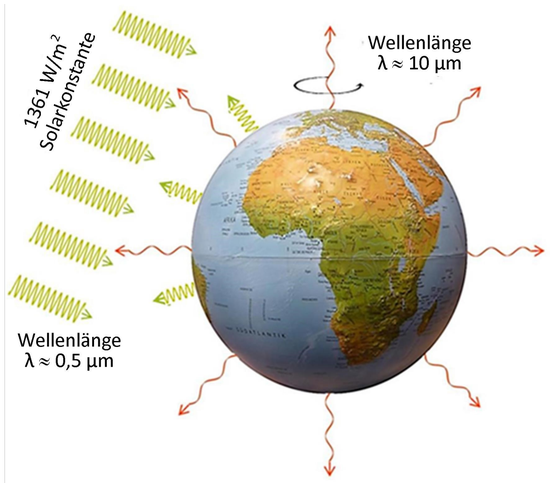
Notwendigkeit und Chancen des Umstiegs auf erneuerbare Energien

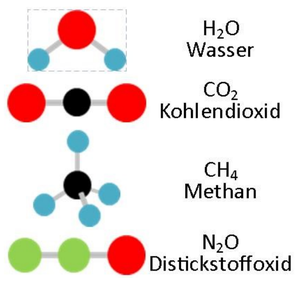
Das Strahlungsgleichgewicht der Erde

- Die Erde bewegt sich nahezu kreisförmig um die Sonne. Dabei erhält sie außerhalb der Erdatmosphäre ständig eine Strahlungsleistung von im Mittel **1361 Watt/m²** (Solarkonstante).
- Die Fläche der Solarstrahlung, die auf die Erde trifft, hat die Größe πr^2 (r Erdradius).
- Da sich die Erde dreht, verteilt sich die Solarenergie über die gesamte Kugelfläche $4\pi r^2$ der Erde, wodurch sich im Mittel 1367/4 = 342 W/m² ergeben.
- Da jedoch, wie im Bild dargestellt, ein Teil der Solarstrahlung (ca. 106 W/m²) von Wolken und hellen Teilen der Erdoberfläche zurück ins All reflektiert wird, empfängt die Erde gemittelt über die gesamte Oberfläche ständig eine Strahlungsleistung von **236 W/m²**.
- Diese Energie wird direkt oder über Zwischenstufen, wie z.B. das Pflanzenwachstum, in Wärme umgewandelt.
- Entsprechend der Oberflächentemperatur sendet die Erde ihrerseits von der gesamten Oberfläche zugleich langwelligere infrarote Strahlung mit im Mittel ebenfalls **236 W/m²** in alle Richtungen des kalten Weltraums aus.



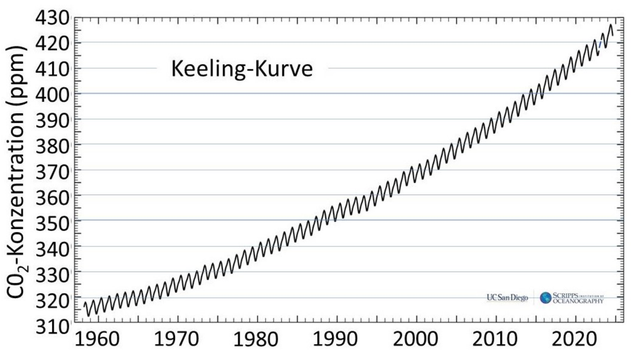
Der natürliche Treibhauseffekt der Atmosphäre

- Wenn es in der Erdatmosphäre nur die einfachen zweiatomigen Gase Stickstoff (N_2) und Sauerstoff (O_2) gäbe, dann stellte sich das Gleichgewicht zwischen der Einstrahlung von der Sonne und der Abstrahlung in den kalten Weltraum bei einer mittleren Temperatur der Erdoberfläche von **-18 °C** ein.
- Die als Spurengase in der Atmosphäre vorhandenen hier gezeigten drei- und mehratomigen Moleküle bewirken jedoch durch eine teilweise Rückstreuung der infraroten Strahlung zur Erde einen natürlichen Treibhauseffekt, der zu der mittleren Temperatur von **+15 °C** führt.
- Ursache hierfür ist die Anregung verschiedener Schwingungszustände in diesen sogenannten Treibhausgasmolekülen durch die von der Erde ausgehende infrarote Strahlung. Der nachfolgende Übergang in den energetischen Grundzustand ist dann gekoppelt mit der Aussendung der gleichen Strahlung in alle Richtungen und damit auch zurück zur Erde.
- Der natürliche Treibhauseffekt war und ist für das Leben auf der Erde von außerordentlicher Bedeutung.



