

**ein Beitrag  
zur Kernenergie-Diskussion  
nach dem Unfall in Tschernobyl**



**1986 in der  
DDR  
im  
halblegalen  
Untergrund  
gedruckt  
(und 2014  
wiederentdeckt)**

## **Liebe Leserin, lieber Leser,**

**Bis Ende des Jahres 2023 sind in der Reihe „Schönberger Blätter“ etwa 160 Beiträge erschienen – die komplette Liste mit der Möglichkeit zum Download finden Sie unter:**

**<http://www.krause-schoenberg.de/materialversand.html>**

- 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 – 60 Seiten
- SB 3: Grüne Gentechnik - Essen aus dem Genlabor? – Der Einsatz der Gentechnik in der Landwirtschaft und in der Nahrungsmittelherstellung - 20 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 – 16 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/gentechnikfaktenalles.html](http://www.krause-schoenberg.de/gentechnikfaktenalles.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), „Über die Entstehung von Arten“ (1859); „Die Abstammung des Menschen“ (1871), aus Briefen – 45 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

**aktuelle Auflistung ALLER bisher erschienen Hefte und Download unter:**

**<http://www.krause-schoenberg.de/materialversand.html>**

Viel Spaß beim Lesen!

© Joachim Krause 2004

---

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

**Joachim Krause, Thälmannstr. 16, 39291 Möser, Tel. 039222-687686,**

E-Mail: [krause.schoenberg@t-online.de](mailto: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 - bitte nur nach Rücksprache. Druck: 16.09.24

**Joachim Krause:**  
**„... nicht das letzte Wort – Kernenergie in  
der Diskussion“;**

(Hrsg.: Kirchliches Forschungsheim Wittenberg, 1986;  
Format A4, 66 Seiten, Auflage: 1000 Exemplare)

*einige Fehler, die beim Scannen der alten Vorlage in den Text hineingeraten sind,  
bitte ich zu entschuldigen*

**(als „Anhang 2014“ finden Sie ab Seite 64 einige Erläuterungen zur  
Entstehungsgeschichte des Heftes, entnommen aus zwei Büchern  
von Joachim Krause)**

Die Beschäftigung mit der Kernenergie ist für das Kirchliche Forschungsheim nicht neu. Ein ständiger Arbeitskreis am Institut hat sich schon 1981 mit den Chancen und Problemen der friedlich genutzten Kernenergie auseinandergesetzt. Die Informationen und Meinungsbildungs-Anstöße kamen damals vor allem von einem Vertreter des Kernforschungsinstituts Rossendorf und von dem Mitglied des Arbeitskreises, Joachim Krause.

Unter dem Druck der nach dem Reaktorunglück von Tschernobyl aufgeworfenen Fragen und eines gewachsenen Interesses in den Gemeinden hat Joachim Krause nun das vorliegende Material zusammengestellt.

Rosi, Verena, Jürgen, Hans, Michael, Dieter, Peter, Gerd und andere haben seine Entwürfe zu diesem Papier kritisch gelesen und ihm so geholfen, es in die jetzige Form zu bringen.

Joachim Krause ist Diplomchemiker und seit einigen Jahren hauptberuflich bei der Evang.-Luth. Landeskirche Sachsens angestellt. Dort bearbeitet er Fragestellungen im Grenzbereich Glaube/Naturwissenschaft.

Die Anschriften:

Joachim Krause, Hauptstr. 46, Schönberg, 9611  
(Konto-Nr. 5164-19-608 LKG Dresden).

Kirchliches Forschungsheim, Mittelstr. 33, Wittenberg, 4600  
(Konto-Nr. 3592-30-81712 SP Wittenberg)

KFH – 5-86  
Für innerkirchlichen Gebrauch!  
Nicht zur Veröffentlichung!

| <b>Inhaltsverzeichnis</b>   | <b>Seite</b> |
|---|--------------|
| <b>1. Kernenergie – nicht mehr das letzte Wort</b>  | 6            |
| <b>2. Vom Umgang mit Energie</b><br>Wie wir Energie nutzen – Was kann und was soll Kernenergie bringen – (Exkurs: Energieformen)  | 9            |
| <b>3. Wie man Atomkerne spaltet</b><br>Aufbau der Atome – Ein Atomkern explodiert – (Exkurse: Radioaktivität; Isotope; Halbwertszeit)   | 13           |
| <b>4. Die biologischen Wirkungen radioaktiver Strahlung</b><br>Quellen der Strahlenbelastung – Wirkung von radioaktiver Strahlung auf den Organismus – Schäden durch radioaktive Strahlung – Biologische Wirkung einiger Isotope aus der Kernspaltung – Problematische Grenzwerte – Zwei überholte Argumente – (Exkurse: Arten von Strahlung beim radioaktiven Zerfall; Messung der Strahlenbelastung; Anreicherung von radioaktiven Stoffen; Akute Strahlenkrankheit – Dosen und Symptome) | 17           |
| <b>5. Wie Kernkraftwerke arbeiten</b><br>Bausteine für einen Kernreaktor – Arbeitsweise von Kernkraftwerken (Druckwasser-, Siedewasserreaktor) – (Exkurs: Wirkungsgrad)   | 25           |
| <b>6. Sicherheit von Kernkraftwerken</b><br>Unfälle in Kernkraftwerken und Abwehrmaßnahmen – Überlegungen zu Sicherheitsanforderungen für Kernkraftwerke – Sicherheitsvorkehrungen in der Praxis  | 32           |
| <b>7. Der Weg des Kernbrennstoffs vom Erz bis zur Endlagerung</b><br>Uranerzbergbau – Urangewinnung – Spaltstoffanreicherung – Brennelementefertigung – Kernreaktoren – Wiederaufarbeitung – Endlagerung radioaktiver Abfälle – Transporte  | 39           |
| <b>8. Der nächste Schritt: Schnelle Brutreaktoren</b><br>Aus Eins mach Zwei: Wie man Kernbrennstoff erbrüten kann – Der Schnelle Brutreaktor – Der Weg in Wiederaufarbeitung und Plutoniumwirtschaft – (Exkurs: Plutonium)  | 45           |
| <b>9. Über friedliche Kernkraftwerke zur Atombombe?</b>   | 48           |
| <b>10. Zukunft mit oder ohne Kernenergie?</b><br>Was gegen Kernenergie spricht – Gehen ohne Kernenergie die Lichter aus? – Können wir uns Kernenergie ersparen? (Energieeinsparung, Alternative Energiequellen) – wir müssen uns entscheiden – (Exkurs: Kernfusion)   | 49           |
| <b>11. Anhang (zum Heft)</b>  | 60           |
| <b>12. Literaturhinweise und Quellen</b>  | 62           |
| <b>Ergänzung:<br/>Anhang 2014 zur Entstehungsgeschichte des Heftes</b>  | 63           |

# 1. Kernenergie – nicht mehr das letzte Wort

Die friedliche Nutzung der Kernenergie galt jahrzehntelang als d e r zukünftige Weg der Energiegewinnung. Jetzt aber ist deutlich: Kernenergie ist nicht das letzte Wort auf diesem Weg.

