

Klima im Wandel – Erwärmen wir die Erde?

Lernziele

Einblick in die Problematik des Klimawandels und die menschlichen Einflüsse auf diesen Vorgang nehmen; die Zusammenhänge von Klima, Klimaschwankungen, Treibhauseffekt und der Rolle von CO₂ verstehen; die Komplexität dieser Zusammenhänge erkennen; Einsicht gewinnen, dass eindeutige und klare Aussagen zu diesem Thema beim derzeitigen Stand der Wissenschaft nur schwer möglich sind; Bereitschaft für eine offene, kritische Diskussion über dieses Thema fördern.

Vorkenntnisse

Um die in diesem Film vorgestellten und diskutierten Zusammenhänge verstehen zu können, sollten den Schülerinnen und Schülern die Kennzeichen und Ursachen des unterschiedlichen Klimas auf der Erde bekannt sein. Außerdem ist es für das Verständnis des Films hilfreich, wenn im Vorfeld auf das Problem der Klimaveränderung und des Treibhauseffektes eingegangen worden ist.

Zum Inhalt

Der Film behandelt die Frage der derzeitigen Klimaveränderung auf der Erde und untersucht, wie der menschliche Einfluss auf diese Veränderung - insbesondere durch CO₂-Emissionen - bewertet werden kann. Vor dem Hintergrund, dass dieses Thema in der Öffentlichkeit teilweise sehr emotional und oft wenig sachkundig diskutiert wird, versucht der Film, sich dieser Frage möglichst neutral und auf wissenschaftlicher Basis zu nähern.

Die Annäherung erfolgt auf zwei sich ergänzenden Ebenen. Zum einen werden Sachinformationen mithilfe von Grafiken und Animationen übermittelt. Zum anderen werden verschiedene, subjektive Aussagen

und Meinungen von Wissenschaftlern aus unterschiedlichen Forschungsbereichen (Dendrochronologie, Polarforschung, Klimamodellrechnung, Stratosphärenforschung) vorgestellt.

Sachinformationen und Statements bauen aufeinander auf und ergänzen sich. Dabei vermitteln sie den aktuellen Stand einer durchaus kontroversen Diskussion.

Zusatzinformationen

Klima und Klimasystem

Das Klima eines Ortes wird durch alle meteorologischen Phänomene in der Atmosphäre definiert, die eine zeitliche Spanne von mehr als drei oder vier Wochen umfassen. Konkrete Aussagen über das Klima lassen sich allerdings nur treffen, wenn eine ausreichend lange Messreihe dieser Phänomene vorliegt.

Der vordergründige Schauplatz des Klimas ist die Lufthülle. Daneben nehmen noch zahlreiche andere Faktoren Einfluss, zum Beispiel Oberflächenformen, Vegetation, Meeresströmungen, Albedo und die Sonne. Dazu kommen noch die zahlreichen Rückkopplungseffekte, die eine Wirkung auf das Klima haben können.

Treibhauseffekt

Der Treibhauseffekt ist zunächst eine natürliche Erscheinung, die das Leben auf Erde erst möglich macht: Die kurzwellige Strahlung der Sonne dringt durch die Atmosphäre bis an die Erdoberfläche. Die von der so erwärmten Erdoberfläche ausgesandte langweilige Strahlung wird in der Atmosphäre absorbiert und in Wärmeenergie umgewandelt. Diese Wärmeenergie wird wiederum an die Atmosphäre und an die Erdoberfläche abgegeben. So erwärmen sich Atmosphäre und Erdoberfläche. Ohne diesen natürlichen Treibhauseffekt würde die Durchschnittstemperatur auf der Erde etwa

minus 18 °C betragen, mit ihm liegt er bei plus 15 °C dieser Effekt bewirkt also eine Erwärmung der Erde um etwa 33°C.

Beitrag zum natürlichen Treibhauseffekt:

Wasserdampf	62,0 %	20,6 °C
CO ₂	22,0 %	7,2 °C
O ₃ (bodennah)	7,0 %	2,4 °C
N ₂ O	4,0 %	1,4 °C
CH ₄	2,5 %	0,8 °C
FCKW u. a.	2,5 %	0,7 °C

Anfang der Siebzigerjahre wurden bereits erste Warnungen ausgesprochen, dass der Mensch durch den Ausstoß von Kohlenstoffdioxid (CO₂) bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe (Öl, Gas, Kohle) den Treibhauseffekt künstlich verstärkt und damit das Klima verändert. Wenn CO₂ einen wesentlichen Beitrag zum natürlichen Treibhauseffekt liefert, dann müsste ein CO₂-Anstieg in der Atmosphäre zu einer Verstärkung des Treibhauseffektes führen.