Verstärkter Treibhauseffekt durch CO_2-Zunahme in der Atmosphäre

- Die Abbildung zeigt die seit 1958 auf Hawaii weitab von Verkehr, Industrie und Pflanzen vom amerikanischen Chemiker C. D. Keeling fortdauernd ermittelten CO_2-Konzentrationen in der Luft (Keeling-Kurve). Diese Messergebnisse werden inzwischen auch an anderen Orten auf der Erde bestätigt. Dabei erfolgt die Angabe in ppm (part per million, 100 ppm = 0,01 %).
- Durch das Pflanzenwachstum auf der nördlichen Halbkugel, bei dem die Pflanzen CO_2 aus der Atmosphäre aufnehmen, sinkt im Frühjahr und Sommer die Konzentration bis auf ein Minimum im September, um dann im Herbst und Winter durch das Verrotten von Pflanzenteilen, bei dem CO_2 freigesetzt wird, wieder anzusteigen.
- Den jahreszeitlichen Schwankungen überlagert erfolgte zugleich eine ständig steigende Zunahme der CO_2-Konzentration, die gegenüber dem vorindustriellen Wert von **280 ppm** auf derzeit **424 ppm** gestiegen ist.
- Inzwischen bestätigen weitere Untersuchungen eindeutig, dass es die massenhafte Verbrennung der fossilen Vorräte Kohle, Erdöl und Erdgas ist, die eine schnelle Erhöhung der CO_2-Anteils in der Atmosphäre bewirkt.
- Die erhöhte Konzentration von CO_2 sowie die weiterer Treibhausgase verursacht einen zusätzlichen Treibhauseffekt, der mit einem globalen Anstieg der Erdtemperatur verbunden ist.
- **Denn erst die mit steigender Temperatur zunehmende Strahlungsleistung ermöglicht es, dass die Erde trotz des verstärkten Treibhauseffektes weiterhin die von der Sonne empfangene Energie durch Abstrahlung in den kalten Weltraum loswerden kann.**
- Die Dramatik der Situation ist bisher den meisten Mitbürgern leider nicht bewusst, zumal immer wieder Meinungen gestreut werden, dass die Nutzung der Luft als Deponie für Verbrennungsgase keinen Einfluss auf das Klima haben könne.
- Tatsächlich gibt es aber von Leugnern des menschengemachten Klimawandels kein Argument, das nicht widerlegt werden konnte.



Prinzipieller Unterschied zwischen erneuerbaren Energien und fossilen bzw. atomaren Energien

- Bei Stromerzeugung durch Solarstrahlung, Windenergie oder Wasserkraft wird jeweils ein Teil der Energie natürlich ablaufender Prozesses entnommen.
- Es erfolgt dabei keine Änderung des Strahlungsgleichgewichts der Erde zwischen der solaren Einstrahlung und der Energieabstrahlung in den Weltraum!
- Die beim Verbrennen fossiler Vorräte oder durch Atomenergie freigesetzte Wärme muss dagegen zusätzlich in den Weltraum abgestrahlt werden.
- Wenn z. B. die künftig 2 Milliarden Inder basierend auf Kohle oder der Atomenergie den gleichen Energiekonsum wie gegenwärtig die USA hätten, dann käme es unabhängig vom Treibhauseffekt zu einer Temperaturerhöhung auf dem Subkontinent von **1,8 Grad!**

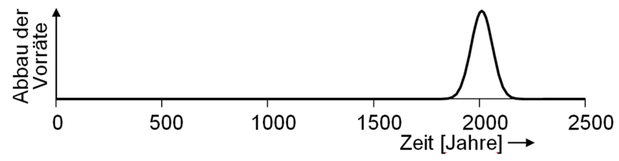
Fortschritte auf dem Weg zu CO_2-freier Energieversorgung

- China ist das Land, das am konsequentesten die Nutzung erneuerbarer Energien vorantreibt.
- Die Solarzellen für die Photovoltaik kommen inzwischen zu 90 % aus China. Im Land selbst wird die Hälfte der weltweiten Solarstromanlagen installiert.
- Ebenso bedeutend ist es aber auch auf dem Gebiet der Windstromanlagen mit u.a. der derzeit größten Off-Shore Windkraftanlage (16 MW, Stromerzeugung 66 Mio. kWh/Jahr!).
- China ist ferner führend bei der für eine sichere Energieversorgung wichtigen Batterietechnik.

