

Betrachtungen zum Thema „Klima“

Vor vielen Jahren erfuhr man bereits auf der Schule von einem anderen Klima als dem augenblicklichen, indem von einer vergangenen Eiszeit die Rede war, in der unser Land (und nicht nur das unsrige) von einer dicken Eisschicht bedeckt war, der Meeresspiegel um –zig Meter gesunken und in unseren Breiten („Gegenden“) menschliches Leben kaum möglich war. Das ging dann vorüber, und jetzt ist es wieder grün, und der Meeresspiegel ist auch durch das geschmolzene Eis wieder angestiegen. Weshalb eine solche Eiszeit gekommen und wieder vergangen war, wusste damals niemand – und heute offenbar auch noch nicht. Was man aber weiß, ist, dass es viele solche Eiszeiten gegeben hatte, die sich in fast regelmäßigen Zyklen wiederholten. Die letzte endete vor ca. 12.000 Jahren und hatte etwa 80.000 Jahre angedauert.

Außer den zyklischen Eiszeiten, die sich in Zeitabständen von rund 100.000 Jahren seit mindestens zwei Millionen Jahren wiederholen, gibt es nun auch noch weitere zyklische Klimaschwankungen, die sich in wesentlich kürzeren Perioden feststellen lassen – in den letzten 2.000 Jahren wurden vor allem Zyklen von 1.000, 500, 200 und 60 Jahren analysiert, in denen die Temperaturänderungen natürlich wesentlich kleiner als bei den Eiszeiten gewesen sind.

Dass man solche Zeiten und Zyklen messen kann, beruht auf sehr weit entwickelter analytischer Messtechnik – Thermometer hat man erst seit vielleicht dreihundert Jahren, und alle anderen, früheren Temperaturwerte sind sogenannte Proxywerte, die auf Bestimmung von Isotopen in Ablagerungen, Stalaktiten, Bohrkernen und Ähnlichem beruhen (z.B. ^2H -, ^{10}Be -, ^{13}C -, ^{14}C -, ^{18}O – Gehalte). Andere physikalische Größen werden ebenfalls benutzt.

Ursachen für die zyklischen Klimaveränderungen müssen in kosmischen Einflussfaktoren gesucht werden, die zwar als solche bekannt sind, aber nicht auf welche Weise sie die Temperaturen auf der Erde steuern – hier gilt es noch viel zu erforschen.

Dazu muss man folgende Parameter in Betracht ziehen:

- Neigung der Erdachse gegen die Umlaufbahn ($23,45^\circ$),
- Präzession mit Nutation der Erdachse (ca. 26.000 Jahre),
- Drehung der Erde (1 Tag),
- Drehung des Mondes (29 Tage),
- Veränderung der Exzentrizität der Erdumlaufbahn (jetzt 0,017),
- Änderung der magnetischen Feldstärke der Erde und ihren Nord-Südwechsel,
- Aktivität der Sonne und Sonnenflecken (u.a. 11 Jahre-Zyklus),
- Wanderung des gesamten Sonnensystems mit allen Planeten durch die Milchstraße

-und andere mehr. Bei diesen Einflüssen spielen die sogenannten „Treibhausgase“ (s.u.) überhaupt keine Rolle.

Zum CO₂ ist aber doch etwas zu sagen: Wenn am Ende jeder Eiszeit die Oberflächentemperatur wieder ansteigt, erniedrigt sich die CO₂-Löslichkeit im auch wärmer werdenden Meerwasser, und von dem Gas entweicht ein Teil in die Atmosphäre, deren Gehalt dadurch erhöht wird; allerdings erfolgt die Erwärmung des Meeres viel langsamer als die der festen Oberfläche, so dass das Maximum des Gasgehaltes fast 1.000 Jahre später als das Temperaturmaximum erreicht wird – beim erneuten Abkühlen zur nächsten Eiszeit verliert die Luft ihr erhöhtes CO₂ wieder, aber ebenso zeitverzögert. Das hat ursprünglich zu der bis heute noch häufig zu findenden irrigen Annahme geführt, das CO₂ sei die Ursache der Temperaturveränderungen gewesen, in Wirklichkeit war es aber genau umgekehrt.

