

Welche Rolle können die einzelnen Energieträger bei der Abwehr der Klimagefahren spielen?

von Eike Roth

e-mail Eike.Roth@energie-fakten.de

Hier die Fakten - vereinfachte Kurzfassung

Notwendigkeiten

Die große Mehrheit der Experten hält es für erforderlich, zur Abwehr drohender Klimagefahren die menschengemachten Freisetzungen von Kohlendioxid (CO₂) weltweit bis 2005 um 20 %, bis 2020 um 50 % und längerfristig um 66 % zu reduzieren (siehe Langfassung). Die Industrieländer werden den größten Beitrag hierzu leisten müssen.

Auswirkungen auf das Energiesystem

CO₂ entsteht vor allem bei der Verbrennung fossiler Energieträger. Diese sind mit einem Anteil von rund 88 % das Rückgrat der heutigen Energieversorgung der Menschheit. Um die CO₂-Freisetzungen zu reduzieren, muss die Verbrennung der fossilen Energieträger im selben Ausmaß reduziert werden.

Erschwernis

Parallel zu dieser Reduktionsanforderung wird der weltweite

Energiebedarf auf jeden Fall noch stark zunehmen. Bevölkerungswachstum und der Kampf gegen die weitverbreitete Armut mit Hunger und Elend werden ihn - trotz aller Sparsbemühungen - mindestens noch auf das Doppelte, vielleicht sogar auf das Dreifache, anwachsen lassen.

Konsequenz

Innerhalb von 50 bis 100 Jahren darf also ein wesentlich gestiegener Bedarf nur noch zu einem relativ kleinen Rest durch fossile Energieträger gedeckt werden. Die dazwischen klaffende Lücke - und das ist ganz grob etwa doppelt so viel wie unser gesamter heutiger Energieverbrauch - muss irgendwie CO₂-frei beigesteuert werden. Zu untersuchen ist also, welche Energieformen hierzu wie viel beitragen können.

CO₂-freie Energieformen

Im wesentlichen gibt es nur zwei CO₂-freie Energieformen: Die Sonnenenergie in ihren

verschiedensten Erscheinungsformen und die Kernenergie in Form der Kernspaltung und der Kernfusion. Die Sonne strahlt insgesamt ungeheuer viel Energie auf die Erde ein. Aber diese Energie ist sehr wenig konzentriert. Zu ihrer Nutzung muss sie erst gesammelt bzw. aufkonzentriert werden, außerdem muss sie in Nutzenergie (Licht, Wärme, Arbeitsenergie etc.) umgewandelt werden. Das Sammeln erfordert große Apparate, die viel Geld kosten und in deren Herstellung vorab relativ viel Energie hineingesteckt werden muss. Das erschwert die Nutzung der Sonnenenergie.

Kernspaltungsenergie ist heute eine ausgereifte (aber durchaus noch weiterentwickelbare) Technik, die Strom und Wärme in großen Mengen sicher, umweltfreundlich und konkurrenzfähig zur Verfügung stellen kann. Fusionsenergie kann in fernerer Zukunft vielleicht einen noch größeren und noch besseren Beitrag leisten,

doch ist das beim heutigen Stand der Technik nicht zuverlässig absehbar.

Bewertung

Wie in der Langfassung gezeigt wird, kann Sonnenenergie nach heutigem Wissensstand die Lücke zwischen dem zu erwartenden Energieverbrauch und dem noch zulässigen Verbrauch fossiler Energieträger sicher nicht rechtzeitig schliessen.