Warum rascher Wechsel auf erneuerbare Energien?

1. Die fossilen und atomaren Vorräte auf der Erde sind endlich

- Inzwischen sind immer größere Aufwendungen notwendig für deren Förderung.
- Über größere historische Zeiträume hinweg betrachtet, entspricht die Nutzung von Kohle, Öl und Gas nur dem kurzfristigen Abbrennen eines Streichholzes. Danach ist Schluss!



2. Hohe Kosten für den Import von fossilen Energieträgern

- Kohle, Erdöl und Erdgas sind ungleich verteilt auf der Erde.
- Einige Ölförderländer werden durch diesen Export märchenhaft reich.
- Deutschland zahlt pro Einwohner mehr als 1000 Euro/Jahr für den Import fossiler Energien.
- Arme Länder mit hoher Geburtenrate ohne eigene Exportmöglichkeiten können sich das nicht leisten, soziale Unruhen sowie Migrationsströme sind die Folge.
- Solar- und Windenergie stehen dagegen überall auf der Erde zur Verfügung. Der Aufbau von Anlagen zu ihrer Nutzung böte jungen Leuten Arbeit, wenn es die Menschen und ihre Regierungen dort denn wollten.
- Solar- und Windstromanlagen besitzen gegenüber Kohle- oder Atomkraftwerken den Vorteil, dass sie kein Kühlwasser benötigen, was in vielen südlichen Ländern gar nicht zur Verfügung steht.
- Lokale Energieversorgung mittels erneuerbarer Energien fördert Wohlstand, Stabilität und Sicherheit in den Ländern.

3. Dramatische Klimaänderungen durch Zunahme von Treibhausgasen in der Atmosphäre

Durch die Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas betragen gegenwärtig die CO_2-Emissionen pro Einwohner und Jahr im reichen Katar **38 Tonnen** (**t**), in den USA **15 t**, in Deutschland **8 t,** in China **8 t** und auf der gesamten Erde im Mittel **4,7 t**.

Die erhöhte Treibhausgas-Konzentration führt zum Temperaturanstieg und bewirkt damit:

- Veränderung von Jahreszeiten und Vegetationsdauern,
- Zunahme von Wetterextremen (Dürren, Stürme, Überflutungen),
- Anstieg des Meeresspiegels und Versauerung der Meere,
- Ausbreitung von Parasiten und tropischen Krankheiten,
- Übersteigen der Grenztemperatur für das Wachstum von z.B. Getreide,
- Einschränkung der Möglichkeiten für menschliches Leben, u.a. durch Wüstenbildung.

Äußerst bedrohliche Entwicklungen sind zudem zu erwarten, wenn durch Erwärmung Prozesse angestoßen werden, die wegen des Überschreitens von kritischen Werten, von Kipp-Punkten (tipping points), selbständig weiterlaufen und nicht rückgängig gemacht werden können.

4. Geringe Kosten von Photovoltaik-Strom in südlichen Ländern

- Nur bei den erneuerbaren Energien sind künftig weitere Preisreduktionen möglich.
- Im November 2023 erfolgte südlich von Abu Dhabi die Inbetriebnahme des 20 km² großen Al Dhafra Photovoltaikprojekts mit einer Leistung von 2 GW , dessen chinesische PV-Module bei einer Jahresproduktion von 4700 GWh Elektroenergie Strom zum Preis von **1,22 Cent/kWh** liefern.
- Im Sonnengürtel der Erde sind künftig Solarstrompreise von unterhalb von **1 Cent/kWh**, in europäischen Mittelmeerländern von unter **2 Cent/kWh** und in Mitteleuropa von unter **3 Cent/kWh** zu erwarten.
- Wegen der niedrigen Stromkosten in äquatornahen Ländern sind künftig einige der hiesigen energieintensiven Industrien nicht mehr konkurrenzfähig, selbst wenn sie noch preisgünstiges russisches Erdgas zur Verfügung hätten.
- Energieaufwendige Produktionen, wie z.B. die Roheisengewinnung, die Aluminiumschmelze und die Produktion von Stickstoffdünger, wird man in südliche Länder verlagern.

