

Inhaltsverzeichnis

Summary	vii
1 Einführung und Begründung	1
1.1 Prolog	1
1.2 Einführung in die Problematik	2
1.3 Einordnung in den Forschungskontext und Ziele der Arbeit	4
1.4 Aufbau der Arbeit	4
I Klimatologischer Hintergrund	7
2 Klima und Klimamodellierung	9
2.1 Einführung	9
2.2 Klima als komplexes System	10
2.2.1 Das Klimasystem der Erde	10
2.2.2 Die Subsysteme des Klimasystems	12
2.2.2.1 Die Atmosphäre	12
2.2.2.2 Die Hydrosphäre	13
2.2.2.3 Die Biosphäre	16
2.2.2.4 Die Lithosphäre	18
2.3 Rückkopplungen und der Klimawandel durch den Menschen	19
2.3.1 Rückkopplungen im Klimasystem	19
2.3.1.1 Einführung	19
2.3.1.2 Eis-Albedo-Feedback	20
2.3.1.3 Wasserdampf-Rückkopplung	21
2.3.1.4 Wolken-Rückkopplungen	21
2.3.2 Der Klimawandel durch den Menschen	22
2.3.3 Fazit	24
2.4 Klimamodelle und die Vorhersageproblematik beim Klima	25
2.4.1 "Keine Experimente!"	25
2.4.2 Computer bei der Klimamodellierung	26
2.4.3 Grundlegende Probleme bei der Klimamodellierung	27
2.4.3.1 Vereinfachungen	27
2.4.3.2 Strukturelle Hindernisse	32
2.4.3.3 Umgang mit Unsicherheiten bei der Klimavorhersage	36
2.5 Modelltypen unterschiedlicher Komplexität	37
2.5.1 Verschiedene Modelltypen für unterschiedliche Anforderungen	37

2.5.2	Modelle mittlerer Komplexität und komplexe Klimarechenmodelle	38
2.5.3	Einfache Modelle	39
2.5.4	Hierarchie von Klimamodellen	41
3	Die Thermohaline Zirkulation und ihre Modellierung	43
3.1	Ein Blick in die Klimageschichte	44
3.1.1	Einführung	44
3.1.2	Klimaarchive und Methoden der Klimarekonstruktionen	44
3.1.2.1	Die schwierige Suche nach Erkenntnissen	44
3.1.2.2	Klimarekonstruktion und Datierung	45
3.1.2.3	Klimaarchive	48
3.1.2.4	Modelle der Klimavergangenheit	53
3.1.3	Eine Exkursion in die Klimageschichte der Erde	54
3.1.3.1	Die wechselvolle Geschichte des Erdklimas	54
3.1.3.2	Die jüngste Klimavergangenheit der letzten 120.000 Jahre	55
3.1.4	Eine neue Sichtweise der Klimageschichte	58
3.2	Die Thermohaline Zirkulation	59
3.2.1	Das Große Maritime Förderband	59
3.2.2	Dynamik der Thermohalinen Zirkulation	62
3.2.3	Die Rolle der Thermohalinen Zirkulation im Klimasystem	66
3.2.4	Thermohaline Zirkulation und der Klimawandel	67
3.3	Die Modellierung der Thermohalinen Zirkulation	68
3.3.1	Hierarchie von Modellen bei der Ozeanmodellierung	68
3.3.2	Komplexe Modelle der Thermohalinen Zirkulation	69
3.3.3	Untersuchung der Thermohalinen Zirkulation mit Modellen mittlerer Komplexität	71
3.3.4	Einfache Box-Modelle der Thermohalinen Zirkulation	74
3.3.4.1	Das Stommel-Modell von 1961	74
3.3.4.2	Neuere Box-Modelle	76
3.3.5	Fazit	77
3.4	Ein minimales Box-Modell für den Unterricht	78
3.4.1	Hintergrund	78
3.4.2	Beschreibung des Modells	79
3.4.3	Mathematische Formulierung des Modells	80
3.4.4	Mathematische Lösung	82
3.4.5	Bedeutung des Modells	86
II	Theoretischer Hintergrund: Modelle	87
4	Klärung des Modellbegriffs	89
4.1	Einführung	89
4.2	Das erkenntnistheoretische Fundament	90
4.2.1	Notwendigkeit eines erkenntnistheoretischen Hintergrundes	90
4.2.2	Erkenntnistheoretische Strömungen	91
4.2.2.1	Realismus	91