Hauptursachen sind die Kosten und die relativ schlechte Energiebilanz. Größere Beiträge sind nur von jenen Formen zu erwarten, bei denen uns die Natur den Sammelprozess kostenlos liefert, wie z. B. bei der Wasserkraft. Alle Sonnenenergiebeiträge zusammen werden aber nicht ausreichen. Die Kernenergie kann demgegenüber grundsätzlich jeden Beitrag liefern, den wir von ihr

haben wollen. Heute tragen Sonnenenergie (im Wesentlichen Wasserkraft) und Kernenergie (ausschließlich Spaltungsenergie) je etwa 6 % zur Energieversorgung bei (weltweit). In Zukunft werden sie sehr viel mehr leisten müssen. Es ist zu erwarten, dass der Beitrag der Kernenergie in der überschaubaren Zukunft überwiegen wird. ■

Welche Rolle können die einzelnen Energieträger bei der Abwehr der Klimagefahren spielen?

von Eike Roth

e-mail Eike.Roth@energie-fakten.de

Hier die Fakten - Langfassung

1. Klimagefahren und Vorsorgemaßnahmen

Zur Beantwortung der im Titel gestellten Frage ist vorab zu klären, welche unserer menschlichen Tätigkeiten das Klima beeinflussen und in welchem Ausmaß diese Störfaktoren reduziert werden müssen, um das Klimarisiko hinreichend klein zu halten. Die Klimabeeinflussung ist kompliziert und in weiten Bereichen noch nicht voll verstanden. Aber es besteht der begründete Verdacht, dass die menschengemachte Freisetzung von Kohlendioxid (CO₂) und von anderen Spurengasen zu einer globalen Erwärmung mit den viel diskutierten Folgen, wie Meeresspiegelanstieg, Ausbreitung der Wüsten, verstärkte Extremwetterlagen etc., führt (siehe z.B. <http://www.buwal.ch/klima/d/index.htm>).

Die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre ist seit Beginn der Industrialisierung bereits um mehr als 25 % gestiegen und sie wächst ständig weiter. Andere Spurengase haben

zum Teil eine spezifisch noch wesentlich stärkere Treibhauswirkung, werden aber nur in kleineren Mengen freigesetzt. Insgesamt ist der Klimabeitrag aller anderen Spurengase zusammen etwa nochmals so groß, wie der des CO₂ alleine.

Um die möglichen Auswirkungen auf das Klima in vermutlich noch tolerablen Grenzen zu halten, haben Klimaexperten zwei Grenzwerte vorgegeben, die nicht überschritten werden sollten:

- Für die Zunahme der (weltweit gemittelten, bodennahen) Lufttemperatur einen Gradienten von 0,1 °C pro Dekade und
- für die sich insgesamt langfristig ergebende Erwärmung einen Maximalwert von 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Wert.

Um diese beiden Grenzwerte einzuhalten (der erste wird real allerdings seit etwa 1970 überschritten, doch ist der menschliche Anteil an dieser Klimaänderung umstritten), fordern die meisten Experten,

dass die menschengemachten CO₂-Freisetzungen (und die der anderen Spurengase) weltweit

- bis 2005 um 20 %
- bis 2020 um 50 % und
- längerfristig um 66 %

gegenüber dem Basisjahr 1990 reduziert werden. Nach Lage der Dinge werden die relativ wohlhabenden Industrieländer den Löwenanteil dieser Reduzierung tragen müssen. Sie müssen langfristig ihre CO₂-Freisetzungen wahrscheinlich um 90 % senken, wenn das Ziel insgesamt erreicht werden soll.

In Deutschland hat die Industrie im Zuge einer freiwilligen Vereinbarung mit der früheren Bundesregierung zugesagt, ihren CO₂-Ausstoß bis 2005 um 25 % zu senken. Selbst wenn dies - im Wesentlichen als Folge der wirtschaftlichen Veränderungen in den neuen Bundesländern nach der Wende - erreicht werden sollte, wäre hiervon nur etwa die Hälfte der gesamten deutschen CO₂-Freisetzung betrof-

LANGFASSUNG

fen. Etwa ein Viertel entfällt auf die Haushalte und Kleinverbraucher. Hier müssen wir froh sein, wenn durch Sparbemühungen ein weiterer Anstieg vermieden werden kann. Das letzte Viertel schließlich entfällt auf den Verkehr, bei dem allgemein noch mit einer Zunahme der CO₂-Freisetzungen gerechnet wird. Deutschland wird daher den weltweiten Vorgabewert bis 2005 (-20 %) kaum und bis 2020 (-50 %) sicher nicht einhalten, von einem Erreichen der notwendigen überdurchschnittlichen Reduzierung in den Industrieländern kann keine Rede sein.

