

Klimaszenarien – mögliche Pfade des zukünftigen Klimas

1. Ursachen für Unsicherheiten in der Klimavorhersage

Hochauflösende komplexe Modelle können die physikalischen Prozesse des Klimasystems mittlerweile sehr genau beschreiben und prognostizieren. Dennoch sind diese Berechnungen mit zahlreichen und gravierenden Unsicherheiten behaftet. Diese lassen sich grob in drei Gruppen einteilen:

- Unsicherheiten, die aus der begrenzten Kenntnis über das Klimasystem resultieren und
- Unsicherheiten, die in den Defiziten von Klimamodellen begründet sind
- Unsicherheiten, die die externen Einflussfaktoren auf das Klima betreffen

1.1 Kenntnis über das Klimasystem und Modelldefizite

Diese Unsicherheiten haben wir bereits im Unterricht angesprochen. Trotz der ständigen Erweiterung der Kenntnisse über das Klimasystem, ist seine Dynamik immer noch nur begrenzt erforscht. Das betrifft vor allem Rückkopplungsprozesse und kleinräumige Vorgänge. So ist zumindest quantitativ ungewiss, wie sich ein wärmeres Klima zusammen mit einem höheren Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre auf die Vegetation auswirken und deren Veränderung wiederum das Klima und den CO₂-Gehalt beeinflussen wird. Noch nicht hinreichend erfasst sind außerdem viele Aspekte der Atmosphärenchemie und -physik mit ihrem Einfluss auf die Wolkenbildung und deren Einfluss auf den atmosphärischen Strahlenhaushalt. Hinzu kommt, dass diese Prozesse in den Modellen nicht adäquat dargestellt werden können, da die Auflösung der Modellrechnungen das nicht zulässt. Hier gibt die Leistungsfähigkeit der Computer trotz der rasanten Entwicklung der letzten Jahrzehnte noch immer eine Grenze vor. Auch kann nicht mit Sicherheit gesagt werden, ob und wann das Klima bei Überschreitung gewisser Grenzzustände "Sprünge" machen wird, d. h. plötzlich in einen anderen Zustand umkippt, wie es z.B. durch ein Aussetzen der thermohalinen Zirkulation am Ende der letzten Kaltzeit tatsächlich vorgekommen ist.

1.2. Externe Einflussfaktoren

Klimaprojektionen über die nächsten 100 Jahre gehen aufgrund der Beobachtung der Vergangenheit davon aus, dass in diesem relativ kurzen Zeitraum die natürlichen externen Einflussfaktoren keine wesentlichen Veränderungen des globalen Klimas bewirken werden, auch wenn solche Möglichkeiten, z.B. eine Serie von starken Vulkanausbrüchen oder bisher nicht beobachtete Veränderungen in der Sonnenaktivität, nicht völlig ausgeschlossen werden können. Der größte Unsicherheitsfaktor wird vielmehr in der Wirkung des Menschen auf das Klima gesehen. Niemand kennt die Entwicklung der Weltgesellschaft über die nächsten Jahrzehnte bzw. kann die Bevölkerungsentwicklung genau bestimmen, die Veränderung des Konsumverhaltens, den Energieverbrauch, die Nutzung von Energiequellen, die technologische Entwicklung, das Ausbrechen von Kriegen usw. vorhersagen. Diese Unsicherheit findet ihren Ausdruck darin, dass der IPCC ein differenziertes Spektrum von Emissionsszenarien für Treibhausgase entwickelt hat, um auf diese Weise den unterschiedlichen Entwicklungsmöglichkeiten der Weltgesellschaft Rechnung zu tragen. Klimaprojektionen sind folglich immer Wenn-dann-Aussagen. Sie haben nicht den Anspruch, "die" Zukunft zu zeigen, sondern sie projizieren mögliche bzw. unter bestimmten Grundannahmen wahrscheinliche zukünftige Entwicklungen.

