

Klaus Buchner

Kleines Einmaleins der Atomkraft und ihrer Folgen

Vor wenigen Wochen gab EU-Kommissionspräsident Jean-Claude Juncker seinen Investitionsplan bekannt: Er will 320 Milliarden Euro als Anregung für ein neues Wirtschaftswachstum mobilisieren. Schon unmittelbar nach dieser Ankündigung beantragten mehrere Länder hohe Subventionen für den Bau neuer Atomkraftwerke. Polen beabsichtigt sogar, neu in die Nutzung der Atomkraft einzusteigen. Bevor die europäische Energiewirtschaft sich jedoch erneut der Atomkraft zuwendet, sollten ein paar einfache Fakten abgewogen werden. Sollen kurz vor dem Durchbruch der erneuerbaren Energien noch Milliardensummen in eine nicht-beherrschbare Technologie fließen?

1. Uran – der schmutzige Rohstoff

Die Probleme der Atomkraft sind offensichtlich: Sie beginnen bei der Gewinnung des Urans. Die dazu abgebauten Gesteine und Sande enthalten bestenfalls ein knappes Prozent Uran. Weil bei der Urananreicherung viel dieses Metalls verloren geht, muss man für den Jahresbedarf eines großen AKW-Blocks mindestens eine halbe Million Tonnen radioaktiven Gesteins oder Sands abbauen. Diese waren aber vorher mit Erde, anderen Gesteinen oder Wasser bedeckt, so dass kaum Radioaktivität in die Umwelt gelangen konnte. Wird diese schützende Deckschicht jedoch verletzt, entweicht das radioaktive Gas Radon unkontrolliert in die Umgebung. Wegen

der großen Mengen des abgebauten Materials ist es nicht wirtschaftlich, den Abraum ordnungsgemäß zu entsorgen. Die

[Eine deutsche Studie] zeigt einen hochsignifikanten Anstieg der Krebsfälle, insbesondere von Leukämie, in der Nähe von Kernkraftwerken, der bei Kindern besonders deutlich ausgeprägt ist.

mit Schwermetallen belasteten, radioaktiven Materialien werden meist einfach auf riesigen Halden gelagert, oft zusammen mit den Säuren, mit denen das Uran aus dem Gestein gelöst wird. So werden die Menschen in dieser Umgebung nicht nur durch das radioaktive Gas Radon geschädigt, sondern auch noch durch den vom Wind verwehten Staub des gemahlenden Gesteins und durch die Giftstoffe, die in das Grundwasser gelangen.

Die Folge sind Lungenerkrankungen wie Silikose und Tuberkulose, Nierenschäden und Krebs bei den Minenarbeitern und den Anwohnern. Davon erfährt man wenig, weil die Minen fast immer in Siedlungsgebieten von Ureinwohnern liegen, z. B. in den USA und in Kanada in Indianerreservaten, in Australien bei den Aborigines und in Namibia, das bis 1990 von Südafrika mit dessen Apartheitspolitik verwaltet wurde.¹ Besonders menschen-

verachtend sind die chinesischen Uranminen in Tibet und die Urangewinnung im Iran, wo der Urmia-See, Irans größter Binnensee, ausgetrocknet wird, um an den uranhaltigen Sand auf dessen Boden zu kommen. Der Wind trägt diesen Sand bis weit über die Landesgrenzen.

2. Atomkraftwerke – eine Technologie mit hohem Risiko

Nach einer aufwändigen Verarbeitung wird das Uran in die Brennelemente eingebaut, die in den Atomkraftwerken eingesetzt werden. Dabei ist ein großer Vorteil gegenüber anderen Kraftwerken, dass ein Brennelement sehr viel Energie enthält, so dass problemlos der gesamte Jahresbedarf eines AKW direkt auf dem Gelände gelagert werden kann. Das garantiert eine hohe Versorgungssicherheit in Krisenzeiten.