2. Beitrag der Energieversorgung zur Freisetzung klimawirksamer Spurengase

Hauptquelle der anthropogenen CO₂-Freisetzungen ist die Energieversorgung. Bei der Verbrennung fossiler Energieträger - die rund 88 % zur heutigen Energieversorgung beitragen - entsteht zwangsweise CO₂, für das wir - jedenfalls bisher - keinen gangbaren Weg der Entsorgung kennen, wir entlassen es vielmehr vollständig in die Atmosphäre. Dort droht es dann das weltweite Klima zu verändern. Um die CO₂-Freisetzungen zu reduzieren, muss die Verbrennung der fossilen Energieträger im selben Ausmaß reduziert werden.

Ein zweites wichtiges, energierelevantes, klimawirksames Spurengas ist das Methan (CH₄). Pro Molekül ist es sogar um den Faktor 30 stärker wirksam als das CO₂ (kontinuier-

liche Freisetzung unterstellt). CH₄ wird insbesondere bei der Steinkohlegewinnung als unerwünschtes Beiprodukt ("schlagende Wetter") und im Erdgasbereich freigesetzt (Erdgas ist im Wesentlichen reines CH₄, durch Lecks bei Gewinnung, Transport, Speicherung und Verbrauch kann es unverbrannt in die Atmosphäre gelangen).

Bei der Verbrennung setzt Erdgas - auf die gleiche Energiemenge bezogen - nur etwa halb so viel CO₂ frei wie Kohle. Dieser Vorteil wird jedoch durch die genannte wesentlich stärkere Treibhauswirkung des CH₄ bei 3 % unverbrannten Gasverlusten aufgehoben, bei größeren Verlusten ist Erdgas sogar klimaschädlicher als Kohle.

3. Zukünftiger Energiebedarf

Die Menschheit steckt doppelt in einer Krise: Erstens ist der Wohlstand sehr ungleich verteilt und die breiten Menschenmassen in den Entwicklungsländern, die in Hunger und Elend leben müssen, werden sich das auf Dauer nicht gefallen lassen. Wenn sich die Welt auch nur halbwegs in Frieden entwickeln soll, müssen die Wohlstandsunterschiede deutlich abgebaut werden (dass das Armutsproblem durch eventuelle Klimaänderungen nochmals verschärft wird, sei nur der Vollständigkeit halber hinzugefügt).

Und zweitens ist das Wachstum der Weltbevölkerung nach wie vor ungebremsst. Heute werden täglich 450 000 Men-

schen geboren mit klar wachsender Tendenz. Ihre mittlere Lebenserwartung beträgt rund 59 Jahre, mit ebenfalls klar wachsender Tendenz. Nehmen wir an, dass sich die Geburtenrate bei 550.000 pro Tag stabilisieren wird und die mittlere Lebenserwartung noch auf 75 Jahre wachsen wird. Dann werden 550.000 x 365 x 75 = 15 Milliarden Menschen gleichzeitig auf der Erde leben. Heute sind es "nur" 6 Milliarden. Alle neu hinzukommenden Menschen werden aber neue Energieverbraucher sein.

Bevölkerungswachstum und Kampf gegen die weitverbreitete Armut werden den Weltenergiebedarf noch drastisch ansteigen lassen. Sparbemühungen sind unerlässlich und sie werden diesen Anstieg bremsen müssen, sie werden aber mit Sicherheit nicht ausreichen, das Wachsen rechtzeitig aufzuhalten (siehe auch Beitrag: [Wie viel Energie können wir einsparen?](#)). Trotz aller Sparbemühungen werden wir im Laufe dieses Jahrhunderts wohl mindestens noch mit einem Anstieg auf das Doppelte, vielleicht sogar auf das Dreifache, rechnen müssen.

