Die Zukunft der Kernenergie

Vortrag vor Old Table 15 Freiburg am 16.2.2006

von Dipl.-Phys. Alvo v. Alvensleben

Einleitung

Lasst mich mit zwei Zitaten beginnen. Woher sie stammen, möchte ich erst hinterher verraten.
„Die Atomenergie kann zu einem Segen für Hunderte von Millionen Menschen werden, die noch im Schatten leben. ... Die Hebung des Wohlstandes muß allen Menschen zugute kommen. In solchem Sinne entwickelt und verwendet, kann die Atomenergie entscheidend helfen, die Demokratie im Innern und den Frieden zwischen den Völkern zu festigen. Dann wird das Atomzeitalter das Zeitalter werden von Frieden und Freiheit für alle."
Ende des ersten Zitats. Hier das zweite:
„Jeder Einwohner der Bundesrepublik verbraucht heute durchschnittlich fast 10 kWh elektrischer Energie am Tag, das ist die Arbeitskraft von durchschnittlich 10 Menschen… Doch unsere Versorgung mit Energie ist gefährdet. .. Wir müssen unsere vorhandenen Energiequellen besser ausnutzen und uns nach neuen Energiequellen umsehen. Eine der aussichtsreichsten, eine der zukunftsträchtigsten, eine der sichersten ist die Kernenergie, damit wir auch nach dem Jahr 2000 versorgungs- und krisensicher sind".

Zur Zeit sind einige der größten Länder der Erde dabei – nämlich Indien und China - , die Verheißung dieser Worte in die Wirklichkeit umzusetzen: „Segen für Hunderte von Millionen Menschen ... Die Hebung des Wohlstandes muß allen Menschen zugute kommen ...". Aber wer hat das denn so gesagt, und wann?
Das erste Zitat stammt aus dem „Atomplan", den die SPD auf ihrem Parteitag im Juli 1956 in München verabschiedet hat.
Das zweite wurde 1974 von der Regierung Schmidt als Postwurfsendung an alle Haushalte verteilt. Das war ein Jahr nach der ersten Öl-Lieferkrise vom November 1973 – mit ihren autofreien Sonntagen. Aus gutem Grunde hatte sich die damalige Bundesregierung überlegt, wie man sich ein wenig von der Abhängigkeit von den fossilen Brennstoffen befreien könne. Ich möchte in diesem Vortrag zeigen, dass ihre damaligen Schlussfolgerungen auch heute noch ihre Berechtigung haben.

Wenn man diese klaren Worte pro Kernenergie aus der Feder führender Sozialdemokraten gehört hat, muß man sich ja fragen, wie es zu der Kehrtwendung um 180 Grad gekommen ist, die von der heutigen SPD vertreten wird. Nicht nur, dass auf keinen Fall mehr neue KKWs in Deutschland gebaut werden sollen – es sollen nicht einmal die bestehenden KKWs bis zum Ende ihrer normalen Lebensdauer von 40 Jahren betrieben werden, für die sie beim Bau und bei der atomrechtlichen Genehmigung ausgelegt wurden. Statt dessen sollen sie im Durchschnitt schon nach 32 Betriebsjahren stillgelegt werden.

Strombedarf

Zunächst ein paar Worte zum Strombedarf in der Bundesrepublik.
Dazu schreibt die Financial Times Deutschland (FTD) vom 16.1.2006:
„Mit knapp 170 von 600 Milliarden insgesamt produzierten Kilowattstunden ist die Kernenergie das Rückgrat der Elektrizitätsversorgung. Hält die neue Regierung am Beschluss von Rot/Grün fest, in den nächsten 15 Jahren alle 17 heimischen Atommeiler abzuschalten, öffnet sich eine riesige Versorgungslücke. Wie soll diese Lücke auf eine verlässliche, umweltschonende und halbwegs bezahlbare Weise gestopft werden?

Mit erneuerbaren Energien ist das so schnell nicht zu bewältigen. Zwar hofft Umweltminister Sigmar Gabriel, ihr Anteil an der deutschen Stromerzeugung möge bis 2020 von 10 auf 25% hochschnellen. Doch dies dürfte ein frommer Wunsch bleiben: Die Wasserkraft, immer noch unser wichtigster regenerativer Energieträger, kann kaum noch ausgebaut werden. Wind bläst nicht immer. Weil aber der Strom sehr wohl regelmäßig aus der Steckdose kommen soll, müssen die Versorger konventionelle Kraftwerke mit fast derselben Leistung vorhalten.
Um zu erahnen, dass die Sonnenenergie in hiesigen Gefilden nur beschränkte Zukunft hat, reicht ein gelegentlicher Blick durchs Fenster.
Der jüngste Solar- und Biomasse-Boom nährt sich aus den gesetzlich festgelegten Einspeisevergütungen – die den aktuellen Strom-Börsenpreis um das zwei- bis zehnfache übertreffen. Die Differenz zahlt der Verbraucher, und sobald es an dessen Portemonnaie geht, schrumpft die Begeisterung für Erneuerbare: Nicht einmal 1,5 Prozent der deutschen Haushalte bezogen vor Jahresfrist reinen Ökostrom.
Gabriel weiß das – und fordert daher bei jeder Gelegenheit eine bessere Nutzung von Energie. Weltweit sind Effizienzsteigerungen dringend nötig, Deutschland ist allerdings auf diesem Pfad seit den Ölkrisen der 70er und 80er Jahre schon weit vorangekommen. Die Effizienzkurve hat sich daher zuletzt merklich verflacht. Um das Sparpotential noch weiter auszureizen, müssten Milliarden investiert werden – und die Deutschen müssten ihr Konsumverhalten grundlegend ändern. Kurzfristig ist dies utopisch: In den vergangenen 15 Jahren stieg der private und industrielle Stromverbrauch um 10 Prozent.
Damit das Licht in Deutschland nicht ausgeht, müssten wir also nach dem Atomausstieg noch stärker als bisher auf Energie aus dem Ausland bauen. Dies könnte durch mehr Direktimporte von Elektrizität geschehen. Damit aber wird automatisch Atomstrom gekauft, denn nicht nur in Frankreich, auch bei unseren östlichen Nachbarn boomt die Kernenergie. Während wir also unsere relativ modernen Kraftwerke, die nachgewiesenermaßen zu den sichersten der Welt gehören, in Frühpension schicken, laufen anderswo wesentlich ältere und wohl auch unsicherere Meiler auf Hochtouren - Deutschland sei Dank. Die Frage der Endlagerung bleibt übrigens so oder so offen.
Die Alternative wären weitere Importe fossiler Brennstoffe wie Kohle und Gas zum Verstromen vor Ort....“
Soweit das Zitat aus FTD. Es ist klar, dass dies dem offiziellen politischen Ziel der Verminderung von CO2-Emissionen zuwiderläuft. (Persönlich halte ich dies Ziel zwar für irrelevant, der Umweltminister sollte sich aber daran gebunden fühlen). Würden die Gas-Importe, (bei denen nur etwa halb soviel CO2 entsteht wie bei der Kohle), bis 2020 von derzeit 10 auf 40% vervierfacht, bedeutet der Atomausstieg jährliche Zusatzemissionen von mindestens 112 Millionen Tonnen CO2. Zudem hingen wir mehr denn je am Tropf russischer Gaslieferungen.
Beim Uran stellen sich solche Probleme kaum. Ich werde weiter unten darauf eingehen.

