

Kernenergie

*Ende aller Sorgen
oder
Sorgen ohne Ende?*



1938 – 2008
Siebzig Jahre Kernspaltung
Rückblick und Ausblick

Liebe Leserin, lieber Leser,

Bisher sind in der Reihe „Schönberger Blätter“ die folgenden Beiträge erschienen. Sie stehen in gedruckter Form zur Verfügung (farbiges Deckblatt, geklammert, A4) und können gegen Erstattung der Unkosten (ca. 5 Cent je bedruckte Seite + Versand) bestellt werden:

- SB 1: GENE, GENETIK, GENTECHNIK? (Dem Geheimnis des Lebens auf der Spur) - 19 Seiten
- SB 2: Unter die Lupe genommen: Biomedizin, Gentechnik, Ethik – (In-vitro-Fertilisation, Klonen, Stammzelltherapien und Embryonenforschung, Pränatale genetische Diagnostik, Präimplantationsdiagnostik, Gentherapie, Gentechnische Herstellung von Medikamenten, Ethisch-theologische Erwägungen); Hrsg. der Originalfassung dieser Arbeitshilfe: Diakonisches Werk der Ev.-Luth. Landeskirche Sachsens, Radebeul, 2001; überarbeitete und aktualisierte Ausgabe – 58 Seiten
- SB 3: Grüne Gentechnik - Essen aus dem Genlabor? – Der Einsatz der Gentechnik in der Landwirtschaft und in der Nahrungsmittelherstellung - 19 Seiten
- SB 4: Gut gerüstet für den Ernstfall - Wie ich selbst VORSORGE treffen kann für Unfall, Krankheit und Alter – Betreuungsverfügung, Vorsorge-Vollmacht, Patientenverfügung – mit Muster-Formularen - 20 Seiten
- SB 5: Glaube und Naturwissenschaft im Spannungsfeld von Weltbildern und Bibelverständnissen, Ideologie und Ethik; Beispiele „Schöpfung contra Evolution?“ und „Stammzellforschung“ - 39 Seiten
- SB 6: Organspende - Pflicht aus Nächstenliebe oder Verstoß gegen die Menschenwürde? - 15 Seiten
- SB 7: Sonne, Mond und Sterne ... Der Mensch im Kosmos; Vom Werden und Vergehen der Gestirne - und was das Geschehen am (physikalischen) Himmel mit unserer Existenz zu tun hat – 19 Seiten
- SB 8: Ist die Welt ein Würfelspiel? – Entdeckungen der Chaosforschung – 17 Seiten
- SB 9: Wie viele Menschen (er-)trägt die Erde? Überlegungen zum Wachstum der Weltbevölkerung – 11 Seiten
- SB 10: Klima-Wandel – vom Menschen verursacht? (Was es mit dem „Treibhauseffekt“ auf sich hat – und was uns das angeht) – 17 Seiten
- SB 11: Energie für die Zukunft – Einstiege und Ausstiege, 26 Seiten
- SB 12 In Würde sterben (Der Weg des Sterbens aus medizinischer, seelsorgerlicher und theologischer Sicht, Begleitung Sterbender, Sterbehilfe, Schmerztherapie, Hospizarbeit, Patientenverfügung); Hrsg. der Originalfassung dieser Arbeitshilfe: Diakonisches Werk der Ev.-Luth. Landeskirche Sachsens, Radebeul, 2004, überarbeitete und aktualisierte Ausgabe - 57 Seiten
- SB 13: Schöpfung contra Evolution? – Glaube und Naturwissenschaft – wie Feuer und Wasser? - 13 Seiten
- SB 14: Gut leben statt viel haben – von Bedürfnissen und Lebensstil, Wachstum und Genügsamkeit - 14 Seiten
- SB 15: Klonen, Stammzellen, Embryonenforschung – Biomedizin, Gentechnik, Ethik – 15 Seiten
- SB 16: Unser tägliches Brot – Ernährungsgewohnheiten und ihre Folgen: für uns selbst, für Landwirtschaft und Umwelt und für die Dritte Welt – 13 Seiten
- SB 17: „GOTT würfelt nicht!“ Wenn Naturwissenschaftler von GOTT reden – was meinen sie damit? Sammlung von Äußerungen von Aristoteles, Galilei, Newton, Darwin, Planck, Einstein, Hawking und anderen Naturwissenschaftlern – 17 Seiten
- SB 18: Kritische Stimmen zur Evolutionstheorie und zur historisch-kritischen Auslegung der Bibel: „Kreationismus“, „Intelligent Design“, „Schöpfungs-Wissenschaft“; Sammlung von Zitaten und Argumenten und deren (selbst-) kritische Bewertung - 24 Seiten
- SB 19: Hirnforschung und Willensfreiheit – Argumente, Interpretationen, Deutungen – 20 Seiten
- SB 20: Genetik und Gentechnik – Fakten, Argumente, Zusammenhänge (Sammlung von Fakten und Zitaten aus Medienmeldungen seit 2000, geordnet in etwa 20 Themenbereichen, wird mehrmals pro Jahr ergänzt, Ausdruck auf Anfrage; aktuelle Fassung im Internet unter www.krause-schoenberg.de/gentechnikfakten.html – ca. 160 Seiten
- SB 21: Schöpfungstheologie – Zitatensammlung aus drei Büchern von Eugen Drewermann zu Religion und Naturwissenschaft (Herkunft des Menschen – Biologie – Kosmologie) – 18 Seiten
- SB 22: Darwin im Originalton; Zitate aus seinen Büchern: „Reise eines Naturforschers um die Welt“ (1839), „Die Entstehung der Arten“ (1859) und „Die Abstammung des Menschen“ (1871) – 25 Seiten
- SB 23: Entdeckungen im Koran – eine Auswahl von Zitaten – 12 Seiten
- SB 24: Von Schöpfung, Paradies und Sündenfall – wie Juden die Heilige Schrift lesen, verstehen und auslegen – 28 Seiten
- SB 25: Kernenergie – Ende aller Sorgen oder Sorgen ohne Ende? Siebzig Jahre Kernspaltung – Rückblick und Ausblick – 18 Seiten
- SB 26: Tansania – Traum und Albtraum; Erlebnisse, Erfahrungen und Eindrücke von einer Reise nach Ostafrika im Oktober 2008 – 16 Seiten
- SB 27: Mit BIOENERGIE gegen Klimawandel und Rohstoffverknappung? Chancen und Grenzen bei der Nutzung nachwachsender Rohstoffe – 11 Seiten
- SB 28: Charles Darwin – Leben, Werk, Wirkung – 18 Seiten

Viel Spaß beim Lesen!

Ihr Joachim Krause

Bestellungen, Rückfragen, Hinweise und Kritik richten Sie bitte an:

**Ev.-Luth. Landeskirchenamt Sachsens, Beauftragter für Glaube, Naturwissenschaft und Umwelt,
(Dipl.-Chem.) Joachim Krause, Hauptstr. 46, 08393 Schönberg,**

Tel. 03764-3140, Fax 03764-796761,

E-Mail: krause.schoenberg@t-online.de Internet: <http://www.krause-schoenberg.de>

Die Verantwortung für den Inhalt der „Schönberger Blätter“ liegt allein beim Verfasser.
Verwendung und Nachdruck – auch von Textteilen - nur auf Nachfrage.

(Der folgende Text basiert auf einem Vortrag, der am 24.5.2008 auf dem Friedensseminar in Königswalde b. Werdau gehalten wurde; 1988 hatte dort ein Seminar zum gleichen Thema stattgefunden)

Kernenergie – Ende aller Sorgen oder Sorgen ohne Ende ?

In unserem Thema geht es um ENERGIE, um unseren Umgang mit Energie heute und um die Frage, wie die Energieversorgung in Zukunft aussehen könnte.

Meine Betrachtungen werden sich dabei auf eine Möglichkeit der Energiebereitstellung beschränken: auf die Nutzung von Kernenergie.

Der Untertitel deutet schon auf Streit und Polarisierung hin. Bedeutet die Nutzung von Kernenergie nun das „Ende aller (Energie-)Sorgen“ – so jubeln die einen – oder schaffen wir uns damit „Sorgen ohne Ende“ – wie die anderen befürchten?

Ich möchte Sie zu einem Spaziergang einladen durch ein halbes Jahrhundert Technikgeschichte. Eingestreut sind ganz persönliche Anmerkungen zu einem Thema, dem ich in meinem Leben immer wieder begegnet bin – ein paar anekdotenhafte Geschichten, in denen auch etwas zur Geschichte und zu aktuellen Fragen der Nutzung der Atomenergie deutlich wird.

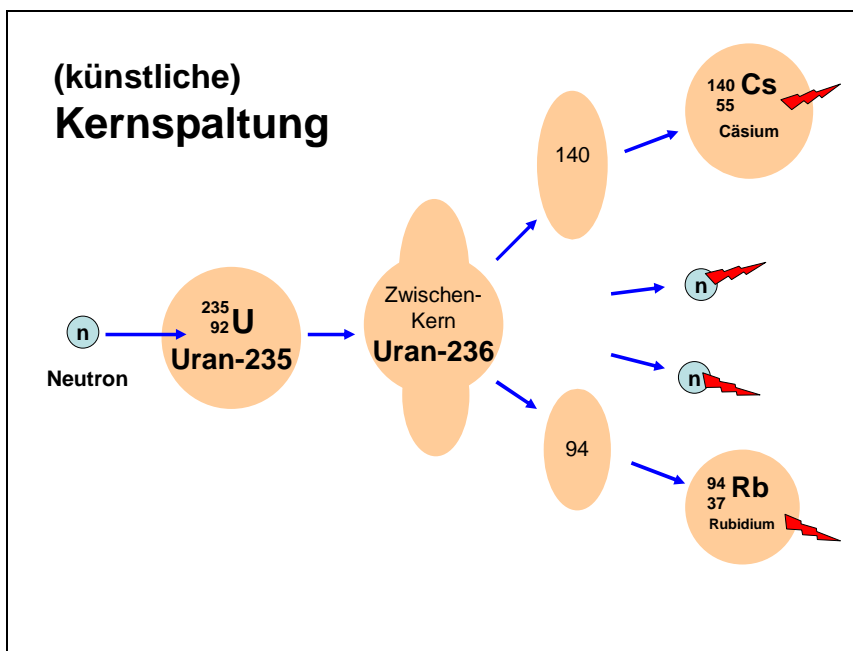
1. Vor 70 Jahren - Die Entdeckung der Kernspaltung

Das „Atomzeitalter“ nahm seinen Anfang vor 70 Jahren.

An einem einfachen hölzernen Labortisch, der heute in Deutschen Museum in München steht, erlebten Wissenschaftler im Dezember 1938 eine Überraschung. Zwei Chemiker – Otto Hahn und Fritz Straßmann – beschossen schwere Atomkerne (Uran-Isotop 235) mit Neutronen in der Hoffnung, dass die Geschosse im Kern stecken bleiben und ein neuer, noch schwererer Atomkern entstehen würde, ein neues chemisches Element.

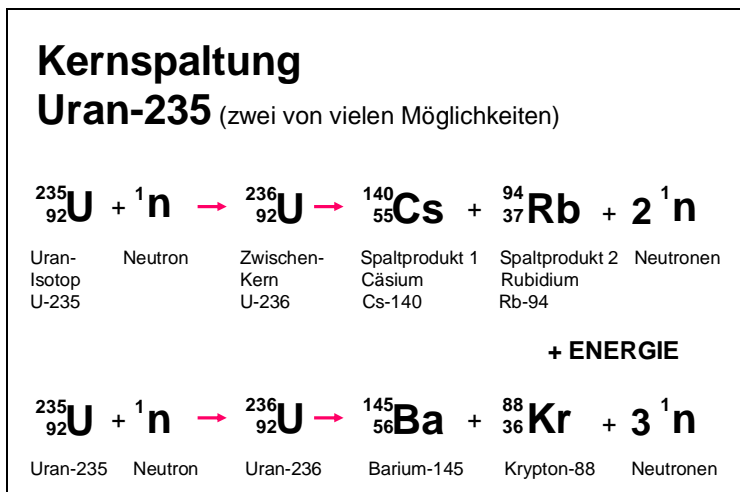
Sie analysierten die Produkte ihres Experiments, fanden aber – da waren sie sich als Chemiker sicher – das Element Barium, das hier aber einfach nicht entstehen konnte. Oder? Die Physikerin Lise Meitner, eine jüdische Kollegin der beiden, die schon seit einigen Monaten in Schweden im Exil war, erkannte, was sich wirklich ereignet hatte und konnte die merkwürdigen Ergebnisse richtig deuten. Es war etwas geschehen, was bis dahin niemand vermutet hatte. Beim Beschuss der Urankerne waren die Neutronen zwar in den Atomkern eingedrungen, aber der so erzeugte schwerere Atomkern war nicht stabil und zerfiel in zwei kleinere Bruchstücke. Dabei konnten unter anderem auch Barium-Atome entstehen. Und bei diesem erzwungenen Zerfallsprozess (= Spaltung) wurden zusätzlich einige Neutronen als Strahlung freigesetzt.

