

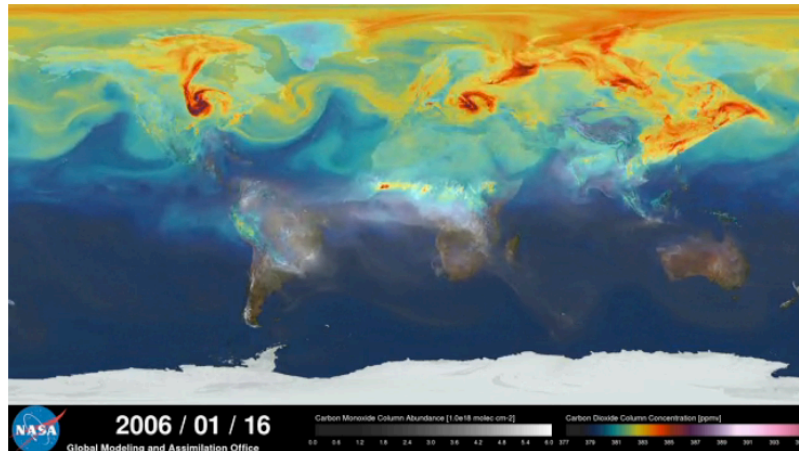
Kohlenstoffkreislaufmodelle

Modul Umwelt und Wandel

05.05.2020, 18:00 Uhr

Vortrag von [Joachim Gruber](#)

COVID-19-bedingt als Präsentation im Internet
ursprünglich geplanter Veranstaltungsort:
Hörsaal 2, Haus 1, Hochschule Neubrandenburg

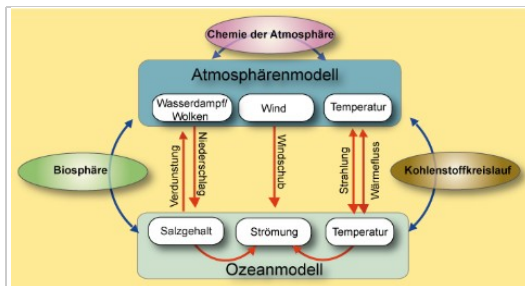


Die Erde atmet CO₂ - eine Aneinanderreihung von 4 Videos
1. Video: CO₂-Strömungen, Jan. – Dez. 2006
2. Video: CO₂-Konzentrationen, Sept. 2002 – Juli 2008
Farbkodierung: rot (blau) – hohe (niedrige) Konzentration
3. und 4. Video: Temperaturanstieg, 1886 – 2016
Farbkodierung: rot (blau) - höher (niedriger) als im fest gewählten Vergleichszeitraum
Musik: Johann Sebastian Bach - Erbarme dich, mein Gott
Birgit Finnilä, Johannes Somary, English Chamber Orchestra (1977)
[Adresse](#) dieses Videos

Zusammenfassung

Ein breites Spektrum von Klimamodellen unterschiedlicher Komplexität hilft uns beim Bewältigen der Klimakrise. An einem Ende des Spektrums sind die "Erdsystemmodelle" (ESM) mit ihrem hohen Anspruch an feiner Auflösung der grundlegenden Prozesse, dem sie mithilfe von sehr starken Computern nachkommen. Ihre Ergebnisse sind so nahe an dem, was wir als Realität erkennen, dass man Arbeiten mit ihnen als "Klimalexperimente" bezeichnet. Auf der entgegengesetzten Seite des Spektrum stehen die konzeptionellen Modelle, die mit ausgeklügelter Mathematik statt Computerpower unsere Vorstellungen von klimarelevanten Prozessen formulieren. Die Mathematik macht es möglich, mit ganz geringer Computer-Power ganz ähnliche Ergebnisse zu erzeugen, wie mit den ESMs.