Der Nachweis war lange Zeit nicht möglich. Die Zusammenhänge und Verflechtungen zwischen Atmosphäre, Hydrosphäre, Geosphäre, Kryosphäre und Biosphäre waren zu komplex, um sie in eine Modellrechnung einbringen zu können.

Bestätigt schienen diese Warnungen aber dann durch die seit 1958 vorgenommenen Messungen der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre auf dem Mauna Loa (Hawaii). Und das um so mehr, da auch ein Anstieg der anderen so genannten Treibhausgase (N₂O, CH₄, FCKW u.a.) gemessen wurde.

Seit Beginn der Industrialisierung zeigt sich ein durchschnittlicher Anstieg der CO₂-Konzentration von 290 auf 360 ppm (parts per million), eine Temperaturerhöhung um etwa 0,6 °C und ein mittlerer Meeresspiegelanstieg von 10 bis 20 Zentimetern. Diese Faktoren gelten seit den Achtziger- und Neunzigerjahren als Belege für eine anthropogene Klimaveränderung in dem vom Menschen aufgeheizten „Treibhaus Erde“. Gleichzeitig wird beobachtet, dass Naturkatastrophen immer häufiger auftreten (Überschwemmungen, Hurrikane, Tornados usw.). Allerdings muss hier berücksichtigt werden, dass durch die zunehmende Besiedlungsdichte, auch in besonders exponierten Regionen, die „Trefferwahrscheinlichkeit“ der Naturkatastrophen immer größer wird. Darüber hinaus ist abzuwägen, inwieweit der volkswirtschaftliche Schaden über der reinen (objektiven) Quantifizierung steht.

Die Rolle des Kohlenstoffdioxids

Wissenschaftlich gesichert ist, dass der Kohlenstoff für den natürlichen Treibhauseffekt eine wichtige Rolle spielt und dass die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre in den letzten Jahrzehnten stetig anstieg. Unsicher ist jedoch die globale Bilanz des Kohlenstoffkreislaufs. Die wesentlichen Prozesse dieses Kreislaufs sind Photosynthese und Respiration (Veratmung) sowie der Austausch zwischen Meer und Atmosphäre. Der menschliche Einfluss durch Rodung und durch Verbrennen von fossilen Energieträgern, hat seit Beginn der Industrialisierung deutlich zugenommen. Trotzdem fehlen in der globalen Bilanz große Mengen Kohlenstoff, zu deren Verbleib es bis heute keine gesicherten Angaben gibt. Auch ist bisher unklar, inwieweit die steigende CO₂-Konzentration in der Atmosphäre als „Dünger“ für die Pflanzen wirkt und von diesen wieder aufgenommen wird. Fest steht, dass der gemessene Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre geringer ist, als er eigentlich sein müsste, wenn der durch Entwaldung und Verbrennung frei gewordene Kohlenstoff addiert wird.

Auffällig ist die Parallele zwischen der steigenden Temperaturkurve und dem Anstieg der CO₂-Konzentration, der in Eisbohrkernen festgestellt wurde. Allerdings ist bisher nicht wirklich klar, ob die steigende CO₂-Konzentration die Ursache für den Temperaturanstieg ist, oder ob ein Temperaturanstieg, der aus den Meeren CO₂ freisetzt, nicht auch die Ursache für eine erhöhte CO₂-Konzentration sein kann.

