

# Das Klimaproblem

## Bewertung nach dem Paris-Abkommen und der Marrakesch-Konferenz

Eike Roth

**Einleitung** Wissenschaft ist nie am Ende. Auch beim Klima gibt es wissenschaftliche Streitpunkte. Der wichtigste ist wohl die Frage nach der Klimasensitivität des CO<sub>2</sub>. Das ist die Erwärmung der Erde (bodennahe, weltweit und über das Jahr gemittelte Lufttemperatur) bei Verdoppelung der CO<sub>2</sub>-Konzentration. Ende des 20. Jahrhunderts schien die Sache klar zu sein: Die Erwärmung der Erde schien aus dem natürlichen Rauschen des Klimas herausgetreten und das CO<sub>2</sub> schien zum bestimmenden Klimaeinfluss geworden zu sein. Das legte eine Klimasensitivität von einigen Grad Celsius nahe, von den meisten Klimamodellen wurden 3 Grad als wahrscheinlichster Wert errechnet.

Aber dann trat etwas Unerwartetes ein: Trotz zunehmender CO<sub>2</sub>-Freisetzungen kam die Erwärmung etwa um 2000 herum überraschend zum Stillstand, zumindest aber schritt sie von da an nur mehr deutlich langsamer voran als zuvor und als erwartet. Irgendetwas ist also anders, als wir bisher dachten, es verstanden zu haben. Über das Ausmaß und vor allem die Ursache dieser „Erwärmungspause“ gibt es bis heute keinen Konsens, das ist wohl der zweite große wissenschaftliche Streitpunkt beim Klima (wobei immer mehr Wissenschaftler dieses Problem ernst nehmen).

Die Öffentlichkeit konzentriert sich aber lieber auf „politisch interessante Ereignisse“, wie z.B. auf die großen „Weltklimakonferenzen“ der UNO. Besonderes Interesse fand die 2015 in Paris. Dabei wurde erstmalig von allen 195 teilnehmenden Ländern einstimmig das Ziel beschlossen, die Erwärmung der Erde unter 2 Grad Celsius zu halten, möglichst sogar unter 1,5 Grad. Diese Einigung wurde weltweit begeistert als großer Erfolg gefeiert. Dass die CO<sub>2</sub>-Reduzierungszusagen der einzelnen Länder (Intended Nationally Determined Contributions, INDC) aber – die „üblichen“ Berechnungsverfahren zugrunde gelegt – bei weitem nicht ausreichen, diese Ziele zu erreichen, wurde eher als Schönheitsfehler abgetan. Gleiches gilt auch für die in Paris nicht geregelte finanzielle Unterstützung der Entwicklungsländer durch die Industrieländer, von der erstere ihre Beiträge zum Klimaschutz abhängig machen. Auch die weitgehende völkerrechtliche Unverbindlichkeit der Paris-Vereinbarungen wurde mehr oder weniger mit einem Achselzucken hingenommen. Nachbessern ist ja noch möglich.

Die erste Möglichkeit hierzu bot die Weltklimakonferenz 2016 in

Marrakesch. In dramatischen und hoch gelobten Reden wurde dort erneut die unausweichliche Notwendigkeit zum Klimaschutz betont, aber manchem Beobachter klang das eher wie das berühmte Pfeifen im Walde. Hatte schon die Brexit-Entscheidung die Lage unübersichtlicher gemacht, so konnte die Ratlosigkeit nach dem Wahlsieg von *Donald Trump*, der vom Klimaschutz nichts hält und den Rücktritt der USA vom Paris-Abkommen will, durch nichts überdeckt werden. Am Ende der Konferenz kam dann aber doch noch Freude auf: Die teilnehmenden Staaten haben sich auf einen Fahrplan für das weitere Vorgehen zum Umsetzen des Paris-Abkommens geeinigt und 43 (nach anderen Quellen bis zu 48) Staaten haben erklärt, bis 2050 vollständig auf erneuerbare Energien umsteigen zu wollen. Das sind zwar größtenteils recht kleine Staaten, die auch zusammen nur einen Bruchteil der Welt ausmachen, und Details hierzu sollen erst bis 2020 festgelegt werden, und generell steht der Umstieg unter dem Vorbehalt der Finanzierung durch die Industrieländer, die auch in Marrakesch kaum vorangebracht wurde, aber immerhin, diese Staaten haben ihre Absicht kund getan und die Freude war groß. Manche Beobachter sehen in der demonstrativen Begeisterung aber mehr eine Trotzreaktion auf den Wahlsieg *Trumps*. Die Zukunft wird zeigen, wie lange die euphorische Stimmung anhält. Vermutlich wird sich sehr bald wieder die Erkenntnis Bahn brechen, dass – auch unabhängig vom „Problemfall USA“ – in Marrakesch nur wenige Länder konkrete Aussagen über ihre geplanten CO<sub>2</sub>-Reduzierungen gemacht haben und selbst diese weit hinter den Erwartungen zurückgeblieben sind.

Deutschland z.B. hat seinen „Klimaschutzplan 2050“ vorgelegt, doch sehen viele Umweltschützer in

ihm einen erheblichen Rückschritt gegenüber früheren Absichtserklärungen (während viele andere Experten ihn trotz zuletzt vorgenommener Entschärfungen immer noch als prinzipiell unerfüllbar und als massive Belastung für den Wirtschaftsstandort Deutschland einschätzen). Auch die EU hat sich weniger ambitioniert gezeigt als erwartet und hat hierfür von enttäuschten Umweltschützern gleich zwei Mal (10. und 16. Nov. 2016) den Klimanegativpreis „Fossil des Tages“ erhalten, als „Auszeichnung“ für Staaten, die zu wenig für den Klimaschutz tun. Australien, Neuseeland, Österreich, und viele andere Länder wurden ebenfalls heftig für „zu wenig Tun“ kritisiert. Andererseits hat sich China klar zum Einhalten seiner Verpflichtungen aus dem Paris-Abkommen bekannt und viele Menschen setzen ihre Hoffnungen nun auf dieses Land. Aber welche Verpflichtungen ist China denn überhaupt eingegangen? Von den meisten Kommentatoren unerwähnt, gesteht das Paris-Abkommen den Entwicklungsländern ausdrücklich zu, der Armutsbekämpfung oberste Priorität einzuräumen, auch gegenüber der CO<sub>2</sub>-Reduzierung. China verfolgt daher – genauso wie Indien und andere Länder auch – ein massives Kohle-Ausbauprogramm und hat dieses in Marrakesch auch nicht zurück genommen. Solange das so ist, wird es keinen Rückgang der weltweiten CO<sub>2</sub>-Freisetzungen geben.