Mit welchen Argumenten wird nun von den Kernenergiegegnern das Festhalten am Atomausstieg begründet?
Die drei am häufigsten wiederholten sind
- 1. das Risiko für Leben und Gesundheit der Bevölkerung durch schwere Störfälle
- 2. die allzu begrenzte zeitliche Reichweite der Spaltstoff-Vorräte
- 3. das Fehlen eines langfristig sicheren Endlagers für die radioaktiven Abfälle

Ich halte alle drei Argumente nicht für stichhaltig. Das möchte ich nun begründen.

Stand der Technik heute

Für die Sicherheitsdiskussion gibt es zwei Bezugspunkte: Harrisburg und Tschernobyl.
Ich möchte auf beide hier nicht im Detail eingehen – weil sie für die Frage der Zukunft der Kernenergie keine bedeutende Rolle mehr spielen, jedenfalls nicht in Deutschland. Beide Kata-

strophen hätten sich so oder ähnlich, wie sie abgelaufen sind, in der Bundesrepublik nicht ereignen können. Im Falle Harrisburg 1979 hätten die sicherheitstechnischen Maßnahmen, wie sie in den deutschen Kernkraftwerken bestanden, einen ähnlichen Unfall verhindert. Im Falle Tschernobyl hätten schon dank den ganz anderen Konstruktionsprinzipien deutscher KKWs die Voraussetzungen für einen derartigen Unfall gefehlt.
Dass in der damaligen Sowjetunion Reaktoren gebaut wurden, in denen ein Unfall wie der von Tschernobyl vorkommen konnte, hängt damit zusammen, dass dieser Reaktortyp jederzeit leicht zugänglich sein sollte, um erbrütetes Plutonium für Atomwaffen entnehmen zu können. Inzwischen werden die noch vorhandenen Reaktoren dieses Typs mit westlicher Technik nachgerüstet.

Die Sicherheitsstrategie unserer Kernkraftwerke läßt sich so beschreiben:
Entscheidend ist bei allen Reaktortypen, dass sie einerseits auf alle *denkbaren* Fälle menschlichen und technischen Versagens „fehlerverzeihend" reagieren, und dass sie andererseits selbst bei den *undenkbaren* Fällen – sollten sie dennoch eintreten - dafür gerüstet sind, die Folgen des Störfalles zu begrenzen und zu beherrschen.

Es ist also **kein Zufall**, dass sich in den 27 Jahren seit Harrisburg kein gravierender Unfall in westlichen KKWs ereignet hat. In Biblis gab es 1987 einen Störfall, der von der Presse damals sehr hochgespielt wurde mit Spekulationen darüber, was alles hätte passieren können. Aber entscheidend ist, dass nichts wirklich Schlimmes passiert ist – kein Menschenleben ging verloren, und der Reaktor konnte auch wieder in Betrieb genommen werden und läuft noch immer. – Über einen anderen Störfall, eine Explosion im KKW Brunsbüttel am 14.12.2001 berichtete kürzlich, am 12. 1. 2006, die ZEIT. Auch in Brunsbüttel war kein Menschenleben in Gefahr, und der Reaktor ist ebenfalls noch in Betrieb. Ich denke, die fehlerverzeihende Sicherheitsstrategie der deutschen Ingenieure hat sich bestens bewährt.

Seit dem 11. September 2001 ist ein neuer Gesichtspunkt in der Sicherheitsdebatte aufgetaucht, und auf ihn muß ich hier eingehen. Wie schützt man ein Kernkraftwerk gegen terroristische Angriffe mit großen Passagiermaschinen?
Ich habe darauf keine einfache, allumfassende Antwort. Aber ich möchte doch eine Reihe von Überlegungen vortragen. Sie laufen darauf hinaus, dass einem solchen Anschlagsplan Schwierigkeiten entgegenstünden, die weit größer sind, als der Laie sich vorstellen mag.

Zunächst ist festzuhalten, dass seit den 70er Jahren zu den Auslegungskriterien eines KKW gehört, das es dem Absturz eines schnellfliegenden Düsenjägers standhalten muß. Ein entsprechendes Experiment ist in Arizona mit einem Düsenjäger und einer Betonwand gemacht worden. Der Düsenjäger schlug mit 800 km/Stunde gegen die Wand und ging natürlich buchstäblich „in tausend Stücke". Die Wand aber war nur 10 bis 30 cm tief „angeknabbert".

Weiter kann man sagen, dass ein Kernreaktor (mit rund 60 m Höhe und Breite) ein sehr kleines Ziel im Vergleich zu den 400 m hohen und 100 m breiten Türmen des World Trade Center darstellt. Es ist deshalb entsprechend schwerer zu treffen. Das Risiko eines Fehlschlages ist also groß – und könnte schon im Vorfeld etwaige Terroristen veranlassen, sich andere Ziele auszusuchen, etwa Staudämme, Fußballstadien, Industrieanlagen .... Allein in Deutschland muß man 7800 Objekte als mögliche Ziele terroristischer Angriffe einstufen. Man kann sie nicht alle schützen - wir müssen mit dieser möglichen Gefährdung leben.
Bezüglich eines möglichen Angriffes mit Flugzeugen auf gefährdete Anlagen müssen Primär-Maßnahmen gegen Terroristen im Flugzeug erfolgen: verschlossene Cockpit-Türen und Sicherheitspersonal (wie jetzt in den USA-Maschinen, sog. Sky Marshals). *Die Israelis tun dies seit 30 Jahren, und seit dieser Zeit sind noch keine Terroranschläge in El-Al-Maschinen erfolgt.*

Im Gespräch ist auch die Idee, Kernkraftwerke einzunebeln, um sie bei Gefahr unsichtbar zu machen. Vernebelungstechniker behaupten, entsprechende Wolken in sehr kurzer Zeit - in wenigen Sekunden – erzeugen zu können. Die entsprechenden Anlagen müssten allerdings erst noch rund um die Reaktoren herum errichtet werden.