Die Ozeane bedecken gut 70% der Erdoberfläche und haben eine mittlere Tiefe von ca. 4.000 m, das ergibt eine Masse von ca. $1,5 \cdot 10^{18}$ Tonnen Wasser. Die in ihnen gelöste Kohlendioxidmenge ist nicht gut zu beziffern, es wurde aber abgeschätzt, dass im Meer etwa das 50-fache des in der Erdatmosphäre Vorhandenen gespeichert ist (von ursprünglich 420 ppm_{gew} mit ca. $2,2 \cdot 10^{12}$ t CO₂, jetzt auf $3,1 \cdot 10^{12}$ t angewachsen; 10^{12} ist eine deutsche Billion, auch mit „tera“-bezeichnet).

Außer den erwähnten zyklischen Klimaschwankungen durch kosmische Einflüsse gibt es nun auch nicht-zyklische. So wurde gefunden, dass ein großes Artensterben durch Eiszeiten bereits vor über zwei Milliarden Jahren (Proterozoikum), während der Karbonzeit (vor 360 Millionen Jahren) und zu Ende des Perm (vor 290 Millionen Jahren) stattgefunden hat. Ganz besonders muss aber erwähnt werden, wie der Einschlag eines riesigen Meteoriten (ca. 10 km Durchmesser) am Ende der Kreidezeit (vor 65 Millionen Jahren) einen tiefen Einschnitt in das gesamte Artenleben auf der Erde verursachte, wobei auch alle Dinosaurier ums Leben kamen*. Große Meteorite sind auch zu anderen Gelegenheiten auf die Erde niedergegangen (Beispiel: Nördlinger Ries in Deutschland), ohne eine solche weltweite Katastrophe ausgelöst zu haben. Weiter sollte nicht vergessen werden, dass immer wieder starke Vulkanausbrüche für begrenzte Klimaänderungen die Ursache waren.

*Dieses wurde entdeckt (1980) durch die schon erwähnte hochentwickelte chemische Analysentechnik: Eine fingerdicke Ablagerung über der Kreideformation in Gubbio/Italien enthielt etwa 50-mal mehr Iridium als sonst auf der Erde vorkommt (1 ppb), und dieses schwere Edelmetall findet sich besonders in metallischen Meteoriten! An vielen anderen Stellen der Erde wurde dann die gleiche Ir-Unregelmäßigkeit oberhalb der Kreide festgestellt.

Kommen wir jetzt zu Klimaveränderungen durch schwankende Konzentrationen der Komponenten der Erdatmosphäre. Diese besteht gewichtsmäßig aus folgenden Anteilen: 74,4 % Stickstoff, 22,8 % Sauerstoff, 1,5 % Wasserdampf, 1,3 % Argon, 0,06 % Kohlendioxid und 0,0015 % anderen Spurengasen. Dabei ist der Wasserdampfgehalt, hier mit 1,5 % gerechnet, eine Durchschnittsgröße, die regional sehr verschieden sein kann (0,5-4%), was dann zu entsprechenden Korrekturen bei den anderen Gehalten führen würde. Außer diesem Wasserdampfgehalt verfügt die Atmosphäre aber auch noch über flüssiges Wasser in Form der Wolken, die durch Kondensation von verdampftem Wasser aus den

Meeren stammen. Diese Kondensation, bei der erhebliche Wärmemengen freigesetzt werden, wird maßgeblich durch kosmische Strahlung initiiert, so dass wir hier wieder einen variablen Einfluss aus dem Weltall haben.

Diese Prozentzahlen, die in der Wissenschaft meist entsprechend abgewandelt auf das Volumen bezogen sind, werden anschaulicher, wenn man damit die Gewichtsanteile pro Quadratmeter Erdoberfläche berechnet. Wir haben also, je Flächeneinheit gerechnet, Folgendes: 7.436 kg N₂, 2.278 kg O₂, 150 kg H₂O, 130 kg Ar, 6 kg CO₂ und 0,15 kg andere Spurengase, insgesamt 10.000 kg, die dem Atmosphärendruck entsprechen. Was die Wolken zusätzlich wiegen können, ist kaum zu berechnen; man beachte zum Beispiel Folgendes:

Bei einem stehenden Gewitter gehen manchmal mehr als 100 kg Wasser/m²·h aus einer Wolke auf die Erde nieder, und dabei ist die Wolke noch nicht einmal verschwunden! Der Bewölkungsgrad der gesamten Erde ist natürlich keine feste Größe und schwankt erheblich, es wurde schon eine Zahl von etwa 40 % für Berechnungen verwendet, aber auch von 70% wurde schon gesprochen.

