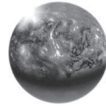


Energie und Klima: ein Blick in die Zukunft

Energy and Climate: An Outlook to the Future

Prof. Dr. G. Ganteför
Universität Konstanz

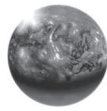


Die Umsetzung der Energiewende ist für Deutschland eine nationale Herausforderung, die mit der Wiedervereinigung vergleichbar ist. Das Hauptziel der Energiewende ist der Umstieg auf die erneuerbaren Energien, um die Kohlendioxidemissionen zu reduzieren und damit eine zu starke Klimaerwärmung zu vermeiden. Parallel dazu geschieht eine Energiewende anderer Art in den USA. Neue Bohrverfahren ermöglichen es, bisher unzugängliche Erdöl- und Erdgasvorräte zu erschließen und so für die nächsten 100 oder 200 Jahre von Energieimporten unabhängig zu werden. Die beiden Energiewenden haben entgegengesetzte Auswirkungen: In Deutschland ist der Strompreis auf 30 Cents pro Kilowattstunde gestiegen, während der Erdgaspreis in den USA auf unter einen Eurocent pro Kilowattstunde Wärmeenergie gesunken ist [1]. Heute ist daher absehbar, dass die deutsche Energiewende allein schon aus Kostengründen scheitern wird. Aber es gibt noch weitere ungelöste Probleme und die Regierung in Berlin wird bald dazu gezwungen sein, die Energiewende zu stoppen. Dagegen unterstützt die amerikanische Energiewende ein starkes Wirtschaftswachstum [2] und praktisch alle Länder der Erde werden dem Vorbild der USA folgen. Fossile Energien werden also weiterhin den Großteil der Primärenergie [3] liefern. Gelingt es, Erdgas ohne zu große Verluste zu verflüssigen, kann es das knapper werdende Erdöl als Treibstoff ersetzen und die Bürger werden auch in der Zukunft ihre Autos wie gewohnt betanken können. Es wird also keine globale Energiewende nach deutschem Vorbild geben und die jährlichen Kohlendioxidemissionen werden weiter ansteigen. Für diesen Fall sagen die Klimamodelle einen Temperaturanstieg von 4 Grad und mehr voraus und das bedeutet, dass auf einer Zeitskala von 1000 Jahren das grönländische und antarktische Inlandeis abschmelzen könnte [4]. Der ansteigende Meeresspiegel würde den Lebensraum der Menschheit stark einschränken und das ist angesichts der immer noch stark wachsenden Weltbevölkerung nicht akzeptabel. Es muss nach einer anderen Lösung des Problems der Klimaerwärmung gesucht werden. Eine mögliche Alternative basiert auf dem Ausbringen von Aerosolpartikeln in die Atmosphäre [5].

Diese für manchen Leser vielleicht überraschenden Schlussfolgerungen werden in den folgenden Kapiteln näher erläutert und mit überprüfbaren Zahlen belegt. Die historische Analyse in Kap. 1 zeigt, dass die deutsche Energiewende im wortwörtlichen Sinn eine Wende ist: Sie ist eine Rückkehr zu den Energiequellen der Vergangenheit und das wird mit einem Absinken des Lebensstandards einhergehen. Wie in Kap. 2 dargelegt wird, ist die Klimaerwärmung keineswegs das größte Problem der Menschheit. Die Hauptprobleme sind die Armut und das Bevölkerungswachstum, angesichts derer die Forderung nach einer Energiewende realitätsfern anmutet. Kap. 3 widmet sich der deutschen Energiewende und erläutert die Gründe für deren Scheitern. Diese Schlussfolgerungen decken sich mit einer aktuellen Analyse von Prof. Dr. H.-W. Sinn, dem Präsidenten des Münchner IFO-Instituts [6]. Kap. 4 gibt eine kurze Übersicht über den Stand der Klimadebatte und in Kap. 5 werden alle heute denkbaren Optionen zur Lösung des Klimaproblems dargelegt. In Kap. 6 wird schließlich ein möglicher Weg in eine Zukunft skizziert, die allen Menschen einen akzeptablen Lebensstandard bieten kann.

The realization of the energy transition is for Germany a national challenge, comparable with the German reunification. The main goal of the energy transition is the transfer to renewable energies in order to reduce the carbon dioxide emission and hence to avoid a too severe climate warming. At the same time, there is an energy transition of a different kind in the USA. New drilling technologies enable to exploit so far inaccessible crude oil and natural gas deposits and thus to be independent from energy imports for the next 100 or 200 years. These two energy transitions have opposite consequences: the electricity rate has risen to 30 euro cents per kilowatt-hour in Germany whereas the natural gas rate has decreased in the USA below one euro cent per kilowatt-hour thermal energy [1]. Today, it is therefore foreseeable that the German energy transition is going to fail due to financial reasons. However, there are further undissolved problems, and the government in Berlin will soon be forced to stop the energy transition. In contrast, the American energy transition supports a strong growth of economics [2], and in fact, all countries of the world will follow the American example. Therefore, fossil energy sources will continue to provide the bulk of primary energy [3]. If it is possible to liquefy natural gas without great losses, it can replace the more scarcely available crude oil as fuel, and in the future people will be able to fill their cars as usual. Consequently, there will not be a global energy transition according to the German model, and the annual carbon dioxide emissions will further rise. In that case, the climate models predict a temperature increase by four degrees and more. This means that in a time scale of 1 000 years the Greenlandic and Arctic inland ice could melt [4]. The increasing sea level would strongly confine mankind's habitat, and this is not acceptable in view of the still increasing growth of the world population. There is a need to look for another solution to solve the problem of climate warming. One possible alternative is based on the release of aerosol particles into the atmosphere [5].

This, perhaps to some readers surprising conclusion, is illustrated in the following chapters in more detail and with verifiable figures. The historical analysis in Chap. 1 shows that the German "Energiewende" is literally a U-turn ("Wende"): it is a return to the energy sources of the past, and this will involve a decrease of the standard of living. As shown in Chap. 2, the climate warming is not the biggest problem of mankind. The main problems are poverty and population growth, in view of which the demand for energy transition appears escapist. Chap. 3 is devoted to the German energy transition and explains the reasons for its failure. These conclusions concur with a current analysis of Prof. Dr. H.-W. Sinn, president of the IFO institute Munich [6]. Chap. 4 gives a short overview on the status of the climate debate, and Chap. 5 shows all the current possibilities to solve the climate problem. Finally, Chap. 6 outlines a possible way in a future that can offer all people an acceptable standard of living.



1 Die Geschichte der Energie [7]

Alles Leben benötigt Energie. Im Fall der Pflanzen ist dies Sonnenenergie und im Fall der Tiere Biomasse, dass heißt, sie fressen entweder Pflanzen oder andere Tiere. Die Anzahl der Individuen einer Art ist durch die Verfügbarkeit von Energie in der einen oder anderen Form begrenzt. Tiere und Pflanzen haben lediglich Zugang zu Sonnenenergie und Biomasse und diese beiden Energiequellen waren immer knapp. Erst der Mensch hat diese Umklammerung aufgesprengt, indem er neue Energiequellen erschloss. Die menschliche Entwicklung gliedert sich grob in drei Phasen (Abbildung 1), wobei sich die erste Phase nur wenig von der Existenz eines Tieres unterschied. Den frühen Menschen stand nur eine Energiequelle, die Biomasse, zur Verfügung. Die Menschen lebten im Einklang mit der Natur und verbrauchten nur genau so viel, wie die Natur ihnen zur Verfügung stellte. In dieser „Phase Eins“ der menschlichen Entwicklung musste der Mensch alle Arbeit mit seiner eigenen Muskelkraft erledigen und auch alle Produkte, der er benötigte, selber herstellen. Der Arbeitslohn lag umgerechnet auf heutige Verhältnisse bei 10 Cents pro Stunde. Der Stundenlohn lässt sich deswegen angeben, weil sich auch heute noch rund eine halbe Milliarde Menschen in diesem Zustand der bittersten Armut befinden. Es entspricht einem Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukt von weniger als 400 Euro pro Jahr (Deutschland: 40 000 Euro pro Jahr) [8].

Zu Beginn des Mittelalters kamen zwei neue Energiequellen hinzu, die die Abhängigkeit von der knappen Biomasse reduzierten. Das Zeitalter der Wasser- und Windmühlen dauerte fast tausend Jahre. Die Wassermühlen, die Tag und Nacht beständig Energie in der Form mechanischer Arbeit lieferten, waren die Basis unzähliger kleiner Industriebetriebe. Sie führten zur Wirtschaftsblüte des Mittelalters. In dieser „Phase Zwei“ stiegen die Arbeitsproduktivität und der Arbeitslohn um den Faktor zehn. Ein Arbeiter in einer Manufaktur konnte so viel fertigen wie zehn Arbeiter in der „Phase Eins“ und erhielt auch zehnmal so viel Lohn. Die Energie verstärkte seine Arbeitskraft. Nach heutigem Standard handelte es sich im Mittelalter um Ein-Euro-Jobs und auch heute noch leben etwa drei Milliarden Menschen auf diesem Niveau. Es entspricht einem Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukt von weniger als 4000 Euro.

