

# Klimawandel: Ursachen und Bedrohungspotenzial

Der fünfte Weltklimabericht, der 2014 der Weltöffentlichkeit vorgestellt wurde, hat einmal mehr auf die Dramatik des Klimawandels hingewiesen. Er hat aufgezeigt, dass in der Klimapolitik nicht weiter gemacht werden darf wie bisher. Weitermachen heißt dabei, Klimagase wie Kohlendioxid einfach unbegrenzt freizusetzen – vor allem durch die Verfeuerung fossiler Brennstoffe wie Kohle oder Öl in Industrie, Verkehr und zur Energiegewinnung. Die gescheiterten Weltklimakonferenzen lassen allerdings Schlimmes befürchten.

## Ursachen des Klimawandels

Allgemein geläufig ist heute, dass der Klimawandel hauptsächlich durch die Zunahme von Kohlendioxid in der Atmosphäre ausgelöst wird. Kohlendioxid, chemisch CO<sub>2</sub>, ist ein Gas das bei der Verbrennung fossiler Energieträger freigesetzt wird, z.B. in Kohlekraftwerken, beim Fahren von mit Erdöl betriebenen Autos oder beim Beheizen von Wohnungen. Es ist ein stark klimawirksames Gas, das in einer Art Treibhauseffekt dafür sorgt, dass sich die Erde aufheizt. Einmal in der Atmosphäre, lässt es einerseits kurzweilige Strahlungen von der Sonne zur Erde passieren. Es absorbiert aber andererseits langwellige Wärmestrahlung, die sonst von der Erde ins Weltall zurückgestrahlt würde. Das CO<sub>2</sub> wirft dann einen Teil dieser Strahlung zur Erdoberfläche zurück. Dadurch kommt an der Erdoberfläche in der Gesamtsumme mehr Strahlung an: Einmal die direkten Sonnenstrahlen und dann die von den Treibhausgasen reflektierten Strahlen. Im Ergebnis heizt sich die Erde auf. Gäbe es keine Treibhausgase in der Atmosphäre, läge die Erdtemperatur bei kalten minus 18° C. Durch die Anwesenheit der Treibhausgase erhält die Erde erst ihr heutiges gemäßigtes Klima mit einer mittleren bodennahen Temperatur von 15°. Die Sorge der Wissenschaft besteht nun darin, dass der Mensch diesen Treibhauseffekt so verstärkt, dass es zu einer Überhitzung der Erde mit schwerwiegenden negativen Auswir-

kungen auf die Biosphäre kommt.

## Der CO<sub>2</sub>-Anstieg in der Atmosphäre

Aus Grönland und der Antarktis konnten in den letzten zweieinhalb Jahrzehnten zahlreiche Bohrkern aus tiefen Eisschichten gewonnen werden. In ihnen befinden sich eingeschlossene sehr alte Luftbläschen, mit denen es möglich ist, die Zusammensetzung der Erdatmosphäre in den letzten 800.000 Jahren zu ermitteln. Dadurch ist bekannt, dass in dieser Zeit ihr CO<sub>2</sub>-Gehalt niemals oberhalb von 300 ppm (parts per million) lag [1], [8]. Zu Beginn des Industriezeitalters um 1750 betrug er 280 ppm. Durch die seither stattgefundene Verbrennung fossiler Energieträger hat er im Jahre 2014 erstmals 400 ppm erreicht. Und die Anreicherung schreitet mit einem mittleren Wert von 2,5% pro Jahr weiter voran. Besorgniserregend ist auch der schnelle Anstieg der Klimagase in der Atmosphäre. In den letzten 800.000 Jahren gab es eine maximale CO<sub>2</sub>-Änderung von 25 ppm in einem Zeitraum von 1000 Jahren. Heute dagegen ist ein derartiger Anstieg in nur 10 Jahren zu beobachten [8].

