2.	Eisschilde	. . . . .	124
2.7.2.3.	Unterirdisches Eis/Ewiger Frostboden	. . . . .	127
2.7.2.4.	Gebirgsgletscher	. . . . .	128
2.7.3.	Meereis	. . . . .	128
2.8.	Die allgemeine Zirkulation der Atmosphäre und ihre Energetik	. . . . .	131
2.8.1.	Grundzüge und Eigenschaften	. . . . .	131
2.8.2.	Die Zirkulation nach den Beobachtungen	. . . . .	132
2.8.3.	Drehimpuls-Bilanz	. . . . .	136
2.8.4.	Energetik der allgemeinen Zirkulation	. . . . .	140
2.8.5.	Schlußfolgerungen	. . . . .	145
2.9.	Telekonnektionen und el Nino/Südliche Oszillation (ENSO)	. . . . .	145
2.9.1.	Hemisphärische und globale „Fernwirkungen“	. . . . .	145
2.9.2.	Zur Anregung von el Nino/Südliche Oszillation (ENSO)	. . . . .	149

3.	Klimadaten (M. OLBERG, R. STELLMACHER, K. JA. KONDRAT'EV)	157
3.1.	Analyse von Daten	157
3.1.1.	Einleitung	157
3.1.2.	Homogenitätsprüfung, Trendanalyse	159
3.1.2.1.	Daten	159
3.1.2.2.	Ausgewählte Methoden der Homogenitätsprüfung	160
3.1.2.3.	Einige Möglichkeiten der Trendelimination	162
3.1.2.4.	Über die Schätzung fehlender Meßwerte	162
3.1.2.5.	Beispiele zur Trendanalyse	163
3.1.3.	Spektralanalyse klimatologischer Datenreihen	164
3.1.3.1.	Schätzung des konventionellen und des Maximum-Entropie-Spektrums	165
3.1.3.2.	Signifikanzgrenzen für das empirische Spektrum	167
3.1.4.	Klimadatenanalyse in gleitenden Zeitintervallen	170
3.1.4.1.	Numerische Filterung	170
3.1.4.2.	Gleitende MESA	172
3.1.5.	Hinweise zur mehrkanaligen Spektralanalyse	173
3.2.	Klimaüberwachung aus dem Kosmos	175
3.2.1.	Haupterfordernisse einer Klimaüberwachung	175
3.2.2.	Programm und Genauigkeitsforderungen	175
3.2.3.	Aussichten	180
4.	Klimatheorie und -modellierung (G. SCHMITZ)	181
4.1.	Einleitung	181
4.2.	Grundgleichungen	182
4.3.	Grundgleichungen für den großräumigen Scale	183
4.4.	Global gemittelte Klima-Gleichungen	186
4.5.	Klimamodellierung	188
4.6.	Hierarchie von Klimamodellen	189
4.6.1.	Energiebilanzmodelle	189
4.6.2.	Strahlungs-Konvektions-Modelle	190
4.6.3.	Statistisch-dynamische Modelle	191
4.6.4.	Zirkulationsmodelle der Atmosphäre	192
4.6.5.	Globale Zirkulationsmodelle	192
4.6.6.	Stochastische Modelle	193
4.7.	Energiebilanzmodelle	193
4.7.1.	Global gemittelte Modelle	193
4.7.2.	Zonal-gemittelte Modelle	195
4.7.3.	Stochastische Energiebilanzmodelle	198
4.8.	Statistisch-dynamische Modelle	199
4.8.1.	Zonal-symmetrische Modelle	200
4.8.2.	Modelle stationärer Störungen	204
4.9.	Globale Zirkulationsmodelle	207
4.9.1.	Kleinräumige Prozesse	207
4.9.2.	Ausgewählte Anwendungen und Ergebnisse	209
5.	Globale Klimaklassifikation (M. HENDL)	218
5.1.	Allgemeine Probleme der Klimaklassifikation	219
5.2.	Die Anfänge der klimatischen Gliederung der Erdoberfläche: Die Aufstellung individueller Klimaprovinzen	222
5.3.	Die Einführung der Objekten Klimaklassifikation durch WLADIMIR KOPPEN: Das vegetationsbezogene KÖPPEN-Klimasystem und seine Modifikationen	223