Wer ernsthaft den Betrieb von Kernkraftwerken in der Bundesrepublik wegen der Terrorismusgefahr in Frage stellen will, muß konsequenterweise auch die Abschaltung aller Kernkraftwerke in unseren Nachbarländern fordern – Schweiz, Frankreich, Niederlande, Großbritannien, Norwegen, Schweden, Finnland usw. In Europa laufen zur Zeit 204 Kernkraftwerke. Hätte eine solche Forderung Erfolg, so könnten sich Terroristen jeden Angriff ersparen. Das angerichtete Wirtschaftschaos wäre schrecklicher als jeder denkbare „Bombenerfolg“.

Zeitliche Reichweite der Spaltstoff-Vorräte

Ich wende mich nun dem zweiten Argument der Kernkraftgegner zu.
Noch in jüngster Zeit hat Umweltminister Gabriel verlängerte Laufzeiten und den Neubau von Kernkraftwerken abgelehnt, weil „uns das von knappem Uran abhängig machen würde, das bei Verwirklichung gewünschter Ausbaupläne in nicht einmal 25 Jahren erschöpft sein würde“. Und der Ministerpräsident von Mecklenburg-Vorpommern, Harald Ringstorff, argumentierte, ein Wiedereinstieg in die Atomwirtschaft bringe „auf längere Sicht auch keine Energiesicherheit“. (zitiert aus der Frankfurter Rundschau, 11.1.2006)

Wie sieht es nun tatsächlich mit den Uranvorräten aus? Wieviel wird gebraucht, wieviel ist vorhanden, und wo? Hier eine kurze
Bestandsaufnahme
Weltweit sind 440 Kernkraftwerke in Betrieb, davon 204 in Europa, davon 17 in Deutschland
Ihr Jahresbedarf an Natururan beträgt 68 000 Tonnen.
Über die größten Uranvorkommen verfügen - in dieser Reihenfolge - Australien, Kasachstan, die USA, Kanada und Südafrika. Die Vorkommen sind somit geographisch breit gestreut und liegen meist in politisch stabilen Ländern. Derzeit sind Kanada und Australien mit einem Anteil von zusammen rd. 53 % die wichtigsten Produzentenländer vor Kasachstan, Niger, Russland, Namibia und Usbekistan.
Zur **Reichweite der Uranvorräte** zitiere ich nun den Artikel von Prof. Joachim Grawe (Honorarprofessor für Energiewirtschaft an der Universität Stuttgart) aus der Internet-Webseite „www.Energie-Fakten.de:

„Das Metall Uran, dessen Atomkerne in Kernreaktoren gespalten (nicht „verbrannt“ !) werden, ist in der Erdkruste und den Ozeanen weit verbreitet. Wie alles auf der Erde sind die Uranvorräte zwar endlich, bei effizienter Nutzung aber nach menschlichen Maßstäben unerschöpflich. Die gelegentlich zu hörende Behauptung, sie gingen in wenigen Jahrzehnten zur Neige, beruht darauf, dass fälschlich nur die bisher „nachgewiesenen Reserven“ betrachtet werden. Das ist aber nur ein Bruchteil der Vorräte. Die nachgewiesenen Reserven betragen in den drei Kategorien der Förderkosten bis 40, bis 80 und bis 130 US-$ je kg zusammen 7,36 Millionen Tonnen (Mio. t). Sie sind auf allen Kontinenten gut verteilt. Bei dem derzeitigen Jahresverbrauch von 68.000 t der weltweit betriebenen 440 Kernkraftwerke würden sie 108 Jahre reichen. Zu den genannten Mengen kommen zusätzliche mit Sicherheit zu erwartende Reserven und weitere„Ressourcen“ (Oberbegriff) von – jeweils geschätzten – 3,29 bzw. 8,17 Mio. t.

Über diese sog. konventionellen Gesamt-Ressourcen hinaus sind in Phosphaten etwa 22 Mio. t und im Meerwasser etwa vier Milliarden t Uran enthalten, die zu Kosten bis 100 (Phosphate)

bzw. bis 300 US-$ gewonnen werden könnten. Dies würde sich aber erst bei steigenden Energiepreisen oder in Brutreaktoren (siehe unten) lohnen.

Für die Erzeugung einer Mrd. Kilowattstunden (kWh) in einem der bewährten Leichtwasserreaktoren werden 22 t Natururan [1 Güterwagen] gebraucht (zum Vergleich: rd. 340.000 t Steinkohle – [11 000 Güterwagen]). Bei dem deutsch-französischen EPR (European Pressurized Reactor), der derzeit in Finnland gebaut wird, sind es weniger, in modernen Kohlekraftwerken ebenfalls. Durch Wiederaufarbeitung der nach 4 bis 5 Jahren im Reaktor ausgedienten Brennelemente und Rezyklierung der dabei zurück gewonnenen Spaltstoffe erhöhen sich die Uranvorräte um 30 %. Die Wiederaufarbeitung ist allerdings von der rot-grünen Bundesregierung verboten worden.

Die volle Nutzung des Urans ermöglichen Brutreaktoren. Prototypen wurden in verschiedenen Ländern erfolgreich betrieben. Derzeit sind sie gegenüber Leichtwasserreaktoren nicht wirtschaftlich. Brutreaktoren wandeln das nicht spaltbare Uran-Isotop U238 um in den Spaltstoff Plutonium (Pu239).
Hochtemperatur-Reaktoren können einen weiteren, in der Natur etwa ebenso häufig wie Uran vorkommenden Spaltstoff nutzen: Thorium.“
Soweit das Zitat von Prof. Grawe. Es ist die Kurzfassung eines Berichts, die hier genügen mag. Die Langfassung kann man im Internet unter „Energiefakten“ nachlesen.

