M1 | Strahlung der Sonne

Die elektromagnetische Strahlung der Sonne, die die Erdoberfläche erreicht, umfasst einen Wellenlängenbereich von etwa 300 nm bis 2500 nm. Nur die Strahlung, deren Wellenlängen im Bereich von ca. 380 bis 780 nm liegen, ist mit unseren Augen wahrnehmbar; in diesem Bereich hat die Sonnenstrahlung auch die höchste Intensität. (Weder der kurzwelligere Anteil der Sonnenstrahlung [UV-Strahlung] noch der langwelligere Anteil [Infrarotstrahlung, umgangssprachlich oft auch als Wärmestrahlung bezeichnet] ist für uns sichtbar.)

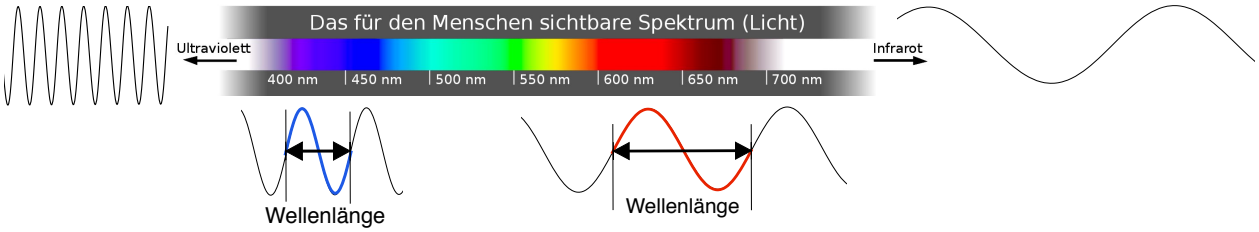
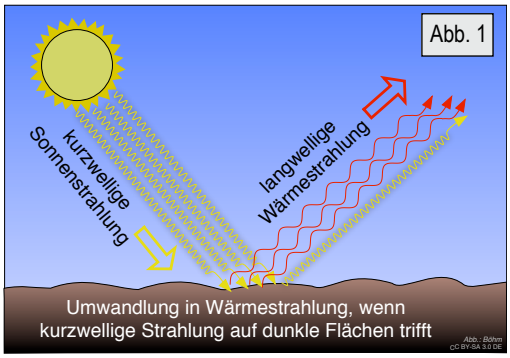
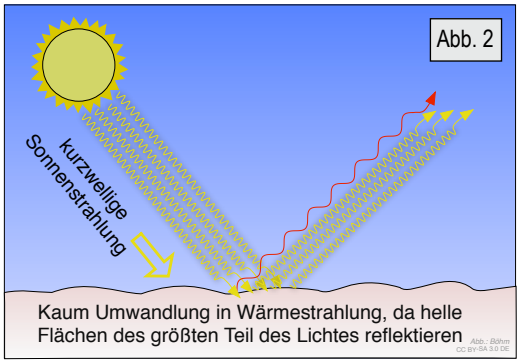


Abb.:verändert nach https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electromagnetic_spectrum_-de_c.svg; von Horst Frank, CC BY-SA 3.0

M2 | Dunkle Flächen erzeugen Wärmestrahlung

Wenn Sonnenstrahlen des sichtbaren Bereichs des Spektrums auf dunkle Oberflächen treffen, wird ein großer Teil dieser Strahlung von diesen Oberflächen absorbiert. Durch die aufgenommene Energie wird die dunkle Substanz erwärmt und gibt langwellige (für uns nicht sichtbare) Infrarot- bzw. Wärmestrahlung ab. Je dunkler die Substanz, desto mehr Licht absorbiert sie, desto mehr heizt sie sich auf und desto mehr Infrarotstrahlung strahlt sie ab. (**Abb. 1**)
Helle Oberflächen (Flächen mit großer sog. Albedo [Reflexionsvermögen]) dagegen absorbieren nur wenig Licht. Sie reflektieren den größten Teil des Lichtes (dadurch erscheinen sie hell) und erzeugen damit auch wenig (nicht sichtbare) Infrarotstrahlung. (**Abb. 2**)



