

# Die Rolle des atmosphärischen CO<sub>2</sub> im Klimasystem

## Motivation

Nach Wasserdampf ist Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) das zweitwichtigste Treibhausgas der Atmosphäre, das für ca. 30% des natürlichen Treibhauseffekts auf der Erde verantwortlich ist. In den letzten Jahrzehnten hat es zudem durch den Klimawandel besondere Aufmerksamkeit erlangt. Seit Beginn der Industrialisierung ist die Konzentration von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre auf Grund der Verbrennung von fossilen Energieträgern wie Kohle, Erdöl und Erdgas stetig gestiegen. Auf Grund der damit verbundenen Verstärkung des Treibhauseffekts ist Kohlenstoffdioxid hauptverantwortlich für den menschengemachten Klimawandel. Hinzu kommt, dass die höhere Menge an Kohlendioxid in der Atmosphäre teilweise vom Ozean aufgenommen wird und hier zur Versauerung der Meere mit gravierenden Folgen für die ozeanischen Ökosysteme beiträgt.

Die folgenden Experimente untersuchen den Einfluss des natürlichen Treibhausgases Kohlendioxid auf die bodennahe Lufttemperatur.

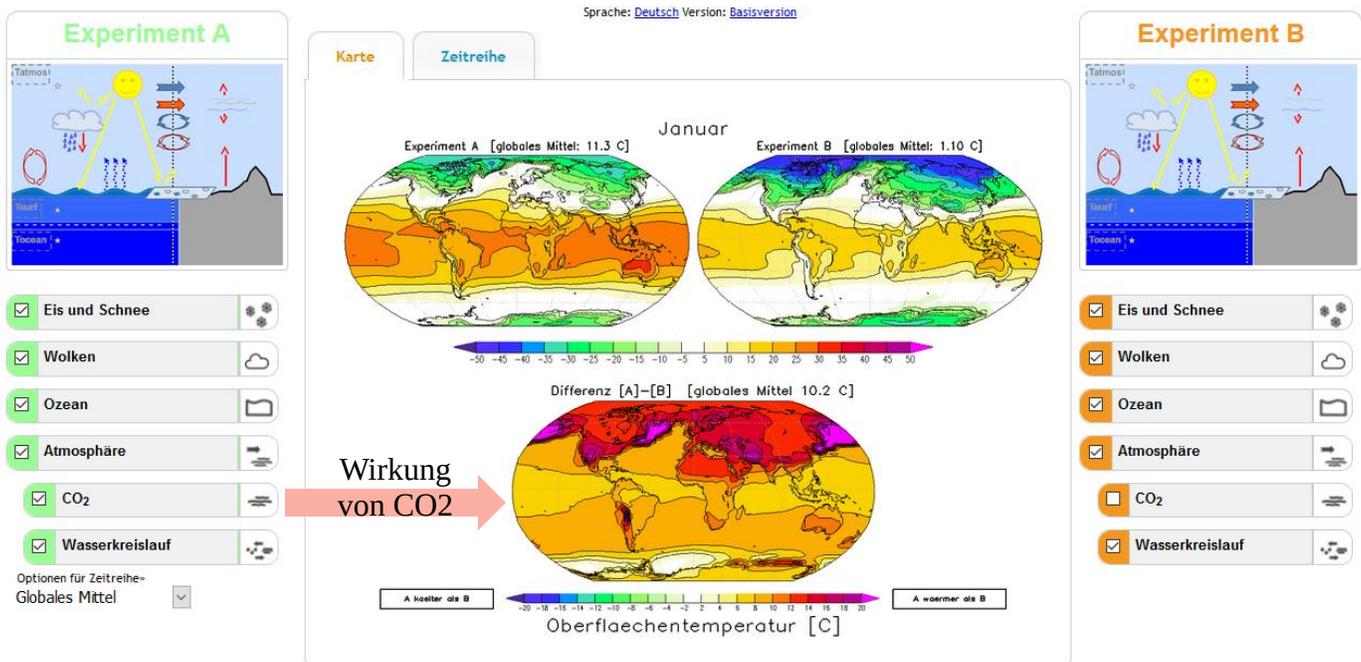
## Modelleinstellungen für die folgenden Experimente

