

Klima und Treibhauseffekt

Klima wird beschrieben durch den mittleren Zustand, charakteristische Extremwerte und Häufigkeitsverteilungen meteorologischer Größen wie zum Beispiel Luftdruck, Wind, Temperatur, Bewölkung und Niederschlag, bezogen auf einen längeren Zeitraum und ein größeres Gebiet. Dabei spielt der Treibhauseffekt eine wichtige Rolle im Klimasystem.

01.09.2014

Grundlagen

Klima wird beschrieben durch den mittleren Zustand, charakteristische Extremwerte und Häufigkeitsverteilungen meteorologischer Größen wie zum Beispiel Luftdruck, Wind, Temperatur, Bewölkung und Niederschlag, bezogen auf einen längeren Zeitraum und ein größeres Gebiet. Aus eigenem Erleben, zum Beispiel von Urlaubsfahrten wissen wir, dass das Klima räumlich variiert. Dass sich das Klima auch im Laufe der Zeit ändert, wissen wir mindestens aus der Kenntnis über die letzte Eiszeit, die große Teile des heutigen Deutschlands unter einen Eispanzer setzte und bekannte katastrophale Folgen für das bis dahin hier vorhandene Leben hatte. Aus der paläoklimatologischen Forschung (Untersuchung vergangener Klimaentwicklungen) sind Schwankungen der globalen Mitteltemperatur in den letzten Millionen Jahren zwischen 9 Grad Celsius und 16 Grad Celsius bekannt. Deshalb bewegte die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler schon lange die Frage nach dem "Warum" der beobachteten Klimaänderungen. Vereinfacht lassen sich folgende Ursachen dafür anführen:

- Veränderungen geostrophysikalischer Parameter (zum Beispiel Solarkonstante, Erdbahnelemente),
- Veränderungen der Erdoberfläche (zum Beispiel Kontinentaldrift, Änderung der Landnutzung) und
- Änderungen des Stoffhaushaltes der Atmosphäre (zum Beispiel Gehalt an Treibhausgasen und kleinen, schwebenden Teilchen, den Aerosolen).

Mit Ausnahme der Variation geostrophysikalischer Parameter können die Veränderungen sowohl natürliche (zum Beispiel Vulkanismus) als auch anthropogene (= durch den Menschen erzeugte) Ursachen haben. Bis zum Beginn der Industrialisierung waren die Auswirkungen menschlicher Eingriffe lokal oder regional begrenzt. Seit der Industrialisierung werden jedoch deutliche überregionale und globale Änderungen im Stoffhaushalt der Atmosphäre als Folge menschlichen Wirkens beobachtet. Ausdruck dafür ist der Anstieg der Treibhausgase. Die Konzentrationen der Treibhausgase nehmen seit 1750 in der gesamten Atmosphäre zu. So stiegen die Konzentrationen von Kohlendioxid (CO₂) bis zum Jahr 2005 um über 35 Prozent, die des Methans (CH₄) um 148 Prozent und die des Distickstoffmonoxids (N₂O) um 18 Prozent weltweit gegenüber den Werten vorindustrieller Zeiten. Die Gründe hierfür sind vielfältig. Sie liegen im starken Anstieg der Verbrennung fossiler Energieträger wie Kohle, Erdöl oder Erdgas ebenso wie in der Ausweitung der industriellen Produktion, in Änderungen bei der Landnutzung oder in der Ausweitung der Viehwirtschaft. Auch völlig neue Stoffe wie Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), Halone (enthalten Bromatome im Molekül) vollfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW), teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (H-FKW), und Schwefelhexafluorid (SF₆), die fast ausschließlich durch den Menschen erzeugt werden, gelangen in die

Atmosphäre.

