



## AUFGABEN ZUM GEOMAX 18

### CLIMATE ENGINEERING - EIN PLAN ZUR KÜHLUNG DER ERDE?

#### TREIBHAUSGAS KOHLENSTOFFDIOXID

##### Aufgabe 1

Die Abbildung A zeigt die seit 1958 auf Mauna Loa (Hawaii) laufende Messung des  $\text{CO}_2$ -Gehalts der Atmosphäre. Die Abbildung B informiert über die globale Temperatur seit der letzten Eiszeit.

##### $\text{CO}_2$ -Gehalt der Atmosphäre seit 1958

in ppm („parts per million“ = Millionstel)

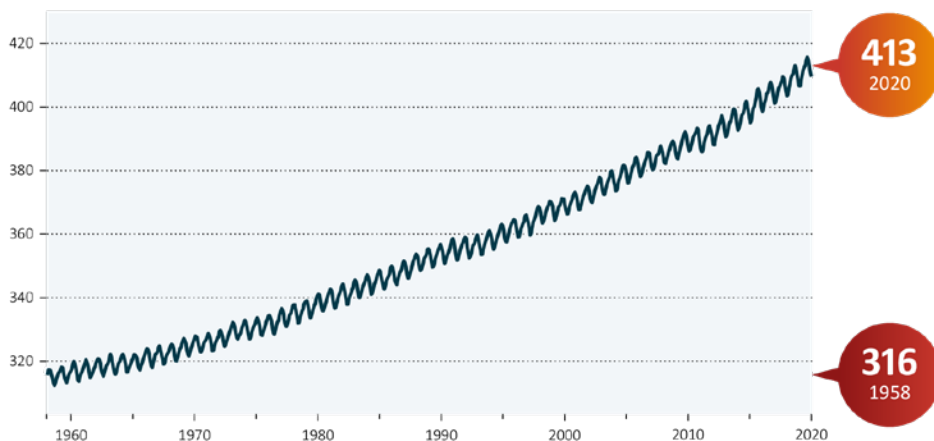


**Abb. A:**  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Atmosphäre; Messungen seit 1958 auf dem Vulkan Mauna Loa (Hawaii)  
© Leopoldina / Infografiker.com / CC BY-ND 4.0

##### Globale Temperatur seit Ende der letzten Eiszeit

Temperaturabweichung in Grad Celsius

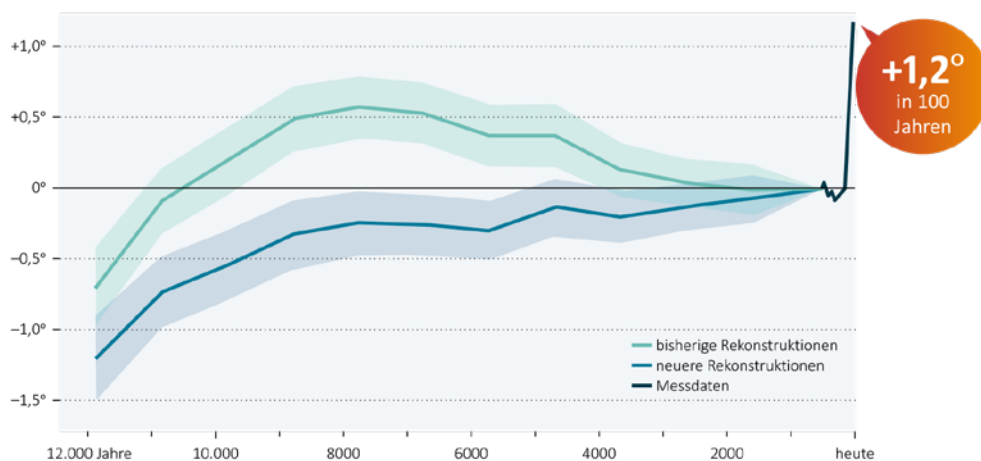


**Abb. B:** Globale Temperatur seit der letzten Eiszeit / © Leopoldina / Infografiker.com / CC BY-ND 4.0



1.1 Beschreiben Sie die Veränderung des  $\text{CO}_2$ -Gehalts in der Atmosphäre (Abb. A)!

1.2 Begründen Sie die periodischen Schwankungen im  $\text{CO}_2$ -Gehalt (Abb. A)!

**1.3** Während des Paläozän/Eozän-Temperaturmaximums (PETM) vor etwa 55 Millionen Jahren stieg die Temperatur innerhalb von 4.000 Jahren um rund 6 °C. Das PETM war eine nach geologischen Maßstäben sehr kurze, aber extreme Erwärmungsphase. Die Abbildung B zeigt die globale Temperatur seit der letzten Eiszeit vor 12.000 Jahren.