2. Zusammenfassung der Unsicherheiten

Die Kombination aller Unsicherheiten führt zu einer unbegrenzten Anzahl von möglichen zukünftigen Entwicklungen mit einer großen Spanne an möglichen Klimazuständen zum Ende des 21. Jahrhunderts und darüber hinaus. Die wichtigsten Fragen lauten in diesem Zusammenhang:

1. Wie wird sich die Menschheit weiter entwickeln, und welche Emissionen und sonstigen Einflüsse hat das zur Folge?
2. Wie werden sich die Emissionen auf die Konzentrationen von Treibhausgasen auswirken? Wie viel wird durch die Senken im Kohlenstoffkreislauf, nämlich Land-Biosphäre und Ozean, wieder aufgenommen und wie viel verbleibt in der Atmosphäre?
3. Wie wird sich eine bestimmte Konzentration auf das Klima der Zukunft auswirken?

Aus einer Reihe von möglichen gesellschaftlichen Entwicklungen von der Gegenwart bis in die Zukunft folgen Szenarien der Treibhausgas-Emissionen. Aus diesen resultieren verschiedene Möglichkeiten der Treibhausgas-Konzentration und daraus wiederum mehrere mögliche Klimaentwicklungen. Ergebnisse mit verschiedenen Modellen des Kohlenstoffkreislaufs zeigen, dass die Unsicherheitsspanne der CO₂-Konzentrationen und des Klimas um 2100 für ein und dasselbe Emissionsszenario ungefähr so groß ist wie der Unterschied zwischen den Szenarien bei einem bestimmten Kreislaufmodell.

Kurz gesagt: Die Unsicherheiten des menschlichen Verhaltens sind ungefähr genauso wichtig wie die Unsicherheiten des Klimasystems; sie tragen zur am Ende resultierenden Unsicherheitsspanne etwa gleich viel bei.

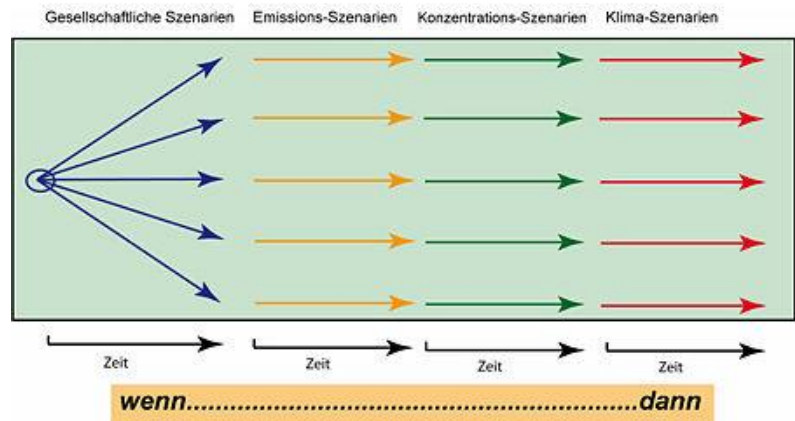


Abb. 1: Szenarien-Diagramm für die IPCC-Emissionsszenarien. Jedem Emissionsszenario entspricht dabei ein konkretes Konzentrations- und Klimaszenario.

3. RCP-Szenarien (Standard des neuen IPCC-Berichts)

Für den 5. Sachstandsbericht des IPCC, der ganz aktuell im September 2013 erschienen ist, wurden sogenannte „Repräsentative Konzentrationspfade“ (Representative Concentration Pathways - RCPs) entwickelt, die die früheren Szenarien ersetzen. Diese neuen sozioökonomischen und Konzentrations-Szenarien werden nicht vom IPCC, sondern von frei arbeitenden Wissenschaftlern erarbeitet und stützen sich auf Ergebnisse der wissenschaftlichen Literatur. Das Ergebnis sind bisher vier Szenarien mit den in Tab. 1 gezeigten Strahlungsantrieben 1850-2100 und Treibhausgaskonzentrationen im Jahr 2100. Zugrunde liegen den Szenarien die in Abb.2 dargestellten Bevölkerungsentwicklungen und Entwicklungen des Primärenergieverbrauchs.