Der Vorgang der „Kernspaltung“ ist in der folgenden Abbildung skizziert:



Mit einem Neutron wird ein Atomkern des Uran-Isotops U-235 „beschossen“. Das Neutron dringt in den Kern ein, dieser ist jetzt um ein Kernteilchen schwerer – als Zwischenstadium ist das Uran-Isotop U-236 entstanden. Dieser Atomkern ist nicht stabil, beginnt zu schwingen und zerplatzt im Bruchteil einer Sekunde in zwei große

Fragmente. Die Bruchstücke sind unterschiedlich groß, und der Zerfall kann den Kern jedes Mal an anderer Stelle spalten und unterschiedliche Fragmente liefern. In der folgenden Abbildung sind beispielhaft zwei mögliche Ergebnisse der Spaltung eines Uran-235-Atomkerns dargestellt.



Die entstehenden Bruchstücke wie Cäsium-140, Rubidium-94, Barium-145 oder Krypton-88 sind „richtige“ Atome bekannter chemischer Elemente. Durch ihre Herkunft sind sie jedoch alle physikalisch nicht stabil. Sie enthalten einen Überschuss von Neutronen in ihrem Atomkern, deshalb sind sie „radioaktiv“ und geben in einer Kaskade von sich anschließenden Zerfallsprozessen Strahlung ab, bis sie ein stabiles Stadium erreicht haben. Bei der Spaltung eines Atomkerns werden neben den beiden großen Trümmerstücken zusätzlich zwei bis vier Neutronen freigesetzt. Diese fliegen davon, können in einen benachbarten Uran-235-Atomkern eindringen und dort ebenfalls eine Kernspaltung bewirken. Da sich die Zahl der Neutronen vermehrt, kann so eine Kettenreaktion entstehen, in deren Verlauf die Zahl der Kernspaltungen lawinenartig anwächst (ungesteuert geschieht das z.B. in einer Atombombe).

Bei der Spaltung von Atomkernen des Uran-Isotops U-235 wird Energie freigesetzt (Kernspaltungsenergie). Im Verlauf der Kernspaltung tritt ein „Massenschwund“ ein: Die Summe der Teilchenmassen im Uranatom U-235 vor der Kernspaltung beträgt 236,05, nach der Kernspaltung summieren sich die Massen der Bruchstücke und der Neutronen zu 235,83. Das entspricht einem Defizit von 0,22 Teilchenmassen; etwa 0,1% der Ausgangsmasse sind „verschwunden“. Sie tauchen in der Bilanz nun Form von Energie auf. Nach der Einsteinschen Gleichung $E = m \times c^2$ entspricht das Massendefizit für einen gespaltenen Atomkern einer Energie von 205 MeV. Diese Energie wird als Bewegungsenergie der weggeschleuderten Kerntrümmer freigesetzt:

- große Spaltprodukte: 165 MeV („Brems“-Wärme)
- Neutronen: 5 MeV (Strahlung)
- Gammastrahlung + Neutrinos 30 MeV (Strahlung)

$$E = m \times c^2$$

Die großen Spaltprodukte werden auf ihrem Weg durch die normale Materie schnell abgebremst und ihre („Brems“-)Energie wird als Wärmeenergie wirksam. Neutronen und Gammastrahlung breiten sich wesentlich weiter aus und werden von uns als unterschiedliche Arten von „Strahlung“ registriert.

Welch gewaltige Energiemengen hier entstehen, lässt sich vielleicht daran ermessen, dass bei der Explosion der Hiroshima-Atom-Bombe lediglich 0,6 Gramm Masse in Energie umgewandelt wurden!

Spontane Kernspaltung

Kernspaltung ist übrigens – das wurde erst Jahrzehnte später entdeckt – ein Vorgang, der auch spontan in der Natur stattfindet (als Kernzerfall). Die spontane Kernspaltung erfolgt beim Uran-Isotop U-235 mit einer Halbwertszeit von etwa 10^{17} Jahren. Damit zerfällt zwar ein Atomkern nur extrem selten von allein, aber wegen der großen Zahl von Atomkernen findet in 1 Kilogramm Uran-235 dennoch alle 2 Sekunden 1 Atomkernzerfall statt.

In der **Atombombe** (Kernspaltungs-Bombe) läuft der Kernspaltungsprozess als ungesteuerte Kettenreaktion ab.

Bei der Nutzung der Kernspaltung in **Atomkraftwerken** soll der Prozess ja aber kontrolliert und effektiv stattfinden. Damit das möglich ist, muss der Fluss der Neutronen gesteuert werden. Um das Aufschaukeln zu einer Kettenreaktion zu verhindern, muss zum einen die Anzahl der Neutronen kontrolliert werden. Das geschieht durch das Einbringen von Stoffen wie Cadmium und Bor, die als massive Stäbe zwischen das

Uranmaterial eingeschoben werden, aber auch in Form von gelösten Salzen ins Kühlwasser gegeben werden. Diese Substanzen können durch ihre physikalischen Eigenschaften Neutronen „einfangen“, absorbieren. Noch ein zweiter Regelmechanismus ist für eine effektive Kernspaltung nötig. Die bei der Kernspaltung freiwerdenden Neutronen haben eine zu hohe Geschwindigkeit, um weitere Atomkerne zu spalten (so genannte „schnelle Neutronen“: Geschwindigkeit etwa 20.000 km pro Sekunde). Ihnen wird deshalb ein Medium in den Weg gestellt, in dem die Neutronen auf Teilchen vergleichbarer Größe prallen und abgebremst werden. In der Praxis verwendet man z.B. Graphit, eine besondere Art von Kohlenstoff, oder einfaches Wasser – das dann gleichzeitig auch als Kühlmittel dient und die entstehende Wärme abführt. Die nun abgebremsten so genannten „thermischen Neutronen“ haben eine Geschwindigkeit von etwa 2 km pro Sekunde.

Durch die Entdeckung der künstlichen Kernspaltung in Deutschland war nicht nur ein jahrtausendealtes Denkmodell der Naturwissenschaften „zerbrochen“: Das ATOM, d.h. im Griechischen wörtlich „das Unteilbare“, ließ sich spalten!

Schon wenige Monate später berechneten Fermi und andere Physiker in den USA, dass die bei der Kernspaltung freigesetzten Neutronen in weitere Atomkerne eindringen und eine „Kettenreaktion“ in Gang setzen könnten.

Würde sich diese Kraft, die in der Materie der Atomkerne schlummerte, dort gewissermaßen „eingefroren“ war, über die nun gelungene Spaltung einzelner Atomkerne hinaus aber auch im technischen Maßstab nutzen lassen?

1939 begann der Zweite Weltkrieg, und vor allem von Physikern in den USA wurde befürchtet, dass die deutschen Forscher in der Lage sein könnten, eine Kernspaltungsbombe mit verheerender Wirkung zu entwickeln. Sie wiesen die US-Regierung auf diese Gefahr hin und forderten sie zum Handeln auf. Ein fieberhafter Wettlauf mit der Zeit begann. In den USA wurde mit dem „Manhattan Project“ ein Forschungs- und Entwicklungsprogramm gestartet, um selbst schnell eine solche Bombe zu bauen.

In zwei grellen Blitzen zeigten sich im August 1945 die entfesselten Naturgewalten. Das atomare Feuer aus „Atom-Bomben“ zerstörte kurz vor Ende des Zweiten Weltkrieges die japanischen Großstädte Hiroshima und Nagasaki. Die neue Technik hatte perfekt funktioniert – und sich als Gewalttat entladen. Hunderttausende Menschen fielen der Macht-Demonstration zum Opfer.

Der Schock prägte die weltpolitische Entwicklung nächsten Jahrzehnte. Das atomare Wettrüsten setzte ein. Die neuen Waffen wurden perfektioniert.

Noch heute leben wir mit der Bedrohung, die in den Atomwaffenarsenalen lauert.

Der Schock hat auch Spuren in meiner Kinderseele hinterlassen. Der früheste Traum, an den ich mich vom Anfang der 1950er Jahre erinnern kann, lässt meine kleine Welt in einer Atombombenexplosion verdampfen. In West und Ost setzte nun aber auch das (ehrliche oder vorgebliche) Bemühen ein, „atoms for peace“ zu nutzen, die Kernspaltung unter kontrollierten Bedingungen „friedlich“ zur Energiebereitstellung verfügbar zu machen, eine neue Energiequelle für den Wettlauf der politischen Systeme, der in eine leuchtende Zukunft führen sollte.

Bereits 1954 gingen in der Sowjetunion, und wenig später in England die ersten Atom-Kraftwerke in Betrieb, die elektrischen Strom erzeugten.

2. Aufbruch ins Atomzeitalter

Das alles passte in die Aufbruchstimmung der 1950er Jahre, die auch mich als Kind angesteckt hat.

Als ich 13 Jahre alt war, habe ich mir ein Buch schenken lassen, das einiges von der Stimmung jener Zeit deutlich werden lässt:

**Böhm/Dörge:
Unsere Welt von morgen, Volksausgabe,
Verlag Neues Leben, Berlin, 1959**

Die Wirtschaftsstrategien der sozialistischen DDR-Gesellschaft orientierten sich an einem Satz von W.I.Lenin:

„Kommunismus – das ist Sowjetmacht plus Elektrifizierung des ganzen Landes!“

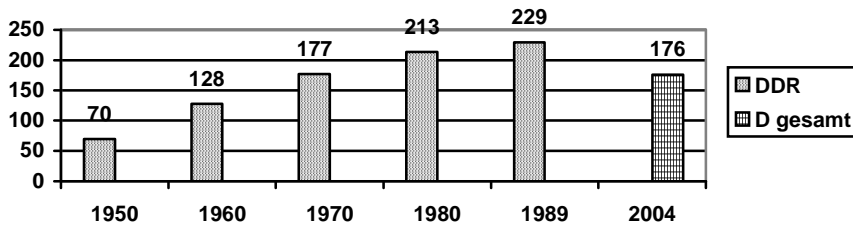
Energie war die Triebkraft für den Kampf der Gesellschaftssysteme, und rauchende Schornsteine galten (nicht nur im Osten) als Beleg für wirtschaftlichen Aufschwung.

Und wir – in der DDR - konnten stolz sein:

„Der Pro-Kopf-Verbrauch an Elektroenergie liegt in unserer Republik bereits über dem Westdeutschlands, das Entwicklungstempo unserer Energieversorgung ist wesentlich höher als das in der kapitalistischen Welt...“ (Böhm/Dörge S.71)

In diesem Denken lag auch die Ursache für eine Ideologie, die einen ständig steigenden Energieverbrauch in den nächsten 40 Jahren für unerlässlich erklärte und der DDR in den 1980er Jahren den ersten Platz beim Pro-Kopf-Verbrauch an Energie in Europa bescherte. Natürlich war diese „stolze“ Spitzenposition auch Ergebnis der Notsituation, in der die DDR „autark“ sein wollte und musste, und der einzige einheimische Energieträger die nur mit großen Verlusten nutzbare Braunkohle war.

**Primärenergieverbrauch DDR
(GJ/Einw. x Jahr)**



Aber woher sollte in der Perspektive der 1950er Jahre die notwendige Energie für den Aufschwung kommen?

„Strahlende“ Energiezukunft – aus dem Blickwinkel der 1950er Jahre (1) (Böhm/Dörge S.124):
Ungleiche Konkurrenten: Wärmeenergie im Werte von 23.000.000 kWh lässt sich gewinnen aus

Steinkohle	(2.700 Tonnen) 2.700.000.000 Gramm	125 Waggon; Verbrennung
Uran 235	1.000 Gramm	Kernspaltung
Deuterium	110 Gramm	Kernfusion

Einzig die Kernenergie konnte und musste und sollte *die* Energiequelle der Zukunft sein!

Mit der Spaltung von nur einem einzigen Kilogramm Uran konnte eine Kleinstadt ein ganzes Jahr lang versorgt werden. Die Vorteile waren überzeugend: Hier stand eine unerschöpfliche, billige und saubere Energiequelle zur Verfügung.

„Strahlende“ Energiezukunft – aus dem Blickwinkel der 1950er Jahre (2) (Böhm/Dörge S.115,127):

- „Wenn die Menschheit keinen Missbrauch mit den märchenhaften Schätzen der Kernenergie treibt, wird die Welt von morgen Energie im Überfluss haben.“
- „Unsere junge Republik ist in der glücklichen Lage, von diesem Uranreichtum, den die Natur für den Menschen bereithält, einen recht ansehnlichen Anteil ihr eigen nennen zu können. ... verfügt unsere Republik über die größten Uranerzlager Europas.“
- „Der hochradioaktive Atommüll ... behält seine bedrohlichen Eigenschaften für Jahrhunderte ... Als sicher gelten kann, dass die friedliche Nutzung der Kernkraft nicht an der Klippe der – freilich schwierigen – „Müllabfuhr“ stranden wird.“

Interessanterweise wurde das Uranerz in der DDR danach noch 1959 als einheimischer Rohstoff betrachtet. Und auch die Erwähnung möglicher Probleme mit dem strahlenden „Atommüll“ ist zu diesem frühen Zeitpunkt bemerkenswert.