## Wissenschaft und CO<sub>2</sub>-Klimawirkung

Welche Temperaturerhöhung auf der Erdoberfläche löst nun die Zunahme des CO<sub>2</sub>-Anteils in der Atmosphäre aus? Die Fragestellung ist nicht neu. Bereits im 19. Jahrhundert beschäftigten sich damit die frühen Naturwissenschaftler Jean-Baptiste Fourier und John Tyndall und erkannten bereits die Bedeutung der Klimagase. Im Jahre 1896 errechnete der schwedische Nobelpreisträger Svante Arrhenius bereits zu welcher Temperaturerhöhung auf der Erde eine Verdoppelung des CO<sub>2</sub>-Anteils in der Atmosphäre führen würde. Er kam auf einen Wert von 4 bis 6° C. Ein Ergebnis das erstaunlich nahe an den mit sehr viel empirischen Daten und Großrechnern ermittelten modernen Erkenntnissen liegt. Da aber die Freisetzung so großer Mengen CO<sub>2</sub> jenseits der damaligen industriellen Realität lag, wurde der Ansatz nicht weiter verfolgt. Und erst Ende der 50er Jahre gelang überhaupt der Nachweis, dass die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre durch die Nutzung fossiler Brennstoffe tatsächlich ansteigt. In den 70er Jahren warnte

dann mit der National Academy of Science der USA erstmals eine große Wissenschaftsorganisation vor der globalen Erwärmung [2].

### **Zu erwartende Temperaturerhöhung**

Bestimmend für das Ausmaß der Klimaänderung ist die durch menschengemachte Treibhausgase zusätzlich erhöhte Wärmestrahlung, die die Oberfläche unseres Planeten trifft. Sie beträgt heute 1,6 Watt pro  $m^2$  und wird auch als „Strahlungsantrieb“ bezeichnet [1]. Eine weitere bedeutsame Größe ist die sog. Klimasensitivität. Sie gibt Auskunft darüber, welche Temperaturerhöhung wir in Zukunft zu erwarten haben, wenn wir das Kohlendioxid in der Atmosphäre um eine bestimmte Größe erhöhen. Mit Hilfe empirischer Daten aus der Vergangenheit und computergestützten Modellrechnungen haben die Wissenschaftler des IPCC dafür  $0,8\text{ °C pro } W/m^2$  errechnet. Bei einer Verdoppelung der atmosphärischen  $CO_2$ -Konzentration führt dieser Wert auf eine Temperaturzunahme von  $3\text{ °C}$ . Allerdings könnte wegen Unsicherheiten in den Ausgangsdaten auch eine Temperaturzunahme von 3 bis  $7\text{ °C}$  erreicht werden – was fatal wäre [1]. Als lokaler Wert scheint dies zwar auf den ersten Blick nicht viel zu sein. Man muss aber bedenken, dass es sich hierbei um eine Erhöhung des irdischen Temperaturmittelwertes handelt, der bei plus  $15\text{ °C}$  liegt. Die errechneten Werte liegen so hoch, wie sie auf der Erde sicher nachweisbar in den letzten 800.000 Jahren nicht aufgetreten sind. Und auch in den 3 Dutzend Millionen Jahren davor hat es sie mit großer Wahrscheinlichkeit nicht gegeben.

### **Die 2-Grad-Grenze**

Viele Wissenschaftler bewerten einen Temperaturanstieg von maximal  $2\text{ °C}$  gegenüber dem vorindustriellen Niveau als Grenze, ab der dramatische Folgen der Klimaänderung drohen [6]. Diese  $2\text{ °C}$ -Grenze ist durch Beschluss der EU-Regierungschefs in 2005 die offizielle Leitlinie der EU-Klimapolitik geworden. Dies gilt auch für über 100 weitere Staaten. Aber nicht alle Wissenschaftler sind davon überzeugt, dass mit der  $2\text{ °C}$ -Grenze weitere schwerwiegende negative Auswirkungen des Klimawandels vermieden werden können [1].

### **Der globale Kohlenstoffkreislauf**

Eine bedeutende Frage ist, wie lange das angesammelte  $CO_2$  in der Atmosphäre klima-

wirksam bleibt. Um dies beantworten zu können, muss zunächst ein Blick auf den globalen Kohlenstoffkreislauf geworfen werden. Wissenschaftler berechneten jüngst, dass 2800 Petagramm Kohlenstoff ( $1\text{ PgC} = 1\text{ Milliarde Tonnen Kohlenstoff}$ ) weltweit im Erdboden und in den Pflanzen stecken – eine ungeheure Menge. In der Atmosphäre befinden sich dagegen „nur“  $830\text{ PgC}$ . Jedes Jahr tauschen die terrestrische Biosphäre und die Atmosphäre ungefähr  $120\text{ PgC}$  in beide Richtungen aus: Pflanzen brauchen für ihren Aufbau und dem damit verbundenen Stoffwechsel Kohlenstoff, den sie in Form von Kohlendioxid aus der Luft entnehmen. Beim Absterben und dem folgenden Zersetzungsprozess wird der gespeicherte Kohlenstoff wieder freigesetzt. Eine ähnliche Zirkulation von Kohlenstoff gibt es zwischen der Luft und den Oberflächengewässern der Ozeane, wo pro Jahr  $80\text{ PgC}$  Kohlenstoff ausgetauscht werden. Die mittlere Verweildauer des Kohlenstoffs in den Pflanzen beträgt 23 Jahre, bevor er wieder als Kohlendioxid freigesetzt wird [3].