RCP-Szenarien für den 5. IPCC-Sachstandsbericht				
Bezeichnung	RCP8.5	RCP6.0	RCP4.5	RCP2.6
Treibhausgaskonzentration im Jahre 2100	1370 ppm CO ₂ -äq	850 ppm CO ₂ -äq	650 ppm CO ₂ -äq	400 ppm CO ₂ -äq
Strahlungsantrieb 1850-2100	8,5 W/m ²	6,0 W/m ²	4,5 W/m ²	2,6 W/m ²
Einstufung	sehr hoch	hoch	mittel	sehr niedrig

Tab. 1: RCP-Szenarien für den 5. IPCC-Sachstandsbericht

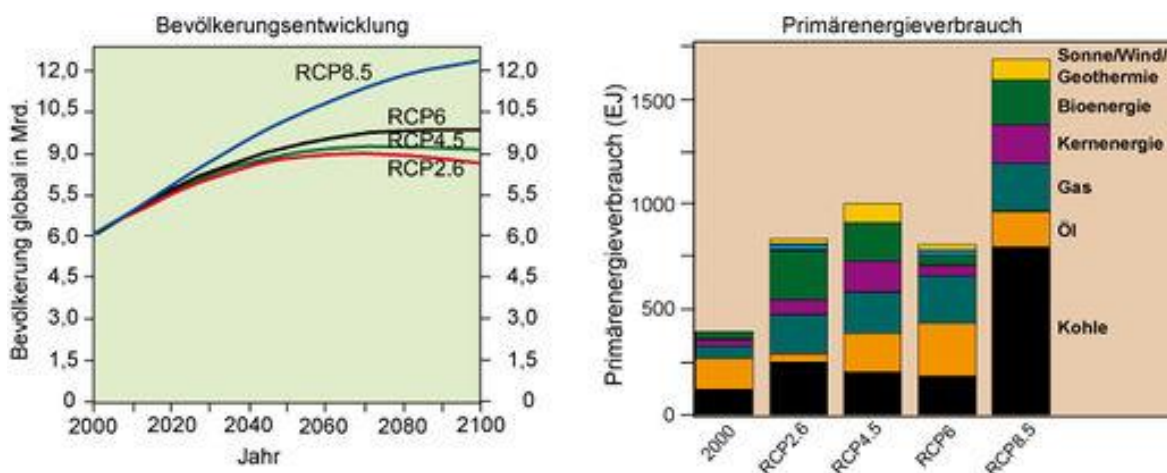


Abb.2: Bevölkerungsentwicklung und Primärenergieverbrauch bis 2100 nach den neuen Repräsentativen Konzentrationspfaden (Representative Concentration Pathways - RCPs)

Außerdem wurden ergänzende Szenarien bis 2300 entwickelt, die als Extended Concentration Pathways (ECPs) bezeichnet werden.

Die Bezeichnung "repräsentativ" weist darauf hin, dass es sich um Repräsentationen für einen größeren Satz an Szenarien handelt. Anders als bei den SRES-Emissionsszenarien wird bei den neuen Szenarien der Schwerpunkt nicht auf die Emission, sondern auf die Konzentration und den Strahlungsantrieb der Treibhausgase gelegt. Nach dem Strahlungsantrieb sind denn auch die Szenarien benannt (RCP6.0 steht für $6,0 \text{ W/m}^2$ von 1850 bis 2100). Die zugrunde liegenden sozio-ökonomischen Annahmen berücksichtigen die Bevölkerungszunahme, das Bruttosozialprodukt, den Energieverbrauch u.a. Faktoren.

4. Die älteren IPCC-Emissionszenarien

Der IPCC-Bericht von 2001 ("*Third Assessment Report*") basiert auf nahezu 40 Szenarien, die je nach Annahme über die weitere Entwicklung der menschlichen Weltgesellschaft in vier "Familien" (A1, B1; A2, B2; vgl. die nebenstehende Grafik) gegliedert sind. Die dem Schulprojekt zur Verfügung gestellten Daten basieren auf den SRES-Szenarien, da es sich um Datensätze handelt, die von den Wissenschaftlern bereits ausgewertet wurden. Da bislang kaum Klimamodelle existierten, die die Quellen und Senken von Kohlendioxid und deren Abhängigkeit von CO_2 -Konzentration und Klima mit beinhalteten, musste man diesen Modellen einen CO_2 -Gehalt vorgeben, aus dem sie dann das Klima berechneten. Für jede der vier Emissionszenario-Familien wurden dazu CO_2 -Konzentrationen mit zwei verschiedenen Modellen eines vereinfachten Kohlenstoffkreislaufs errechnet. Diese wurden dann als Grundlage für den dritten und vierten IPCC-Sachstandsbericht verwendet.