Eine breite öffentliche Diskussion des Für und Wider zum Thema „Kernenergie“ hat es in der DDR bisher nicht gegeben.

Weithin unwidersprochen galt Kernenergie als einzige ernsthaft diskutierte Möglichkeit, um auch für die fernere Zukunft den hohen Energieverbrauch unserer industrialisierten Gesellschaft zu sichern. Kernenergie war mit dem Anspruch angetreten, eine billige, dauerhafte, saubere (= umweltfreundliche) und sicher beherrschte Energietechnik zu sein. Der Weg schien klar. Bedenken gegen die technische Beherrschbarkeit des gesamten Kernenergiekomplexes, Zweifel an der Verantwortbarkeit dieses Weges wegen möglicher Auswirkungen auf noch ungeborene Generationen, Ängste vor sozialen und politischen Zwängen – das alles galt als naiv, kleinkariert, fortschrittsfeindlich. Probleme bei der Nutzung der Kernenergie sah man wohl im profitsüchtigen kapitalistischen System, das friedliche Atom in der sozialistischen Gesellschaft war kein kontrovers verhandeltes Thema für Wissenschaftler und politisch Verantwortliche, auch nicht für die Mehrheit der Christen in der DDR.

Im Raum der Kirche gab es vereinzelte Ansätze, sich mit dem Thema Kernenergie auch kritisch auseinanderzusetzen. Vertreter der DDR-Kirchen baten 1980 die Regierung um eine Denkpause (Moratorium) beim weiteren Ausbau der Kernenergie, um noch einmal alle Mittel und Gefahren gründlich abzuwägen, ehe dieser Weg in die Zukunft endgültig eingeschlagen wird. Das geschah in Auswertung einer ökumenischen Konferenz in Boston 1979 „Glaube, Wissenschaft und die Zukunft“. Ebenfalls von dieser Konferenz angestoßen, forderte die Mecklenburgische Landessynode 1979 eine öffentliche Diskussion über Probleme der Kernenergie auch für die DDR. In Sachsen fand 1981 ein Pastorkolleg statt, an dem auch führende Kernenergetiker unseres Landes teilnehmen.

Das Kirchliche Forschungsheim veranstaltete im gleichen Jahr ein Wochenendseminar zum Pro und Contra der Kernenergie.

Jetzt hat dieses Thema eine breitere Öffentlichkeit erreicht. Bestürzt haben viele Menschen auch in unserem Land auf die tragische Havarie im Kernkraftwerk Tschernobyl (UdSSR) am 26. April 1986 reagiert. Mit der Anteilnahme am Schicksal der unmittelbar Betroffenen einher geht die Beunruhigung, selbst durch die weiträumig sich ausbreitende Strahlenbelastung gefährdet zu sein.

Information wird gesucht. Unsicherheit und Ängste werfen Fragen auf, nachdem die mit friedlichen Zielen genutzte Kernenergie gezeigt hat, welches Gesicht sie auch besitzt. An den wissenschaftlichen und technischen Tatsachen der Kernenergetik hat sich durch den Unfall von Tschernobyl ebensowenig geändert wie 1979 durch den von Harrisburg (Three Mile Island) in den USA, der um ein Haar ebenso katastrophal geendet hätte – nur ist, was bisher nur theoretisch möglich war, jetzt zur praktischen Erfahrung geworden.

Wir sind in den letzten Wochen und Monaten häufig auf die Ursachen, Folgen und möglichen Konsequenzen dieses Unfalls angesprochen worden. Wir möchten uns dieser Herausforderung stellen und legen hiermit als einen Beitrag zu dem jetzt notwendigen Dialog in der Gesellschaft dieses Papier vor, das wichtige Begriffe und Zusammenhänge zur Problematik der Kernenergie darstellt.

Wir schließen uns einer Verlautbarung der Konferenz der Evangelischen Kirchenleitungen vom 5. Juli 1986 an, in der es u. a. heißt:

Die Havarie im Kernkraftwerk Tschernobyl und ihre Folgen „... sind ein zwingender Anlass, über die gesellschaftliche Verantwortung der Kernenergieerzeugung erneut nachzudenken ... Wir haben die Energiesituation unseres Landes und mancher anderer Länder vor Augen und sind uns bewusst, wie schwierig es ist, mittelfristig alternative Energiequellen zu finden und zu nutzen. Es mag daher sein, dass wir noch eine Zeitlang mit dem Risiko der Kernenergiegewinnung werden leben müssen. Für eine optimistische Beurteilung dieser Technik besteht nach unserer Auffassung nach Tschernobyl jedoch keine Veranlassung mehr. Wir begrüßen und ermutigen deshalb alle Aktivitäten, die auf eine effektivere, sparsamere Verwendung der uns gegenwärtig zur Verfügung stehenden Energie und auf der Erschließung alternativer, weniger gefahrvoller Energiequellen gerichtet sind. Die notwendigen Änderungen der Energiepolitik werden an Veränderungen der unserer Lebensweise zugrundeliegenden Wertvorstellungen gebunden sein.“

Es geht uns nicht um eine pauschale Ablehnung oder gar Verteufelung der Kernenergie. Wenn wir dennoch die Betonung auf die wunden Punkte und ungelösten Probleme der Kernenergie legen, dann deshalb, weil diese Aspekte bisher nur am Rande behandelt wurden.