Dem stehen die Schwierigkeiten gegenüber, dass bei einem Unfall sehr große Mengen an Radioaktivität freigesetzt werden können, und auch im Normalbetrieb viele Menschen in der unmittelbaren

Prof. Dr. Klaus Buchner, geboren 1941, ist studierter Kernphysiker und lehrte bis zu seiner Emeritierung 2006 an der mathematischen Fakultät der TU München. Von 2003 bis 2010 war er Bundesvorsitzender der Ökologisch-Demokratischen Partei (ÖDP). Bei der Europawahl am 25. Mai 2014 trat er als Spitzenkandidat der ÖDP an und wurde zum Mitglied des Europäischen Parlaments gewählt.

Umgebung von AKWs erkranken. Das wurde schon vor Jahrzehnten in Großbritannien² und später auch in anderen Ländern festgestellt, z. B. in Frankreich³, Japan und den USA. Die wichtigste Studie über Krebsfälle um deutsche AKW wurde 2007 veröffentlicht.⁴ Sie zeigt einen hochsignifikanten Anstieg der Krebsfälle, insbesondere von Leukämie, in der Nähe von Kernkraftwerken, der bei Kindern besonders deutlich ausgeprägt ist.⁵ Die Autoren dieser staatlich finanzierten Studie behaupten jedoch, dass die geringe Radioaktivität, die von den Atomkraftwerken ausgeht, dafür nicht verantwortlich sein kann.

Das Problem bei diesen Untersuchungen ist, dass die staatlichen Stellen einen ursächlichen Zusammenhang zwischen den Krebserkrankungen und den kerntechnischen Anlagen nicht zugeben können, weil sie sonst verpflichtet wären, diese stillzulegen. Sie vergleichen dabei meist die von den AKWs freigesetzte Radioaktivität mit der natürlichen, der man etwa in einem Flugzeug ausgesetzt ist. Dieser Vergleich ist aber nicht zulässig⁶, weil die radioaktiven Stoffe aus den AKWs als Gase eingeatmet oder über die Nahrungskette vom Menschen aufgenommen werden. So verbleiben sie eine Zeitlang im Körper, während die Höhenstrahlung nicht an ein chemisches Element gebunden ist und deshalb nur von außen auf den Körper wirkt.

3. Die Entsorgung des radioaktiven Materials: Ein Provisorium für Jahrmillionen

Nach drei bis fünf Jahren Standzeit werden gewöhnlich die Brennelemente wieder aus den Reaktoren der AKWs entfernt, weil das Uran 235 zu einem Großteil verbraucht ist. Danach müssen die Brennelemente gekühlt werden, denn der radioaktive Zerfall der im Reaktor entstandenen Spaltprodukte erzeugt immer noch sehr viel Wärme. Wird diese nicht abgeführt, kann sich das Material derart erhitzen, dass das Uran schmilzt. Dann sammelt sich die Schmelze zunächst am Boden an. Wegen ihrer hohen Temperatur von mindestens 1 200 °C frisst sie sich nach einiger Zeit durch den Boden und verseucht das Grundwasser weiträumig. Man kann zwar

versuchen, die Schmelze mit Wasser zu kühlen. Dabei geht man allerdings das Risiko ein, dass sich Wasserstoff bildet, der explodiert.

Im unten stehenden Kasten über Atomunfälle werden mehrere Ereignisse aufgeführt, bei denen es zu einer teilweisen oder vollständigen Kernschmelze gekommen ist. Auch im Reaktor Fukushima I-4, der 2011 zur Zeit des Tsunamis nicht in Betrieb war, bestand lange die akute Gefahr einer Kernschmelze, weil die Kühlung für das Becken mit den verbrauchten Brennelementen nicht sichergestellt war.

Nachdem die Brennelemente mindestens ein Jahr im Abklingbecken gelagert wurden, können sie in Spezialbehälter (z. B.

