



Wie kommt es zum Klimawandel? Kurz gesagt: Die Erde erwärmt sich, wenn durch Treibhausgase weniger Sonnenenergie von der Erde zurück in den Weltraum gestrahlt wird. Aber wie genau funktioniert das nun?

Je mehr Treibhausgase in der Luft sind, desto mehr blockieren sie die Rückstrahlung und entsprechend mehr heizt sich die Erde auf. Im Normalfall würde die Erde ca. 1/3 der Energie reflektieren. Dieser Effekt ist grundsätzlich auch gut, denn ohne diesen natürlichen Treibhauseffekt läge die globale Durchschnittstemperatur nicht bei rund 14 °C,

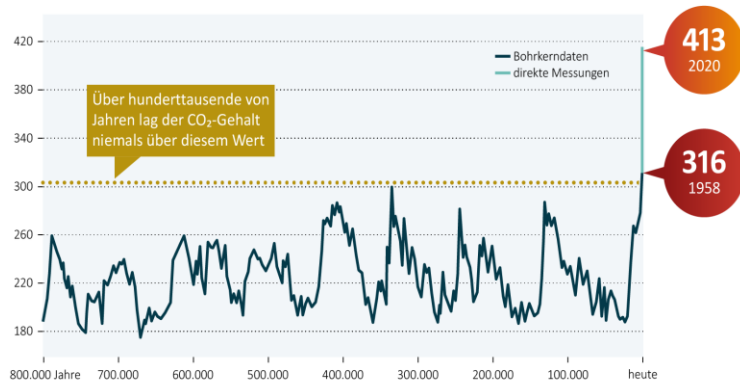
sondern bei -18 °C. Leben wäre dann auf der Erde nicht möglich. Durch die Verbrennung fossiler Stoffe hat sich die Konzentration von Kohlendioxid in der Atmosphäre aber unnatürlich erhöht. Dadurch wird mehr Wärme auf die Erde zurückgestrahlt als dies auf natürliche Art und Weise der Fall wäre. Dabei ist zu beachten, dass Klimaveränderungen verschiedene Ursachen haben können:

1. Änderungen der Leuchtkraft der Sonne.
2. Änderungen der Erdumlaufbahn um die Sonne.
3. Änderungen im Gehalt der Atmosphäre an klimarelevanten Gasen und Aerosolen
4. Eisbedeckung, Bewölkung und Verteilung der Kontinente, denn auch diese beeinflussen, wieviel Energie zurück ins All reflektiert wird (Albedo-Effekt).

Die Hauptinformationsquelle zur Erforschung der Klimageschichte der Erde sind Ablagerungen und im Frost konservierte Luftblasen aus den betreffenden Zeiten. So weiß man zum Beispiel, dass es in den vergangenen 800.000 Jahren keine Periode mit auch nur annähernd so hohen CO₂-Konzentrationen gab wie heute. In den letzten 10.000 Jahren war die CO₂-Konzentration relativ stabil. Seit Beginn der industriellen Revolution Mitte des 18. Jahrhunderts und der damit verbundenen Nutzung fossiler

CO₂-Gehalt der Atmosphäre in den letzten 800.000 Jahren

in ppm („parts per million“ = Millionstel Teile)



Grafik: Leopoldina Factsheet Klimawandel (2021), CC BY-ND 4.0

Quelle: Lüthi et al. (Nature 2008), Keeling et al. (Scripps CO₂ Program Data)

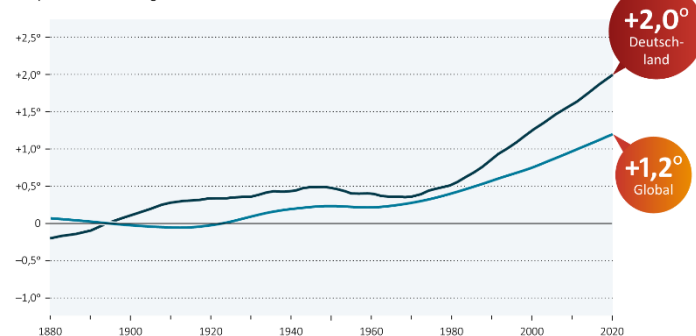
Energieträger und der Landgewinnung durch Abholzung sind die Konzentrationen von CO₂ und CH₄ (Methan) weit über den natürlichen Schwankungsbereich der letzten 800.000 Jahre angestiegen. (siehe Grafik) Jüngste Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass vermutlich sogar in den letzten 3 Mio. Jahren die Konzentration von CO₂ in der Atmosphäre nie höher lag als heute. **Die hohen CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre können langfristig Teile des Klimasystems destabilisieren und gravierende Folgen haben.**

Seit dem Jahr 1958 wird auf dem Vulkan Mauna Loa (Hawaii, USA) die CO₂ -Konzentration direkt gemessen. Da die Messstation sehr hoch liegt (3397 m über dem Meeresspiegel) und kaum durch lokale Faktoren beeinflusst ist, können die dort festgestellten CO₂-Konzentrationen als gute Annäherung an die tatsächliche globale Konzentration betrachtet werden. Seit Beginn der Messung steigt die Konzentration kontinuierlich an. Im März 2021 hat sie den höchsten Stand seit mindestens 800.000 Jahren erreicht. Mit der Messreihe konnte erstmals der Zusammenhang zwischen der Verbrennung fossiler Stoffe und der Konzentration des Treibhausgases CO₂ aufgezeigt werden. Dabei konnte man einen charakteristischen schwankenden Jahresverlauf feststellen: Während des Sommers auf der Nordhalbkugel nimmt die globale CO₂-Konzentration ab, da die Vegetation in dieser Zeit vermehrt Kohlenstoff aufnimmt. Im Winter steigt die globale CO₂-Konzentration wieder an, da die Pflanzen die Photosynthese stark reduzieren. Die geringere Vegetation im Süden kann die vermehrte Freisetzung nicht ausgleichen