Wir betrachten dieses Papier als einen Versuch, Christen zu einem sachlichen Gespräch zu befähigen. Eine öffentlich geführte Diskussion über den Stellenwert und die Risiken der Kernenergie auch in unserer Gesellschaft erscheint wichtig und angebracht. Die für die Beurteilung der Kernenergie wesentlichen Fragen sind sozialer, ökologischer, politischer und wirtschaftlicher Art. Sie setzen gesellschaftliche Zielvorstellungen und Wertmaßstäbe voraus, sind somit nicht rein wissenschaftlich, erst recht nicht rein physikalisch von Fachleuten zu entscheiden und zu beantworten.

Wir alle sollten die Verantwortung für die nötigen Entscheidungen bewusst mittragen – als Nutznießer und als Betroffene.

Noch sind die Weichen nicht endgültig gestellt. Noch können wir aus der friedlichen Kernenergie-Nutzung aussteigen. Noch lohnt es sich also, darüber nachzudenken. In diesem Zusammenhang hat uns die Aussage von Erich Honecker in einem Interview aufhorchen lassen („Neues Deutschland“ ND vom 25. 6. 86), „... dass die Kernkraft nicht das letzte Wort ist.“ Die DDR decke heute nur drei Prozent ihres Gesamtenergiebedarfs durch Kernkraftwerke. Andere Länder hätten einen viel höheren Anteil an Kernenergie, für sie werde es natürlich schwerer sein, darauf zu verzichten (s. dazu auch Abb. 1).

In der DDR bestehe die Absicht, die Kernenergie weiter auszubauen, aber über diese Frage werde nach dem Vorliegen des Unfallberichts von Tschernobyl weiter diskutiert.

Abb. 1:  
Stand der Kernenergie-  
nutzung 1985  
374 Reaktoren in  
26 Ländern  
248577 MW<sub>e1</sub>

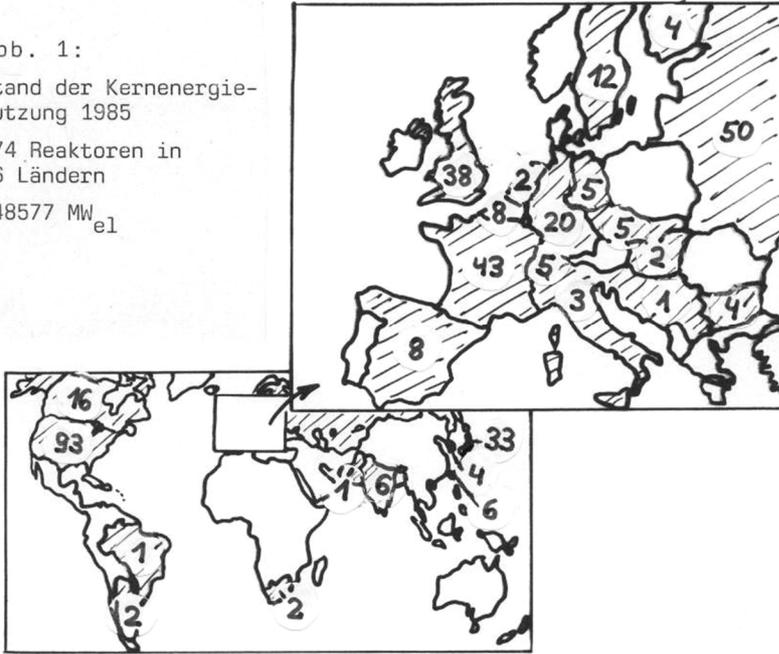


Abb. 1: Stand der Kernenergienutzung 1985  
374 Reaktoren in 26 Ländern; 248577 MW<sub>el</sub>

Die Gefährdung des Lebens durch *militärische* Anwendung der Kernenergie wird in dem vorliegenden Papier weitgehend ausgespart, obwohl sie doch so groß ist. Wir haben das nie vergessen, mussten uns aber hier auf den einen Aspekt beschränken. Beide Anwendungen der Kernenergie sind lebensgefährlich. Das Suchen nach Auswegen ist hier wie dort unsere Pflicht.

Das „neue Denken im Atomzeitalter“ (Michail Gorbatschow) hat, wie die Synode des Bundes der Evangelischen Kirchen in der DDR in einem Beschluss vom September 1986 feststellt, „Konsequenzen, die von der Ablösung der Abschreckungsstrategie bis zu einem Nachdenken über die Ablösung der Atomenergienutzung reichen. Um Zeit für verantwortbare Zukunftsentscheidungen zu gewinnen, sollte einem allgemeinen Kernwaffentestmoratorium ein weltweites Moratorium für den Ausbau der Nutzung der Atomenergie folgen.“

## 2. Vom Umgang mit Energie

Kernenergie will eine (die) Antwort sein auf eine der bedrängendsten Fragen der Gegenwart:

Wie können für immer mehr Menschen auf der Erde ausreichende Energiemengen bereitgestellt werden? Die Situation ist ernst. Die Hauptenergieträger des Industriezeitalters sind bisher fossile Brennstoffe wie Kohle, Erdöl und Erdgas. Sie werden heute in so riesigen Mengen verbraucht, dass sich Grenzen für die Vorräte abzeichnen. Erdöl und Erdgas werden wahrscheinlich nur noch für einige Jahrzehnte zur Verfügung stehen. Die Kohlevorräte sind größer – nach neusten Angaben könnten sie auch allein den Energiebedarf der Menschheit noch für tausende von Jahren decken. Aber auch hier: das Ende der Vorräte kommt in Sichtweite. Der Ersatz fossiler Rohstoffe durch andere Energieträger ist auch aus zwei anderen Gründen dringend geboten, nämlich weil

- sich bei der Verbrennung fossiler Energieträger schon heute erhebliche Umweltprobleme ergeben (Rolle des Schwefeldioxids und der Stickoxide bei der Entstehung von sauren Niederschlägen, Schadwirkungen beim Waldsterben und im Bereich der menschlichen Gesundheit; langfristige klimatische Auswirkungen der Anreicherung von Kohlendioxid in der Atmosphäre: „Treibhauseffekt“)
- fossile Energieträger (Kohle, Öl, Erdgas) bei ihrer Verwendung als Brennstoff nützlicherem Einsatz entzogen werden (Synthesechemie – eine Substitution dieser Rohstoffe ist bislang nicht in Sicht, ein Recycling kommt nur z. T. in Frage).