Für eine endgültige Bewertung ist es noch zu früh, aber Marrakesch hat wohl eher den Zwiespalt vertieft: Für die Einen hat es die Notwendigkeit zu ernsthaftem Handeln untermauert, für die Anderen die rapide abnehmende Bereitschaft vieler Länder hierzu offenbart. Die Diskrepanz zwischen (von vielen empfundenem) Sollen und realer Bereitschaft zum

Tun ist durch Marrakesch jedenfalls nicht kleiner geworden. Aber 2017 gibt es auf der nächsten Weltklimakonferenz die nächste Chance.

Ob dann im politischen Umfeld viel bessere Voraussetzungen gegeben sind, bleibt allerdings abzuwarten. Diese Unsicherheiten verstärken eindringlich den Bedarf wissenschaftlicher Klärung beim Klima-Problem. Vielleicht muss die Wissenschaft der Politik noch ein bisschen nachhelfen, damit diese zu zielführenden Entscheidungen findet. Oder die Wissenschaft kann Entwarnung geben. Wie viel trägt der Mensch denn tatsächlich zur Klimaänderung bei und wie kann er diesen Beitrag notfalls reduzieren? Anders ausgedrückt: Müssen wir die bisher gemachten Zusagen der Länder wesentlich verschärfen (und auch verbindlich machen!), oder nicht, oder zumindest heute noch nicht? Diese Arbeit hier will einen kleinen Beitrag zu dieser Diskussion leisten.

Das Klimaproblem muss also wissenschaftlich besser abgeklärt werden. Hierzu wird es in diesem Beitrag in 12 Fragen gegliedert, die zuerst kurz und bündig, dann aber ausführlicher und mit Begründungen beantwortet werden. Aus der Gesamtchau kann dann die 13. Frage beantwortet werden, was sich durch das Paris-Abkommen und die Marrakesch-Konferenz geändert hat. Auf die prinzipielle Unsicherheit aller zukunftsbezogenen Aussagen sei ausdrücklich hingewiesen, doch wurden alle Antworten sorgfältig überlegt und auf Plausibilität überprüft.

Fragen und Antworten

1. Ändert sich das Klima? Ja.
2. Ist es seit 1850 wärmer geworden? Ja.
3. Führt mehr CO<sub>2</sub> zu einer Erwärmung? Ja.
4. Hat die Konzentration von CO<sub>2</sub> seit 1850 zugenommen? Ja.
5. Hat der Mensch zu diesem CO<sub>2</sub>-Anstieg beigetragen? Ja.
6. Hat der Mensch zur Erwärmung seit 1850 beigetragen? Ja.
7. Wie viel hat der Mensch dazu beigetragen? Das weiß niemand genau.
8. Wie wird die Klimaentwicklung weitergehen? Das weiß niemand genau.
9. Kann der Mensch seine CO<sub>2</sub>-Freisetzungen erheblich verringern? Ja.
10. Wie soll das gehen und was wird das kosten? Das weiß niemand genau.
11. Können Klimagefahren damit sicher abgewendet werden? Nein.

12. Verhalten wir uns in dieser Situation richtig? Nein.

13. Was haben Paris und Marrakesch an der Sache geändert? Nichts.

## Begründungen

### 1. Ändert sich das Klima? Ja.

Das Klima hat sich immer schon geändert, seitdem die Erde existiert, es ändert sich auch heute und es wird sich mit Sicherheit auch morgen ändern. Große Schwankungen gab es z.B. beim Wechsel von einer Eis- zu einer Warmzeit und umgekehrt. Die (vorerst) letzte Eiszeit endete vor ca. 12.000 Jahren (Beginn des Holozäns). Seitdem ist es vergleichsweise warm, doch keinesfalls konstant. Relativ warme Zeiten im Holozän werden generell als „(Klima)Optimum“ bezeichnet, weil es in diesen Zeiten der Menschheit immer besser ging als in kalten Zeiten. Zur Zeit des alten Rom z.B. war es höchstwahrscheinlich etwas wärmer als heute („Römisches (Klima)Optimum“, Überquerung der Alpen durch Hannibal mit Elefanten, Weinanbau in England). Die anschließende deutliche Abkühlung hat vermutlich wesentlich zur Völkerwanderung und damit zum Untergang des Römischen Reiches beigetragen. Um das Jahr 1000 herum war es dann wieder deutlich wärmer („Mittelalterliches (Klima)Optimum“, Besiedlung Islands und Grönlands (= „Grünland“), erste Überfahrt nach Amerika, Benennung als „Vinland“). Anschließend kam die „Kleine Eiszeit“ (zugefrorene Themse, Bruegels Winterbilder aus Holland, etc.), die ihren tiefsten Punkt ungefähr um 1650 herum hatte und Anfang des 19. Jahrhunderts nochmals besonders tiefe Temperaturen mit sich brachte (1816 ging als das „Jahr ohne Sommer“ in die Geschichte ein, wozu aber auch der Ausbruch des Vulkans Tambora im Jahr davor erheblich beigetragen hat). Das Ende der „Kleinen Eiszeit“ wird allgemein mit ca. 1850 angegeben, seitdem (genauer schon seit 1650) ist es wieder wärmer geworden. Zu den Ursachen dieser Klimaänderungen gibt es Vermutungen, aber keine zuverlässigen Erkenntnisse. Das relativ warme Klima heute, das „Mittelalterliche Optimum“ und das „Römische Optimum“ könnten auf einen etwa 1000-jährigen Klimazyklus hindeuten, doch ist das keinesfalls gesichert.