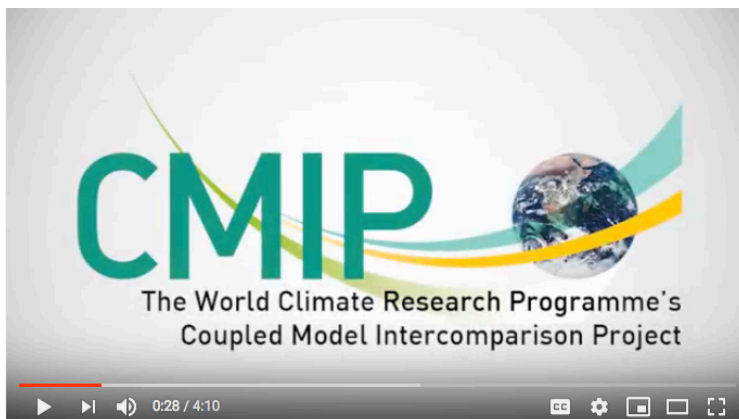
Experimente mit dem Klima: Erdsystemmodelle (ESMs/EMICs) und das CMIP5



Quelle: <https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Klimamodelle>

Abb. 1: Schema eines gekoppelten Ozean-Atmosphärenmodells (Atmosphäre–Ocean General Circulation Model, AOGCM) mit Biosphären- und Kohlenstoffkreislauf-Modell. Ein Erdsystemmodell hoher und mittlerer Komplexität (ESM oder EMIC) ist so aufgebaut.

Erdsystemmodelle hoher und mittlerer Komplexität (ESMs/EMICs), wie sie im Climate Model Intercomparison Project (CMIP) zusammengeführt werden, werden verwendet, um vergangene Klimaentwicklungen zu reproduzieren und mögliche zukünftige vorherzusagen. Man spricht von den Ergebnissen als "Klimalexperimenten".



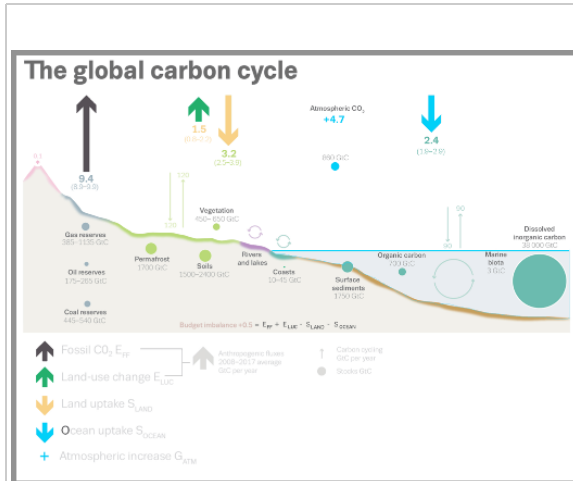
CMIP5 Einführung - auf das Bild klicken, um das Video zu starten

Anschließend führt YouTube zu [Sara Harris](#), Dept. Earth, Ocean and Atmospheric Sciences, University of British Columbia, Canada

- Teil 4.1 [The Unperturbed Carbon Cycle: Stocks and Flows](#)
 - CO₂ cycles
 - The vegetation breathes (annual cycles of CO₂)
 - The ocean breathes ((20, 40, 100) ky cycles): together with Milankowitch cycles generate glacier cycles (CLIMBER, look here)
 - The rocks breathe (100 10⁶ years cycles): GEOCARB (look here)
- Teil 4.2 [Human Perturbations of the Carbon Cycle](#)
- Teil 5.1 [Introduction to Climate Modeling](#) der University of British Columbia [Climate Literacy](#) Video-Serie. Hilfreich ist
- Teil 5.2 [Choice Climate Modelers Make](#)

Weil sich Kohlendioxid innerhalb kurzer Zeitspannen global verteilt (Video am Anfang dieser Seite), liegt die Hypothese nahe, dass der Kohlenstoffkreislauf losgelöst von den restlichen in Abbildung 1 dargestellten Prozessen die globale Erwärmung bestimmen könnte.

Kohlenstoffkreislaufmodelle können schon allein auf sich gestellt die Ergebnisse von Klimaexperimenten reproduzieren.