**Experiment A:** alle Prozesse aktiviert

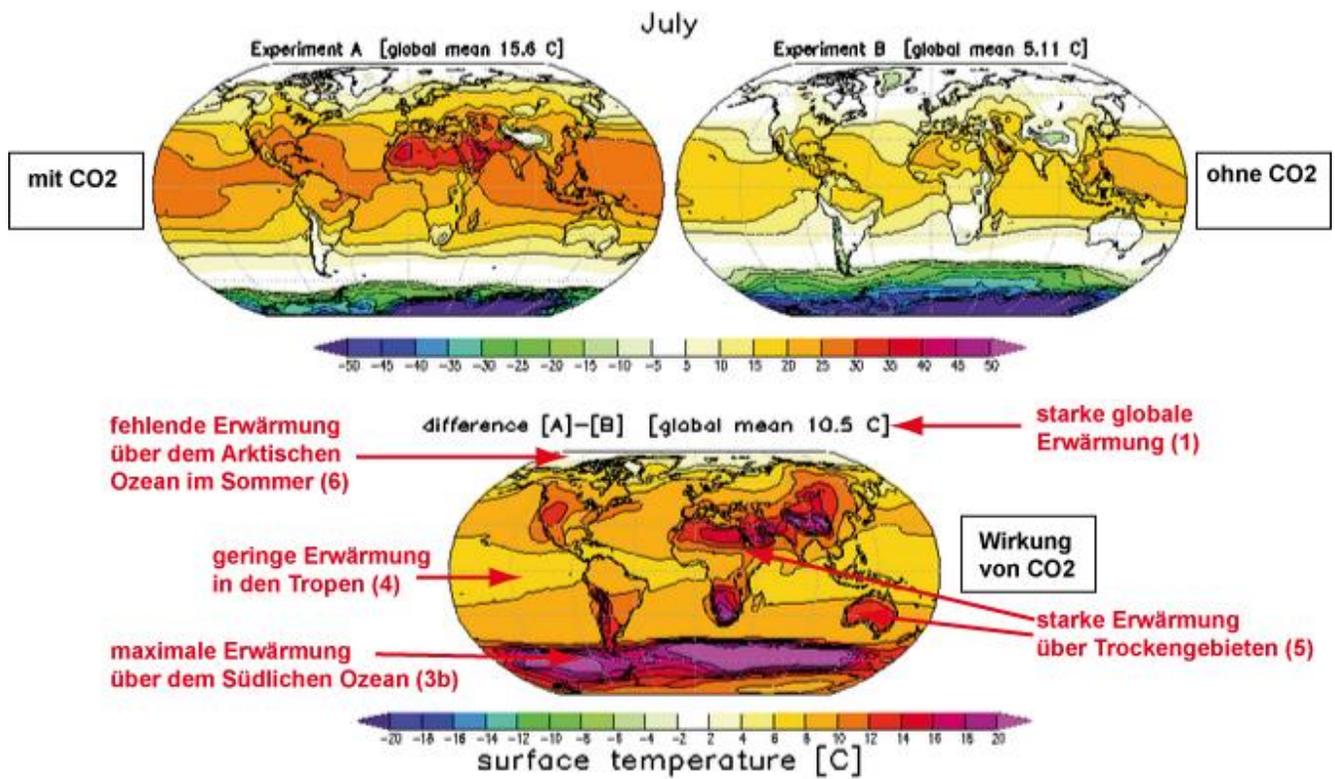
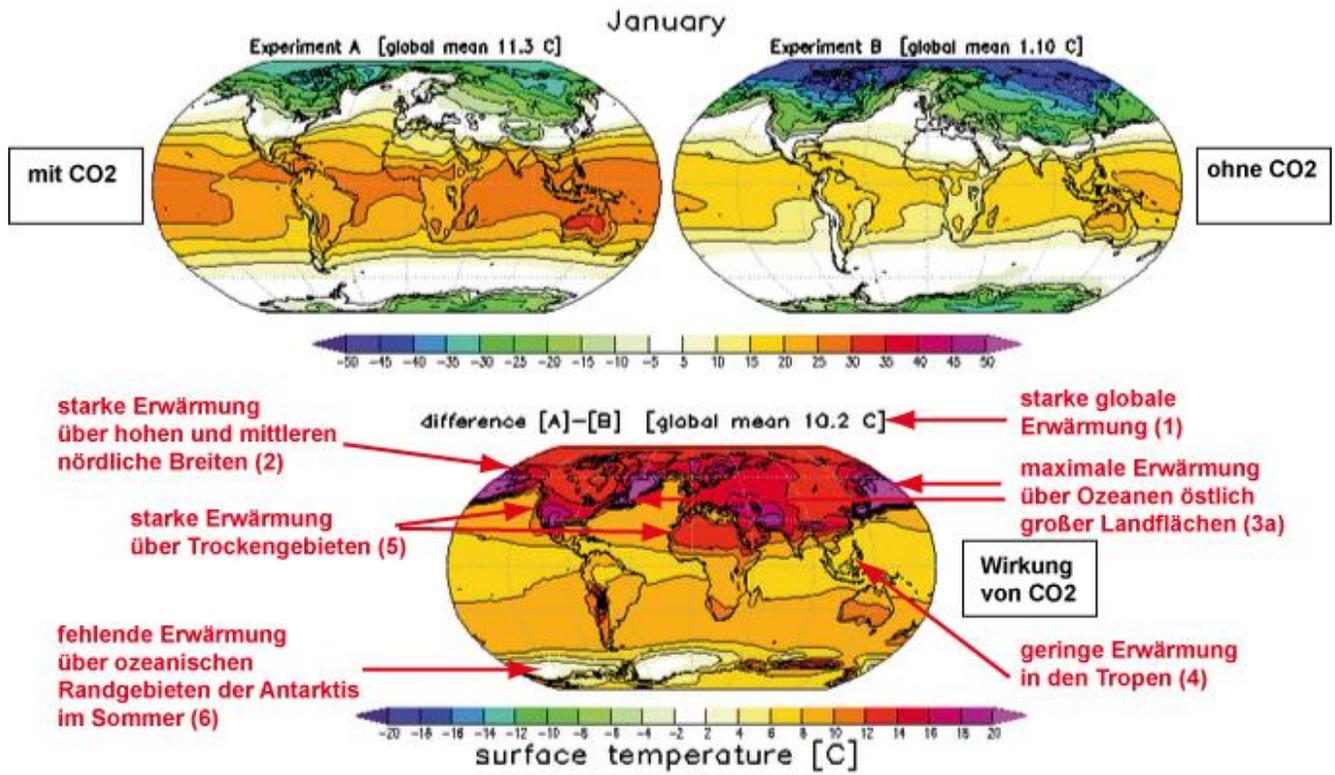
**Experiment B:** alle Prozesse aktiviert außer „CO<sub>2</sub>“