Die moderne Industriegesellschaft basiert auf den vier konventionellen Energieträgern Kohle, Erdgas, Erdöl und Uran. Die Maschinen, die mit dieser Energie angetrieben werden, ver Hundertfachen die Arbeitskraft des Menschen. Ein Arbeiter in einer Fabrik kann heute hundertmal mehr produzieren als ein Arbeiter der Antike und verdient auch hundertmal so viel (10 Euro pro Stunde). Diese enorme Verstärkung der Arbeitskraft basiert auf der Verfügbarkeit von preiswerter Energie, für deren Erzeugung nur wenig Arbeitskraft aufgebracht werden muss. Besonders beeindruckend

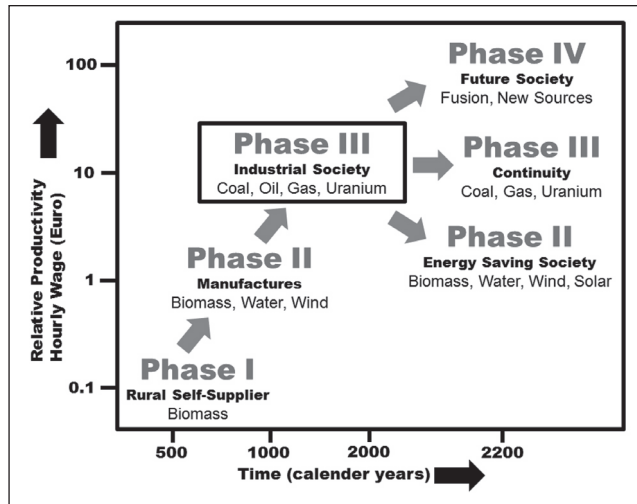


Abbildung 1:
Die Phasen der historischen Entwicklung
Figure 1:
Phases of historical progress

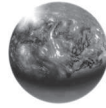
1 History of Energy [7]

All living things need energy. In case of plants, it is the energy of the sun, and in case of animals, it is the biomass, i.e., they feed on either plants or on other animals. The number of individuals of one species is limited by the availability of energy in one or the other form. Animals and plants have only access to solar energy and biomass, and these two energy sources have always been scarce. Only mankind has forced this clinch open by making new energy resources accessible. Human progress can be roughly divided into three phases (Figure 1) in which the first phase differs only

minimal from the existence of an animal. Only one energy source, i.e. biomass, was available to the early human beings. Humans lived in conformity with nature and used as much as nature provided. In this "phase one" of human progress, the human had to do all the work with his own muscular strength and make all the needed products himself. The income was, calculated to today's standards, ten euro cents per hour. The reason why the hourly rate can be quoted is that there are still half a billion people living in this stage of bitter poverty today. This corresponds to a per head gross domestic product of less than 400 euro per year (Germany: 40 000 euro per year) [8].

At the beginning of the Middle Ages, two new energy sources accrued that reduced the dependency on the scarce biomass. The era of water- and windmills lasted nearly a thousand years. Water mills, which were delivering constant energy as mechanical work day and night, were the basis of many small industries. In this "phase two", the work productivity and the income increased by a factor of ten. One worker in a manufactory could produce as much as ten workers of "phase one" and received ten times as much salary. Energy increased his workforce. According to today's standard, these were one-euro jobs in the Middle Ages, and even today around three billion people still live at this level. This corresponds to a per head gross domestic product of less than 4 000 euro.

Modern industrialized society is based on the four conventional energy sources coal, natural gas, crude oil, and uranium. The machines powered by this energy, centuple the manpower of the person. Today, a factory worker can produce one hundred times more than a worker of the antiquity and earns hundred times as much (10 euro per hour). This enormous increase of manpower is based on the availability of cheap energy, production of which only needs little work force. The increase in productivity in agriculture is particularly impressive. Today, a farmer is able to supply nearly 200 people with food with his machineries, whereas the farmer of the antiquity produced just enough food for himself and his family.



ckend ist der Produktivitätszuwachs in der Landwirtschaft. Ein Bauer kann heute mit seinem Maschinenpark knapp 200 Menschen mit Lebensmitteln versorgen, während der Bauer der Antike gerade eben genug Nahrungsmittel für sich und seine Familie produzierte.

Entscheidend für den hohen Lebensstandard der heutigen westlichen Länder ist also die Verfügbarkeit preiswerter Energie. Preiswert ist die Energie dann, wenn nur wenig menschliche Arbeitskraft eingesetzt werden muss, um sie zu erzeugen. Daher genügt es heute, weniger als 40 Stunden in der Woche zu arbeiten, um einen sehr hohen Lebensstandard zu ermöglichen. Müsste für die Erzeugung von Energie wieder mehr Arbeitskraft aufgewandt werden, würde sich die Energie verteuern und der Lebensstandard sinken. Die historische Entwicklung würde sich umkehren. Es ist möglich, die Arbeitskraft abzuschätzen, die für die Erzeugung einer bestimmten Energiemenge aufgebracht werden muss. Danach muss für die Energiezeugung aus Sonne, Wind und Biomasse zwischen fünf- bis zehnmal mehr Arbeitskraft aufgebracht werden als für die Energieerzeugung aus den klassischen Energien Kohle, Erdgas, Erdöl und Uran [9]. So strömen aus einer Erdgasbohrung über viele Jahre hinweg gigantische Energiemengen ohne dass nennenswert Arbeit dafür eingesetzt werden müsste. Windräder müssen dagegen häufig gewartet werden und produzieren vergleichsweise wenig Energie. Hinzu kommt der Aufwand für die Energiespeicherung, wie in Kap. 3 noch erläutert werden wird. Insgesamt wird ein Umstieg auf die erneuerbaren Energien zu einer merklichen Reduktion des Lebensstandards und einem starken Verlust der globalen Konkurrenzfähigkeit führen.

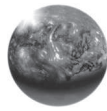
2 Die globale Situation

Die beiden wichtigsten Probleme der Erde werden in den meisten Diskussionen zu den Themen Klima- und Umweltschutz nicht erwähnt: die Armut und das Bevölkerungswachstum. Rund drei Milliarden Menschen müssen mit weniger als einem Fünfzigstel des Einkommens eines Deutschen auskommen. Eine halbe Milliarde Menschen leben sogar in bitterster Armut, das heißt sie müssen von weniger als 100 Euro im Monat leben. Sie können - ähnlich wie die Menschen in Deutschland - höchstens rund 10% ihres Einkommens für Energie ausgeben. Konkret bedeutet das, dass sie sich nur Energie für einen Preis von maximal 3 Cents pro Kilowattstunde (cts/kWh) leisten können [8]. Die Solarenergie mit Kosten von 18 cts/kWh ist für sie unerschwinglich. Das Gleiche gilt für die Offshore-Windenergie, die ebenfalls bei 18 cts/kWh liegt. Zu diesen reinen Herstellungskosten (Fachausdruck: Stromgestehungskosten) kommen noch die Kosten für den Netzausbau, die Speicherung und die Reservekraftwerke hinzu. Die Energiewende beim Strom allein wird Deutschland geschätzte 80 Milliarden Euro pro Jahr kosten [10]. Diese Summe entspricht dem gesamten Volkseinkommen von Bangladesch, einem bitterarmen Land mit doppelt so vielen Einwohnern wie Deutschland. Eine Energiewende nach deutschem Vorbild ist also für mehr als die Hälfte der Menschen auf der Erde unerschwinglich. Ein Beispiel ist das pleitebedrohte Spanien. Die spanische Regierung hat 2012 alle Subventionszahlungen für die Energiewende gestoppt. Auch die eigentlich für 20 Jahre garantierten Einspeisevergütungen für Altanlagen wurden gestrichen.

Crucial for the high standard of living of today's western countries is thus the availability of cheap energy. The energy is cheap if only little manpower is needed to produce the energy. Nowadays, it is enough to work less than 40 hours a week to allow a very high standard of living. If again more manpower was needed to produce energy, energy would get more expensive and the standard of living would decrease. The historical progress would invert. It is possible to estimate the manpower needed for a certain amount of energy. Accordingly, five- to ten times more manpower is needed to produce energy from sun, wind, and biomass compared to the classical energies coal, natural gas, crude oil, and uranium [9]. Gigantic quantities of energy flow out of a natural gas drill hole over many years without noteworthy amounts of work being applied. In contrast, windmills need to be serviced regularly and produce little energy in comparison. In addition, there is the cost of the energy storage, which is explained in Chap. 3. Overall, the transfer to renewable energies will result in a perceptible reduction of the standard of living and a considerable decrease of global competitiveness.

