

Dieser Beitrag ist erschienen in

Die geistigen Strömungen heute und das Problem der nachhaltigen Entwicklung.
Rohrbacher Manuskripte, Heft 12, Herausgegeben von Rudolf Rochhausen.
Rohrbacher Kreis, Rosa-Luxemburg-Stiftung Leipzig 2006.
ISBN 3-9809165-7-X

Alle Rechte des Beitrags liegen beim Autor.

Der Beitrag kann unter den Konditionen der Creative Commons Lizenz BY-ND
(Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0) frei verbreitet werden.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/de>

Vertrieb des ganzen Hefts durch Osiris-Druck Leipzig,

<http://www.osiris-onlineshop.de>

INHALT DES HEFTS

Kurt Reiprich: Vorwort	5 - 7
Rudolf Rochhausen: Erfolge von Science heute – Wozu überhaupt noch Philosophie?	8 - 26
Gotthard Klose: Deutschland – Ausstieg aus der Kernenergie?	27 - 44
Wolfgang Methling: 100 Prozent erneuerbare Energien bis 2050	45 - 56
Werner Deich: Zur Auswirkung des demographischen Faktors auf das globalisierte Verhältnis von Kapital und Arbeit (Thesen)	57 - 59
Ruth Milachowski: Neoliberalismus – Was ist das?	60 - 76
Reinhard Mocek: Hat sich die Menschheit abgefunden mit der Herrschaft eines destruktiven Geschichtssubjektes?	77 - 89
Reinhold Krampitz: Die Arbeit geht uns aus – scheinbar. Was tun? Innovationsfeld Stoffkreislaufwirtschaft	90 - 104
Hans-Gert Gräbe: Geistiges Eigentum, Gemeineigentum und die Eigentumsfrage. Ein Plädoyer gegen geistiges Eigentum als Konzept	105 - 111
Anhang	
Luise Neuhaus: Durch ein Studium für das Leben lernen?	112 - 116
Hans-Gert Gräbe: Ankündigung einer Veranstaltungsreihe <i>Leben und Gestalten im Informationszeitalter</i>	117 - 120

Deutschland – Ausstieg aus der Kernenergie?

1. POLITIK

Die Sicherung einer ausreichende Versorgung der Industrie und der Bevölkerung mit Energie ist eines der großen Probleme, die heute vor Deutschland stehen. Z. Z. werden ca. 30% der notwendigen Elektroenergie von den 18 deutschen Kernkraftwerken geliefert.

In Deutschland ist mit der Mehrheit von SPD und dem Bündnis 90/Die Grünen im Bundestag Ende 2001 der Ausstieg aus der friedlichen Nutzung der Kernenergie¹ (Atomausstiegsgesetz) beschlossen worden. Das Atomausstiegsgesetz wurde entgegen zahlreichen Bedenken und Warnungen von kompetenten Wissenschaftlern², Politikern sowie Vertretern der Wirtschaft und Industrie durchgesetzt. Einzelheiten des Ausstiegs sind zwischen der Bundesregierung und den Energieversorgungsunternehmen vereinbart worden. Die abgeschlossene Vereinbarung wurde in das Atomausstiegsgesetz aufgenommen. Wesentliche Punkte der Vereinbarung sind:

- Für jede Anlage wird eine Gesamtlaufzeit von 32 Jahren ab Beginn ihres kommerziellen Betriebes festgelegt.

Das bedeutet, dass 2021/2022 das letzte deutsche Kernkraftwerk (KKW) vom Netz genommen werden soll.

- Die Unternehmen errichten unverzüglich am Standort der KKW oder in der Nähe Zwischenlager. Transporte von radioaktiven Abfällen zur Wiederaufbereitung sind nur noch bis zum 1. Juli 2005 zulässig.

Das bedeutet, dass die gesamte Menge des abgebrannten Brennstoffes, das noch zum größten Teil aus wertvollen Stoffen besteht, entsorgt werden muss.

- Der Bund bekennt sich zur Einrichtung eines Endlagers für radioaktive Stoffe. Zur Klärung von einigen Fragen und der Suche nach Alternativen wird die Erkundung des Salzstockes in Gorleben mindestens 3 höchsten 10 Jahre unterbrochen.

Das bedeutet, dass mit der Suche eines Endlagers in Deutschland erneut begonnen werden muss.

¹ Wenn nicht extra darauf hingewiesen wird, ist mit Kernenergie immer nur die bei Spaltung von Atomen freigesetzte Energie gemeint.

² Siehe z. B. Memorandum von 650 Professoren gegen den Ausstieg, August/September 1999

Die Bundesregierung begründete den Ausstieg hauptsächlich mit technischen Risiken beim Betrieb der KKW und bei der Entsorgung ihrer Abfälle und damit, dass die deutsche Bevölkerung die Kerntechnik nicht akzeptiert. Weitere Gründe der Kernenergiegegner sind in der folgenden Tab. 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Gründe der Kernenergiegegner

- Technische Risiken:
 - beim Abbau
 - beim Transport
 - beim Betrieb der Kernkraftwerke (KKW)
 - bei der Lagerung des Urans
- Ökologische Risiken:
 - Abraum nach dem Uranabbau
 - unzulässige Eingriffe in die Natur
 - unnatürliche radioaktive Elemente
- Ökonomische Risiken:
 - Steigende Kosten des Urans
 - hohe Kapitalkosten
 - hohe Folgekosten, z. B. für Abraumsanierung
 - keine erneuerbare Energie, kurze Reichweite der Uranreserven
- Soziale Risiken:
 - Keine Akzeptanz durch die Bevölkerung
 - Gewalteinwirkungen (Unfall, Krieg, Terrorismus)
 - Zivil-militärische Ambivalenz der Technik
 - Proliferation von waffenfähigem Material

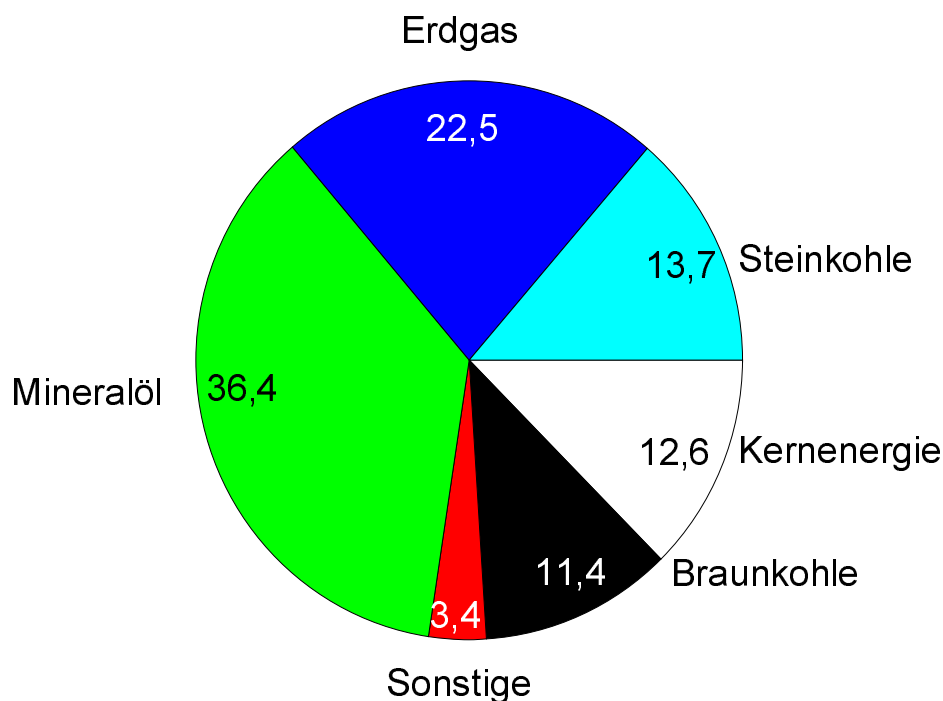
2. STAND

Deutschland hatte im Jahr 2003 einen jährlichen Gesamtenergiebedarf in Höhe von 489,1 Millionen Tonnen SKE³, wobei 2/3 davon importiert werden musste. Die Verteilung des Energiebedarfs auf die verschiedenen Energieträger ist in Abb. 1 dargestellt.