4. Folgen für das Energiesystem der Zukunft

Wenn der Energiebedarf noch auf das Doppelte bis Dreifache steigt und nur mehr etwa ein Drittel des heutigen Energieverbrauches durch fossile Energieträger gedeckt werden darf (langfristige Reduzierung um 66 %, siehe oben), so

LANGFASSUNG

muss dann etwa der doppelte heutige Weltenergieverbrauch aus CO₂-freien Energieformen zur Verfügung gestellt werden. Die im Titel dieses Beitrages gestellte Frage kann also wie folgt präzisiert werden: "Mit welchen Energieformen kann zukünftig (in etwa 50 bis 100 Jahren) doppelt so viel Energie CO₂-frei zur Verfügung gestellt werden, wie der heutige Weltenergieverbrauch insgesamt ausmacht?"

5. CO₂-freie Energieformen

Außer den wahrscheinlich auf Dauer klein bleibenden Beiträgen der Erdwärme (außer Umgebungswärme, das ist Sonnenenergie) und der Gezeitenenergie kennen wir nur noch zwei weitere CO₂-freie Energieformen: Sonnenenergie und Kernenergie. Sonnenenergie gibt es in den verschiedensten Erscheinungsformen, von Wasserkraft über Wind bis zur solaren Strahlung, Kernenergie gibt es als Spaltungs- und als Fusionsenergie. Die Frage ist also, mit welchem Mix an Sonnenenergieformen und an Kernenergie die oben dargestellte Lücke zwischen voraussichtlichem Weltenergiebedarf und noch erlaubtem Verbrauch von fossilen Energien am besten geschlossen werden kann.

5.1 Fotovoltaik

Bei Sonnenenergie denken die meisten Menschen zunächst an Fotovoltaik. Diese ist erstens eine faszinierende Technik, weil sie ohne bewegte Teile und ohne hohe Temperaturen Son-

nenlicht direkt in elektrischen Strom umwandeln kann, und zweitens hat sie den Vorteil, praktisch überall eingesetzt werden zu können (natürlich je nach Klimazone unterschiedlich gut und natürlich nur, wenn die Sonne auch tatsächlich scheint). Dieser Vorteil resultiert aus der direkten Ausnutzung der Sonnenstrahlung ohne weiteren, zwischengeschalteten Prozess. Dafür muss aber die komplette Sammlung (Aufkonzentration) der wenig konzentrierten Sonnenenergie vom Menschen gemacht werden, und das ist eben aufwendig.

Die Investitionskosten für Fotovoltaik betragen heute (kostenlose Zurverfügungstellung der Fläche unterstellt) etwa 15.000 DM pro installiertes kW Spitzenleistung (das ist die bei maximaler Sonneneinstrahlung mögliche Leistung). Nimmt man für Zinsen und Tilgung 10 % pro Jahr an, betragen die Jahreskosten 1.500 DM pro kW. Unter deutschen Klimaverhältnissen können damit im Mittel etwa 750 kWh Strom pro Jahr erzeugt werden (in den Tropen bis zu einem Faktor 3 besser). Das ergibt spezifische Kapitalkosten von ca. 2 DM pro kWh. Da für Zeiten ohne Sonneneinstrahlung andere Kraftwerke vorgehalten werden müssen, sind diese Kosten mit den Brennstoffkosten fossiler oder nuklearer Kraftwerke zu vergleichen. Die liegen unter 5 Pfennig pro kWh. Sonnenenergie (Fotovoltaik) ist also um weit mehr als den Faktor 10 teurer.