Knappe Rohstoffe – und auf der anderen Seite steigt der Energieverbrauch ständig. Immer mehr Menschen benötigen zur Erfüllung der verschiedensten Bedürfnisse immer mehr Energie. Handelt es sich dabei in den Entwicklungsländern z. T. um die Befriedigung elementarer Lebensbedürfnisse, so liegt der Energieverbrauch in den entwickelten Industrieländern wesentlich höher, um

- Industrie zu betreiben und Rohstoffe zu veredeln
- hohe Ernährungsansprüche zu befriedigen (Landwirtschaft: Technik, Düngemittel)
- hochentwickelte Transport- und Verkehrssysteme zu betreiben
- die Haushalte zu versorgen (Heizung, Beleuchtung...).

Eine weitere Zunahme des Energieverbrauchs in den hochentwickelten Ländern – auch in der DDR – ist nicht zwingend erforderlich.

Hier ist vielmehr heute schon ein gewisser Sättigungsgrad erreicht.

Um den heute bestehenden hohen (und für die Entwicklungsländer erforderlichen zunehmenden) Energiebedarf auch in Zukunft zu decken, sind neue Wege der Energiebereitstellung zu erkunden.

Die immer wieder gegebene Antwort heißt: Kernenergie!

Sie soll Lücken im Energiezuwachs abdecken und die fossilen Energieträger weitgehend ablösen.

Und ist nicht der Druck des wachsenden Energieverbrauchs inzwischen wirklich so groß, dass wir uns Überlegungen, ob es auch mit weniger Kernenergie oder gar ohne sie ginge, gar nicht mehr leisten können?

Um die Möglichkeiten und Grenzen der Kernenergie deutlicher zu sehen, wollen wir uns folgenden Fragen stellen:

Wieviel Energie verbrauchen wir eigentlich, wie gehen wir damit um, wieviel Energie brauchen wir wirklich, welche Rolle soll und kann dabei die Kernenergie spielen, und

welche Möglichkeiten alternativer Energieversorgung gäbe es (s. dazu auch Kap. 10)?

## a) WIE WIR ENERGIE NUTZEN

Die Energiebereitstellung erfolgt heute in der DDR (s. Tab. 1) vorwiegend durch Verbrennung fossiler Rohstoffe. Kernenergie liefert nur etwa 4 Prozent der Primärenergie.

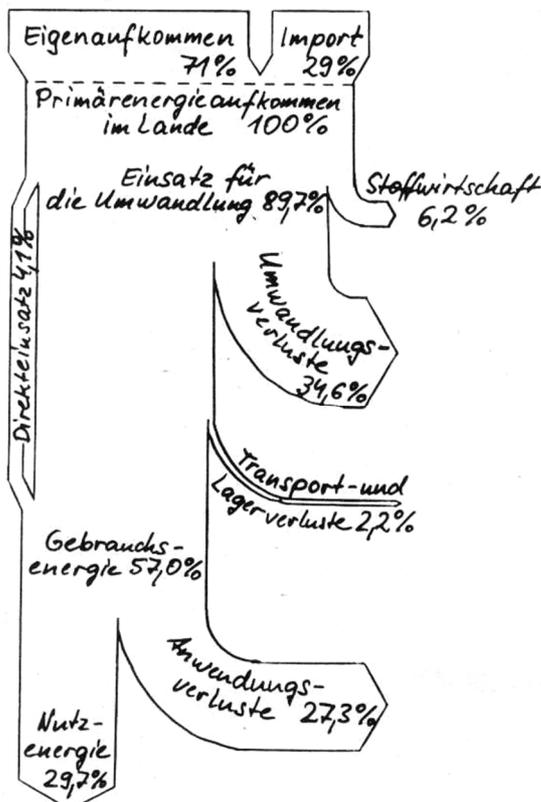
Tabelle 1

Primärenergiebereitstellung DDR (1980)

| Energieträger    | Menge  | Energiemenge<br>( $10^{12}$ kcal) | Prozent |
|------------------|--|-----------------------------------|---------|
| Rohbraunkohle    | 262 Mill. t                                      | 524                               | 61,5    |
| Kernenergie      | 12 TWh <sub>el</sub><br>( 40 TWh <sub>th</sub> ) | 34                                | 4,0     |
| Erdöl            | 15 Mill. t                                       | 150                               | 17,6    |
| Erdgas DDR       | 8,8 Mill. m <sup>3</sup>                         | 27                                |         |
| Import           | 6,5 Mill. m <sup>3</sup>                         | 45                                | 8,5     |
| Steinkohle / DDR | 7,9 Mill. t                                      | 42                                |         |
| Koks Imp.        | 3,3 Mill. t                                      | 30                                | 8,5     |

Die Gesamtenergie entspricht einem Verbrauch von 510 Zentnern (!) Rohbraunkohle je Einwohner und Jahr.

Bei der Umwandlung der in den Rohstoffen enthaltenen Primärenergie in nutzbare



Energieformen und bei der Energieanwendung treten erhebliche Verluste auf. Für die DDR stellt sich das so dar, dass von 100 Prozent Primärenergie nach der Umwandlung in Gebrauchsenergie 57 Prozent übrigbleiben. Davon werden nur 29,7 Prozent als Nutzenergie wirksam (s. Abb. 2; Exkurs 1).

Ein Teil der Energieverluste ist aus physikalischen Gründen nicht zu vermeiden (z. B. liegt der Wirkungsgrad – siehe Exkurs 9 – eines Großkraftwerks zur Stromerzeugung bei 30 bis 40 Prozent, die restliche Energie geht als Abwärme verloren) oder ist durch die verwendete Art der Technik bedingt.

Ein Großteil der auftretenden Verluste stellt jedoch eine vermeidbare Energieverschwendung dar. Auch in der DDR besteht – in Haushalten wie in der Industrie – trotz erheblicher Anstrengungen noch ein großes Einsparpotential. Bei Anwendung

heute vorhandener Kenntnisse und Technologien ist eine deutliche Senkung des Primärenergieeinsatzes möglich – ohne jede Einbuße an Nutzenergie!

