

Ist der zukünftige Klimawandel berechenbar?

Klimamodelle und Klimasimulationen

Tim *****, Klasse *****

Betreuerin: *****

01.11.2012

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung – Die Grundfrage der Klimamodelle	1
2. Zweck, Aufbau und Funktionsweise aktueller Klimamodelle	2
2.1 <i>Das Grundprinzip</i>	3
2.2 <i>Globale Klimamodelle (GCM)</i>	4
2.3 <i>Regionale Klimamodelle</i>	5
2.4 <i>Szenarien</i>	6
3. Probleme von Klimamodellen	7
Abbildungen	8
Quellenverzeichnis	9

1. Einleitung - Die Grundfrage der Klimamodelle

Der Klimawandel ist wohl eines der größten wissenschaftlichen und weltpolitischen Themen seit der Jahrhundertwende. Er hat Auswirkungen auf viele Fragen wie in Sachen der Umwelt, Energiegewinnung oder -versorgung. Doch wie dieser Klimawandel genau verlaufen wird, inwiefern er sich auswirkt, was sich genau am Klima ändern wird und in welchen Zeiträumen, das weiß niemand genau. Doch dass sich das Klima wandelt, steht fest. Viele Forscher versuchen mithilfe von sogenannten Klimamodellen und Klimasimulationen den zukünftigen Verlauf des Weltklimas und dessen regionale Einflüsse vorherzusagen. Eine in diesem Zusammenhang zu stellende Frage ist: Lässt sich der zukünftige Klimawandel überhaupt berechnen? Ist das momentane Wissen der Menschheit über die komplexen Abläufe des Klimas überhaupt ausreichend um hinreichend realitätsnahe Modelle zu entwickeln? Und wenn ja, sind die aktuellen Großcomputer überhaupt in der Lage derart komplexe Berechnungen durchzuführen?

Dies alles sind zentrale Fragen, die beantwortet werden müssen um auch einschätzen zu können ob bisherige Simulationen vertrauenswürdig genug sind um deren Ergebnisse als feste und unumstößliche Indikatoren für Berichte und Entscheidungen zu verwenden. Das Klimamodelle unverzichtbar sind, ist eine Tatsache - es ist jedoch dennoch wichtig, ihre Grenzen zu kennen und ihre Glaubwürdigkeit richtig einzustufen. Und genau das ist Sinn dieser Arbeit: Ich möchte feststellen ob sich der Klimawandel vorhersagen lässt und inwiefern Klimamodelle komplex genug sind, um wirklich vertrauenswürdig zu sein. Trotz meines geringen Fachwissens werde ich versuchen, diese Fragen auf möglichst logische Art und Weise mithilfe aktueller Erkenntnisse und Ergebnisse zu beantworten. Um jedoch der Beantwortung dieser Fragen näher zu kommen, muss man erst die grundlegende Funktionsweise aktueller Klimamodelle und Simulationen kennen und verstehen. Darüber hinaus ist es wichtig die größten Probleme von Klimamodellen zusammenzufassen und zu erkennen, welche Probleme lösbar sind und welche nicht.

Warum wähle ich dieses Thema? Ich finde es grundsätzlich sehr interessant, wie viel in der Klimaforschung, aber auch in der Wirtschaft, auf Modelle und Simulationen aufgebaut wird, obwohl aktuell noch viel darüber gestritten wird ob

