

Umweltwissenschaften
(infernium)
der
Fernuniversität Hagen

Naturwissenschaftliche Perspektive der Klimawissenschaft



 **ALFRED-WEGENER-INSTITUT**
HELMHOLTZ-ZENTRUM FÜR POLAR-
UND MEERESFORSCHUNG

 **Klimabüro**
für Polargebiete und Meeresspiegelanstieg

 **REKLIM**
Helmholtz-Verbund
Regionale Klimaänderungen

Prof. Dr. Gerrit Lohmann

Dr. Renate Treffeisen

Dr. Klaus Grosfeld

Christopher Danek

Kontakt: info@klimabuero.de

2. Auflage

Inhaltsverzeichnis

Themenkomplex 1

1	Klimasystem der Erde	1
1.1	Begriffsdefinitionen	1
1.2	Das Klimasystem und seine Komponenten.....	4
1.3	Antriebsmechanismen des Klimas	8
1.3.1	Externe natürliche Einflussfaktoren.....	9
1.3.2	Interne natürliche Einflussfaktoren.....	14
1.3.3	Anthropogene Einflussfaktoren	15
1.4	Skalendenweise.....	21
1.5	Klimaklassifikation	23
1.6	Weiterführende Literatur und Links Kapitel 1	25
1.7	Übungsaufgaben Kapitel 1.....	26
2	Atmosphäre.....	29
2.1	Wechselwirkungen zwischen Sonnenstrahlung und Atmosphäre...30	
2.1.1	Absorption	32
2.1.2	Streuung.....	38
2.1.3	Extinktion.....	39
2.2	Grundlegende physikalische Strahlungsgesetze.....	39
2.3	Strahlungs- und Wärmehaushalt der Erde	42
2.4	Allgemeine Zirkulation der Erde	46
2.5	Gerichtete Luftbewegungen – Winde.....	48
2.6	Statik und Thermodynamik der Atmosphäre	53
2.7	Weiterführende Literatur und Links Kapitel 2	56
2.8	Übungsaufgaben Kapitel 2.....	57
3	Die Hydrosphäre	59
3.1	Der globale Wasserkreislauf	59
3.2	Eigenschaften des Ozeans	67
3.2.1	Kolligative Eigenschaften von Meerwasser	68

3.2.2	Chemische Zusammensetzung von Meerwasser	72
3.2.3	Gelöste Gase im Meerwasser	76
3.2.4	Ozeanische Kohlenstoffpumpen	80
3.3	Ozeanzirkulation.....	82
3.3.1	Oberflächenzirkulation.....	83
3.3.2	Vertikale Meeresströmungen.....	89
3.3.3	Gezeiten.....	91
3.4	Weiterführende Literatur und Links Kapitel 3	93
3.5	Übungsaufgaben Kapitel 3	94
4	Die Kryosphäre.....	95
4.1	Komponenten der Kryosphäre.....	95
4.2	Massen- und Volumenverteilung der Kryosphäre	96
4.3	Gletscher und Eisschilde (Inlandeismassen)	97
4.3.1	Geografie heutiger Eisschilde.....	97
4.3.2	Unterschiede Arktis und Antarktis.....	99
4.3.3	Metamorphose von Schnee zu Eis	100
4.3.4	Massenbilanz eines Gletschers.....	102
4.3.5	Talgletscher.....	105
4.3.6	Dynamik von Eisschilden.....	107
4.3.7	Glazialisostasie	111
4.4	Schelfeis und Eisberge.....	112
4.5	Meereis	117
4.5.1	Entstehung von Meereis.....	118
4.5.2	Vorkommen von Meereis.....	120
4.5.3	Meereis und marine Ökosysteme	124
4.5.4	Rolle von Meereis im Klimasystem.....	127
4.6	Permafrost.....	132
4.7	Weiterführende Literatur und Links Kapitel 4	139
4.8	Übungsaufgaben Kapitel 4	140