### 2. Ist es seit 1850 wärmer geworden? Ja.

1850 wird vermutlich meist deswegen als Ausgangspunkt der Betrachtungen gewählt, weil ab dann detailliertere Temperatur-Aufzeichnungen existieren. Und die zeigen klar eine Erwärmung, bis heute um ca. 1 °C (bodennahe, global gemittelte Lufttemperatur). Die ebenfalls um 1850 beginnende Industrielle Revolution kann aber nicht Auslöser dieser Erwärmung gewesen sein, weil die Erwärmung, wie gesagt, schon 200 Jahre vorher begonnen hat (Höhepunkt der Kleinen Eiszeit 1650) und weil die anthropogenen CO<sub>2</sub>-Freisetzungen auch nach 1850 noch lange Zeit viel zu klein waren, um ernsthafte Klimaauswirkungen haben zu können (siehe auch weiter unten).

Aber auch seit 1850 ist es nicht immer nur wärmer geworden. Vielmehr erfolgte die Erwärmung in 3 klar erkennbaren Schüben. Diese dauerten alle etwa 30 Jahre lang (ca. 1860 bis 1890, 1910 bis 1940 und 1970 bis 2000) und sie verliefen alle auch ungefähr gleich steil. Dazwischen lagen ungefähr gleich lange Zeiträume mit stagnierender oder sogar leicht abnehmender Temperatur. Seit rund 2000 ist die Temperatur bis heute im Wesentlichen wieder konstant geblieben, zumindest aber ist der Anstieg wesentlich flacher ausgefallen als in den 30 Jahren davor (weitere Diskussion hierzu unter Ziff. 12). Eine gesicherte Erklärung für diese Zyklen und die neuerliche Abflachung („Erwärmungspause“) gibt es nicht. Unter Anderem werden mehrdekadische Schwankungen der Ozeanströmungen und eine zunächst starke und in letzter Zeit schwächelnde Sonne (weniger Sonnenflecken) zur Erklärung angeführt, aber bewiesen ist nichts und auch rein zufällige Schwankungen können nicht ausgeschlossen werden.

### 3. Führt mehr CO<sub>2</sub> zu einer Erwärmung? Ja.

Treibhausgase sind durch asymmetrische optische Eigenschaften gekennzeichnet: Sie lassen die kurzwellige Sonneneinstrahlung weitgehend ungehindert durch, absorbieren die langwellige Wärmeabstrahlung der Erde aber zu einem erheblichen Teil. Daher müssen sie – unter sonst gleichen Bedingungen – zu einer Erwärmung der Erde führen („Treibhauseffekt“). Nur deswegen und weil wir überhaupt Treibhausgase in unserer Atmosphäre haben, haben wir es mit ca. 15 Grad Celsius gemächlich

warm, anderenfalls wäre es um mehr als 30 Grad kälter und zumindest wir Menschen würden dann wohl gar nicht existieren.

CO<sub>2</sub> ist zweifellos ein solches Treibhausgas, verändert also die Strahlungsbilanz der Erde und muss letztere deshalb erwärmen, wenn seine Konzentration in der Atmosphäre erhöht wird. Um wie viel, lässt sich im ersten Ansatz auch gut berechnen: Bei einer Verdoppelung der CO<sub>2</sub>-Konzentration beträgt die Erwärmung ungefähr 1 Grad Celsius (bodennahe, global gemittelte Lufttemperatur; direkter Wert bei klarem Himmel und ohne Rückkopplungseffekte). Dieser Wert ist nicht nur unumstritten (von wenigen Außenseitern abgesehen), er ist auch unbestritten zu klein, um in absehbarer Zeit zu bedrohlichen Klimaentwicklungen aufgrund der anthropogenen CO<sub>2</sub>-Freisetzungen zu führen. Solche Entwicklungen sind nur Ergebnis, wenn zusätzlich noch eine erhebliche Verstärkung durch Rückkopplungseffekte angenommen wird. Ob es eine solche „erhebliche Verstärkung“ als Summenwirkung über alle Rückkopplungsmechanismen gibt, ist der eigentliche wissenschaftliche Streitpunkt in der ganzen Klimadebatte. Viele Klimatologen sagen ja, andere sagen nein, wieder andere rechnen sogar eher mit einer Abschwächung. Alle bringen für ihre Ansicht plausible Argumente vor, beweisen kann deren Richtigkeit heute jedoch niemand. In diesem Punkt ist die Wissenschaft eindeutig nicht „abgeschlossen“, durch die „Erwärmungspause“ der letzten ca. 17 Jahre heute weniger als es um die Jahrhundertwende herum den Anschein hatte.

#### 4. Hat die Konzentration von CO<sub>2</sub> seit 1850 zugenommen? Ja.

Vor Beginn der industriellen Revolution lag die CO<sub>2</sub>-Konzentration Jahrtausende lang ziemlich konstant bei ca. 280 ppm (280 CO<sub>2</sub>-Moleküle auf 1.000.000 Luftmoleküle), trotz zum Teil erheblicher Klimaänderungen in dieser Zeitspanne. Seitdem ist sie beträchtlich angestiegen, weitgehend gleichmäßig entlang einer e-Funktion (also im Detail wieder deutlich anders als der schubweise Verlauf der Temperatur) auf heute ca. 400 ppm. Zur Zeit erhöht sie sich pro Jahr um knapp 2 ppm. Bleibt dieser Wert gleich, wird eine Verdoppelung der vorindustriellen Konzentration in etwa 100 Jahren von heute an erreicht werden.