4.2.2.2	Idealismus	93
4.2.2.3	Pragmatismus	94
4.2.2.4	Diskussion der unterschiedlichen Positionen	94
4.2.3	Erkenntnistheoretische Vorstellungen für den naturwissenschaftlichen Unterricht	95
4.2.3.1	Einführung	95
4.2.3.2	Unabhängige Existenz einer realen Welt	98
4.2.3.3	Art des Erkennens der realen Welt	99
4.2.3.4	Die Rolle des Subjektes: Wahrnehmung als aktiver Filterungsprozess	100
4.3	Modellbegriff und Modellbildung	103
4.3.1	Einführung	103
4.3.2	Modelldefinition im realistischen Sinne	104
4.3.2.1	Festlegung des Modellbegriffs	104
4.3.2.2	Erkenntnisgewinnung mit Hilfe von Modellen	105
4.3.2.3	Weitere Modelldefinitionen	107
4.3.3	Unterschiedliche Blickwinkel auf Modelle	110
4.3.3.1	Mentale und konstruierte Modelle	110
4.3.3.2	Notwendigkeit von Modellen außerhalb des Mesokosmos	111
4.3.3.3	Kategorisierung von Modellen	112
4.4	Praxis der Klimaforschung aus erkenntnistheoretischer Perspektive - Anlass einer neuen Sicht von Wissenschaft?	115
4.4.1	Einleitung	115
4.4.2	Besonderheiten der Klimaforschung	115
4.4.3	Problemfelder in der Praxis der Klimamodellierung	117
4.4.4	Modellbegriff und Erkenntnistheorie im Kontext der Klimaforschung	120
5	Modelldenken in der Didaktik	127
5.1	Gründe für ein Modelldenken in der Schule	127
5.1.1	Drei Felder der <i>Scientific Literacy</i> : Wissenschaft lernen, Wissenschaft praktizieren und <i>über</i> Wissenschaft lernen	127
5.1.2	Begründungszusammenhänge für Modell- und Wissenschaftsverständnis	128
5.2	Lernen über Modelle und die Natur der Naturwissenschaften	132
5.2.1	Einführung	132
5.2.2	Wissenschaftsverständnis	134
5.2.3	Modellverständnis	135
5.2.4	Modellkompetenz	137
5.2.5	Modellieren: Dynamische Modellveränderung auf unterschiedlichen Ebenen	138
5.2.6	Dynamisches Modellieren mit Modellbildungssystemen	141
5.3	Untersuchungen und Interventionen zum Modell- und Wissenschaftsverständnis	142
5.3.1	Wissenschaftsverständnis der Lernenden	142
5.3.2	Modellverständnis der Lernenden	144
5.3.3	Zusammenfassung der Schülervorstellungen	147
5.3.4	Modelltheoretische Vorstellungen bei Lehrenden	148
5.3.5	Förderung des Modelldenkens im Unterricht	152

5.3.5.1	Implizite und explizite Ansätze	152
5.3.5.2	Kummulatives Lernen über Modelle	153
5.4	Komplexitätsforschung und Systemdenken: Zwei Seiten der gleichen Medaille	154
5.4.1	Einführung	154
5.4.2	Nichtlineare Dynamik, Selbstorganisation und Komplexitätsforschung	155
5.4.2.1	Einführung	155
5.4.2.2	Einige Basisstrukturen komplexen Verhaltens	156
5.4.2.3	Einfache Modelle, Universalität und Unterricht	158
5.4.3	Systemdenken und vernetzte Systeme	160
5.4.3.1	Elemente systemischen Denkens	160
5.4.3.2	Möglichkeiten, Rückkopplungen und Grundmuster systemischen Verhaltens	161
5.4.4	Modelle komplexer Phänomene und Systemmodelle	163
5.5	Ansatz des Modellierens von Minimalmodellen komplexer Systeme zur Förderung des Modellverständnisses	164
5.5.1	Einführung	165
5.5.2	Das Klima - mehr als ein authentischer Kontext	165
5.5.3	Minimalmodell zur Förderung des Modellverständnisses	166
5.5.4	Iterierte Modellierung als Anlass zur Metareflexion	168
 III Empirischer Teil		 171
6	Unterricht über ein Minimalmodell zur Thermohalinen Zirkulation	173
6.1	Einführung	173
6.1.1	Der Unterricht über die Modellierung der Thermohalinen Zirkulation	173
6.1.2	Die Konstruktion des Unterrichtes	175
6.2	Das Dynasys-Modell zur Thermohalinen Zirkulation	176
6.3	Der Unterrichtsgang: Modelle der Thermohalinen Zirkulation	178
6.3.1	Zeitliche Planung der Unterrichtseinheit	178
6.3.2	Einführung in die Modellierung: Modell eines Wassertanks mit Zu- und Abfluss	179
6.3.2.1	Zielsetzung und Konzeption	179
6.3.2.2	Die Dynamik des Wassertanksystems: Fließgleichgewicht und Rückkopplung	180
6.3.2.3	Unterrichtsablauf	181
6.3.3	Der Film " <i>The Day after Tomorrow</i> " und die Thermohaline Zirkulation	182
6.3.3.1	Zielsetzung und Konzeption	182
6.3.3.2	Der Klimawandel im Film " <i>The Day after Tomorrow</i> " - alles nur Fiktion?	182
6.3.3.3	" <i>The Day after Tomorrow</i> " als Einführung in die Klimaproblematik	184
6.3.4	Der klimatologische Hintergrund für den Unterricht	185
6.3.4.1	Zielsetzung und Konzeption	185
6.3.4.2	Informationen über Eisbohrkerne, die Klimageschichte und die Thermohaline Zirkulation	185
6.3.4.3	Durchführung	186