diese Modelle momentan überhaupt in der Lage sind, wirklich aussagekräftig zu sein. Der Grund warum ich Klimamodelle für diese Arbeit wähle, ist offensichtlich: Wenige andere Zukunftsthemen haben eine derart große Bedeutung und ihre Simulationen beziehungsweise Modellierungen haben einen so großen Umfang und sind zu gleich so wichtig für die Zukunft, wie die des Klimas. Die Komplexität solcher Modelle ist beeindruckend und doch sind sie noch unvollständig und Fehleranfällig. Durch viele Prozesse die bisher nur unzureichend ergründet worden sind sowie mikroskalige Prozesse die zu klein sind um sie korrekt zu simulieren, ist es sehr schwer Modelle zu erstellen die das Klima über mehrere Jahrzehnte korrekt vorhersagen können. Falsche Vorhersagen können zu falschen Entscheidungen in der Politik sorgen, die sich meist auf große Klimaberichte stützt, wie zum Beispiel de IPCC-Sachstandsbericht. Dieser Klimawandel wird sich direkt auf unser Leben auswirken - Ihn nicht korrekt vorrausagen zu können ist keine schöne Vorstellung.

2. Zweck, Aufbau und Funktionsweise aktueller Klimamodelle

Klimamodelle dienen der Simulation der Klimaentwicklung der gesamten Welt oder in einer bestimmten Region. Sie werden eingesetzt, um eine Vorhersage der klimatischen Umstände in einer bestimmten zeitlichen Periode zu erhalten, um damit bestimmte Fragestellungen der zukünftigen Entwicklung, wie z.B. die Entwicklung des Kohlenstoffdioxidgehalts der Atmosphäre, zu beantworten.

Man unterscheidet zwischen **globalen Klimamodellen** (GCM - general circulation model) und **regionalen Klimamodellen**. Des Weiteren gibt es noch sogenannte mikroskalige (lokale) Modelle, die für sehr spezielle und räumlich stark begrenzte Fragestellungen zum Einsatz kommen.

Außerdem unterscheidet man auch zwischen **Prognosemodellen** und **Szenarienmodellen**. Prognosemodelle dienen der Vorhersage der möglichen klimatischen Entwicklung, die bereits vor Eintritt der Wirklichkeit benötigt werden. Szenarienmodelle werden hingegen genutzt, um Aussagen darüber zu treffen wie und wodurch sich bestimmte atmosphärische Umstände ändern.¹ Um die Probleme und Unsicherheiten von Klimamodellen zu beleuchten, muss man

¹ Vgl. http://www.tlug-jena.de/de/tlug/umweltthemen/klima/klimaforschung_anwendung/klimamodelle/content.html, Aufruf: 03.12.2012

erst einmal die grundlegende Funktionsweise von Klimamodellen verstehen. Diese werde ich im Folgenden erläutern.

2.1 Das Grundprinzip

Grundsätzlich gibt es zwei Arten von Klimamodellen, die sich in ihrer grundlegenden Funktionsweise unterscheiden: dynamische und statistische Klimamodelle.

Dynamische Klimamodelle arbeiten mit komplexen naturwissenschaftlichen Beziehungen, die durch physikalische, chemische und biologische Gleichungen beschrieben werden. Beispiele für solche Prozesse wären unter anderem die Veränderung der Temperatur, sowie Wind- und Meeresströmungen. Diese Gleichungen können natürlich nicht den insgesamten Zustand der Atmosphäre berechnen, sondern müssen räumlich abgegrenzt werden. Dies geschieht durch die Einteilung des simulierten Gebiets in ein räumliches Gitter. Die einzelnen „Würfel“ des Gitters haben in aktuellen Modellen meist Kantenlängen von 100 bis 200 km in der Horizontalen, sowie 100 m bis 10 km in der Vertikalen, wobei die Auflösung je nach Höhe variiert. Ein anschauliches Beispiel für verschiedene Gittergrößen im Horizontalen liefert *Abbildung 1*. Die zeitliche Einteilung erfolgt bei den meisten Modellen in drei bis fünf Minutenschritten.²