Speicherung erneuerbarer Energien

- Speichertechnik dient zum Ausgleich des variierenden Angebots von Solar- und Windstrom.
- Hierfür stehen mit ständig besseren Leistungen elektrische Speicher (u.a. Batterien), chemische Speicher (Wasserstoff H_2 oder Methan CH_4) sowie thermische Speicher (u.a. H_2O) zur Verfügung.
- Biogas ist speicherbar und ermöglicht damit u.a. eine bevorzugte Verstromung in der Nacht. Es kann außerdem durch Methanisierung in Biomethan umgewandelt werden zur saisonalen Speicherung.

Sackgasse Atomstromerzeugung

- In Atomkraftwerken dient die durch stimulierten radioaktiven Zerfall erzeugte Wärme dem energetisch ineffektiven Antrieb von Elektrogeneratoren mittels Wasserdampfturbinen.
- 1 Gramm Natururan liefert dabei 45 kWh Elektroenergie.
- In Europa gibt es keinen Uranabbau, damit verbundene irreversible Umweltzerstörungen sollen auf anderen Kontinenten geschehen.
- Ohne massive staatliche Finanzierung rentiert sich für private Investoren nirgends auf der Welt der Bau von Atomkraftwerken. Damit produzierte Elektroenergie ist viel zu teuer.
- Atomkraftwerke sind nicht versicherbar!
- Wohin mit dem hochradioaktiven Abfall? Es gibt dafür kein dauerhaft sicheres Endlager.
- Der Atomstromanteil an der Weltstromerzeugung ist seit einem maximalen Anteil von 17,5 % im Jahr 1996 kontinuierlich auf 9,2 % im Jahr 2022 gefallen.

Fazit

- Die technischen Voraussetzungen für eine dauerhafte, langfristig kostengünstige auf erneuerbare Energien basierende Energieversorgung stehen bereit. Dabei ist eine breite Eigentumsstreuung möglich, u.a. durch die Beteiligung an Energiegenossenschaften.
- Für die Realisierung kommt es ausschließlich auf den politischen Willen in der Gesellschaft an. Hierfür tragen jedoch nicht nur die Politiker Verantwortung sondern jeder Einzelne.

Dr. Peter Müller, Freundeskreis Zliuuini, Schlieben, 2024

Zusatzinformationen zur gleichzeitigen Darstellung des Klimaproblems und der Vorteile erneuerbarer Energien auf einer Posterfläche

Zu **Das Strahlungsgleichgewicht der Erde**

Das Strahlungsgleichgewicht der Erde basiert auf der Tatsache, dass jeder Körper oberhalb der Temperatur des absoluten Nullpunkts (-273 °C) Energie in Form eines Spektrums elektromagnetischer Strahlung aussendet. Diese Energieabstrahlung ist auch die Ursache dafür, dass in einer windstillen, klaren Winternacht das Wasser einer Pfütze gefriert. Mit zunehmender Temperatur verschiebt sich das Maximum dieser Strahlung zu immer kürzeren Wellenlängen (beginnende Rotglut oberhalb von 525 °C), und zugleich erfolgt ein starker Anstieg der Strahlungsleistung. Diese Erhöhung der Energieabstrahlung mit steigender Temperatur wird durch das Stefan-Boltzmannsche-Strahlungsgesetz beschrieben. Für die Strahlungsleistung P einer Fläche A gilt im Falle eines realen Materials

$\mathbf{P = \varepsilon\sigma A T^4}$.

Dabei beschreibt der Wert ε das Emissionsvermögen (stets <1) des betreffenden Stoffes. Der Proportionalitätsfaktor σ ist eine Naturkonstante und wird Stefan-Boltzmann-Konstante genannt. Das T bezeichnet die absolute Temperatur mit der Maßangabe K (Kelvin), für die -273 °C der Nullpunkt ist. Die Strahlungsleistung nimmt proportional der vierten Potenz der absoluten Temperatur zu (T^4-Gesetz)!