## Exkurs 1

## PRIMÄRENERGIE

ist die Gesamtheit der im Lande gewonnenen und der importierten Energieträger (fossile Brennstoffe wie Kohle, Erdöl; nukleare Energie des Urans; Sonnenenergie ...)

## GEBRAUCHSENERGIE

entsteht durch Umwandlung der Primärenergie in anwendungsgerechte Energieformen wie Elektro-

energie, Dampf, Heißwasser, Energie veredelter Brennstoffe (Koks, Benzin). G. dient in Energieanwendungsanlagen (Maschinen, Öfen, Haushaltgeräte, Fahrzeuge) zur Umwandlung in Nutzenergie.

## NUTZENERGIE

ist die nach der Umwandlung der Gebrauchsenergie unmittelbar genutzte Energie in Form von mechanischer Energie, Wärme, Licht.

## b) WAS SOLL UND WAS KANN KERNENERGIE BRINGEN?

In Ost und West entfällt heute der größte Anteil der Energieträger auf fossile Brennstoffe. Da sich zumindest für Erdöl und Erdgas, in der DDR auch für Braunkohle eine Erschöpfung der Vorräte in wenigen Jahrzehnten abzeichnet, ist hier dringend ein Ersatz zu schaffen. Kann die Kernenergie einspringen?

Ein Blick auf die Verbrauchsstruktur zeigt, in welchen Bereichen Energie eingesetzt wird (s. Tab. 2).

Tabelle 2

### Gebrauchsenergie-Einsatz DDR (1980)

|   |        |
|---|--------|
| Raumheizung   | 35,0 % |
| Niedertemperatur-Prozeßwärme ( $< 400^{\circ} \text{C}$ ) | 18,1 % |
| Hochtemperatur-Wärme ( $> 400^{\circ} \text{C}$ )         | 23,0 % |
| Fahrzeugantrieb   | 15,0 % |
| Beleuchtung   | 1,9 %  |
| Maschinen-Antrieb   | 6,2 %  |
| Elektrolyse   | 0,8 %  |

Kernenergie wird in den heutigen Kraftwerkstypen fast ausschließlich zur *Elektroenergieerzeugung* eingesetzt. Die Bereiche in unserer Volkswirtschaft, die unbedingt Elektroenergie benötigen, dürften heute schon weitgehend abgesättigt sein. Übrig bleibt der große Bedarf an Raumheizung, industrieller Wärmeversorgung und für das Transportwesen (Straße). Dies sind die Hauptanwendungsgebiete für fossile Brennstoffe, die ersetzt werden müssen. Wie weit hier überall Kernenergie eingesetzt werden kann, lässt sich heute schwer abschätzen.

Man hat in der DDR wie auch in anderen Ländern damit begonnen, die *Wärme aus Kernkraftwerken zur Fernheizung* zu nutzen (so das KKW Lubmin für Greifswald). Ein konsequentes weitergehen auf diesem Weg bedeutet für die Zukunft den Bau von Kernheizwerken in unmittelbarer Nähe von Ballungsräumen. Das erfordert natürlich

besonders umfangreiche Sicherheitsvorkehrungen (das verseuchte Gebiet nach dem Unfall in Tschernobyl hat einen Radius von rund 20 Kilometer um das Kernkraftwerk).

Für *industrielle Wärmeprozesse* werden mehr als zwei Fünftel der Energie benötigt. Dafür geeignete spezielle Hochtemperaturreaktoren werden gegenwärtig in einigen Ländern erprobt, allerdings ohne dass sich eine erfolgreiche Anwendung abzeichnet.

Der *Ersatz von Kraftstoffen* im Transportwesen ist durch Kernenergie kaum möglich. Auswege sieht man in einer weiteren Elektrifizierung der Eisenbahn oder in der Produktion von Ersatzstoffen wie Methanol oder Wasserstoff auf dem Umweg über Kohlevergasung oder Elektrolyseprozesse.

Orientierung auf Kernenergie bedeutet wahrscheinlich eine Ausweitung der Elektrifizierung in allen Lebensbereichen um den Preis der bei dieser Art der Energiebereitstellung typischen hohen Umwandlungsverluste.

Die Abdeckung eines größeren Anteils am gesamten Energieverbrauch unseres Landes durch Kernenergie und ein wirklicher Ersatz fossiler Brennstoffe sind in den nächsten Jahrzehnten nicht zu erwarten. Kernenergie ist auf längere Sicht keine Alternative zur Braunkohle, die weiter in großen Mengen verbrannt werden wird, sondern sichert lediglich den Zuwachs bei der Bereitstellung einer bestimmten Energieform: der Elektroenergie.

In einer neueren Prognose wird der Einsatz der Kernenergie in der DDR zur Erzeugung von Elektroenergie behandelt (s. Tab. 3).

Tabelle 3

Prognose der Elektroenergieerzeugung und der Kraftwerksstruktur für die DDR (Energietechnik 12/85)

|  | 1980             | 1990             | 2000             | 2020             |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Elektroenergieerzeugung (TWh)                | 98,8             | 130              | 154              | 200              |
| installierte Kraftwerksleistung (MW)         | 20593            | 25600            | 33000            | 42500            |
| davon: feste Brennstoffe Basis Rohbraunkohle | 16534<br>(80,3%) | 19500<br>(74,8%) | 20000<br>(61,2%) | 15500<br>(36,5%) |
| Kernenergie                                  | 1837<br>(8,9%)   | 3600<br>(13,7%)  | 9600<br>(29,4%)  | 23000<br>(54,1%) |

In der mittelfristigen Energieplanung der DDR ist also ein beschleunigter Zubau von Kernkraftwerken vorgesehen: bis 1990 weitere vier Reaktoren zu je 440 MW in Lubmin, ab 1990 Blöcke mit je 1000 MW Leistung (1990 bis 2000 sechs, beginnend mit Stendal; von 2000 bis 2020 weitere 13 Reaktoren).

Selbst im Bereich der Elektroenergieerzeugung nimmt nach diesen Planungen der Verbrauch fossiler Brennstoffe noch mindestens bis 2000 weiter zu (trotz des massiven Ausbaus der Kernenergie!) und wird erst 2020 knapp unter dem Verbrauch von 1980 liegen.