„Castoren“) verpackt und transportiert werden. Aber nirgendwo in der Welt wurde ein Endlager gefunden, das den Atommüll für mehrere Millionen Jahre sicher einschließt. Es ist auch kein Ort bekannt, wo das möglich wäre.⁷ Deshalb werden die verbrauchten Brennelemente entweder in Zwischenlager oder in eine Wiederaufbereitungsanlage verbracht. Erstere sind einfache Hallen beim AKW, die nicht annähernd gegen terroristische Angriffe geschützt sind. Die Wiederaufbereitungsanlagen sind ebenfalls keine sinnvolle Lösung des Müll-Problems. Denn sie wurden eigentlich zur Gewinnung des Plutoniums für Atombomben gebaut. In militärischen Einrichtungen wird meist nicht genügend auf die radioaktive Verseuchung geachtet, die von solchen Anlagen

Einige Atomunfälle

8.10.1957: Sellafeld. Reaktorbrand. Mind. 1 000 Tote. Weitere schwere Unfälle auf diesem Gelände: 1973, 1975, 1979, 1998, 2005

29.9.1957: Majak (Kysthym) bei Tscheljabinsk (Russland), Explosionen; offizielle Berichte: 450 000 Menschen verstrahlt.

1977: Teilkernschmelze im damals tschechoslowakischen AKW Bohunice A1. Das Grundwasser ist dort heute noch kontaminiert.

28.3.1979: Harrisburg (USA), teilweise Kernschmelze. Die Zahl der Toten wurde nicht offiziell bekannt gegeben.

26.4.1986: Tschernobyl. 600 000-800 000 „Liquidatoren“; meist Wehrpflichtige. Die meisten sind krank oder tot. 135 000 Menschen wurden evakuiert.

1993: Tomsk (Russland), Explosion. 500 g Plutonium freigesetzt. (30 Millionstel Gramm sind tödlich.)

30.9.1999: Tokaimura (Japan), unkontrollierte Kettenreaktion in Brennstoffwerk. Zahl der Toten nicht bekannt.

2007: Das japanische AKW Kashiwazaki-Kariwa mit 7 Reaktoren und 8 212 MW ist das stärkste AKW der Welt. 2007 brannte eine Trafo-Station nach einem schweren Erdbeben. Kontaminiertes Wasser trat ins Meer aus; die Anlage wurde für 21 Monate abgeschaltet.

25.8.2008: Fleurus/Belgien: 45 000 000 000 Becquerel an radioaktivem Jod 131 über Kamin freigesetzt. Die Bevölkerung wurde erst 6 Tage später informiert und aufgefordert, kein Wasser, Obst, Gemüse oder Milch aus der Umgebung zu verwenden.

11.3.2011: Durch eine riesige Tsunami-Welle wurden die Notkühlungen von drei der vier Reaktoren des AKW Fukushima I außer Betrieb gesetzt. Es kam zu drei Kernschmelzen. Das Brennelementelager des vierten, abgeschalteten Reaktors konnte lange Zeit ebenfalls nicht ausreichend gekühlt werden. Die Umgebung des AKW und das Meerwasser wurden weiträumig sehr stark verstrahlt. Die Zahl der Toten ist nicht bekannt.

ausgeht. So ist es nicht verwunderlich, dass die Umgebung sowohl von Sellafield (=Windscale), als auch von La Hague weiträumig stark radioaktiv belastet ist. Dementsprechend häufen sich dort auch die Krankheiten.⁸ Dabei wird nicht einmal die Menge des radioaktiven Abfalls verringert – im Gegenteil: Nach der Behandlung in einer Wiederaufbereitungsanlage erhöht sich der radioaktive Müll erheblich, weil viele Materialien kontaminiert werden.

Allein das ungelöste und wahrscheinlich unlösbare Problem der sicheren Entsorgung des radioaktiven Materials über Jahrtausende hinweg müsste für jeden vernünftigen Menschen Argument genug sein, sich vehement der Atomenergie entgegenzustellen.