Bei der Angabe von 236 Watt pro Quadratmeter handelt es sich um einen Mittelwert. Am Äquator ist die Einstrahlungsintensität höher und in Nähe der Pole geringer. Darüber hinaus gibt es lokal Unterschiede zwischen Einstrahlung von der Sonne und Abstrahlung in den Weltraum. So wird ein Teil der in der Karibik aufgenommenen Solarenergie nicht zurückgestrahlt, sondern durch den Golfstrom in Richtung Europa transportiert, wodurch in Westeuropa die Abstrahlung etwas höher als die Einstrahlung ist.

Zu **Der natürliche Treibhauseffekt der Atmosphäre**

Der Einfluss bestimmter Spurengase auf das Abstrahlvermögen der Erde ist bereits im 19. Jahrhundert entdeckt worden. Im Jahr 1856 beschrieb die Amerikanerin Eunice Foote Versuche zur Wärmeabsorption verschiedener Gase, bei denen sich zeigte, dass Kohlendioxid (CO_2) und Wasserdampf (H_2O) die Strahlung absorbieren. Sie folgerte daraus, dass ein größerer Anteil von CO_2 in der Atmosphäre zwangsläufig zu einer höheren Temperatur auf der Erde führen würde. Der Ire John Tyndall beobachtete 1859, dass Sauerstoff (O_2) und Stickstoff (N_2) infrarote Strahlung ungehindert passieren ließen, während Wasserdampf und CO_2 die Wärme absorbierten. Aufgrund dieses Resultats schrieb er: „Wasserdampf ist eine Decke, welche das Pflanzenleben Englands nötiger braucht als die Menschen Kleidung. Wenn man diesen Dampf nur für eine einzige Sommernacht aus der Lufthülle entfernte, würde die Sonne am Morgen über einer Insel im eisernen Griff des Frostes aufgehen“. Basierend auf umfangreichen Messungen und Berechnungen wies der Schwede Svante Arrhenius 1896 in einer Publikation darauf hin, dass die mit den industriellen Aktivitäten verbundene Anreicherung von CO_2 in der Lufthülle zu einem Anstieg der Temperatur auf der Erde führt.

Zu **Verstärkter Treibhauseffekt durch CO_2-Zunahme in der Atmosphäre**

Auf Hawaii werden die Messungen von den Nachfolgern von C. D. Keeling kontinuierlich fortgesetzt. In Europa ist in Gebirgsmessstellen inzwischen der gleiche zeitliche Verlauf der CO_2-Konzentration gemessen worden wie auf Hawaii, wobei die jahreszeitlichen Schwankungen teilweise noch größer waren. Messstellen am Südpol zeigten dagegen keinen Einfluss von Jahreszeiten. Hier gab und gibt es wegen des Fehlens von Pflanzenwuchs auf der südlichen Halbkugel nur eine nahezu glatte CO_2-Kurve mit dem bekannten Anstieg. Der Nachweis der Variation der CO_2-Konzentration durch das Wachstum und das Verrotten von Pflanzen sowie die Erkenntnis der ständigen Zunahme dieser Konzentration waren von außerordentlicher Bedeutung für unsere Vorstellungen über die Umwelt. Mit dem Link
https://keelingcurve.ucsd.edu/
können sowohl der aktuelle Wert der CO_2-Konzentration wie auch der zeitliche Verlauf über Zeitspannen von einem Jahr bis 800.000 Jahre aufgerufen werden.

Zu **Prinzipieller Unterschied zwischen erneuerbaren Energien und fossilen bzw. atomaren Energien**

Bei der Stromerzeugung durch Solarstrahlung, Windenergie oder Wasserkraft wird jeweils ein Teil der Energie natürlich ablaufender Prozesse entnommen. Die Stromerzeugung aus Wind verringert die kinetische Energie des Windes, die Stromabgabe von Solarzellen reduziert vor Ort die Umwandlung der Solarstrahlung in Wärme, und Wasserkraftwerke nutzen einen Teil der potentiellen Energie des Wassers.

Zu **Fortschritte auf dem Weg zu CO_2-freier Energieversorgung**

Da man Photovoltaik und Windenergie als das Öl der Zukunft ansieht, hat China in den letzten 20 Jahren aus industriepolitischen Gründen die Produktion von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien in ganz besonderem Maße gefördert. Ein weiterer Grund dafür ist die starke Bedrohung des Landes durch den Klimawandel. China war mit 1,4 Milliarden Einwohnern im Jahr 2011 Heimat für 20 % der Erdbewohner mit aber nur 10 % der landwirtschaftlichen Fläche auf der Erde! China ist aktuell die einzige Nation, die tatsächlich eine Klimaschutz-Technologierevolution anführt.