Themenkomplex 2

5	Die Biosphäre	157
5.1	Aufbau der Biosphäre	158
5.1.1	Naturräumliche Gliederung	159
5.1.2	Trophische Gliederung	163
5.2	Konzept der Stoffkreisläufe	166
5.3	Der globale Kohlenstoffkreislauf	167
5.3.1	Verteilung des Kohlenstoffs in verschiedenen Reservoiren	172
5.3.2	Kohlenstoffflüsse und Umwandlungsprozesse	174
5.3.2.1	Kurzfristige Kohlenstoffflüsse	176
5.3.2.2	Langfristige Kohlenstoffflüsse	178
5.3.3	Veränderung der Nettokohlenstoffflüsse in die Atmosphäre	179
5.4	Stickstoffkreislauf	181
5.5	Phosphor- und Schwefelkreislauf	187
5.6	Kohlenstoff-Rückkopplungen in der Biosphäre	190
5.6.1	Biogeochemische Rückkopplungsprozesse	190
5.6.2	Biophysikalische Rückkopplungsprozesse	192
5.7	Weiterführende Literatur und Links Kapitel 5	195
5.8	Übungsaufgaben Kapitel 5	196
6	Methoden der Klimawissenschaft	199
6.1	Klimaarchive	199
6.1.1	Sedimente	200
6.1.1.1	Tiefseesedimente	200
6.1.1.2	Seesedimente	203
6.1.2	Eisbohrkerne	204
6.1.3	Dendroklimatologie	206
6.1.4	Weitere Möglichkeiten der Klimakonstruktion	210
6.2	Instrumentelle Messungen	211
6.3	Klimamodelle	213
6.3.1	Die historische Entwicklung von Klimamodellen	215

6.3.2	Aufgaben der Klimamodellierung.....	217
6.3.3	Physikalische Grundlagen von komplexen Klimamodellen	220
6.3.4	Von einfachen zu komplexen Klimamodellen	230
6.3.5	Grenzen der Klimamodellierung	238
6.3.6	Zukünftige Entwicklung der Klimamodellierung	240
6.4	Klimaprojektionen.....	241
6.5	Weiterführende Literatur und Links Kapitel 6	248
6.6	Übungsaufgaben Kapitel 6	249
7	Paläoklima: Klima der nahen und fernen Vergangenheit	251
7.1	Die Klimageschichte der Erdneuzeit.....	251
7.2	Das känozoische Eiszeitalter.....	255
7.2.1	Die Zyklizität von Eiszeiten	260
7.2.2	Geographische Distribution von Eiszeiten	264
7.2.3	Die Klimaschaukel.....	267
7.3	Abrupte Klimaänderungen im Eiszeitalter.....	269
7.3.1	Dansgaard-Oeschger-Ereignisse (D/O).....	271
7.3.2	Heinrich-Ereignisse	272
7.3.3	Jüngere Tundrenzeit	274
7.4	Holozän.....	276
7.4.1	Das Klima der letzten 1.200 Jahre.....	278
7.4.2	Mittelalterliches Klimaoptimum	279
7.4.3	Kleine Eiszeit.....	280
7.4.4	Modernes Klimaoptimum.....	282
7.5	Weiterführende Literatur und Links Kapitel 7	283
7.6	Übungsaufgaben Kapitel 7	284

Index

Abfluss	66	Crossdating-Methode	209
abiotisch	168	Dansgaard-Oeschger	272
Ablationsgebiet	103	Deckschicht	91
Absorption	32	Deformationswiderstand	109
active layer	134	Dendrochronologie	208
Adenosintriphosphat	179	Depot	169
Akkumulationsgebiet	102	Destruenten	167
Aktionsprinzip	223	Deuterium	207
Albedo	42, 44	DIC	79
AMO	14	Dichteanomalie	70
Amphipoden	126	Diffraktion	31
Anorganik	173	Diskretisierung	229
Antarktis	98, 99	Dispersion	31
antitripterischer Wind	51	Dissimilation	187
aphotisch	163, 165	Dissoziationsenergie	32
Arktis	99	Drake-Straße	256
Atmosphäre	29	Druckschmelzpunkt	105
Beaufortwirbel	123	Drumlins	268
Benguelastrom	83	Dryaszeit	276
benthisch	163	Durchmischungszeit	74
Bergeron-Findeisen	66	Ebbe	91
Bikarbonation	73	EDML	271
Biologische Pumpe	81	Eis-Albedo-Effekt	130
Biomasse	77, 165, 178	Eis-Albedo-Rückkopplung	6
Biosphäre	159	Eisalgen	126
Biota	125	Eisberge	114
biotisch	168	Eisbohrkerne	206
black smokers	181	Eisbrei	119, 125
Boxmodelle	235	Eisdicke	111
Brewer-Dobson-Zirkulation	34	Eisdrift	123
Chalkogenide	173	Eiskeil	136
Chapman-Zyklus	33	Eiskristalle	119
Chemosynthese	180	Eisschild	97, 107, 256, 261, 277
chemotroph	181	Eiszeit	258
Chlor	73	Eiszeitperiode	257
CLM	240	Ekliptikschiefe	12
Corioliskraft	47	Ekman-Spirale	52, 84

