

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses

**Band:** 89 (1998)

**Heft:** 21

**Artikel:** Die Energiefrage : Notwendigkeit und Möglichkeiten für eine umwelterhaltende Versorgung mit Energie

**Autor:** Heinloth, Klaus

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-902127>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 15.10.2024

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Das bedrohliche Risiko eines Klimawandels erfordert eine drastische Reduzierung der Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas, heute weltweit unsere Hauptenergiequellen. Dies kann nur erreicht werden, wenn baldmöglichst alle Möglichkeiten effizienterer Energienutzung, der erneuerbaren Energien und der Kernenergie ausgeschöpft werden.

# Die Energiefrage

## Notwendigkeit und Möglichkeiten für eine umwelterhaltende Versorgung mit Energie

■ Klaus Heinloth

### Die Explosion des Energiebedarfs

Während 10 000 Jahren Menschheitsgeschichte, seit dem Übergang aus der letzten Eiszeit in die heutige Warmzeit, seitdem ein ungewöhnlich temperaturstabiles Klima dem Menschen Ackerbau, Viehzucht und Sesshaftigkeit erlaubt, war das Holz die Hauptenergiequelle für alles Wirtschaften der Menschen. Und dies war nur im Prinzip ein erneuerbarer Rohstoff; denn es wurde immer weit mehr Holz eingeschlagen, als nachwachsen konnte. Der zu deckende Energiebedarf konnte so auch nur sehr langsam, im Zeitraum mehrerer Jahrhunderte nur unmerklich gesteigert werden. Spätestens im 18. Jahrhundert waren auch die im westlichen Teil Europas zugänglichen Holzvorräte sehr knapp geworden.

Dann geschah ein Umbruch: Im Gleichlauf mit den Erfindungen von Dampfmaschine, Elektromotor/Generator und Verbrennungsmotoren und den Entdeckungen der prall gefüllten Vorratskammern der Natur an Kohle, Erdöl und Erdgas stieg der weltweite Energieverbrauch hauptsächlich innerhalb dieses Jahrhunderts auf etwa das 30fache des vorindustriellen Wertes. Die noch reichliche und billige Verfügbarkeit dieser fossilen Energieträger verführte uns zu einer aussergewöhnlich schnellen Steigerung wirtschaftlicher, auch landwirtschaftlicher Produktivität. Das Wachstum wirtschaftlicher Produktivität, Bevölkerungswachstum, die Ansprüche der Menschen in den Industrieländern und der Bedarf an Rohstoffen, vor allem auch an Energie, schaukelten sich gegenseitig hoch.

Derzeit summiert sich der weltweite Energiebedarf zu jährlich mehr als 13 Mrd. Tonnen Steinkohle-Äquivalent, wovon wir in den Industrieländern den Löwenanteil von mehr als 10 Mrd. Tonnen aus Kohle, Erdöl und Erdgas decken.

Wenn wir dies weiterhin so tun werden, dann werden wir spätestens in einigen hundert Jahren die natürlichen Vorräte an fossilen Energieträgern verbraucht haben. Und einige hundert Jahre sind eine kurze Zeitspanne im Vergleich zu den bisher 10 000 Jahren Menschheitsgeschichte und den noch zu erwartenden 15 000 Jahren bis zum Beginn der nächsten Eiszeit.

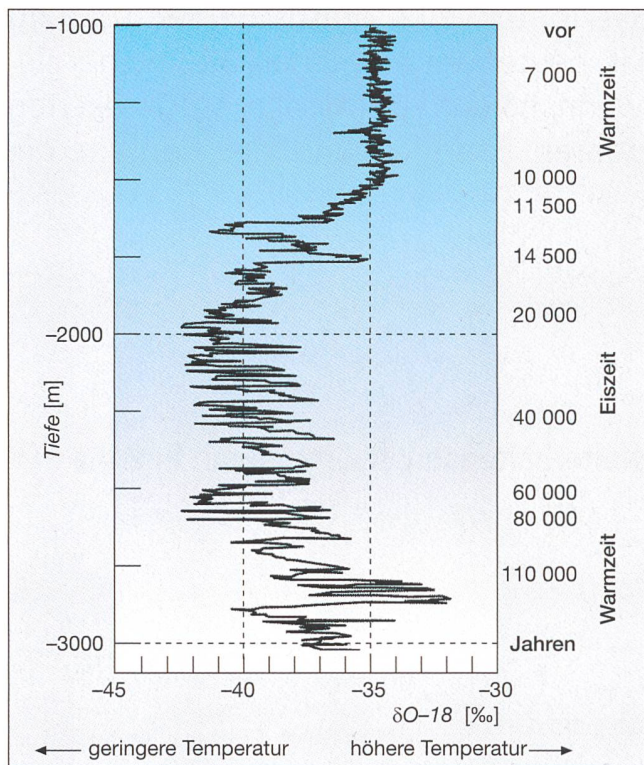
### Bedrohung der Erde durch fossile Brennstoffe?