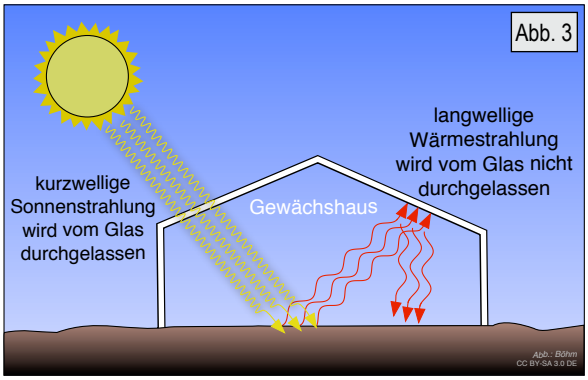


M3 | Treibhauseffekt: Wenn Wärmestrahlung nicht entweichen kann

Infrarotstrahlung (IR-Strahlung) ist elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge zwischen 780 nm und 1.000.000 nm. Man unterscheidet im Infraroten drei Bereiche:

- **IR A**: 780 nm bis 1.400 nm
- **IR B:** 1.400 nm bis 3.000 nm
- **IR C:** 3.000 nm bis 1.000.000 nm (=1 mm)

Fensterglas lässt sichtbares Licht und das kurzwelligste IR-Licht durch, nicht jedoch IR-Strahlung von Gegenständen, deren Temperatur im Bereich zwischen 20 und 100°C liegt. Solche Körper senden IR-Strahlung mit einer Wellenlänge zwischen ca. 8000 und 100.000 nm aus.

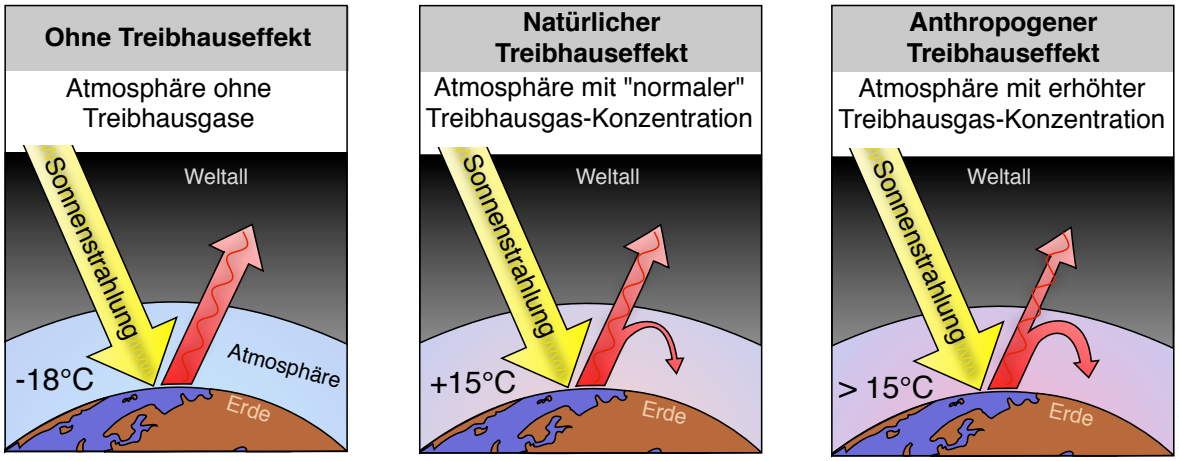


M4 | Treibhaus Erde: Natürlicher und anthropogener Treibhauseffekt

In der Erdatmosphäre sind Gasmoleküle enthalten, die wie das Fensterglas eines Treibhauses wirken. Sie lassen die sichtbare Sonnenstrahlung bis zur Erdoberfläche durch, einen Teil der von der Erdoberfläche abgestrahlten Infrarotstrahlung absorbieren sie aber, wodurch ein Teil der Wärmeenergie in der Atmosphäre bleibt. Wichtige Treibhausgase sind Wasserdampf (H_2O), Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O). Da die Konzentration der Treibhausgase (v. a. CO_2 und CH_4) durch menschliche Aktivitäten ständig steigt, steigt auch die Durchschnittstemperatur auf der Erde. Die **Abbildungen 4 und 5** veranschaulichen die Zusammenhänge.