Die Atom-Euphorie war übrigens systemübergreifend: In Frankreich beispielsweise wurde der staunenden Öffentlichkeit im Jahre 1958 das atom-getriebene Auto „Fulgur“ für den Hausgebrauch angekündigt.

3. Der Ausbau der Atomenergie in der DDR

In der DDR wurden inzwischen auch die ersten wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Prognosen für den Ausbau der Kernenergie erstellt. So veröffentlichte der Nestor der DDR-Energieforschung, H.-J. Hildebrand, im Jahre 1957 grundsätzliche Überlegungen: „Die Kernenergie im System der Elektrizitätsversorgung der Deutschen Demokratischen Republik“ (Energietechnik 7 (1957) S.146ff.). Er teilte mit, dass damit „die volkswirtschaftliche Notwendigkeit der schnellen Inangriffnahme des Baus von Atomkraftwerken nachgewiesen wird“ und veröffentlichte folgende Erwartungen zum Ausbau der Kernenergie bis zum Jahre 2000:

Jahr	Kapazität Kernkraftwerke Prognose für die DDR (Leistung in GW _e)
1970	4
1980	13
1990	42
2000	110

Drei Anmerkungen zur vorstehenden Tabelle:

- 1 GW_e = 1 Gigawatt elektrische Leistung = 1000 Megawatt; das entspricht etwa einem Kraftwerksblock der heute üblichen Größenordnung
- Die DDR erreichte tatsächlich Ende der 1980er Jahre eine Kernkraftwerksleistung von etwa 2 GW
- Die in der Tabelle für das Jahr 2000 erwartete Kern-Kraftwerkskapazität entspricht in der Größenordnung etwa dem derzeitigen gesamten Kraftwerkspark der Bundesrepublik Deutschland (2008: Summe Kernenergie, Kohle, Öl und Gas)

Auch anderswo herrschten – aus heutiger Sicht völlig übertriebene - Erwartungen. Die Internationale Atomenergiebehörde (IAEA) errechnete in ihren Prognosen zum weltweiten Ausbau der Kernenergie für das Jahr 2000 aus der Perspektive des Jahres 1974 eine Kraftwerkskapazität von 4400 GW_e. In den Folgejahren gingen die Prognosezahlen ständig zurück; 1980 wurden für das Jahr 2000 nur noch 900 GW erwartet. Der tatsächliche Ausbau erreichte 1995 mit 380 GW etwa den heutigen Stand (Zur Lage der Welt 1987/88; Fischer Ffm. 1987 S.97).

Der tatsächliche Einstieg in die energetische Nutzung der Kernenergie entwickelte sich in der DDR wie folgt:

Entwicklung der Kernenergie-Nutzung in der DDR

Zeitpunkt	Ereignis
1.1.1956	Gründung des Zentralinstituts für Kernphysik (Rossendorf bei Dresden)
16.12.1957	Forschungsreaktor Rossendorf
9.5.1966	KKW Rheinsberg (70 MW _e)
1973	KKW Lubmin bei Greifswald 1.Reaktor (440 MW)
1974	KKW Lubmin bei Greifswald 2.Reaktor (440 MW)
1978	KKW Lubmin bei Greifswald 3.Reaktor (440 MW)
1979	KKW Lubmin bei Greifswald 4.Reaktor (440 MW)
1989	KKW Lubmin bei Greifswald 5.Reaktor (440 MW)

Bei den Standorten für die Kraftwerke ist anzumerken, dass sie wegen der Kühlwasserversorgung grundsätzlich immer in der Nähe von Seen (Binnensee: Rheinsberg; Ostsee: Lubmin) oder Flüssen errichtet werden müssen. Die in der DDR zunächst favorisierte Kühlung durch Ostseewasser führte zu massiven Korrosionsproblemen durch den Salzgehalt, sodass für die Folgezeit bevorzugt Standorte an der Elbe ausgewählt wurden. Ende der 1980er Jahre war ein KKW in Stendal im Bau (das nie in Betrieb ging), weitere Planungen gab es z.B. für den „Standort IV“, der am „Schwarzen Kater“ bei Börlin (zwischen Oschatz und Wurzen) lag und aus der für diesen Zweck extra aufzustauenden Elbe mit Kühlwasser versorgt werden sollte.

Im Zusammenhang mit der Kernenergienutzung in der DDR soll an dieser Stelle nur darauf hingewiesen werden, dass seit Ende der 1940er Jahre in Sachsen und Thüringen unter Kontrolle der Sowjetunion in der SDAG „WISMUT“ („Sowjetisch-Deutsche Aktiengesellschaft“) ein exzessiver Abbau von Uranerz stattfand, mit dessen Hilfe zu einem wesentlichen Teil das Atomwaffen-Programm der Sowjetunion realisiert wurde. In den späteren Jahren wurde Uran aus der DDR zunehmend auch in Atomkraftwerken eingesetzt. Dem Uranbergbau fielen weit mehr als 10.000 Bergleute zum Opfer (Strahlenkrebs, Staublunge). Ganze Regionen wurden verwüstet, und der Bergbau und die chemische Aufbereitung der Erze führten zu erheblichen Umweltbelastungen.

Ich hatte schon in den 1970er Jahren begonnen, mich mit Umweltproblemen – besonders auch mit denen in der DDR – zu beschäftigen. Und eine Erkenntnis, die sich schnell aufdrängte, war: Die meisten der Umweltprobleme, die zunehmend deutlicher zutage traten (Waldsterben, Versauerung, Tankerunfälle, Klimawandel) hatten ihre eigentliche Ursache in unserem Umgang mit ENERGIE. In diesem Zusammenhang geriet auch die Kernenergie zunehmend in die Kritik: mit ihren spezifischen Risiken und Folgewirkungen, aber immer auch untrennbar mit ihren engen Verflechtungen zum militärischen Bereich.

Die Beschäftigung mit solchen Fragen blieb nicht unbemerkt, und das hatte Folgen. Im Jahre 1981 richtete die Bezirksverwaltung der Staatssicherheit Dresden unter der Nummer XII 3122/81 eine „Operative Personenkontrolle“ zu meiner Beobachtung ein mit dem Kennwort OPK „Atom“.

Ich ahnte davon nichts und sammelte weiter Informationen. Dabei geriet mir z.B. 1981 auf der Leipziger Messe ein Prospekt in die Hand: Knapp auf 4 DIN-A-4-Seiten wurde dort ein sowjetisches Kernkraftwerk vom Typ

RBMK beschrieben und zum Verkauf angeboten (das ist der Reaktortyp, der in der Sowjetunion bei weitem am häufigsten im Einsatz war, und der beispielsweise auch in Tschernobyl oder bei Leningrad stand). Die DDR setzte weiter voll auf Kernenergie. In wissenschaftlichen Zeitschriften wurde perspektivisch schon über neue erweiterte Einsatzmöglichkeiten nachgedacht.

In der aktuellen Energie-Diskussion des Jahres 2008 spielt der Begriff der „Kraftwärmekopplung“ eine wichtige Rolle: In Kraftwerken zur Stromerzeugung werden in der Regel nur 30 bis 45 Prozent der ursprünglich erzeugten Wärmeenergie in Strom umgewandelt, der größere Teil wird über Kühlwasser oder Kühltürme in die Umwelt abgeführt, geht aber so verloren und wird für energetische Zwecke nicht genutzt.

Die DDR plante – rechnerisch durchaus nahe liegend zur besseren Nutzung von Energieträgern – auch Kernkraftwerke in Kraftwärmekopplung besser zu nutzen. Kernkraftwerke sollten zunehmend in der Nähe von Ballungsgebieten entstehen („Kernheizwerke“), und die überschüssige Wärme würde über meterdicke Rohrleitungsnetze in Nah- und Fernwärmesysteme eingespeist werden. So sollten im Jahre 2010 bereits 10.000 MW Wärme aus „nuklearen Wärmebereitstellungsanlagen“ zur Verfügung stehen (Munser, Oehme, Reetz, Schmidt: „Kernenergieanlagen zur Wärmeversorgung in der DDR – energiewirtschaftliche, ökologische und soziale Notwendigkeit“, *Energietechnik* 35 (1985) S.98ff.). In diesem Zusammenhang gab es schon recht konkrete Planungen für Kernheizwerke für Thüringer Städte wie Erfurt oder Jena in der Nähe der Stadtzentren (Langner: „Studien zum Einsatz der Fernwärmeversorgung mit Kernheizwerken im Siedlungsnetz der DDR“, *Energietechnik* 36 (1986) S.344ff.).

4. Ein Tag im April 1986

Ein Datum hat sich mir und vielen meiner Zeitgenossen unauslöschlich eingebrannt:

26. April 1986

Dazu gehört ein Ortsname:

Tschernobyl

In einem sowjetischen Kernkraftwerk in der Ukraine war das geschehen, was nie geschehen durfte! Infolge menschlicher Bedienungsfehler und unzureichender technischer Sicherheitsvorkehrungen war der Reaktorblock Nr.4 außer Kontrolle geraten und explodiert, und ein glühendes Höllenfeuer aus Graphit und Strahlenasche schickte wochenlang Wolken mit hochradioaktivem Staub rund um den Globus.

Schlagartig wurde deutlich: Die schon länger diskutierten Risiken beim Betrieb von Kernkraftwerken waren eben nicht nur theoretische Rechenspielerien – ein solcher Reaktor konnte wirklich völlig außer Kontrolle geraten. Und obwohl das Tausende Kilometer entfernt passiert war, waren wir plötzlich direkt mit betroffen: Bei strahlendem Wetter wehte der Ostwind den radioaktiven Staub über einige tausend Kilometer bis in die Idylle deutscher Kleingärten.

Erschrecken machte sich breit, Nachdenklichkeit, Ratlosigkeit. Auch die Menschen in der DDR stellten Fragen, erwarteten Antworten, wollten Informationen.

Der Staat DDR war auf ein solches Geschehen ausgerechnet im sozialistischen System überhaupt nicht vorbereitet und versteckte sich (zunächst) hinter Schweigen, wenig später folgten Beschwichtigungen und Verharmlosungen.

Beschwichtigen und Verharmlosen

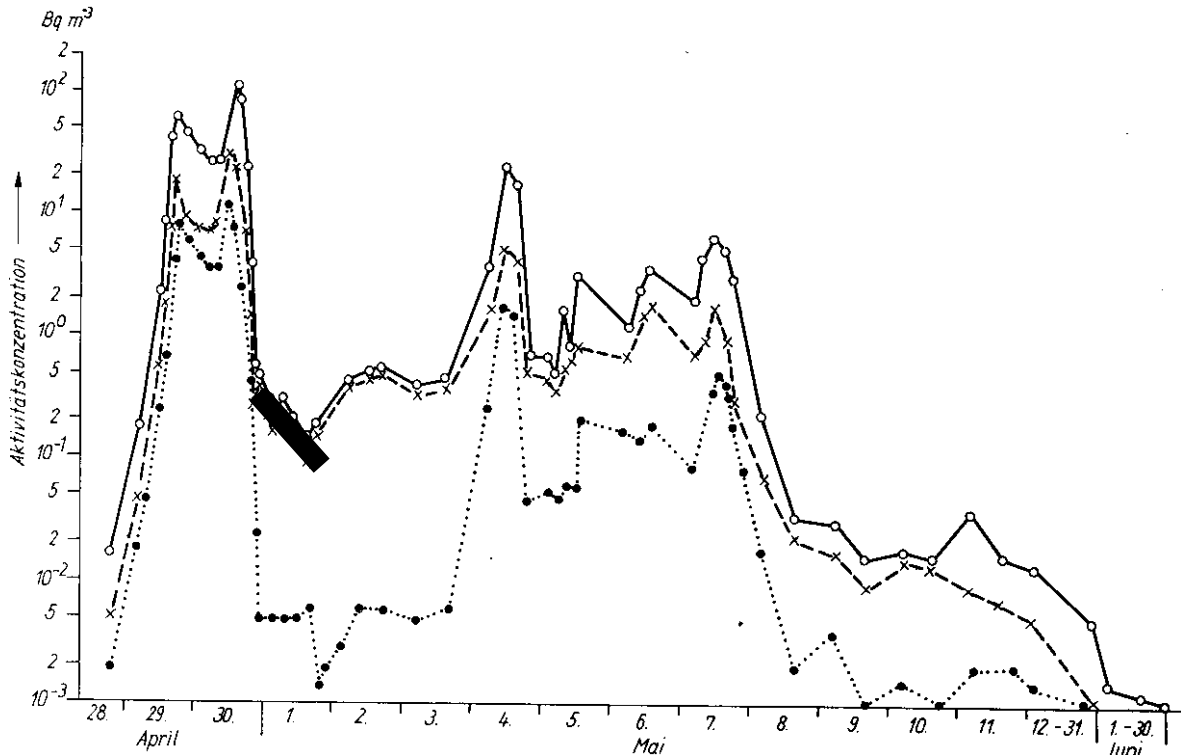
Erst mehr als eine Woche nach dem Unfall druckte das Zentralorgan der Sozialistischen Einheits-Partei, das „Neue Deutschland“ (ND), am 5.5.1986 eine knappe Tabelle ab, in der – höchst erstaunlich bei der sonst üblichen Geheimhaltung von Umweltdaten – exakte Messwerte für die Radioaktivität der Luft in Berlin mitgeteilt wurden. Der erste und höchste Wert betrug 460 mBq/m^3 (Milli-Becquerel pro Kubikmeter Luft), der letzte und niedrigste Wert in der Tabelle wurde mit 96 mBq/m^3 angegeben. Das Fazit lautete beruhigend: „Damit ist eine Stabilisierung auf niedrigem Niveau eingetreten.“

Leider gaben die Messwerte nur einen Teil der Wahrheit wieder.