Ekman-Tiefe	84	Gradientenwind.....	50
Ekman-Transport	84	gravity drainage	128
El Niño	3, 86	Grundmoräne	266
EMICs	232	Hadley	46
Emissionsszenarien	248	Halogenkohlenwasserstoff.....	19
Endmoräne	266	Heinrich-Ereignisse.....	272, 274
Energiebilanzmodelle.....	233	Holozän	278
ENSO	14, 86	Humboldtstrom	83
Eozän	253	Hydro-Biosphäre.....	163
EPICA.....	270	Hydrosphäre	59
Erdbahnparameter	9, 263	hydrostatische Grundgleichung.....	53
euliteral	163	IMO.....	214
euphotisch	75, 163, 164	Impulssatz	225
Eutrophierung	189	Infrarotstrahlung.....	30
Evaporation.....	63	Interzeptionsverdunstung.....	63
Evapotranspiration	63	Ionisationsenergie.....	32
Exzentrizität	11	Ionosphäre.....	32
Festeis	123	Isobaren.....	52
Firn	101	Isohypsen	49
Fließeigenschaft.....	107	Isostasie	111
Flussrate	171	Isotope.....	203
Flut.....	91	Jahreszeiten	12
Foraminiferen.....	203, 268	Kalben	113, 115
Fossilien.....	212	Kaltzeit.....	257, 263
Fotosynthese	77, 178	Karbonat.....	173
Framstraße	123	Katalysator.....	34
GCMs	232	Kerogene	176
Gefrierpunkt.....	71	Kirchhoff'sches Strahlungsgesetz .	41
Gegenpumpe	81	Kleine Eiszeit.....	282
geostrophischer Wind	49	Klima	2
Gesteinsdiagenese	181	Klimaarchive	201
Gezeiten	91	Klimaelemente	3
Glazial.....	257, 262	Klimafaktoren.....	3
Gleissbergzyklus.....	13	Klimaklassifikation	23
Gleitprozesse	104	Klimamodelle	216, 222
Gletscherbewegung	105	Klimamodellstudien.....	18
Gletscheruntergrund	104	Klimaprojektion	243
Glukose.....	178	Klimaschaukel.....	269
Golfstrom	83	Klimasystemkomponenten.....	4

Klimatypen	24	Nahrungsnetz.....	91
Kohlensäure	78	NAO	14
Kohlenstoffdioxid	19, 174, 207	Navier-Stokes-Gleichung	226
Kohlenstoffflüsse	176	negative Rückkopplungseffekte...	193
Kohlenstoffkreislauf	79, 169	NGRIP	271
kolligativ	70	Niederschlag	65
Kondensation	66	Nilas.....	119
konservativ	69, 75	Nitratammonifikation	187
Kontinuitätsgleichung	224	Nitratreduktion.....	186
konzeptionelle Modelle	232, 264	Obliquität.....	11, 265
Korallen.....	212	Ökosphäre	161
Krill	126	Ökosystem.....	168
Krustengestein	72	Ökozonen	160
Kryosphäre.....	95	Oligozän.....	253
La Niña.....	3, 87	Organik	173
Lambert-Bouguer	37	osmotischer Druck	71
Langmuir	66	Ozonschicht	30
latente Wärme.....	64	Paläozän.....	255
Leitfähigkeit.....	71	Parametrisierung.....	231
limnisch	163	Pathways	244
Löslichkeit	78	Pedosphäre.....	174
Löslichkeitspumpe.....	80	Permafrost	132, 176
Makro-Skala	22	Permafrosttafel.....	135
Massenbilanz	102	Peroxiradikale	37
Massenfluss	107	PETM.....	255
Meereis	117	Pfannkucheneis	119
Meeresströmung	86	Phosphorkreislauf	189
Mesopause.....	30	Photodissoziation	33
Meso-Skala	22	Phytoplankton	81
Methan	19, 174, 207	Pinatubo.....	10
Methanemission	20	Planck'sches Strahlungsgesetz.....	40
Mie-Streuung.....	38	planetarische Grenzschicht	51
Mikro-Skala	22	Plattentektonik	9, 259
Milanković	10, 263	Polarisation	31
Miozän	253	Pollen.....	212
mittlere Verweilzeit	74	Polynjas	125
Modellprojektion	241	positive Rückkopplungen	6
Monsun	3, 88	Präzession	11, 265
MPI-ESM.....	237	Primärproduzent	166