M4 | Treibhaus Erde: Natürlicher und anthropogener Treibhauseffekt

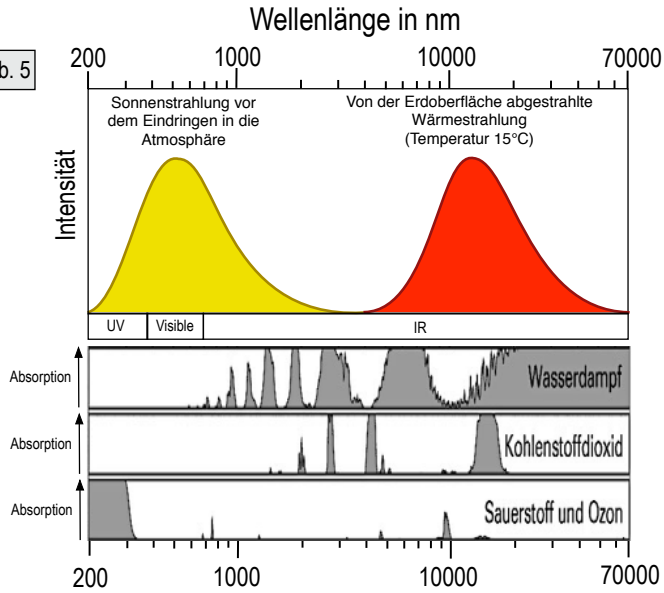
Abb. 4



Die Abbildung zeigt die Intensitäten der Strahlung, die die Erdatmosphäre von der Sonne aus erreich (gelb), und der Wärme- bzw. Infrarot-Strahlung, die die Erdoberfläche abstrahlt (rot). Beim Durchqueren der Atmosphäre werden sowohl Anteile der Sonnenstrahlung als auch Teile der Wärmestrahlung der Erde von Treibhausgas-Molekülen absorbiert. Exemplarisch ist das Absorptionsvermögen von drei Bestandteilen der Erdatmosphäre dargestellt.

(Abb. leicht verändert nach https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Atmospheric_Transmission_de.png; Autor: Robert A. Rohde für the Global Warming Art Projekt; Lizenz: CC BY-SA 3.0)

Abb. 5



M5 | Modellversuch zum Treibhauseffekt

Zur Demonstration des Effektes von erhöhten CO_2-Konzentrationen in der Atmosphäre wurde das in **Abb. 6** dargestellte Modellexperiment durchgeführt. Das Video zum Experiment kannst Du auf youtube sehen (*https://www.youtube.com/watch?v=Idp-YSONzgpQ*). Die Ergebnisse zeigt **Abb. 7**.

Abb. 6

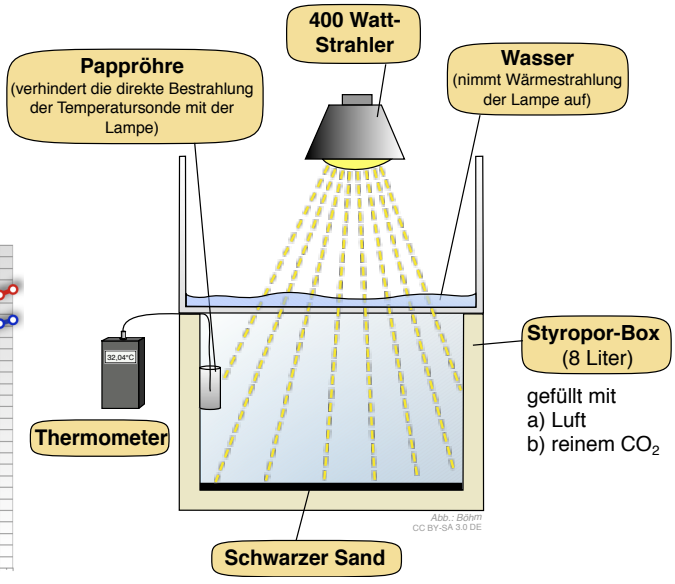
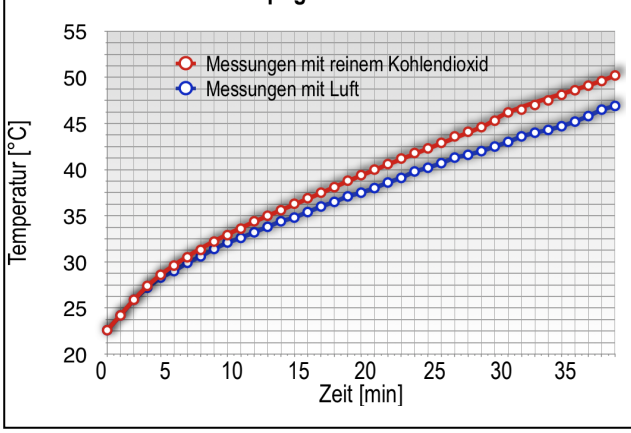
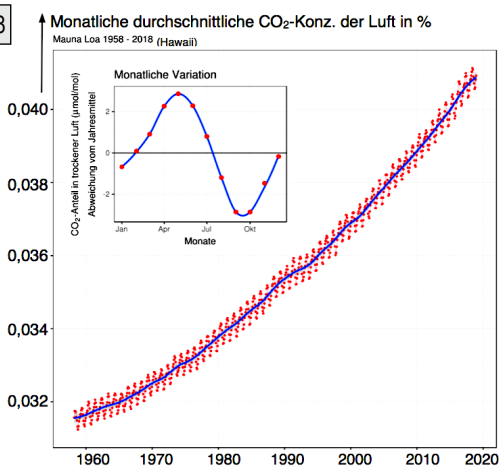