Neben diesem kurzzeitigen Kohlenstoffkreislauf gibt es noch einen übergeordneten, der der Atmosphäre längerfristig Kohlendioxid entzieht. Bei der Verwitterung von Gesteinen an Land wird das  $CO_2$  aus der Luft entnommen und anorganisch gespeichert. Der Kohlenstoff gelangt dann in Folge der Sedimentation in die Erdkruste, wo er eine sehr lange Zeit verbleibt [1],[2]. Gleichfalls gelangt ein Teil des Kohlenstoffs aus den oberflächennahen Meeresgebieten in die Tiefsee, wo er der Biosphäre ebenfalls auf sehr lange Zeit entzogen ist. Da diese dauerhafte Bindung des Kohlenstoffs aber ein sehr langsam voranschreitender Prozess ist, der viele Jahrtausende dauern kann, wird das durch menschliche Wirkung erhöhte  $CO_2$  sehr lange in der Atmosphäre verbleiben und seine für uns negative Klimawirkung entfalten können. 2009 gab es mehrere voneinander unabhängige Veröffentlichungen, die die Verweildauer von Kohlendioxid in der Atmosphäre behandelten ([4], [5]). Sie kamen zu ähnlichen Schlussfolgerungen. In [4] wird berechnet, wie lange sich  $CO_2$  noch in der Atmosphäre halten kann, wenn die Emissionen schlagartig auf Null zurückgehen würden. Dazu wurden Simulationen durchgeführt, denen die Annahme zugrunde lag, dass hohe Kohlendioxid-Spitzenwerte in der Atmosphäre von  $450\text{ ppm}$  bis  $1200\text{ ppm}$  erreicht würden. Also sehr realistische Szenarien, die auftreten könnten, wenn es nicht gelingt, die  $CO_2$ -Werte auf die 2-Grad-Grenze festzuschreiben. Die Ergebnisse waren je nach

zugrunde gelegter CO<sub>2</sub>-Kurve unterschiedlich, aber eine grobe Daumenregel konnte als Ergebnis festgehalten werden: Nach 100 Jahren Nullemissionen verblieb immer noch 70 % der Kohlendioxid-Spitzenkonzentration über dem vorindustriellen CO<sub>2</sub>-Wert von 280 ppm. Und nach einer Zeitdauer von 1000 Jahren war die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre erst auf 40% abgesunken. Wenn also beispielsweise die maximale CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre bei 650 ppm läge, würden sich nach 100 Jahren noch 539 ppm und nach 1000 Jahren noch 428 ppm in der Atmosphäre befinden – deutlich zu viel.

### **Kipppunkte im Klimaregelkreis**

Diese lange Zeitdauer des Abklingens einmal erreichter Kohlendioxid-Spitzen verursacht somit auch eine langer Erwärmungsphase der Erde, mit der dramatische Folgewirkungen verbunden sein könnten. Insbesondere können durch die Wärmewirkungen abrupte weitere Klimaänderungen hervorgerufen werden, wenn sog. Kipppunkte im Klimaregelkreis erreicht werden. In ihrem Gefolge könnte es zur massiven Freisetzung weiterer klimawirksamer Gase kommen, was dazu führt, dass sich das Klima dauerhaft qualitativ ändert. Zu diesen Kipppunkten gehören u. a. das vollständige Abschmelzen des arktischen Meereises und die damit verbundene dauerhafte Abnahme der Albedo, das Schmelzen der grönländischen und westantarktischen Eisschilde mit einer folgenden Erhöhung des Meeresspiegels, die Austrocknung und der Kollaps des Amazonasregenwaldes, das dauerhafte Auftauen der arktischen Permafrostböden oder die Freisetzung großer Mengen Methanhydrat aus den Meeren. Es wird angenommen, dass die meisten dieser bedrohlichen Prozesse erst nach einer längeren Erwärmungsphase möglich werden. Aber sie könnten für sich aufgrund ihres Selbstverstärkungspotentials jeweils Katastrophen mit sich bringen, die die bisherige menschliche Zivilisation - wenn nicht sogar die Menschheit selbst - in Frage stellen.