Die DDR war nach internationalem Recht dazu verpflichtet, ihre Messungen zur radioaktiven Belastung nach dem Unfall in Tschernobyl der Internationalen Atomenergiebehörde zu melden. Das geschah einige Wochen nach dem Unfall in einem Bericht des Staatlichen Amtes für Atomsicherheit und Strahlenschutz. Eine Kurzfassung des Berichts wurde (erst) 1987 als SAAS-Report 349 „Result of radiation monitoring in the German Democratic Republic after Chernobyl“ gedruckt. Aber diese Publikation erfolgte nur in englischer Sprache und war nicht für die DDR-Öffentlichkeit bestimmt, und auch eine deutsche Fassung in der Zeitschrift „Kernenergie“ Heft 9/1987 S.343ff. war nur einem Fachpublikum zugänglich. Erst drei Jahre nach dem Unfall gab es eine Darstellung zu Ablauf und Folgen des Unfalls in einer allgemein zugänglichen populärwissenschaftlichen Zeitschrift (wissenschaft und fortschritt Heft 4/1989 S.93ff.).

In diesen späteren ausführlichen Publikationen wurden die ersten verharmlosenden Darstellungen „entzaubert“.

Die „Informationen“ im ND von Anfang Mai zeigten lediglich einen kleinen und gezielt ausgewählten Ausschnitt der Messergebnisse. Im folgenden Bild, das alle Messwerte von Ende April bis Ende Juni 1986 aufführt, sind die Werte aus der Tabelle des ND grob als dicker Balken eingetragen. Es zeigt sich, dass wenige Stunden zuvor die gemessenen Werte bei mehr als dem Hundertfachen (!) gelegen hatten (die Angaben auf der linken Skala folgen einem logarithmischen Maßstab!). Und nach in den ersten Maitagen stiegen die Messwerte auch in Berlin noch einmal deutlich an (das war zum Druckdatum des ND am 5. Mai natürlich bekannt) – der brennende Reaktor in Tschernobyl war da noch längst nicht unter Kontrolle, und es bestand noch eine weitere Woche lang die Gefahr eines zweiten verheerenden Ausbruchs.



Eine solch selektive „Informationspolitik“ machte viele Beobachter misstrauisch. Umso genauer wollten nun viele Bürger endlich wissen, welche Gefahren mit der Nutzung der Kernenergie – auch unter sozialistischen Bedingungen – verbunden waren. Auch in der DDR begann eine kritische Diskussion.

5. Kritische Auseinandersetzung mit dem Thema Kernenergie in den letzten Jahren der DDR

Die Evangelische Kirche nahm das Thema sehr ernst und brachte es zur Sprache. Die Kirchenleitung forderte ein Gespräch ein, das im September mit staatlichen Stellen geführt wurde. Professor Klaus Fuchs („Atomspion“, der den Bau der ersten sowjetischen Atombombe mit möglich gemacht hatte), war für die Fachinformationen zuständig, das Staatssekretariat für Kirchenfragen und Mitarbeiter des ZK der SED waren an der Diskussion beteiligt.

Das durchaus interessante Protokoll dieses „**Gespräches über die verantwortliche Nutzung der Atomenergie nach der Havarie von Tschernobyl am 5. September 1986**“ blieb allerdings auch auf kirchlicher Seite unter Verschluss. Dass ich es wenig später doch lesen konnte, lag an einer Indiskretion: Auf meiner Fotokopie sind auf einigen Seiten Ahornblätter und Grashalme mit fotografiert worden – irgendein netter Mensch hat das Protokoll offenbar heimlich schnell im Gebüsch vor die Linse seines Fotoapparates gehalten ...

Ich arbeitete damals schon an einer ausführlicheren Informationsschrift, die – aus drucktechnischen Gründen – aber erst Anfang des Jahres 1987 erschien. Darin hatte ich versucht, grundlegende Informationen zur Arbeitsweise von Kernkraftwerken (besonders auch den sowjetischen), zur Einbindung in die Brennstoffkette vom Uranbergbau über Spaltstoff-Anreicherung, den Kraftwerksbetrieb über Wiederaufarbeitung bis zur Endlagerung des Atommülls zusammenzustellen. Bei der Erarbeitung standen mir atomenergie-kritische Freunde aus der kirchlichen Umweltbewegung, aber auch Mitarbeiter aus staatlichen Einrichtungen zur Seite, die meine Entwürfe kritisch gegenlasen und mir wichtige Informationen zugänglich machten.

Das Heft erschien mit einer Auflage von etwa tausend Exemplaren im kirchlichen (Halb-)Untergrund. Der eingedruckte Hinweis: „Für innerkirchlichen Gebrauch!“ beinhaltete aus unserer Sicht natürlich ein sehr weitherziges Verständnis von „Kirche“. Und der zweite Hinweis „Nicht zur Veröffentlichung!“ war auf der einen Seite nicht sehr ernst gemeint – wir hofften ja so gerade eine breite Öffentlichkeit zu erreichen; er richtete sich (verdeckt)

vor allem an die West-Medien: sie sollten den Text möglichst nicht aufgreifen, da diese Art der Aufmerksamkeit unser Wirken in der DDR eher behinderte.

Joachim Krause

... nicht das letzte Wort

Kernenergie in der Diskussion

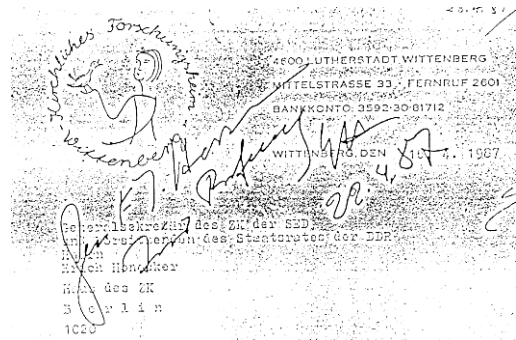
Kirchliches Forschungsheim Wittenberg 1987

Für innerkirchlichen Gebrauch! Nicht zur Veröffentlichung!

Der Titel des Heftes ging auf ein Zitat von Erich Honecker zurück. Der oberste Repräsentant von Partei und Staat in der DDR hatte in einem Interview mit einer schwedischen Zeitschrift nach dem Unfall in Tschernobyl ausweichend geantwortet, dass „die Kernkraft nicht das letzte Wort ist“ (ND 25.6.86).

Der Herausgeber schickte ein Exemplar der Broschüre per Post an Erich H. – das war ein „Versuchsballon“, was nun geschehen würde, war nicht abzusehen.

Erst nach der Wende haben wir erfahren, dass Erich Honecker den Brief und das beiliegende Heft eine Woche später tatsächlich in den Händen hielt. Er wies mit einer Notiz seine Mitarbeiter an, Vorgang und Inhalt zu prüfen. Im Ergebnis wurde festgestellt, dass wir „oppositionelle, staatsfeindliche Positionen“ verträten und dass die „Publikation ohne die erforderliche staatliche Druckgenehmigung hergestellt“ sei. Aber die Empfehlung lautete nicht, den Vorgang der Stasi zu übergeben, sondern ein Fach-Gespräch der Herausgeber mit dem Staatlichen Amt für Atomsicherheit und Strahlenschutz herbeizuführen, zu dem wir dann tatsächlich auch eingeladen wurden.



Noch ein weiteres Beispiel sei stellvertretend als Beleg für die intensive kritische Diskussion des Themas „Kernenergie“ in jenen Jahren benannt. Die Geschäftsstelle der Evangelischen Studentengemeinden in der DDR „veröffentlichte“ Ende 1987 ein Sonderheft mit Beiträgen verschiedener Autoren Pro und Contra Kernenergie:

kontakt

Kontroversen um die Kernenergie

Sept./Okt. 1987

Evangelische Studentengemeinden in der DDR

Nur zum innerkirchlichen Gebrauch!

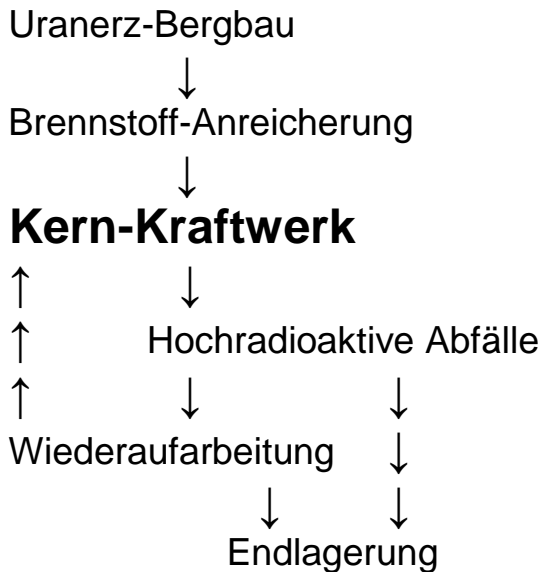
In diesem Heft wurden z.B. auch die oben bereits erwähnten Falschmeldungen zur radioaktiven Belastung in der DDR nach dem Unfall in Tschernobyl dargestellt und kritisch diskutiert. Es ist erwähnenswert, dass auf die Argumentation mit Zahlen und Fakten, die in der DDR publiziert worden waren, hier (und nach meiner Beobachtung auch in anderen Fällen) staatlicherseits NICHT reagiert wurde – die Peinlichkeit, beim Schwindeln erappt worden zu sein, endete einfach in Schweigen.

In den Jahren 1987/88 kursierten weitere Papiere, Tagungen fanden statt. Mir sind nur (kritische) Studien und Stellungnahmen aus dem Bereich der kirchlichen Umweltschutzarbeit bekannt geworden.

Inzwischen war vielen kritischen Beobachtern der Kernenergie deutlich: Es ging nicht nur um das Unfallrisiko von Kraftwerken, das Gefahren barg. Beim Abwägen der Argumente Pro und Contra war immer die gesamte Brennkette zu betrachten, die spezifischen Risiken vom Uranerzbergbau bis zur Endlagerung des hochaktiven atomaren Mülls. Dazu kamen die Gefährdungen durch Transporte strahlenden Materials zwischen den einzelnen Prozess-Stufen.

Und immer wieder wurde die enge Verflechtung zwischen der zivilen (friedlichen) und der militärischen Nutzung der Kernspaltung deutlich, die wie siamesische Zwillinge untrennbar miteinander verbunden bleiben. Wer zivile Kerntechnik nutzt, hat damit immer zugleich Zugriff auf spaltbares Material, das auch in Atomwaffen eingesetzt

werden kann (Material aus Anreicherung und Wiederaufarbeitung, spezieller Betrieb von Kernreaktoren mit dem Ziel der Gewinnung von Plutonium für Atomwaffen).



Michael Beleites machte in einer Publikation im Jahre 1988 auf eine dieser Fragen aufmerksam, die in der DDR besonders brisant waren. Der Uranerzbergbau im Süden der DDR hatte in 40 Jahren verheerende Verwüstungen an Menschen, Natur und Landschaft hinterlassen. Dieses Heft wurde gezielt in den betroffenen Regionen verteilt. Und mit einem von Freunden aus dem „Westen“ eingeschmuggelten Geigerzähler begannen wir, uns einen Überblick über die strahlenden Hinterlassenschaften zu verschaffen.

Michael Beleites
 Pechblende -
 Der Uranbergbau in der DDR
 und seine Folgen
 Kirchliches Forschungsheim Wittenberg
 Und „Ärzte für den Frieden – Berlin“
 KFH 1-1988 Nur für innerkirchlichen Dienstgebrauch!

Ende der 1980er Jahre begann es in der DDR spürbar zu „brodeln“. Zu viele Fragen hatten sich angestaut. Im „real existierenden Sozialismus“ gab es viele Probleme in der Gesellschaft, in der Wirtschaft und im Umweltbereich, die einfach tabu blieben, aber vielen Menschen unter den Nägeln brannten. Die christlichen Kirchen versuchten, sich stellvertretend diesen Fragen zu stellen und eine Diskussionsplattform zu bieten. Etwa 12.000 Menschen schickten im Vorfeld der geplanten Versammlung Postkarten und Briefe an die Veranstalter, in denen sie die Probleme benannten, die aus ihrer Sicht als besonders dringlich behandelt werden sollten. In den Jahren 1988 und 1989 fand dann die „Ökumenische Versammlung“ statt, an der sich alle christlichen Kirchen und Gemeinschaften in der DDR beteiligten. Die erste Tagung in Dresden begann mit „Zeugnissen der Betroffenheit“ – eines davon gab Michael Beleites zum Uranbergbau in der DDR und dessen Folgen.