Aber schon viel früher als in einigen hundert Jahren können wir unseren Lebensraum Erde durch allzu reichliche Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas schmerzlich schädigen: Das bei der Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas unvermeidlich freigesetzte Kohlendioxid erhöht ebenso unvermeidlich die Konzentration des Kohlendioxids in der Luft. Diese ist im Verlauf dieses Jahrhunderts schon um mehr als ein Viertel des früheren natürlichen Wertes gestiegen. Dadurch wurde die Wärmeisolation der Lufthülle gegen den kalten Weltraum erhöht und die Heizung in unserem Treibhaus Erde schon um etwa ein Prozent erhöht. Die Temperatur stieg dadurch naturgesetzlich bedingt im weltweiten Mittelwert um ein gutes halbes Grad an.

Die Aufheizung der Atmosphäre hat Folgen wie eine erhöhte Verdunstung von Wasser, damit mehr Niederschläge, mehr Stürme, mehr Hochwasser. Aber das ist wahrscheinlich nicht die Hauptbedrohung für uns. Noch gefährlicher könnte

#### Adresse des Autors

Prof. Dr. Klaus Heinloth, Physikalisches Institut  
der Universität Bonn, Nussallee 12  
D-53115 Bonn



**Bild 1** Schwankungen der mittleren Temperatur auf der Nordhalbkugel der Erde während der letzten 160 000 Jahre

Die Temperatur wird durch Messung des Verhältnisses der Sauerstoffisotope O-18 und O-16 ( $\delta O-18$ ) im Eis von Eisbohrkernen aus Grönland relativ zum Meerwasser bestimmt.

### Effizientere Energienutzung

Möglichkeiten effizienterer Nutzung von Energie, die ins Auge fallen, sind beispielsweise

- bessere Wärmedämmung beheizter Räume. Dadurch könnte der Bedarf an Heizwärme vermutlich halbiert werden.
- Stromerzeugung in Wärmekraftwerken, wobei die Verbrennungswärme bei Kopplung von Gas- und Dampfturbinen künftig bis zu etwa 60%, durch Kopplung von Hochtemperatur-Brennstoffzellen und Gasturbinen bis zu etwa 80% in elektrische Energie umgewandelt werden könnte.
- im Strassenverkehr effizientere Verbrennungsmotoren und Elektromotoren mit Brennstoffzellen, wodurch der spezifische Treibstoffbedarf um mindestens 30% gesenkt werden könnte.

Von der gesamten primär verfügbar gemachten Menge an Energie, zumeist als Fördermengen von Kohle, Erdöl und Erdgas, kommen etwa zwei Drittel als Energieträger wie Strom, Treibstoffe und Heizstoffe zum Verbraucher. Bei der Nutzung dieser Energieträger geht dann im Mittel die Hälfte verlustig (Bild 2).

Rein theoretisch, wenn man alle Verbräuche bei der Umwandlung zu Strom und Treibstoffen und alle Verluste vermeiden könnte, könnte man also mit einem Drittel des heutigen Energieverbrauchs alle heutigen energetischen Bedürfnisse der heutigen Zahl von Menschen decken.

In der Realität kann man diese Verbräuche und Verluste bestenfalls teilweise vermeiden. Realistisch betrachtet könnte man zwar nicht mit nur einem Drittel, aber immerhin mit zwei Dritteln des heu-

sein, dass bei weiterer Erwärmung unser Klima aus seinem aussergewöhnlich temperaturstabilen Zustand während der letzten 10 000 Jahre Warmzeit, welcher erst dem Menschen Sesshaftigkeit und Ackerbau ermöglichte, wieder in einen instabilen Zustand mit heftigen, schnellen Temperaturschwankungen umkippt.