Klimamodelle

Um die komplizierten Klimavorgänge mathematisch zu fassen und um verlässliche Klimavorhersagen treffen zu können, werden seit Jahrzehnten Klimamodelle entwickelt und Klimamodellrechnungen angestellt. Zur Erstellung eines Klimamodells wird die Atmosphäre ausgehend von der Erdoberfläche mit einem dreidimensionalen Gitternetz überzogen (der Abstand der Gitterpunkte liegt bei 250 km). Zu den Gitterpunkten werden einzelne Klimaparameter (Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit usw.) eingegeben, um die Vorgänge in der Atmosphäre zu berechnen. Da es sich hier um sehr komplexe Abläufe in der Atmosphäre handelt, können diese komplizierten und aufwendigen Rechenleistungen nur von Hochleistungsrechnern bewältigt werden. Dabei werden immer mehr Klimafaktoren berücksichtigt, zum Beispiel auch die Konzentration von Sulfataerosolen in der Atmosphäre, die bei der Verbrennung von Öl, Kohle und Gas entstehen. Sie reflektieren das Sonnenlicht und können daher das Klima abkühlen. Auch andere Aerosole wie Vulkan- und Wüstenstaub können das Klima abkühlen, indem sie zum Beispiel die Wolkenbildung verstärken.

Doch auch die Weltmeere prägen das Erdklima. Daher werden in einem zweiten dreidimensionalen Modell die Wärmeverteilung und -zirkulation in den Ozeanen und die Wirkung von Klimaänderungen auf die Meeresströmungen und damit auf den ozeanischen Wärmetransport berechnet.

Im gekoppelten Ozean-Atmosphäre-Klima-Modell können nun mehrere Szenarien simuliert werden, bei denen zum Beispiel die CO₂-Konzentration auf den doppelten Wert erhöht wird. Je nach Modellrechnung ergibt sich ein Temperaturanstieg von 1,5 °C bis 5 °C. Die Klimamodellrechnungen bestätigen damit, dass erhöhte CO₂-Emissionen zu einer Klimaerwärmung führen. Aber auch die Entwickler dieser Klimamodelle räumen ein, dass bei den bisherigen Berechnungen noch längst nicht alle Faktoren berücksichtigt werden können, um ein exaktes Abbild der Wirklichkeit zu erhalten.

Methoden der Klimaforschung

Eine wichtige Grundlage der Klimaforschung ist die Messung der meteorologischen Werte (Temperatur, Niederschlag u.a.) in Wetterstationen. Dort werden diese Daten seit etwa 100 Jahren erfasst. Nur bei wenigen Messstationen (z. B. Hohenpeissenberg) gehen die Aufzeichnungen noch weiter zurück. Das weltweite Netz der Messstationen ist jedoch noch immer lückenhaft, insbesondere im Bereich der Ozeane. Ein deutlich größerer Zeitraum (etwa 1000 Jahre) lässt sich mithilfe der Dendrochronologie untersuchen. Bei dieser Methode werden aus Baumstämmen Bohrkern gezogen, an denen sich die Jahresringe ablesen lassen. Ein Jahresring besteht immer aus einem hellen (bildet sich im Frühjahr) und einem dunklen Ring (bildet sich im Sommer; Spätholz). Aus der Breite des Spätholzringes kann geschlossen werden, ob es sich um ein warmes oder ein kühleres Jahr gehandelt hat. Aus den verschiedenen, weltweit gewonnenen Bohrkernen lässt sich eine Reihe von „Messwerten“ zusammensetzen, mit deren Hilfe auf den Temperaturgang geschlossen werden kann. Die Baumproben werden bevorzugt in extremen Lebensräumen (z. B. an der Baumgrenze) entnommen,

da hier die Temperaturschwankungen wesentlich sensibler registriert werden. Unsicherheitsfaktoren bei dieser Methode sind Feuchtigkeit bzw. Trockenheit. Denn nicht nur in besonders kalten, auch in besonders trockenen Jahren bleibt das Wachstum der Bäume zurück und die Jahresringe sind weniger ausgeprägt. Verlässliche Klimainformationen lassen sich aus Eisbohrkernen gewinnen. Im Gletschereis sind kleine Luftbläschen eingeschlossen. Aus der Zusammensetzung dieser Luft können Aussagen über die CO₂-Konzentration und das Klima der Zeit getroffen werden, in der der Schnee gefallen ist, der heute dieses Eis bildet. Solche Messwerte geben Aufschluss über die Klimaentwicklung der letzten 160.000 Jahre.