³ 1 kg SKE ist die Wärmeenergie, die in einem Kilogramm durchschnittlicher Steinkohle steckt. Sie ist gleich 29,3076 MJ (bzw. MWh)

Wie aus Abb. 1 ersichtlich ist, deckte im Jahr 2003 die Kernenergie ca. 13% des Gesamtbedarfs. Betrachtet man jedoch nur den Verbrauch an Elektroenergie, dann lieferten im Jahr 2004 die 18 in Deutschland in Betrieb befindlichen KKW ca. 30% der Elektroenergie, das sind 165 TWh⁴.

Abb. 1. Verteilung der Primärenergie von 489,1 Millionen Tonnen SKE 2003 in Deutschland auf nichterneuerbare und erneuerbare Energien in Prozent. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), 2004.



Wenn man den Import von Elektroenergie durch das Europäische Stromverbundnetz, insbesondere aus Frankreich berücksichtigt, dann ist der Anteil der Kernenergie an der in Deutschland verbrauchten Elektroenergie noch höher. Ein weiterer wichtiger Fakt ist, dass die Kernenergie dabei einen Beitrag von ca. 50% zu der ständig zur Verfügung stehenden Elektroenergie (Grundlast) liefert.

Der deutsche Kernenergieanteil an der Elektroenergie soll in den nächsten ca. 16 Jahren entsprechend der Vereinbarung mit den Energieversorgungsunternehmen auf Null herunter gefahren werden. Dafür soll insbesondere der Anteil an erneuerbaren Ener-

⁴ Terawattstunde, 1 TWh = 10¹² Wattstunden

gien, insbesondere der Photovoltaik und der Windkraft stark gesteigert werden. Auch wenn der Elektroenergiebedarf in Deutschland konstant bleiben sollte, ist ein Ausgleich für den abnehmenden Anteil der Kernenergie nur durch entsprechende Erhöhung des Anteils auch an fossilen Energien zu erreichen.

Bisher wurde das KKW in Würgassen/Niedersachsen nach 23 Jahren Betriebszeit 1994 vom Netz genommen. Das KKW Obrigheim am Neckar soll nach Presseberichten⁵ als Nächstes im Mai 2005 abgeschaltet werden.

Bis Ende 2003 sind in Deutschland ca. 10.600 t hochradioaktive Abfälle angefallen und bis zur Restlaufzeit der KKW werden noch ca. 6.650 t anfallen⁶. Für diese Menge von ca. 17.250 t muss bald ein Endlager gefunden werden.

Deutschland war einmal weltweit führend in Forschung und Entwicklung von Kerntechnik einschließlich Sicherheitstechnik. So wurde in Deutschland der schnelle Brüter entwickelt und in Kalkar gebaut, der einmal mehr Kernenergiebrennstoff erzeugen sollte als er in seinem Betrieb verbraucht. In Hanau wurde eine Wiederaufbereitungsanlage fertig gestellt, die eine Trennung des abgebrannten Brennstoffes in seine Bestandteile ermöglicht, was die Voraussetzung für eine effektive Nutzung des Urans ist und die Abfallentsorgung beträchtlich vereinfacht (s. u.). Beide Anlagen sind nie in Betrieb genommen worden. Dadurch wurden Steuergelder in Milliardenhöhe verschwendet. Der Abbau der Anlagen, die Abfallentsorgung usw. werden noch einmal Mittel in derselben Größenordnung wie ihre Entwicklung und ihr Bau erfordern.

Weiter wurde in Deutschland in Zusammenarbeit mit Frankreich der European Pressurized Reactor (EPR), ein Reaktor der III Generation⁷ entwickelt. In der Entwicklung von Hochtemperatur-Reaktortechnik, wie z. B. dem Kugelhaufenreaktor⁸ war Deutschland lange Zeit weltweit führend. Seit dem Beschluss zum Atomausstieg ist die staatliche Unterstützung der Entwicklung von Technologien zur nuklearen Stromerzeugung eingestellt worden und Deutschland nimmt an der Weiter- und Neuentwicklung kern-

⁵ Leipziger Volkszeitung, Delitzsch-Eilenburger Ausgabe vom 03.02.2005

⁶ Joachim Knebel, Kernreaktoren der Generation IV, Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Berlin, 04.03. – 09.03.2005

⁷ Die in Entwicklung bzw. in Erprobung befindenden Reaktoren der III. und IV. Generation bieten höheren Wirkungsgrad, höhere Effektivität und höhere Sicherheit und erzeugen weniger radioaktive Abfälle mit geringerem oder keinem Anteil an langlebigen radioaktiven Actiniden (s. u) im Verhältnis zu den heute betriebenen Reaktoren der II. Generation (Leichtwasserreaktoren).

⁸ Der Kugelhaufenreaktor ermöglicht z. B. wesentlich höhere Leistungen bei 1/10 der Abmessung von Leichtwasserreaktoren, wobei eine Kernschmelze grundsätzlich ausgeschlossen ist.

technischer Anlagen immer weniger teil. So wurden z. B. die Forschungszentren (ursprünglich Kernforschungszentren) in Karlsruhe, Jülich und Geesthacht sowie das Hahn-Meitner-Institut/Berlin umprofiliert. Der Forschungsreaktor in Karlsruhe wurde schon vor längerer Zeit abgeschaltet, der in Jülich wird 2006 abgeschaltet und der in Geesthacht soll 2008 stillgelegt werden. Die Entwicklungen werden in anderen Ländern weiter geführt bzw. entsprechende Anlagen sind in Planung oder im Bau (s. u.).

Zur geordneten Beendigung der Kernenergienutzung wurde ein Kompetenzverbund Kerntechnik gegründet⁹. Er soll bis Mitte dieses Jahrhunderts arbeiten und die sichere Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente, den Abbau der KKW einschließlich ihrer sicheren Entsorgung und die sichere Endlagerung der radioaktiven Abfälle sicher stellen.

Die universitäre Ausbildung auf dem Gebiet der Kernenergietechnik leidet an immer kleiner werdenden Zahlen von Interessenten und an den wegbrechenden Forschungsmöglichkeiten. Diese Entwicklung kann auch durch den 2004 in Betrieb gegangenen Forschungsreaktor an der Technischen Universität München in Garching nicht aufgehoben werden.