### **Methanhydratfreisetzung**

Eine dieser Bedrohungen ist die mögliche Freisetzung von Methanhydrat aus Schelfmeeren und tiefen ozeanischen Bodensedi-

menten. Unter Methanhydrat versteht man Methan-Wasserstoff-Molekül-Cluster, die nur in einem schmalen Temperatur- und Druckbereich stabil sind [1]. Wenn sich die Meerestemperatur erhöht, könnten insbesondere die arktischen Methanhydrat-Lagerstätten kritisch werden und große Mengen Methan freisetzen. Dazu muss man wissen, dass Methan ein Treibhausgas mit der 23-fachen Klimawirksamkeit von Kohlendioxid ist. Schätzungen gehen davon aus, dass der Kohlenstoffgehalt der Methanhydrate auf den Meeresböden dieselbe Größenordnung hat wie die der fossilen Kohle-, Gas- und Öllagerstätten zusammen. Auf lange Sicht könnte eine Ausgasung des Methanhydrats am Meeresboden einen desaströsen Rückkoppelungseffekt hervorrufen und den Planeten in eine Hochtemperaturphase schleudern.

### **Auftauen der Permafrostböden**

Eine andere Bedrohung ist das mögliche Auftauen der Permafrostböden. Darunter versteht man dauerhaft gefrorene Böden, die sich insbesondere in den nördlichen Breitengraden in arktischen Regionen befinden. Sie enthalten alte organische Kohlenstoffablagerungen und umfassen wenigstens die doppelte Kohlenstoffmenge wie das momentan in der Atmosphäre befindliche Kohlendioxid. Sollten große Mengen dieses Kohlenstoffs als CO<sub>2</sub> oder Methan freigesetzt werden, würde die atmosphärische Treibhausgaskonzentration erhöht werden, was wieder zu höheren Temperaturen führen würde. Dies würde wiederum mehr CO<sub>2</sub> und Methan aus den Permafrostböden freisetzen, also eine positive Rückkoppelung auslösen, die die globale Erwärmung weiter verstärken würde.

### **Lange Trockenphasen**

Es stellt sich die Frage, welche Folgen der Klimawandel für die Menschheit mit sich bringen wird. Wir haben in jüngster Zeit bereits ungewöhnliche Wärmephasen erlebt, die vermutlich erste Folgen des Klimawandels sind. So leiden Kalifornien und andere westliche US-Staaten von Washington bis Texas im Westen der USA seit zwei Winterhalbjahren unter einer außergewöhnlichen Dürre, wie sie seit Beginn der systematischen Wetteraufzeichnung im Jahr 1948 noch nie aufgetreten ist. Auf Plantagen und in Vorgärten versiegen die Brunnen und Bürger sind auf gespendetes Flaschenwasser angewiesen. Waldbrände und Luftverschmutzung nehmen zu und es wird mit Ernteaussfällen und anderen wirtschaftlichen Schäden in Höhe von 2 Milliarden Dollar gerechnet [7]. Forscher berechneten,

dass die Wahrscheinlichkeit einer derartigen Dürre unter den Bedingungen des Klimawandels dreimal so häufig auftritt.

### Entstehung lebensfeindlicher Zonen

Es ist festzuhalten, dass das, was wir heute an Erwärmung erleben, nur erste Vorboten sind, denn die Änderungen vollziehen sich wegen der Trägheit des Klimasystems mit einer Zeitverzögerung von mehreren Jahrzehnten. Obwohl der derzeitige Strahlungsantrieb bereits eine Erwärmung von 1,3 °C zur Folge hat, wird bisher nur eine Erwärmung um 0,8 °C beobachtet. Welche Folgen für die menschlichen Lebensverhältnisse entstehen könnten, wenn der globale Kohlendioxid-Ausstoß wie bisher ungebremst weiterläuft, haben australische Wissenschaftler in einem worst-case-Szenario untersucht [9]. Sie wenden sich dabei gegen die Annahme, dass der Mensch sich an den Klimawandel anpassen könnte und definieren eine obere Temperaturgrenze, ab der der Mensch Folgen des Klimawandels nicht mehr überleben kann. Ein menschlicher Körper in Ruhe erzeugt durch den Stoffwechsel ca. 100 W, die er abführen muss, wenn er nicht an Überhitzung sterben soll. Bei höheren Temperaturen geschieht dies durch Schwitzen, also Abkühlung durch Verdunstung von Wasser. Eine Wärmeabgabe ist aber nach dem zweiten thermodynamischen Gesetz nur möglich, wenn die sog. Kühlgrenztemperatur  $T_w$  unterhalb der Hauttemperatur liegt, die bei Menschen bei 35° C liegt. Unter der Kühlgrenztemperatur versteht man die Temperatur, auf die ein Körper durch Verdunstungskälte maximal abgekühlt werden kann. Mehr ist nicht möglich.  $T_w$  hängt von der Umgebungstemperatur, dem Luftdruck und der Luftfeuchtigkeit ab. Wenn beispielsweise die Lufttemperatur bei 25° C liegt und die relative Luftfeuchtigkeit bei 60° beträgt  $T_w$  19,3°C. Der Temperaturpuffer zwischen 19,3° und der Hauttemperatur ist ausreichend groß, um Kühlung zu ermöglichen. Wenn dagegen die Umgebungstemperatur 40°C beträgt und die Luftfeuchtigkeit 70 %, dann würde  $T_w$  34,5°C betragen. Dies wäre für die Körperkühlung bereits ein sehr kritischer Wert, denn der Temperaturabstand zu 35°C würde dann nur noch 0,5 Grad ausmachen.