Ökumenische Versammlung für Gerechtigkeit, Frieden und Bewahrung der Schöpfung Dresden – Magdeburg – Dresden 1988-1989

Die Versammlung berief 13 thematische Arbeitsgruppen. Eine davon arbeitete ein Jahr lang zum Thema „Energie für die Zukunft“. Im Ergebnistext dieser Arbeitsgruppe, der 1989 von der Versammlung verabschiedet wurde, lautete der zentrale Satz zur Nutzung der Kernenergie:

**„Kernenergie darf nicht Grundlage
unserer zukünftigen Energieversorgung sein.“**

Das Wörtchen „darf“ machte deutlich, dass es hierbei vor allem um eine ethische Bewertung ging.

Als sachliche Gründe für die kritische Einschätzung wurden besonders benannt:

- + Freisetzung von Radioaktivität auf allen Prozess-Stufen;
- + Unfall-Risiko Kernkraftwerke;
- + ungelöste Endlagerung;
- + mangelnder Schutz der Anlagen gegen Terrorismus und Krieg.

Die Ergebnistexte der Ökumenischen Versammlung stellten eine brisante Bestandsaufnahme der Situation der DDR-Gesellschaft dar, und es gab (vorsichtig formulierte) Vorschläge, wie die Probleme – in gemeinsamer Verantwortung und bei demokratischer Teilhabe der Bevölkerung – anzugehen wären.

Viele Ideen fanden sich wenige Monate später in den Gründungspapieren des „Neuen Forums“, von „Demokratie Jetzt“, beim „Demokratischen Aufbruch“ usw. wieder.

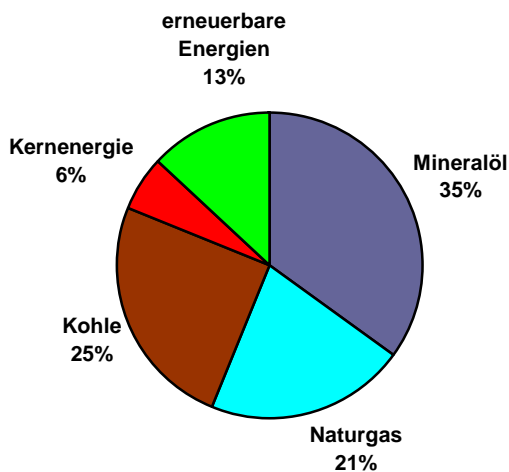
In den folgenden Monaten überschlugen sich die Ereignisse.

Im Ergebnis war die DDR wenige Monate später kernenergie-frei! Einer der Mitarbeiter in der Energie-Arbeitsgruppe der Ökumenischen Versammlung, Sebastian Pflugbeil, war für das „Neue Forum“ Minister ohne Geschäftsbereich im Kabinett Modrow geworden und sorgte Kraft seines Amtes für die abrupte Abschaltung der Reaktoren in Lubmin.

6. Die Rolle der Kernenergie in der Gegenwart

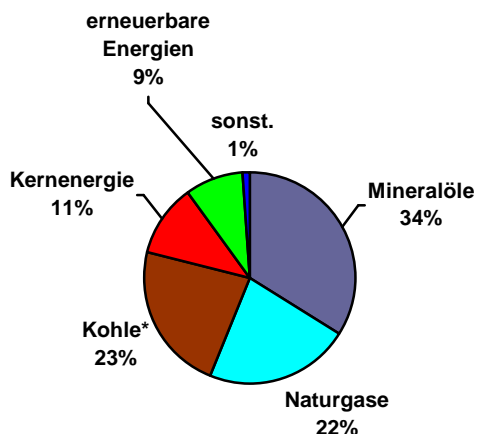
Wie sieht die Bestandsaufnahme zur Nutzung der Kernenergie Anfang des 21. Jahrhunderts aus? Weltweit hatte die Kernenergie im Jahre 2008 einen Anteil von 6 Prozent an allen Energieträgern. Deutlich wird an der folgenden Grafik außerdem, dass wir noch total im Zeitalter der Nutzung fossiler Brennstoffe stecken, die mehr als drei Viertel aller heute genutzten Energieträger ausmachen – angesichts der grundsätzlichen Begrenztheit dieser Rohstoffe und der mit ihrer Verbrennung verbundenen globalen Probleme (Klimawandel) keine beruhigende Situation. Und wenn die erneuerbaren Energien in der Energieträgerbilanz erstaunliche 13 Prozent ausmachen, dann ist die knappe Hälfte davon Wasserkraft, und der „Rest“ zeugt vor allem davon, dass Milliarden von Menschen auch heute noch als einzige Energiequellen Holz und getrockneten Dung („nachwachsende Rohstoffe“) zur Verfügung haben.

Primärenergieverbrauch weltweit 2008



In Deutschland stellt sich die Bilanz für 2010 wie folgt – und im Grundsatz sehr ähnlich wie weltweit - dar:

Primärenergieverbrauch Deutschland 2010



Deutschland ist zu drei Vierteln seines Energieverbrauchs von Importen abhängig. Die erneuerbaren Energien, die noch vor wenigen Jahren in der Bilanz fast keine Rolle spielten (praktisch nur Wasserkraft), haben ihren Anteil in den letzten Jahren rasch und stetig erhöhen können. Inzwischen belegt

Deutschland mit Abstand Platz 1 in der Welt bei der Nutzung der Windenergie, aber auch der Ausbau der Nutzung von Sonnenenergie (Wärmekollektoren, Stromerzeugung), Biomasse und Erdwärme erfolgt zügig. Möglich geworden sind diese Steigerungsraten zum einen durch technologischen Fortschritt, vor allem aber sind sie Ergebnis eines politischen Willens, der die Rahmenbedingungen entsprechend ausgestaltet hat (garantierte Einspeisevergütungen im Erneuerbare-Energien-Gesetz EEG, Ökosteuer, Zwangsbeimischung von Biosprit in Treibstoffen, Förderprogramme usw.).

Aktueller Stand der Nutzung der Kernenergie in Deutschland und kritische Anmerkungen zu einem möglichen Ausbau

In Deutschland waren Ende 2010 17 Kernkraftwerke in Betrieb und lieferten etwa ein Viertel des verbrauchten Stroms.

In den „**Atomkonsens**“-Gesprächen zwischen Bundesregierung und Energiewirtschaft wurde am 14.6.2000 die „geordnete Beendigung der Nutzung der Kernenergie in Deutschland“ vereinbart. Die Energie-Versorgungs-Unternehmen respektieren damit die Entscheidung der Bundesregierung, die Stromerzeugung aus Kernenergie geordnet beenden zu wollen. Die künftige Nutzung der vorhandenen Kernkraftwerke wird befristet (Regellaufzeit 32 Jahre). Es muss aber betont werden, dass es sich hierbei um einen grundsätzlich „umkehrbaren Ausstieg“ handelt; jede neue Bundesregierung könnte mit der Wirtschaft andere Vereinbarungen treffen.

Ein bisher nicht gelöstes Problem der Kernenergienutzung stellt - auch in Deutschland - die **Endlagerung des hochradioaktiven Atommülls** dar. Die Suche nach einem inländischen Endlager hat bisher nicht zu einem fachlichen Ergebnis geführt, folglich gibt es auch noch keine politische Entscheidung zu einem Endlagerstandort. Und vor Ort – in den in Frage kommenden Regionen - regiert in der Regel „Sankt Florian“: Zwar halten alle ein Endlager in Deutschland für wichtig – aber es möge doch bitte irgendwo sein, nicht aber hinter dem eigenen Gartenzaun ...

Befürworter – vor allem die interessierte Industrie (Energieversorgungs-Unternehmen als Betreiber; aber auch Kraftwerksbauer) – bringen in letzter Zeit die Atomenergie wieder neu ins Gespräch: mit dem Argument der notwendigen Schonung fossiler Energieträger und der Präsentation der Kernenergie als kohlendioxidfreier „Klimaretter“. In den konkreten Forderungen geht es um eine Laufzeitverlängerung für die bestehenden Kraftwerke (das wäre besonders gewinnbringend, da die alten Kraftwerke abgeschrieben sind und hohe Renditen abwerfen), aber perspektivisch auch um den Neubau von Kraftwerken.

Wenn man die letztere Option ernst nimmt und aus Kernkraftwerken zukünftig ein deutlich höherer Anteil der erzeugten Energie kommen soll, sollen einige grobe Abschätzungen vorgestellt werden:

Wenn wir die Hälfte der Energie in 50 Jahren aus Kernspaltung gewinnen wollen, wären Kernkraftwerke in folgenden Größenordnungen zu errichten:

- a) WELT:** **Neubau von 5000 Reaktoren mit einer Leistung von je 1000 MW; d.h. in jeder Woche müssten in den nächsten Jahrzehnten zwei neue Kernkraftwerke in Betrieb genommen werden**
- b) DEUTSCHLAND:** **Neubau von 60 – 80 Reaktoren, davon würden wahrscheinlich drei in Sachsen errichtet werden**

Eine Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages zur zukünftigen Energiepolitik in Deutschland hat schon vor einigen Jahren auch ein solches Szenario „durchgespielt“ und mögliche Standorte ins Gespräch gebracht. Aus der folgenden Auflistung fallen z.B. für Sachsen die Standorte Pirna, Frankenberg und Glauchau in den Blick:

Enquete-Szenario Fossil-nuklearer Energiemix

■ **Zubau von 60 - 80 neuen, kommerziellen Kernkraftwerken in Deutschland** ab ca. 2010 bis 2050

■ **Kernenergieanteil steigt auf 67% bis 82%** des Stromverbrauchs in 2050

■ **Mögliche Standorte** (Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energien / EWO Energietechnologie 2002):

01796 Pirna	03058 Gallinchen	06217 Merseburg/Saale	06842 Dessau
07336 Hohenwarte	07751 Rothenstein	08371 Glauchau	09669 Frankenberg
12107 Berlin	14772 Brandenburg	15328 Reitwein	15517 Fürstenwalde
16381 Rheinsberg	17199 Demmin	17389 Anklam	17491 Greifswald
18005 Rostock	21335 Lüneburg	21354 Bleckede	22113 Hamburg-Tiefstack
26826 Weener	26892 Dörpen	26954 Esenshamm	27283 Verden
31171 Nordstemmen	31391 Binnen	31860 Grohnde II	33100 Paderborn
34346 Hann.Münden	36272 Solms	37688 Würgassen	39576 Stendal
45711 Datteln	45896 Gelsenkirchen	46459 Rees	48499 Salzbergen
51373 Leverkusen	55218 Ingelheim	56862 Pünderich	59071 Hamm-Uentrop
63538 Großkrotzenburg	66440 Webenheim	67022 Ludwigshafen	76199 Karlsruhe
77974 Meißenheim	79423 Heitersheim	79739 Schwörstadt	82057 Icking
83135 Marienberg	84051 Ohu/Isar III	86633 Neuburg	86647 Pfaffenhofen
87748 Fellheim	89340 Leipheim	91126 Schwabach	93049 Regensburg
94474 Pleinting	96191 Viereth	97250 Erlabrunn	99834 Sallmanshausen

(Dr. Wolfgang Irrek, Wuppertal-Institut, 11.10.2005)

Grundsätzlich hat sich an den Fragen zur Verantwortbarkeit der Kernenergienutzung in den letzten 20 Jahren nichts geändert.

Spezifische Probleme bei der energetischen Nutzung der Kernspaltung

Friedenspolitische Risiken

- + Gefährdung der Anlagen durch Krieg und Terrorismus
- + Weiterverbreitung des Zugangs zu Atomwaffen durch Material aus zivilen kerntechnische Anlagen

Ökologische Risiken

- + Strahlenbelastung auf allen Prozess-Stufen und bei Transporten
- + Endlagerung hochaktiver Abfälle (sicher über Zeiträume von Zehntausenden Jahren!)

Technische Risiken

- + Versagen von Mensch und Technik ist nie vollständig auszuschließen
- + Auswirkungen von Unfällen (Unfallrisiko gering, aber Schadensausmaß verheerend)

Begrenzte Vorräte an spaltbarem Uran-235

Erst in den letzten Jahren ist die Einsicht gewachsen, dass auch Uran - in der Form, in der es heute in der Kernspaltung technisch ausschließlich genutzt wird (Spaltung von U-235 in thermischen Reaktoren) - ein endlicher Rohstoff ist. Die wirtschaftlich gewinnbaren Vorräte reichen für Jahrzehnte, nicht aber für Tausende von Jahren.

Energiereserven weltweit

(Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, ÖkoTest 3/07 S.131;
Angaben in Millionen Tonnen Öleinheiten)

Energie träger	Förderung 2005	Reserven	Reichweite Jahre	Ressourcen
Erdöl	3.896	161.000	41	82.000
Ölsand	135	66.000	489	250.000
Erdgas	2151	136.000	63	157.000
Steinkohle	2930	438.000	149	2.499.000
Braunkohle	220	49.000	223	243.000
Uran	404	19.000	47	126.000

7. Energie für die Zukunft ?!

Welche Wege zeichnen sich ab, um den Energiebedarf auch in Zukunft befriedigen zu können?
Anhand der folgenden Abbildung sollen einige Gedanken skizziert werden.