Man hat den Einfluss der Atmosphäre auf die durchschnittliche Oberflächentemperatur der Erde mit der Wirkung eines Gewächshauses verglichen, innerhalb dessen es ja auch wärmer als außerhalb desselben ist. Indes, beide Effekte sind physikalisch vollkommen verschieden, trotzdem spricht man beim Klima auf der Erde auch von einem „Treibhauseffekt“. Wie kommt dieser zustande?

Der Energieaustausch zwischen Erde und Weltall (Sonne) erfolgt ausschließlich durch elektromagnetische Strahlung; während von der Sonne ein weit gefächertes, dichtes Band von Strahlungsfrequenzen (UV, Licht, IR) auf die Erde trifft, emittiert letztere nur infrarote (= Wärme-) Strahlung in das All zurück. Beide Strahlungsenergien sind quantitativ gleich groß, so dass sich ein konstantes Gleichgewicht ergibt; was die Erde tagsüber von der Sonne empfängt, strahlt sie nachts wieder in das All zurück. Dabei kann man unterscheiden zwischen der Rückstrahlung der festen Erde und des Meeres (=Erdoberfläche) und der Strahlung von den Komponenten in der Atmosphäre, die dazu in der Lage sind, wozu besonders der Wasserdampf und das Kohlendioxid gehören; die anderen Spurengase zählen z.T. auch noch dazu, spielen mengenmäßig aber nur eine entsprechend geringe Rolle. Stickstoff, Sauerstoff und Argon können weder strahlen noch absorbieren.

Einen deutlichen Effekt machen jedoch zusätzlich die Wolken, die als flüssige Wassertröpfchen weder zur Erdoberfläche noch zu einem Atmosphärenbestandteil zu rechnen sind. Jedermann weiß, wie eine Wolkenschicht tagsüber die Sonnenstrahlung von der Erdoberfläche abhält – es bleibt darunter kühl oder kalt – , und dass sie nachts die Abstrahlung der Erde teilweise zurückgibt, so dass es unter ihr wärmer bleibt – sie wirkt „isolierend“.

Ähnlich wirken nun der Wasserdampf und das CO₂ in der Atmosphäre, die beide in der Lage sind, Strahlungen zu absorbieren und auch zu emittieren, allerdings nur in wenigen spezifischen Frequenzen. Die dabei bewegten Energiemengen sind daher bedeutend geringer als die der Kontinuumsstrahler Feststoff und Flüssigwasser, die praktisch alle Frequenzen des IR-Spektrums in ihrer Strahlung beinhalten.

Betrachten wir nun die Mengen der strahlenden Bestandteile in der Atmosphäre – 150 kg/m²Wasserdampf, unbekannte Menge/m²Flüssigwasser der Wolken (viele Kilogramm!) und nur 6 kg/m² CO₂, so wird deutlich, dass das CO₂ wegen seiner geringen Menge nur einen kleineren Beitrag zu dem gesamten Effekt beitragen kann. Insgesamt erhält die Erde durch Rückstrahlung, die ihre Abkühlung nachts verlangsamt, 150 W/m²; den größten Anteil davon bewirken die Wolken, gefolgt von dem Wasserdampfgehalt, und nur gut 20 % stammt vom Kohlendioxid.