2 Global Situation

The two most important problems of the world are often not mentioned in most discussions on climate and environmental protection: poverty and population growth. Around three billion people need to get by with less than one fiftieth of a German income. Half a billion people even live in bitter poverty, which means they have to live on less than 100 euro per month. They are able, similar to the people in Germany, to spend a maximum of 10% of their income on energy. This means precisely that they are able to afford energy to a maximum cost of three euro cents per kilowatt-hour (cts/kWh) [8]. Solar energy with cost of 18 cts/kWh is exorbitant to them. This applies also to offshore wind energy, which also is at 18 cts/kWh. To these net production cost (technical term: cost of electricity by source), cost for network expansion, storage, and reserve power plants need to be added. The energy transition for electricity only is going to cost Germany roughly 80 billion euro per year [10]. This sum corresponds to the whole national income of Bangladesh, a very poor country with a population twice as high as Germany. An energy transition according to the German model is thus exorbitant for more than half the people of the world. An example is bankrupt-threatened Spain. In 2012, the Spanish government stopped all subsidy payment for the energy transition. Even compensations for electricity fed into the grid that were guaranteed for existing installations for the next 20 years were discarded.



Parallel dazu wächst die Weltbevölkerung alle 12 Jahre um eine Milliarde (Abbildung 2). Das sind so viele Menschen wie heute in ganz Afrika leben. Eigentlich bräuchte die Erde also alle 12 Jahre einen weiteren Kontinent der Größe Afrikas, um all diesen Menschen ein zu Hause bieten zu können. Mehr Menschen brauchen mehr Energie und so folgt der Primärenergieverbrauch der Bevölkerungskurve. Seit dem Jahr 2003 steigt der Primärenergieverbrauch aber sogar noch stärker als die Bevölkerung. Das liegt daran, dass es nicht nur immer mehr Menschen gibt, sondern dass es den Menschen besser geht. Das globale Bruttoinlandsprodukt hat sich in 20 Jahren verdoppelt. Wenn es den Menschen besser geht, verbrauchen sie mehr Energie. Mehr als 80 Prozent der Primärenergie wird aus fossilen Energien, also aus Kohle, Erdöl und Erdgas gewonnen und daher folgt die Kurve der Kohlendioxidemissionen dem Primärenergieverbrauch. Solange die Bevölkerung weiterhin so stark wächst, wird es nicht gelingen, die Kohlendioxidemissionen auch nur zu stabilisieren geschweige denn zu reduzieren.

Armut und Bevölkerungswachstum sind eng verknüpft. Abbildung 3 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Wohlstand eines Landes und der mittleren Geburtenrate [8,12]. Es existiert eine Armutsschwelle, die bei einem Bruttoinlandsprodukt von 1500 US \$ pro Jahr liegt. Länder mit einem niedrigeren Bruttoinlandsprodukt haben hohe Geburtenraten und das sind die Länder, in denen heute das Bevölkerungswachstum stattfindet. Gelingt es den Lebensstandard über die Armutsschwelle anzuheben, sinken die Geburtenraten auf ein akzeptables Niveau von 2-3 Kindern pro Familie. Dass dies auch ohne drakonische Gesetze gelingen kann, zeigen Beispiele wie Thailand. Dort ist die Geburtenrate von 6 im Jahr 1970 auf heute 1,6 abgesunken [13].

3 Die deutsche Energiewende

Die klassischen Energieträger Kohle, Erdöl, Erdgas und Uran lieferten bisher rund 90% der Primärenergie in Deut-

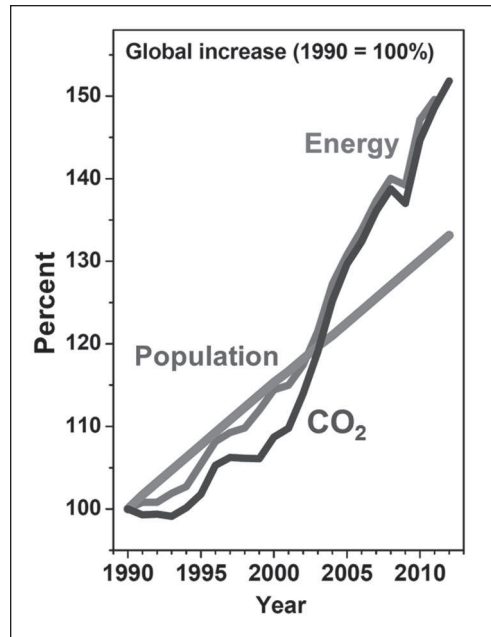


Abbildung 2:
Entwicklung der Bevölkerungszahl, des Primärenergieverbrauchs und der Kohlendioxidemissionen als Veränderung in Prozent seit 1990. [11]
Figure 2:
Development of population, primary energy consumption, and carbon dioxide emission in percent since 1990. [11]

At the same time, the world population is growing by one billion people every 12 years (Figure 2). These are as much people as are living in whole of Africa today. In fact, every 12 years the world would need an additional continent of the size of Africa to provide all these people with a home. More people need more energy and therefore the primary energy consumption follows the population curve. Since 2003, the primary energy consumption has even increased more than the population. This is because not only are there more people but also people have a better life. The global gross domestic product has doubled in 20 years. If people have a better life, they will consume more energy. More than 80% of the primary energy is obtained by fossil energies, i.e., coal, crude oil, and natural gas, and the curve for carbon dioxide emission thus follows the primary energy consumption. As long as the population continues to grow this much, there is no chance to stabilize, let alone to reduce the carbon dioxide emission.

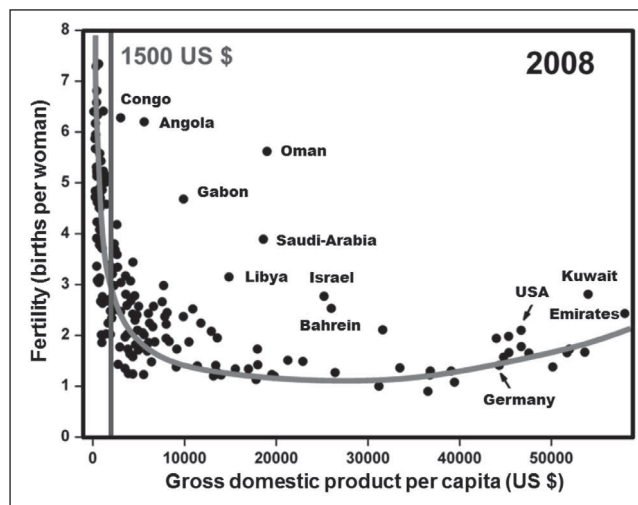
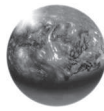


Abbildung 3:
Zusammenhang zwischen dem Bruttoinlandsprodukt pro Person und der Geburtenrate. Eine Geburtenrate von zwei entspricht einer stabilen Gesellschaft. Unterhalb der Armutsschwelle von 1500 US \$ sind die Geburtenraten hoch. Etwa drei Milliarden Menschen müssen auf diesem Niveau leben. Die Daten stammen aus dem Jahr 2008. [8, 12]
Figure 3:
Correlation of gross domestic product per person and birth rate. A birth rate of two corresponds to a stable society. Below the poverty threshold of 1 500 US\$ birth rates are high. Around three billion people need to live at this level. The data are from 2008. [8, 12]

Poverty and population growth are closely related. Figure 3 shows the relation of a country's prosperity and the mean birth rate [8, 12]. There is a poverty threshold, which lies at a gross domestic product of 1 500 US\$ per year. Countries with a low gross domestic product have a high birth rate, and these are the countries, where a growth in population takes place today. If we succeed to raise the standard of living above the poverty threshold, the birth rate will decrease to an acceptable level of 2-3 children per family. That this is possible without draconic laws, show examples such as Thailand. There, the birth rate has decreased from six in 1970 to 1.6 today.