Entspricht jeder **Verbrauch** an Energieträgern tatsächlich auch einem wirklichen **Bedarf** an Energie?
Es wird in Zukunft darauf ankommen, durch die Nutzung besserer Technik – von der Energie-Bereitstellung über Umwandlungsprozesse, Transport und Speicherung bis zur Nutzung vor Ort – intelligenter und effektiver mit Energieträgern hauszuhalten. Hieraus ergeben sich anspruchsvolle Aufgaben für Wissenschaft und Wirtschaft. Die Politik steht vor der Aufgabe, durch das Setzen politischer Rahmenbedingungen die weitere Entwicklung zu „steuern“, Energieverschwendung zu „bestrafen“ und die Nutzung sparsamer Techniken und weniger problematischer Energieträger zu „befördern“. Und darüber hinaus wird es wichtig sein, im Umgang mit Energie auch im persönlichen Lebensstil Sparsamkeit zu einer Tugend zu machen. So könnte es gelingen, die Energie-Menge, die tatsächlich benötigt wird und bereitgestellt werden muss, deutlich zu verringern (das sollen die Klammern von beiden Seiten andeuten).

*Intelligenter, effektiver, sparsamer
Umgang mit Energie*

? Energie-Verbrauch – Energie-Bedarf ?

**Fossile
Energieträger**

*Kohle
Erdöl
Erdgas

(Ölschiefer?)*

Nukleare Energien

*Uran (Kernspaltung)
Plutonium
(Schneller Brüter)
Thorium (HTR)
Lithium, Deuterium
(Kernfusion)*

**Erneuerbare
Energien**

*Wasserkraft,
Biomasse, Sonne
(Wärme, Strom),
Wind, Erdwärme,
Gezeiten-Energie*

Unter dem zu befriedigenden Energiebedarf stehen in der Abbildung drei mögliche Säulen der Energieversorgung (sind weitere denkbar?).

Auf **fossile Energieträger** werden wir in Zukunft immer weniger bauen können.

Zum einen sind die Vorräte, zumindest bei Erdöl und Ergas, begrenzt (die bekannten Vorräte reichen beim heutigen Verbrauchsniveau weniger als hundert Jahre). Zudem stellen sie wichtige Rohstoffe für die chemische Industrie dar, die schwer zu ersetzen sind und für kommende Generationen geschont werden sollten. Vor allem aber dürfen wir wahrscheinlich gar nicht alle erreichbaren fossilen Energieträger verbrennen, wenn wir den menschlichen Einfluss auf Klimaveränderungen auf ein verantwortbares Maß begrenzen wollen.

Nukleare Energien weisen ganz eigene spezifische Probleme auf (siehe ergänzend dazu auch die Ausführungen im Anhang).

Erneuerbare (auch: regenerative) Energien haben grundsätzlich das Potenzial, sich immer wieder zu erneuern und über lange Zeiträume in gleicher Menge und Qualität zur Verfügung zu stehen.

Viele erneuerbare Energien sind direkte oder indirekte Wirkungen der Sonnenenergie: Die Strahlung der Sonne kann direkt genutzt werden zur Gewinnung von Wärme und Strom. Aber die Sonnenstrahlung ist auch die Ursache dafür, dass Wasser verdampft und anderswo abregnet und in Flüssen abfließt (dabei kann Wasserkraft genutzt werden). Die Sonne ist weiter für das Wettergeschehen in der Atmosphäre verantwortlich; Druckunterschiede führen zu Wind-Energie. Und im Licht der Sonne bilden grüne Pflanzen Biomasse.

Zwei von der Sonne unabhängige erneuerbare Energiequellen sind die Erdwärme (hervorgerufen vor allem durch radioaktiven Zerfall von Atomen im Erdinnern) und Gezeitenenergie (die außer von der Sonne auch vom Mond bewirkt wird).

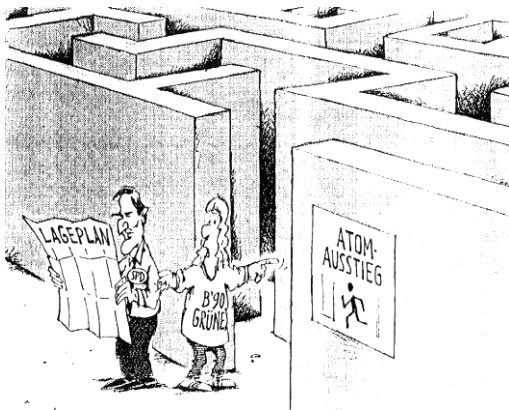
Die Potenziale regenerativer Energien sind sehr groß (die natürlichen Energieströme entsprechen etwa dem 3000-fachen des derzeitigen jährlichen Welt-Energieverbrauchs), allerdings können diese z.T. nur mit sehr hohem Aufwand erschlossen werden.

Probleme bereiten vor allem die bei manchen Energieträgern geringe Energiedichte, das tageszeitlich und jahreszeitlich

schwankende Angebot sowie unzulängliche Möglichkeiten der Lagerung bzw. Speicherung.

Interessant ist es vielleicht noch die Anmerkung, dass wir in Form der Sonnenenergie und all ihrer Abkömmlinge letztlich Kernenergie nutzen, die Energie einer balancierten Kernfusionsreaktion, wobei der natürliche „Fusionsreaktor“ Sonne beruhigende 150 Millionen Kilometer von uns entfernt ist und stabil schon seit Milliarden von Jahren „arbeitet“.

Der Weg in die Energie-Zukunft wird wohl kaum mit einseitigen Strategien zu finden und zu verwirklichen sein. Wir haben weiter erhebliche Sorgen – und nicht nur im Umgang mit der Kernenergie.



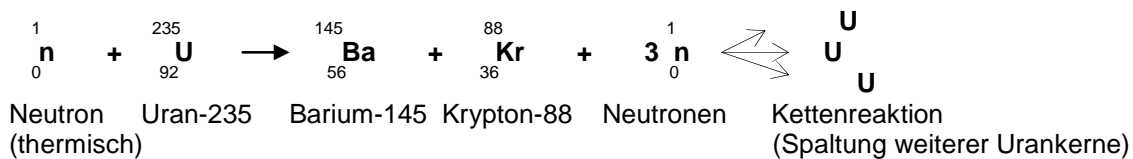
Anhang

Möglichkeiten zur energetischen Nutzung der Kernenergie (nukleare Energien)

A) Kernspaltung (Leichtwasserreaktoren)

Die derzeit weltweit in Betrieb befindlichen reichlich 400 Kernreaktoren beruhen im wesentlichen auf dem gleichen Prinzip. Sie spalten Kerne des Uran-Isotops U-235. Die beim Spaltprozess freiwerdende Energie wird genutzt, um Wasser zu verdampfen und elektrischen Strom zu erzeugen.

Spaltung von Uran-235 (ein möglicher Reaktionsverlauf):



Kernreaktoren dienen bisher ausschließlich der Stromerzeugung. Der in unserer Gesellschaft – im Vergleich zu Strom - wesentlich höhere Bedarf an Wärme (für Raumheizung und industrielle Prozesse) und an Transportleistungen (flüssige und gasförmige Treibstoffe) kann durch die Inbetriebnahme von zusätzlichen herkömmlichen Kernkraftwerken nicht einfach befriedigt werden (z.B. sind Kernheizwerke mit Abwärmenutzung zwar denkbar, müssten aber sinnvollerweise vorwiegend in Ballungszentren errichtet werden).

Das spaltbare Uran-235 ist im natürlich vorkommenden Uran nur mit einem Anteil von 0,7% enthalten. Unter diesen Bedingungen reichen die bekannten Uran-Vorräte nur für wenige Jahrzehnte.

Insgesamt zeigen die oben dargestellten Überlegungen, dass die intensive Nutzung der Atomenergie eine enorme technische, sicherheitstechnische, wirtschaftliche und soziale Herausforderung darstellen würde.

Um Kernkraftwerke noch sicherer zu machen, wird in Frankreich unter Beteiligung des deutschen Kraftwerksbauers SIEMENS am **Reaktortyp EPR** (European Pressurized Reactor) gearbeitet. Er soll zusätzliche Sicherheitssysteme besitzen, die sowohl Wasserstoffexplosionen unmöglich machen als auch – durch Installation eines Hitzeschildes unter dem Reaktor – ein Durchschmelzen des Reaktorkerns verhindern.

Auch der in Deutschland (Hamm-Uentrop) entwickelte, aber nie eingesetzte **Hochtemperaturreaktor** kann vom Konstruktionsprinzip her nicht „durchbrennen“. Hier sind Uranoxid-Teilchen in Graphitkugeln eingeschlossen, der Kernspaltungsprozess läuft bei 900 Grad ab, die Kühlung und der Wärmetransport zur Energieerzeugung erfolgt mit dem Gas Helium, und der Reaktor kann sich nicht über 1600 Grad aufheizen.

Es gibt auch – noch theoretische – Konzepte, um langlebige radioaktive Abfälle besser beherrschbar zu machen: durch Bestrahlungsprozesse („**Transmutation**“: z.B. Beschuss mit schnellen Neutronen aus Teilchenbeschleunigern) sollen sie in nicht mehr strahlende Isotope umgewandelt werden.

Dennoch bleibt ein Grundproblem: die Nutzung der Uranvorräte mit der heute angewendeten Kernspaltungs-Technologie würde das „Atomzeitalter“ wegen Erschöpfung der wirtschaftlich gewinnbaren Ressourcen an spaltbarem Uran-235 auf wenige Jahrzehnte begrenzen.

Um dieses Problem zu umgehen, müssten andere Konzepte der Nukleartechnik zum Einsatz kommen.

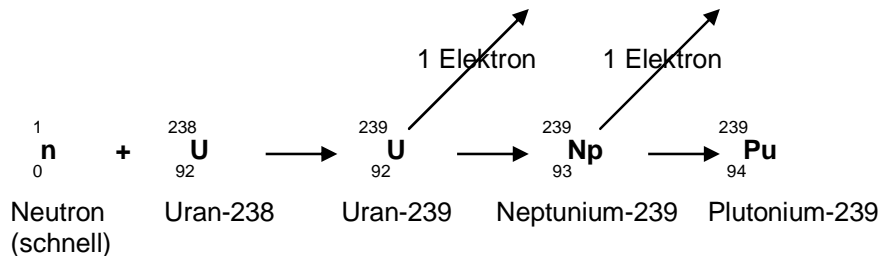
B) Brutreaktoren

Für den Kernspaltungsprozess nutzbar ist bei Verwendung von Uran lediglich das Isotop Uran-235. Dieses kommt im in der Natur gefundenen Uran aber lediglich mit einem Anteil von 0,7% vor. In herkömmlichen Leichtwasserreaktoren werden Urankerne des Isotops Uran-235 durch Beschuss mit thermischen (relativ langsamen) Neutronen gespalten. Beim Spaltprozess werden neue Neutronen freigesetzt, die weitere Uran-235-Kerne spalten können (Kettenreaktion). Allerdings bewegen sich diese Neutronen zu schnell für einen effektiven Spaltprozess. Um sie auf die geeignete Geschwindigkeit abzubremsen, werden „Moderatoren“ eingesetzt. Dabei handelt es sich um Wasser oder Graphit (Kohlenstoff), Substanzen, deren Atomkerne beim Zusammenstoß die Geschwindigkeit der Neutronen verlangsamen.

Es gibt die Möglichkeit, den Kern-Reaktor so zu betreiben, dass aus dem bisher nicht nutzbaren Uran weiteres spaltbares Material „erbrütet“ wird. Das geschieht in so genannten „Schnellen Brutreaktoren“ (SBR; in Deutschland wurde der Schnelle Brüter in Kalkar nie in Betrieb genommen, aber z.B. in Frankreich, Japan und in der Sowjetunion haben solche Anlagen gearbeitet).

Das im Natururan mit 99,3% Anteil enthaltene Uran-Isotop mit der Massezahl 238 ist nicht durch langsame Neutronen spaltbar. Man kann aber durch Kernumwandlung daraus spaltbare Atome erzeugen. Wenn die bei der Spaltung von Uran-235-Kernen entstandenen Neutronen nicht abgebremst werden, können diese in Atomkerne des Uran-238 eindringen. Anschließend kommt es zu mehreren Kernumwandlungen, bis schließlich als relativ stabiles Produkt Plutonium-239 entsteht. Dieses Isotop ist wieder (wie Uran-235) in ganz „normalen“ Atomkraftwerken als spaltbares Material einsetzbar.

Brutprozess zur Erzeugung von spaltbarem Plutonium-239 aus Uran-238:

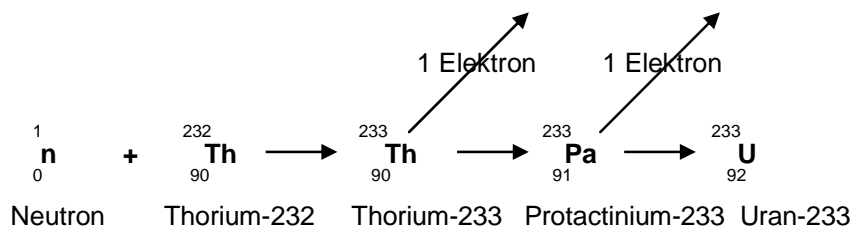


Damit könnte theoretisch der Vorrat an spaltbarem Material aus Uran erheblich gesteigert werden, weil nun auch das häufigere Uran-Isotop U-238 genutzt werden kann.