Das Thema „Uranvorräte“ hat aber noch einen **anderen Aspekt**, der mir hier erwähnenswert erscheint. Aus den Zeiten des Kalten Krieges lagern in USA und in Russland beträchtliche Mengen von waffenfähigem Uran, an deren Beseitigung auch jedem Kernkraftgegner gelegen sein müsste. „Waffenfähig“ ist Uran, in dem der Anteil des Isotops U235 auf 90 – 95% angereichert ist. Natururan enthält neben U238 nur 0.7% U235; zur Verwendung in Kernreaktoren muß man es auf 3 – 5 % anreichern.
Das „Bombenuran“ mit 90 – 95% U235 wird als HEU (= Highly enriched Uranium) bezeichnet; niedrig angereichertes Uran (1.5 % U235) ist LEU (Lowly enriched Uranium).

Nutzung des Bomben-Urans
Seit 1993 gibt es ein Abkommen zwischen USA und Russland mit dem Ziel, die ersten 500 Tonnen Bombenuran (HEU) im Verlauf von 20 Jahren der zivilen Nutzung zuzuführen.
Die Konversion von 500 t HEU zu LEU durch Vermischen mit sehr schwach angereichertem Uran (1,5% U235) resultiert in ca. 15.800 t LEU (4,4%). Diese Menge entspricht wiederum ca. 160.000 t Natururan.
Die Brennstoffmenge von 500 t HEU ist etwa äquivalent dem Bedarf von 37 Kernkraftwerken vom Typ Leichtwasserreaktor mit 1300 MWe über die Laufzeit des Abkommens von 20 Jahren.
Vom Beginn der Lieferungen 1995 bis März 2001 wurden 3303 t LEU, hergestellt aus 113 t HEU, von Rußland an USA geliefert. *Das entspricht dem Abbau von 5000 sowjetischen Atombomben, die damit für friedliche Zwecke genutzt wurden*.
Über entsprechende Abkommen für Plutonium wird noch verhandelt.

Die Lösung für das Kernwaffen-Uran Russlands spielt eine sehr große Rolle in der Politik und in der Kooperation zwischen Russland und den USA, ganz einfach deshalb, weil sie (klaglos und reibungslos) funktioniert. Deswegen ist die Medienrelevanz dieser Angelegenheit nahezu Null. Sie taucht in keiner Erfolgsmeldung über den friedenserhaltenden Effekt der zivilen Nutzung der Kernenergie auf. Hier haben wir ein eklatantes Beispiel für die Tatsache, dass die friedliche Nutzung der Kernenergie de facto der Weiterverbreitung von Kernwaffen entgegenwirkt.

Endlager für radioaktive Abfälle

Damit wende ich mich nun dem dritten gewichtigen Einwand der Kernkraftgegner zu: Das **Fehlen von Endlagern** für die Beseitigung der radioaktiven Abfälle.

Zunächst müssen wir uns klarmachen, dass Endlager eingerichtet werden **müssen**, unabhängig davon, ob die Kernenergienutzung in der Bundesrepublik fortgesetzt wird oder nicht. Der in den letzten 50 Jahren bereits angesammelte Abfall muß ja irgendwo bleiben und sicher gegen den Austritt radioaktiver Stoffe verwahrt werden.

Das **ursprüngliche Konzept** zur Lösung dieses Problems sah vor:
1. Trennung der hoch- und niedrig-aktiven Abfälle
2. Lagerung der beiden Abfallarten in verschiedenen Endlagern mit unterschiedlichen Sicherheitsanforderungen.

Aber was geschah?
Unmittelbar nach Regierungsantritt 1998 hatte die rot-grüne Koalition beschlossen, das jahrzehntelang verfolgte Ziel, unterschiedliche Arten radioaktiver Abfälle in zwei verschiedenen Bergwerken unterzubringen, fallenzulassen und die Suche nach einer geologischen Formation, die **alle** Abfälle aufnehmen könnte, von vorn zu beginnen.
Nach einem Kostenaufwand von etwa 2,4 Milliarden DM (~ 1.2 Milliarden €) mussten die Erkundungsarbeiten in Gorleben wenige Jahre vor ihrem Abschluß eingestellt werden – aus politischen Gründen, nicht aus technischen. Mit den bis dahin vorliegenden Ergebnissen konnte in der vorgesehenen Endlagerteufe von etwa 800 m das Vorhandensein eines dichten Gebirges und die langfristig wirksame Funktion des Steinsalzes als natürliche Barriere nachgewiesen werden.
Annähernd sechs Jahre nach dem rot-grünen Koalitionsbeschluß hat die Bundesregierung weder eine Berechnung der damit verbundenen Kosten vorgelegt noch einen Beschluß des Bundestags über diesen Konzeptwechsel herbeigeführt. Dies wurde im September 2004 vom Bundesrechnungshof festgestellt und heftig kritisiert.

Die hochaktiven Abfälle umfassen 5% des Volumens, aber 99% der Radioaktivität. Die mittel- und niedrig-aktiven Abfälle bringen 95% des Volumens und 1% der Aktivität. Für diese letzteren Abfälle war die stillgelegte Eisenerzgrube „Konrad“ bei Salzgitter vorgesehen und behördlich genehmigt; zur Zeit laufen noch gerichtliche Einsprüche von Einwohnern der Nachbarschaft des Schachtes. *Technische Gründe gegen die Nutzung der Grube Konrad als Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle liegen aber nicht vor.*

Durch den Verzicht auf Schacht Konrad erhöhen sich die Kosten der Zwischenlagerung um 1,4 bis 1,9 Milliarden Euro, kritisiert der Bundesrechnungshof. Die Verlängerung der Zwischenlagerungszeit um mindestens zwanzig Jahre führe darüber hinaus „zu nicht unerheblichen Strahlenbelastungen" und „vor dem Hintergrund terroristischer Anschläge" auch zu zusätzlichen Sicherheitsrisiken.

Nach Aussage der Prüfer liegen dem Umweltministerium mehrere Gutachten vor, in denen die Nachteile des Ein-Endlager-Konzepts gegenüber der früher verfolgten Zweierlösung sowohl unter Sicherheitsaspekten als auch unter Kostengesichtspunkten nachgewiesen worden seien. *Das Ministerium habe diese Gutachten jedoch ignoriert und an seiner politischen Vorgabe festgehalten. Fachleute, die entgegenstehende Urteile abgegeben hätten, seien von der Beratung ausgeschlossen worden*. Obwohl die physikalischen Probleme einer gemeinsamen Einlagerung aller Arten radioaktiver Abfälle seit 1998 bekannt seien, habe das Ministerium erst 2004 einen Forschungsauftrag darüber vergeben. Insgesamt sei das Vorgehen des Ministeriums bei der Vorbereitung einer Entscheidungsgrundlage für den Bundestag weder systematisch noch zielführend gewesen.