In der heutigen Welt mit gemäßigtem Klim werden solche extremen

Kühlgrenztemperaturen glücklicherweise nicht erreicht. Der höchste  $T_w$ -Wert, der in der heutigen Welt auftritt, liegt bei etwa 30°C. Eine Erhöhung der Weltdurchschnittstemperatur würde aber auch die Kühlgrenztemperatur auf kritische Größen bringen: Bei einer 7°C-Temperaturerhöhung würden erste Regionen auf unserem Planeten entstehen, in denen das Überleben der menschlichen Gattung nicht mehr möglich wäre. Bei einer Temperaturerhöhung auf 11 bis 12°C wäre der größte Teil der Erde bereits für Menschen und die meisten Säugetiere nicht mehr bewohnbar [9].

**Die Betrachtungen zeigen wie ernst der Klimawandel die Menschheit treffen kann, wenn nicht rechtzeitig Gegenmaßnahmen getroffen werden. Die können nur bedeuten, dass die weltweiten Kohlendioxidemissionen bis 2050 um mindestens 70 % reduziert werden müssen. Das würde bedeuten, dass ein Großteil der bekannten Kohle- und Ölvorräte in der Erde bleiben muss. Für die wirtschaftlich Mächtigen und ihre dienstbaren Politiker eine nicht zu ertragende Vorstellung. Sie ziehen es offensichtlich vor, sich an ihre Aktien und ihr Geld zu klammern und die Welt mit in den Abgrund zu reißen.**

[1] 5. Weltklimabericht 2014, IPCC International Panel on Climate Change

[2] S. Rahmstorf; H.J. Schellnhuber: Der Klimawandel, C.H. Beck Verlag, 6. Auflage, München 2007

[3] 23 Jahre Haft, Süddeutsche Zeitung 29.9.14,

[4] S.Solomon et al.: Persistence of climate changes due to a range of greenhouse gases, PNAS vol.107, no.43, October 26, 2010

[5] D. Archer et al.: Atmospheric lifetime of fossil fuel carbon dioxide, Annual Review of Earth and Planetary Sciences 37, 2009

[6] Malte Meinshausen: Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2° C, nature, Vol 458, 30 April 2009

[7] Klimawandel fördert Dürre, Süddeutsche Zeitung, 30.9.2014

[8] Martin L. Weitzman: Fat-Tailed Uncertainty in the Economics of Catastrophic Climate Change, Review of Environmental Economics and Policy, vol 4, issue 2, 2011

[9] Steven C. Sherwood; Matthew Huber: An adaptability limit to climate change due to heat stress, PNAS May 25, 2010

Die Ökosozialistischen Flugschriften erscheinen in loser Folge. Sie werden herausgegeben in Kooperation mit dem **Linken Forum Frankfurt (LFF)**, der „**Sozialistische Zeitung**“ (**SOZ**) und dem **Ökosozialistischen Netzwerk**. Die Flugschriften verstehen sich als Diskussionsbeitrag in der breiten Linken zu ökologischen Fragen und zur Entwicklung ökosozialistischer Positionen.

**Kontakt, Bestellung, Mitarbeit und Anforderung von Referenten:**

**Klaus Meier, Linkes Forum Frankfurt,**  
[MeierKlaus13@yahoo.de](mailto:MeierKlaus13@yahoo.de)