Dieses System von Gleichungen in einer zeitlich/räumlichen Einteilung wird mithilfe eines komplex gekoppelten Systems von nicht-linearen, partiellen sowie differential- und algebraischen Gleichungen in einen Zusammenhang gebracht. Da es jedoch klimatische Prozesse gibt, die zu klein sind um in einer solchen räumlichen und zeitlichen Auflösung dargestellt zu werden und dennoch eine große Relevanz für den gesamten Klimaprozess haben, müssen sogenannte Parametrisierungen vorgenommen werden: Dies sind statistische Beschreibungen des Einflusses von zu kleinräumigen klimatischen Prozessen um sie in das grobe Gitternetzmodell einzubauen. Es handelt sich dabei meist um empirische Parameter, die aus Messungen oder ähnlichem gewonnen wurden. Diese Parametrisierung ist die Hauptquelle für Modellunsicherheiten, da die Messergebnisse, die die Parameter bilden, oft nicht auf alle Orte und Zeiten

²

Vgl. http://www.atmosphere.mpg.de/enid/Nr_7_Maerz_2__6_Klimamodellierung/C__Wie_funktionieren_Klimamodelle_5j3.html, Aufruf 03.02.2013

angewendet werden können. Beispiele für solche Prozesse wären die Wolkenphysik oder auch die Niederschlagsbildung.^{3/4} (Siehe Abbildung 2: „Schematischer Aufbau eines Klimamodells“). Damit die Modelle überhaupt funktionieren können, benötigen sie sogenannte Anfangswerte. Diese fungieren als „Startvariablen“.

Statistische Klimamodelle arbeiten hingegen auf andere Art und Weise: Im Gegensatz zu dynamischen Modellen arbeiten sie durch das Extrapolieren von bereits gesammelten Klimadaten. Dabei werden ebenfalls Gitter und komplexe Gleichungssysteme verwendet, jedoch werden die klimatischen Prozesse nicht nachgebildet sondern nur auf bereits vorhandene Daten gebaut. Wechselwirkungen werden dadurch nicht abgebildet.⁵

In der Gesamtheit gesehen sind (sowohl statistische, als auch dynamische) Klimamodelle also komplexe Gleichungssysteme die mithilfe eines Gitternetzes und zeitlichen Unterteilungen ein globales oder regionales Klima mithilfe eines Computers simulieren. Die Leistungsfähigkeit und Genauigkeit eines Modells hängt also direkt mit der Auflösung der räumlichen und zeitlichen Einteilung, sowie der Genauigkeit der Parameter ab. Diese Auflösung wird jedoch durch die Rechenleistung der jeweiligen Computersysteme begrenzt.

Man unterscheidet auch zwischen globalen Klimamodellen (global climate model - GCM) und regionalen Klimamodellen. Im Folgenden werde ich die wichtigsten Unterschiede aufzeigen und verschiedene Modelle kurz vorstellen.

2.2 Globale Klimamodelle (GCM)

Bei globalen Klimamodellen handelt es sich um Modelle, die die Klimaentwicklung der ganzen Erde berechnen. Dabei werden vereinfachte Formen der klimatischen Prozesse genutzt, sowie ein recht grobes Gitter, da diese Modelle durch ihre Größe derart umfangreiche Berechnungen durchführen müssen, da exaktere beziehungsweise kleinere Gitterweiten den Rahmen der verfügbaren

³ Vgl. http://www.tlug-jena.de/de/tlug/umweltthemen/klima/klimaforschung_anwendung/klimamodelle/content.html, Aufruf: 03.12.2012

⁴ Vgl. Heiko Paeth, Klimamodellsimulationen, in: Der Klimawandel - Einblicke, Rückblicke und Ausblicke (Klimawandel); Herg.: Wilfried Endlicher, Friedrich-Wilhelm Gerstengarbe, Würzburg 2007, S.44-55, hier: S.47

⁵ Vgl. http://www.geodz.com/deu/d/statistische_Klimamodelle, Aufruf 03.02.2013

Rechenleistung sprengen würde. Meist handelt es sich um eine horizontale Auflösung von 250 bis zu 600 km, sowie 10 bis 20 vertikale Schichten (ohne die unter 0 liegenden Schichten für Ozeane einzurechnen, diese gehen meist bis zu 30 Schichten tief). Durch diese sehr grobe Auflösung müssen relativ viele Parametrisierungen genutzt werden, was für eine höhere Fehleranfälligkeit sorgt. Dennoch handelt es sich um das wichtigste Instrument für globale Vorhersagen der Klimaentwicklung.⁶