4. Was wäre wenn? Unfälle und ihre Folgen für die Menschen

Kein AKW in Europa ist ausreichend gegen militärische oder terroristische Angriffe geschützt. Deshalb ist ein Land mit Atomkraftwerken praktisch nicht zu

verteidigen. Eine weitere Gefahr besteht, wenn bei einem Siedewasserreaktor (siehe Kasten) plötzlich kein Strom mehr abgenommen werden kann. Das passierte am 13. Januar 1977 in Block A des AKW Gundremmingen (bei Günzburg an der Donau). In den Hochspannungsleitungen gab es zwei Kurzschlüsse durch Raureif. Der Reaktor konnte nicht schnell genug abgeschaltet werden. Um Schlimmeres zu verhindern, wurde das gesamte Reaktorgebäude mit Wasser geflutet. Vermutlich wurde das radioaktive Wasser aus dem Reaktorgebäude später einfach in die Donau geleitet. Am Kraftwerk gab es einen Totalschaden.

Auch der Ausfall der Kühlung stellt eine große Gefahr dar. Das war der Grund für die Kernschmelzen in den drei Reaktoren von Fukushima I. Für einen solchen Unfall braucht es aber keinen Tsunami: Im Juli 2006 gab es bei Wartungsarbeiten im schwedischen AKW Forsmark 1 einen Kurzschluss. Dadurch war die Stromversorgung unterbrochen. Zwei der vier Notstromaggregate sprangen nicht an. Deshalb fielen mehrere Sicherheitssysteme

aus; 22 Minuten lang war die Lage außer Kontrolle, und es gab keine ausreichende Notkühlung. Das AKW stand kurz vor einem GAU. Ähnlich mangelhafte Sicherheitssysteme besaßen auch deutsche AKW.

Außer diesen beiden Unfällen gab es viele weitere (siehe Kasten). Hier interessiert besonders die Katastrophe von Tschernobyl, weil die medizinischen Folgen gut untersucht wurden. Man unterscheidet die Langzeitfolgen von den akuten Strahlenschäden, die schon nach Tagen oder Wochen zum Tod führen. Dabei werden durch die Strahlung so viele Zellen abgetötet oder gestört, dass lebenswichtige Funktionen im Körper nicht aufrechterhalten werden können. Besonders betroffen sind dabei die Zellen, die sich schnell teilen, wie die blutbildenden Zellen im Knochenmark, deren Ausfall das Immunsystem schädigt („Tschernobyl-Aids“). Auch die Zellen des „Darmepithels“ sind besonders empfindlich. Ihre Schädigung verursacht Störungen des Wasser- und Mineralhaushalts, die zum Tod führen können. Äußerlich erkennt man die akuten Strahlenschäden oft am Haarausfall.

Wie funktioniert ein Atomkraftwerk?

Atomkerne bestehen im Wesentlichen aus Protonen und Neutronen. Wird ein Atomkern der Sorte Uran 235 von einem Neutron getroffen, so spaltet er sich in zwei Teile auf (z. B. in einen Kern von Iod 139 und einen von Yttrium 96). Daneben werden auch ein bis drei Neutronen freigesetzt. Nehmen wir eine Reaktion mit zwei Neutronen. Diese können zwei neue Atomkerne spalten, insgesamt entstehen also vier Neutronen. Im nächsten Schritt sind es acht usw. Es entsteht eine ganze Lawine von Reaktionen, bei der sehr viel Energie freigesetzt wird. Das ist das Prinzip der Atombombe.

Bei einem AKW muss sichergestellt werden, dass jede Kernspaltung genau eine weitere erzeugt. Wären es zwei, würde der Reaktor wie oben beschrieben explodieren. Wären es weniger als eine, würde die Kettenreaktion zum Erliegen kommen. Deshalb schiebt man „Steuerstäbe“ entsprechend weit in den Reaktorkern, die die überzähligen Neutronen absorbieren.