Der Anteil der Elektroenergie an der Gebrauchsennergie lag in der DDR 1980 bei 12,5 Prozent. Die Kernenergie lieferte damit etwa 1,5 Prozent der Gebrauchsennergie. Bis zum Jahre 2000 soll der Anteil der Elektroenergie an der Gebrauchsennergie auf 19 bis 20 Prozent steigen – die Kernenergie würde auch dann weit weniger als 10 Prozent beisteuern können. Mehr als 90 Prozent der Energiebereitstellung in unserem Land müssten weiter durch fossile Brennstoffe gesichert werden.

### 3. Wie man Atomkerne spaltet

Während die mit fossilen Brennstoffen betriebenen Kraftwerke durch Verbrennung chemische Energie in Wärme umwandeln, nutzen Kernkraftwerke die in den Atomkernen gebundene Energie („Kernenergie“) zur Wärmeerzeugung. Durch die Spaltung schwerer Atomkerne können große Energiemengen freigesetzt werden.

#### a) AUFBAU DER ATOME

Atome sind Bausteine der chemischen Elemente. Sie bestehen aus einem Atomkern und einer Elektronenhülle (s. Abb. 3). In den Atomkernen finden wir Protonen, die elektrisch positiv geladen sind, und Neutronen, die sich elektrisch neutral verhalten. In ihrer Masse sind beide Teilchen fast gleich.

Das Ladungsgleichgewicht eines Atoms wird durch die Elektronen hergestellt, Teilchen sehr kleiner Masse mit negativer elektrischer Ladung, die den Atomkern in großer Entfernung umgeben. Ihre Anzahl entspricht der Protonenzahl im Kern. Atome des gleichen chemischen Elements können bei gleicher Protonenzahl im Kern eine unterschiedliche Zahl von Neutronen besitzen. Damit haben sie ein unterschiedliches Atomgewicht und auch voneinander abweichende physikalische Eigenschaften. Man nennt solche Atomkerne Isotope (s. Exkurs 2)

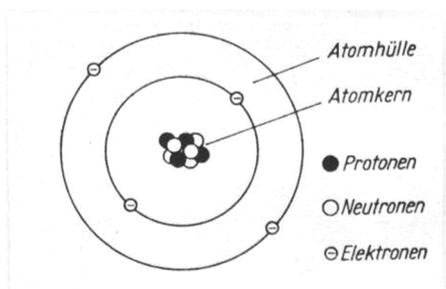


Abb. 3: Atommodell nach BOHR

#### Exkurs 2 ISOTOPE

Atome mit der gleichen Zahl von Protonen im Atomkern gehören demselben chemischen Element an. Dabei kann die Zahl der Neutronen im Kern oft verschiedene Werte haben. Man nennt Atomkerne mit gleicher Ordnungszahl (= Protonen), aber unterschiedlicher Massenzahl (= Protonen plus Neutronen) Isotope eines Elements. Um ein Isotop eindeutig zu kennzeichnen, wird neben dem Namen oder

chemischen Symbol die Massenzahl und manchmal noch zusätzlich die Ordnungszahl angegeben. Folgende Schreibweisen sind üblich (hier für ein Isotop des Elements Uran U: Ordnungszahl = 92; Neutronenzahl = 143; Massenzahl = 235):

235

U oder U-235 oder U 235 oder Uran-235

92

## b) EIN ATOMKERN EXPLODIERT

In Atomkernen stoßen die gleichsinnig positiv geladenen Protonen einander ab und streben auseinander. Der Zerfall des Atomkerns wird durch das Wirken starker Kernbindungskräfte verhindert. Allerdings existieren stabile Kerne nur bis zur Ordnungszahl 83 (Wismut). Bis dahin gibt es zu jeder Ordnungszahl mindestens einen stabilen Kern. Von der Ordnungszahl 84 an sind alle Kerne radioaktiv (s. Exkurs 3). „

### Exkurs 3 RADIOAKTIVITÄT

Unter R. versteht man die spontane Umwandlung instabiler Atomkerne in stabile unter Abgabe von Energie. Die R. ist an Stoffe gebunden. Die Energie wird als Wärmeenergie und in Form bestimmter Arten von Strahlung abgegeben.

So vermögen auch im Falle des Elements Uran die Kernkräfte die Kernteilchen nicht mehr beisammenzuhalten. Uranatome zerfallen spontan oder wandeln sich unter Abgabe von radioaktiver Strahlung (s. Exkurs 5) in andere Kerne um.

### Exkurs 4

#### HALBWERTSZEIT

Die H. (exakter: physikalische H.) ist eine spezielle Eigenschaft radioaktiver Stoffe. Wann nämlich ein bestimmtes Atom sich radioaktiv umwandelt, kann zeitlich nicht exakt vorhergesagt werden. Allerdings läßt sich für eine größere Anzahl von Atomen statistisch genau angeben, wann sich die Hälfte aller Kerne umgewandelt haben wird. Diese Zeitspanne ist die H.

Jod-131 hat z. B. eine H. von etwa 8 Tagen. Von einer bestimmten Anzahl radioaktiver Jod-Atome sind daher nach 8 Tagen noch die Hälfte, nach 16 Tagen ein Viertel, nach 24 Tagen ein Achtel usw. vorhanden.

Die H. ist eine für jeden radioaktiven Stoff typische Naturkonstante. Sie läßt sich durch chemische Behandlung, Druck- oder Wärmeeinwirkung nicht beeinflussen. Das hat Bedeutung für den Umgang mit radioaktiven Abfällen (sichere physikalische Abschirmung von der Umwelt für eine Dauer von mindestens 10 Halbwertszeiten) oder für die Gefährdung durch in die Umwelt gelangte radioaktive Stoffe - man kann nichts tun, nur warten.