GCM's sind meist dynamische Klimamodelle, ein aktuelles Beispiel ist unter anderem das „Hadley global environment model 1“ (HadGEM1), welches vom nationalen meteorologischen Dienst des Vereinigten Königreichs (Met Office) entwickelt wird oder das ECHAM5 des Max-Planck-Institut für Meteorologie. Das ECHAM 5 wurde unter anderem für den 4. Sachstandsbericht des IPCC (intergovernmental panel on climate change, auch Weltklimarat genannt) genutzt.⁷

2.3 Regionale Klimamodelle

Regionale Klimamodelle simulieren nur einen bestimmten Bereich der globalen Atmosphäre, wie zum Beispiel einen Kontinent. Meist haben solche Modelle eine wesentlich höhere Gitternetzauflösung als GCM's und können klimatische Prozesse exakter wiedergeben. Jedoch benötigen solche Modelle geeignete Randbedingungen um zu funktionieren, da sie nicht die globale Atmosphäre simulieren, sondern nur einen Teil davon. Diese Randbedingungen stammen aus GCM's. Regionale Klimamodelle sind also direkt von GCM's abhängig. Sie werden daher oft verwendet um so genanntes „dynamic downscaling“ zu betreiben: Dies bezeichnet „das Einbetten eines regionalen Modells mit einer hohen räumlichen Auflösung in eine globales Klimamodell mit einer geringen räumlichen Auflösung“.⁸ Dynamische Regionale Modelle die nach dem beschriebenen Schema verfahren, werden auch als numerische regionale Klimamodelle bezeichnet, es gibt jedoch auch statistische regionale Klimamodelle. Auch diese sind von GCM's abhängig. (Statistical Downscaling)

⁶ Vgl. http://www.ipcc-data.org/ddc_gcm_guide.html, Aufruf: 04.12.2012 (Letze Änderung: 28.11.2011)

⁷ Vgl. http://www.ipcc-data.org/is92/gcm_data.html, Aufruf: 04.12.2012 (Letze Änderung: 28.11.2011)

⁸ http://thueringen.de/de/tlug/umweltthemen/klima/klimaforschung_anwendung/klimamodelle/, Aufruf: 04.12.2012 (Letzte Änderung: 14.06.2012)

Ein auch uns betreffendes Beispiel für ein statistisches Regionalmodell ist das deutsche STAR II (STATistisches Regionalisierungsmodell). Es handelt sich dabei um ein statistisches Klimamodell. Das STAR II benutzt bei der Simulation der zukünftigen Temperaturentwicklung die Ergebnisse von globalen Klimaprojektionen. Das bringt den Vorteil mit sich, dass nur geringe Rechnerkapazitäten nötig sind und daher schneller verschiedene Szenarien berechnet werden können. Allerdings beschränkt sich das Modell auf die Änderung der Jahresmitteltemperatur, wodurch die Ergebnisse eher ungenau sind. Des Weiteren können keine jahreszeitlich spezifischen Trends erfasst werden.⁹

2.4 Szenarien

Bisher habe ich nur die grundlegende mathematische Funktionsweise eines Klimamodells erläutert. Ein sehr wichtiges Element habe ich jedoch bisher nicht thematisiert: die Szenarien. Da ein Klimamodell kein allumfassendes „Weltmodell“ ist, welches den demographischen, technischen und ökonomischen Wandel berücksichtigt, müssen für solche außenstehenden Faktoren sogenannte Szenarien entwickelt werden.¹⁰