Abb. 7



M6 | Veränderungen des CO_2-Gehalts der Atmosphäre

Abb. 8



An zahlreichen Stellen auf der Erde wird regelmäßig der CO_2-Gehalt der Luft gemessen, auf dem Mauna Loa auf Hawaii geschieht dies bereits seit 1958 (**Abb. 8**).
Aus Eisbohrungen der russischen Forschungsstation Vostok in der Ostantarktis konnten von 1974 bis 1998 (die Bohrungen erreichten eine Tiefe von 3623 m im Eis) die CO_2-Konzentration der Atmosphäre der letzten 420.000 Jahre aus Lufteinschlüssen im Eis ermittelt werden (**Abb. 9**). Die regelmäßig wiederkehrenden Schwankungen lassen die sog. Milankovic-Zyklen erkennen, welche eine Veränderung der Sonneneinstrahlung durch Variation der Erdbahnparameter beschreiben. In deren Folge treten bzgl. des Klimas verschiedene Verstärkungseffekte auf, zu denen auch eine Veränderung der CO_2-Konzentration in der Luft gehört.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mauna_Loa_CO2_monthly_mean_concentration.svg#/media/File:Mauna_Loa_CO2_monthly_mean_concentration_DE.svg; Autor: Delorme - Own work. Data from Dr. Pieter Tans, NOAA/ESRL and Dr. Ralph Keeling, Scripps Institution of Oceanography; CC BY-SA 4.0

Abb. 9

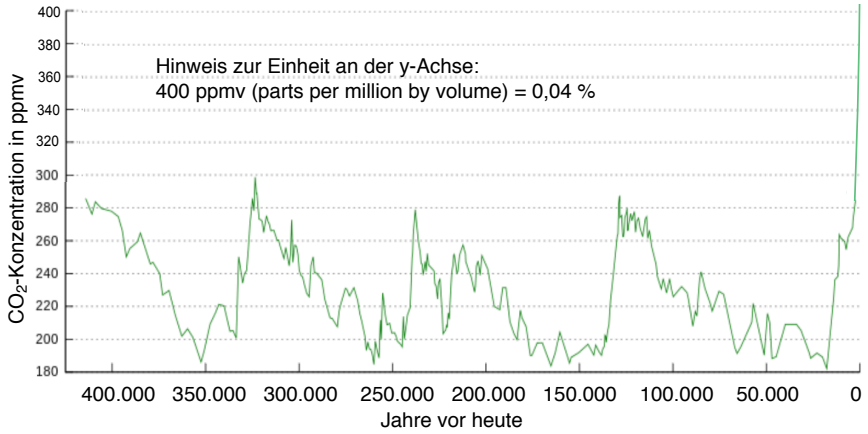


Abb. verändert nach https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vostok_Petit_data.svg; Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported

M7 | Veränderungen der globalen Mitteltemperatur

Um den Einfluss menschlicher Aktivitäten auf die globale Mitteltemperatur abzuschätzen, wurden mit umfangreichen Computersimulationen (Name der Simulation: CMIP5) die Auswirkungen aller bekannten klimarelevanten Störungen (Treibhausgaskonzentrationen, FCKW, „gewöhnliche Luftverschmutzung“ durch z.B. SO_2, NO_x, Ruß oder Staub, Veränderungen der Landoberfläche, Veränderungen der Sonnenaktivität inkl. magnetischer Prozesse, kosmische Strahlung, Vulkanausbrüche, Schwankungen der planetarischen Bahnparameter…) auf die globale Mitteltemperatur berechnet und mit den Temperaturdatenbanken von drei verschiedenen wissenschaftlichen Institutionen verglichen. Das Ergebnis ist in **Abb. 10** vereinfacht dargestellt (die Kurve zeigt nur die Mittelwerte der kalkulierten Temperaturen). Werden die Folgen menschlicher Aktivitäten vernachlässigt (als Hauptfaktor stellt sich dabei die erhöhte CO_2-Konzentration in der Atmosphäre heraus), ergibt sich die in **Abb. 11** gezeigt Kurve als Ergebnis der Computersimulation.