Physikalische Halbwertszeit einiger Isotope

| Isotop       | Halbwertszeit | Isotop        | Halbwertszeit   |
|--------------|---------------|---------------|-----------------|
| Tritium-3    | 12,35 Jahre   | Krypton-85    | 10,72 Jahre     |
| Strontium-90 | 29,12 Jahre   | Barium-140    | 12,74 Tage      |
| Yttrium-90   | 64 Stunden    | Uran-235      | 704 Mill. Jahre |
| Jod-131      | 8,04 Tage     | Uran-238      | 4,5 Mrd. Jahre  |
| Cäsium-137   | 30 Jahre      | Plutonium-239 | 24065 Jahre     |

Wenn man nun ein zusätzliches Neutron  $n$  in diesen Kern „schießt“, entsteht durch Aufnahme des Neutrons vorübergehend ein neuer Atomkern, z. B. bei Uran-235 das Isotop Uran-236:



Dieser Kern ist nicht stabil, beginnt zu schwingen und „zerplatzt“ nach extrem kurzer Zeit. Dabei wird er in zwei große Kerntrümmer zerrissen, die mit hoher Energie (= großer Geschwindigkeit) auseinanderfliegen. Zusätzlich werden Neutronen freigesetzt (zwei bis drei), die davonfliegen und weitere Spaltvorgänge bewirken können.

Die bei der Spaltung entstehenden Tochterkerne stehen etwa im Massenverhältnis von 2 zu 3 zueinander. Dabei werden bestimmte Kerne bevorzugt gebildet.

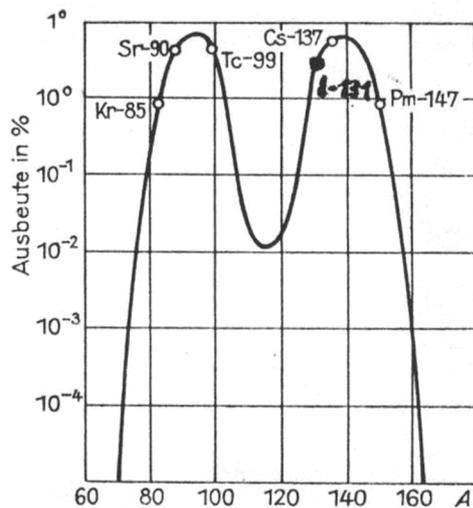
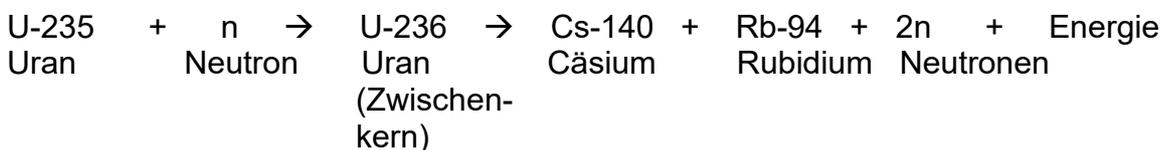


Abb. 4: Häufigkeit des Entstehens bestimmter Spaltprodukte der Massenzahl  $A$  bei der Spaltung von U-235

Abb. 4 zeigt die Wahrscheinlichkeit des Entstehens bestimmter Kerne, wobei die Position wichtiger Spaltprodukte gekennzeichnet wurde. Eine der vielen Spaltmöglichkeiten ist folgende:



Die Bruchstücke der Kernspaltung enthalten – im Vergleich zu natürlich vorkommenden Isotopen – übermäßig viele Neutronen, sind dadurch ebenfalls nicht stabil und wandeln sich in andere Elemente um, wobei sie energiereiche Elektronen (= Beta-Strahlung) und röntgenähnliche Gamma-Strahlung abgeben. Diese Eigenschaft heißt Radioaktivität.

Die weitere Umwandlung für das o. a. Beispiel stellt sich dann so dar (Abb. 5):

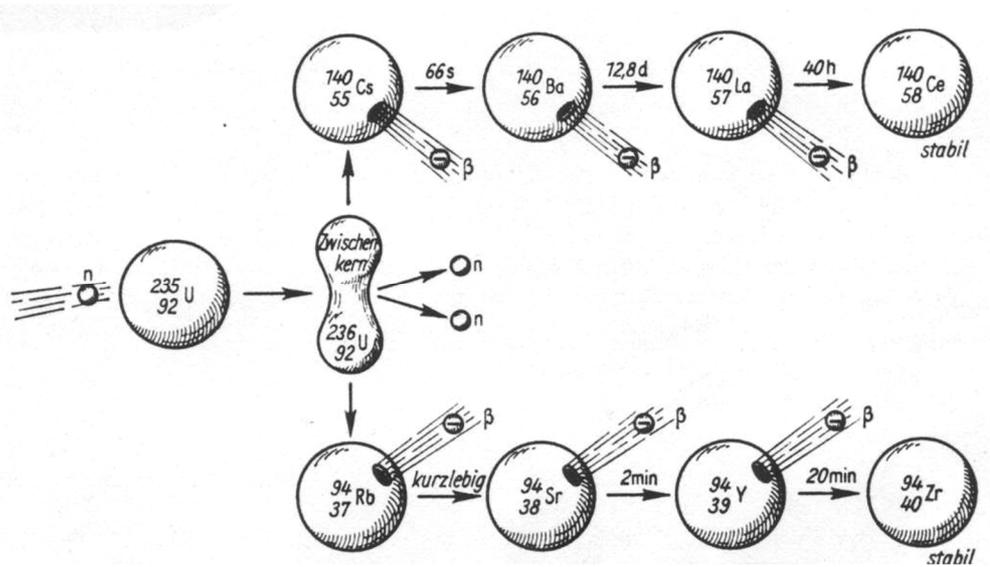


Abb. 5: Ablauf der Uranspaltung (eine der vielen Möglichkeiten)  
Die angegebenen Zeiten sind die sog. Halbwertszeiten – s. Exkurs 4

Insgesamt treten nach der Spaltung von Uran-235 über 200 radioaktive Spaltprodukte auf – es handelt sich um Atomkerne der Elemente 30 (Zink) bis 65 (Terbium). Biologisch besonders bedeutsame Elemente in solchen Zerfallsreihen sind wegen ihrer relativen Langlebigkeit und der Anreicherung in Organismen z. B. Jod-131, Strontium-90 und Cäsium-137 (s. Kap. 4).

Bei der Spaltung des Urankerns werden etwa 0,1 Prozent der Masse in Energie „umgewandelt“ und freigesetzt. Das entspricht für 1 Kilogramm gespaltenen Urans etwa 1 Gramm umgewandelter Materie und einer Energiemenge von 25 Mill. Kilowattstunden (!).