Solch ein instabiles Klima war die Regel nicht nur in der letzten Eiszeit, sondern auch in der ihr vorangegangenen Warmzeit vor etwa 120 000 Jahren. In dieser Warmzeit lag die mittlere Temperatur etwa 1 bis 2 Grad über der heutigen Mitteltemperatur (Bild 1).

Niemand weiss, wie hoch dieses Risiko eines Umkippen des Klimas bei einer weiteren Erwärmung im Treibhaus Erde um ein bis wenige Grad ist. Würde das Klima kippen, dann «Gute Nacht, Landwirtschaft!» Die Grundlage für eine dauerhafte Nahrungssicherung für die vielen Milliarden Menschen der Weltbevölkerung würde zusammenbrechen.

Nicht zuletzt Risiken wie das genannte Risiko des Umkippen des Klimas vor Augen haben die Regierungen der weltweiten Völkergemeinschaft auf der Konferenz der Vereinten Nationen in Rio im Jahr 1992 eine Konvention zum Klimaschutz beschlossen. Sie enthält die ausdrückliche Massgabe, die Kohlendioxidkonzentration der Luft auf eine noch tolerierbare Höhe zu begrenzen.

Was dies wiederum für die weitere Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas – heute weltweit betrachtet unsere

Hauptenergiequellen – bedeutet, hat die Ministerrunde der Klimaschutz-Vertragsstaaten auf der Konferenz 1996 in Genf bekräftigt: «Der weitere Verbrauch der fossilen Brennstoffe muss im weltweiten Mittel um mehr als die Hälfte des derzeitigen Verbrauchs reduziert werden.» Mehr noch: Angesichts des steigenden Energiebedarfs heutiger Entwicklungsländer, allen voran Chinas und Indiens, muss der weitere Verbrauch der fossilen Brennstoffe in den heutigen Industrieländern wie zum Beispiel in Deutschland auf weniger als ein Viertel des heutigen Verbrauchs reduziert werden.

	Potential [PJ]		Realisierung bedeutet
	1995	2030	
Wasser	72	90	vollst. Ausbau aller verfügbaren Wasserkraft
Wind	11	90	Installation 10 000 MW KW-Leistung
Sonne	1	200	Installation von 10 000 MW Solarzellenleistung (100 Mio. m <sup>2</sup> Solarzellen) + 100 Mio. m <sup>2</sup> Wärme-Flachkollektoren
Biomasse	65	960	15% landw. Nutzfläche für Anbau von Biomasse als Energierohstoff
Geothermie	10	870	etwa 50 000 MW Wärmeleistung aus tiefer Erde und aus Wärmepumpen
<b>Erneuerbare gesamt</b>	<b>160</b>	<b>2200</b>	
<b>Endenergie-Gesamtbedarf</b>	<b>9000</b>	<b>6500 bis 9600</b>	

Tabelle I Erneuerbare Energien – Potential in Deutschland

tigen Energieeinsatzes alle heutigen Bedürfnisse der heutigen Weltbevölkerung decken. Und dies gilt sowohl für Schweiz oder für Deutschland als auch im Mittel für den weltweiten Energiebedarf. Wenn aber die Zahl der Menschen steigt, und die Weltbevölkerung wird steigen, und wenn deren Bedürfnisse und die weltweite wirtschaftliche Produktivität steigen, dann wächst trotz effizienterer Energienutzung auch entsprechend der Energiebedarf.

Wenn wir in den Industrieländern ein weiteres Wirtschaftswachstum von nur einem Prozent pro Jahr zugrunde legen, so würde innerhalb der nächsten drei Jahrzehnte unser Bruttoinlandprodukt um etwa ein Drittel gegenüber heute steigen. Damit würde gerade die eben skizzierte mögliche Senkung unseres heutigen Energiebedarfs um etwa ein Drittel durch Steigerung der Energieeffizienz kompensiert werden.