Seit dem 18. Jahrhundert wird mit Wetterstationen auf der Erde die Temperatur gemessen, seit Mitte des 19. Jahrhunderts an hinreichend vielen Orten, um einen robusten globalen Mittelwert bilden zu können. In der Grafik lassen sich in Bezug auf die globale Temperatur drei Phasen erkennen. Bis 1940 erwärmte sich die Erde leicht, anschließend

stagnierte die Temperatur bis in die 1970er Jahre, vor allem durch die Zunahme kühlender Aerosole (Luftverschmutzung). Seither gibt es einen starken Erwärmungstrend. Das Ausmaß der Erwärmung ist über Land in der Regel erheblich größer als über dem Ozean. Die globale Temperatur über dem Land lag 2015 bis 2019 um ca. 1,7 °C über den Werten der vorindustriellen Jahre 1850 bis 1900. Der von Menschen verursachte Anstieg der Treibhausgase (vor allem Kohlendioxid und Methan) erwärmte seit dem 19. Jahrhundert die Erdoberfläche (Land und Ozean) im Mittel um 1,2 °C. Das Jahresmittel der Lufttemperatur ist im Flächenmittel von Deutschland von 1881 bis 2019 um 2 °C angestiegen. Auch die Nordsee ist in diesem Zeitraum 2 °C wärmer geworden. Schwankungen der Sonneneinstrahlung, Vulkanausbrüche oder die natürliche Variabilität im Klimasystem liefern keine messbaren.

Globale Temperatur und Temperatur in Deutschland seit 1880
Temperaturabweichung in Grad Celsius vom Mittelwert 1880–1910



Grafik: Leopoldina Factsheet Klimawandel (2021), CC BY-ND 4.0
Quelle: DWD/NASA GISTEMP

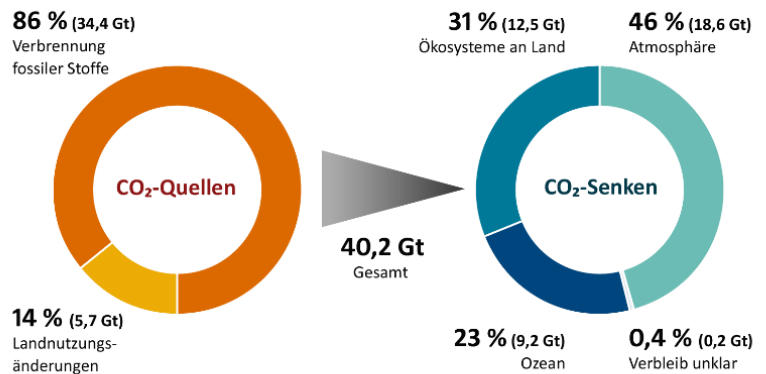
Die moderne globale Erwärmung geschieht extrem rasch im Vergleich zu dem, was die Klimaforschung bislang über natürliche globale Temperaturzunahmen in der Erdgeschichte herausgefunden hat. Inzwischen gibt es genug Daten aus allen Weltteilen, um die globale Mitteltemperatur über die letzten 20.000 Jahre – seit dem Höhepunkt der letzten Eiszeit – berechnen zu können. Diese Daten weisen darauf hin, dass die globale Temperatur heute wahrscheinlich schon höher liegt als jemals zuvor in der Geschichte der menschlichen Zivilisation. Diese Daten sind auch mit den

Modellberechnungen früherer Temperaturen konsistent. Aus der Erdgeschichte kennen wir allerdings auch starke und abrupte regionale Temperaturänderungen. Ein Beispiel hierfür ist das Paläozän/Eozän-Temperaturmaximum (PETM) vor etwa 55 Millionen Jahren. Innerhalb von 4000 Jahren stieg die Temperatur um rund 6 °C. Das PETM war eine nach geologischen Maßstäben sehr kurze, aber extreme Erwärmungsphase. Der aktuell beobachtete Klimawandel läuft noch viel schneller ab. Der allergrößte Anteil des zurzeit beobachteten Klimawandels ist durch den Menschen verursacht. Ohne die Berücksichtigung der Zunahme der Treibhausgase in der Atmosphäre kann man die beobachtete Erwärmung des Klimasystems, insbesondere diejenige seit den 1950er Jahren, nicht erklären. Der Beitrag von Schwankungen der Sonne über diesen Zeitraum ist sehr klein

Die Quellen und der Verbleib von anthropogenem CO₂ werden genau analysiert. Die von Menschen freigesetzten CO₂-Emissionen der Jahre 2009–2018 stammen zu 86 % aus der Verbrennung fossiler Stoffe, 14 % aus Landnutzungsänderungen. Ein Teil dieser Emissionen (31 %) wird von Landökosystemen aufgenommen, ein weiterer Teil vom Ozean (23 %). Der größte Teil der menschengemachten CO₂-Emissionen verbleibt in der Atmosphäre (46 %)

Wo das vom Menschen freigesetzte CO₂ bleibt

Jährliche Mengen in Prozent und in Milliarden Tonnen (Gt), 2010–2019



Grafik: Leopoldina Factsheet Klimawandel (2021), CC BY-ND 4.0
Quelle: Global Carbon Budget (2020)