Die wichtigsten Typen von AKW sind Siedewasser- und Druckwasserreaktoren. Bei den Siedewasserreaktoren wird Wasser im Reaktor bei etwa 70 bar auf 290° C erhitzt. Dabei verdampft es. Dieser Dampf treibt eine Turbine an. Anschließend wird er gekühlt, so dass er wieder zu Wasser kondensiert, das in den Reaktor zurückgepumpt wird. Durch die Radioaktivität des Dampfes wird das Personal belastet. Außerdem gefährdet jedes Leck in den langen Leitungen für den Dampf die Sicherheit des AKW.

Deshalb baut man Druckwasserreaktoren mit zwei Kreisläufen: Das Wasser wird im Reaktor bei einem wesentlich höheren Druck von etwa 160 bar auf 330° C erhitzt. Deshalb verdampft es nicht mehr. Es wird in einen „Dampferzeuger“ geleitet, in dem Wasser eines zweiten Kreislaufts zum Verdampfen gebracht wird. Dieser Dampf treibt die Turbine an.

Bei den Langzeitfolgen betrachtete man lange Zeit nur die Leukämie. Nach Tschernobyl war davon aber nur eine relativ kleine Gruppe von 15 000 oder 20 000 Menschen betroffen, meist Kinder und Jugendliche. Aus Daten des ukrainischen Gesundheitsministeriums und aus den Gebietskrankenhäusern von Gomel (Weißrussland) ergibt sich ein erschütterndes Bild: Im Bezirk Gomel beobachtete man sehr häufig Erkrankungen der Atemwegsorgane, der Nerven- und Sinnesorgane, der Verdauungsorgane und der Haut bzw. des Unterhautgewebes.⁹ Die meisten Personen litten an mehreren dieser Krankheiten. Ähnlich schlimm sieht es in der Ukraine aus: 1993 waren nur noch 31,7 % der Bewohner in den belasteten Gebieten gesund; bei den Evakuierten (135 000 Menschen) waren es noch 27,5 %.¹⁰ Dabei spielt Krebs zahlenmäßig eine untergeordnete Rolle. Es sollte noch erwähnt werden, dass bei über 13 % der Betroffenen ernste psychische Schäden oder Gedächtnisverlust beobachtet wurden. Dies trägt wohl auch zu der sehr hohen Selbstmordrate unter den Strahlenopfern bei.