Alle diese Stoffe und Gase, zu denen auch Wasserdampf und Ozon gehören, haben eine besondere Eigenschaft. Sie lassen die von der Sonne (vor allem im sichtbaren, kurzwelligen Bereich) auf die Erde gelangende, energiereiche Strahlung relativ ungehindert passieren, absorbieren teilweise aber die im Gegenzug von der erwärmten Erdoberfläche abgegebene langwellige Strahlung. Hierdurch werden die Moleküle dieser Gase in einen so genannten energetisch angeregten Zustand versetzt, um nach kurzer Zeit unter Emission (Aussendung) infraroter Strahlung wieder in den ursprünglichen Grundzustand zurückzukehren. Die Emission von Wärmestrahlung erfolgt in alle Raumrichtungen, das heißt zu einem erheblichen Anteil auch zurück zur Erdoberfläche ("thermische Gegenstrahlung"). Damit diese zusätzlich zugeführte Energiemenge dennoch abgestrahlt werden kann (dies muss aus Gründen der Energieerhaltung bzw. des dynamischen, energetischen Gleichgewichts erfolgen, in dem sich Erde und Atmosphäre im Mittel befinden), muss die Erde eine entsprechend höhere Temperatur aufweisen. Dies ist, kurz und vereinfacht gesagt, die Natur des Treibhauseffektes. Die dabei beteiligten Gase werden allgemein als "Treibhausgase" bezeichnet.

Die Wirkung des Treibhauseffektes ist erheblich. Ohne die natürlicherweise vorkommenden Treibhausgase wäre ein Leben auf unserem Planeten gar nicht möglich. Statt der vorherrschenden globalen, bodennahen Mitteltemperatur von circa 15 Grad Celsius, hätten wir ohne natürlichen Treibhauseffekt eine mittlere Temperatur von etwa - 18 Grad Celsius und die Erde wäre vereist. Der natürliche Treibhauseffekt sichert also unser irdisches Leben.

Durch die Zunahme der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre kommt es zu einem zusätzlichen Treibhauseffekt und zu einem Anstieg der bodennahen Lufttemperatur. Der natürliche Treibhauseffekt ist also lebensnotwendig - seine Verstärkung durch menschlichen Eingriff aber gibt Anlass zur Sorge. Jede Veränderung eines Klimafaktors (hier der Zusammensetzung der Atmosphäre) kann über vielseitige Wechselwirkungen zu weit reichenden und raschen Änderungen im gesamten Klimasystem führen. Da die Ökosysteme und auch unsere Zivilisation an die derzeitigen Klimabedingungen angepasst sind, können solche Änderungen bedrohliche Folgen haben.

Welche Auswirkung die Zunahme der atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen auf das Klima hat, ist nicht so einfach zu beantworten. Da es keine einfachen Ursache-Wirkungsketten im Klimasystem gibt, hat die Änderung eines Parameters (zum Beispiel der Strahlung) die Änderung vieler Parameter (zum Beispiel Temperatur, Luftdruck, Verdunstung, Bewölkung) zur Folge. Darüber hinaus kommt es auch noch zu positiven und negativen Rückkopplungen (Verstärkungen und Abschwächungen der Wirkungen von Prozessen). Deshalb ist es nötig, Klimamodelle einzusetzen und mit Hilfe hochleistungsfähiger Computer mögliche künftige Klimaänderungen zu simulieren.

Geschichtliche Eckdaten der Erforschung des Treibhauseffektes

Wissenschaftliche Erkenntnisse im Zusammenhang mit der Natur des Treibhauseffektes gibt es schon recht lange.

Bereits 1824 erläuterte Jean-Baptiste Fourier, wie Spurengase in der Atmosphäre das Klima erwärmen. Der schwedische Nobelpreisträger Svante Arrhenius berechnete im Jahre 1896 erstmals, dass eine Verdopplung des Kohlendioxidgehaltes der Atmosphäre zu einer Temperaturerhöhung um vier bis sechs Grad Celsius führen würde (Rahmstorf und Schellnhuber 2007). Im Jahre 1933 beschrieb der amerikanische Meteorologe Kincer in der Zeitschrift *Monthly Weather Review* (Kincer 1933) ungewöhnliche Erwärmungstrends. Der britische Ingenieur Callendar vermutete, dass diese Trends mit einer erhöhten Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre in Verbindung stünden (Callendar 1938).

In Deutschland gehörte der Meteorologe Hermann Flohn zu den Pionieren dieses Forschungszweiges. Er diskutierte schon 1941 die globale Klimawirkung von durch den Menschen verursachten erhöhten CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre (Flohn 1941).

Bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts gab es jedoch noch keinen Beleg dafür, dass die CO₂-Konzentration der Atmosphäre wirklich steigt. Diese Feststellung gelang den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern erst

während des internationalen geophysikalischen Jahres 1957/1958 (Rahmstorf, Schellnhuber 2007). 1958 initiierte der Chemiker Charles Keeling den Beginn der kontinuierlichen Messungen der atmosphärischen CO₂-Konzentration auf dem Mauna Loa auf Hawaii, die bis in die Gegenwart fortgeführt werden.

1965 warnte der wissenschaftliche Beirat des Präsidenten der USA vor einer möglichen, vom Menschen verursachten Klimaänderung und deren möglichen, bedeutenden Folgen (Agrawala 1998).

1979 fand die erste Weltklimakonferenz statt, der in den Jahren 1980, 1983 und 1985 Arbeitstreffen in Villach, Österreich folgten. In Villach 1985 kam eine internationale Gruppe von Wissenschaftlern zu dem Schluss, dass in der ersten Hälfte des folgenden Jahrhunderts ein Anstieg der globalen Mitteltemperatur auftreten würde, der beispiellos in der Geschichte der Menschheit wäre. Diese Expertengruppe empfahl zugleich eine enge Zusammenarbeit von Wissenschaftlern und Politikern zur Ausarbeitung von Maßnahmen gegen die drohende Klimaänderung (Agrawala 1998).

Seit dem Expertentreffen in Villach 1985 war die Problematik der durch den Menschen verursachten Klimaänderung auf der internationalen politischen Agenda verankert.

Literatur:

- Agrawala, S. 1998: "Context and early origins of the Intergovernmental Panel on Climate Change." *Climatic Change* 39, S.605-620
- Callendar, G. S., 1938: "The artificial production of carbon dioxide and its influence on temperature". *Quart. J. R. Met. Soc.*,64, S. 223-241
- Flohn H., 1941: Die Tätigkeit des Menschen als Klimafaktor. *Z. f. Erdkunde*, , S. 13-22
- Kincer, J. B., 1933: "Is our climate changing? A study of long-time temperature trends. *Monthly Weather Review* 61 (Nr. 9), S. 251 – 259
- Rahmstorf, S., Schellnhuber, H. J., 2007: „Der Klimawandel.“ Verlag C. H. Beck oHG, München, 144 S.

Die Sonne und das Klima

Die Sonne ist der Energielieferant für das Klima der Erde. Deshalb hat die Änderung der Strahlungsintensität der Sonne, also veränderte Energiezufuhr, unmittelbare Auswirkungen auf das Klima. Ein Maß für die Strahlungsintensität der Sonne ist die Solarkonstante. Sie gibt die Strahlungsleistung der Sonne an, die oberhalb der Atmosphäre bei mittlerem Abstand zwischen Erde und Sonne senkrecht auf eine Fläche von einem Quadratmeter trifft. Die Bezeichnung „Solarkonstante“ ist jedoch nicht exakt, denn der Wert ist nicht konstant. Ursache dafür sind unter anderem kurzfristig-periodische und langfristige Änderungen der Sonnenstrahlung.

Im Hinblick auf die globale Erwärmung der jüngsten Vergangenheit und der Gegenwart sind die kurzfristig-periodischen Änderungen von besonderem Interesse. Sie hängen mit der Sonnenaktivität zusammen: einer zu bestimmten Zeiten verstärkten Sonnenstrahlung, die durch Sonnenfackeln und Protuberanzen (Materieströme auf der Sonne) verursacht wird. Die Sonnenaktivität variiert in einem markanten elfjährigen Zyklus, der mit einer Zunahme der Strahlungsintensität von etwa 0,1 Prozent verbunden ist. Bekannt sind darüber hinaus ein 80-jähriger Zyklus sowie weitere Variationen in längeren Zeiträumen.