Bei den Kosten für Fotovoltaikstrom sind noch drei weitere Aspekte zu beachten:

- Rund 50 % der Kosten entfallen auf die eigentlichen Solarzellen. Hier wird noch mit einem großen Reduktionspotential gerechnet. Die restlichen 50 % beziehen sich aber auf Aufständigung, Kabel, Wechselrichter und dergleichen, alles konventionelle Technik, die zwar sicher noch optimiert werden kann, aber Sprünge sind hier sicher nicht zu erwarten. Fotovoltaik wird daher auch in Zukunft teuer bleiben.
- Bei der Fotovoltaik ist die Leistung eines Kraftwerkes proportional zu seiner Fläche. Ein doppelt so großes Kraftwerk ist daher auch (fast) doppelt so teuer. Deshalb kann man bei der Fotovoltaik die spezifischen Stromkosten nicht durch Vergrößerung der Anlage reduzieren. Ganz anders ist das bei fossilen Kraftwerken und bei Kernkraftwerken: Bei diesen wächst im Prinzip das Volumen proportional mit der Leistung, sodass große Anlagen entsprechend billiger Strom produzieren können. Kernenergie ist an sich eine teure Energieform, sie wird nur über sehr große Anlagen wirtschaftlich. Der Fotovoltaik ist dieser Ausweg leider versperrt.
- Die gemachten Kostenanfragen für Fotovoltaikstrom gelten nur bis zu einem Anteil am Gesamtstromaufkommen von ca. 15 %. Darüber

LANGFASSUNG

hinaus müssten zum Ausgleich der schwankenden Sonnenverfügbarkeit Energiespeicher installiert werden, für die es noch keine geeignete Technik gibt, die auf jeden Fall Geld kosten und die zusätzlich den Wirkungsgrad und die Energiebilanz (siehe gleich) verschlechtern.

Unabhängig von den Kosten ist noch ein weiterer Aspekt bei der Fotovoltaik wichtig: Die Energiebilanz. Die relativ sehr großen Geräte kosten nicht nur viel Geld, sondern für ihre Herstellung werden auch große Materialmengen gebraucht und Energiemengen verbraucht. Diese vorab verbrauchte Energie muss zuerst vom Kraftwerk "zurückgezahlt" werden, bevor es positive Energiebeträge dem Verbraucher zur Verfügung stellen kann. Baut man Fotovoltaik zu schnell aus, muss laufend mehr Energie für den Bau der neuen Kraftwerke aufgewendet werden, als die schon fertiggestellten Kraftwerke aus der Sonne erzeugen. Das ist kein theoretischer Fall, sondern entspricht seit über 15 Jahren der deutschen Praxis. In der ganzen Zeit hat die Fotovoltaik keine einzige zusätzliche kWh Energie zur Verfügung gestellt (und damit auch kein einziges kg CO₂ erspart), sondern für ihren Ausbau wurden laufend zusätzliche Energiebeträge aus anderen Kraftwerken benötigt (und zusätzliches CO₂ freigesetzt). Das macht für Forschungszwecke Sinn, Forschung kostet Geld und sie darf auch

Energie kosten, aber als Mittel zur Bekämpfung drohender Klimagefahren ist es ungeeignet. Solange dieser Engpass in der Energiebilanz nicht durch technischen Fortschritt überwunden ist, kann Fotovoltaik energetisch sinnvoll nur sehr langsam ausgebaut werden. Zur Abwehr drohender Klimagefahren wird sie höchstens in recht ferner Zukunft einen nennenswerten Beitrag leisten können (für eine eventuelle Solar-Wasserstoff-Wirtschaft gilt das noch verstärkt, weil diese durch die Verluste bei der Umwandlung in Wasserstoff und zurück nochmals etwa um den Faktor 2 schlechter ist; siehe auch Beitrag: [Wie sind die Aussichten einer solaren Wasserstoffwirtschaft?](#)).

5.2 Wasserkraft

Wasserkraft ist bis zu einem gewissen Grad das genaue Gegenteil von Fotovoltaik. Bei ihr wird die Sonnenenergie durch einen natürlich ablaufenden Prozess vorkonzentriert: Die Sonne verdunstet das Wasser auf einer sehr großen Fläche, dieses fällt dann als Regen wieder auf einer großen Fläche herunter, fließt dann aber in Bächen und Flüssen zusammen und wo zusätzlich auch noch die geeignete Geländeform vorhanden ist, kann Wasserkraft sehr effektiv, wirtschaftlich und mit günstiger Energiebilanz genutzt werden. Der Preis, den wir für diesen natürlichen Konzentrationsprozess zu bezahlen haben, besteht darin, dass Wasserkraft

nicht mehr überall, sondern nur an wenigen, speziellen Orten einsetzbar ist.