Abb. 10

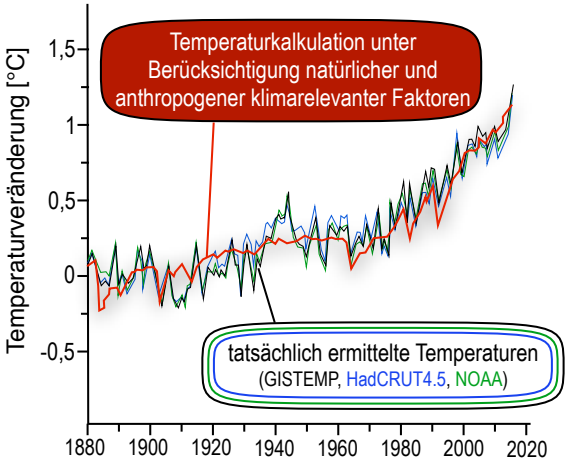


Abb. 11

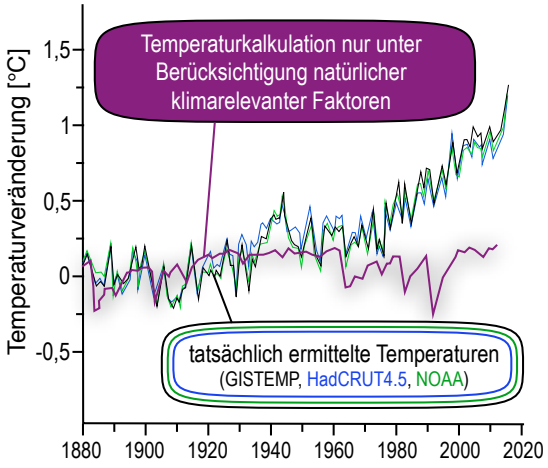


Abb. von A. Böhm nach Daten von Knutson, Kam, Zeng und Wittenberg: CMIP5 MODEL-BASED ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC INFLUENCE ON RECORD GLOBAL WARMTH DURING 2016; in Bulletin of the American Meteorological Society 99(1):S11-S15 · January 2018: CC-BY-SA 3.0 DE

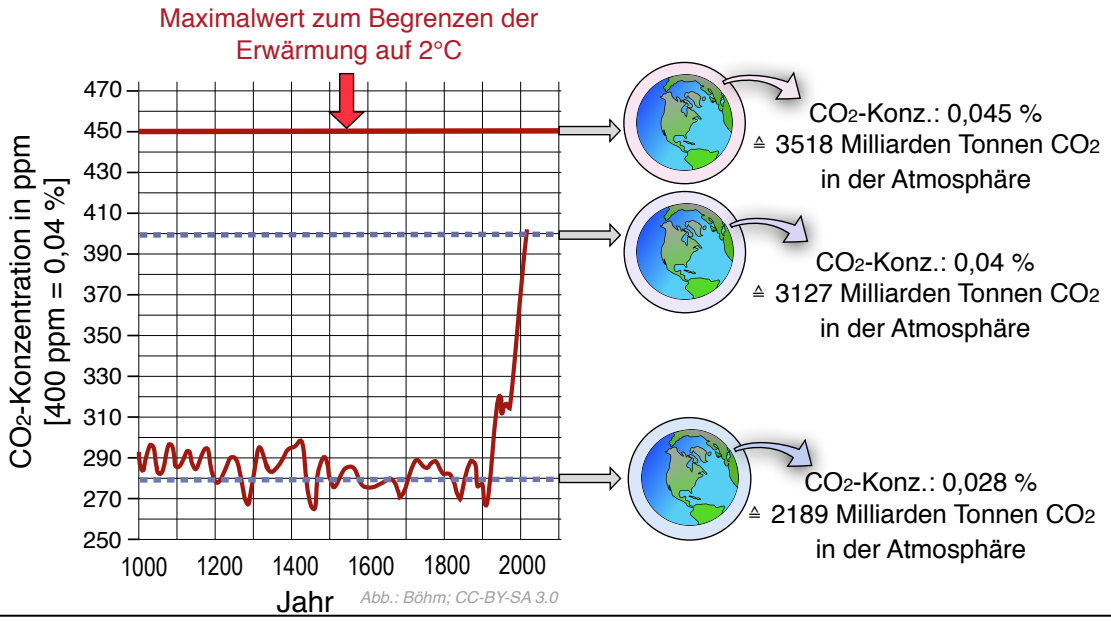
M8 | „2°C-Leitplanke“ und CO_2-Konzentration der Atmosphäre