Die Diskussionen für und gegen die Kernenergie halten in Deutschland nach dem Atomausstiegsgesetz an. So hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit ein Diskussionspapier mit dem Titel »Zur Frage der Nachhaltigkeit der Kernenergienutzung«¹⁰ mit dem Ziel veröffentlicht, der Kernenergienutzung die Nachhaltigkeit abzusprechen. Eine Stellungnahme zu diesem Papier erfolgte prompt von der Kerntechnischen Gesellschaft¹¹.

In den letzten Jahren gewinnen die Befürworter der Kernenergie zunehmend an Boden (s. z. B. Ref.^{12, 13, 14}).

⁹ Peter Fritz und Barbara Kuczera: Eine Zwischenbilanz über die Jahre 2000 – 2004. In: Internationale Zeitschrift für Kernenergie (atw). Berlin 49(2004)6, S.398 – 403.

¹⁰ http://www.bmu.de/download/dateien/nachhaltigkeit_kernenergie.pdf

¹¹ <http://www.ktg-sachsen.de/Pronuklear/Nachhaltigkeit.htm>

¹² Craig Morris, Der Überlebenskampf der Kernenergie. In: TELEPOLIS. München 23.02.2004 (www.heise.de/tp/r4/art/16/16762/1.htm)

¹³ Georg Ehring, Mehr Windenergie oder eine Renaissance der Kernkraft, Deutschlandfunk, Hintergrund Politik 06.01.2005

¹⁴ Handelskammer will neue Energiepolitik. In: Hamburger Abendblatt. Wirtschaft, 24.01.2005.

3. INTERNATIONALE ENTWICKLUNG

Spitzenreiter bei der Erzeugung von Elektroenergie mittels KKW in Europa¹⁵ sind Frankreich (76%), Litauen (74%), Belgien (57%) und Schweden (50%). Im Jahr 2004 waren weltweit 441¹⁶ kommerzielle KKW mit einer Gesamt-Bruttoleistung von 386 GWe¹⁷ in Betrieb.

Die Gesamtleistung ist hauptsächlich durch höhere Auslastung der KKW kontinuierlich von ca. 100 TW¹⁸ im Jahr 1971 auf 2.500 TW im Jahr 2001 gestiegen, während der Anteil an der gesamt erzeugten Elektroenergie in den letzten 10 Jahren relativ bei ca. 17%¹² konstant geblieben ist (Abb. 2).

Im Bau bzw. in der Planung befanden sich im Jahr 2002 weltweit 42 bzw. 142 Kernreaktoren¹⁹. Hierzu einige Einzelheiten:

Im Mai 2002 beschloss das Finnische Parlament den Bau eines EPR-Reaktors (5. KKW)¹⁹. Mit dem Bau des EPR ist inzwischen begonnen worden. Er soll 2008 mit 1.600 MWe an das Netz gehen²⁰. Frankreich plant ebenfalls den Bau eines EPR-Reaktors, der noch dieses Jahrzehnt Elektroenergie liefern soll. Diese Entwicklungen in Europa entsprechen dem EURATOM-Vertrag, in dem sich die Europäische Gemeinschaft zur Förderung der Atomenergie verpflichtet hat.

¹⁵ International Atomic Energy Organization (IAEO). Mai 2001.

¹⁶ atw Schnellstatistik Kraftwerke 2004, <http://www.Kernenergie.net/atw/de/2005/01/>

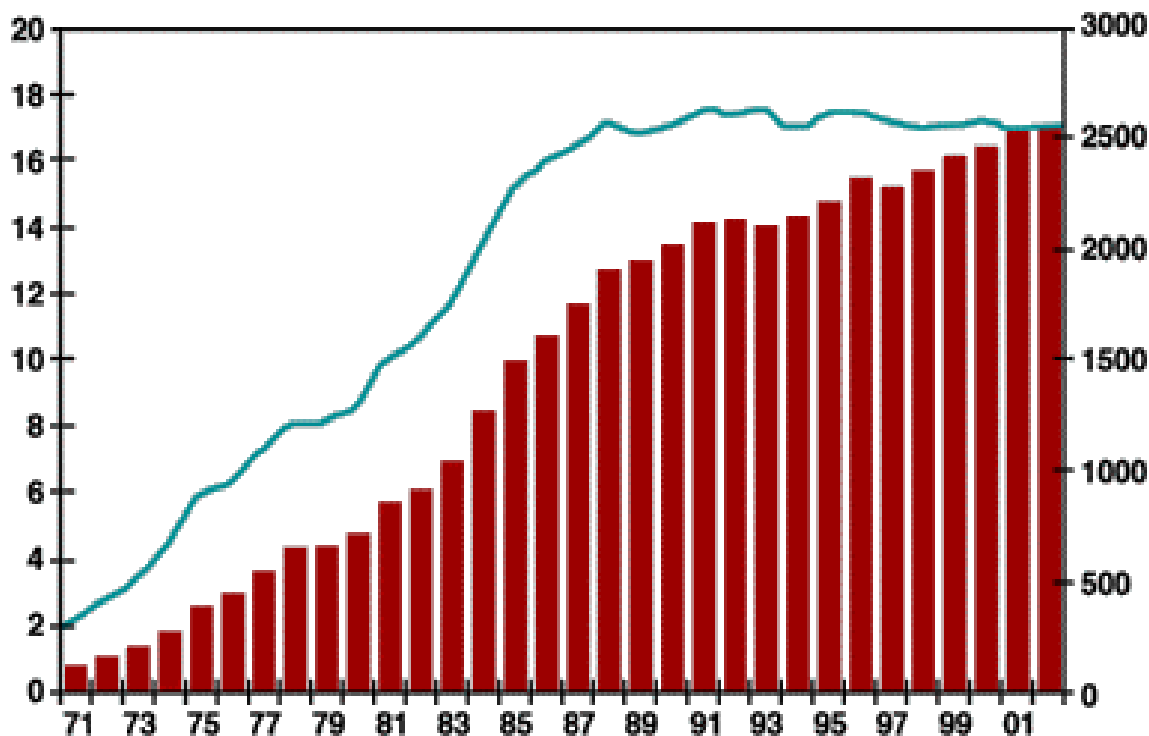
¹⁷ Gigawatt elektrische Leistung.

¹⁸ Terawatt, 1TW = 10¹² Watt.

¹⁹ 3sat, nano, November 2002.

²⁰ Mario Beck: In: Leipziger Volkszeitung, Journal, Delitzsch-Eilenburger Ausgabe, 01.04.2005

Abb. 2. Elektroenergieproduktion der KKW weltweit (rote Balken und rechte Skala) in TWh und ihr Anteil an der gesamt erzeugten Elektroenergie (blaue Kurve und linke Skala) in Prozent in den Jahren von 1970 bis 2002 (untere Skala) nach Craig Morris: *Der Überlebenskampf der Kernenergie*, TELEPOLIS, 23.02.2004.



Die USA wollen bis zum Jahr 2020 bis zu 50 neue KKW bauen²¹.