**Differenz A – B:** die Wirkung von CO<sub>2</sub> bleibt übrig

**Folgende Monate werden untersucht:** Januar (Nord-Winter), Juli (Nord-Sommer)



# Modellergebnisse und Beobachtungen:



## Physikalischer Hintergrund und Erklärung der Beobachtungen

Das langlebige Treibhausgas Kohlendioxid ist gleichmäßig in der Atmosphäre verteilt. Ohne Wechselwirkungen mit anderen Komponenten des Klimasystems würde es die Temperatur auf der Erde daher überall gleich erhöhen. Durch Rückkopplungsmechanismen mit anderen Komponenten des Klimasystems (primär durch die Eis-Albedo-Rückkopplung und die Wasserdampf-Rückkopplung) kommt es jedoch zu regional unterschiedlicher Erwärmung, da Eis und Wasserdampf regional sehr unterschiedlich verteilt sind.

Bei der Eis-Albedo-Rückkopplung führt eine Erhöhung der Temperatur durch mehr CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre zu einer Abnahme der Eisbedeckung und damit zu einer Verringerung der Albedo. Dies bewirkt wiederum eine höhere Absorption von Strahlung an der Erdoberfläche und führt damit zu einer weiteren Temperaturerhöhung. Bei der Wasserdampf-Rückkopplung führt eine Erhöhung der Temperatur zu mehr Verdunstung, wodurch sich der Wasserdampf-Gehalt in der Atmosphäre erhöht. Da Wasserdampf ein Treibhausgas ist, führt dies wiederum zu einer weiteren Temperaturerhöhung.

### Globale Betrachtung

	Beobachtung	Erklärung
	Globale Erwärmung durch CO <sub>2</sub> .	Durch den Treibhauseffekt verursacht CO <sub>2</sub> in der Atmosphäre eine globale Erwärmung um ca. 10 Grad, etwa die Hälfte des Treibhauseffekts von Wasserdampf in der Atmosphäre. Diese Erwärmung kommt nicht nur durch die direkte Strahlungswirkung von CO <sub>2</sub> zustande, sondern auch durch die Rückkopplungseffekte mit der Eis-/Schnee-Bedeckung und mit Wasserdampf.

### Regionale Betrachtung

	Beobachtung	Erklärung
(1)	Starke Erwärmung durch CO <sub>2</sub> über hohen und mittleren nördlichen Breiten im Nordwinter.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Durch die CO<sub>2</sub>-Erwärmung schmelzen Eis und Schnee. Dadurch werden dunklere Landflächen frei, die Albedo sinkt, der Boden absorbiert mehr Strahlung von der Sonne und erwärmt sich. Dadurch erwärmt sich auch die Atmosphäre zusätzlich, wodurch Eis und Schnee weiter abschmelzen usw. (positive Rückkopplung). Wegen der großen Landflächen ist dieser Effekt auf der Nordhalbkugel im Winter stärker ausgebildet als im Süd-Winter auf der Südhemisphäre.</li> <li>2. Hinzu kommt die Wasserdampf-Rückkopplung: Eine durch CO<sub>2</sub> und die Eis-Schnee-Albedo-Rückkopplung erwärmte Atmosphäre kann mehr Wasserdampf aufnehmen, wodurch sich die Atmosphäre zusätzlich erwärmt.</li> </ol>
(2a + b)	Im Nordwinter maximale Erwärmung durch CO <sub>2</sub> über dem Ozean östlich großer Landflächen auf der Nordhemisphäre. Im Südwinter maximale	Über den Ozeanen östlich der großen Landflächen auf der Nordhemisphäre bilden sich durch die (ohne den CO <sub>2</sub> -Effekt kühleren) Kaltluftmassen von den Kontinenten her ohne CO <sub>2</sub> große Meeresflächen, die durch die Eis-Albedo-Rückkopplung die Atmosphäre stark abkühlen. Mit CO <sub>2</sub> kann der eisfreie Ozean mehr Strahlung aufnehmen und seine höhere Temperatur an die Atmo-