5.4.	Vegetationsbezogene Klimasysteme mit abweichendem Klassifikationsprinzip	236
5.4.1.	Die effektive Klimaklassifikation von N. N. IVANOV.	236
5.4.2.	Die Klimaklassifikationen von THORNTHWAITE	240
5.4.3.	Neuere Entwicklungstendenzen.	245
5.5.	Effektive Klimaklassifizierung nach landwirtschaftlichen Gesichtspunkten	247
5.6.	Effektive Klimaklassifizierung nach humanphysiologischen Gesichtspunkten	251
5.7.	Effektive Klimaklassifizierung für technische Zwecke: Das HOFFMANN-System 1975	253
5.8.	Bemühungen um genetische Klimaklassifikationen.	255
6.	Klima und Gesellschaft (K. BERNHARDT, A. HELBIG).	267
6.1.	Anthropogene Wirkungen im klimatischen System	267
6.1.1.	Überblick *	267
6.1.2.	Anthropogene Modifikation des Lokalklimas im Stadtgebiet und in Industrie-Ballungsräumen.	272
6.1.3.	Anthropogene Einwirkungen auf das globale Klima	279
6.1.4.	Auswirkungen eines massierten Kernwaffeneinsatzes.	287
6.2.	Klima Wirkungen auf gesellschaftliche Systeme.	292
6.2.1.	Klima und geographisches Milieu.	292
6.2.2.	Klima und globale Probleme.	294
7.	Klimate der geologischen Vorzeit (L. EISSMANN, CHR. HANSEL).	297
7.1.	Entstehung und Wandlung der Erdatmosphäre.	297
7.2.	Klimazeugen und physikalische Informationsmethoden zum Paläoklima	299
7.3.	Ursachen und Prozesse erdgeschichtlicher Klimaänderungen.	306
7.4.	Merkmale der Klimate der Erdgeschichte.	310
7.4.1.	Präkambrium.	310
7.4.2.	Paläozoikum	313
7.4.3.	Mesozoikum.	317
7.4.4.	Känozoikum.	320
7.4.4.1.	Tertiär.	321
7.4.4.2.	Quartär.	328
8.	Rezente Klimaschwankungen (K. BERNHARDT, G. HELBIG, P. HUPFER, R. K. KLIGE).	343
8.1.	Holozäne Klimaschwankungen.	343
8.1.1.	Zum Wesen von Klimaänderungen.	343
8.1.2.	Datenquellen zur holozänen Klimageschichte.	347
8.1.3.	Zur Klimaentwicklung im Holozän.	351
8.2.	Jüngste Klimaschwankungen.	355
8.2.1.	Zirkulationsschwankungen.	355
8.2.2.	Änderungen von Luft- und Wassertemperatur.	360
8.2.3.	Variationen von Komponenten des globalen Wasseraustausches und die Dynamik der Weltwasserbilanz	367
8.3.	Rezente Klimaschwankungen in Mitteleuropa, dargestellt insbesondere für Potsdam	376
8.3.1.	Die Klimaentwicklung im 20. Jahrhundert	377
8.3.1.1.	Die säkulare Erwärmung.	377
8.3.1.2.	Markante Klimaperioden.	378
8.3.2.	Der charakteristische Witterungsablauf im Jahr und seine Veränderungen.	387
8.3.2.1.	Zum Witterungsgeschehen in extremen Jahreszeiten.	387
8.3.2.2.	Variationen des jährlichen Ganges der Lufttemperatur.	395
8.4.	Ursachen und Schlußfolgerungen.	402

9. Zur Auswirkung von Klimaschwankungen (F.-M. CHMIELEWSKI, P. HTJPFER)	405
9.1. Hinweise zum Klimaimpakt im 20. Jahrhundert	405
9.2. Methoden zur Abschätzung des künftigen Klimas.	408
9.3. Die erwartete Klimaschwankung und ihre Auswirkungen.	410
9.3.1. Überblick	410
9.3.2. Der Klimaimpakt auf die Vegetation	411
9.3.2.1. Die direkte Wirkung des atmosphärischen CO _a -Gehaltes.	411
9.3.2.2. Mögliche Effekte infolge veränderter Klimabedingungen.	412
9.4. Schlußbemerkungen.	417
Literaturverzeichnis.	419
Verzeichnis von Symbolen und Abkürzungen.	456
Sachwortverzeichnis.	460