Im Internet²² findet man folgende Hinweise auf Entwicklungen in Asien und Russland:

- China erteilt demnächst einen Auftrag über 4 KKW und plant bis 2020 den Bau von 27 KKW, sodass die Gesamtleistung aller KKW auf 36 Millionen kW steigt.
- Indien plant bis 2020 den Bau von 31 KKW, sodass die Gesamtleistung aller KKW auf 20 Millionen kW steigt.
- Russland plant in den nächsten 15 Jahren 25 neue KKW, sodass die Gesamtleistung aller KKW auf 50 Millionen kW steigt.

Interessant ist, dass in Indien der erste schnelle Brüter kommerzieller Größe gebaut werden soll. Ein Prototyp mit 500 MWe Leistung soll 2009 in Betrieb genommen wer-

²¹ In: Physics Today. Woodbury April 2002, S. 54.

²² <http://www.faz.net/s/>

den, wobei er als Sprungbrett zur Nutzung der in Indien reichlich vorhandenen Thorium-Reserven dienen soll²³. Nach Ref.¹⁶ ist mit dem Bau begonnen worden.

Außer Deutschland haben sich einige wenige andere Staaten gegen die friedliche Nutzung der Kernenergie entschieden. Schweden beschloss 1980 als erster Staat den Ausstieg bis 2010. Bis heute ist jedoch keine Anlage abgeschaltet worden. Österreich hat seinen Reaktor nach Tschernobyl²⁴ nicht erst in Betrieb genommen. In Italien hat sich die Bevölkerung in einem Volksentscheid 1987 gegen die Kernenergie ausgesprochen, woraufhin im Jahr 1990 die zwei betriebenen kleinen Anlagen stillgelegt worden sind. Vor einigen Wochen hat sich jedoch Silvio Berlusconi zur Kernenergie geäußert²⁵ und eine Revision des Gesetzes zum Automausstieg gefordert. Belgien und die Niederlande verhalten sich abwartend.

4. KERNENERGIE

Die Kernenergie ist eine nichterneuerbare Energie wie die fossilen Energien (Abb. 3). Die zeitliche Reichweite der Uranreserven liegt bei nur 42 Jahren. Sie wird sich durch Einsatz verbesserter bzw. neuer Techniken (Atomreaktoren der III. und IV. Generation, Brutreaktoren, Wiederaufbereitung des Brennstoffs, zyklischer Brennstoffkreislauf, Verwendung von spaltbaren Plutonium und in Zukunft möglicherweise auch von anderen spaltbaren Atomen, z. B. von spaltbarem Thorium) beträchtlich vergrößern. Wenn man langfristig auch Uranvorkommen geringer Konzentration, z. B. in Meerwasser ökonomisch nutzen kann, dann kann davon ausgegangen werden, dass sich die Reichweite von spaltbarem Material sogar über die Reichweite aller fossilen Brennstoffe vergrößern wird.

Das im Bergbau gewonnene natürliche Uran enthält nur 0,72% spaltbares Material (Uran-235²⁶). Für KKW wird es in Anreicherungsanlagen auf 4% angereichert; die übrigen 96% des Brennmaterials sind nicht-spaltbares Uran-238.

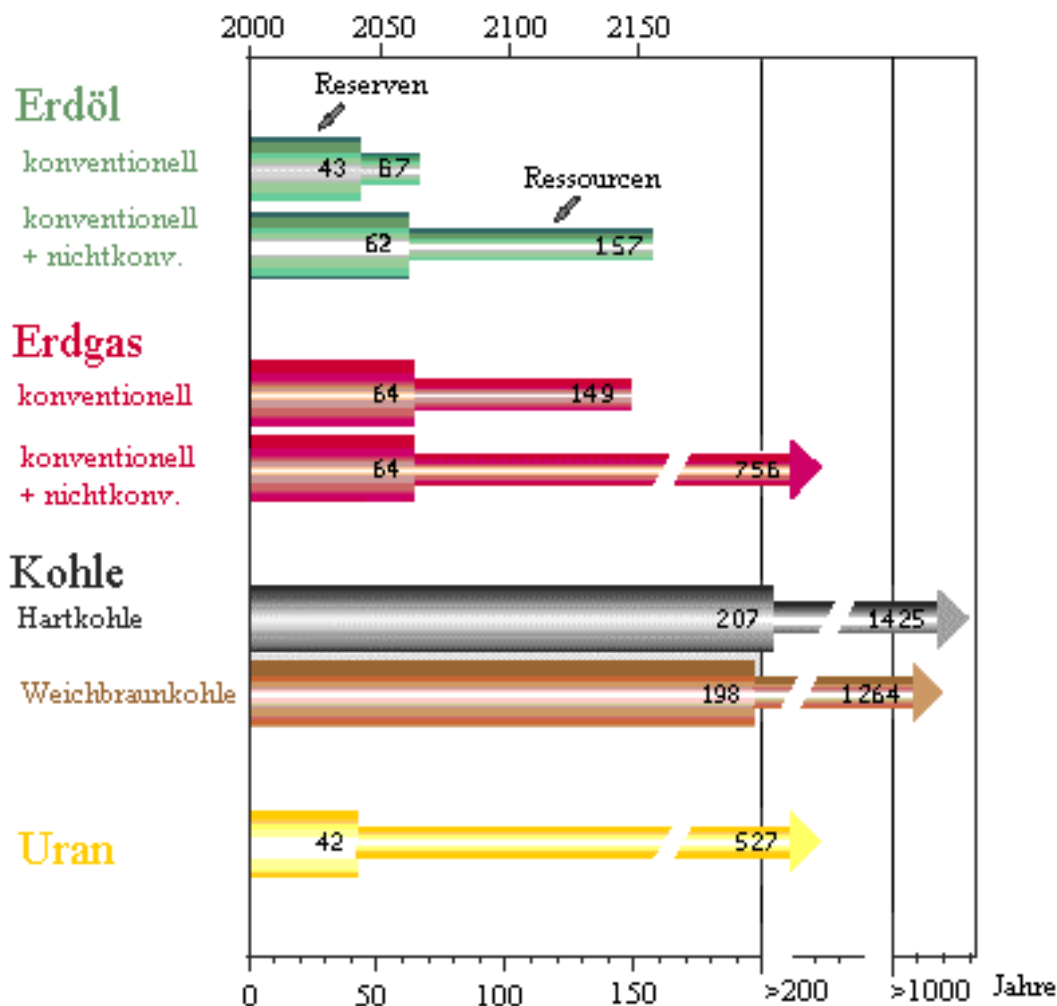
²³ SVA-Bulletin der Schweizer Kerntechnik 14/2002.

²⁴ Schwere Unfälle bei der Kernenergie waren: Windscale/England (1957), Harrisburg/USA (1979), Tschernobyl/Ukraine (1986), Tokai Mura/Japan (1999).

²⁵ In: Die Presse. Brauchen die Kernenergie. Wien 22.01. 2005.

²⁶ Die Zahl (Massenzahl) gibt die Gesamtzahl der Protonen und Neutronen (Nukleonen) im Atomkern an.

Abb. 3. Statische (nach dem augenblicklich Erkenntnisstand) zeitliche Reichweiten von nicht-erneuerbaren Energieträgern, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), 2004.