Quelle: <https://www.earth-syst-sci-data.net/10/2141/2018/essd-10-2141-2018-102.png>
 Auf Bild klicken, um C.le Queres Video-Darstellung des Kohlenstoffmodells zu sehen

Abb. 2a Schematische Darstellung der durch anthropogene Aktivitäten verursachten allgemeinen Störung des globalen Kohlenstoffkreislaufs, gemittelt global für das Jahrzehnt 2008-2017.

Zwei Kohlenstoffquellen

1. Verbrennung von Kohle, Öl und Gas: 9.4 GtC/a = 34 GtCO₂/a
2. Eingriffe in die Vegetation ("Land Use Change", überwiegend Waldbrände, aber auch Ackerbau, Tierhaltung und mehr): 1.5 GtC/a (= 5.5 GtCO₂/a)

stehen drei Kohlenstoffsenken gegenüber

1. Atmosphäre: 3.8 GtC/a = 13.9 GtCO₂/a
2. Land (Vegetation, Böden): 3.2 GtC/a = 11.7 GtCO₂/a
3. Ozean: 2.4 GtC/a = 8.8 GtCO₂/a

Die Senken **variieren** mit der Zeit, und damit verändert sich die Rate, mit der die Kohlenstoffmenge in der Atmosphäre und die Erderwärmung ansteigt.

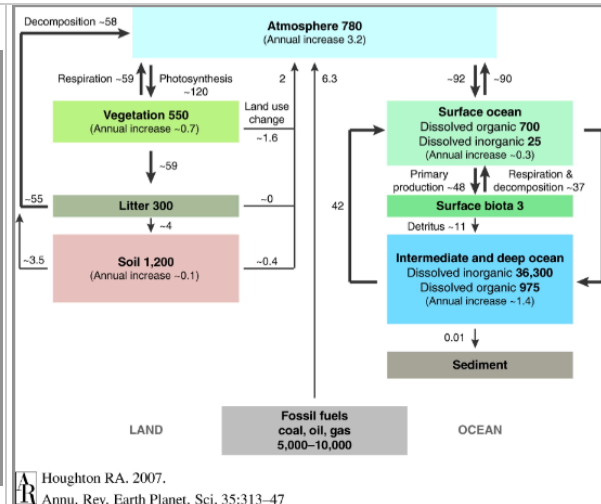
Die Erde würde sich schneller infolge unserer globalen Kohlenstoff-Emissionen erwärmen, wenn die Kohlenstoff-Puffer im Boden und Ozean nicht etwa die Hälfte unserer Emissionen aufnehmen und damit die Klimakrise bremsen würden. Es ist daher wichtig, die Mechanismen zu verstehen, die hinter diesen Bremsen stehen.

Einheiten GtC, GtCO₂:

1 GtC = 1 Milliarde Tonnen Kohlenstoff.

1 GtCO₂ = 1 Milliarde Tonnen Kohlendioxid.

Weil das Molekulargewicht von CO₂ das 3.67-fache des Molekulargewichts von C ist, enthält 1 GtC ein Gewicht von 3.67 GtCO₂ (1 GtC = 3.67 GtCO₂).



Houghton RA. 2007.

Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 35:313-47

Quelle: Fig. 1 in R.A. Houghton, *Balancing the Global Carbon Budget* (2007)

Abb. 2b. Kohlenstoffkreislaufmodell mit unabhängig vom Klimageschehen ermittelten Flüssen zwischen den Kohlenstoff-Kompartments.. Es gibt ein Verfahren, mit dem man dieses Kompartmentsystem in ein System von linearen gewöhnlichen Differentialgleichungen umformen kann.

Im Zeitraum, der von Houghton 2007 untersucht wurde,

- emittierten wir (global) 8.3 GtC/a und
- absorbierten die Kohlenstoffpuffer
 - Boden 4 GtC/a und
 - Ozean 2 GtC/a

