

Inhaltsverzeichnis

I **Klimatologie als Wissenschaft**

1	Klima als interdisziplinärer und internationaler Forschungsschwerpunkt	3
1.1	Das Weltklimaprogramm	10
1.1.1	Das Weltklimaforschungsprogramm (WCRP)	12
1.1.2	Erdsystemforschung – Future Earth	18
1.2	Klimaerfassung – Messnetze und Beobachtungssysteme	21
1.3	Klimamodellierung – Klimamodelle	31
1.3.1	Klimamodelle – ein Blick zurück	34
2	Basiswissen und Grundgesetze der Klimatologie	37
2.1	Zusammensetzung und Aufbau der Atmosphäre	39
2.2	Die Sonnenstrahlung – Energiequelle allen Lebens	43
2.3	Parameter des solaren Klimas: Erdrevolution, Beleuchtungsklima und Jahreszeiten	43
2.4	Der Einfluss der Atmosphäre auf die Sonnenstrahlung	48
2.5	Die Globalstrahlung	49
2.6	Wärmehaushalt der Atmosphäre: fühlbarer und latenter Wärmestrom	53
2.7	Der natürliche Treibhauseffekt und seine strahlungsaktiven Gase	57
2.8	Klimafaktoren und Klimaelemente bestimmen unser Klimasystem	60
2.8.1	Die Ausdehnung der Luft bei Erwärmung – der Luftdruck	66
2.8.2	Temperaturverteilung in der Atmosphäre	67
2.8.3	Niederschlag und Wasserkreislauf	75
2.8.4	Verdunstung und Niederschlag	76
2.9	Dynamik der Atmosphäre	83
2.9.1	Wirksame Kräfte in der Atmosphäre	83
2.9.2	Zyklone und Antizyklone – Wesentliche Bestandteile der atmosphärischen Dynamik in der Westwinddrift	87
2.10	Die allgemeine atmosphärische Zirkulation	89
2.10.1	Die außertropische Westwind-Zirkulation	93
2.10.2	Die tropische Passat- und Monsunzirkulation	98
2.10.3	Die äquatoriale Zonal- oder Walker-Zirkulation	100
2.10.4	Die Ostwindzirkulation über den Polen	101
2.11	Telekonnektionen	104
2.11.1	ENSO (El Niño – Southern Oscillation)	105
2.11.2	Madden-Julian-Oszillation (MJO)	125
2.11.3	Nordatlantik-Oszillation (NAO)	126
2.11.4	Die Arktische Oszillation (AO)	133
2.11.5	West Pacific Pattern (WP)	134
2.11.6	Quasi-Biennial-Oszillation (QBO)	134
2.12	Klimate der Erde – Klimaklassifikationen	136
2.12.1	Genetisch-dynamische Klimaklassifikationen	136
2.12.2	Effektive Klimaklassifikationen	137

II Klimawandel und Global Change

3 Zentrale Aussagen zum Klimawandel..... 155

4 Indikatoren des Klimawandels und globalen Wandels 159

4.1 Veränderungen der atmosphärischen Kohlendioxid-, Methan- und Stickoxidkonzentrationen 166

4.1.1 Kohlendioxid..... 166

4.1.2 Methan 184

4.1.3 Stickoxid 190

4.2 Veränderungen der atmosphärischen Halogenkohlenwasserstoffe, des troposphärischen und stratosphärischen Ozons sowie der Aerosole..... 192

4.2.1 Fluorkohlenwasserstoffe (HFC), vollhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (PFC) und Schwefelhexafluorid (SF₆) 192