Reserven sind zu heutigen Preisen und heutiger Technik gewinnbare Rohstoffe. Im Unterschied dazu sind Ressourcen derzeit technisch/oder wirtschaftlich nicht gewinnbare sowie nicht nachgewiesene aber geologisch mögliche künftig gewinnbare Rohstoffe. Nichtkonventionelles Erdöl ist z. B. Schweröl oder solches, welches aus Ölschiefer gewonnen wird. Nichtkonventionelles Erdgas ist z. B. Kohleflözgas.

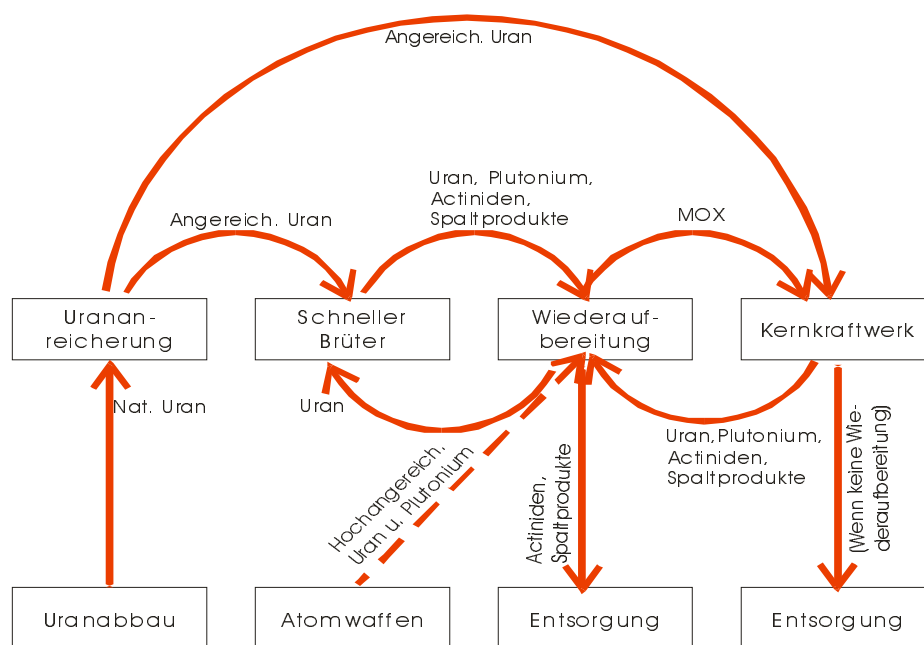
Die Kernspaltung von Uran-235 setzt Kernenergie²⁷ frei, wobei sich der Anteil von Uran-235 im Brennmaterial verringert. Das abgebrannte Brennmaterial (Abbrand) be-

²⁷ Kernenergie wird auch beim Verschmelzen (Fusion) leichter Atomkerne (Wasserstoffisotope) frei gesetzt. Weltweit, auch in Deutschland wird an der Fusion intensiv in der Hoffnung geforscht, in den nächsten 50 Jahren einen ökonomisch nutzbaren Fusionsreaktor entwickeln zu können.

steht aus 1%²⁸ nicht verbranntem Uran-235, 3% Spaltprodukten (Atome mittlerer Massenzahlen), weiter aus 2% spaltbarem Plutonium-239 und 1% Actiniden (Atome großer Massenzahlen); der große Rest von 93% ist nicht-spaltbares Uran-238. Das Plutonium und die Actiniden entstehen durch Kernreaktionen aus dem nicht spaltbarem Uran-238.

Nach Abtrennung der spaltbaren Anteile Uran-235 und Plutonium-239 von den übrigen Bestandteilen in Wiederaufbereitungsanlagen²⁹ und die Herstellung von Mischoxid-Brennelementen (MOX) kann auch das Plutonium zur Energiegewinnung genutzt werden. Im Prinzip kann man damit durch Wiederholung des Kernbrennstoffkreislaufes (Abb. 4) das gesamte, spaltbares wie nicht-spaltbares, Uran für die Energiegewinnung verwenden; m. a. W. im Vergleich zum einmaligen Einsatz des Urans im Reaktor kann ca. hundertmal mehr Energie aus derselben Menge Natururan gewonnen werden. Auch das für Atombomben durch Brutreaktoren in großer Menge erzeugte spaltfähige Plutonium lässt sich damit einer friedlichen Nutzung zuführen.

Abb. 4. Stark vereinfachtes Schema der Brennstoffwege bei der Kernenergie. Es bedeuten in der Abbildung: Uran - spaltbares und nicht-spaltbares Uran, Plutonium - spaltbares Plutonium-239, Actiniden - schwere Isotope ohne Plutonium-239, die durch Kernreaktionen aus dem nicht-spaltbarem Uran-238 entstehen, MOX - Mischoxid aus Uran und Plutonium.



²⁸ Ungefährer Richtwert; das gilt auch für die anderen Prozentzahlen in diesem Abschnitt.

²⁹ z. B. in Sellafield/England oder in La Hague/Frankreich.

Das abgebrannte Brennmaterial ist stark radioaktiv³⁰. Die abgegebene Strahlung hat jedoch in der Atmosphäre und anderen Stoffen nur eine geringe Ausbreitungsreichweite; schon einige Meter Wasserschicht, z. B. des Wasserbeckens um den Reaktorkern eines KKWs, absorbiert die Strahlung vollständig. Eine Gefährdung des Menschen kann ausschließlich nur dadurch entstehen, dass radioaktives Material über die Atmosphäre durch Aspiration oder über die Nahrungskette in den menschlichen Körper gelangt oder durch Ablagerung mit dem Menschen in Kontakt kommt.

Ein quantitatives Maß für die Schädigung des Menschen ist die Radiotoxizität³¹. Die Radiotoxizität des abgebrannten Brennmaterials nimmt mit der Zeit ab. Ohne Wiederaufbreitung (Deutschland) ist sie erst nach der langen Zeit von 170.000 Jahren auf die Radiotoxizität von natürlichem Uran³² abgeklungen. Mit Wiederaufbereitung (heute international üblich) wird jedoch das Plutonium wieder verwendet, sodass dann hauptsächlich nur noch Actiniden und Spaltprodukte als Abfälle anfallen (vgl. Abb. 4). Diese Abfälle erfordern eine sichere Lagerung über einen wesentlich kleineren Zeitraum; nämlich über 16.000 Jahre (vgl. Abb. 5, folgende Seite). Um von diesen geologischen Zeiten zu historischen Zeiträumen für die Endlagerung zu kommen, sind Technologien in Entwicklung (Zukunft), bei der die langlebigen radioaktiven Actiniden in kurzlebige (Abklingzeit von einigen hundert Jahren) oder in stabile Isotope umgewandelt werden (Transmutation). Für die Zeit, in der die dann anfallenden Abfälle, bestehend aus den Spaltprodukten und den transmutierten Actiniden, sicher gelagert werden müssen, ergeben sich einige hundert bis tausend Jahre^{6, 33} (Abb. 5). Von Experten wird abgeschätzt, dass diese Technologie um 2030 einsatzfähig ist.