Für die **Endlagerung der hochaktiven Abfälle** gibt es zwei Möglichkeiten: Eine ist die chemische Aufarbeitung der Brennelemente in einer Wiederaufbereitungsanlage, wie zum Beispiel im französischen La Hague oder im britischen Sellafield. Dabei wird der verbrauchte Kernbrennstoff aufgearbeitet, die Spaltprodukte vom Uran und Plutonium abgetrennt. Das Plutonium kann mit neuem Uran zu so genanntem MOX-Kernbrennstoff (Uran-Plutonium-Misch-Oxid) verarbeitet und wieder in Kernreaktoren zur Stromerzeugung genutzt werden. Die lästigen Spaltprodukte werden in Glas eingeschmolzen und sind in speziellen Behältern direkt für die Endlagerung geeignet. Die Vorteile dieser Verfahrensweise liegen auf der Hand: Spaltprodukte verschwinden in unlöslichem Glas, es wird nur ein kleines Volumen benötigt, und das Plutonium wird im MOX-Kernbrennstoff nutzbringend verwendet. Dieser vernünftigste Weg für die abgebrannten Brennelemente war laut „Atomkonsens" allerdings nur noch bis 2005 zulässig.

In Deutschland steht derzeit keine entsprechende Anlage zur Verfügung. Das Projekt der vorgesehenen Wiederaufbereitungsanlage im bayerischen Wackersdorf wurde nach massiven, teilweise gewaltsamen Protesten fallen gelassen. Hinzu kam, dass es sich auch für die Energiewirtschaft als ökonomischer erwies, statt der teuren Wiederaufarbeitung die Brennelemente der direkten Endlagerung zuzuführen, auf die Wiederverwendung des erzeugten Plutoniums zu verzichten und statt dessen preiswertes Uran zu verwenden. Ähnlich erging es der MOX-Anlage in Hanau, die zur Wiederverwendung des Plutoniums in Kernreaktoren und damit zur Entsorgung geplant war. Aufgrund immer neuer Auflagen durch den damaligen hessischen Umweltminister Joschka Fischer gab schließlich der Betreiber auf und verzichtete auf die Inbetriebnahme. Die voll funktionsfähige Anlage wurde zerlegt und in Kisten verpackt, um vielleicht irgendwann doch noch nach China verkauft zu werden.

Die zweite, ab 2005 einzig zulässige Möglichkeit ist die direkte Endlagerung der abgebrannten Brennelemente ohne vorherige Wiederaufarbeitung. Die Brennelemente in den Castorbehältern werden dabei in standortnahen Zwischenlagern (Wasserbecken) etliche Jahre zum weiteren Abklingen der Radioaktivität gelagert.

Als Endlager für den radioaktiven Abfall unter der Erde erscheinen Salz, Granit und Ton als grundsätzlich geeignet.

Endlager-Sicherheit

In einem Vortrag zu diesem Thema habe ich schon 1991 gesagt, daß ich die Beseitigung dieser Abfälle nicht nur für lösbar, sondern die Lösung auch vor allen künftigen Generationen für vertretbar halte. Eine solche Behauptung bedarf einer eingehenden Begründung.
Zunächst ist festzustellen, daß der Einschluß in Glas und Edelstahl nach bisherigen Experimenten und Erfahrungen ausreicht, sicherzustellen, daß das eingeschlossene Material auch nach 10 000 Jahren nicht in die Umwelt entweichen könnte; d.h. die Umhüllung hält der Strahlenbelastung durch das eingeschlossene Material stand. Damit ist eine erste Barriere geschaffen.

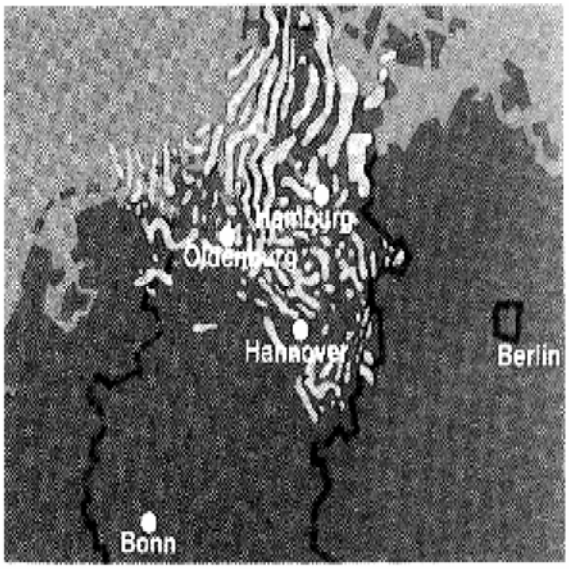
Die zweite und wichtigste Barriere ist die Tieflagerung der Stahlbehälter in geeigneten Salzstökken. Salzstöcke haben 3 wichtige Eigenschaften, die sie für die Endlagerung hochaktiver Abfälle hervorragend geeignet erscheinen lassen:

- Erstens hat Salz eine sehr gute Wärmeleitfähigkeit; es werden also Hitzestaus in der Lagerstätte vermieden;
- zweitens ist das Salz unter Druck und Hitze plastisch verformbar, so daß einmal entstandene Risse, etwa durch Sprengungen oder Erdbeben, sich von selbst wieder schließen;
- und schließlich existieren solche Stöcke, von denen es in Norddeutschland etwa 200 gibt, seit mehr als 100 Millionen Jahren; das bedeutet, dass es langfristig stabile Gebilde sind, die in geologischen Zeiträumen nicht durch Grundwasser ausgelaugt worden sind.

In Deutschland wurde der Gorlebener Salzstock als mutmaßlich geeignet zur weiteren Erkundung ausgewählt. Falls er sich als ungeeignet erweisen sollte, dürfte es kein unlösbares Problem sein, unter den 200 bekannten Stöcken in Norddeutschland einen anderen zu finden, der sich eignet. Von Interesse ist dabei auch, daß es Stöcke mit einem Volumen von *mehr als 100 Kubikkilometer* gibt - das sind gigantische Ausmaße sogar im Vergleich zu den Volumina von hochaktiven Abfällen, mit denen wir es *weltweit* in den nächsten Jahrhunderten zu tun haben werden.