#### 5. Hat der Mensch zu diesem CO<sub>2</sub>-Anstieg beigetragen? Ja.

Ein Teil des CO<sub>2</sub>-Anstiegs seit Beginn der industriellen Revolution ist sicherlich als Rückkopplung der eingetretenen Erwärmung geschuldet (bei höheren Temperaturen kann das Wasser weniger CO<sub>2</sub> in Lösung halten), der viel größere Teil ist aber praktisch unumstritten anthropogen verursacht, überwiegend aus der Verbrennung fossiler Energieträger (Kohle, Öl, Gas), aber auch aus anderer industrieller und landwirtschaftlicher Tätigkeit einschließlich der Rodung von Wäldern.

#### 6. Hat der Mensch zur Erwärmung seit 1850 beigetragen? Ja.

Weil der Mensch die CO<sub>2</sub>-Konzentration (und die von anderen Treibhausgasen, die aber insgesamt noch eine deutlich kleinere Rolle spielen) erhöht hat und weil CO<sub>2</sub> erwärmen muss, hat der Mensch auch zweifelsfrei zur Erwärmung beigetragen. Umstritten ist nur, wie viel (und wie es weiter gehen wird).

#### 7. Wie viel hat der Mensch zur Erwärmung seit 1850 beigetragen? Das weiß niemand genau.

Der Beitrag des Menschen lässt sich messtechnisch nicht bestimmen, weil nur die Temperatur (direkt und indirekt) gemessen werden kann, nicht aber deren Ursache. Rechnungen (Klimamodelle), physikalisches Verständnis und Plausibilitätsüberlegungen sind also notwendig. Um das Jahr 2000 herum waren CO<sub>2</sub> und Temperatur ein Viertel Jahrhundert lang in gutem Gleichschritt stark angestiegen, wesentliche andere Verursachungen waren nicht erkennbar und die Klimamodelle konnten (im Nachhinein!) die eingetretene Entwicklung auch gut mit CO<sub>2</sub> als Hauptverursacher erklären. Es schien so, als wäre der anthropogene Einfluss auf das Klima aus dem natürlichen Klimarauschen herausgetreten und CO<sub>2</sub> zum bestimmenden Einfluss auf das Klimageschehen geworden. Folgerichtig haben die Rechenmodelle (als Vorausschau!) auch eine starke weitere Erwärmung bei weiter steigender CO<sub>2</sub>-Konzentration errechnet. Aber gekommen ist es ganz anders: Die CO<sub>2</sub>-Konzentration ist zwar weiter stark angestiegen, die Erwärmung hat aber vor ca. 17 Jahren überraschend halt gemacht. Seither gab es keine klare Korrelation zwischen den beiden Größen, jedenfalls in diesem

Zeitraum haben sich die Rechenmodelle mit ihren Temperaturprojektionen massiv geirrt.

Noch lässt sich eine rein zufällige statistische Schwankung nicht ganz ausschließen, aber nach menschlichem Ermessen sind 17 Jahre bereits klar zu lange hierfür und außerdem passt der Knick in der Erwärmungskurve um die Jahrhundertwende auch gut zu den vorangegangenen Trendänderungen nach jeweils etwa 30 Jahren (was eher für einen physikalischen Hintergrund des Knicks als für einen statistischen Zufall spricht). Unter nüchterner Betrachtung der neuesten Entwicklung ist die Klimafrage heute viel offener, als es vor wenigen Jahren noch den Anschein hatte.

Aus der neuen Situation lassen sich einige Schlussfolgerungen ableiten, zum Teil noch nicht endgültig gesichert, aber sie drängen sich auf:

**Erstens** ist die Zuverlässigkeit der Rechenmodelle mit einem erheblichen Fragezeichen zu versehen.

**Zweitens** kann der Einfluss des CO<sub>2</sub> nicht allzu groß sein, weil er ja (von der kleinen Restwahrscheinlichkeit, dass es doch nur statistische Schwankungen sind, abgesehen) ganz offensichtlich seit etwa 17 Jahren durch irgendeinen anderen Einfluss kompensiert wird, obwohl die CO<sub>2</sub>-Freisetzungen heute so hoch sind, wie sie noch nie waren.

**Drittens** kennen wir diesen anderen Einfluss nicht, wir können über ihn nur Vermutungen anstellen (Ozeanströmungen, Sonne, etc.; über 30 verschiedene Erklärungsversuche zeugen vom wissenschaftlichen Erklärungsnotstand!). Wir wissen aber, dass er in den Rechenmodellen nicht (zumindest nicht richtig) erfasst ist (sonst gäbe es ja kein Auseinanderlaufen von Rechnung und Messung).

**Viertens** ist es natürlich nach wie vor möglich, dass die letzte Erwärmungsphase (ca. 1970 bis 2000) überwiegend von CO<sub>2</sub> verursacht worden ist, aber für die ersten beiden Erwärmungsphasen seit Beginn der industriellen Revolution (ca. 1860 bis 1890 und 1910 bis 1940) kann das mit hoher Sicherheit ausgeschlossen werden. Wäre bei den damals sehr geringen CO<sub>2</sub>-Freisetzungsraten das CO<sub>2</sub> der bestimmende Faktor gewesen, müsste es bei den heute sehr viel höheren Freisetzungsraten der eindeutig dominierende Faktor sein. Der ist es aber nachweislich der „Erwärmungspause“ ebenso eindeutig nicht.

**Fünftens**, wenn die ersten beiden Erwärmungsphasen vorwiegend durch

eine andere (natürliche) Ursache ausgelöst worden sind, ist es zumindest nicht unwahrscheinlich, dass diese Ursache auch bei der dritten Erwärmungsphase (ca. 1970 bis 2000) eine erhebliche Rolle gespielt hat. Es gibt keine plausible Erklärung, warum diese Ursache diesmal keine Rolle gespielt haben sollte. Wahrscheinlich ist diese dritte Erwärmungsphase sowohl natürlich (vermutlich durch den gleichen Antrieb wie die beiden vorherigen) als auch anthropogen (weil jetzt noch viel CO<sub>2</sub> dazu gekommen ist) verursacht worden. Die relativen Anteile sind unbekannt.