Natürliche Klimaveränderungen

Im Verlauf der Erdgeschichte ist es - belegt durch das mehrfache Auftreten von Eiszeiten - immer wieder zu Klimaschwankungen und -veränderungen gekommen. Auch in historischen Zeiträumen hat sich das Klima auf der Erde immer wieder geändert. Wärmere Klimaperioden zum Beispiel ermöglichten Hannibal den Zug über die Alpen und den Wikingern die Besiedlung Grönlands.

Im 17. Jahrhundert und noch einmal im 19. Jahrhundert - während der Kleinen Eiszeit - kam es dagegen zu ausgesprochenen Kaltphasen. So erreichten zum Beispiel die Gletscher in den Alpen im letzten Jahrhundert ihren höchsten Stand seit dem Ende der Würm-Eiszeit vor 10.000 Jahren. Seitdem ist ein nahezu kontinuierlicher Temperaturanstieg zu verzeichnen, der immer wieder von kurzen Temperatursenkungen unterbrochen wurde.

Für diese Klimaschwankungen gibt es verschiedene natürliche Ursachen. So können zum Beispiel Gas- und Ascheausbrüche von Vulkanen zu einer zeitweiligen Veränderung des Klimas führen. Langfristige Klimaveränderungen (Eiszeiten oder Warmzeiten) können von der Änderung der Position und damit der Entfernung der Erde zur Sonne abhängen. So ist zum Beispiel die Umlaufbahn der Erde um die Sonne nicht konstant. Sie variiert von einer mehr elliptischen (wie zurzeit) zu einer mehr kreisförmigen Bahn. Auch die Neigung der Erdachse und damit die Stellung der Erde zur Sonne kann zwischen $21,5^\circ$ und $24,5^\circ$ schwanken (zurzeit: $23,5^\circ$), was die jahreszeitliche und räumliche Verteilung der Sonneneinstrahlung (= Insolation) beeinflusst.

In neuester Zeit wurde besonders die Aktivität der Sonne (ausgehend von den Sonnenflecken) und deren Einfluss auf das Klima - insbesondere auf die Vorgänge in der Stratosphäre - erforscht. Dabei wurde eine auffallende Übereinstimmung der aktiveren Sonnenphasen mit Temperaturanstiegen auf der Erde und umgekehrt festgestellt.

Diese Phänomene finden bei den aktuellen Klimamodellrechnungen noch keine Berücksichtigung, da sie mathematisch nur schwer zu beschreiben sind und die Zeiträume, in denen diese Phänomene wirksam sind, zu groß sind, als dass sie in die Berechnungen mit einfließen könnten. Unbestritten ist aber ihr Einfluss auf das Klima der Erde.

Das komplexe Zusammenwirken dieser verschiedenen natürlichen Mechanismen macht es schwer, eine eindeutige Aussage darüber zu treffen, in welchem Maß der Mensch mit seinen CO_2 -Emissionen (zusätzlich) zu einer Klimaerwärmung beiträgt.

Verwendung im Unterricht

Der Film eignet sich zum Einsatz im Unterricht ab der 10. Jahrgangsstufe. Im Vorfeld sollten die wesentlichen Grundlagen zu diesem Thema erarbeitet worden sein: Klima, (natürlicher und anthropogener) Treibhauseffekt, Klimaveränderungen, Klimamodelle usw.. Hier kann auf die in allen Schulbüchern vorhandenen Materialien zurückgegriffen werden.

Nach Auswertung dieser Materialien sollten die erarbeiteten Informationen zusammengestellt werden. Erst dann wird der Film gezeigt.

Für die Behandlung des Themas sind mehrere Unterrichtsstunden erforderlich. Sinnvoll ist hier die Projektarbeit, wobei gemeinsam Schwerpunkte ausgewählt und diese dann in (arbeitsteiliger) Gruppenarbeit vertieft werden.