3 The German Energy Transition

The classical energy carrier coal, crude oil, natural gas, and uranium have to date provided 90% of the primary energy



schland [11]. Die Energiewende verfolgt zwei Ziele: Erstens den „Ausstieg“ aus der Kernenergie, da die Risiken dieser Technologie als zu hoch empfunden werden und zweitens den „Umstieg“ auf die erneuerbaren Energien, um die Kohlendioxidemissionen, die bei der Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas entstehen, zu verringern. Konkret bedeutet dies, dass die vier klassischen Energieträger gegen die vier erneuerbaren Energien Wasser, Wind, Sonne und Biomasse ersetzt werden müssen. Nur diese vier grünen Energien können in der Gigawattklasse mithalten. Alle anderen erneuerbaren Energien wie beispielsweise die Geothermie oder Wellenkraftwerke können auf absehbare Zeit hin nur mit geringfügigen Energiemengen beitragen. Da die Kernenergie nur noch mit rund drei Prozent zum Endenergieverbrauch Deutschlands beiträgt, ist der Ausstieg aus der Kernenergie sehr viel einfacher umzusetzen als der Umstieg auf die Erneuerbaren. Der Umstieg betrifft rund 80% des gesamten Energieverbrauchs. Die deutschen Medien vermitteln den Eindruck, dass die Energiewende große Fortschritte

machte. Tatsächlich wurden im Jahr 2012 bereits 23 Prozent des Stroms aus erneuerbaren Energien erzeugt. Der Stromverbrauch macht aber nur rund ein Fünftel des gesamten Energieverbrauchs aus. Deutschland gewinnt immer noch knapp ~ 80% seiner Primärenergie aus den klassischen Energien Kohle, Erdöl und Erdgas und das entspricht ziemlich genau dem globalen Durchschnitt (Abbildung 4). Von einer Vorreiterrolle kann also keine Rede sein. In Deutschland steht die Energiewende noch ganz am Anfang, aber bereits heute zeigen sich gravierende Probleme. Die Kosten der Energiewende steigen stark. Obwohl die Stromgestehungskosten der erneuerbaren Energien in den letzten Jahren als Folge der Massenproduktion massiv sanken, sind sie immer noch um ein Mehrfaches höher als die der klassischen Energien. Hinzu kommen die Kosten für den Netzausbau, die Reservekraftwerke und die in der Zukunft notwendige Stromspeicherung. Bereits jetzt leiden die einkommensschwachen Haushalte und die energieintensiven Unternehmen unter den steigenden Stromkosten. Der Strompreis ist in Deutschland rund doppelt so hoch wie in Frankreich und rund dreimal so hoch wie in den USA (Abbildung 5). Letzteres gilt auch für den Erdgaspreis, der aufgrund des Einsatzes neuer Bohrmethode (Fracking) auf rund ein Drittel des europäischen Niveaus gesunken ist. Nur die Kohle ist noch preisgünstiger. Die Strompreise in Deutschland werden noch weiter ansteigen, wenn ein immer größerer Anteil des Stroms aus erneuerbaren Energien stammt. Eine Erweiterung der Energiewende auf die gesamte Primärenergieerzeugung ist praktisch undenkbar, da die Kosten dafür nach heutigen Maßstäben astronomisch hoch

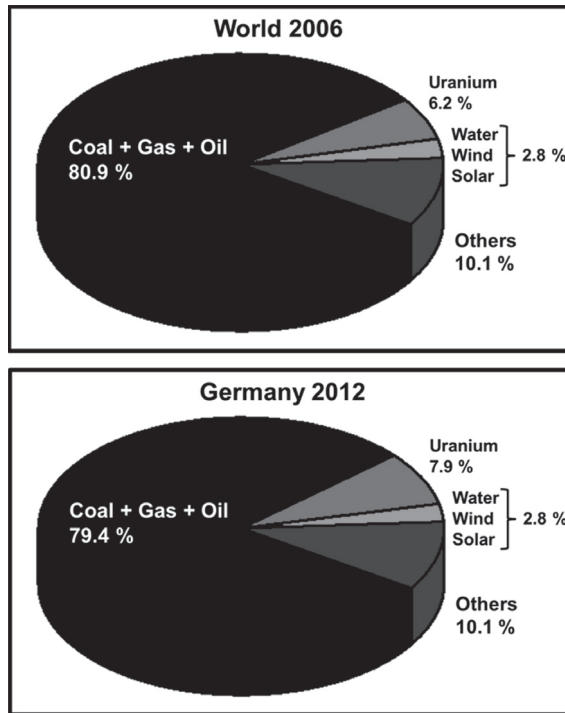


Abbildung 4:

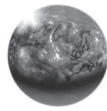
Die Anteile der verschiedenen Energieträger an der Primärenergieerzeugung. Deutschland bezog im Jahr 2012 87,3% aus Kohle, Gas, Erdöl und Uran. Der globale Durchschnitt lag 2006 bei 87,1 %. [11]

Figure 4:

Proportions of different energy sources on primary energy production. In 2012, Germany received 87.3% from coal, natural gas, crude oil, and uranium. The global average was 87.1% in 2006.

in Germany [11]. The energy transition pursues two goals: firstly, nuclear phase-out, as the risk of this technology is considered too high and secondly, the "transfer" to renewable energies to reduce carbon dioxide emission, which is generated during burning of coal, crude oil, and natural gas. In practice, this means that the four classical energy sources have to be replaced by the four renewable energies water, wind, sun, and biomass. Only these four green energies can keep up with the gigawatt-class. All the other renewable energies, such as geothermal energy or wave power can in foreseeable future only account for a negligible amount of energy. Because nuclear power contributes with only ~3% to the total final energy consumption of Germany, the nuclear phase-out is much easier to implement than the transfer to renewable energies. The transfer affects around 80% of the total energy consumption. The German media is suggestive that the energy transition makes great progresses. Effectively, 23% of electricity was produced by renewable energies in 2012. The consump-

tion of electricity accounts only for one fifth of the total energy consumption. Germany still obtains ~80% of the primary energy from classical energies coal, crude oil, and natural gas, which corresponds to nearly the global average (Figure 4). One cannot talk about a pioneering-role. In Germany, the energy transition is still at an early stage but already today, serious problems arise. The cost of the energy transition is increasing intensely. Although the cost of electricity by source of renewable energies has been reduced in the last years in consequence of the mass production, it is still by a multitude higher than those of classical energies. In addition, there are the cost for the network expansion, reserve power plants, and the future necessary electricity storage. Low-income households and energy intensive companies suffer already now by the increasing electricity cost. The electricity cost are about twice as high in Germany as in France and three times as high as in the USA (Figure 5). The latter applies also for the price of natural gas, which has due to the use of new drilling methods (fracking) decreased to about one third of the European level. Only coal is still cheap. The price of electricity will further increase in Germany if an ever-greater part of electricity is obtained from renewable energies. An expansion of the energy transition to the total primary energy production is practically unthinkable, as the cost according to current standards would be astronomically high [10]. If, however, the cost is hardly affordable for one of the richest industrial countries, then it is exorbitant for three billion people of the poor countries.



wären [10]. Wenn aber die Kosten für eines der reichsten Industrieländer kaum zu bezahlen sind, dann sind sie für die drei Milliarden Menschen in den armen Ländern unerschwinglich.

Neben den Kosten gibt es ein technisches Problem, dass der Umsetzung der Energiewende im Wege steht. Der weitere Ausbau der erneuerbaren Energien kann nur auf dem Ausbau der Windenergie und der Solarenergie beruhen, denn die Ausbaumöglichkeiten der Wasserkraft und der Energieerzeugung aus Biomasse sind weitestgehend ausgeschöpft. Sonne und Wind sind jedoch stark fluktuierende Energieformen. Im Winter gibt es Zeiträume, in denen weder Energie aus Sonne noch aus Wind erzeugt wird. Dagegen gibt es besonders im Frühjahr und Herbst Phasen, in denen bereits heute mehr Strom aus Sonne und Wind ins Netz eingespeist wird, als verbraucht werden kann. Diese Überschüsse sind notwendig, um die Zeiträume im Winter zu überbrücken. Dazu muss jedoch der überschüssige Strom gespeichert werden. Techniken, die derartig große Mengen an Elektrizität speichern können, stehen heute jedoch nicht zur Verfügung. Bewährte Technologien wie Pumpspeicherkraftwerke müssten um das Hundertfache ausgebaut werden, um den Anforderungen der Energiewende genügen zu können. Die Anzahl der Stauseen, die für Pumpspeicherkraftwerke benötigt werden, zu verhundertfachen ist aber undenkbar. Andere Speichertechniken wie die Methanisierung, die in der Literatur diskutiert werden, gibt es bisher nur in der Theorie. Effizienz und Kosten dieser hypothetischen Techniken sind kaum abschätzbar. In jedem Fall wird es noch Jahrzehnte dauern, diese allenfalls im Labormaßstab existierenden Techniken in den Bereich von Milliarden von Kilowattstunden hoch zu skalieren. [6]

Im Jahr 2014 wird die installierte Leistung der vier erneuerbaren Energien die Grenze von 80 Gigawatt überschreiten (Abbildung 6). 80 Gigawatt sind der durchschnittliche Stromverbrauch Deutschlands an einem Werktag. Wird mehr Leistung eingespeist, muss die überschüssige Energie entweder ins Ausland verkauft oder vernichtet werden. In der Zukunft wird es immer häufiger an sonnigen und windigen Tagen dazu kommen, dass überschüssiger Strom vernichtet wird. Das wird sich erst dann ändern, wenn genügend Möglichkeiten vorhan-

Electricity Cost 2012 (Eurocents/kWh)		
Private Household:	Germany	28.2
	France	15.9
	USA	9.0
Industry:	Germany	10.4
	France	7.0
	USA	4.9
Stock Exchange Price (Jan. 15th, 2013)		
Natural Gas (USA)		0.9
Natural Gas (EU)		2.7
Hard Coal		0.6
Crude Oil		6.9

Abbildung 5:

Ober:
Vergleich der Stromkosten in Eurocents pro Kilowattstunde im Jahr 2012 für Privathaushalte und industrielle Großabnehmer. Industrielle Kunden mussten 2012 in Deutschland die EEG-Umlage in der Höhe von 5,3 cts/kWh nicht bezahlen. Dies hätte eine Erhöhung des Strompreises (10,4 cts/kWh) um 50% bedeutet.