In Deutschland ist die Wasserkraft weitgehend ausgebaut, weltweit hat sie aber noch ein erhebliches Potential. Allerdings ist Wasserkraft weder umweltneutral noch risikolos. Wir werden zwischen den Risiken der (großmaßstäblichen) Wasserkraft und ihrem Beitrag zur Verringerung der Klimarisiken zu wählen haben. Heute deckt Wasserkraft etwa 6 % der Weltenergieversorgung. Die Schätzungen für morgen gehen stark auseinander, aber bis gegen Ende dieses Jahrhunderts könnte ein Ausbau etwa um den Faktor 4 vielleicht realistisch sein.

5.3 Windenergie

Windenergie steht irgendwo in der Mitte zwischen Fotovoltaik und Wasserkraft. Auch bei ihr findet eine gewisse natürliche Vorkonzentration statt. Sie kann daher nicht überall eingesetzt werden. Wo der Wind aber ausreichend bläst, ist sie wirtschaftlich und auch energiebilanzmäßig relativ günstig. Das Problem der Windenergie besteht in ihrer starken Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit: Bei nur halber Windgeschwindigkeit erzeugt ein Windkraftwerk nur ein Achtel des Stromes.

In Deutschland hat die Windenergie durch massive Subventionen einen starken Aufschwung erlebt. Aufgrund dieser Subventionen kann - zu hohen Kosten für die Volkswirt-

LANGFASSUNG

schaft - an geeigneten Standorten mit Windenergie viel Geld verdient werden. Eine sich auch volkswirtschaftlich rechnende Produktion ist allerdings nicht abzusehen. Dafür hat sich die Windenergie als solche massiv verändert: Sie ist längst keine kleine Technik mehr, die entsprechend dem Motto "small is beautiful" Strom im Wesentlichen für den Eigenbedarf produziert, sondern eine harte Großtechnik mit über 100 m hohen Anlagen, die vielen Menschen ein Dorn im Auge sind. Auch die kostenlose Zurverfügungstellung von Grund und Boden zur Produktion von Windstrom gehört längst der Vergangenheit an.

In Deutschland werden heute etwa 2 % der Stromerzeugung durch Windenergie beigesteuert. Bei Fortbestehen der Subventionen ist mit einer weiteren deutlichen Steigerung zu rechnen, vielleicht bis auf 10 %. Da weltweit dauerhafte Subventionen jedoch unwahrscheinlich sind, wird die Windenergie langfristig vermutlich nicht mehr als ein paar Prozent zur Weltenergiebedarfsdeckung beitragen.

5.4 Andere Formen der Sonnenenergie

Wie schon angegeben, kommt Sonnenenergie in den verschiedensten Erscheinungsformen vor. Für alle Formen gelten jedoch grundsätzlich die beiden Hauptprobleme der Sonnenenergie: Ihre geringe Konzentration und ihre schwankende Verfügbarkeit. Auch die

an den obigen Beispielen gezeigte gegenläufige Tendenz kann verallgemeinert werden: Je wirksamere natürliche Prozesse zur Aufkonzentrierung (und zur zeitlichen Vergleichmäßigung) der Sonnenenergie ausgenutzt werden, desto seltener kann die Sonnenenergie auf dieser Basis eingesetzt werden, aber desto besser ist dann ihre Wirtschaftlichkeit (und ihre Energiebilanz). Und umgekehrt, je direkter die Sonneneinstrahlung genutzt wird, desto breiter gestreut ist ihre theoretische Nutzbarkeit, allerdings auf Kosten der Wirtschaftlichkeit (und der Energiebilanz).