	Erwärmung über dem Südlichen Ozean rund um die Antarktis.	sphäre abgeben. Ähnlich dehnt sich ohne den Treibhauseffekt von CO <sub>2</sub> das Meereis um die Antarktis weit nach Norden aus, mit entsprechender Eis-Albedo-Rückkopplung wie bei 3a.
(3)	Relativ geringe Erwärmung durch CO <sub>2</sub> in den Tropen.	Gegenüber dem Treibhauseffekt des hohen Wasserdampfgehalts in den Tropen ist der Treibhauseffekt von CO <sub>2</sub> relativ gering. Wasserdampf und CO <sub>2</sub> absorbieren thermische Strahlung teilweise auf denselben Wellenlängen (s.u. Abb. 1). Die von Wasserdampf bereits absorbierte Strahlung in diesen Wellenlängenbereichen kann nicht mehr von CO <sub>2</sub> absorbiert werden. Der Treibhauseffekt von CO <sub>2</sub> fällt daher geringer aus. – Hinzu kommt: Die Verdunstung des reichlich vorhandenen Wassers in den Tropen erzeugt einen Abkühlungseffekt.
(4)	Relativ starke Erwärmung durch CO <sub>2</sub> in sonnigen, trockenen Subtropen besonders über Land.	Der geringe Wasserdampfgehalt der Atmosphäre in den Trockengebieten bewirkt nur eine geringe Absorption von Wärmestrahlung. Dadurch absorbiert CO <sub>2</sub> stärker auf den gemeinsamen Absorptionsbanden. - Hinzu kommt der fehlende Abkühlungseffekt durch Verdunstung, da auf dem Land kaum Wasser zum Verdunsten vorhanden ist.
(5+6)	Fehlende Erwärmung im Nordpolarmeer und dem Südlichen Ozean im jeweiligen Sommer.	Mit CO <sub>2</sub> schmilzt das Meereis zum Teil im Südsommer. Das führt im Winter zu einer starken Auskühlung des Ozeans, die sich auch noch im Sommer bemerkbar macht (vgl. Experiment Eis und Schnee).

### Ergänzende Abbildung

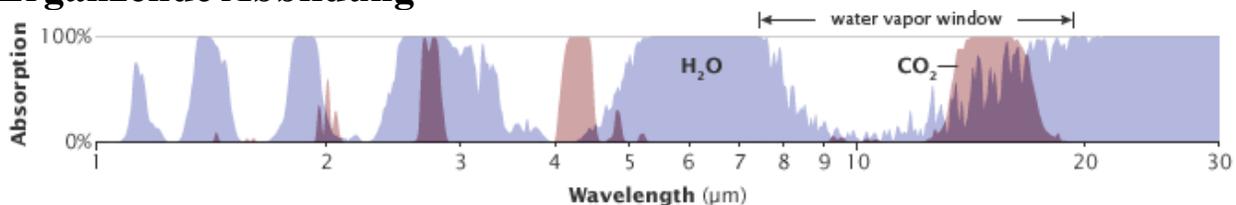


Abb. 1: Absorptionsbereiche von Wasserdampf und Kohlendioxid;  
 (Quelle: NASA Earth Observatory: Climate Forcings and Global Warming,  
<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/EnergyBalance/page7.php>)

### Thematisch relevante Artikel auf dem Klimawiki (klimawiki.org)

Artikel	Themen
<i>Kohlendioxid</i>	Übersichtsartikel zu CO <sub>2</sub> im Klimasystem
<i>Kohlenstoffkreislauf</i>	Der globale Kohlenstoffkreislauf.
Weiterführende Artikel	Themen
Kohlendioxid-Konzentration	Aktueller Trend der Kohlendioxid-Konzentration
Projektionen Kohlendioxid	Zukünftige Änderung der CO <sub>2</sub> -Konzentration

*Autor:* Manuel Linsenmeier

*Mitarbeit:* Tobias Bayr, Dietmar Dommengot, Dieter Kasang