Unten:
Börsenpreise der fossilen Energien Erdöl, Erdgas und Kohle, angegeben in Eurocents pro kWh Wärmeenergie. [2, 11]

Figure 5:

Above:
Comparison of the electricity cost in euro cents per kilowatt-hour for private households and industrial consumers. Industrial costumers did not need to pay the German Renewable Energy Act contribution of 5.3 cts/kWh. This would have meant an increase of the electricity rate (10.4 cts/kWh) by 50%.

Below:
Stock exchange price of fossil energies crude oil, natural gas, and coals given in euro cents per kWh thermal energy. [2, 11]

Besides the cost, a technical problem stands in the way of implementing the energy transition. The further extension of renewable energies can only be based on the development of wind energy and solar energy, because the development options for waterpower and the energy production from biomass are depleted to the greatest possible extend. However, sun and wind are very strongly fluctuating forms of energy. In winter, there are time spans when energy can be produced from neither sun nor wind. In contrast, in spring and autumn there are phases when already today more electricity from sun and wind is fed to the power network than needed. These excesses are, however, necessary to compensate for the periods in winter. Thus, the excess electricity needs to be stored. Techniques able to store this great amount of electricity are currently not available. Established technologies, such as pump storage power stations would need to be expanded a hundred times to meet the requirements of the energy transition. Other storage techniques, such as methanation, which is discussed in literature, are only available in theory. Efficiencies and cost of these hypothetical techniques are not assessable. In any case, it will take decades to scale up this at best on laboratory-scale existing technology to the range of billions kilowatt-hours. [6]

In 2014, the installed efficiency of the four renewable energies will exceed the boundary of 80 gigawatt (Figure 6). 80 gigawatt is the average electricity consumption of Germany on one workday. If more power is fed, the excess energy will either need to be sold abroad or to be destroyed. In the future, it will happen more frequently that on sunny or windy days excess power will be destroyed. This will only change if there are enough possibilities to store surplus production for periods without wind and sun. Such technologies will be available at the earliest in 10 or 20 years and up to then it is not sensible to expand these two energy forms.

Besides the cost and the technical difficulties, another problem is perhaps even the most serious. Although the speed of developing the solar and wind energies exceeds all predictions, the energy transition is too slow to reduce the greenhouse gas emission on time. In the last

Installed Capacity (GW)	2008	2009	2010	2011	2012
Water	4.2	4.1	4.1	4.4	4.4
Biomass	3.7	4.3	4.7	5.4	5.7
Wind	24	26	27	29	31
Solar	6	11	18	25	33
Sum	37.9	45.4	53.8	63.8	74.1

Abbildung 6:

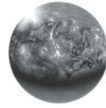
Zuwachs an installierter Leistung in der Stromerzeugung aus den vier erneuerbaren Energien Wasser, Biomasse, Wind und Photovoltaik (Sonne) in Gigawatt (GW) während der letzten fünf Jahre.

Der Bedarf Deutschlands liegt tagsüber bei rund 80 GW. [11]

Figure 6:

Increase of installed power of the electricity production by the four renewable energies water, biomass, wind, and photovoltaic (sun) in gigawatt (GW) in the last five years.

The requirement of Germany lies at around 80 GW during the day. [11]



den sind, um die Überproduktion für Zeiten ohne Wind und Sonne zu speichern. Solche Technologien werden aber frühestens in 10 oder 20 Jahren zur Verfügung stehen und solange ist es nicht sinnvoll, diese beiden Energieformen weiter auszubauen.

Neben den Kosten und den technischen Schwierigkeiten gibt es noch ein Problem, das vielleicht sogar das schwerwiegendste ist. Obwohl die Geschwindigkeit des Ausbaus der Solar- und Windenergie in Deutschland alle Prognosen übertrifft, ist die Energiewende trotzdem zu langsam, um rechtzeitig die Treibhausgasemissionen zu reduzieren. In den letzten 5 Jahren ist die Einspeisung aus grüner Energie jährlich um rund 12 Milliarden kWh gestiegen [11]. Um 80% des Stroms aus erneuerbaren Energien zu erzeugen, fehlen heute noch rund 300 Milliarden kWh und das dauert also noch rund 25 Jahre. Aber eine Energiewende, die sich nur auf die Stromerzeugung beschränkt, würde nur ein Fünftel des Energieverbrauchs betreffen. Eine klimarelevante Energiewende müsste sich auf die gesamte Primärenergieerzeugung erstrecken. Das Ziel der Bundesregierung ist hier niedriger gesteckt: man will bis 2050 nur 60% der Primärenergie durch erneuerbare Energien ersetzen. Das entspricht einer Energiemenge von mehr als 1200 Milliarden kWh. Würde also die Energiewende ungeachtet der technischen Probleme und der Kosten in der heutigen Geschwindigkeit weiter voranschreiten, würde das 60% Ziel in ungefähr 100 Jahren erreicht werden. Aber eine Reduktion um 60% genügt nicht, um das Klima zu stabilisieren, denn dazu wäre eine annähernd hundertprozentige Reduktion notwendig. Die Klimaforscher fordern, dass die Konzentration des Kohlendioxids nicht über 0,5 Promille ansteigen darf. Zurzeit beträgt die Konzentration 0,4 Promille und sie wächst jedes Jahr um 0,0015 Promille. Setzt sich der Anstieg so fort, wird die Grenze von 0,5 Promille in knapp 70 Jahren erreicht. Die deutsche Energiewende ist also zu langsam. Hinzu kommt, dass kein anderes Land in der Lage ist, mit der Ausbaugeschwindigkeit in Deutschland mithalten. Eine globale Energiewende wäre also hoffnungslos zu langsam, um die Klimaerwärmung aufzuhalten. Aber eine Wende bei der Primärenergie wird es ohnehin nicht geben, denn kein Land kann sie bezahlen.

4 Das Klimaproblem

Die menschengemachte Klimaerwärmung wird ohne Gegenmaßnahmen innerhalb der nächsten 100 bis 200 Jahre zu einer übermäßigen Erwärmung führen. Langfristig geht das Klima allerdings in die nächste Eiszeit über. Die Ursache für die regelmäßig wiederkehrenden Eiszeiten sind subtile Änderungen der Bahn der Erde um die Sonne. Beides, die Erwärmung und die Abkühlung, sind für den Menschen nicht wünschenswert, wobei eine Eiszeit wesentlich unangenehmer wäre als eine Warmzeit.

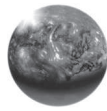
Die Aussagen des Weltklimarats sind insgesamt glaubwürdig: Das zusätzliche Kohlendioxid, das sich heute in der Atmosphäre befindet, stammt aus der Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas. Kohlendioxid ist ein Treibhausgas und eine erhöhte Konzentration eines solchen Gases muss zu einer globalen Erwärmung führen. Wie schnell und wie weit die Temperatur ansteigen wird ist allerdings schwierig vorherzusagen, da das Klima von vielen Faktoren beeinflusst wird. Nach den Modellrechnungen steigt die Temperatur um rund vier Grad, wenn die Kohlendioxidkonzentration den Wert von 0,5 Promille überschreitet, was wahr-

five years, the supply by green energy has risen annually by about 12 billion kWh [11]. To produce 80% of electricity by renewable energies, about 300 billion kWh are still missing, and this is going to take about another 25 years. However, an energy transition that is restricted to only electricity production applies to only one fifth of the energy consumption. A climate relevant energy transition would need to extend to the total primary energy production. The goal of the German government is in this case set lower: only 60% of the primary energy is to be replaced by renewable energies until 2050. This corresponds to an amount of energy of more than 1 200 billion kWh. If the energy transition proceeds at the current rate, regardless of technical problems and cost, the goal of 60% would be reached in 100 years. However, a reduction by 60% is not enough to stabilize the climate; for this, a nearly 100% reduction would be necessary. Climate researchers demand that the concentration of carbon dioxides must not exceed 0.5 ppm. Currently, the concentration is 0.4 ppm and increases annually by 0.0015 ppm. If the increase continues like this, the 0.5 ppm will be reached in around 70 years. The German energy transition is thus too slow. In addition, no other country has the ability to compete with the German speed of development. A global energy transition would be hopelessly slow to stop the climate warming. However, there will not be a transition of the primary energy because no country is able to pay for it.