Seit Entdeckung des Treibhauseffekts vor vielen Jahrzehnten und daraus abgeleiteten Warnungen vor einer Klimakrise gibt es sog. Klimawandelleugner, die einen menschengemachten Klimawandel bestreiten und, sofern überhaupt, natürliche Ursachen anführen.

**Formulieren Sie eine schlüssige Argumentation, die den anthropogenen Einfluss anhand der genannten Informationen sowie den Abbildungen A und B aufzeigt!**



## Aufgabe 2

In einer im November 2018 veröffentlichten Kostenschätzung geht das Umweltbundesamt auf Basis der Treibhausgasemissionen Deutschlands 2016 von Schäden von rund 180 Euro pro Tonne Kohlenstoffdioxid aus. Die deutsche Bundesregierung hat zum 01.01.2021 eine CO<sub>2</sub>-Steuer eingeführt. Sie beträgt zunächst 25 Euro je Tonne CO<sub>2</sub>-Ausstoß und erhöht sich bis 2025 auf 55 Euro je Tonne CO<sub>2</sub>-Ausstoß pro Jahr.

**Ordnen Sie anhand der Abbildung C die CO<sub>2</sub>-Besteuerung der deutschen Bundesregierung ein!**

### Effektiver CO<sub>2</sub>-Preis

in Euro pro Tonne CO<sub>2</sub>

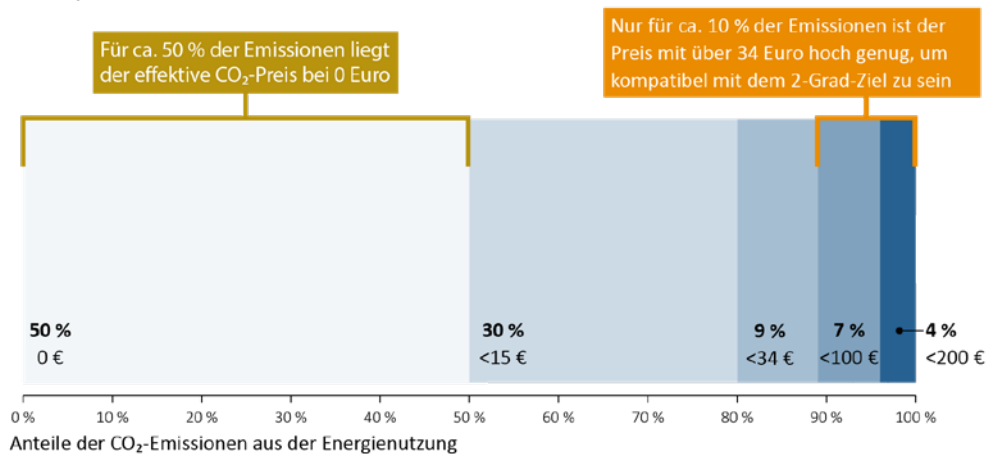


**Abb. C:** Derzeitige CO<sub>2</sub>-Bepreisung (Stand 2018): Die Daten beziehen sich auf 42 OECD- und G-20-Länder, die für 80 % der globalen Emissionen verantwortlich sind. © Leopoldina / Infografiker.com / CC BY-ND 4.0



## Aufgabe 3

Flugzeuge stoßen bei der Verbrennung von Kerosin u.a. Kohlenstoffdioxid, Wasserdampf, Ruß und Schwefeldioxid im Abgas aus.

**Erläutern Sie mögliche Klimawirkungen der genannten Bestandteile und damit des Flugverkehrs.**



## LÖSUNGEN

### Lösung 1

**1.1** Der  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Atmosphäre ist stetig steigend. Die Steigung ist nicht linear, sondern zunehmend.

**1.2** Die Landmassen sind auf der Erde ungleich verteilt. Am meisten Landfläche gibt es auf der Nordhalbkugel, folglich auch am meisten Menschen und Vegetation.

Die Peaks pro Schwankung treten während der Wintermonate auf der Nordhalbkugel auf. Dann ist der Energiebedarf (Wärme, Licht) der Menschheit weltweit am höchsten und gleichzeitig die Fotosyntheseleistung der Pflanzen zur Kompensation am geringsten. Ein „Tal“ pro Schwankung korrespondiert mit dem Sommer auf der Nordhalbkugel. Der Energiebedarf der Menschheit ist geringer und die Fotosyntheseleistung höher als im Sommer.