Außerdem eignet sich die wenig konzentrierte Sonnenenergie prinzipiell besser zur Bereitstellung von Wärmeenergie auf niedrigem Temperaturniveau (z. B. Raumheizung oder Warmwasserbereitung), als zur Herstellung der hochwertigen Energieform Strom. Neben der klassischen Wasserkraft dürfte daher vor allem der Wärmepumpe (Ausnutzung der Umgebungswärme) und dem Solarkollektor relativ große Bedeutung zukommen.

Infolge der vielfältigen Formen der Sonnenenergie ist eine Prognose ihres zukünftigen Beitrages schwierig. Nach Lage der Dinge muss es jedoch als unwahrscheinlich gelten, dass sie so rasch ausgebaut werden kann, wie der (weltweite) Bedarf an Energie zunehmen dürfte. Darüber hinaus auch noch einen Beitrag zur Reduzierung des Verbrauches an fossilen Energieträgern von ihr

zu erwarten, ist auf absehbare Zeit unrealistisch. (siehe auch Beitrag: [Welchen Beitrag können die regenerativen Energien leisten?](#) und /1/).

6. Kernenergie

Durch die hohe Energiedichte der Kernenergie (rund eine Million mal größer als die fossiler Energien) trifft für sie das in Ziff. 5.1 geschilderte Problem negativer Energiebilanzen bei zu raschem Ausbau nicht zu (innerhalb realistischer Ausbauszenarien). Auch sonst sind keine harten, den Ausbau begrenzenden Faktoren erkennbar. Wir können Kernenergie - mit einer entsprechenden Vorlaufphase zur Personalausbildung und zum Aufbau von Fabriken - in dem Maße ausbauen, in dem wir es wollen. Es ist unser Wille, der über ihren Beitrag entscheidet, nicht eine objektive Grenze. Das gilt auch für die Verfügbarkeit von Uran. Wenn wir auch den Schnellen Brüter einsetzen, reicht es für viele Jahrtausende.

Dass Kernenergie - auf der Basis westlicher Kraftwerkstechnik - sicher und umweltfreundlich betrieben werden kann, zeigt die Erfahrung mit nunmehr fast 10.000 Reaktorbetriebsjahren (siehe auch Beitrag: [Sind deutsche Kernkraftwerke sicher?](#)). Mit keiner anderen Technik wurde bisher so viel Strom mit so geringen Schäden in der Umwelt und so wenig Gesundheitsschäden bei Menschen erzeugt.

Auch die Wirtschaftlichkeit der Kernenergie ist eine Folge ih-

LANGFASSUNG

rer hohen Energiedichte: Weil ein Reaktor sehr wenig Uran verbraucht, sind seine Brennstoffkosten viel niedriger als die Kosten für die Sammlung der Energie bei der Sonnenenergie (die Kosten für die eigentliche Umwandlung in Nutzenergie sind ganz grob etwa gleich). Kernenergie ist heute die einzige vorhandene Möglichkeit, hochwertige Energie (Strom) in großen Mengen kostengünstig und CO₂-frei zu erzeugen. Daran wird sich auch in der überschaubaren Zukunft nichts ändern. (siehe auch Beitrag:

[Welche Bedeutung hat die Kernenergie für die Welt?](#)).

7. Zusammenfassung

Der weltweite Energiebedarf wird noch gravierend zunehmen, gleichzeitig erfordert die Vorsorge gegen drohende Klimaänderungen ein drastisches Reduzieren der Verbrennung fossiler Energieträger. In der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts wird das Doppelte des heutigen Weltenergieverbrauches aus CO₂-freien Energieformen bereitgestellt werden müssen. Hierfür stehen im We-

sentlichen nur die Sonnenenergie und die Kernenergie zur Verfügung. Wahrscheinlich wird die Kernenergie den größeren Beitrag leisten. ■

Literatur:

/1/ E. Roth: "Sonnenenergie - Was sie leistet - Was sie kostet", Erwin Friedmann Verlag München, 1999
ISBN 3-933431-05-0