Ein Beitrag in der September-Ausgabe der Fachzeitschrift "Sonnenenergie" bestätigt die im Poster erfolgte Hervorhebung der besonderen Aktivitäten Chinas. Danach wäre China bei der Photovoltaik 10 Jahre voraus. Es sei das einzige Land, das sich nicht geirrt habe. Mit staatlicher Unterstützung (z.T. nur Kreditsicherungsgarantien) haben sich chinesische Industriegiganten entwickelt, die sich untereinander einen erbitterten Konkurrenzkampf liefern und damit die Qualität immer weiter nach oben treiben und die Preise immer weiter nach unten drücken. Manche dieser Firmen werben bereits damit, dass sie ausschließlich erneuerbare Energien für die Herstellung ihrer Produkte nutzen (carbon-free production). Bei den Vorprodukten Silizium-Kristalle und Wafer dominiert China die weltweite Produktion sogar mit einem Anteil von 96 %. Von großer Bedeutung für diese Entwicklung war das im Jahr 2000 in Deutschland eingeführte Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), das in modifizierter Form von China und von etwa 70 weiteren Ländern übernommen worden ist und sich dabei als weltweit erfolgreichstes Instrument zur Förderung erneuerbarer Energien erwiesen hat.

Zu **1. Die fossilen und atomaren Vorräte auf der Erde sind endlich**

In der DDR wären infolge der hohen Braunkohleförderung von zeitweise bis zu 20 Tonnen (400 Zentner!) pro Einwohner und Jahr die Lagerstätten in geeigneter Tiefe und mit ausreichender Qualität in wenigen Jahrzehnten erschöpft gewesen. Nach Einschätzung von hochrangigen regierungsnahen Experten mit Einblick in die Sachlage hätte in den 1990-er Jahren nur noch ein einziges Braunkohle-Großkraftwerk gebaut werden können. Die verbleibende Braunkohle hätte für die chemische Industrie reserviert werden müssen. Nicht nur die Stromerzeugung sondern auch die Wärmeversorgung sollte auf Atomenergie umgestellt werden, von der man wusste, dass sie viel teurer sein werde. Zur Gewinnung einfacher Kesselkohle (Kraftwerkskohle) war in unserer Umgebung geplant, die Dörfer Buchhain, Prießen und Frankenhain abzubaggern.

Zu **2. Hohe Kosten für den Import von fossilen Energieträgern**

Die ökonomische Situation in vielen Ländern war und ist außerordentlich abhängig von den Weltmarktpreisen für Erdöl und Erdgas. Bis 1972 lag der Preis für Erdöl des OPEC-Kartells unter **2** US Dollar pro Barrel, d.h. pro 159 Liter, dem Volumen eines Barrels. Bis 1980 erfolgte ein Anstieg auf **35** Dollar pro Barrel. Nach vorübergehenden Spitzen liegt der Preis von Erdöl derzeit bei **83** Dollar pro Barrel. Nach Aufruf des folgenden Links, kann mit dem Cursor auf der gezeigten Kurve der Erdölpreis zu jedem Zeitpunkt abgefragt werden.

https://de.statista.com/statistik/daten/studie/810/umfrage/rohoelpreisentwicklung-opec-seit-1960/

Die Anstiege des Erdölpreises bewirkten dramatische Änderungen in den Lebensbedingungen vieler Länder verbunden mit politischer Instabilität. Durch die Zunahme des Preises und die Begrenzung des Lieferumfangs von Erdöl aus der Sowjetunion war die DDR Anfang der 1980-er Jahre gezwungen, inzwischen installierte moderne ölbasierte Prozessheizungs-, Gebäudeheizungs- und Trocknungs-anlagen mit hohem Aufwand wieder auf umweltschädliche Braunkohle umzustellen.