**Sechstens** gewinnt damit eine mögliche Erklärung des Geschehens an Plausibilität: Die Erwärmung seit 1850 (eigentlich seit 1650) ist im Wesentlichen ein natürlich verursachtes Rückschwingen des Klimas aus der Kleinen Eiszeit (Ursache und Mechanismus unbekannt, möglicherweise Folge einer Grundstabilität des „Systems Erde“, das sich bisher noch nach jeder Störungen von selbst wieder stabilisiert hat), begleitet von einem ca. 60jährigen internen Klima-Zyklus (30 Jahre verstärkend, 30 Jahre abschwächend; Ursache unbekannt, möglicherweise mehrdekadische Änderungen der Ozeanströmungen). Die hohen CO<sub>2</sub>-Freisetzungsraten der letzten Jahrzehnte haben sicherlich einen zusätzlichen erwärmenden Einfluss, doch lässt sich dessen Höhe noch nicht ausreichend quantifizieren, eine Dominanz ist in den bisherigen Messungen aber nicht erkennbar.

### 8. Wie wird die Klimaentwicklung weitergehen? Das weiß niemand genau.

Unabhängig von der grundsätzlich offenen Frage, wie lange der derzeitige flache Verlauf der Temperatur (siehe auch Ziff. 12) noch anhalten und wie es dann weitergehen wird, lässt sich aus dem gerade Gesagten erkennen, dass besorgniserregende Temperaturentwicklungen im Laufe dieses Jahrhunderts nur aus Rechenmodellen und nicht aus Beobachtungen abgeleitet werden können. Und diese Rechenmodelle haben sich beim einzig seriösen Test der Qualität von Rechenmodellen – dem Vergleich von vorab durchgeführten Berechnungen mit dann tatsächlich eingetretenen Entwicklungen – sehr schlecht bewährt. Anscheinend überschätzen sie den CO<sub>2</sub>-Einfluss deutlich und unterschätzen den Einfluss natürlicher Größen ebenso klar. Ihre Projektionen in die Zukunft fallen daher

vermutlich deutlich zu hoch aus. Für eine endgültige Aussage ist es wohl noch zu früh, aber aus heutiger Sicht ist es eher unwahrscheinlich, dass sich in überschaubarer Zeit schwerwiegende anthropogene Klimaauswirkungen ergeben. Nüchtern betrachtet ist ein Zeitdruck für Gegenmaßnahmen nicht erkennbar.

### 9. Kann der Mensch seine CO<sub>2</sub>-Freisetzungen erheblich verringern? Ja.

Natürlich kann er das, die Frage ist nur wie und zu welchem Preis. Aber eigentlich wäre vorab zu klären, ob er es überhaupt soll. „Mehr CO<sub>2</sub>“ hat nämlich neben seiner Klimawirkung (die bei „erheblich“ sicher negativ, bei „gering“ aber auch möglicherweise positiv zu bewerten ist, siehe den Begriff „Klima-Optimum“ für warme Zeiten) zweifelsfrei auch weitreichende Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum – und die sind eindeutig positiv: Je mehr CO<sub>2</sub> in der Luft ist, desto besser wachsen die Pflanzen („CO<sub>2</sub>-Dusche“), auch Nahrungsmittelpflanzen. Die erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentration der letzten Jahrzehnte hat mit Sicherheit dazu beigetragen, dass der Hunger in der Welt schneller reduziert werden konnte, als von der UNO als Ziel vorgegeben. Nüchtern betrachtet haben die anthropogenen CO<sub>2</sub>-Freisetzungen Millionen Menschen vor dem Verhungern bewahrt. Diese Gegenüberstellung von Klima- und Ernährungsauswirkungen des CO<sub>2</sub> kommt in der öffentlichen Debatte viel zu kurz (und ist auch wissenschaftlich noch wenig untersucht).

Aber hier reden wir ja über das Klima und diesbezüglich ist es selbstverständlich sinnvoll, die Möglichkeiten erheblicher CO<sub>2</sub>-Reduzierung näher zu untersuchen. Dazu muss zunächst quantifiziert werden was denn „erheblich“ heißt. Von vielen Protagonisten wird eine völlige Entkarbonisierung der Wirtschaft deutlich vor Ende dieses Jahrhunderts verlangt. Das wird aller Voraussicht nach nicht möglich sein. Aber auch wenn die CO<sub>2</sub>-Freisetzung nur um 50 % reduziert werden sollte, ist das angesichts des Nachholbedarfs unzähliger Menschen in den Entwicklungsländern und des anhaltenden Bevölkerungswachstums eine ganz gewaltige Herausforderung, wie sie die Menschheit noch nie bewältigt hat. Aber das darf noch kein Ausschlussgrund sein! Grundsätzlich stehen drei Wege zur CO<sub>2</sub>-Verringerung zur Verfügung: Der Mensch

kann weiter fossile Energien verwenden, aber das CO<sub>2</sub> abtrennen und lagern (CO<sub>2</sub> capture and storage), er kann regenerative Energien verwenden und er kann Kernenergie verwenden. Theoretisch sind alle 3 Wege gangbar, praktisch gibt es aber erhebliche Unterschiede.