Wenn die Sonnenaktivität erhöht ist, ist auch die Anzahl der Sonnenflecken – das sind dunkle Gebiete auf der Sonnenoberfläche – größer. Die Sonnenflecken kommen zustande, weil starke lokale Magnetfelder den Aufstieg der heißen Materie aus dem Inneren der Sonne bis an die Oberfläche behindern. Dadurch bleibt es in diesen Bereichen kälter und es wird weniger Licht abgestrahlt - daher dunkle Flecken. Die Ausprägung der lokalen Magnetfelder hängt mit der Dynamik der Materieströmungen und der außerhalb des inneren Kernes nicht einheitlichen Winkelgeschwindigkeit der Drehung der Sonne um sich selbst (in Polbereichen langsamer als am Äquator) zusammen. Dass die Intensität der Sonnenstrahlung gerade größer ist, wenn viele Sonnenflecken vorhanden sind, liegt daran, dass dann auch besonders viele heiße Fackeln und Protuberanzen auftreten. In diesen heißen Zonen der Sonnenoberfläche findet eine erhöhte Energieabstrahlung statt, die das Strahlungsdefizit der Sonnenflecken mehr als ausgleicht. Auch die

Fackelgebiete hängen mit speziellen Ausprägungen des Magnetfeldes zusammen. Die Sonnenflecken wurden bereits im Alten China vor 2000 Jahren beobachtet. Eine systematische Beobachtung erfolgte nach der Entdeckung des Fernrohrs seit Beginn des 17. Jahrhunderts. Messungen der Sonnenstrahlung von Satelliten aus liegen erst seit 1980 vor.

Die auf der Grundlage dieser Beobachtungen geschätzte Zunahme der Strahlungsintensität bei erhöhter Sonnenaktivität um 0,1 Prozent ist zu gering, um sich unmittelbar im Witterungs- und Klimageschehen ernsthaft bemerkbar zu machen. Denkbar wäre, dass dieser geringe Effekt durch bestimmte Prozesse im Klimasystem verstärkt wird (positive Rückkopplungen). Die Wissenschaft hat jedoch keine gesicherten Erkenntnisse über derartige Rückkopplungsmechanismen. Im 4. Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen kommen die Klimatologinnen und Klimatologen zu dem Schluss, dass der seit 1750 durch Änderungen der Sonneneinstrahlung verursachte Klimateffekt nur etwa ein Zehntel des anthropogenen (durch den Menschen verursachten) Effektes beträgt (siehe Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen).

Die auf der Erde ankommende Sonnenstrahlung unterliegt zudem Schwankungen, wenn sich Parameter der Erdbahn um die Sonne ändern. Diese Schwankungen sind langfristiger Natur und nicht mit Änderungen der Solarkonstante verbunden. Sie vollziehen sich in Perioden von einigen 10.000 bis zu einigen 100.000 Jahren und verursachen nach heutigem Kenntnisstand die Eiszeitzyklen.

Zusammenfassung der geschichtlichen Eckdaten der Erforschung des Treibhauseffektes

Links

- 4. Sachstandsbericht des IPCC (auf Englisch) (http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml#1)
- übersetzt: 4. Sachstandsbericht, Arbeitsgruppe 1 (<http://www.proclim.ch/products/IPCC07/de/ipcc2007-WG1.pdf>)
- Messstation Mauna Loa (Seite auf Englisch) (<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/obop/mlo/>)

Publikationen

- Sonne, Treibhausgase, Aerosole, Vulkanausbrüche - gibt es einen Favoriten bei Klimaänderungen? (<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/sonne-treibhausgase-aerosole-vulkanausbrueche-gibt>)
- Und sie erwärmt sich doch – Was steckt hinter der Debatte um den Klimawandel? (<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/sie-erwaermt-sich-doch-was-steckt-hinter-debatte-um>)

„Für Mensch und Umwelt“ ist der Leitspruch des

und bringt auf den Punkt, wofür wir da sind. In diesem Video geben wir Einblick in unsere Arbeit.

Umweltbundesamt

Kontakt

Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau

Telefon: +49-340-2103-2416

Fax: +49-340-2103-2285

buergerservice@uba.de

Quelladresse (zuletzt bearbeitet am 01.09.2014): <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimawandel/klima-treibhauseffekt>