Es scheint mir lohnend, die **Stabilität des Gorlebener Salzstocks** durch seine Geschichte zu beschreiben, weil sie eindrucksvoller als irgendwelche Zahlenspielereien zeigt, wie fest man auf diese Art der Endlagerung *langfristig* vertrauen kann:

„Die außerordentliche Stabilität der Salzstöcke erkennt man aus der Betrachtung der Veränderungen, die sich seit ihrer Bildung auf der Erde und in der Erdkruste vollzogen haben. Nach Bildung des Salzstockes Gorleben (Alter: 240 Millionen Jahre) begann zum Beispiel die nordamerikanische Scholle sich von der europäischen zu trennen. Im Süden Deutschlands setzte die Auffaltung der Alpen und im mittleren und nördlichen Teil Deutschlands der Aufstieg des Rheinischen Schiefergebirges und des Harzes ein. Gegen Ende der Kreidezeit vor etwa 60 Millionen Jahren wurde die bis dahin von Meer bedeckte norddeutsche Tiefebene Festland. In der Tertiärzeit fand in Norddeutschland ein dreimaliger Wechsel zwischen Meer und Festland statt. Die Heraushebung der Alpen und der Mittelgebirge setzte sich fort. Die Gräben im Rheintal, in der Rheinischen Bucht und im Leinetal brachen ein. In der anschließenden, etwa eine Million Jahre dauernden Quartärzeit wurde das Gebiet von Gorleben dreimal von Eis überschoben und von Wasser überdeckt. Beim Abschmelzen der Gletscher blieben jeweils Ablagerungen von Geröll, Sanden und Kiesen zurück. Diese geologischen Ereignisse, die mit heftiger Erdbebentätigkeit verbunden gewesen sein dürften, konnten die Form und Lage eines Salzstocks wie Gorleben nicht verändern, weil sein Schwereausgleich mit den überlagernden Schichten abgeschlossen war. Daher kann man aus geologischer Sicht davon ausgehen, daß Salzstöcke die radioaktiven Abfälle, wenn die sachgerecht eingelagert sind, sicher verschließen werden.“



Allein in Norddeutschland gibt es über 200 Salzstöcke. Davon haben einige ein Volumen von mehr als 100 km^3.

Hier möchte ich noch einen möglichen Einwand gegen die Stabilität des Salzstockes Gorleben von einem Fachmann kommentieren lassen:
Bericht von:
Prof. Dr. Ing. Dipl. Geologe, Gert Michel,
Dannenberg, ehem. Abteilungsleiter im Geologischen Landesamt NRW in einem Leserbrief Elbe-Jeetzel-Zeitung 21.09.2004

Behauptung: „ Der Salzstock Gorleben steht im schnell fließenden Grundwasser und kann niemals die notwendige Millionen Jahre Langzeitsicherheit bieten“.

Diese Aussage ist wissenschaftlich schlichtweg falsch und schürt unnötige Ängste bei der Bevölkerung im Wendland.
Steinsalz löst sich selbstverständlich in schnell fließendem Grundwasser. Das weiß jedes Kind. Nur existiert der Salzstock in seiner heutigen Gestalt bereits seit über 100 Millionen Jahren, weil er keinen Kontakt zu Süßwasser hat. Denn das Grundwasser in der Umgebung des Salzstockes ist eine Sole, also eine gesättigte Salzlösung, welche kein Salz mehr zu lösen vermag. Der Salzstock ist somit durch eine ruhende „Sole-Mantel-Barriere“ und zusätzlich durch wasserundurchlässige Tonschichten vor einer Auflösung geschützt. ...

Der Salzstock ist wie weltweit kaum ein anderes Endlager-Projekt geologisch und hydrogeologisch weitgehend sehr sorgfältig erkundet. *Anstatt die Eignung durch weitere Erkundung abschließend zu bestätigen oder aber gegebenenfalls zu verneinen, wurde sie willkürlich unterbrochen. Eine solche Verschwendung von Finanzmitteln und hochqualifizierten Arbeitskräften ist unverantwortlich.*
(Prof. Michel ist seit Jahrzehnten Hydrogeologe von unangefochtenem nationalem und internationalem Rang.)

Wie steht es nun mit der **Langzeit-Überwachung** eines Salzstock-Endlagers?

Eine Überwachung ist nur für den Zeitraum erforderlich, in dem noch Abfälle eingebracht werden. Danach können Hohlräume und Zugänge mit Salz, Bitumen und Beton verschlossen und das Endlager sich selbst überlassen werden. Ein Endlager, das auf ständige Bewachung angewiesen wäre, könnte natürlich nicht den Anspruch erheben, einen dauerhaft sicheren Einschluß zu gewährleisten. Die Sicherheit der Endlagerung in einem Salzstock beruht aber weitgehend auf Naturgesetzen. Menschliche Dummheit oder Unachtsamkeit wird kaum eine Rolle spielen können, wenn das Material 600 bis 1000 Meter tief in der Erde liegt.-

Das sogenannte Endlagerproblem könnte also schon seit Jahren gelöst sein.
Im Jahre 1999 hat aber Bundesumweltminister Trittin einen Erkundungsstopp für Gorleben verfügt und einen Arbeitskreis AkEnd gegründet, der deutschlandweit nach Alternativstandorten suchen soll. Damit kann nun wieder offiziell behauptet werden, das Endlagerproblem sei ungelöst, was gemeinhin als eines der Hauptargumente gegen die Nutzung der Kernenergie vorgebracht wird.

Die Zukunft der Kernenergie

Während in Deutschland noch mit unzutreffenden Argumenten gegen die Verlängerung der Laufzeiten der bestehenden Kernkraftwerke von 32 auf 40 Jahre gestritten wird, werden im Ausland Fakten geschaffen:
- Die USA haben die Laufzeitverlängerung für bisher 35 ihrer 104 KKWs von 40 auf 60 Jahre genehmigt.
- Das KKW der Niederlande darf 20 Jahre länger laufen
- Die Schweden haben die bis 2010 abzuschließende Nutzung der Kernenergie unbefristet verlängert
- In Finnland ist ein sechstes KKW eines neuen Typs („EPR, 3. Generation“) im Bau
- Frankreich hat ebenfalls den Bau eines EPR-Reaktors beschlossen und den Ort dafür ausgewählt
- Die Schweiz hat für ihre KKWs eine unbefristete Betriebsgenehmigung erteilt.