Weltweit wird – auch hier eine weitgehende Ausschöpfung der möglichen Steigerung der Energieeffizienz wie in den Industrieländern vorausgesetzt – der künftige Energiebedarf innerhalb der kommenden 30 bis 50 Jahre auch bei Annahme eines relativ bescheidenen Wirtschaftswachstums noch um etwa 50% gegenüber derzeit ansteigen.

### Künftige Energieversorgung - Kosten und Risiken

Zur Verfügung stehen uns nur die fossilen Brennstoffe Kohle, Erdöl und Erdgas, die erneuerbaren Energien – also Wasser, Wind, Solarstrahlung, Biomasse, Erdwärme – und die Kernenergie.

### Potential erneuerbarer Energien

Bei weitgehender Ausschöpfung aller in Deutschland verfügbaren Möglichkeiten könnten aus erneuerbaren Energien im Lauf der nächsten Jahrzehnte schliesslich maximal sowohl etwa ein Viertel des voraussichtlichen Bedarfs an elektrischer Energie als auch ein Viertel des voraussichtlichen Bedarfs an Endenergie gedeckt werden (Tabelle I).

Dabei werden folgende Voraussetzungen gemacht:

- Aus der Wasserkraft decken wir derzeit 5% unseres Strombedarfs. Bei weiterem Ausbau der Wasserkraft kann dieser Anteil bestenfalls auf etwa 6% erhöht werden.
- Den mittleren Bedarf an elektrischer Leistung in Deutschland vor Augen mit seiner zeitlichen Fluktuation zwischen etwa 45 bis 65 GW sollten insgesamt maximal bis zu 20 GW aus den zeitlich fluk-

tuierenden Quellen Wind (10 GW) und Solarzellen (10 GW) ins Stromnetz ohne intolerable Effizienzeinbussen bei den stetig verfügbaren Wärmekraftwerken eingespeist werden können.

Um dieses Potential von 10+10 GW realisieren zu können, müssten Solarzellen auf fünf Millionen Dächern mit jeweils 20 m<sup>2</sup> Solarzellen-Modulflächen installiert werden. Dies würde Investitionskosten von insgesamt mindestens etwa 50 Mrd. DM verursachen. Ausserdem müssten etwa 10 000 Windturbinen von jeweils einem Megawatt Leistung zu Investitionskosten von mindestens 15 Mrd. DM installiert werden.

Damit könnten dann aus Solarzellenanlagen insgesamt etwa 2% und aus den Windturbinenanlagen insgesamt etwa 5% des jährlichen Strombedarfs in Deutschland gedeckt werden.

Wollten wir deutlich mehr Solarstrom als etwa 2% unseres derzeitigen Strombedarfs gewinnen, so müssten wir im Sommer Solarenergie gewinnen und für den Verbrauch im Winter und Frühjahr speichern. Der dazu nötige Aufwand ist zu gross: Zur Speicherung der elektrischen Energie von Sommer bis Winter und Frühjahr bräuchte man etwa 20 000 Pumpwasserspeicher von der Grösse der Edertalsperre, mit einer gesamten Speicherseefläche so gross wie die Fläche der Bundesrepublik Deutschland vor der Wiedervereinigung.

Wollte man den Strom über die Kette Solarstrom zur Elektrolyse von Wasserstoff, Wasserstoffverflüssigung, Langzeitspeicherung von Flüssigwasserstoff und letztendlich Stromerzeugung zu beliebiger Jahreszeit aus mit Wasserstoff

betriebenen Brennstoffzellen verfügbar machen, so würden daraus Stromkosten – im günstigsten Fall (mit den billigsten Solarzellen, Wasserstofftechniken und Brennstoffzellen) von mindestens etwa 2 DM pro Kilowattstunde Strom anfallen.

- Die wichtigste Domäne für Solarenergienutzung könnte in Deutschland und der Schweiz die Gewinnung von Heizwärme mittels Flachkollektoren sein. Sie könnten zum einen zur Bereitstellung von Warmwasser genutzt werden. Bei zusätzlicher Installation von saisonalen Langzeit-Wärmespeichern könnten sie zum anderen zur Heizung im Winter mit Solarwärme aus dem Sommer genutzt werden. Insgesamt sollte es wohl möglich sein, auf diese Weise mindestens 10% unseres Heizwärmebedarfs zu decken.
- Sollten für den Anbau von Pflanzen als Energierohstoff auf Dauer etwa 15% der heutigen landwirtschaftlichen Nutzflächen in Deutschland zur Verfügung stehen, so könnten aus der zu erntenden Biomasse Treibstoffe, Strom und Heizwärme jeweils in Höhe von etwa 5% des derzeitigen Bedarfs erzeugt werden.