5. Trotz allem: Warum immer noch Atomenergie?

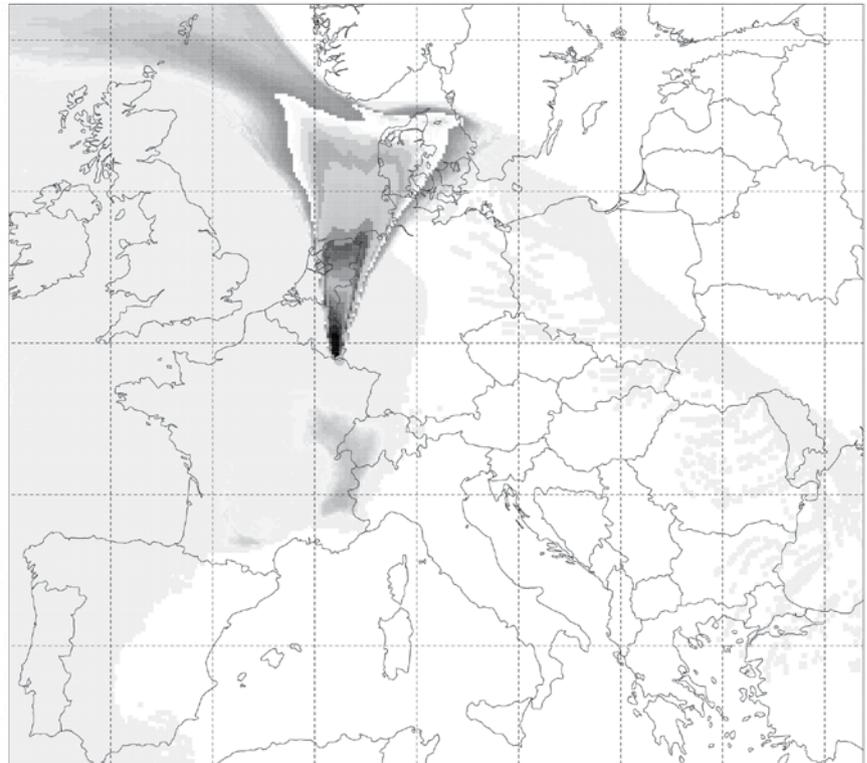
Inzwischen ist Strom aus neuen AKW wesentlich teurer als Strom aus Onshore-Windkraftanlagen und sogar als Strom aus großen Solaranlagen.¹¹ Wem nützt also Atomkraft? Der Grund dafür, dass immer noch AKW laufen, sind die enormen Subventionen und der damit verbundene Gewinn für die Stromversorger. Eine Umlenkung der Subventionsströme und eine tatsächliche, auch persönliche Haftung im Falle von Unfällen und bei der Endlagerung würde das Interesse der Stromversorger sowie der Anlagebauer (Alstom, General Electric, ...) auf einen Schlag beenden. Die hohe Versorgungssicherheit durch die AKW könnte darüberhinaus auch mit Erneuerbaren Energien erreicht werden. Die Tatsache, dass Sonne und Wind nicht immer zur Verfügung stehen, wenn Strom gebraucht wird, lässt sich durch moderne Gaskraftwerke ausgleichen, die in Sekunden hochgefahren werden können. Das deutsche Gasnetz ist so groß, dass daraus auch ohne Sonne, Wind und Gaseinspeicherung die Stromversorgung für Wochen sichergestellt wäre. Luxemburg könnte sich hier ohne weiteres mit einbinden. Später könnte das Gas sogar mit überschüssigem Windstrom erzeugt werden. Für die Umsetzung dieser Vision fehlt jedoch zurzeit noch der politische Wille. ♦

1 Krumbholz E., Kressing F. (Hrsg.), *The World Uranium Hearing*, München, Salzburg, The World Uranium Hearing e.V., 1992; Nahr S., Peters U. (Hrsg.), *Poison Fire Sacred Earth*, München, The World Uranium Hearing e.V., 1992.

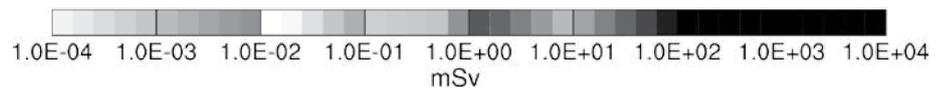
2 Cook-Mozaffari P.J., Vincent, T., Forman, D., Ashwood, F.L., Alderson, M., *Cancer incidence and mortality in the vicinity of nuclear installations, England and Wales, 1959-1980*, London, Stud. Med. Popu. Subj. 51, H.M. State Office, 1987.

3 Die französischen Studien sind weniger aussagekräftig: Sermage-Faure C., Laurier D., Goujon-Bellec S., Chartier M., Guyot-Goubin A., Rudant J., Hémon D., Clavel J., *Childhood leukemia around French nuclear power plants - the Geocap study 2002-2007*, *Int. J. Cancer*, 2012 Sep 1; 131(5), 2012. Bde. 131 (5), E769-780. Vgl. dazu auch die Kommentare in dieser Zeitschrift. Siehe ebenfalls: Hill C., Laplanche, A. *Overall mortality and cancer mortality around French nuclear sites*, *Nature* 347, 1990, S. 755-757.

4 Kaatsch P., Spix, C., Schmiedel, S., Schulze-Rath, R., Mergenthaler, A., Blettner, M. *Epidemiologische Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken*, [s.l.]: Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und des Bundesamts für Strahlenschutz, 2007.