- Bulgarien plant den Bau von 2 1000-MW-Reaktoren. Der erste Block soll binnen 5 Jahren (bis 2011) am Netz sein.
- China plant 2-3 KKW pro Jahr bis 2020. (Dadurch steigt die Kapazität von 9.000 auf 40.000 MW),
- Die Ukraine will bis 2030 11 neue KKWs bauen.
- In Japan ging am 9. März 2005 das 55. KKW ans Netz.

- Viele litauische Politiker befürworten den Neubau eines KKWs. (Energie-Experten in Litauen stellen allerdings die Notwendigkeit eines neuen KKW in Frage.

- Das atomfreie Estland hat angekündigt, sich über die staatliche Energiegesellschaft Eesti Energia an einem künftigen litauischen KKW-Projekt beteiligen zu wollen

Mein Kommentar: In allen hier genannten Ländern werden die Entscheidungen für weiteren Ausbau oder Laufzeitverlängerungen anhand des voraussichtlichen Bedarfs getroffen. Nur in Deutschland wurde (unter der rot-grünen Regierung) zuerst ideologisch entschieden, dass die Kernenergienutzung auslaufen soll – bevor genauer über den Bedarf nachgedacht wurde.

Und damit bin ich beim letzten Teil meines Vortrages:
Wie sieht denn die Zukunft der Reaktortechnik aus?

Die Reaktoren vom Typ EPR, die in Finnland im Jahre 2009 und in Frankreich 2011 in Betrieb gehen sollen, verfügen über noch weiter gehende Sicherheitseinrichtungen als die derzeit hauptsächlich benutzten „Leichtwasser-Reaktoren. Beispiel: Gegen ein Durchschmelzen und im-Boden-versinken des Reaktorkerns im Falle einer Kernschmelze erhalten sie eine speziell ausgeführte Reaktorgrube aus keramischem Material mit separater Notkühlung

Zwei große US-Unternehmen (Constellation Energy und AREVA) kündigten im September 05 die Gründung eines Gemeinschaftsunternehmens UniStar Nuclear an. Das Unternehmen soll die 1. Serie neuer KKW (für die USA) entwickeln und verwirklichen. Der dann standardisierte 1.600 MW-Reaktor basiert auf AREVAs weiterentwickeltem Druckwasserreaktor, der jetzt in Finnland und demnächst in Frankreich gebaut wird. (Presseinfo AREVA 20.9.05)

Neben den überwiegend genutzten Druck- und Siedewasserreaktoren sind unter den Ende 2003 weltweit betriebenen 439 Kernkraftwerken noch einige andere Reaktortypen in Betrieb, etwa Natururan-Schwerwasserreaktoren, Helium-Gasgekühlte Reaktoren und im ehemaligen Ostblock auch noch einige Reaktoren vom Tschernobyltyp, die allerdings heute mit Unterstützung der westlichen Länder auf einen erheblich verbesserten Sicherheitsstandard gebracht wurden.

- Südafrika: Der in Deutschland entwickelte Hochtemperaturreaktor, der in Hamm-Uentrop mit 300 MW 16 .000 Stunden betrieben wurde, wird in Südafrika weiterentwickelt. Der in Südafrika als PBMR (Pebble Bed Modula Reactor) bezeichnete Reaktortyp wird mit Helium gekühlt und mit Graphit moderiert. Der Prototyp mit 165 MW el. Leistung, inhärenter Sicherheit, einem Nettowirkungsgrad von 41 % und Stromgestehungskosten von unter 3,5 US-cents/kWh soll 2010 nach gut 2 Jahren Bauzeit in Betrieb gehen.
Erste kommerzielle Module, die in 4 er oder 6 er Packs geschaltet werden, sollen ab 2013 verfügbar sein. RWE Nukem wird sich am Fertigungsprozess der Brennstoffe beteiligen. Südafrika will die drastische Abhängigkeit von der Kohle (die 90% des Stromes liefert) reduzieren. Südafrika ist reich an Uranvorkommen. (VDI-Nachr., 9.9.05) Dieser Reaktortyp wird derzeit mit deutscher Hilfe außer in Südafrika auch in China weiterentwickelt. Er besitzt aufgrund seiner Bauweise besonders vorteilhafte Sicherheitsmerkmale. Er ist inhärent sicher, so dass auch bei Totalausfall aller Systeme keine Kernschmelze mit Entweichen von Radioaktivität auftreten kann.

In sogenannten „Schnellen Brütern" wird Kernbrennstoff durch Umwandlung des nicht spaltbaren Urans 238 (bzw. Thorium 232) in spaltbares Material, nämlich Plutonium 239 (bzw. Uran 233), erbrütet. (Das Wort „schnell" bezieht sich dabei nicht auf die Geschwindigkeit des Vorganges, sondern darauf, dass – im Gegensatz zu normalen Reaktoren – nicht mit „langsamen", abgebremsten Neutronen (ca.1 –10 km/s), sondern mit ungebremsten schnellen Neutronen (10 000 bis nahe 300 000 km/s) gearbeitet wird. In der Bilanz wird dabei Strom produziert und zugleich *mehr* Kernbrennstoff erzeugt (erbrütet) als laufend verbraucht wird. Solch ein „Brüter" wurde im nordrhein-westfälischen Kalkar zu 90 Prozent fertiggestellt, nach jahrelangem politischem Streit und ständig neuen technischen Nachforderungen der Behörden aber schließlich von der Industrie aufgegeben. *Anlagen vom Typ Schneller Brüter arbeiten zur Zeit noch in Russland und Japan*. Die Technologie dürfte dann wieder interessant werden, wenn das Natururan teurer wird.

- Indien: Min.Präs. Dr. Singh sagte bei der jährlichen Indian Nuclear Society Conference: Indien sollte die Entwicklung der Schnellbrüter-Technologie fortsetzen und seine großen Thorium-Vorkommen nutzen. - Im Oktober 2004 begann Indien mit dem Bau eines 500 MW-Prototyp-Reaktors, der mit Uran-Plutonium-Oxid gefüllt ist und der über eine Thorium-Ummantelung verfügt, in welchem Uran-233 erbrütet wird. U-233 ist wie U-235 als Kernbrennstoff geeignet. (THE WORLDS NUCLEAR NEWS AGENCY

Ein besonders interessantes Reaktor-Konzept ist in den USA in Entwicklung.
Unter der Federführung des Energieministeriums wurde damit begonnen, speziell *für den dezentralen Einsatz in der Dritten Welt* kleine *transportable und wartungsfreie,* versiegelte Kernreaktoren zu entwickeln. Die SSTAR genannten Minikraftwerke („small, sealed, transportable, autonomous reactor") funktionieren nach dem Prinzip des Schnellen Brüters. Sie werden betriebsbereit per Schiff und LKW geliefert, produzieren Strom, ohne dass irgendwelche Eingriffe erforderlich sind, und werden schließlich nach 30 Jahren Betriebszeit wieder abgeholt. Per Satellit wird überwacht, dass die Versiegelung nicht geöffnet wird. Bis 2015 soll der erste Prototyp fertiggestellt sein.