Klimamodelle sind im Grunde genommen die Grundlage für Klimaszenarien. Wichtige Faktoren wie die Bevölkerungsentwicklung, Emissionsentwicklung oder auch wichtige Entscheidungen oder Entwicklungen die solche Faktoren beeinflussen, werden anhand solcher Szenarien vorgegeben. Das Klimamodell selbst berechnet dann die klimatische Entwicklung unter Berücksichtigung der Faktoren, die durch das Szenario vorgegeben werden.¹¹

Die am meisten verwendeten Klimaszenarien sind die IPCC-Emissionsszenarien. Es gibt mehrere verschiedene Szenarienfamilien, die verschiedenen mögliche Entwicklungen beschreiben sowie auch verschiedene Vorgaben bieten.¹²

⁹ Vgl. <http://www.cec-potsdam.de/Produkte/Klima/STAR/star.html>, Aufruf: 02.01.2013 (Letzte Änderung: 20.01.2009)

¹⁰ Vgl. Heiko Paeth, Klimamodellsimulationen, in: Der Klimawandel - Einblicke, Rückblicke und Ausblicke (Klimawandel); Herg.: Wilfried Endlicher, Friedrich-Wilhelm Gerstengarbe, Würzburg 2007, S.44-55, hier: S.48

¹¹ Vgl. Maria J. Welfens, Klimaszenarien - Methoden und Erkenntnisse, von Bundeszentrale für politische Bildung (Dossier Klimawandel), 2008 (siehe auch <http://www.bpb.de/gesellschaft/umwelt/klimawandel/38455/klimaszenarien>)

¹² Vgl. Intergovernmental Panel of Climate Change, IPCC Special Report Emissions Scenarios, 2000, S.4-5

3. Probleme von Klimamodellen

Nachdem nun die grundlegende Funktionsweise von Klimamodellen geklärt ist, kommen wir der eigentlichen Fragestellung näher: Was für Probleme ergeben sich bei der Berechnung des zukünftigen Klimas?

Es gibt im Grunde genommen 3 Hauptprobleme der Klimamodelle: Zum einen sind es die unzureichend erforschten und damit auch unzureichend simulierbaren Klimaphänomene wie zum Beispiel der El-Nino oder auch die North Atlantic Oscillation¹³, die sich negativ auf die korrekte Berechnung klimatischer Wechselwirkungen auswirken.

Ein weiteres großes Problem sind sehr kleinflächige Klimafaktoren, wie zum Beispiel Wolken, die zu klein sind um im normalen Gitter dargestellt zu werden aber dennoch eine wichtige Rolle für das Gesamtklima spielen. Dieses Problem spiegelt zugleich die Tatsache wieder, dass die Gitterauflösung der Modelle oft noch zu groß ist, die Rechenleistung aber oft nicht mehr hergibt.

Das dritte große Problem ist die Datengrundlage mit denen die Modelle arbeiten. Zwar gibt es seit gut 200 Jahren eine regelmäßige Aufzeichnung von meteorologischen Daten, jedoch wandelten sich die Genauigkeiten der Messinstrumente, Ort der Wetterstationen und auch die Dichte dieser mit der Zeit. Das sorgt für eine teilweise unsichere Datenlage und damit auch (besonders bei statistischen Modellen) zu fehlerhaften Folgeberechnungen.

¹³ Siehe auch <http://www.zaik.uni-koeln.de/AFS/Projects/MultiMedia/TEMPI/klima/klimaText.html>; Aufruf 05.02.2013 (Letzte Änderung: 19.02.2002)