Produktivität	77	Somalstrom.....	89
Protuberanzen	13	Sommersmog	35
Prozessstudie	219	Sonnenflecken.....	13
PSS78	69	Speicherform	174
PSU	69	Speicherreservoir.....	174
Pyknokline	90	Speicherterm	171
Quartär.....	262	Speläotheme	212
Radiokohlenstoffdatierung.....	211	Sphärensystem.....	4
Rayleigh-Streuung	38	Spurenelemente	72
RCPs	244	Spurengas	29, 229
Reaktionszeit	7	SRES-Szenarien.....	243
Refraktion	31	Stalagmiten.....	212
Regenwälder.....	175	STAR.....	240
regionale Klimamodelle.....	238	Stationarität	239
REMO	240	Stefan-Boltzmann-Gesetz.....	40
Reservoir	172	Stickstoffixierung.....	186
Reservoirgas.....	34	Stickstoffkreislauf.....	184
rezykliert	75	Stickstoffquelle.....	77
Röntgenstrahlung.....	32	Stoffkreislauf.....	29, 168
Rossbreiten.....	48	Stratopause	30
Rückkopplung	6, 265	Stratosphäre	10, 30
Rückkopplungseffekt.....	195	Streukoeffizient.....	38
Salzgehalt	68	Streuung	38
Satelliten	215	Subglazial	105
Sauerstoffisotop.....	203	Sublimation.....	66
saurer Regen	188	subskalig.....	231
scavenging.....	75	Südpolarkreis.....	99
Schelfeis	112	Südpolarmeer.....	99
Schelfmeer.....	112	Sverdrup.....	85
Schmetterlingseffekt.....	242	Szenariofamilien	246
Schwarzer Körper	39	Tafeleisberge.....	113
Schwefeldioxid.....	10	Tageszeiten	12
Schwefelkreislauf.....	191	Talgletscher	105
Schwefelsäure	10	Talik.....	135
Sedimente.....	202	TEOS-10.....	69
Seesedimente	205	Thermohalin.....	261, 273
Skalendenweise	21	thermohaline Zirkulation.....	90
Solarkonstante.....	12	Thermokline.....	91
Sole	128	Thermosphäre	30

Tidenhub	92	Waldsterben.....	189
Tiefenwasser.....	91	Wärme	32
Tiefenwasserbildung.....	132	Wärmekapazität	65, 70
Tiefseesedimente	203	Wärmetransportgleichung	227
Tipping Elements.....	111	Warmzeiten.....	263
Trägheit.....	8	Wasserbilanzgleichung	62
Transpiration	63	Wasserkreislauf	59
Treibhauseffekt.....	45, 188, 193	Westantarktis	98
Treibhausgas	19, 263	Wetter	1
Treibhausgaskonzentration	15	Wettervorhersage.....	217
Treibhausgaspotential	20	WettReg.....	240
Treibhauswirkung	20	Wien'sches Verschiebungsgesetz .	41
Trophieniveau.....	165	Witterung	1
Trophiestufe	161	WMO.....	2
trophische Kaskade	167	Zentralwasser	91
Tropopause	30	Zirkulationsmodell	217
Troposphäre.....	29	Zirkumpolarstrom	100, 260
Ultraviolettstrahlung.....	30	Zooplankton	126
Umweltsatelliten	3	Zustandsdiagramm	60
Verdunstung.....	63	Zustandsgleichung	228
Vorratsspeicher	66		