6.3.5	Untersuchung der Thermohalinen Zirkulation: Das Strömungsexperiment	187
6.3.5.1	Zielsetzung	187
6.3.5.2	Das Strömungsexperiment	188
6.3.5.3	Durchführung	189
6.3.6	Das erste Dynasys-Modell zur Thermohalinen Zirkulation	190
6.3.6.1	Zielsetzung	190
6.3.6.2	Das Modell zum Strömungsexperiment: <i>modell1.dyn</i>	190
6.3.6.3	Durchführung	191
6.3.7	Das zweite Dynasys-Modell zur Thermohalinen Zirkulation	192
6.3.7.1	Zielsetzung	192
6.3.7.2	Dynamisches Fließgleichgewicht: <i>modell2.dyn</i>	192
6.3.7.3	Durchführung	193
6.3.8	Das dritte Dynasys-Modell zur Thermohalinen Zirkulation	194
6.3.8.1	Zielsetzung	194
6.3.8.2	Abrupte Änderungen: <i>modell3.dyn</i>	194
6.3.8.3	Durchführung	195
6.3.9	"Kommt eine neue Eiszeit?" - Diskussion im Unterricht	197
6.3.9.1	Zielsetzung und Hintergrund	197
6.3.9.2	Durchführung	197
7	Ergebnisse der Untersuchung	199
7.1	Untersuchungsdesign und -durchführung	199
7.1.1	Untersuchungsdesign und zeitlicher Ablauf	199
7.1.2	Strukturelle Voraussetzungen der Klassen	200
7.1.3	Forschungsfragen	200
7.1.4	Der Fragebogen	201
7.1.5	Der Datensatz	202
7.2	Konstruktion der Skalen	202
7.2.1	Skalen zum Interesse	202
7.2.1.1	Zielsetzung	202
7.2.1.2	Interesse an Physik	203
7.2.1.3	Interesse an Metafragen	203
7.2.1.4	Interesse am Klima	203
7.2.2	Computernutzung	205
7.2.3	Items zum Modellverständnis	206
7.2.4	Modellverständnis zum Teilchenbegriff	208
7.2.5	Modellverständnis bei Klimamodellen	209
7.2.6	Künstlichkeit des Dynasys-Modells	210
7.2.7	Beweiskraft von Klimamodellen	210
7.3	Auswertung der Aufgaben aus dem Fragebogen	211
7.3.1	Erklärungspotential des Dynasys-Modells	211
7.3.2	Wissen zur Thermohalinen Zirkulation	213
7.3.3	Bewertung eines ökonomischen Modells	213
7.3.4	Modelle des Lichts	213
7.4	Analyse der Ergebnisse	214

7.4.1	Skalen zum Interesse	214
7.4.1.1	Vergleich der Mittelwerte der Skalen	214
7.4.1.2	Analyse der Korrelationen	215
7.4.1.3	Interpretation der Ergebnisse	216
7.4.2	Skalen zur Computernutzung	217
7.4.2.1	Analyse der Skalen	217
7.4.2.2	Einfluss auf den Lernerfolg	217
7.4.3	Skalen zum Modellverständnis	218
7.4.3.1	Mittelwerte der Skalen	218
7.4.3.2	Zusammenhänge zwischen den Skalen	220
7.4.3.3	Vergleich der verschiedenen Kurse	221
7.4.4	Analyse der Gruppierung zum Erklärungspotential des Dynasys-Modells	223
7.4.5	Wissen zur Thermohalinen Zirkulation	224
7.4.6	Bewertung eines ökonomischen Modells	225
7.4.7	Vergleich der Kurse bei den Modellen des Lichts	226
7.4.8	Kommentare zur Unterrichtseinheit	227
7.5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	228
7.5.1	Interessensentwicklung	228
7.5.2	Modellverständnis im Bereich allgemeiner Modelle	228
7.5.3	Modellverständnis zu Klimamodellen	228
7.5.4	Modellverständnis in kontextfremden Bereichen	229
7.5.5	Vermittlung von Wissen	229
7.5.6	Hemmende und förderliche Faktoren für die Unterrichtsumsetzung	230
7.5.7	Ausblick	231
8	Zusammenfassung und Perspektiven	233
	Literaturverzeichnis	245
	Anhang	265
	A : Unterrichtsmaterialien und Arbeitsbögen	265
	B : Fragebögen	295