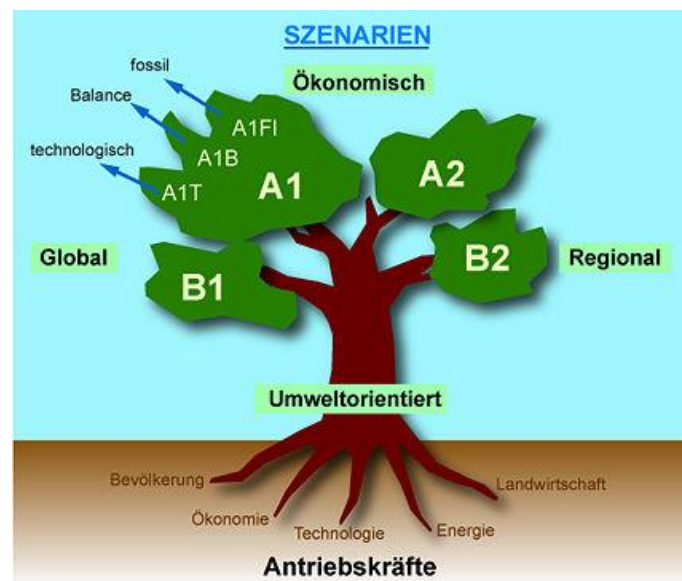


Abb.3: Anschauliche Darstellung der vier SRES- Szenario-Familien des IPCC

Die Emissions-Szenarien des IPCC-Sonderberichtes über Emissions-Szenarien (SRES)

A1. Die A1-Modellgeschichte beschreibt eine zukünftige Welt mit sehr raschem Wirtschaftswachstum, einer Mitte des 21. Jahrhunderts kulminierenden und danach rückläufigen Weltbevölkerung, und rascher Einführung neuer und effizienterer Technologien. Wichtige grundlegende Themen sind Annäherung von Regionen, Entwicklung von Handlungskompetenz sowie zunehmende kulturelle und soziale Interaktion bei gleichzeitiger substantieller Verringerung regionaler Unterschiede der Pro-Kopf-Einkommen. Die A1-Szenarien-Familie teilt sich in drei Gruppen auf, die unterschiedliche Ausrichtungen technologischer Änderungen im Energiesystem beschreiben. Die drei A1-Gruppen unterscheiden sich in ihrer technologischen Hauptstoßrichtung: fossil-intensiv (A1FI), nichtfossile Energiequellen (A1T) oder eine ausgewogene Nutzung aller Quellen (A1B) (wobei ausgewogene Nutzung definiert ist als eine nicht allzu große Abhängigkeit von einer bestimmten Energiequelle und durch die Annahme eines ähnlichen Verbesserungspotentials für alle Energieversorgungs- und Verbrauchs-technologien).

A2. Die A2-Modellgeschichte beschreibt eine sehr heterogene Welt. Das Grundthema ist Autarkie und Bewahrung lokaler Identitäten. Regionale Fruchtbarkeitsmuster konvergieren nur sehr langsam, was eine stetig zunehmende Bevölkerung zur Folge hat. Die wirtschaftliche Entwicklung ist vorwiegend regional orientiert und das Pro-Kopf-Wirtschaftswachstum und technologische Veränderungen sind bruchstückhafter und langsamer als in anderen Modellgeschichten.

B1. Die B1- Modellgeschichte beschreibt eine sich näher kommende Welt, mit der gleichen, Mitte des 21. Jahrhunderts kulminierenden und danach rückläufigen Weltbevölkerung wie in der A1-Modellgeschichte, jedoch mit raschen Änderungen der wirtschaftlichen Strukturen in Richtung einer Dienstleistungs- und In-

formationswirtschaft, bei gleichzeitigem Rückgang des Materialverbrauchs und Einführung von sauberen und ressourcen-effizienten Technologien. Das Schwergewicht liegt auf globalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit, einschließlich erhöhter sozialer Gerechtigkeit, aber ohne zusätzliche Klimainitiativen.

B2. Die B2-Modellgeschichte beschreibt eine Welt mit Schwerpunkt auf lokalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit. Es ist eine Welt mit einer stetig, jedoch langsamer als in A2 ansteigenden Weltbevölkerung, wirtschaftlicher Entwicklung auf mittlerem Niveau und weniger raschem, dafür vielfältigerem technologischem Fortschritt als in den B1- und A1-Modellgeschichten. Obwohl das Szenario auch auf Umweltschutz und soziale Gerechtigkeit ausgerichtet ist, liegt der Schwerpunkt auf der lokalen und regionalen Ebene.