Der schnelle Brutreaktor ist wegen spezifischer Probleme umstritten. Als Kühlmittel wird in schnellen Brutreaktoren z.B. flüssiges Natrium eingesetzt (intensive chemische Reaktionen bei Kontakt mit Wasser). Damit das Konzept des Brutreaktors funktioniert, ist eine Wiederaufarbeitung der abgebrannten Brennstoffe (Abtrennung des begehrten Plutoniums von nicht mehr nutzbaren radioaktiven Abprodukten) unverzichtbar. Plutonium ist aber eine schon chemisch hochgefährliche Substanz und zudem ein starker Alphastrahler. Plutonium eignet sich zudem „gut“ zum Bau von Atombomben.

Auch aus dem in der Natur vorkommenden Element Thorium (Isotop Thorium-232) könnte in einem Brutprozess spaltbares Material (Uran-233) gewonnen werden.

Brutprozess zur Erzeugung von spaltbarem Uran-233 aus Thorium-232:



C) Kernfusion

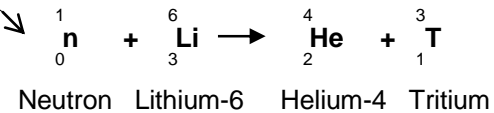
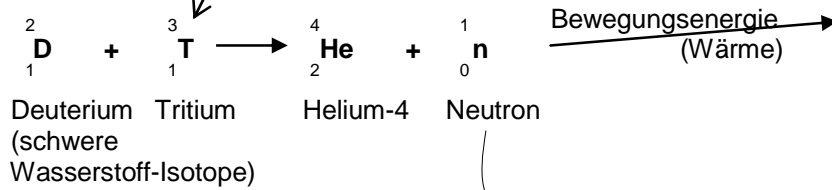
Schon seit Jahrzehnten sind Wissenschaftler von dem Traum fasziniert, den Prozess technisch auf der Erde zu verwirklichen, mit dem die Sonne ihre Energie produziert. Es geht um den Vorgang der Kernfusion. Im Inneren der Sonne verschmelzen bei Temperaturen von vielen Millionen Grad Kerne von Wasserstoffatomen zu schwereren Atomkernen (in der ersten Stufe zu Helium).

In Südfrankreich wird jetzt der Prototyp eines Reaktors errichtet, in dem ein solcher Prozess technisch kontrolliert stattfinden soll (ITER = Internationaler Thermonuklearer Experimental-Reaktor).

Die Reaktorkammer hat die Gestalt eines riesigen liegenden Lastwagenreifens. Gewaltige Magnete halten ein erhitztes ionisiertes Gasgemisch (Plasma) in der Schwebe. Es enthält die Wasserstoff-Isotope Deuterium und Tritium (es werden nicht „normale“ Wasserstoffatome verwendet, sondern schwere Wasserstoff-Isotope, die zusätzlich zu dem normalen 1 Proton im Atom-Kern noch 1 bzw. 2 Neutronen enthalten). Dabei befindet sich nur jeweils eine Materialmenge von wenigen Gramm Brennstoff im Reaktor. Bei Temperaturen von 150 Millionen Grad erfolgt die Verschmelzung zu Heliumkernen. Dabei werden Neutronen freigesetzt, deren Bewegungsenergie (Wärme!) auf ein Kühlmittel übertragen und zur Stromerzeugung genutzt wird. Gleichzeitig beschießt man mit den Neutronen in der Reaktorhülle ein „Blanket“ (einen Materialmantel), das aus Lithium besteht – dabei wird neues Tritium für den Prozess erbrütet (der zweite notwendige Brennstoff Deuterium kann aus normalem Wasser gewonnen werden).

Kernfusion: Atomkerne des Wasserstoffs verschmelzen zu Helium:

a) Fusionsprozess



b) Brutprozess in der Hülle des Reaktors

ITER soll 10 mal so viel Energie erzeugen, wie zum Inganghalten des Prozesses benötigt wird. Enorme technische Probleme sind noch ungelöst. Die Temperaturen im Plasma und der ständige Neutronenbeschuss stellen extreme Anforderungen an das Material der Reaktorwände (Keramik, Graphit?; häufiger Austausch der Wände?). Auch in einem Fusionsreaktor entstehen radioaktive Abprodukte (durch die Bestrahlung aktiviertes Wandmaterial, entweichendes gasförmiges Tritium), wenn auch in geringeren Mengen als bei Kernspaltungsreaktoren.

Wenn der Prozess überhaupt jemals kontrolliert gelingen sollte, ist mit einem kommerziellen Fusionsreaktor frühestens in 50 Jahren zu rechnen. Auch dann wäre der erzeugte Strom wahrscheinlich 3 x teurer als heute bei der Herstellung aus Kohle oder Öl.

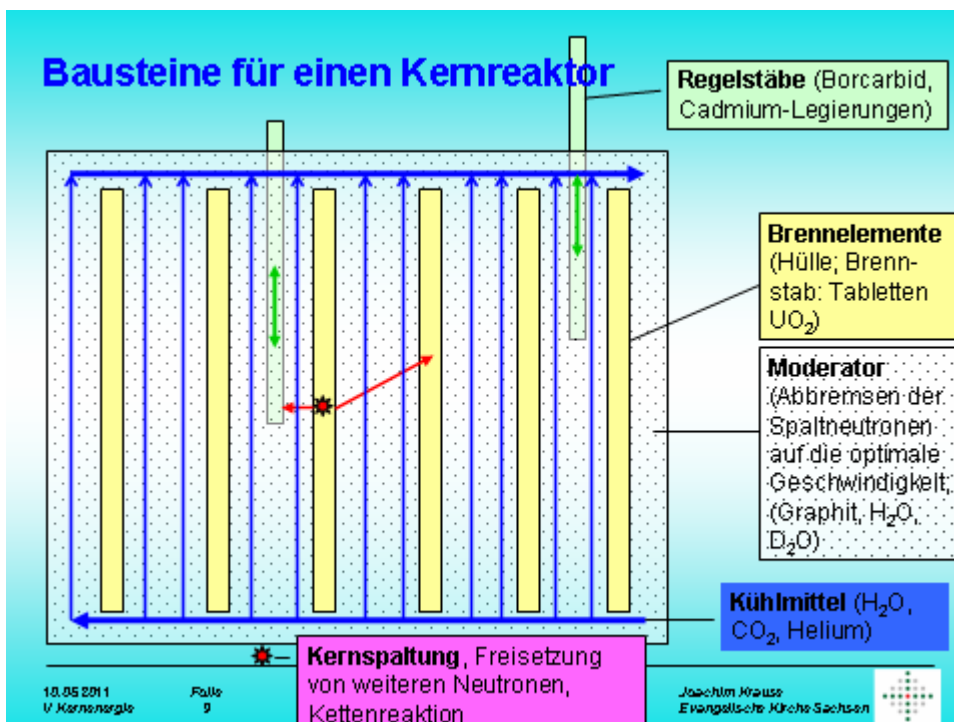
Wie Kernkraftwerke arbeiten

(Dieser Textabschnitt wurde nahezu wörtlich entnommen aus:

Joachim Krause: „... nicht das letzte Wort“, Kernenergie in der Diskussion, Kirchliches Forschungsheim Wittenberg/DDR, 1987, S.22ff.)

a) Bausteine für einen Kernreaktor

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die wichtigsten Bestandteile eines Kernreaktors.



- **Der Brennstoff**

Uran (chem. U) ist das schwerste natürlich vorkommende Element. Es ist in Form von chemischen Verbindungen in Gesteinen (z.B. Granit) enthalten. Natur-Uran ist ein Gemisch dreier Isotope: 99,28% U-238, 0,71% U-235 und Spuren von U-234.

Für die Kernspaltung in den heute betriebenen Reaktoren ist nur der relativ geringe Anteil an U-235 verwendbar.

Durch Erzaufbereitung gewinnt man das Uran-Isotopengemisch aus dem Gestein. Danach müssen in sehr aufwendigen physikalischen Trennverfahren (z.B. über Zentrifugen) die Isotope voneinander getrennt werden. Mit einem üblicherweise auf 2 bis 5 Prozent erhöhten Anteil von U-235 („Anreicherung“) können die Reaktoren betrieben werden (spezielle Reaktoren können auch mit Natururan arbeiten). Das Uran wird – als Metall oder häufiger in Form seines Dioxids UO_2 – in Tablettenform gepresst. Damit werden die sogenannten Brennstäbe gefüllt, dünne Rohre aus widerstandsfähigen Metallen, z.B. Zirkonium-Legierungen.

Von diesen Brennstäben werden nun Tausende (in Kassetten zusammengefasst) im Reaktor nebeneinander gehängt (etwa ein Drittel wird jährlich ausgewechselt). Damit die davonfliegenden Neutronen aus einem Kernzerfall wieder einen Uran-Kern „treffen“ und nicht vorher den Reaktor verlassen, muss eine Mindestmenge spaltbaren Urans zusammengepackt werden, die sogenannte „kritische Anordnung“. Dann erst hält sich der Spaltprozess selbst in Gang: Die beim spontanen Zerfall eines Uranatoms freiwerdenden zwei bis drei Neutronen spalten zwei bis drei weitere Kerne, in der nächsten „Generation“ sind es schon vier bis neun Neutronen und ebenso viele durch sie bewirkte Kernspaltungen. Die Zahl wächst in Sekundenbruchteilen lawinenartig an, eine Kettenreaktion setzt ein, die es zu steuern gilt. ...

- **Kontrollierte Kettenreaktion**

Um die Zahl der Neutronen im Reaktor zu kontrollieren, d.h. auf dem gewünschten Niveau konstant zu halten, werden an verschiedenen Stellen zwischen die Brennstabkassetten sogenannte Regelstäbe (Kontrollstäbe) geschoben. Sie enthalten Substanzen (z.B. Cadmium, Bor), die Neutronen absorbieren, „einfangen“. Je nachdem, wie weit solche Kontrollstäbe in den Reaktor hineinragen, kann der Neutronenfluss verstärkt oder auch so weit vermindert werden, dass die Kettenreaktion zum Erliegen kommt. Das ist wichtig für den Fall einer Havarie: Hier werden die Regelstäbe regelrecht in den Reaktor „hineingeschossen“, um die Kettenreaktion augenblicklich zu beenden (= Schnellabschaltung).

- **Der Moderator als „Neutronenbremse“**

Die Neutronen, die bei der Uranspaltung frei werden, sind sehr energiereich, d.h. sie bewegen sich sehr schnell (etwa mit 20.000 Kilometern pro Sekunde). Für die Spaltung von U-235-Atomen ist es aber günstiger, wenn sich die Spaltneutronen relativ langsam bewegen – dann bringen sie den Atomkern mit größerer Wahrscheinlichkeit zum „Platzen“. Man lässt daher die „schnellen“ Neutronen auf ihrem Weg von einem Brennstab zu einem benachbarten durch eine Substanz fliegen, in der sie abgebremst werden (die langsamen „thermischen“ Neutronen haben nur noch eine Geschwindigkeit von etwa 2 km/s). Diese Bremssubstanzen heißen Moderatoren. Das sind Stoffe, mit deren Atomkernen die Neutronen unter Energieverlust zusammenprallen, ohne dabei aber absorbiert zu werden. Als Moderatoren eignen sich (und werden eingesetzt): normales Wasser H_2O , („Leichtwasser-Reaktoren“), Kohlenstoff in Graphitform (z.B. verwendet im Tschernobyl-Reaktor) und sogenanntes „schweres Wasser“ D_2O (D = Deuterium ist das Wasserstoffisotop mit der Massenzahl 2; Einsatz in „Schwerwasser-Reaktoren“).