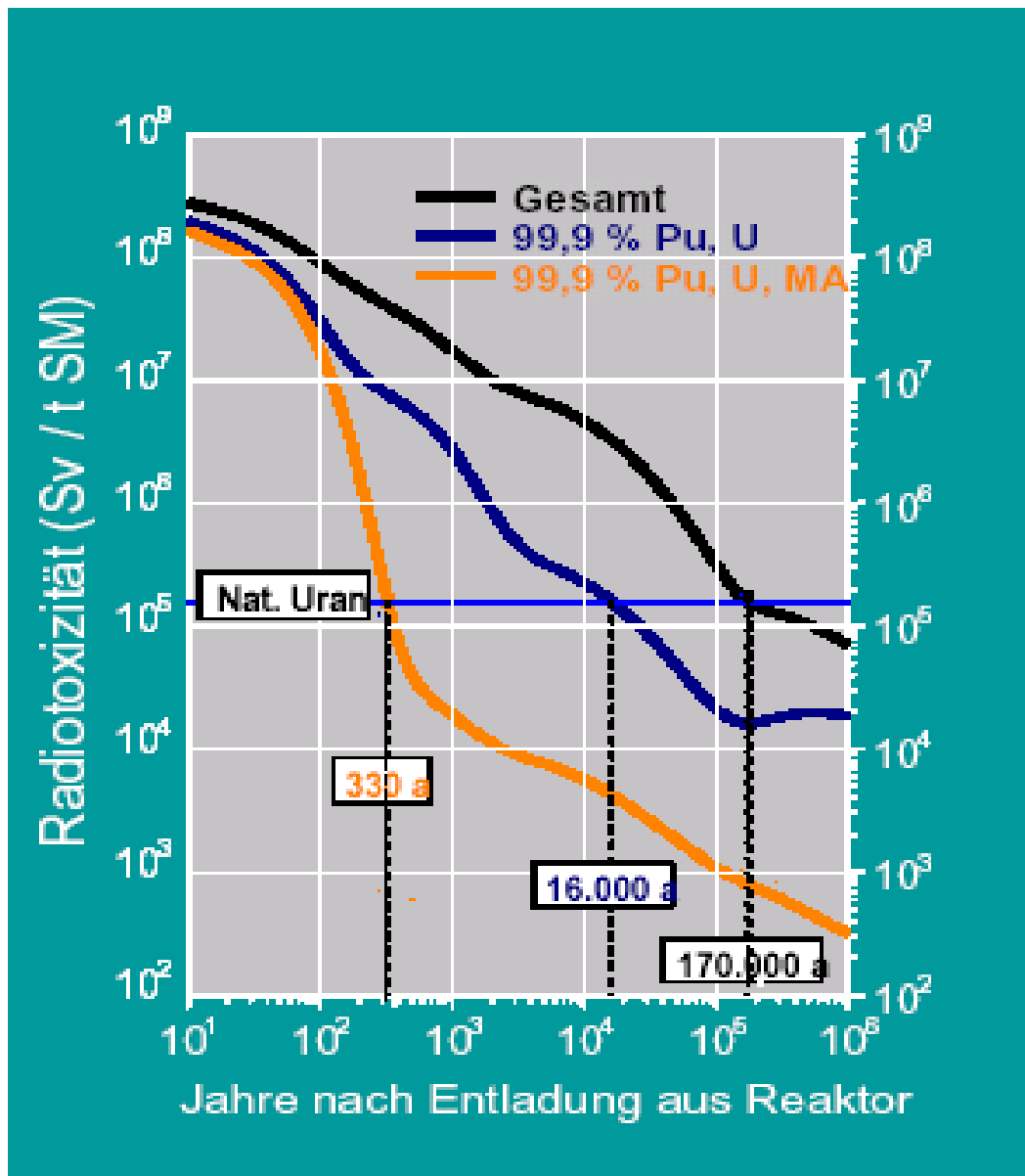
³⁰ Radioaktive Isotope (Radionucleide) zerfallen unter Ausstrahlung von Teilchenstrahlen und/oder harter elektromagnetischer Strahlung mit unterschiedlichen Intensitäten meistens über mehrere Zwischenstufen (Zerfallsketten) in unterschiedlich langen Zeiträumen schließlich in stabile Isotope.

³¹ Äquivalentdosis = Energiedosis mal biologische Effektivität. Die Einheit ist Joule/kg = Sievert (Sv).

³² Geeignetes Bezugsmaterial bestehend aus 99,28% Uran-238 ($T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$ Jahre) und 0,72% Uran-235 ($T_{1/2} = 7,1 \cdot 10^8$ Jahre). $T_{1/2}$ ist die Halbwertszeit; d. h. die Zeit, in der die Hälfte der Radionucleide zerfallen ist.

³³ Andreas Geist, Klaus Gompper, Michael Weigl, Thomas Fanghänel: Nachrichten. Forschungszentrum Karlsruhe 2/2004, S. 97-102.

Abb. 5. Radiotoxizität von abgebranntem Brennmateriel der KKW ohne Wiederaufbereitung (schwarze Kurve, Gesamt), wie in Deutschland nach dem Verbot des Transports von abgebranntem Brennmateriel, mit Wiederaufbereitung (blaue Kurve, Abtrennung und Umwandlung von 99,9% des Plutoniums und des Urans), wie international üblich, und nach Transmutation (rote Kurve, Abtrennung und Umwandlung von 99,9% des Plutoniums, Urans und der Actiniden), wie in der Zukunft vorgesehen, in Abhängigkeit von der Zeit. Diagramm nach Joachim Knebel, Kernreaktoren der Generation IV, Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Berlin, 04.03. - 09.03.2005.



Zur Endlagerung der radioaktiven Abfälle werden unterschiedliche Umgebungen diskutiert: Oberhalb der Erdoberfläche und tief im Erdboden im Urgestein oder in Salzstöcken^{34,35}. Die Ausbreitung von radioaktiven Substanzen von einem Endlager unter der Erdoberfläche ist nur über Wasser als Transportmittel möglich. Dazu wurden und werden theoretische Modelrechnungen zum Langzeitverhalten unter Annahme von verschiedensten Szenarien durchgeführt. Auch unter ungünstigsten Bedingungen erhielt man zusätzliche jährliche Strahlenexpositionen von nur einigen mSv³¹.

Im Vergleich zur Endlagerung stellen der Abbau von Uran, der Transport und der Betrieb von modernen KKW keine technischen Probleme mehr dar. Die Strahlenexposition des Menschen durch die Kernenergie ist im Vergleich zu anderen »natürlichen« Quellen vollständig vernachlässigbar (Abb. 6). Aufschlussreich ist auch ein Vergleich mit der Strahlenexposition bei einem 20-stündigen Flug, die bei 0,1 mSv liegt³⁶ und damit höher ist als die jährliche Belastung durch die Kernenergie in Deutschland.

Die Kernenergie hat folgende wesentliche Vorteile:

- Die Energiedichte (Energie pro Masseneinheit) von Uran ist millionenfach höher als die der fossilen Energieträger. Man benötigt z. B. deshalb eine viel geringere Rohstoffmenge im Vergleich zu fossilen Rohstoffen, um dieselbe Energiemenge zu erzeugen. Damit sind auch die Abfallmengen kleiner. Sie liegen außerdem konzentriert vor und werden nicht wie bei den fossilen Energien einfach in die Umwelt abgegeben.
- Die Kernenergie stellt neben der Energie aus Wasserkraft eine der saubersten Energien dar. KKW erzeugen keine Treibhausgase wie z. B. Kohlendioxid (CO₂). Abb. 7 zeigt den Vergleich mit anderen Energiearten, wobei auch die CO₂-Emissionen bei der Herstellung der Materialien und Gerätschaften zum Abbau der Energieträger und zum Bau der Kraftwerke berücksichtigt wurden.