Eine weitgehende Ausschöpfung des Potentials aller verfügbaren erneuerbaren Energien kann nur zu Investitionskosten pro Energieeinheit, welche ein Mehrfaches der entsprechenden Investitionskosten für heute vorwiegend genutzte Energietechniken betragen, realisiert werden. Eine solche Realisierung bedürfte entsprechender energiepolitischer Weichenstellungen.

Natürlich könnten wir künftig – frühestens in einigen Jahrzehnten – erneuerbare Energien auch importieren, zum

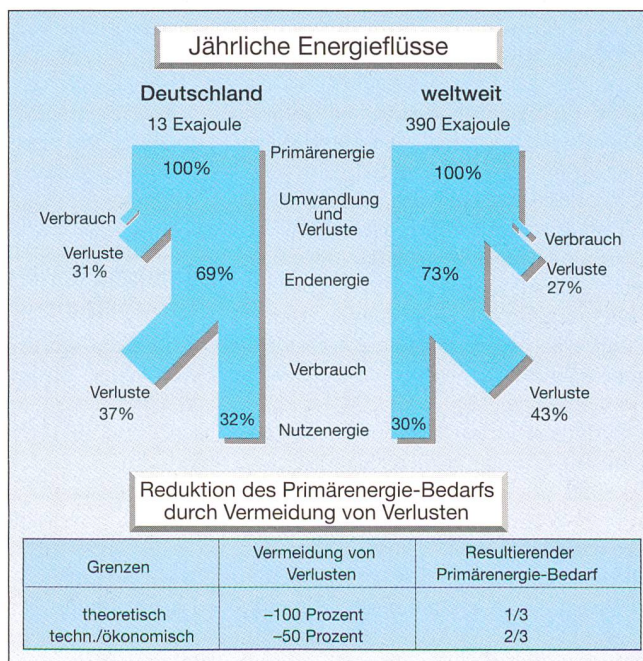


Bild 2 Jährliche Flüsse von Energie von den Energiequellen zum Endverbraucher und Grenzen der Steigerung der Energieeffizienz

	Potential [EJ]		Realisierung bedeutet
	1995	2050	
Wasser	30	60	Zubau 600 GW KW-Leistung
Wind	0	4	Installation 300 GW KW-Leistung
Sonne	0	24	Installation von 200 GW solarthermische KW Dauerleistung +200 GW Solarzellen-Kurzzeitleistung +400 GW Wärmeleistung
Biomasse	40	80	Rekultivierung von 4 Mio. km <sup>2</sup> erodierter ehemaliger landwirtschaftl. Nutzflächen
Geothermie	0,7	3	
<b>Erneuerbare gesamt</b>	<b>70</b>	<b>180</b>	
<b>Primärenergie-Gesamtbedarf</b>	<b>390</b>	<b>500 bis 600</b>	

Tabelle II Erneuerbare Energien – weltweites Potential

Beispiel aus Nordafrika «Solarstrom rund um die Uhr» aus solarthermischen Kraftwerken (mit Hochtemperatur-Wärmespeichern zum Kraftwerksbetrieb während der Nacht). Aber diese Kraftwerke gibt es bislang nur in kleinen Versuchsanlagen. Sie müssten erst in grossem Stil gebaut und erprobt werden.