Ein Wort noch zur Frage der möglichen **Zukunftstechnik Kernfusion**, also Verschmelzung von Wasserstoffkernen (Deuterium) zu Helium. Dies ist der Prozess, mit dem die Sonne ihre Energie erzeugt. Ob es je gelingen wird, die technischen Schwierigkeiten zu überwinden, die noch ungelöst sind, darüber wage ich keine Voraussage. Seit meiner Studentenzeit vor 50 Jahren und noch bis heute wird gesagt, bis zur kommerziellen Nutzung der Kernfusion werde es noch 50 Jahre dauern. Anders ausgedrückt: In absehbarer Zeit, also in 40 oder weniger Jahren, werden die technischen Probleme *nicht* gelöst sein. Aber der Versuch, sie zu lösen, ist jede Anstrengung wert – als Ziel winkt eine dauerhafte Lösung der Energieprobleme für die ganze Menschheit. Der „Brennstoff" Deuterium steht in den Weltmeeren in praktisch unbegrenzter Menge zur Verfügung.

Ich denke, diese kleine Übersicht über laufende Entwicklungen – leider alle außerhalb Deutschlands, aus dem für viele von ihnen die ersten Impulse ausgingen – zeigt, wie aktiv in anderen Ländern weltweit an der Weiterentwicklung der Kernenergie gearbeitet wird. Hans Olaf Henkel, ehemals Präsident des Bundesverbandes der Deutschen Industrie, hat das in seinem Buch „Die Kraft des Neubeginns" so kommentiert:
„Was seit Jahrzehnten mit der deutschen Energieversorgung angestellt wird, kann ich tatsächlich nur als ein schlimmes Spiel bezeichnen. Daß wir weltweit **führend in der Reaktortechnologie waren** und **unsere Atomkraftwerke die sichersten der Welt** sind, dürfte auch den Deutschen bekannt sein. Daß wir fast die einzigen sind, die diese umweltfreundlichen Energiequellen abschaffen, weiß auch jeder. Daß sogar unser bewundertes Partnerland Frankreich

vermehrt auf Kernenergie setzt, scheint uns kalt zu lassen. **Wir sind** nun einmal **die Fortschrittlichsten, wenn es um technologische Selbstdemontage geht**".

Diese pessimistische Feststellung soll aber nicht am Ende meines Vortrages stehen.
Ich denke, ich konnte zeigen, dass die wesentlichen Argumente gegen die Kernenergie in Deutschland nicht aufrecht zu erhalten sind. Es wird wohl nur noch kurze Zeit dauern, bis auch in Deutschland die vernünftigen Argumente zugunsten der Kernenergie wieder mehrheitsfähig sein werden.

Quellenangaben

Alvensleben, Alvo v.: Die Beseitigung radioaktiver Abfälle. Vortrag 1991 (unveröff.)
Bild der Wissenschaft: Energie. Themenheft 10/2005
Böttiger, Dr. Herbert: Ehrlich streiten über Kernenergie. Neue Solidarität, Februar/März 2003
Botzian, Dr. Rudolf: ew-Dossier: Kernkraftwerke der vierten Generation: amerikanische Initiative im Kontext internationaler Politik. www.Energie-Fakten.de, ew Jahrgg.103, 2004, Heft 11, S. 44-50
Bundesminister für Forschung und Technologie: Kernenergie – eine Bürgerinformation. 4. Auflage, Bonn 1981
FAZ: Bundesrechnungshof rügt rot-grünes Endlagerkonzept. 8.September 2004
Gerwin, Robert: Die Weltenergieperspektive. Analyse bis zum Jahr 2030. Vorgelegt von der Max-Planck-Gesellschaft
Grawe, Joachim: Wie lange reichen die Uranvorräte? www.Energie-Fakten.de, 10.1.2006
Hecking, Claus: Das schwedische Modell. Financial Times Deutschland, 16.1.2006
Henkel, Hans Olaf: Die Kraft des Neubeginns. Verlag Droemer Knaur 2004
Herrmann, Albert-Günther: Ist eine langfristig sichere Endlagerung in Gesteinen der Erdkruste möglich? www.Energie-Fakten.de, 28.2.2002
Nukleare Entsorgung. Herausgeber: Der Bundesminister für Forschung und Technologie, Referat Öffentlichkeitsarbeit, 1. Auflage Bonn 1981
Koelzer, W.: Lexikon zur Kernenergie. Kernforschungszentrum Karlsruhe, Oktober 1989
Lindner, Dr. Ludwig: Die Wiederkehr der Kernenergie, NOVO Nr. 73/ 11.2004-02.2005
Lindner, Dr. Ludwig: KTG-Fachgruppe Nutzen der Kerntechnik, Kurzinfos Nr. 150 – 176, 2004-2006
Meller, Dr. Eberhard: Neue Weichenstellungen in der Energiepolitik. VDEW Arbeitskreis Zukunftsenergien. 19. Oktober 2005
Michaelis, Hans: Kernenergie. DTV Wissenschaftliche Reihe, März 1977
Niemann, Dr. Lutz: Die Kosten der Energiepolitik von Rot-Grün. www.buerger-fuer-technik.de
Seidel, Jürgen: Kernenergie – Fragen und Antworten. ECON-Verlag 1990
Ufer, Dr, Dietmar: Analyse der energiewirtschaftlichen Situation 2005 in Deutschland. 15. Zittauer Seminar, September 2005. www.Energie-Fakten.de/pdf/Ufer-hintergrund.pdf
Wingender, Hans-Jörg: Schwerter zu Pfluscharen – Megatonnen zu Megawatt. Kann Atomwaffenmaterial für friedliche Zwecke genutzt werden? www.Energie-Fakten.de, 2002
Waas, Ulrich: Kernenergie – ein Votum für Vernunft. dtv-Sachbuch, 4. erw. Auflage 1986
„Sauber, aber explosiv", Die ZEIT, 12.1.2006, S. 19