Der Einfluss dieses Gases auf die Temperatur und damit auf das Klima ist mit Hilfe der physikalischen Strahlungsgesetze und festgestellten Messwerte recht genau theoretisch errechnet worden. Es ergibt sich, dass in *erster* Näherung bei trockener und wolkenfreier Luft die *Verdoppelung* des CO₂-Gehaltes eine Temperaturerhöhung von 1,1°C bewirken würde. Dieses Resultat verschiebt sich dann nach unten, etwa auf 0,6°C, wenn man die Realbedingungen in die Rechnung einbezieht: Unter den Wolken ist das CO₂ nahezu wirkungslos, weil dort schon fast die gesamte IR-Strahlung absorbiert wird, weiterhin muss die Überlappung des CO₂-Absorptionsspektrums mit dem des Wasserdampfes in Abzug gebracht werden, schließlich ist bei dem Wert von 0,6°C auch der geringe Effekt der Wasserdampfdruckkoppelung wegen steigenden H₂O-Gehaltes infolge Erwärmung bereits berücksichtigt.

Nun wird es wichtig abzuschätzen, wie man zu einer Verdoppelung des CO₂-Gehaltes durch menschliche Aktivitäten kommen könnte. Oben ist angeführt, wie viel ursprünglich („vorindustriell“, um 1860) in der Atmosphäre enthalten war: $2,2 \cdot 10^{12}$ t. Um die gleiche Menge noch einmal einzubringen, müsste mehr Kohlenstoff verbrannt werden als sämtliche fossilen Brennstoffe (Kohle, Erdöl und Erdgas) enthalten, die bisher entdeckt sind! Es ist also nicht vorstellbar, wie unsere industriellen Tätigkeiten einen gefährlichen Klimawandel bewirken könnten, selbst 0,6 oder gar 1°C wären ja noch vollkommen verträglich. Eine sogenannte „Dekarbonisierung“ der Energiegewinnung, wie sie politisch weltweit angestrebt wird, ist also vollkommen unnötig ! –

Mit Hilfe der theoretischen Berechnungsmethode für den Effekt des CO₂ auf das Klima kann nun auch abgeschätzt werden, wie viel dieses Gas in den vergangenen 160 Jahren zur festgestellten Erwärmung von 0,8°C beigetragen hat. Der Anfangsgehalt von 280 ppm_{vol.} (420 ppm_{gew.}) hat sich jetzt auf 400 ppm_{vol.} (600 ppm_{gew.}) erhöht, wobei in dieser Zeit (1860 bis 2018) insgesamt $1,5 \cdot 10^{12}$ t CO₂ durch Verbrennung fossiler Brennstoffe emittiert worden sind.

Diese letzte Zahl zeigt, dass diese erfolgte Emission mitnichten ganz in der Atmosphäre verblieben ist, sondern nur ~ 0,9 tera-t (= ~ 60%), also zu einem beträchtlichen Teil (~ 40%) in die sogenannten „Senken“, das sind die Ozeane, Gesteine und Pflanzen, überführt worden ist. Mit steigendem CO₂-Gehalt erhöht sich sogar zwangsläufig diese Abflussmenge, so dass eine angenommene Verdoppelung damit deutlich schwieriger werden würde.

Der bisherige emissionsbedingte CO₂-Anstieg entspricht dem Faktor $400/280 = 1,43$, während eine Verdoppelung mit $560/280 = 2,0$ gerechnet werden muss. Diese Quotienten gehen als natürliche Logarithmen der Werte, jeweils 0,36 und 0,69 betragend, in die theoretische Rechnung ein, was zeigt, dass anstelle

von $0,6^{\circ}\text{C}$ nur $0,3^{\circ}\text{C}$ durch die industrielle Tätigkeit verursacht sein können. Das wären nur knapp 40% des tatsächlich Festgestellten ($0,8^{\circ}\text{C}$), der Rest muss also den anfangs erwähnten zyklischen kosmischen Einflussgrößen zugeschrieben werden, die natürlich weiterhin wirksam waren, wie die Überwindung der „kleinen Eiszeit“ seit dem 19. Jahrhundert bereits gezeigt hat. Der menschengemachte Einfluss auf das Klima ist also minimal gewesen, dabei rechnerisch näherungsweise gut bestimmbar.-

Alle genannten Temperaturwerte stellen den weltweiten Durchschnitt dar; betrachtet man nun den Anteil, den Deutschland daran hat, und der mit 2,3 % gerechnet werden kann, so wird deutlich, dass uns hier von den ganzen $0,3^{\circ}\text{C}$ Temperaturerhöhung nur ein Beitrag von einigen unmessbaren Tausendstel Grad zuzurechnen ist !