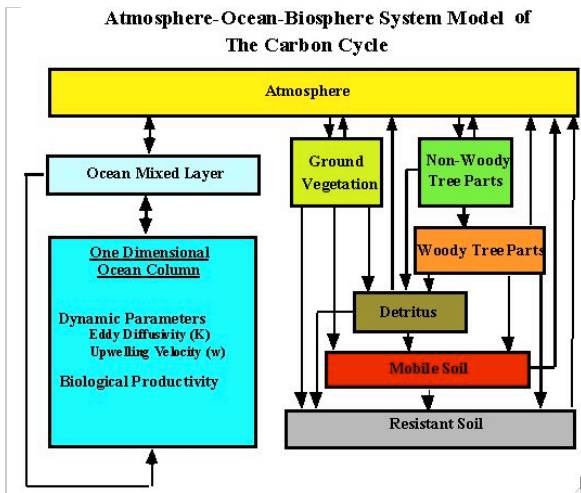
Die Erderwärmung infolge unserer Treibhausgasemissionen hängt somit vom Kohlenstoffkreislauf ab. Deshalb sollte man ihn verstehen.

- Die Flüsse 4 GtC/a und 2 GtC/a ergeben sich als Differenzen von etwa 100-fach größeren Flüssen. Kleine Änderungen an diesen letzteren Flüssen haben also große Auswirkungen auf die letztlich vom Boden und Ozean jährlich aufgenommene Kohlenstoffmenge und damit auf die Kohlenstoffkonzentration in der Atmosphäre und letztlich auf die Erderwärmung.
- Anders als beim Kohlenstoffpuffer Ozean **schwankt** der Zufluss zum Kohlenstoffpuffer Boden zeitlich stark.
- Die Flüsse in die Kohlenstoffpuffer Boden und Ozean verändern sich mit dem Klima (d.h. dem Kohlenstoffinhalt im Kompartiment "Atmosphäre") zu ungunsten des Klimas: Nach Modellrechnungen steigt die globale Erwärmung dadurch um 5% bis 30% (C. le Quere, Queen's Lecture, 2019).

Ein Kompartmentsystem ist ein Abbild eines mathematischen Gleichungssystems (eines Satzes von linearen gewöhnlichen Differentialgleichungen) und kann nach einem einfachen Schema (vielleicht diesem oder diesem Computer-Programm) in dieses umgewandelt werden. Mit dem so hergestellten Kohlenstoffkreislaufmodell macht man quantitative Zukunftsprognosen. Eine davon ist die Klima-Flüsse-Rückkopplung, die le Quere in ihrer Queen's Lecture erwähnt hat.

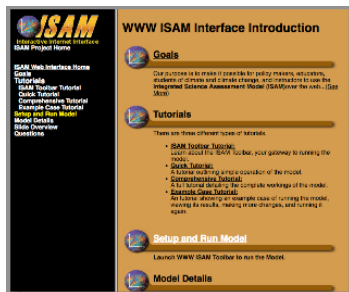
Online Kohlenstoffkreislaufmodelle: ISAM und MAGICC

Nach dem in Abbildung 2b erwähnten Verfahren wurden die Kompartmentsysteme in Abbildung 3a und 3b in mathematische Modelle umgewandelt und zur freien Verfügung online ins Internet gestellt.



Quelle: A. Jain, Integrated Science Assessment Model (ISAM), [model description](#)

Abb. 3a. Integrated Science Assessment Model (ISAM) [online model](#)
Atul Jain et al.



ISAM startup window
zum Starten auf Fenster klicken

Goals

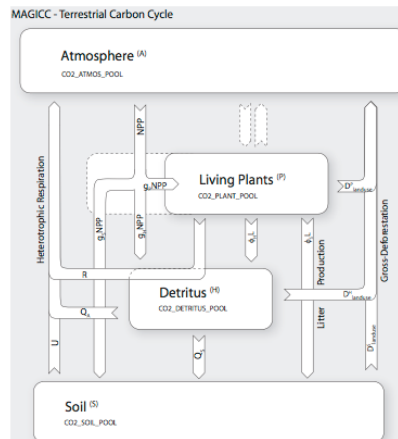
Our purpose is to make it possible for policy makers, educators, students of climate and climate change, and instructors to use the Integrated Science Assessment Model (ISAM) over the web.