### 10. Wie soll das gehen und was wird das kosten? Das weiß niemand genau.

Unabhängig von den Erfolgsaussichten wird eine substantielle Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Freisetzungen auf jeden Fall viel Geld kosten, wahrscheinlich sogar sehr viel Geld. Wie viel aber wirklich, ist vom Weg abhängig, den wir zur Lösung des Problems versuchen (und von der Geschwindigkeit, mit der wir meinen, die Reduzierung durchführen zu müssen). Hier können nur einige wesentliche Punkte herausgegriffen werden:

**Weg 1**, Abtrennung und Lagerung des CO<sub>2</sub>: Würde – falls eines Tages realisierbar – die Kosten der Nutzung fossiler Energieträger vermutlich ganz grob etwa verdoppeln. Zur Zeit ist aber keine Technik absehbar, mit der die Lagerung der riesigen CO<sub>2</sub>-Mengen mit akzeptabler Sicherheit zu akzeptablen Preisen machbar wäre (CO<sub>2</sub> ist schwerer als Luft, sammelt sich also eine Zeit lang am Boden an; ein größerer Austritt aus dem Lager könnte zum Erstickungstod aller Lebewesen im weiten Umkreis führen; so etwas hat es – bei natürlichen Lagerstätten und mit natürlich eingeleiteter Leckage – bereits gegeben). Ein Vergleich mit dem Problem der Lagerung radioaktiver Abfälle sei gestattet: Die CO<sub>2</sub>-Mengen sind millionenfach größer, ihr Aggregatzustand ist für eine sichere Endlagerung wesentlich ungünstiger (gasförmig gegenüber fest) und auch der Zeithorizont ist deutlich ungünstiger (unendliche gegenüber endlicher Halbwertszeit); CO<sub>2</sub> und ionisierende Strahlung sind mit unseren Sinnesorganen beide nicht erkennbar, mit technischen Geräten ist Strahlung aber viel empfindlicher und präziser zu messen. Wenn wir bei dem einen Problem Sorgen haben, es befriedigend lösen zu können, müssen wir beim anderen Problem noch viel größere Sorgen haben. Aus heutiger Sicht gibt es große Fragezeichen, ob der Weg „Abtrennung und Lagerung des CO<sub>2</sub>“ überhaupt großmaßstäblich gangbar ist.

**Weg 2**, Regenerative Energien: Solche gibt es in sehr unterschiedlichen Formen. Wasserkraft z.B. kann

zwar in manchen Ländern noch in großen Mengen ausgebaut werden, aber nur, wenn Großanlagen mit entsprechenden Risiken und Umweltauswirkungen akzeptiert werden und global gibt es insgesamt zu wenig Potential für Wasserkraft, um sie zur Hauptstütze der Energieversorgung der Menschheit werden zu lassen. Biomasse könnte einen erheblichen Anteil übernehmen, ist aber sehr flächenintensiv und infolge der Konkurrenzsituation zur Nahrungsvorsorgung der Menschen als Energierohstoff ethisch nur sehr eingeschränkt zu vertreten. Wind und Sonne könnten theoretisch den Energiebedarf der Menschheit decken, infolge ihrer eingeschränkten und unstenen Verfügbarkeit aber nur, wenn es geeignete Speicher oder eine weltweite Vernetzung mit riesigen Transportkapazitäten gäbe. Letzteres wäre zwar grundsätzlich mit heute bekannter Technik möglich, wäre aber nicht nur ungeheuer teuer, sondern setzte auch eine weltweit einige und friedliche Welt voraus, was auf absehbare Zeit utopisch erscheint. Speicher könnten das Problem auch mit regionalem Vorgehen lösen. Es ist aber keine Technik bekannt, mit der eine insgesamt ausreichende Lösung in absehbarer Zeit zu akzeptablen Kosten realisierbar erscheint. Pumpspeicherkraftwerke sind die einzige, großtechnisch erprobte Technik. In einigen wenigen Ländern sind sie auch in der (regional) erforderlichen Menge realisierbar, fast überall (und damit insgesamt) scheitern sie jedoch weit davor an ungünstigen Geländevoraussetzungen, am Widerstand der lokalen Bevölkerung und an den enormen Kosten. Andere Speichertechniken, die hinreichend bezahlbar sind und einen hinreichend hohen Wirkungsgrad haben, sind nicht in Sicht (die oft favorisierte Speichervariante „power to gas“ beispielsweise hat einen Wirkungsgrad von nur etwa 25 %, vernichtet also dreimal so viel Energie, wie sie später wieder zur Verfügung stellen kann). Andere regenerative Energien haben eher noch geringere Chancen. Weg 2 ist auf sehr lange Sicht mit entsprechend weiterentwickelter Technik vermutlich gangbar, aber wenn das Klimaproblem auch nur annähernd so ernst ist, wie viele es befürchten, steht uns diese Zeit ganz einfach nicht zur Verfügung. Auch mit sehr viel Geld werden wir das Ziel auf diesem Weg dann nicht erreichen (wobei das ungelöste Speicherproblem das entscheidende K.O. ist, selbst wenn wir

bereit [und in der Lage?] wären, das viele Geld aufzubringen). Wenn Eile geboten ist, ist Weg 2 keine realistische Option.

Bleibt noch **Weg 3**, die Kernenergie. Infolge ihrer hohen Energiedichte könnte sie verhältnismäßig rasch und zu verhältnismäßig geringen Kosten ausgebaut werden und ihre Treibstoffe, Uran und Thorium, sind für sehr lange Zeit in ausreichender Menge vorhanden. Über den Einsatz der Kernenergie entscheiden wir Menschen in freier Entscheidung, von der Natur vorgegebene Grenzen für ihren Einsatz sind viel weiter weggerückt als bei anderen Energieformen. Mit ihr wäre das Klimaproblem prinzipiell lösbar, auch relativ rasch lösbar, und die Kosten wären überschaubar, wir müssten es nur wollen. Und was das Risiko der Kernenergie betrifft, kommt es vor allem darauf an, wie man sie macht.