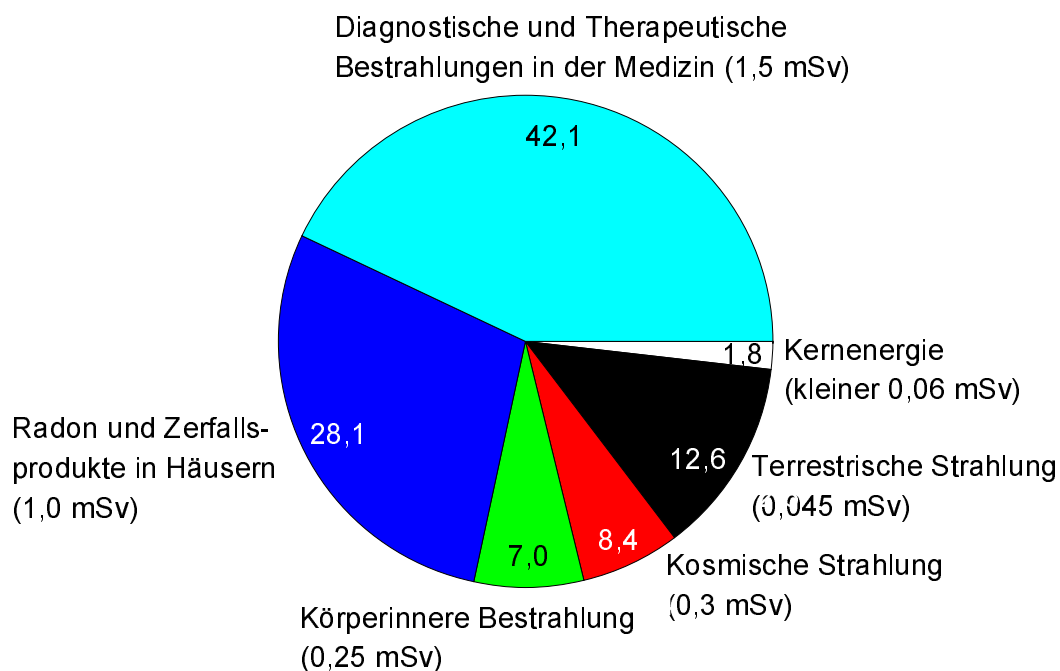
³⁴ Klaus-Detlef Closs: Radioaktivität und Kernenergie. Forschungszentrum Karlsruhe (2001)5.

³⁵ Heinz Böttiger: Ehrlich streiten über Kernenergie. In: Neue Solidarität, Wiesbaden (2003) 12 – 13.

³⁶ Impressum Energiespiegel. Paul Scherrer Institut, Schweiz, (2002)7.

- Die Kernenergie ist eine der billigsten Energien (Abb. 8). Das wird sich auch nicht ändern, wenn der Uranpreis³⁷ weiter steigt, da der Anteil an den Rohstoffkosten an den Gesamtkosten der Kernenergie klein ist, und die Preise der anderen Energieträger ebenfalls ständig steigen.

Abb.6. Strahlenexposition des Menschen in Deutschland in Prozent (mittlere jährliche Strahlenbelastung ca. 3,5 mSv). Die Zahlen in Klammern geben die Äquivalentdosis (= Energiedosis mal biologische Effektivität) an. Die Einheit ist Joule/kg = Sievert (Sv). Daten aus dem Internet, <http://www.kernenergie-wissen.de/neutronenstahlung.html>.



³⁷ Er betrug am 31.12.2004 am Tagesmarkt 20,50 \$/Pfund (Fachzeitschrift Metal Bulletin). Das ist bisher der höchste Preis, der sich nach Prognosen durch schrumpfende Reserven und wachsende Nachfrage in diesem Jahr um weitere 25% erhöhen wird.

Abb. 7. Menge von Kohlendioxid³⁸ für erneuerbare und nicht-erneuerbare Energiearten, die beim Bau des Kraftwerks (■), beim Abbau des Energieträgers (■) und bei der Energieerzeugung (■) frei gesetzt werden. Die Zahlen oberhalb der Säulen geben die Gesamtmenge an.

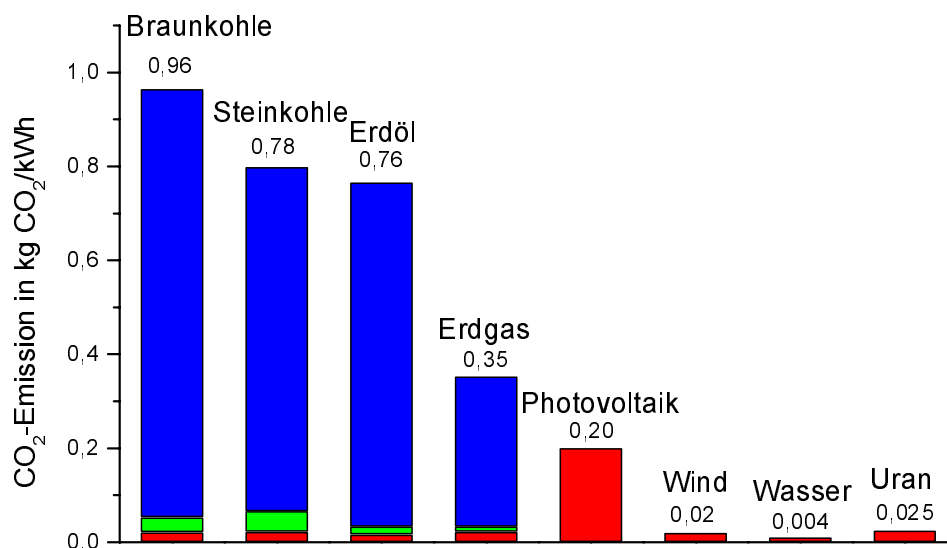
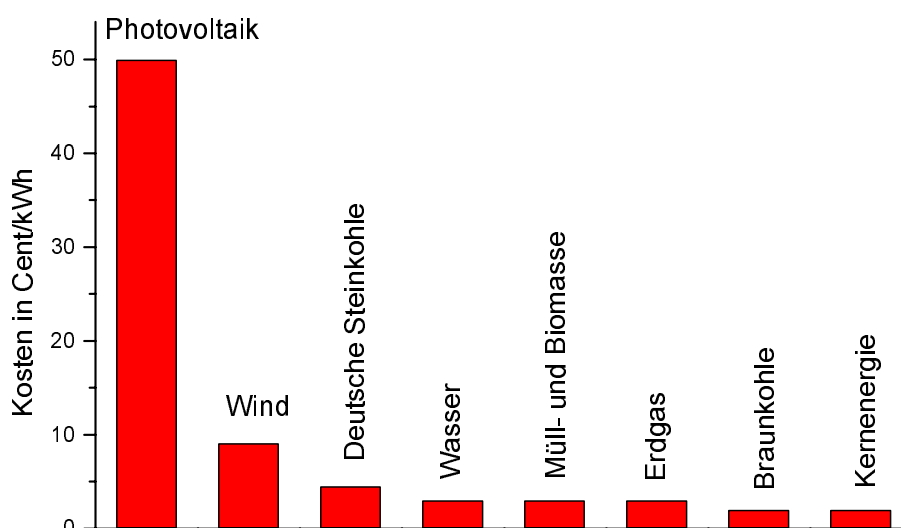


Abb. 8. Stromerzeugungskosten in Deutschland unter Berücksichtigung von Kapital-, Brennstoff- und Betriebskosten für erneuerbare und nicht-erneuerbare Energien in Euro Cent nach Helmut Alt, Versorgungssicherheit im Europäischen Verbundnetz, 2004.