ISAM is a state-of-the-art model that takes projections of human emissions of CO₂ and other greenhouse gases and of atmospheric particulates and generates predictions of future greenhouse gas and aerosol concentrations, global climate change, and the impacts of climate change such as the expected rise in sea level.

The goal of this site is to integrate the human user into a climate modeling system, and allow the user to:

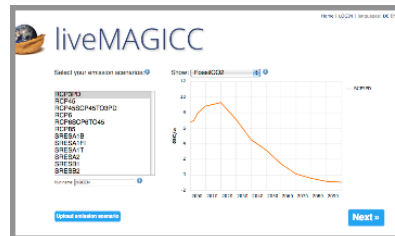
- develop scenarios of greenhouse gas and aerosol emissions
- evaluate the impact of anthropogenic emissions on the global climate and on sea level
- observe the direct and tangible results of policy decisions regarding energy consumption, choices of energy sources, and agricultural and land-use practices
- alter the various physical formulations of ISAM and examine the impact of such changes on the climate system
- learn about the implications of various structures of the modeled system
- assess the role of climate sensitivity in global climate response.

Terrestrische Kohlenstoffkreislauf-Komponente in MAGICC mit ihren Kohlenstoff-Pools (Atmosphäre, lebende Pflanzen, Detritus, Boden) und Kohlenstoffflüssen



Quelle: M. Meinshausen, S. C. B. Raper, and T. M. L. Wigley, Emulating coupled atmosphere-ocean and carbon cycle models with a simpler model, MAGICC6 – Part 1: Model description and calibration Atmos. Chem. Phys., 11, 1417–1456, 2011 - www.atmos-chem-phys.net/11/1417/2011/

Abb. 3b. Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change (MAGICC) - [Wiki](#), [model description](#), [online model](#)
M. Meinshausen, S. C. B. Raper, and T. M. L. Wigley



MAGICC startup window
zum Starten auf Fenster klicken

Hier liegt

- der Satz von linearen gewöhnlichen Differentialgleichungen (lineares Box-Modell)
- die Beschreibung der Pools und Flüsse, einschließlich der Behandlung von
 - Temperatur-Feedbacks (Rückwirkung des Klimas auf die Flüsse) und
 - CO₂-Düngung

Übereinstimmung von einfachen Kohlenstoffkreislaufmodellen und Klimaexperimenten

Modellparameter sind die Flüsse zwischen den Kompartments. Die Wertebereiche, in denen sie liegen, sind unabhängig von Klimaüberlegungen. Wenn man

- annimmt, dass sie um einen Medianwert normalverteilt liegen und
- die Normalverteilungsparameter μ und σ der Flüsse (je ein Paar (μ , σ) pro Fluss) in physikalisch vertretbarem Maß variiert, erhält man die in Abbildung 4 dargestellte Übereinstimmung der Ergebnisse von MAGICC und der CMIP5-Klimaexperimente.

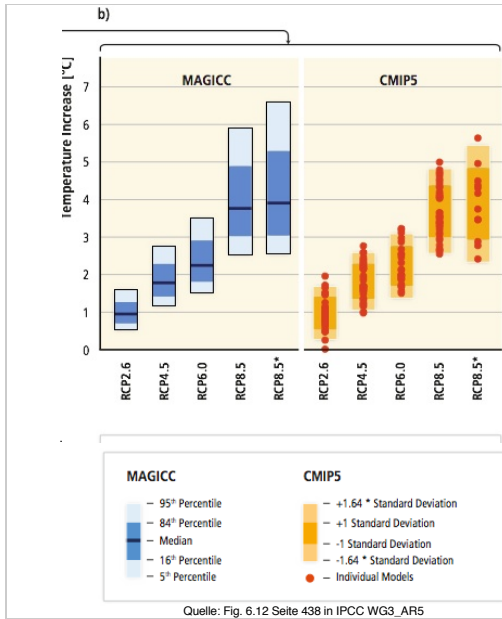


Abb. 4. Vergleich von CMIP5-Ergebnissen (wie in IPCC WG1 AR5 dargestellt) und MAGICC-Output für den globalen Temperaturanstieg relativ zum Durchschnitt der Jahre 1986 - 2005.