Ob wir das Klimaproblem lösen (CO<sub>2</sub>-Freisetzungen drastisch reduzieren) müssen oder nicht (zumindest nicht in kurzer Zeit, weil das Problem doch nicht so scharf ist, wie vielfach befürchtet), können wir heute nicht mit absoluter Sicherheit sagen. Wir können aber mit sehr hoher Sicherheit sagen, dass kein Weg an einem massiven Ausbau der Kernenergie vorbeiführen wird, wenn wir das Klimaproblem tatsächlich in kurzer Zeit lösen müssen. In Deutschland hören viele das nicht gerne, das ändert aber nichts an den Fakten, die Welt wird sich vermutlich eher nach denen richten als nach Deutschland. Welchen Sinn macht ein deutscher Alleingang? Er wird die Welt nicht verändern! Muss das Klimaproblem zwar gelöst werden, aber mit einem deutlich entspannten Zeithorizont, können wir vermutlich zwischen einer relativ billigen Variante mit Kernenergie und einer vermutlich deutlich teureren Variante ohne diese wählen. Ein Zeitdruck für diese Wahl ist nicht zu erkennen.

### 11. Können Klimagefahren damit sicher abgewendet werden? Nein.

Da muss man ein bisschen genauer hinschauen. Mit „Klimagefahren“ meint man normalerweise Gefahren, die von Extremereignissen wie Hochwasser, Dürreperioden, Stürmen, etc., ausgehen. Solche „Klimagefahren“ hat es immer schon gegeben und wird es immer geben, man könnte sie als „natürliche Klimagefahren“ bezeichnen. Die Extremereignisse und die von ihnen ausgehenden Gefahren können

aber – jedenfalls prinzipiell, ob auch real, ist umstritten, die Statistiken zeigen es jedenfalls noch nicht – in ihrer Häufigkeit und Intensität durch anthropogene Klimaänderungen verstärkt werden. Diese Gefahrene Zunahme wären dann die „anthropogenen Klimagefahren“. Diese abzuwenden, wäre zwar nicht einfach, könnte bei großen Anstrengungen aber doch gelingen (Abwenden durch CO<sub>2</sub>-Reduzierung). Wenn das schnell gehen muss, ist hierfür auf jeden Fall der Einsatz der Kernenergie notwendig (siehe oben), bei wesentlich entspannterem Zeitplan kann es vermutlich auch ohne diese gelingen (wenn auch wahrscheinlich nur zu deutlich höheren Kosten). Werden nur die „anthropogenen Klimagefahren“ gesehen, ist die Antwort auf Frage 11 daher „Ja, die können wir abwenden“, wenn auch mit der Einschränkung, dass dies nicht leicht ist und nicht jeder Weg zum Ziel führen wird.

Aber das ist eben noch nicht alles. Selbst wenn wir die „anthropogenen Klimagefahren“ (Gefahrene Zunahme durch anthropogene Tätigkeiten) erfolgreich abwenden, bleiben die „natürlichen Klimagefahren“ (natürlich auftretende Wetterextreme) weiter bestehen. Diese können wir grundsätzlich nicht abwenden, gegen sie können wir uns nur wappnen, indem wir Maßnahmen durchführen, die die Folgen im Eintrittsfalle möglichst reduzieren (wobei solche „Anpassungsmaßnahmen“ gleichzeitig auch gegen mögliche anthropogen verursachte Wetterextreme hilfreich sind). Die CO<sub>2</sub>-Reduzierung ist keine hierzu geeignete Maßnahme, weil sie die „natürlichen Klimagefahren“ und deren Folgen nicht beeinflusst. Deswegen ist die korrekte Antwort auf Frage 11 ein klares „Nein“.

### 12. Verhalten wir uns in dieser Situation richtig? Nein.

Unser Verhalten ist insbesondere durch die politisch getroffene Festlegung gekennzeichnet, zum Abwenden möglicher anthropogener Klimagefahren jetzt rasch und massiv regenerative Energien auszubauen. Bei nüchterner Betrachtung ergeben sich hier aber drei Probleme:

**Erstens Prioritäten:** Die reale Größe des anthropogenen Einflusses auf das Klima ist noch lange nicht geklärt, siehe oben. Rechtfertigen sich bei dieser Unsicherheit die ganz erheblichen Mittel, die wir heute für vorsorgliche Gegenmaßnahmen (CO<sub>2</sub>-Reduzierung) ausgeben? Sollten wir diese Mittel nicht lieber zur

Bekämpfung anderer Probleme verwenden? Welche Probleme sind heute wirklich die dringendsten? Bei den meisten Umfragen liegen Hunger, Armut, Arbeitsplätze, Gesundheitsfragen und dergleichen vorne und das Klima kommt abgeschlagen erst viel weiter hinten.

**Zweitens Realisierbarkeit:** Die Gangbarkeit des eingeschlagenen Weges ist genau dann fraglich (vorsichtig ausgedrückt), wenn das anthropogene Klimaproblem tatsächlich so groß ist und so schnell gelöst werden muss, wie vielfach befürchtet (und zur Rechtfertigung der genannten politischen Festlegung behauptet) wird. In Kurzform: Wenn es schnell gehen muss, dann geht es so, wie es zur Zeit versucht wird, schon gar nicht.

**Drittens Risikogewinn:** Auch bei noch so großer Reduktion der CO<sub>2</sub>-Freisetzungen bleiben die „natürlichen Klimagefahren“ unverändert bestehen. Um wie viel verkleinern wir unser (gesamtes) Risiko aus Wetter- und Klimakapriolen wirklich, wenn wir „anthropogene Klimaänderungen“ abwenden? Würden wir unser Gesamt-Wetterisiko nicht wesentlich stärker reduzieren, wenn wir das zur CO<sub>2</sub>-Reduzierung erforderliche Geld in vorbeugende Maßnahmen zur Verbesserung unserer Widerstandskraft gegenüber extremen Wetterereignissen stecken, egal, wodurch diese verursacht sind („Anpassung“)?