³⁸ Günther Haupt: In: Conference on Renewable Energy. Siemens AG. Sonderborg 17.-19. 09.2003.

5. SCHLUSSBEMERKUNGEN

Zum Schluss möchte ich noch einige Anmerkungen zum beabsichtigten Ausstieg aus der Kernenergie anfügen.

Die nicht-erneuerbaren Energieträger gehen bald zu Ende. Dann muss die Menschheit weltweit mit regenerativen Energien auskommen. Der Übergang von der Energieversorgung mit nicht-erneuerbaren Energien zu der mit regenerativen Energien wird sich je nach den geologischen, klimatischen, gesellschaftlichen und politischen Bedingungen in den Ländern und Regionen sehr unterschiedlich vollziehen. In Deutschland wird insbesondere die Wind- und die Solarenergie durch beträchtliche Subventionen gefördert. Die Bedeutung der Energiegewinnung aus Biomaterialien wird steigen, und der Wasserstofftechnologie wird bis Mitte dieses Jahrhunderts eine große Zukunft vorausgesagt. Der Verzicht auf die friedliche Nutzung der Kernenergie in der gegenwärtigen internationalen Lage führt zu einer Reihe von Schwierigkeiten. Einige sollen im Folgenden kurz erwähnt werden.

Nach dem von der derzeitigen Bundesregierung beschlossenen Atomausstiegsgesetz muss die gesamte Menge des aus den KKW anfallenden abgebrannten Materials entsorgt werden (direkte Entsorgung). Die direkte Entsorgung stellt hohe Anforderungen an ein Endlager; d. h. ein Endlager muss die sichere Lagerung von Tausenden Tonnen radioaktiven Materials über 170.000 Jahre garantieren. Ein weiterer wichtiger Fakt ist, dass das zu entsorgende Material noch zum größten Teil (ca. 94 %) aus wertvollen Bestandteilen besteht. Mittels moderner Techniken (Trennung, Brennstoffbrüten, Wiederaufbereitung, Transmutation) kann in naher Zukunft jedoch die Zeit für die sichere Lagerung der Abfälle auf ca. 1000 Jahre³⁹ verkürzt und fast das gesamte Brennmaterial zur Energiegewinnung genutzt werden. Das Atomausstiegsgesetz trägt also entgegen seines Anspruchs nicht zum Schutz folgender Generationen vor Radioaktivität bei und es führt zur Vergeudung wertvoller Energieträger. Beides ist unverantwortlich.

Im Februar dieses Jahres ist das Kyoto-Protokoll über weltweite Klima-Schutzmaßnahmen als erster Schritt in dieser Richtung in Kraft getreten. Danach verpflichten sich die europäischen Staaten, die Treibhausgasemission bis 2020 um 30% zu reduzieren. Deutschland will sogar eine Reduktion von 40% erreichen. Die beiden energiepolitischen Zielstellungen, drastische Reduktion von Treibhausgasen auf der einen Seite und Ausstieg aus der Kernenergie bis 2021/2022 auf der anderen Seite, sind nicht

³⁹ Joachim Knebel: Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft. Berlin, 04.03.-09.03.2005.

gleichzeitig realisierbar. Die gesamte Leistung der heutigen KKW in Deutschland lässt sich bis 2021/2022 nicht durch erneuerbare Energien ersetzen; ein beträchtlicher Teil müsste durch Leistungssteigerung fossiler Kraftwerke und zusätzliche Kraftwerke ausgeglichen werden, die im Vergleich zu allen anderen Kraftwerken die meisten Treibhausgase produzieren (vgl. Abb. 7). Eine Abhilfe können auch neue Techniken zur Reduktion von Treibhausgasen in Kohlekraftwerken nicht schaffen. Solche Techniken vermindern zusätzlich die Effektivität und erhöhen die Stromkosten. Außerdem führt ein größerer Bedarf an fossilen Energieträgern zu größeren Abhängigkeiten von geopolitisch instabilen Regionen.

Eine Erhöhung des Anteils von nicht-erneuerbaren fossilen und erneuerbaren Energien am Gesamtenergiebedarf auf Kosten der Kernenergie verteuert die Stromkosten (vgl. Abb. 8), auch wenn die internationalen Preise für alle Energiearten konstant bleiben. Die internationalen drastischen Preissteigerungen der fossilen Energieträger, die mit zunehmender Erschöpfung der Reserven an Umfang und Geschwindigkeit wachsen, würde zusätzlich diese Entwicklung der Stromkosten in Deutschland verstärken und beschleunigen. Sozial unverträgliche Energiekosten in Deutschland bergen in sich zusammen mit anderen negativen Entwicklungen ein großes soziales Konfliktpotential.

Von den betriebenen fossilen Kraftwerken in Deutschland muss aus technischen und ökonomischen Gründen ein erheblicher Teil durch neue ersetzt werden. Mit der Stilllegung der KKW müssten zusätzliche Kraftwerke entsprechender Leistungen gebaut werden. Nach Abschätzungen¹³ wäre in den nächsten Jahren die Hälfte der heutigen Kraftwerksleistung durch neue Kraftwerke zu ersetzen, was Investitionsmittel in zweistelliger Milliardenhöhe⁵ erfordern und die Stromkosten zusätzlich erhöhen würde.

Deutschland war führend an der wissenschaftlich-technischen Entwicklung der Kernenergie und ihrer Sicherheitstechnik beteiligt. Durch den Ausstieg aus der Kernenergie würde Deutschland die Fachkompetenz verlieren, auf Nachbarländer einwirken zu können, die dann in stärkerem Umfang Strom aus ihren KKW nach Deutschland liefern würden. Forschungs- und Entwicklungskapazitäten auf dem Gebiet der Kernenergie sind schon in den letzten Jahren zunehmend in das Ausland abgewandert.

Fazit:

- Der Ausstieg aus der Kernenergie ist unverantwortlich.
- Die Energieversorgung in Deutschland zu wettbewerbsfähigen und sozial verträglichen Preisen und die ökologischen Ziele sind nur erreichbar und die Erhaltung des wissenschaftlich-technischen Standorts ist nur zu erhalten mit einem Energiemix aus der Kernenergie und den anderen Energien.

Notwendig ist:

- ? Die Revision des Atomausstiegsgesetzes?
- ? Die Verlängerung der Laufzeit der in Betrieb befindlichen KKW.
- ? Die Entwicklung und der Bau neuer, dem wissenschaftlich-technischen Entwicklungsstand entsprechender Kernenergieanlagen.
- Die sachliche Information (u. a. Darlegung der wissenschaftlichen Grundlagen der Kernenergie) der deutschen Öffentlichkeit über die Kernenergie.