

# Inhalt

Vorwort . . . . .	7
<b>1 Physikalische Grundlagen . . . . .</b>	<b>9</b>
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
<b>2 Veränderungen in der Erdgeschichte . . . . .</b>	<b>65</b>
2.1 Die letzten eine Million Jahre . . . . .	68
2.2 Milankovitch-Theorie . . . . .	71
2.3 Holozän . . . . .	74
2.4 Das letzte Jahrtausend . . . . .	77
<b>3 Klimadynamik . . . . .</b>	<b>82</b>
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
<b>4</b>	<b>Nachweis des anthropogenen Klimawandels . . . . .</b>	<b>133</b>
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
<b>5</b>	<b>Das Klima der Zukunft . . . . .</b>	<b>156</b>
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
<b>6</b>	<b>Handlungsoptionen . . . . .</b>	<b>202</b>
6.1	Das 2 °C-Ziel . . . . .	203
6.2	Gekoppelte Klima-Wirtschaftsmodelle . . . . .	205
6.3	Klimapolitik . . . . .	208
	Literaturverzeichnis . . . . .	210
	Sachregister . . . . .	216