Statt so weiter zu machen wie bisher, sollten wir daher lieber innehalten und zunächst vorurteilslos die reale Notwendigkeit der CO<sub>2</sub>-Reduzierung und die realen Kosten und Erfolgsaussichten des hierzu einzuschlagenden Weges in Abhängigkeit vom angestrebten Zeitfenster klären. Und wir sollten einen Vergleich zu anderen prinzipiell möglichen Wegen der Klimagefahren-Bekämpfung und zur Dringlichkeit der Lösung anderer Probleme durchführen. Dann erst sollten wir über einschneidende Klimagefahren-Abwehrmaßnahmen entscheiden. Die seit ca. 17 Jahren anhaltende „Erwärmungspause“ sollte uns die Zeit hierfür geben. Selbst wenn sie demnächst zu Ende gehen sollte, hat sie uns auf jeden Fall gezeigt, dass die Erwärmung nicht gar so schnell voranschreitet.

Zum „richtigen“ Zeitpunkt für die Entscheidung über kostenintensive Klima-Vorsorgemaßnahmen sind aber noch drei weitere Anmerkungen erforderlich:

**Erstens** wird ein sofortiger Handlungsbedarf oft damit begründet, dass

„die wärmsten X Jahre in den letzten Y Jahren“ waren (mit X und Y Zahlen zwischen 1 und 17), wir hätten daher gar keine „Erwärmungspause“ und müssten deshalb auch dringend handeln. Die Beobachtung stimmt, aber die Schlussfolgerung stimmt nicht: Wenn wir seit 1650 eine generelle Erwärmung haben und auf deren (bisherigem) Höhepunkt (also ab ca. 2000) die Erwärmung stehen bleibt („Erwärmungspause“), dann müssen „die X wärmsten Jahre“ in diesem Zeitraum mit flachem Temperaturverlauf seit 2000 liegen. Das ist gerade kein Widerspruch zur „Erwärmungspause“, kann einen Handlungsdruck also nicht begründen.

**Zweitens** wird, leicht abgewandelt aber mit der gleichen Absicht, oft darauf hingewiesen, dass 2015 „das wärmste Jahr war, seitdem es detaillierte Aufzeichnungen gibt“. Auch das stimmt wahrscheinlich und wahrscheinlich wird 2016 ähnlich warm (gewesen) sein. Aber zum Jahreswechsel 2015/2016 gab es auch ein besonders starkes El Nino-Ereignis, das immer erwärmend wirkt. Bei generell stagnierender Temperatur auf hohem Niveau muss ein starkes El Nino-Ereignis daher zwei besonders warme Jahre bewirken. Dass 2015 und 2016 solche waren, sagt daher hinsichtlich Ende der „Erwärmungspause“ nichts aus. Außerdem folgt auf ein starkes El Nino-Ereignis normalerweise ein starkes La Nina-Ereignis, das immer abkühlend wirkt. Anzeichen dafür gibt es bereits. Erst in ein paar Jahren werden wir Klarheit darüber haben, ob die „Erwärmungspause“ nun zu Ende ist oder noch weiter geht.

**Drittens** schließlich haben wir beim Klima heute eine etwas ungewöhnliche Situation: Normalerweise erfolgt Erkenntnisgewinn immer nur in kleinen Schritten, in ein paar Jahren ist man vielleicht ein klein wenig klüger als heute und kann dann vermutlich „etwas besser“ entscheiden. Oft rechtfertigt dieser (mutmaßliche) kleine Erkenntnisgewinn die Nachteile einer späteren Entscheidung nicht (Nachteile, weil dann nur mehr weniger Zeit zur Lösung des Problems verbleibt). Dann ist es besser, man entscheidet frühzeitig. Beim Klima sind die Verhältnisse derzeit aber entscheidend anders: In einigen Jahren werden wir vermutlich nicht „ein klein wenig klüger“ sein als heute, sondern „viel klüger“. Dann werden wir aller Voraussicht klar sehen, ob die „Erwärmungspause“ jetzt, nach ca. 17 Jahren, wirklich zu Ende gegangen ist. Wenn ja, müssen wir die Gefahr

anthropogener Klimaänderungen höchstwahrscheinlich (die Zukunft kennt keiner genau) prinzipiell als bestätigt ansehen und wirksame CO<sub>2</sub>-Reduktionsmaßnahmen ergreifen, auch wenn sie weh tun. Wenn nein, können wir genauso höchstwahrscheinlich mit gutem Gewissen „Entwarnung“ geben und uns viel Geld sparen. Bei der realen Klimaentwicklung und der derzeitigen Zunahme der CO<sub>2</sub>-Konzentration um ca. 0,5 % pro Jahr sollten wir diese paar Jahre mit ruhigem Gewissen abwarten können. Ob wir mit entschiedenen CO<sub>2</sub>-Reduktionsmaßnahmen (wenn wir sie tatsächlich brauchen) bei den heute vorhandenen 400 ppm CO<sub>2</sub> beginnen, oder bei den in ein paar Jahren vorhandenen 410 ppm, kann wohl keinen großen Einfluss auf die Erfolgsaussichten haben. Einen erheblichen Erkenntnisgewinn vor Augen, sollten wir uns einem real nicht begründbaren Termindruck nicht beugen.

### 13. Was haben Paris und Marrakesch an der Sache geändert? Nichts.

Die beiden Welt-Klimakonferenzen waren keine wissenschaftlichen Tagungen, sondern politische Veranstaltungen. Ihr Ergebnis ist in sich widersprüchlich: Hohe Ansprüche (Ziele) bei niedriger Bereitschaft, sie auch tatsächlich zu verfolgen (INDC). Dieses Defizit sollte ein Ansporn sein, die offenen wissenschaftlichen Fragen zu klären. Diese Klärung kann nur auf wissenschaftlicher Ebene erfolgen, nicht auf politischer.

#### Literaturverzeichnis

- | Roth 2016: E. Roth: Die Deutsche Energiewende – Bewertung nach dem Klima-Abkommen von Paris, atw 12 (2016) p. 730-735.

Author Dr. Eike Roth  
August Jaksch Str. 7/94  
9020 Klagenfurt, Austria