Behandlung des Themas innerhalb mehrerer Unterrichtsstunden:

- Ein bis drei Unterrichtsstunden sollten zur Einführung dienen. Je nach Intention und Zeit kann unterschiedlich tief in das Thema eingestiegen werden: Was ist Klima? Wie werden Klimamodelle erstellt? Welche Kreisläufe (und Rückkopplungen) gibt es?
- Der eigentliche Einstieg kann mithilfe von Zeitungsschlagzeilen erfolgen, die vor allem die Zunahme der Naturkatastrophen als Folge einer Klimaveränderung als dramatisch erachten. Zusätzlich werden Darstellungen gezeigt, die die Zunahme der CO_2 -Konzentration, den Anstieg der Temperatur und des Meeresspiegels zeigen. Schließlich erfolgt eine Auswertung der Materialien und eine Diskussion der Ergebnisse (Tafelbild, Poster o. ä.).
- In einer weiteren Unterrichtsstunde wird der Film (in einem Durchgang) gezeigt und im folgenden gemeinsamen Unterrichtsgespräch analysiert und ausgewertet. Daraufhin werden die in der vorhergehenden Stunde gesammelten Ergebnisse kritisch geprüft und gegebenenfalls neu be-

wertet. Je nach Bedarf kann der Film anschließend noch einmal in voller Länge oder in Teilen gezeigt werden, um einzelne Aspekte noch einmal aufzugreifen.

- Abschließend erfolgt eine gemeinsame Diskussion zum Thema „Klimaveränderung als Folge menschlicher Eingriffe“. Hilfreiche Fragestellungen sind: Gibt es eine Klimaveränderung? Welchen Einfluss hat der Mensch auf diese Klimaveränderung? Welche Rolle spielt der Treibhauseffekt? Welche Folgen hat eine Klimaveränderung? Wie sind die natürlichen Klimaveränderungen zu bewerten? Welche Ergebnisse liefern Klimamodelle? Wie wird Klimaforschung betrieben? Gibt es klare Ergebnisse aus der Forschung? Diesen Fragestellungen kann auch in arbeitsteiliger Gruppenarbeit nachgegangen werden. Dazu können Informationen aus dem Film ausgearbeitet werden, Schul-, Fachbücher und Fachzeitschriften verwendet oder im Internet recherchiert werden. Als Ergebnis können Informationsposter erstellt und kleinere Vorträge oder Präsentationen vorbereitet werden.
- Auch wenn am Ende der Diskussion keine klare Aussage darüber erzielt werden kann, welchen Einfluss der Mensch durch den Verbrauch fossiler Energieträger auf das Klimageschehen hat, muss auf jeden Fall darauf hingewiesen werden, dass allein schon die Endlichkeit dieser Rohstoffe zu einem schonenden Umgang mit diesen Energiereserven zwingt. Es kann nicht Ziel sein, Unsicherheiten in den Vorhersagen der Forscher zur Verharmlosung von Umweltproblemen zu benutzen.

Informationen im Internet

Zu diesem Thema gibt es eine Vielzahl von Informationen im Internet, die über die Eingabe entsprechender Begriffe in Suchmaschinen leicht gefunden werden können. Deshalb sind hier nur einige wenige Adressen genannt, die direkt zu den im Film erwähnten Institutionen führen. Deutsches Klimarechenzentrum:

http://www.dkrz.de/DKRZ_index.html

Alfred-Wegener-Institut für Polarforschung:

<http://www.awi-bremerhaven.de/>

Münchener Rückversicherung:

http://www.muenchenerrueck.de/start_ger.htm (Weltkarte der Naturgefahren)

Stratosphärenforschung:

http://strat-www.met.fu-berlin.de/publications/publications_90s.html

Einfluss der Sonne auf das Klima:

<http://www.medoc-ias.u-psud.fr:81/meetings/ESLAB31/Abstracts/friis-christensen/friis-christensen.html>

Klimamessstation Hohenpeissenberg:

<http://www.dmg-ev.de/research/mohp/hp2/gaw/gaw.htm>

Weitere Medien

42 01628 Das Klima der nächsten hundert Jahre. VHS 10 mm, sw+f

4202546 El Nino. VHS 12 min, f

66 00090 Wetter und Klima. CD-ROM

66 00001 Naturkatastrophen. CD-ROM

66 00070 Naturkatastrophen und Internet. CD-ROM

42 01742 Wirbelstürme und Gewitter: Naturkatastrophen und ihre Ursachen. VHS 13 mm,

42 01421 Umwelt und Klima: Treibhaus Erde. VHS 17 mm, f

32/42 10255 Treibhauseffekt.

16-mm-Film/VHS 15 mm, f

32/42 10254 Das Ozon. 16-mm-Film/VHS 15 mm, f

4202396 Ozon: Unten zu viel, oben zu wenig. VHS 16 min, f