Diverse Forschungsarbeiten von Klimawissenschaftlern haben bestätigt, dass

- zum einen die erhöhte CO_2-Konzentration der Atmosphäre den größten Effekt auf die Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur hat und
- zum anderen eine Begrenzung der Temperaturerhöhung auf maximal 2°C (besser 1,5°C) die schlimmsten zu erwartenden Folgen in Grenzen halten würde. [vom Weltklimarat (IPCC) wurde im einem Sonderbericht von 2018 die Begrenzung des Temperaturanstiegs auf 1,5°C mit entsprechenden Anstrengungen als noch erreichbar eingeschätzt und gegenüber dem weniger ambitionierten 2°C-Ziel deutlich besser bewertet, da es viele negative Klimafolgen stark reduziert.]

Abb. 12 veranschaulicht die Entwicklung der mittleren atmosphärischen CO_2-Konzentration innerhalb der letzten etwa 1000 Jahre und die Lage der „2°C-Leitplanke“.

Abb. 12



Aufgabenstellung

1. Die Theorie der sog. "Eis-Albedo-Rückkopplung" beschreibt u.a. den Effekt, dass ein Abschmelzen von Eis- und Schneeflächen auf der Erde dazu führt, dass beim Auftreffen von Sonnenlicht auf die nach dem Abschmelzen freiliegende Erd- bzw. Wasseroberfläche mehr Wärmestrahlung erzeugt wird und dadurch das Abschmelzen beschleunigt wird. Erkläre dies mit Hilfe von **M2.**
2. Beschreibe und erkläre die in **Abb. 4** dargestellten Zusammenhänge mit Hilfe von **Abb. 5**. Gehe dabei auch darauf ein, inwiefern man in **Abb. 5** erkennen kann, dass Kohlendioxid und Wasserdampf als Treibhausgase betrachtet werden, Sauerstoff und Ozon hingegen in dieser Hinsicht keine bedeutende Rolle spielen.
3. Beschreibe und erkläre die Ergebnisse des Modellversuchs zum Treibhauseffekt (**M5**).
4. Erläutere, inwiefern die in **M6** dargestellten Messergebnisse eine besonders schnelle und dramatische Klimaerwärmung erwarten lassen. Die prinzipielle jahreszeitliche Rhythmik ist auf die unterschiedliche Verteilung der Landmassen auf der Erde und damit unterschiedliche Photosynthese-Leistungen zurückzuführen - erkläre die Zusammenhänge. (Zusatzaufgabe: Sieh Dir das Video unter https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/globalview/co2/co2_intro.html an und erkläre dargestellten Schwankungen der CO_2-Konzentration)
5. Die überwältigende Mehrheit der Klimaforscher geht davon aus, dass die menschlichen Aktivitäten einen Klimawandel verursachen und fordern seit Jahren Maßnahmen zur Verhinderung bzw. Begrenzung des Klimawandels. Erläutere, wieso **Abb. 10** und **Abb. 11** diese Schlussfolgerung nachvollziehbar machen.
6. Eine winzige Minderheit von Klimaforschern geht davon aus, dass die steigenden Durchschnittstemperaturen auf geophysikalische Prozesse zurückzuführen sind, die noch nicht entdeckt wurden. Die menschlichen Aktivitäten haben ihrer Ansicht nach kaum Einfluss auf das Klima. Sie lehnen daher Maßnahmen zum Klimaschutz wegen zu starker gesellschaftlicher Auswirkungen ab. Nimm Stellung.
7. Erläutere, welche Schlussfolgerungen und welche zu untersuchenden Fragen sich aus **M8** ergeben.