Zu **3. Dramatische Klimaänderungen durch Zunahme von Treibhausgasen in der Atmosphäre**

Beim Klimasystem der Erde ist es möglich, dass nach Erreichen von sogenannten Kipp-Punkten sich selbst verstärkende Prozesse ausgelöst werden, die zu einer dramatischen, nicht aufhaltbaren Entwicklung führen. Zu den Kipp-Elementen im Erdsystem zählen u.a. das Schmelzen des arktischen Meereises, das Schmelzen des grönländischen Eisschilds, die Freisetzung von Methan und Kohlendioxid durch tauende Permafrost-Gebiete, das Austrocknen des amazonischen Regenwalds und der Wegfall der Kühlwirkung von Stratokumuluswolken im Falle von deren Verschwinden. Die durch Treibhausgase verursachten bedrohlichen Klimaänderungen bedingen, dass die Verbrennung von Kohle, Öl und Gas gestoppt werden muss lange vor der Erschöpfung der Lagerstätten.

Zu **4. Geringe Kosten von Photovoltaik-Strom in südlichen Ländern**

Die Kosten für Solarstrom sind kontinuierlich gefallen durch die Steigerung des Wirkungsgrades der Zellen und Module, durch die Erhöhung der Produktionsmengen (Skaleneffekt) sowie durch die steigende Langzeitstabilität der Komponenten.

Die energetische Rückzahlzeit von Photovoltaikanlagen beträgt derzeit ca. 0,5 Jahre in südlichen Ländern und 1,5 Jahre in Mitteleuropa. Für ausgediente PV-Module gibt es in der EU Recycling-Firmen. In China hat der Konzern Trinasolar aus recyceltem Material neue große PV-Module (645 W_p) hergestellt. Der Wirkungsgrad 20,7 % dieser Module liegt nur etwa 15 Prozent unter den gegenwärtigen Spitzen-wirkungsgraden und liegt höher als die Spitzenwerte von vor weniger als 20 Jahren. Bei der Windkraft wird der Energiebedarf für Herstellung, Betrieb und Entsorgung der Anlagen je nach Windverhältnissen zwischen 5 und 8 Monaten wieder eingespielt.

Zu **Speicherung erneuerbarer Energien**

Südliche Länder sitzen bezüglich der Photovoltaik praktisch auf einer Goldader. Sie müssen den Solarstrom nur vom Tag bis zur Nacht speichern, wofür Batterietechnik ausreichend ist. Neben Lithiumbatterien werden dafür künftig auch Natriumbatterien und andere mit preisgünstigen Rohstoffen hergestellte Batterien zur Verfügung stehen.

In den nördlicheren Ländern erfordert dagegen die sichere Energieversorgung zusätzlich eine saisonale (chemische) Energiespeicherung für Dunkelflaute-Zeiten in den Wintermonaten. Diese chemische Energiespeicherung wird künftig ermöglicht durch die Elektrolyse von Wasser zu Wasserstoff (H_2) und Sauerstoff (O_2). Neben H_2 selbst bietet sich auch durch eine Reaktion von H_2 und CO_2 produziertes Methan (CH_4) als Energiespeicher an. Für dieses Methan (künstliches Erdgas) stehen ein umfangreiches Leitungsnetz und ausgedehnte unterirdische Erdgasspeicher mit sehr großem Speichervolumen zur Verfügung. Die Rückverstromung des Methans kann jederzeit und überall in schnell regelbaren, hocheffizienten GuD-Kraftwerken mit Wirkungsgraden über 60 % erfolgen. Ein weiterer Rohstoff für diese Kraftwerke ist durch Methanisierung von Biogas hergestelltes Biomethan. Bei der Methanisierung wird das im Biogas enthaltene CO_2 durch Zugabe von Wasserstoff ebenfalls in Methan umgewandelt.

Zu **Sackgasse Atomstromerzeugung**

Strom aus Atomkraftwerken ist zu teuer. Atomkraftwerke werden jedoch ohne Rücksicht auf die Kosten betrieben, wenn Interesse besteht am atomaren Material aus den Kraftwerken, z.B. an Plutonium, zur Herstellung oder der Modernisierung von Atomwaffen bzw. atomaren Massenvernichtungsmitteln oder wenn es auf eine (zivil finanzierte) Knowhow-Gewinnung für den Bau von neuen militärisch genutzten Reaktoren, z.B. in Atom-U-Booten, ankommt. Die Atomkraftwerke Olkiluoto (Finnland), Hinkley Point (England) und Flamanville (Frankreich) sind Beispiele für enorme Bauzeitverlängerung und eine Vervielfachung der Kosten.

Zu **Fazit**

"Die Mehrkosten für erneuerbare Energien von heute sind gesicherte Energie, vermiedene Umweltschäden und niedrige Energiekosten von morgen" (Hermann Scheer).