4 Climate Problem

Without countermeasures, the man-made climate warming is going to result in an excessive global warming in the next 100 to 200 years. In the long term, however, the climate will change to the next ice age. The reason for the regular recurring ice ages is subtle alterations of the Earth's orbit around the sun. Both, warming and cooling are not desirable for mankind, in which an ice age would be much more unpleasant than a warm interval.

The propositions of the Intergovernmental Panel on Climate Change are altogether plausible: the additional carbon dioxide, which resides currently in the atmosphere, derives from the combustion of coal, crude oil, and natural gas. Carbon dioxide is a greenhouse gas, and an increased concentration of such a gas has to lead to a global warming. How fast and how far the temperatures will rise is, however, difficult to predict, because the climate is influenced by many factors. According to numerical modeling, the temperature will rise by around four degrees if the carbon dioxide concentration exceeds 0.5 ppm, which is probably going to happen in around 100 years. That this is too much is known



scheinlich in knapp 100 Jahren geschehen wird. Dass das zu viel ist, weiß man aus der Vergangenheit. Vor rund 100 000 Jahren war es zwei Grad wärmer als heute und der Meeresspiegel lag um 4 Meter höher. Geht man noch weiter in die Vergangenheit zurück, lag die Temperatur sogar 8 Grad höher als heute und die Pole waren vollständig eisfrei. Der Meeresspiegel würde dann um 80 Meter steigen und damit den Lebensraum der Menschheit dramatisch reduzieren. Daher ist eine Temperaturerhöhung um mehr als zwei Grad zu viel und muss verhindert werden. Allerdings steigt der Meeresspiegel nur langsam. Zurzeit steigt er um 3mm im Jahr. In hundert Jahren sind dies 30cm und es ist nicht schwierig, die Deiche entsprechend zu erhöhen. Der Anstieg des Meeresspiegels ist langfristig die gefährlichste Konsequenz der Klimaerwärmung. Die anderen Gefahren werden nach Meinung des Autors von den Medien und einigen Klimaforschern übertrieben, aber eine detaillierte Diskussion von Klimaphänomenen wie Dürren und Stürmen würde hier zu weit führen (siehe Ref. [8]). Wenn in 100 Jahren eine Technologie zur Verfügung stünde, mit der die Temperatur des Planeten wieder um ein oder zwei Grad gesenkt werden könnte, so würde das das Klimaproblem jedenfalls erheblich entschärfen.

5 Mögliche Lösungen des Klimaproblems

Es gibt grundsätzlich drei Möglichkeiten, auf die Klimaerwärmung zu reagieren:

- (1) Rechtzeitige Reduktion der Kohlendioxidemissionen
- (2) Anpassung an eine unvermeidliche Erwärmung
- (3) Kontrolle des Klimas mit technischen Mitteln.

(1) Die Energiewende, also die Reduktion der Emissionen, ist auf den ersten Blick der einfachste Weg, aber das Konzept hat im Hinblick auf das Klimaproblem zwei grundsätzliche Schwächen. Zum einen geht es von der Existenz eines natürlichen Gleichgewichts aus, in das das Klima wieder zurückkehren wird, nachdem die Emissionen zurückgefahren wurden. Das ist aber eine falsche Annahme, da das Klima auch aus natürlichen Gründen schwankt. Die menschengemachte Erwärmung hat den Kaltzeittrend unterbrochen, in dem sich das Klima seit rund 5000 Jahren befindet. Ohne die Erwärmung könnte es wieder zu Abkühlphasen wie der „Kleinen Eiszeit“ kommen und das wäre mit einer Bevölkerung von 10 oder 12 Milliarden Menschen nicht akzeptabel. Die heutige moderate Erwärmung ist also sogar zu begrüßen, da dadurch neuerliche Kälteperioden unwahrscheinlicher werden.

Die andere konzeptionelle Schwäche der Energiewende als Lösung des Klimaproblems ist die Umkehrung der historischen Entwicklung ([Abbildung 1](#)). Die Energiewende ist eine Rückkehr zu schwächeren und knapperen Energieformen, die die Möglichkeit, sich gegen Verschlechterungen der Lebensbedingungen zu wehren, einschränkt. Die „Kleine Eiszeit“ gegen Ende des Mittelalters war eine solche Verschlechterung. Eine hypothetische Gesellschaft, die sich zu hundert Prozent aus erneuerbaren Energien versorgt, wäre einer Klimaabkühlung wehrlos ausgeliefert. Zum Beispiel würde der Anteil der Energieerzeugung aus der Biomasse wegbrechen, denn in einem kühleren Klima ist die Witterungsperiode kürzer und das Pflanzenwachstum reduziert. Die Ackerfläche würde in einem solchen Szenario wieder zu 100% für die Nahrungsmittelerzeugung benötigt

from the past. Around 100 000 years ago, it was two degrees warmer than today and the sea level was four meters higher. If one goes back even further into the past, the temperature was even eight degrees higher than today and the poles were completely free of ice. The sea level would rise by 80 meters and hence reduce drastically the habitat of mankind. Therefore, an increase in temperature by more than two degrees is too much and must be avoided. However, the sea level rises only slowly. Currently it rises around 3 mm per year. In one hundred years, it is 30 cm, and it is not difficult to increase the dikes accordingly. The increase of the sea level is on the long term the most dangerous consequence of the climate warming. The other threats are in the opinion of this author exaggerated by the media and some climate researchers, but a detailed discussion on climate phenomena such as droughts and storms would go too far (see ref. [8]). If in 100 years a technology was available to decrease the temperature of the planet by one or two degrees, the climate problem would be considerably eased.

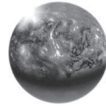
5 Possible Solutions to the Climate Problem

In general, there are three possibilities to react to the climate warming:

- (1) Timely reduction of carbon dioxide emission*
- (2) Adaptation to an inevitable warming*
- (3) Control of the climate by technical means.*

(1) The energy transition, i.e., the reduction of emissions, is at first glance the easiest way. However, this concept has in view of the climate problem two fundamental flaws. On the one hand, it assumes the existence of a natural equilibrium, to which the climate will return after reducing the emissions. This is, however, a wrong assumption, because the climate fluctuates due to natural causes. The man-made warming has interrupted the glacial period trend, in which the climate has resided for the last 5 000 years. Without warming there could be another cooling period like the "Little Ice Age", and this would be unacceptable with a population of 10 or 12 billion people. The current moderate warming is even welcome, as new cold periods would thus become more unlikely.

The other conceptual weakness of the energy transition as solution to the climate problem is the reversal of the historical progress ([Figure 1](#)). The energy transition is a return to weaker and scarce forms of energy, which restricts the possibility to resist against a deterioration of living conditions. The "Little Ice Age" at the end of the Middle Ages was such a deterioration. A hypothetical society that supplies itself on renewable energies by 100% would be defenseless during a climate cooling. For example, the energy production from biomass would cease to apply, because in cooler climate, the weather periods are shorter, and the growth of plants is reduced. 100% of the agricultural cropland would in such a scenario be again needed for food production. In the case of solar energy, it is similar. In the long winter of the "little ice age", the solar panels would be snow-covered most of the time and would not produce energy. The example on the "little ice age" shows how much



werden. Ähnlich verhält es sich mit der Solarenergie. In den langen Wintern der „Kleinen Eiszeit“ wären die Solarmodule die meiste Zeit verschneit und würden keine Energie liefern. Das Beispiel der „Kleinen Eiszeit“ veranschaulicht, wie der Umstieg auf die erneuerbaren Energien die Abhängigkeit von den Schwankungen der Natur wieder erhöhen würde. Wenn die Energiewende als Mittel gegen die Klimaerwärmung versagt – und das wird sie – dann ist der Umstieg auf die erneuerbaren Energien sogar eine fatale Entscheidung. Egal, ob es wärmer oder kälter wird, in beiden Fällen benötigen die Menschen sehr viel mehr Energie, um ihr Leben erträglich zu machen. In heißen Sommern werden Klimaanlageanlagen benötigt und in kalten Wintern Heizungen. Die Energiewende ist also kein geeignetes Werkzeug, um die Klimaerwärmung zu bekämpfen.

(2) Auch eine Anpassung an eine übermäßige Erwärmung ist nicht realistisch. Die Folgen eines Anstiegs des Meeresspiegels um mehr als 4 oder 5 Meter können kaum noch mit technischen Mitteln eingedämmt werden. Eine Anpassung an eine weitere große Eiszeit ist undenkbar.