Abbildungen

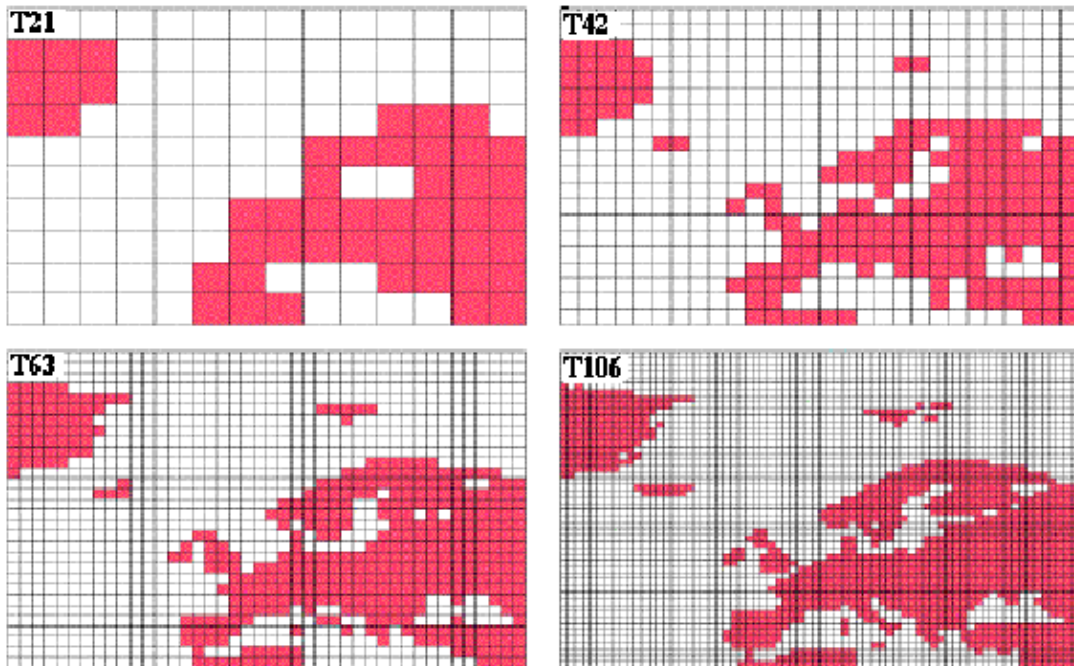


Abbildung 1: „Beispiel für verschiedene Gitterauflösungen“

Quelle: <http://www.atmosphere.mpg.de/media/archive/8181.gif>

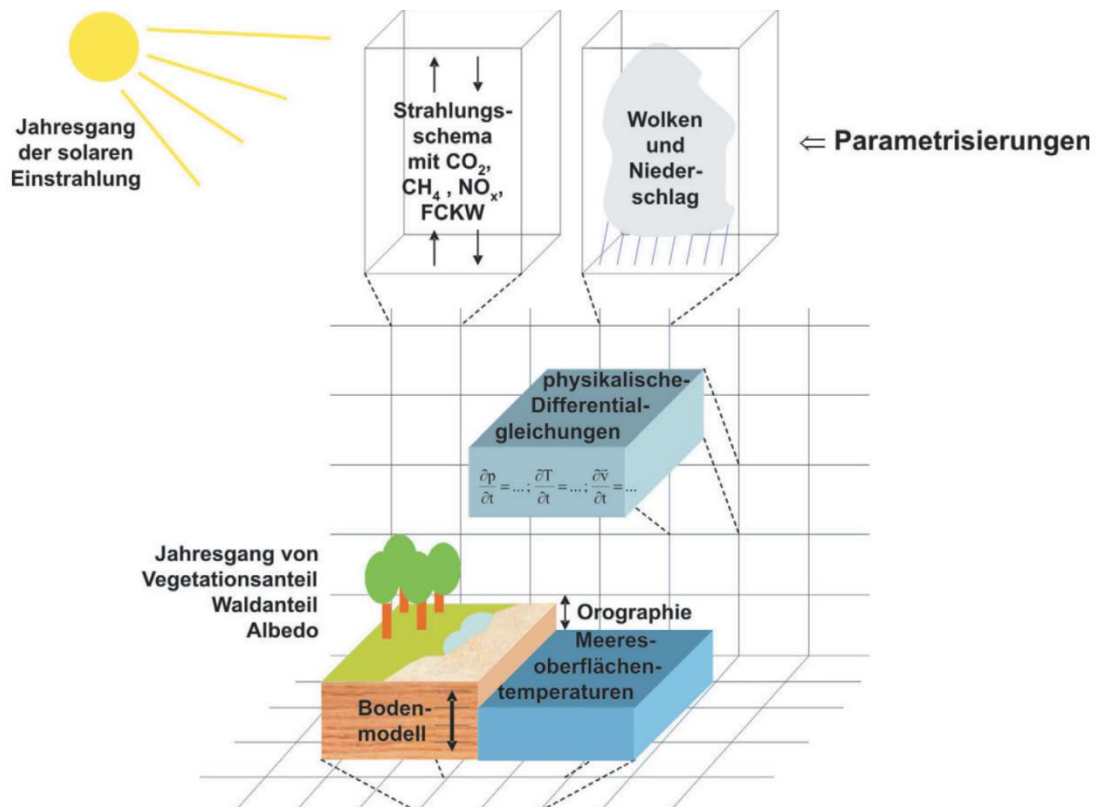


Abbildung 2: „Schematischer Aufbau eines Klimamodells“

Aus: Heiko Paeth, Klimamodellsimulationen, in: Der Klimawandel - Einblicke, Rückblicke und Ausblicke (Klimawandel); Hersg.: Wilfried Endlicher, Friedrich-Wilhelm Gerstengarbe, Würzburg 2007, S.44-55, hier: S.46

Quellenverzeichnis

1. [Online] [Zitat vom: 03. 12 2012.] http://www.tlug-jena.de/de/tlug/umweltthemen/klima/klimaforschung_anwendung/klimamodelle/content.html.
2. [Online] [Zitat vom: 03. 02 2013.] http://www.atmosphere.mpg.de/enid/Nr_7_Maerz_2__6_Klimamodellierung/C__Wie_funktionieren_Klimamodelle_5j3.html.
3. **Paeth, Heiko.** Klimamodellsimulationen. *Der Klimawandel - Einblicke, Rückblicke und Ausblicke (Klimawandel)*. Würzburg : Wilfried Endlicher, Friedrich-Wilhelm Gerstengarbe, 2007, S. S. 44-55.
4. [Online] [Zitat vom: 03. 02 2013.] http://www.geodiz.com/deu/d/statistische_Klimamodelle.