## Weltweites Potential erneuerbarer Energien

Rein theoretisch könnte bis zur Mitte des kommenden Jahrhunderts – nach den Vorstellungen des von den Vereinten Nationen eingerichteten Intergovernmental Panel on Climate Change – das weltweit nutzbare Potential an erneuerbaren Energien von derzeit etwa 20% des heutigen Weltenergiebedarfs mindestens verdoppelt werden. Dazu (Tabelle II) müssten allerdings

- die weltweite Kapazität an Wasserkraftwerken von derzeit 650 GW auf 1300 GW verdoppelt werden,
- Windrotorturbinen mit einer Gesamtkapazität von 300 GW elektrischer Peak-Leistung (entsprechend 300 000 Rotoranlagen mit im Mittel je 1 MW Leistung) aufgestellt werden, wobei daraus dann im Mittel während etwa 30% der Gesamtzeit eines Jahres ergiebig Strom bereitgestellt werden könnte,
- solarthermische Kraftwerke in sehr grossem Umfang gebaut werden, zum Beispiel mit einer – mittels Hochtemperatur-Wärmespeicher – rund um die Uhr verfügbaren elektrischen Leistung von insgesamt 200 GW (entsprechend 2000 km<sup>2</sup> Lichtkollektor-Spiegelflächen), dies zur Stromversorgung dicht besiedelter Ballungszentren,

- Solarzellen einschliesslich Energiespeicher (z.B. Batterien) in sehr grossem Umfang zur dezentralen Stromversorgung vor allem in dünn besiedelten Gebieten von Entwicklungsländern installiert werden. Notwendig wäre eine installierte Leistung von 200 GW (entsprechend 2000 km<sup>2</sup> Solarzellenflächen),
- Solarwärme-Flachkollektoren für Heizung und Warmwasserbereitung mit einer auf die Zeit intensiver Sonneneinstrahlung beschränkter Wärmeleistung von 400 GW (entsprechend 1000 km<sup>2</sup> Kollektorflächen) installiert werden,
- Biomasse – auf etwa 4 Mio. km<sup>2</sup> Ackerland geerntet – als Energieträger verfügbar gemacht werden. Angesichts der immer noch zunehmenden Weltbevölkerung werden heutige landwirtschaftlich genutzte Flächen nicht zur Kultivierung von Energiepflanzen genutzt werden können. Daher müssten heute erodierte, ehemalige landwirtschaftliche Nutzflächen durch Rekultivierung in grossem Umfang und mit sehr hohem Aufwand zurückgewonnen werden.

## Potential der Kernenergie – Kernspaltung

Derzeit werden ungefähr 17% des weltweiten Strombedarfs in 422 Kernkraftwerken – hauptsächlich Leichtwasserreaktoren (LWR) ohne zusätzliches Erbrüten von spaltbarem Material – mit einer Leistung von 356 GW erzeugt. Der dadurch verursachte Bedarf an Natururan beläuft sich auf jährlich 50 000 Tonnen. Die vermuteten Vorräte an Natururan in Lagerstätten würden ausreichen, einen jährlichen Uranbedarf in heutiger Höhe – ohne zusätzliches Erbrüten von spaltba-

rem Material in sogenannten Brutreaktoren – über einige 1000 Jahre zu decken. Bei der Gewinnung von Uran aus Meerwasser würde sich der Deckungszeitraum auf einige 10 000 Jahre erhöhen.

Der Zubau von Kernkraftwerken (derzeit 60 Blöcke mit 56 GW Leistung) beschränkt sich auf Osteuropa und vor allem auf den ostasiatischen Raum. In westlichen Industrienationen wird die mögliche Betriebsdauer existierender Kernkraftwerke partiell durch technische Sanierungen auf 50 bis 60 Jahre verlängert.

## Hauptprobleme bei der Nutzung von Kernenergie

Als die grössten Probleme bei der Kernenergienutzung werden heute grosse Unfälle beim Betrieb von Reaktoren (GAU) und die Endlagerung der abgebrannten Kernbrennstoffe angesehen. Abgesehen von den zwölf noch in Betrieb befindlichen Reaktoren des Tschernobyl-Typs sind alle derzeit betriebenen Reaktortypen naturgesetzlich vor einer bombenähnlichen Leistungsexkursion geschützt: Bei merklichen Betriebsstörungen jeglicher Art erlischt die Kettenreaktion der Kernspaltung von selbst ohne die Notwendigkeit regelnder Eingriffe von aussen. Dennoch bleibt ein, wenn auch sehr kleines, so doch endliches «Rest»-Risiko: Das Versagen sämtlicher Kühleinrichtungen kann zur Zerstörung des Reaktorgebäudes führen, wenn die beim Zerfall kurzlebiger Zerfallsprodukte der Kettenreaktion entstehende Nachwärme nicht mehr abgeführt werden kann. Dadurch würde dann Radioaktivität in grossen Mengen – in vergleichbarem Ausmass wie bei dem Reaktorunfall in Tschernobyl 1986 – in die Aussenwelt freigesetzt. Die Wahrscheinlichkeit für einen Unfall solchen Ausmasses ist für alle heutigen Reaktoren – abgesehen vom Tschernobyl-Typ – extrem klein, Sicherheitsstudien zufolge für Reaktoren mit deutschem Sicherheitsstandard etwa ein Unfall in einer Million Reaktorbetriebsjahren. Zumindest künftig könnten allerdings Kernreaktoren so gebaut werden, dass ein GAU weitgehend bis sicher vermieden werden kann (Bild 3).