(3) Der einzige noch verbleibende Ausweg ist die aktive Klimakontrolle. In der Fachwelt werden verschiedene Methoden zur Beeinflussung des Klimas diskutiert. Eine besonders futuristische ist die Positionierung großflächiger Sonnenreflektoren zwischen Erde und Sonne, die die Sonneneinstrahlung auf die Erde abschwächen. Das wäre vielleicht die sanfteste Methode der Klimabeeinflussung, da die vielfältigen Luft- und Meeresströmungen kaum beeinflusst werden. Das Sonnenlicht würde überall gleichmäßig nur ein wenig gedimmt werden. Allerdings ist die Methode extrem teuer und extrem energieaufwändig. Weniger spektakuläre Methoden beruhen auf der Idee, das bereits in der Atmosphäre befindliche Kohlendioxid wieder zu extrahieren. Auch hier gibt es eine sanfte Methode: die Intensivierung der natürlichen Photosynthese. So sind bestimmte Teile der Weltmeere heute biologisch gesehen Wüsten, da das Wasser dort kaum Nährstoffe enthält. Durch eine gezielte Düngung mit Mineralsalzen kann eine Algenblüte verursacht werden. Die Algen nutzen das Kohlendioxid als Kohlenstoffquelle für ihr Wachstum. Wenn sie am Ende ihres Lebenszyklus zum Meeresboden absinken, wird dieser Kohlenstoff der Atmosphäre langfristig entzogen. Selbst wenn diese Methode funktionieren sollte, so wäre sie allerdings langsam. Ähnlich wie bei der Energiewende droht hier, dass der Wettlauf mit der Klimaerwärmung verloren wird.

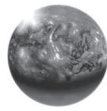
Eine vielversprechende Methode beruht auf einem natürlichen Abkühlereffekt. Das Jahr 1816 wird auch Jahr ohne Sommer bezeichnet, denn es schneite sogar im Juli. Die Ursache war ein Vulkanausbruch in Indonesien, wobei große Mengen an Schwefeldioxid in die Atmosphäre gelangten. Das Gas hatte zunächst keinen merklichen Einfluss auf das Klima, aber nach einer Weile bildeten sich in den oberen Schichten der Troposphäre weißliche Sulfat-Aerosole, die einen Teil des Sonnenlichts reflektieren. Durch diesen Dunstschleier erreichte weniger Sonnenlicht die Erdoberfläche. Daher gibt es immer nach schweren Vulkanausbrüchen für mehrere Jahre eine Abkühlung. Der Nobelpreis-träger Paul Crutzen hat schon 2006 vorgeschlagen, diese Methode, die auf dem künstlichen Ausbringen von Aerosolpartikeln beruht, näher zu erforschen, um für den Fall, dass die Energiewende misslingt, eine Alternative zu haben [5]. Er hielt es schon damals nur für einen „frommen Wunsch“, dass die globalen Kohlendioxidemissionen reduziert werden

more we would depend on nature's fluctuations. If the energy transition fails against the climate warming, and it will, then the transfer to renewable energies is a fatale decision. No matter if it is warmer or colder, in both cases people will need very much energy to make life bearable. In hot summers, air conditioning will be needed and in cold winters heating. The energy transition is thus not a suitable tool to fight the climate warming.

(2) *An adaptation to excessive warming is not realistic. The consequence of an increase of the sea level by more than 4 or 5 meters can hardly be confined by technical means. An adaptation to another big ice age is unthinkable.*

(3) *The only remaining way out is active climate control. Experts discuss different methods to influence the climate. Particular futuristic is the positioning of large-scale sun reflectors between the Earth and sun, which weaken the solar radiation onto the earth. This would perhaps be the softest method to influence the climate because the versatile air and ocean currents would be influenced little. However, this method is extremely expensive and extremely energy demanding. Less exciting methods are based on ideas to extract the carbon dioxide already in the atmosphere. There is a soft method as well: increasing the natural photosynthesis. Today, certain parts of the oceans are from a biological viewpoint deserts because the water contains hardly any nutrient. Algae bloom can be caused by targeted fertilization with mineral salts. Algae use the carbon dioxide as a carbon source for their growth. When they sink to the sea floor at the end of their life cycle, this carbon is withdrawn from the atmosphere in the long term. Even if this method should work, it would be slow. Similar to the energy transition, there is the danger that the race with the climate warming will be lost.*

A promising method is based on a natural cooling effect. 1816 is also denoted the year without summer, because it even snowed in July. The reason was a volcanic eruption in Indonesia where a huge amount of sulfur dioxide reached the atmosphere. At the beginning, the gas had no noticeable effect on the climate, but after a while white sulfate aerosol formed in the upper layer of the troposphere, which reflected part of the sunlight. Less sunlight reached the surface of the Earth through this shroud of mist. Therefore, after severe volcanic eruptions a cooling for several years is observed. The Nobel Prize winner Paul Crutzen suggested already in 2006 to investigate this method more closely, which is based on the artificial dispersion of aerosol particles, to have an alternative in case the energy transition fails [5]. He considered it already then as wishful thinking that it would be possible to reduce the global carbon dioxide emissions. The chemical composition and the size of the aerosol particles are of crucial importance. If the particles are too big, they will sink to the ground within weeks or months. If they are smaller than the wavelength of the light, they will reflect the light only insufficiently. Very small aerosol particles tend to coagulate and form bigger aggregates, which in turn sink quickly to the ground. The aerosol particles should not be able to react chemically with other gases or particles of the atmosphere. Sulfate aerosols have a destructive effect on the ozone layer, and should they be applied in greater quantities, it would result in an increase of the ozone depletion at the poles. With the current much improved climate models, effects of such measure can be predicted quite accurately, and there



könnten. Die chemische Zusammensetzung und die Größe der Aerosolpartikel sind dabei von entscheidender Bedeutung. Sind die Partikel zu groß, sinken sie innerhalb von Wochen oder Monaten zu Boden. Sind sie kleiner als die Wellenlänge des Lichts, reflektieren sie das Licht nur ungenügend. Sehr kleine Aerosolpartikel neigen zum Koagulieren und bilden größere Aggregate, die wiederum schnell zu Boden sinken. Auch sollten die Aerosolpartikel möglichst keine chemischen Reaktionen mit den anderen Gasen und Partikeln in der Atmosphäre eingehen. Sulfat-Aerosole haben eine schädigende Wirkung auf die Ozonschicht und könnten, sollten sie in großen Mengen ausgebracht werden, zu einer Vergrößerung der Ozonlöcher an den Polen führen. Mit den inzwischen erheblich verbesserten Klimamodellen lassen sich die Auswirkungen solcher Maßnahmen aber recht gut vorhersagen und es besteht die Hoffnung, dass unerwünschte Nebenwirkungen weitestgehend vermieden werden können. Langfristig ist es unerlässlich, das Klima zu steuern, denn auch ohne die menschengemachte Klimaerwärmung wird sich das Klima der Erde immer wieder verändern. Eine neue große Eiszeit, die in einigen 1000 Jahren langsam beginnen wird, würde eine Katastrophe für die Menschheit bedeuten. Aber bis dahin sind die Menschen sicher in der Lage, das Klima perfekt zu kontrollieren.

6 Ein Weg in die Zukunft

Die vordringlichsten Probleme der Erde sind die Armut, das Bevölkerungswachstum, die Ressourcenverknappung und die Klimaerwärmung. Mehr Menschen brauchen mehr Energie und mehr Ressourcen. Es gibt nur also dann eine Chance, den Ressourcenverbrauch und die Kohlendioxidemissionen zu reduzieren, wenn die Bevölkerungszahl stabilisiert werden kann. Höchste Priorität muss die Bekämpfung der Armut und des Bevölkerungswachstums haben. Der Umstieg auf die erneuerbaren Energien ist aus zwei Gründen keine sinnvolle Option. Zum einen sind diese Energieformen selbst für die Industrieländer zu teuer und für die drei Milliarden Menschen in den armen Ländern sind sie unerschwinglich. Teure Energie würde zu einer Verarmung und damit zu einem Wiederanstieg der Geburtenraten führen ([Abbildung 3](#)). Zum anderen gibt es auch ohne die menschengemachte Klimaerwärmung Klimaveränderungen. Einer Kältephase wie der „Kleinen Eiszeit“ vor 200 Jahren wäre eine Energiespargesellschaft hilflos ausgeliefert. Die Menschheit muss langfristig Techniken der Klimakontrolle entwickeln und dafür wird sie sehr viel Energie brauchen.