Das Berg- und Tal-Verlauf zeigt zudem, dass zumindest in der Nordhemisphäre während der Sommermonate die Kurve sinkt, weil mehr  $\text{CO}_2$  gebunden als an die Atmosphäre abgegeben wird. Über das gesamte Jahr gesehen – also Winter mit eingerechnet – emittiert der Mensch mehr  $\text{CO}_2$  als alle Klimasenken aufnehmen können. Daher steigt der gesamte Graph.

Zusätzliche Hintergrundinfo: Die jahreszeitlichen Schwankungen des  $\text{CO}_2$ -Gehalts nehmen seit den 1960er Jahren zu. Das liegt vor allem am verstärkten Pflanzenwachstum im Norden. Durch die höheren Temperaturen breiten sich mehr Wälder aus, die Fotosynthese verstärkt sich. So nimmt die Vegetation im Sommer mehr Kohlenstoffdioxid auf (vgl. <https://www.mpg.de/9862783/co2-schwankung-vegetation-erderwaermung>).

**1.3** In den letzten 60 Jahren ist der  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Atmosphäre messbar angestiegen, der Anstieg beschleunigt sich sogar. Seit der Industrialisierung werden massiv fossile Brennstoffe genutzt, was den  $\text{CO}_2$ -Anstieg inklusive Dynamik erklärt. Um starke Klimaveränderungen in der Erdgeschichte zu finden, muss man mitunter viele Millionen Jahre Rückschau halten. Selbst dann gibt es Extremereignisse, deren Dynamik (z. B.  $6\text{ °C}$  in 4.000 Jahren) nicht mit der aktuellen Änderung ( $1,2\text{ °C}$  in 100 Jahren) mithalten kann. Die derzeit beobachtbare globale Erwärmung begründet sich somit im ansteigenden  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Atmosphäre.

### Lösung 2

Mit 25 Euro pro Tonne  $\text{CO}_2$  liegt Deutschland in dem Bereich ( $< 34$  Euro in der Grafik), der zu gering ist, um kompatibel mit dem 2-Grad-Ziel zu sein. Der Preis von 55 Euro pro Tonne  $\text{CO}_2$  liegt in dem Bereich ( $< 100$  Euro in der Grafik), der hoch genug ist.

Zusätzliche Anmerkung zur Grafik: Für den überwiegenden Teil der Emissionen in den 42 untersuchten Ländern ist der derzeitige Preis (Stand 2018) null oder zu niedrig, um realistische Anreize für die Emissionsminderung zu schaffen.

### Lösung 3

In großer Höhe kondensiert der Wasserdampf an Rußpartikeln und bildet Kondensstreifen und Wolken (Kondensstreifen-Zirren). Die Zirren sorgen zum einen für eine Lichtreflexion ins All (wirkt kühlend), zum anderen verringern sie die Wärmeabstrahlung der Erde (wirkt erwärmend). Der erwärmende Effekt überwiegt und trägt unter den nicht- $\text{CO}_2$ -Effekten am stärksten zur Klimaerwärmung bei.  $\text{CO}_2$  wirkt als Treibhausgas und fördert die Erderwärmung (ein Drittel der Klimawirkung des Luftverkehrs wird durch  $\text{CO}_2$ -Emissionen verursacht). Im Gegensatz zu den Zirren bleibt das  $\text{CO}_2$  über einen langen Zeitraum wirksam. Die Bildung von Sulfat-Aerosolen über mehrere Reaktionen aus dem Schwefeldioxid hat einen kühlenden Effekt (Partikel reflektieren Licht). Fazit: Das Flugzeugfliegen trägt zur Erderwärmung bei.

Anmerkung: Die Lösung ist mit Details aus folgender Studie ergänzt: Lee et al., 2021; siehe <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834> (siehe auch Info des DLR)

---

### Abbildungshinweise

Abbildungen A, B, C: Factsheet Klimawandel: Ursachen, Folgen und Handlungsmöglichkeiten. Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V. – Nationale Akademie der Wissenschaften. 2021. S. 7, 9, 26; [https://doi.org/10.26164/leopoldina\\_03\\_00327](https://doi.org/10.26164/leopoldina_03_00327) / CC BY-ND 4.0;

Quellen der Abbildungen (Angaben im Factsheet):

Abb. A: Quelle: NOAA (2020), Keeling et al. (2001)

Abb. B: Quelle: Bova et al. (2021), Shakun et al. (Nature 2012), Marcott et al (Science 2013), NASA GISTEMP

Abb. C: Nach UNEP Emissions Gap Report (2018)

Der Text wird unter [CC BY-NC-SA 4.0](#) veröffentlicht.

**Stand:** 06/2021; Text: A. Wöhl; Layout und Redaktion: max-wissen-Team