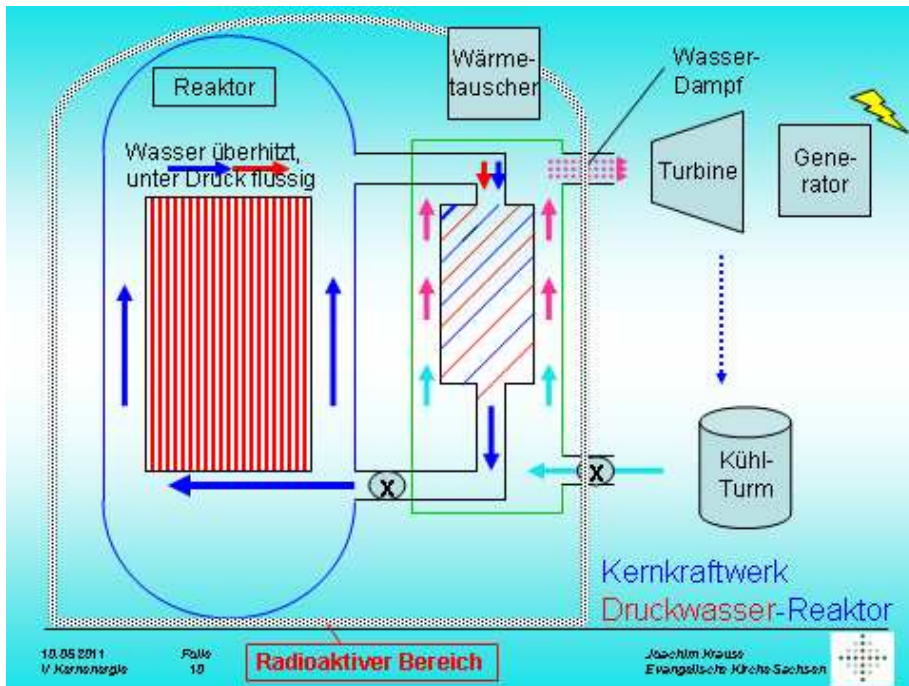
- **Das Kühlmittel**

In den Brennstäben findet nun eine kontrollierte Kettenreaktion statt, bei der im Wesentlichen Wärmeenergie freigesetzt wird. Der Brennstab heizt sich auf und würde nach kurzer Zeit Schmelztemperatur erreichen. Er muss also gekühlt werden (das Schmelzen des Reaktorkerns, die sogenannte „Kernschmelze“, ist einer der schwersten vorstellbaren Unfälle in Kernkraftwerken). Aber nicht nur wegen dieser Gefahr – nein, die Gewinnung der Wärmeenergie ist ja der eigentlich Grund, warum dieser komplizierte Prozess betrieben wird!

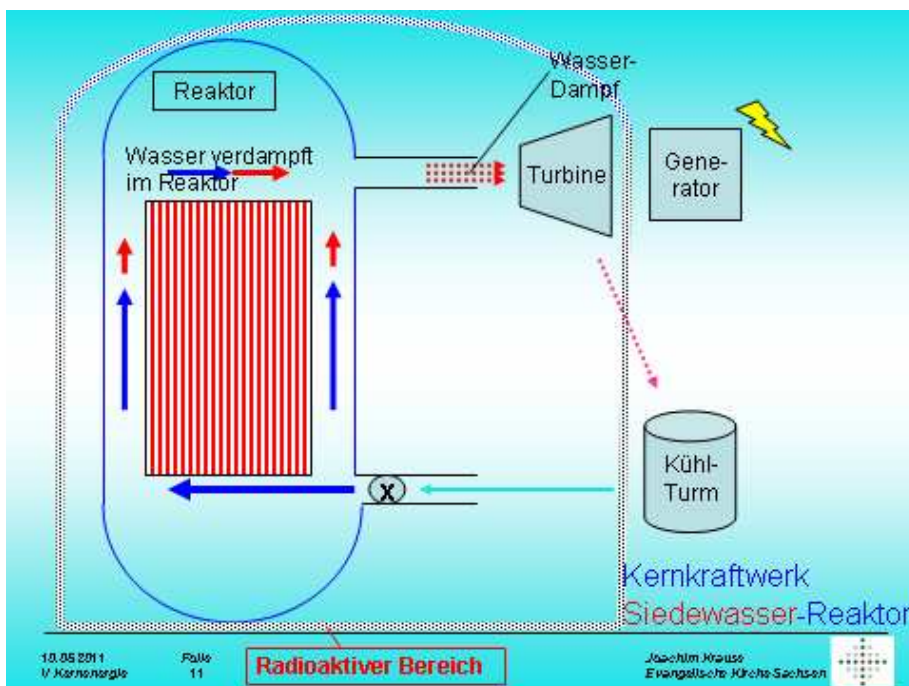
Das Kühlmittel, das mit hoher Geschwindigkeit die Brennstäbe umströmt und dabei erhitzt wird, ist in der Regel Wasser. In speziellen Reaktoren wird auch mit Gasen (z.B. Helium, Kohlendioxid) bzw. mit flüssigem Natrium-Metall gekühlt

zwei wichtige Reaktortypen

Beim **Druckwasser-Reaktor** wird das Kühlwasser im ersten Kreislauf (Primärkreislauf) geschlossen geführt. Große Umwälzpumpen drücken das Wasser in den Reaktordruckbehälter, in dem es an den heißen Brennstäben vorbeiströmt und sich dabei aufheizt. Das erhitzte Wasser steht unter hohem Druck (über 100 atm) und bleibt deshalb trotz Temperaturen von weit über 100 Grad Celsius (z.B. 270 Grad) im Primärkreislauf flüssig. Über einen Wärmetauscher (Dampferzeuger) gibt es seine Wärmeenergie an einen zweiten Wasserkreislauf ab. Hier erst kommt das Wasser zum Sieden. Der entstehende Dampf wird auf Turbinen geleitet und erzeugt im Generator Strom. Hinter der Turbine wird der Dampf mit Hilfe eines äußeren Kühlkreislaufs (aus einem See oder Fluss oder in Kühltürmen) kondensiert. Ein Kraftwerk mit 1000 Megawatt elektrischer Leistung benötigt hierfür bei einer zugelassenen Kühlwassererwärmung um 10 Grad etwa die gesamte Wasserführung der Elbe bei Magdeburg.



In **Siedewasserreaktoren** wird das Kühlwasser bereits im ersten Kreislauf in Dampf umgewandelt und dieser direkt auf die Turbine geleitet. So wird ein Kühlmittelkreislauf eingespart ... Allerdings kommt bei dieser Bauart der Turbinenteil des Kernkraftwerks direkt in Kontakt mit dem radioaktiv belasteten Wasser des Primärkreislaufs und muss entsprechend zusätzlich mit gegen die äußere Umgebung abgeschirmt werden.



Wichtige Arten ionisierender Strahlung

Art der Strahlung	Kennzeichnung	Reichweite im Gewebe	Relative biologische Wirkung
Alpha-Strahlung	Teilchen; Atomkerne des Elements Helium (2 Protonen, 2 Neutronen, 2-fach positive Ladung)	bis 0,1 Millimeter	20 (etwa tausend Wechselwirkungen pro Zelle)
Beta-Strahlung	Teilchen, Elektronen, (einfach negativ geladen)	einige Millimeter	1 (etwa 1 Wechselwirkung pro Zelle)
Gamma-Strahlung	elektromagnetische Strahlung (ähnlich Röntgenstrahlung)	energieabhängig; einige Zentimeter	1
Röntgen-Strahlung	elektromagnetische Strahlung	energieabhängig; einige Zentimeter	1
Neutronen-Strahlung	Teilchen, ungeladen	einige Zentimeter	5 bis 20 (je nach Energie)

Begriffe zur Sicherheit und zu Störfällen und Unfällen bei Atomkraftwerken

Der so genannte **GAU** ist der „größte anzunehmende Unfall“, für den in einem AKW Sicherheitsvorkehrungen getroffen wurden: Dem Konzept nach ist der GAU durch automatisch arbeitende Sicherheitssysteme beherrschbar und eine radioaktive Belastung über die zulässigen Grenzwerte hinaus vermeidbar.

Für einen Leichtwasserreaktor ist der GAU der Bruch der Hauptkühlleitung; um ein Schmelzen der Brennstäbe zu verhindern, wird eine Schnellabschaltung eingeleitet, mehrfach ausgelegte Notkühlsysteme sichern die Wärmeabfuhr

...

Der denkbar größte, nicht mehr beherrschbare Störfall, bei dem es zum Schmelzen des Reaktorkerns kommt, ist der **SUPER-GAU**. Der Reaktorkern kann innerhalb von Minuten Temperaturen von über tausend Grad erreichen und schließlich bei 3000 Grad schmelzen. Nach einer Stunde hat der einige hundert Tonnen schwere geschmolzene Kern alle Schutzeinrichtungen durchdrungen und dringt in Boden und Grundwasser vor

(Auslösen eines Supergau ist möglich durch Erdbeben, Bersten des Sicherheitsbehälters, Flugzeugabstürze, Krieg, Sabotage)

Bestimmung der Belastung durch ionisierende Strahlung

Bestimmte Größe	Angabe	Maßeinheit
Radioaktivität	Anzahl der radioaktiven Zerfälle pro Masseneinheit, pro Flächeneinheit	1 Becquerel (Bq) = 1 Zerfall pro Sekunde
Energiedosis	Angabe der Energiemenge, die ein bestrahlter Körper aufnimmt	1 Gray (Gy) = 1 Joule pro kg
Äquivalentdosis	Berechnung der biol. Gefährdung aus der Energiedosis und der Strahlenart	1 Sievert (Sv) = 1 Gray x Faktor (Rel. Biol. Wirkung) (1 SV = 100 Rem)

Strahlenbelastungen, Gefährdungen und Grenzwerte

Belastungswert	Beschreibung
2 bis 4 mSv pro Jahr	Normale Strahlenbelastung in Deutschland aus natürlichen und zivilisatorischen Quellen
1 mSv / a	Zulässige zusätzliche Belastung Deutschland
2,3 mSv	1 Jahr Arbeit als Stewardess
0,7 mSv	1 Mammogramm
1,4 mSv	1 Schachtel Zigaretten ohne Filter rauchen
20 mSv / a	Zulässige berufliche Belastung in Deutschland
400 mSv	Zulässiger Lebensgrenzwert
50 mSv / a	Zulässige berufliche Belastung in den USA
Ab 500 mSv	Innerhalb weniger Tage gesundheitliche Schäden möglich
1 bis 6 Sv	Übelkeit, Kopfschmerzen, Bewusstseinsstrübung
15 Sv	Kaum Überlebenschancen

Kernkraftwerke in verschiedenen Regionen (Stand Anfang des Jahres 2011)

Region / Land	Kernreaktoren in Betrieb	Kernreaktoren im Bau
Welt	443 in 30 Ländern	65
USA	104	
Frankreich	58	
Japan	55	
Deutschland	17 (- 8)	
EU	in 10 von 27 Mitgliedsländern	

Nachtrag:

Die Auswirkungen des Unfalls im Kernkraftwerk Fukushima in Japan im März 2011 wurden im vorstehenden Text noch nicht berücksichtigt.

einige Daten auf dem Weg zur Nutzung der Atomenergie und ethische Fragestellungen

Jahr	Ereignis	Ethischer Bezug
ab 1880	Physiker diskutieren einen Zusammenhang zwischen Masse, Energie und Lichtgeschwindigkeit	Grundlagenforschung (wertfrei ?)
um 1900	Beobachtung: bei radioaktiven Zerfallsprozessen werden enorme Wärmemengen freigesetzt	Grundlagenforschung
1905	Albert Einstein: Spezielle Relativitäts-Theorie - $E = m \times c^2$	Grundlagenforschung
1933	Leo Szilard: Kettenreaktion durch Neutronenbeschuss denkbar ?	Grundlagenforschung
1934	Enrico Fermi: Umwandlungen von Atomkernen durch Neutronenbestrahlung – Deutung?	Grundlagenforschung
1938	Otto Hahn, Fritz Straßmann, Lise Meitner: Kernspaltung ist möglich - zufällige Entdeckung	Grundlagenforschung; praktische Nutzung erscheint möglich
August 1939	Brief von Leo Szilard, Albert Einstein und Eugene Wigner an US-Präsident Roosevelt: Warnung vor „deutscher“ Atombombe, Ermutigung zur Entwicklung eigener amerikanischer Atombombe	es gibt gute und böse Atombomben, je nachdem, in wessen Händen sie sind!
1942 bis 1945	Manhattan-Project in den USA zum Bau einer Atombombe	Ziel: Sieg über Nazi-Deutschland
6. und 9.8.1945	Abwurf Atombomben Hiroshima und Nagasaki	Verkürzung des Krieges in Asien – 200.000 tote Japaner; Leben von 200.000 US-Soldaten gerettet
nach 1945	kalter Krieg, atomares Wettrüsten	„Gleichgewicht des Schreckens“; Sowjetunion „Wismut“-Uranbergbau in der DDR: „Erz für den Frieden!“
1953	US-Präsident Eisenhower bei Amtsantritt: „Atoms for peace“	friedliche, GUTE, Nutzung der Atomenergie; große Hoffnungen, unerschöpfliche, billige Energiequelle, strahlende Zukunft
1954	erster ziviler Reaktor Obninsk / Sowjetunion	kontrollierte Kernspaltung ist technisch möglich
1955	BRD: 1955 Bundesministerium für Atomfragen; 1959: Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie	Kernenergie als wichtiger Strategiepfeiler der Energiepolitik
1979	Unfall KKW Harrisburg USA, teilweise Kernschmelze	kritische Fragen, kritische Öffentlichkeit, Lügen, Ideologien;
1986	Unfall KKW Tschernobyl Sowjetunion	das „Restrisiko“ ist real, bekommt ein Gesicht; GAU (und Super-GAU); Güterabwägung zulässig ?; Probleme: Proliferation (Weitergabe von Kernbrennstoff und Weiterverbreitung von Atomwaffen), Atommüll, Anlagen-Sicherheit, (Uran-Reserven)
2011	Unfall KKW Fukushima Japan	keine Alternative (96% Energieträger-Import, 30% Strom aus Kernenergie)
2011	Energiewende Deutschland; „Atomausstieg“	Alternativen tragfähig ?