

Inhalt

Vorwort	7
1 Physikalische Grundlagen	9
1.1 Klimaforschung als Wissenschaft	9
1.2 Wetter und Klima	11
1.3 Klimasystem	13
1.3.1 Atmosphäre	17
1.3.2 Ozeane	22
1.3.3 Kryosphäre	29
1.3.4 Vegetation	36
1.3.5 Kohlenstoffkreislauf	39
1.4 Strahlungsprozesse in der Atmosphäre	44
1.4.1 Grundbegriffe der Strahlungsübertragung	46
1.4.2 Mathematische Beschreibung der Strahlungsübertragung	49
1.4.3 Thermische Strahlung einer Atmosphärenschicht	52
1.4.4 Aerosole	53
1.5 Strahlungsantrieb des Klimasystems	55
1.5.1 Strahlungshaushalt	55
1.5.2 Natürlicher Treibhauseffekt	57
1.5.3 Anthropogener Treibhauseffekt	59
2 Veränderungen in der Erdgeschichte	65
2.1 Die letzten eine Million Jahre	68
2.2 Milankovitch-Theorie	71
2.3 Holozän	74
2.4 Das letzte Jahrtausend	77
3 Klimadynamik	82
3.1 Interne Schwankungen	83

3.1.1	Stochastisches Klimamodell	83
3.1.2	Nordatlantische Oszillation	86
3.1.3	El Niño/Southern Oscillation	89
3.1.4	Atlantische Multidekadische Variabilität	93
3.1.5	Abrupte Klimaänderungen	97
3.2	Externe Schwankungen	101
3.2.1	Änderungen durch Vulkane	102
3.2.2	Änderungen der Sonnenstrahlung	105
3.2.3	Globale Verdunkelung	109
3.3	Klimavorhersagbarkeit und Wetterextreme	111
3.3.1	Lorenz-Modell	114
3.4	Klimamodelle	117
3.4.1	Atmosphärische Zirkulationsmodelle	121
3.4.2	Ozeanische Zirkulationsmodelle	123
3.4.3	Gekoppelte Atmosphäre-Ozean-Zirkulationsmodelle	126
3.4.4	Gekoppelte Klima-Kohlenstoffkreislauf-Modelle	128
3.4.5	Kopplung von naturwissenschaftlichen mit sozio- ökonomischen Modellen	130
3.4.6	Ensemble-Vorhersagen	132
4	Nachweis des anthropogenen Klimawandels	133
4.1	Das IPCC	133
4.2	Das Klima seit Beginn der Industrialisierung	135
4.3	Die Spuren des Menschen	143
4.4	Statistischer Nachweis der anthropogenen Erwärmung	148
5	Das Klima der Zukunft	156
5.1	IPCC-Szenarien	156
5.2	Das Klima des 21. Jahrhunderts	161
5.2.1	Temperatur	162
5.2.2	Niederschlag	165
5.2.3	Meeresspiegel	168
5.2.4	Meereis	171
5.2.5	Meridionale Umwälzbewegung	172
5.2.6	Ozeanversauerung	174
5.2.7	Methanhydrate	179
5.2.8	Wechselwirkung mit dem stratosphärischen Ozon	181
5.2.9	Kippelemente	187
5.3	Das Klima des 3. Jahrtausends	191
5.4	Stabilität des Klimas	198
6	Handlungsoptionen	202
6.1	Das 2 °C-Ziel	203
6.2	Gekoppelte Klima-Wirtschaftsmodelle	205
6.3	Klimapolitik	208
	Literaturverzeichnis	210
	Sachregister	216