4.2.2 Troposphärisches Ozon 193

4.2.3 Stratosphärisches Ozon 193

4.2.4 Aerosole..... 201

4.3 Sozioökonomische Entwicklung der Welt – von den historischen SRES-Szenarien zu den aktuellen RCP-Szenarien 203

4.3.1 Die neuen globalen Szenarien – „Repräsentative Konzentrationspfade“ (RCPs) 208

4.3.2 Szenarien für die nächste Generation Klimaprojektionen (CMIP6)..... 210

5 Schlüsselthemen des Klimawandels 217

5.1 Veränderungen des globalen Wasserhaushalts 219

5.2 Klimawandel und Wasser..... 220

5.3 Klimawandel und Landwirtschaft 227

5.4 Klimawandel und Desertifikation..... 239

5.5 Wetteranomalien, Extremereignisse und Singularitäten..... 245

5.6 Klimawandel und Ozeane 252

5.7 Klimawandel und Landnutzungsveränderungen 255

5.8 Klimawandel und Biodiversität 257

6 Fallstudie Kryosphäre 261

6.1 Variabilität des arktischen Klimas 263

6.2 Die Nordatlantische und die Arktische Oszillation..... 266

6.3 Arktische Stratosphäre..... 267

6.4 Arktische Troposphäre 268

6.5 Strahlungsverhältnisse in der Arktis..... 269

6.6 Wolken und Niederschlag in der Arktis 270

6.7 Aerosole in der Arktis und ihre Quellen 271

6.8 Klimawirkung der Aerosole 272

6.9 Arktischer Dunst (Arctic haze) 273

6.10 Ozon in der Arktis..... 274

6.11 Der Arktische Ozean..... 277

6.12 Eis in der Arktis..... 280

6.13 Eis in der Antarktis 283

6.14 Permafrost 285

7	Fallstudie Klima und Gesundheit	291
7.1	Fallbeispiel: Klimawandel und Hautkrebsgefährdung.....	297
7.1.1	Einflussfaktoren auf die auf der Erde auftreffende UV-Strahlung	300
7.1.2	Messwerterfassung und UVI-Vorhersage	301
7.2	Fallbeispiel: Klimawandel und die afrikanische Malaria.....	304
7.2.1	Auswirkungen von Temperaturveränderungen auf die Malariaübertragung	305
7.2.2	Auswirkungen von Niederschlagsveränderungen auf die Malariaübertragung.....	307
8	Was können wir aus den IPCC- und anderen Syntheseberichten lernen?	311
8.1	Wissenschaftliches Verständnis des Klimawandels im Hinblick auf Anpassungsmaßnahmen	322
8.2	Offene wissenschaftliche Fragen – welcher Handlungsbedarf besteht?.....	323
8.2.1	Handlungsbedarf: Dynamik der Eisschilde der Erde.....	324
8.2.2	Handlungsbedarf: Veränderungen im Wasserhaushalt der Erde	325
8.2.3	Handlungsbedarf: Atlantische Meridionale Umwälzbewegung im Ozean (AMOC)	327
8.2.4	Handlungsbedarf: Methanfreisetzung.....	330
8.2.5	Handlungsbedarf: Landoberflächenprozesse, Kohlenstoffzyklus und biogeochemische Feedback-Mechanismen	331
8.2.6	Handlungsbedarf: Aerosol-Wolken-Interaktion und <i>radiative forcing</i>	332
8.2.7	Handlungsbedarf: Regionalisierung der Modellprojektionen – <i>downscaling</i>	333
8.2.8	Handlungsbedarf: Entwicklung von Schnittstellen zwischen Politik und Wissenschaft.....	334
III	Wechselwirkungen: Klima – Mensch, Gesellschaft und Politik	
9	Klima und Mensch	343
9.1	Klimaentwicklung und Evolution des Menschen.....	344
9.1.1	Gattung <i>Homo</i> – Werkzeuge, Mobilität und Intelligenz.....	348
10	Klima und Gesellschaft.....	357
10.1	Klima und Gesellschaft im Holozän	359
10.2	Klima und Gesellschaft seit der industriellen Revolution	365
10.2.1	Energie- und Gesellschaftsformen im Übergang	368
10.3	Umweltauswirkungen der Zivilisationsdynamik – der wirtschaftende Mensch.....	372
10.3.1	Die Weltbevölkerung	373
10.3.2	Die Veränderung des weltweiten Pro-Kopf-Verbrauchs (Konsum)	376
11	Klima und Politik	381
11.1	Internationale Klimapolitik.....	386
11.1.1	Der UNFCCC-Prozess.....	388
11.1.2	Quantifizierung klimawirksamer anthropogener Tätigkeiten für politische Entscheidungsprozesse.....	394
11.1.3	Der Emissionshandel im Rahmen des Kyoto-Protokolls	396

11.1.4	Die flexiblen Instrumente des Kyoto-Protokolls: <i>Joint implementation</i> und <i>clean development mechanism</i>	398
11.2	Klimapolitik auf EU-Ebene	401
11.3	Nationale Klimapolitik – Das Beispiel Deutschland	405
11.4	Die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS)	408
11.5	Global Governance – das Konzept des Handelns im politischen Mehrebenensystem	414
11.5.1	Herausforderungen für Natur- und Sozialwissenschaften auf globaler und lokaler Ebene	415
11.5.2	Innovationsorientierte Umweltpolitik.....	418
 Serviceteil		
	Anhang – Klimadiagnose aus dem All und zukünftiger Bedarf der Klimaforschung – globale Klimabeobachtungssysteme (GCOS).....	424
	Globale Klimadienste.....	488
	Glossar.....	491
	Literatur	507
	Stichwortverzeichnis.....	525