Copyright: Project flexRISK (flexrisk.boku.ac.at), financed by Klima- + Energiefonds, Austria



Eine Simulation des Forschungsprojekts flexRISK zeigt den Teil Europas, der bei einem schweren Unfall in Cattenom Strahlung (7-Tagesdosis der Schilddrüse) ausgesetzt wäre. Die Karte basiert auf den Wetterbedingungen vom 9. Oktober 1995.

5 Für Leukämien wurde eine Erhöhung des Risikos im 5-km-Bereich um die AKW von ca. 120% gefunden, für alle bösartigen Tumore ca. 60%.

6 Körblein A. *Kinderkrebs um Kernkraftwerke: Stationen einer Aufklärung*, *umwelt.medizin.gesellschaft* 24, 2011, S. 15-23; Lengfelder E., *Krebs bei Kindern in der Umgebung von Kernkraftwerken / KiKK-Studie*, München: Strahlenbiologisches Institut der Ludwig-Maximilian-Universität München, 2008.

7 Die nötige sichere Verwahrung von Atommüll ergibt sich aus folgender Überlegung: Von Plutonium 242 wurden bisher allein in Deutschland mehrere Tonnen erzeugt. 30 mg davon sind tödlich, wenn sie als Feinstaub eingeatmet werden. Die Halbwertszeit von Plutonium 242 beträgt 370 000 Jahre. – Beispiele für derzeitige Planungen: Das schwedische Endlager wird den Müll bestenfalls einige hundert Jahre sicher einschließen. Denn die Behälter, in die der Müll eingebracht werden soll, werden danach völlig korrodiert sein. – In der Schweiz untersucht man Tonschichten, die das Endlager aufnehmen sollen, die aber nur gut 100 m dick sind. Sie können in diesem geologisch unruhigen Gebiet keine Sicherheit für mehrere Millionen Jahre bieten.

8 Im 10-km-Umkreis um La Hague ist das Leukämierisiko bei den Fünf- bis Neunjährigen um das drei- bis sechsfache erhöht. Siehe: Bürger V. *Wissenschaftler bestätigen erhöhte Blutkrebserate in La Hague*, *innovations report*, 2001, 28.6.2001 und Pobel D. *Viel J.F. Case-*

control study of leukaemia among young people near La Hague nuclear reprocessing plant: the environmental hypothesis revisited, *Brit. Med. J.*, 314, 5-10, 1997. In der Umgebung von Sellafield findet man ähnliche Ergebnisse bei Kindern, deren Väter vor der Zeugung hoher Radioaktivität ausgesetzt waren. Siehe: Gardner M. J., Snee, M. P., Hall, A. J., Powell, C. A., Downes, S., Terrell, J.D., *Results of case-control study of leukaemia and lymphoma among young people near Sellafield nuclear plant in West Cumbria*, *Brit. Med. J.* 300, 6722, 1990, S. 423-429. Siehe auch: Kinlen L. *Childhood leukemia, nuclear sites, and population mixing*, *Brit. J. Cancer* 104(1), 12-18, 2011.

9 Organisatorisch-methodische Abteilung der Gomeler Gebietskrankenhäuser, Gomeler Gebiets-Gesundheitszentrum: *Grundlegende Daten zu den Erkrankungen der Einwohner des Gebiets Gomel von 1985-1995*, Gomel 1996.

10 V. A. Buzunov, Gesundheitsministerium der Ukraine, *Forschungszentrum für Strahlenmedizin, Institut für Epidemiologie*, Kiew 1996.

11 Für die zwei neuen Blöcke des AKW Hinkley Point sollen umgerechnet 11-12 Cent/kWh über 30 Jahre mit Inflationsausgleich bezahlt werden; für Windstrom dagegen weit weniger (je nach Größe der Anlage 4,87 bis 8,93 Ct/kWh), und selbst für Solarstrom in großen Anlagen zur Zeit nur knapp 11 Ct/kWh, beides ohne Inflationsausgleich und nur 20 Jahre lang.