Für jede der **sechs Szenarien-Gruppen** A1B, A1FI, A1T, A2, B1 und B2 wurde ein illustratives Szenario gewählt. Alle sollten als gleich stichhaltig betrachtet werden. Die SRES-Szenarien beinhalten keine zusätzlichen Klimainitiativen, d.h. es sind keine Szenarien berücksichtigt, die ausdrücklich eine Umsetzung des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) oder den Emissionszielsetzungen des Kyoto-Protokolls annehmen.

Aufgabe 1:

Vergleiche die RCP-Szenarien untereinander und beschreibe sowohl die Szenarien also auch die Unterschiede zwischen den Szenarien.

Aufgabe 2:

Auch wenn die RCP- und SRES- Szenarien nicht direkt vergleichbar sind, weil sie im Modell ganz anders berücksichtigt werden, kann man zu den neuen RCP- Szenarien vergleichbare „alte“ SRES-Szenarien finden. Ordnen den neuen Szenarien jeweils ein vergleichbares altes Szenario zu.

Aufgabe 3 (2 Wochen Bearbeitungszeit):

Weitere Informationen über die oben erwähnten Kipppunkte im Klimasystem erhältst du unter:
http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Kipppunkte_im_Klimasystem

Arbeitsauftrag:

Lies die Informationen zu dem dir zugeteilten Thema, recherchiere darüber hinaus selbstständig und bereite eine 5-6 minütige Präsentation (Poster oder Powerpoint) zum Thema vor, die du am 28.10.2013 in der Seminarstunde

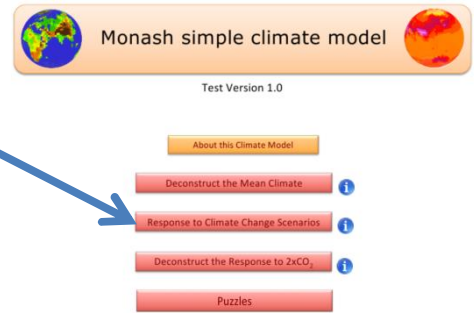
Quellen:

Dieter Kasang

<http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Klimaszenarien> (gesichtet am 09.10.2013)

Klimaszenarien im Monash Simple Climate Model

Das Monash Modell bietet dir die Möglichkeit einige Szenarien auszuwerten. Dazu wählst du im Hauptmenü den 2. Balken aus. Dieses Modul ermöglicht es dir die Klimaveränderungen für eine Reihe von Szenarien zu untersuchen.



Aufgabe 1:

Untersuche die Veränderungen der Oberflächentemperatur (surface temperature) bis zum Jahr 2100 für unterschiedliche Szenarien.

Beschreibe Stichwortartig welche Regionen am stärksten von einer Erwärmung betroffen sind.

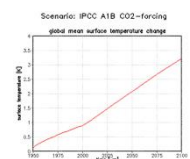
Szenario	ΔT Europa	ΔT global	Regionale Struktur/saisonale Unterschiede
RCP8.5			
RCP4.5			
RCP6			
RCP3PD			
A1B			

Aufgabe 2:



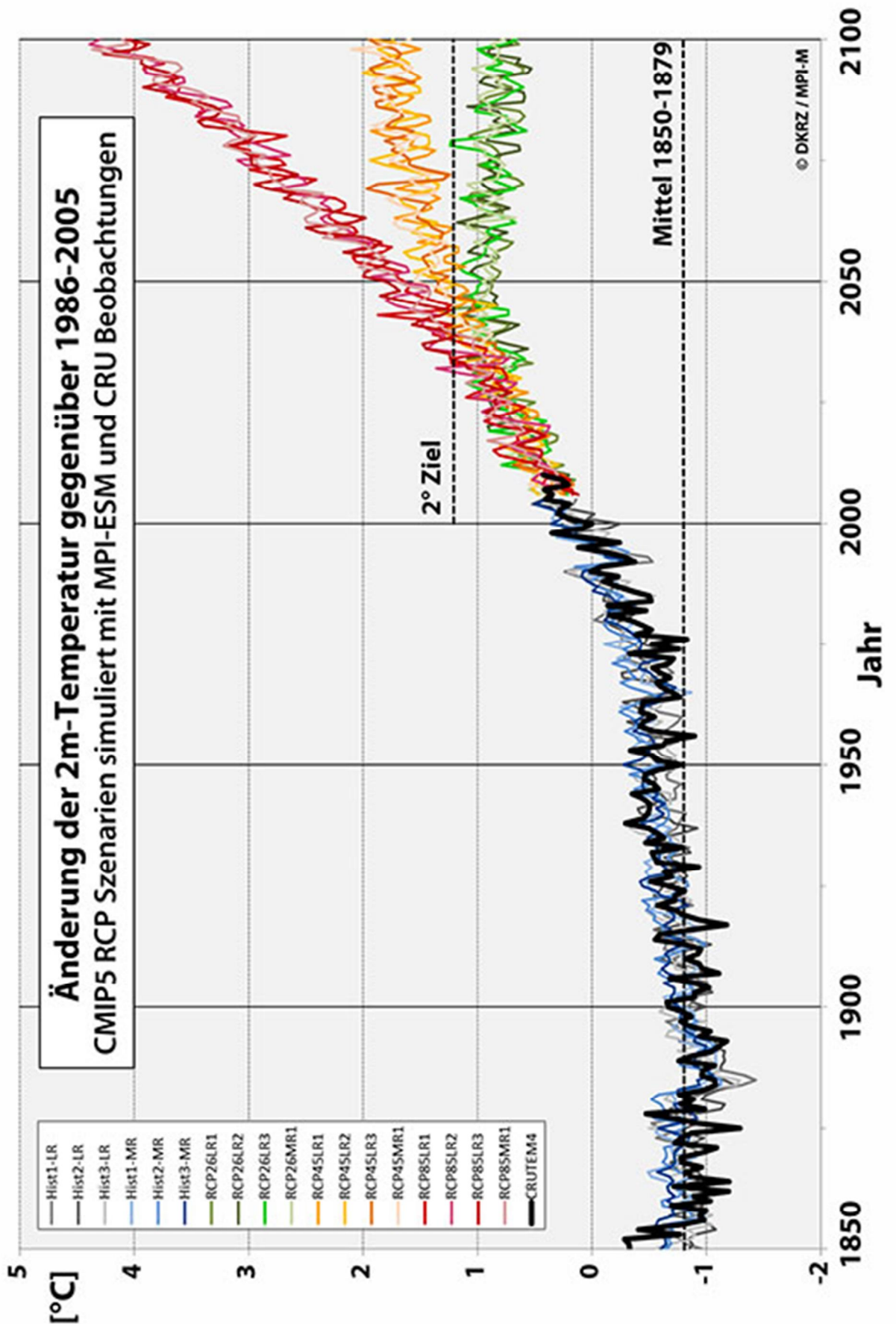
Der Erwärmungseffekt ist auf der jeweiligen Winterhemisphäre am stärksten. Vermute, welche Ursachen es für diese Beobachtung geben könnte.

Aufgabe 3:



Beurteile das Monash Simple Climate Model in seiner Prognosequalität, indem du die simulierten Zeitserien für RCP8.5 und RCP4.5 mit denen anderer Modelle vergleichst. Übertrage dazu die Modelldaten (Zeitreihen) in die Graphik im Anhang.





Änderung der globalen Mitteltemperatur bis 2100 nach RCP-Szenarien im Vergleich zum Mittel 1886-2005: RCP8.5 (rot), RCP4.5 (orange), RCP2.6 (grün)

Lösungen:**Aufgabe 1:**

So geht RCP8.5 von 12 Milliarden Menschen auf der Erde um 2100 aus, RCP2.6 dagegen nur von 9 Milliarden. Der Primärenergieverbrauch wird von RCP8.5 dreimal so hoch wie heute angenommen, von den anderen Szenarien doppelt so hoch. Unterschiede bestehen auch im Energiemix, z.B. mit einem sehr geringen Öl-Anteil bei RCP2.6 und einem sehr hohen Anteil von fast 50 % von Kohle bei RCP8.5. Die Kohlendioxid-Emissionen werden nach RCP8.5 von fast 10 GtC/Jahr in der Gegenwart auf fast 30 GtC/Jahr am Ende des Jahrhunderts steigen, bei RCP2.6 dagegen um das Jahr 2080 auf Null fallen.^[2]