x-Achse: Repräsentative Konzentrationspfade (RCPs), auf welchen sich die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre zeitlich entwickelt (RCPs werden in Fig. 6.7 Seite 432 in IPCC WG3_AR5 und im Anhang dieses Caches erklärt). Sie sind die Modell-Inputs. Die online-Version live.MAGICC bietet sie zu Beginn jedes Runs in einem Auswahl-Menu an.

y-Achse: globale Erwärmung bis zum Zeitraum 2081 - 2100

Fehlerbreite der MAGICC-Ergebnisse

Die MAGICC-Parameter (im wesentlichen die Flüsse in Abbildung 2b) werden als normalverteilt angenommen. Die Percentiles der MAGICC-Temperaturen werden aus den Parameter-Normalverteilungen berechnet. Wie die Beschreibung von MAGICC unterstreicht, ist diese Annahme weitgehend willkürlich. Deswegen bietet live.MAGICC die Option an, eine Vielzahl von Temperaturrechnungen durchzuführen, jeweils mit Parameter-Werten aus dem zugehörigen Variationsbereich. Es ergeben sich auf diese Weise Standard-Abweichungen für die MAGICC-Temperaturen, wie bei den CMIP5-Rechnungen.

Videokurse zu Kohlenstoffkreislaufmodellen

Shaun Quega

- [The role of the global carbon cycle in the Earth system](#), ESA's Earth observation summer school, 2018, between time 18:10 and time 30:40

Howard Dryden

- [Save the oceans and we save the planet](#)

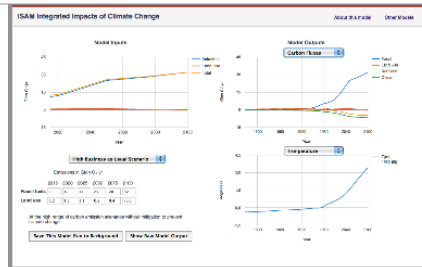
Corinne le Quere

- [Queen's Lecture 2019](#), TU-Berlin 2019
- Wechselwirkung zwischen Klima und Kohlenstoffkreislauf: Link zum [Anfang](#), Link zum [Ende](#) (Dauer: 12:30).
- Der Klimawandel wird die Flüsse zwischen den Kompartiments so verschieben, dass die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre weiter erhöht wird. In diesem Jahrhundert erwartet man, dass diese Klima-Kohlenstoffkreislauf-Rückkopplungen die bisher berechnete globale Erwärmung um 5% bis 30% steigern werden (Link).
- 1.5 Grad-Ziel wird mit 50% Wahrscheinlichkeit erreicht (Link) (Link), wenn
 - ab 2050: Netto-Null anthropogene CO₂-Emissionen (anthropog. CO₂-Emissionen = natürliche CO₂-Senken) ab 2050,
 - ab 2070: Null-Emission der restlichen THG (mein Kommentar: das sind die Vorgaben im Klimaschutzgesetz (Abbildung 6 in [Pfade der Kohlenstoffreduktion in Deutschland](#)])
- Wie schlimm ist die Erderwärmung? [Gaia-Zugang](#): Lebewesen haben eine Körpertemperatur, bei der sie leben können. Bei wenigen Grad mehr haben sie Fieber Vergleich mit (Link)

David Archer

Online Models

- Carbon Cycle Models
 - [ISAM](#) (einfachere Benutzeroberfläche als bei dieser online ISAM-Version)



ISAM-Archer online Startup Window zum Starten von ISAM-Archer online auf Fenster klicken

Online Models

- Carbon Cycle Models
 - [GEOCARB](#) Geological Carbon Cycle
 - [METHANE](#) in the Atmosphere
 - [SLUGULATOR](#) CO₂ vs. methane
 - [HUBBERT'S PEAK](#) Calculator
 - [KAYA IDENTITY](#) Carbon Emissions Scenario Generator

Video Lectures

- Lecture 14: [The Weathering CO₂ Thermostat](#)
- Lecture 15: [Lungs of the Carbon Cycle](#)
- Lecture 19: [The Carbon Cycle Today](#)