Hochradioaktive Abfälle könnten – genau so wie die Natur Uran und Thorium in natürlichen Lagerstätten sicher und für die Umwelt unschädlich aufbewahrt – zum Beispiel in tiefen Gesteinsformationen, ausserhalb von Grundwasserströmen, auch ausserhalb von Erdbebenzonen und potentiell vulkanisch aktiven Regionen eingelagert werden,

wobei nach Einbringen der schwerlöslich verglasten, radioaktiven Stoffe alle verbleibenden Hohlräume der Lagerstätten dicht mit wasserundurchlässigen Feststoffen verfüllt werden müssen. So gelagert können radioaktive Stoffe nur noch – wie auch aus natürlichen Lagerstätten – in winzigen, unschädlichen Mengen über Haarrisse und Gesteinsporen extrem langsam in die Biosphäre gelangen.

### Potential der Kernenergie – Kernfusion

In dem durch Gravitationskräfte zusammengehaltenen Fusionsfeuer der Sonne werden Wasserstoffkerne zu Heliumkernen verschmolzen. Dabei wird bei einer Temperatur von etwa 15 Mio. °C eine Leistung von nur 300 Watt pro Kubikmeter Plasmafeuer freigesetzt. In irdischen Fusionsanlagen muss das geplante Fusionsfeuer wegen des sehr beschränkten Volumens des Wasserstoffplasmas entweder für längere Zeitintervalle von einigen Sekunden bis zu 1000 Sekunden durch extrem starke Magnetfelder oder kurzzeitig (einige Nanosekunden) durch Kompression auf hohe Drücke und Temperaturen mittels vielseitigem Beschuss von Laser-, Röntgen- oder Schwerionenstrahlen zusammengehalten werden.

Wegen der im Vergleich zur Sonne kleinen Plasmavolumina bzw. des relativ grossen Verhältnisses von Plasmaoberfläche zu Volumen werden die Wärmeverluste durch die Oberfläche so gross sein, dass zur Erzielung von Fusion die Fusionsleistung in irdischen Anlagen etwa 2 000 000 Watt pro Kubikmeter Plasmaofen, also etwa 10 000mal grösser als in der Sonne sein muss.

Bislang ist noch nicht erwiesen, ob die Atomkernfusion in technischen Anlagen auf der Erde überhaupt realisiert werden und gegebenenfalls dann zur Wirtschaftlichkeit gebracht werden kann. Bei zügiger Weiterentwicklung der verschiedenen Optionen könnte die Atomkernfusion im günstigsten Fall frühestens im Verlauf der zweiten Hälfte des kommenden Jahrhunderts als nutzbare Energiequelle verfügbar werden.

### Resümee

Der alsbaldige Ersatz fossiler Energieträger Kohle, Erdöl und Erdgas in spürbarem Umfang durch die diversen erneuerbaren Energien und eine sichere Kernenergie ist nur in sehr beschränktem Umfang zu realisieren, und dies zu Kosten, die im allgemeinen um einen Faktor