5. [Online] 28. 11 2011. [Zitat vom: 04. 12 2012.] http://www.ipcc-data.org/ddc_gcm_guide.html.
6. [Online] 28. 11 2011. [Zitat vom: 04. 12 2012.] http://www.ipcc-data.org/is92/gcm_data.html.
7. [Online] 14. 06 2012. [Zitat vom: 04. 12 2012.] http://thueringen.de/de/tlug/umweltthemen/klima/klimaforschung_anwendung/klimamodelle/.
8. [Online] 20. 01 2009. [Zitat vom: 02. 01 2013.] <http://www.cec-potsdam.de/Produkte/Klima/STAR/star.html>.
9. **Welfens, Maria J.** *Klimaszenarien – Methoden und Erkenntnisse*. s.l. : Bundeszentrale für politische Bildung (Dossier Klimawandel), 2008.
10. [Online] [Zitat vom: 04. 02 2013.] http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=dwdwww_start&T99803827171196328354269gsbDocumentPath=Navigation%2FOeffentlichkeit%2FHomepage%2FKlimawandel%2FKlimawandel__neu__Klimaszenarien__node.html%3F__nnn%3Dtrue.
11. [Online] 19. 02 2002. [Zitat vom: 05. 02 2013.] <http://www.zaik.uni-koeln.de/AFS/Projects/MultiMedia/TEMPI/klima/klimaText.html>.
12. **Intergovernmental Panel of Climate Change.** *IPCC Special Report Emissions Scenarios*. 2000.