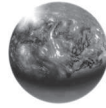
Die Geburtenraten sinken fast von selbst auf ein akzeptables Niveau, wenn der Lebensstandard mindestens ein Zehntel des Niveaus in den Industrieländern erreicht. Die Wirtschaft muss also in den wenig entwickelten Ländern weiter wachsen und dazu sind ebenfalls große Mengen bezahlbarer Energie notwendig. Der Verbrauch von Kohle, Erdgas, Erdöl und Uran wird also vorerst weiter steigen. Das Erdöl wird zwar in absehbarer Zeit knapp werden, aber das Erdgas, das noch für ein- oder zweihundert Jahre reichen wird, wird es ersetzen. Uran und Kohle reichen noch mehrere Jahrhunderte [3]. Setzt sich der bisherige Trend bei den Geburtenraten weiter fort, wird sich die Bevölkerung bei 12 Milliarden stabilisieren [8]. Nach weiteren 100 Jahren Wirtschaftswachstum werden die meisten Menschen einen bescheidenen Wohlstand erreicht haben. Allerdings geschieht dies auf Kosten der Rohstoffreserven. Viele Metalle und andere Rohmaterialien werden immer knapper werden und das Recycling wird immer mehr an Bedeutung

is hope that undesirable side effects can be avoided as far as possible. On the long run, it is necessary to regulate the climate, because even without the man-made climate warming the Earth's climate will change consistently. A new big ice age, which is slowly going to start in some 1 000 years, would be a disaster for mankind. However, until then people will certainly be able to control the climate perfectly.

6 A Way into the Future

The most urgent problems of the Earth are poverty, population growth, shortage of resources, and climate warming. More people need more energy and more resources. There will be only a chance to reduce the resource consumption and carbon dioxide emissions if the population can be stabilized. Highest priority must have the fight against poverty and population growth. The transfer to renewable energies is for two reasons not a sensible option. On the one hand, these energy forms are too expensive even for industrial countries and exorbitant for three billion people in the poor countries. Expensive energy would lead to impoverishment and hence to an increase of the birth rates ([Figure 3](#)). On the other hand, there are climate changes even without the man-made climate warming. An energy saving society would be helplessly exposed to a cold phase, such as in the "Little Ice Age" 200 years ago. On the long term, mankind needs to develop techniques to control the climate for which much energy will be needed.

The birth rates will decrease nearly by itself to an acceptable level, if the standard of living reaches at least one tenth of the level of industrial countries. The economy needs to grow in lesser-developed countries, and this needs a great amount of affordable energy. The use of coal, natural gas, crude oil, and uranium will for now continue to rise. Crude oil, however, will run short in foreseeable future, but natural gas, which will last for one or two more centuries, will replace it. Uranium and coal will last many centuries [3]. If the current trend with the birth rates continues, the population will stabilize at 12 billion [8]. After another 100 years of economic growth, most people will have achieved a moderate standard of living. This will, however, happen on the cost of the raw materials' resources. Many metals and other raw materials will be scarcer and recycling will become even more important. Even the piles of rubbish of the past may become storages of raw material, where, however, the treatment and extraction of the containing metals are complex and energy-intensive.



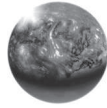
gewinnen. Auch die Müllberge aus der Vergangenheit werden dann vielleicht zu Rohstofflagern, wobei allerdings Aufbereitung und Extraktion der darin enthaltenen Metalle aufwändig und energieintensiv sind.

Energie ist der Schlüssel für eine menschenwürdige Zukunft der Erde. Mit genug Energie kann die Armut besiegt werden. Mit genug Energie können die menschengemachte Klimaerwärmung und auch natürliche Klimaschwankungen kontrolliert werden. Mit genug Energie ist es möglich, alle Rohstoffe zu recyceln und so auch langfristig einen hohen Lebensstandard aufrecht zu erhalten. Die fossilen Energieträger Erdöl, Erdgas und letztlich auch die Kohle werden schließlich zur Neige gehen. Es stellt sich die Frage, welche Methoden es in der langfristigen Zukunft geben könnte, um die erforderlichen großen Mengen an Energie zu erzeugen. Die Natur kennt zwei Energiequellen, die Jahrmillionen lang gewaltige Energiemengen liefern können. Die stärkste im Universum bekannte Energiequelle überhaupt ist die direkte Umwandlung von Materie in Energie. Aber diese Technologie wird dem Menschen vielleicht niemals zur Verfügung stehen, denn dazu wird ein schwarzes Loch benötigt. Die zweite Methode der Natur ist die Energiequelle der Sonne selbst: die Fusion. Die Fusion ist zwar durchaus machbar, aber sie erfordert den Bau sehr großer Reaktoren. Das widerspricht dem aktuellen Zeitgeist in Deutschland.

Energy is the key to a humane future of the Earth. With enough energy, poverty can be defeated. With enough energy, the man-made climate warming and even the natural climate fluctuations can be controlled. With enough energy, it is possible to recycle all raw materials and maintain the high standard of living in the long run. The fossil energy carriers, crude oil, natural gas, and at least coal, will diminish. The question is which methods will be available in the long-term future to produce the needed large quantities of energy. Nature knows two energy sources, which can provide large quantities of energy for millions of years. The strongest in the universe known energy source ever is the direct change of matter to energy. However, this technology might never be available to mankind, because a black hole is needed. The second method of nature is the energy source of the sun itself: fusion. Fusion is definitely feasible but very large reactors need to be built. This contradicts the current German zeitgeist.

Literatur / References

- [1] Der Gaspreis in den USA schwankt zwischen 2 und 4.5 US \$ pro MMBTU.
Internet (11.1.2014):
<http://www.eia.gov/naturalgas/weekly/>
- [2] Eric Heymann, Hannah Berscheid,
„Carbon Leakage: Ein schleichender
Prozess“, Deutsche Bank, Research,
Aktuelle Themen, Natürliche Ressourcen,
18. Dezember 2013.
Internet (11.1.2014): <http://www.dbresearch.de/>
- [3] Bundesanstalt für Geowissenschaften und
Rohstoffe (BGR), „Energiestudie 2013“,
Hannover. Internet (11.1.2014):
[http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/
energie_node.html](http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/energie_node.html)
- [4] Vierter Sachstandsbericht des IPCC.
Internet (Stand 11.1.2014):
[http://de.wikipedia.org/wiki/Vierter_
Sachstandsbericht_des_IPCC](http://de.wikipedia.org/wiki/Vierter_Sachstandsbericht_des_IPCC)
- [5] P. J. Crutzen,
„Albedo enhancement by stratospheric sulfur
injections: a contribution to resolve a policy
dilemma?“,
Climatic Change 77, 211-220 (2006).
Internet (11.1.2014):
[http://www.cogci.dk/news/Crutzen_albedo%20
enhancement_sulfur%20injections.pdf](http://www.cogci.dk/news/Crutzen_albedo%20enhancement_sulfur%20injections.pdf)
- [6] H.-W. Sinn,
„Energiewende ins Nichts“, Vortrag am
16.12.2013 an der LMU München.
Internet (11.1.2014):
[http://www.cesifo-group.de/de/ifoHome/events/
individual-events/Archive/2013/
vortrag-sinn-lmu-20131216.html](http://www.cesifo-group.de/de/ifoHome/events/individual-events/Archive/2013/vortrag-sinn-lmu-20131216.html)



- [7] Diese Kapitel folgt in wesentlichen Teilen der historischen Analyse von Karl H. Metz in seinem Buch, „Ursprünge der Zukunft. Die Geschichte der Technik in der westlichen Zivilisation“, Schöningh, Paderborn, 2005.
- [8] Gerd Ganteför,
„Klima: der Weltuntergang findet nicht statt“,
Wiley-VCH, Weinheim,
ISBN 978-3-527-32671-6,
(Sachbuch) (September 2010).
- [9] Gerd Ganteför,
„Die Arbeitsproduktivität in der Stromerzeugung.
Ein Vergleich von Sonne, Wind und Biomasse mit
Kohle und Kernenergie“, veröffentlicht in
„Tabula Rasa - Zeitung für Gesellschaft und
Kultu“, Ausgabe No 85 (03/2013).
Internet (Stand 11.1.2014):
[http://
www.tabularasa-jena.de/artikel/artikel_4551/](http://www.tabularasa-jena.de/artikel/artikel_4551/)
- [10] Gerd Ganteför,
„Möglich, aber teuer“, in „Die Politische
Meinung“, Zeitschrift der Konrad-Adenauer-
Stiftung, Septemberheft 2011, 56 Jahrgang,
Seiten 58-66, (mit einer Gegenposition des
Umweltbundesministers Röttgen in der gleichen
Ausgabe).
- [11] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie,
„Energiedaten Gesamtausgabe“, ständig
aktualisiertes Tabellenwerk. Internet (11.1.2014):
[http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/
Energiedaten-und-analysen/energiedaten.html](http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiedaten-und-analysen/energiedaten.html)
- [12] Gerd Ganteför,
„Crude oil, natural gas, coal and uranium:
indispensable energy sources for the least
developed countries“, Analyse & Kritik,
Zeitschrift für Sozialtheorie, Zürich,
Bd. 01/2010, Seiten 5-23.
- [13] siehe z.B. Internet (11.1.2014):
<https://www.google.de/#q=geburtenrate+thailand>