Kernreakortyp				
Leichtwasserreaktoren			Hochtemperaturreaktoren	
aktuelle Bauart	zukünftige Typen		Mit feuerbeständ. Graphit-Legierung	
Betriebssicherheit				
Derzeitiger Sicherheitsstandard	Verbesserter Sicherheitsstandard gegen Schmelzen des Reaktorkerns hauptsächlich durch		Absolute Sicherheit gegen Schmelzen des Reaktorkerns	
	aktive	passive		und Freisetzung grosser Mengen an radioakt. Stoffen
	Sicherheitsvorkehrungen			
Eintrittswahrscheinlichkeit grosser Reaktorunfälle mit einer Freisetzung grosser Mengen radioaktiver Stoffe pro Kernreaktor einmal innerhalb eines Zeitraumes von				
ca. 0,1 bis 1 Millionen Jahren	ca. 1 bis 10 Millionen Jahren	ca. 10 bis 100 Millionen Jahren	ca. 100 Millionen Jahren	Nie

Bild 3 Sicherheitseinrichtungen und Eintrittswahrscheinlichkeit von Unfällen bei verschiedenen Kernreakortypen

2 bis 3 höher sind als die heutigen Kosten für Energie aus Kohle, Öl und Gas.

Der heutige Preis für Kohle, Öl und Gas ist aber nur vordergründig so niedrig, weil dieser Preis nur die Kosten für Förderung und Bereitstellung deckt, nicht aber die sicher anfallenden Kosten für die Folgen, Folgeschäden der exzessiven Verbrennung von Kohle, Öl und Gas.

Wenn wir die Energiefrage umweltverhaltend lösen wollen, dann muss in der Wirtschaft, in der weltweiten Wirtschaft ein gangbarer Weg gefunden werden, die heute kurzfristige Kostenminimierung durch eine langfristige Kostenminimierung zu ersetzen. Dies beinhaltet den Einschluss aller real anfallenden Kosten

nicht nur für die Versorgung mit Energie, sondern auch für die daraus resultierenden kostenverursachenden Folgen.

Aber auch unter diesen kostenaufwendigen Umständen kann eine Senkung des weltweiten Verbrauchs fossiler Brennstoffe auf die Hälfte des heutigen Niveaus nur langfristig, etwa im Verlauf des nächsten Jahrhunderts, realisiert werden. Hoffentlich lässt uns die Natur solange Zeit.

### Literatur

[1] Bericht des Intergovernmental Panel on Climate Change, 2<sup>nd</sup> Assessment report. Cambridge: Cambridge University Press 1996.

[2] K. Heinloth: Die Energiefrage – Bedarf und Potentiale, Nutzung, Risiken und Kosten. Braunschweig: Vieweg 1997.

## La question de l'énergie

### Moyens d'assurer l'approvisionnement indispensable en énergie préservant l'environnement

La demande mondiale d'énergie s'élève actuellement à plus de 13 milliards de tonnes d'équivalent de charbon par an, dont la combustion de charbon, de pétrole brut et de gaz naturel couvre de bons 80%. Enrichissant par conséquence infaillible l'atmosphère en dioxyde de carbone, l'espace vital qu'est la terre est sous la menace imminente d'un changement de climat sérieux. Sous l'espoir de prévenir ce risque, dans le délai des prochaines décades, la consommation de combustibles fossiles devrait se réduire à moins de la moitié sur le niveau mondial et de près de 80% dans l'ensemble des pays industrialisés. Une exploitation énergétique plus efficiente arriverait à diminuer d'un tiers environ la demande d'énergie par rapport aux conditions actuelles de population et de besoins, et en Suisse et au niveau mondial.

En quelques décennies, épuisant toutes les ressources, les énergies renouvelables – eau, vent, rayonnement solaire, biomasse et géothermie – couvriraient la future demande d'énergie d'environ un quart en Europe centrale et jusqu'à un tiers du monde entier. En ce qui concerne l'énergie nucléaire, on éviterait tous les risques de grande envergure en passant à l'application de technologies déjà connues.

# Mit Kraft und Spitzentechnologie zu Höchstleistungen, die verbinden.



Sichere Lösungen zur Energieübertragung und -verteilung stellen hohe Anforderungen! Damit unser Leben und unsere Wirtschaft reibungslos funktionieren, stellen wir uns täglich den Herausforderungen und geben unser Bestes für betriebssichere Verbindungen.

**BRUGG**

**Kabel**

Kabelsysteme für Energieübertragung  
Klosterzelgstrasse 28 · 5201 Brugg  
Telefon 056 460 33 33  
Telefax 056 460 35 36