## 4. Die biologischen Wirkungen radioaktiver Strahlung

Bei der Kernspaltung oder bei der Umwandlung radioaktiver Atomkerne werden verschiedene Arten-von Strahlung abgegeben (s. Exkurs 5).

### Exkurs 5

#### ARTEN VON STRAHLUNG BEIM RADIOAKTIVEN ZERFALL

1. Neutronen-Strahlung  
N. tritt normalerweise nur unmittelbar bei der Kernspaltung auf. Wegen der Größe der Teilchen und ihrer hohen Geschwindigkeit wird biologisches Gewebe stark geschädigt. Die Reichweite der N. kann in Luft einige Kilometer betragen, im Gewebe beträgt sie wenige Zentimeter.
2. Alpha-Strahlung ( $\alpha$ -Strahlung)  
Hierbei werden vom strahlenden Stoff sog.  $\alpha$ -Teilchen ausgestoßen. Es handelt sich um Atomkerne des Elements Helium, die aus 2 Protonen und 2 Neutronen bestehen und zweifach positive elektrische Ladung tragen. Diese relativ großen Partikel haben eine Anfangsgeschwindigkeit von etwa 5 Prozent der Lichtgeschwindigkeit. Sie besitzen wegen ihrer großen Masse und Ladung eine beträchtliche Wirkung auf Zellgewebe, erreichen aber nur geringe Entfernungen (in Luft einige Zentimeter, im Gewebe bis 0,1 Millimeter).
3. Beta-Strahlung ( $\beta$ -Strahlung)  
Überzählige Neutronen in den radioaktiven Spaltprodukten wandeln sich in positiv geladene Protonen um. Dabei werden Elektronen abgestrahlt. Diese sog.  $\beta$ -Teilchen tragen eine einfache negative elektrische Ladung. Sie fliegen fast mit Lichtgeschwindigkeit und besitzen ein weit größeres Durchdringungsvermögen als  $\alpha$ -Strahlung (in Luft meterweit, im Gewebe einige Millimeter).
4. Gamma-Strahlung ( $\gamma$ -Strahlung)  
Sowohl der Spaltakt als auch die sich anschließenden  $\beta$ -Zerfälle der Spaltprodukte sind oft von  $\gamma$ -Strahlung begleitet. Es handelt sich hierbei um elektromagnetische Strahlung von gleicher Natur wie Röntgenstrahlung. Mit anfänglich Lichtgeschwindigkeit hat sie große Reichweite (in Luft praktisch unbegrenzt, in Gewebe einige Zentimeter).

### a) QUELLEN DER STRAHLENBELASTUNG

Organismen auf der Erde sind schon immer einer *natürlichen Strahlenbelastung* ausgesetzt.

Das heißt aber nicht, dass diese natürliche Umgebungsstrahlung ungefährlich ist. Man geht davon aus, dass sie eine wesentliche Ursache für die natürliche Rate der Fehlgeburten, Krebserkrankungen und genetischen Defekte darstellt.

Allgemein bedroht ionisierende Strahlung die lebenden Organismen in zweierlei Weise. Einmal setzt sie Schäden am bestrahlten Organismus selbst (gleichgültig, ob diese sich sofort nach der Strahleneinwirkung oder erst geraume Zeit später einstellen: sie stören Stoffwechselprozesse und bedrohen damit Gesundheit und Leben oder rufen Krebsleiden hervor). Zum anderen treten Veränderungen des Erbgutes auf (diese Mutationen verändern Lebensfunktionen der Nachkommen meist nachteilig). Die natürliche Strahlung dürfte mitverantwortlich sein für die gravierenden biologischen Veränderungen im Verlaufe der Evolution der Organismen. Andererseits

scheinen sich in einigen Fällen Mechanismen herausgebildet zu haben, die auf molekularbiologischer Ebene eine „Reparatur“ von natürlich bedingten Strahlenschäden bewirken.

Quellen der natürlichen Strahlenbelastung sind die kosmische Höhenstrahlung, die terrestrische Strahlung (Zerfall von langlebigen radioaktiven Elementen in der Erdrinde) und Körperstrahlung (natürliche Radioisotope wie Kalium-40 als Bauelemente des Organismus).

Zu dieser unvermeidlichen natürlichen Grundstrahlung tritt die vom Menschen hervorgebrachte *künstliche Radioaktivität* (zivilisationsbedingte Strahlenbelastung), die v. a. aus Kernwaffenversuchen und aus Kernenergietechnik, aber auch aus der medizinischen Anwendung von Strahlung und Isotopen, aus der Forschung und vielen industriellen Anwendungen stammt. Dazu kommt der Gehalt natürlicher strahlender Isotope in Baustoffen. Hierbei treten eine Fülle so bisher in der Natur nicht vorkommender strahlender Stoffe (s. Kap. 3 b) und Strahlungsqualitäten auf, so dass die rein quantitative Messung der (evtl. geringfügigen) Zunahme der Strahlenbelastung der Umwelt kein reales Bild über die dadurch bedingte Gefährdung liefert. Einen Überblick über Quellen und Anteile der Strahlenbelastung gibt Tabelle 4:

Tabelle 4

Quellen der Strahlenbelastung (in mrem =  $10^{-5}$  Sv pro Jahr)

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| kosmische Strahlung                   | 50 |
| natürliche Umgebungsstr.              | 60 |
| medizinische Anwendungen              | 50 |
| innere Einwirkung (Nahrung, Atemluft) | 25 |
| Niederschlag aus Kernwaffentests      | 8  |
| Kernkraftwerke                        | 1  |

## **b) WIRKUNGEN VON RADIOAKTIVER STRAHLUNG AUF DEN ORGANISMUS**

Treffen radioaktive Strahlen auf den Menschen, so können sie dort Zellen abtöten oder schädigen, Moleküle zerstören oder verändern. Dies geschieht dadurch, dass die radioaktiven Strahlen ihre Bewegungsenergie an die Materie abgeben und auf diese Weise einzelne Elektronen aus der Hülle der getroffenen Atome heraus schlagen. Weil sich dadurch elektrisch geladene Teilchen (Ionen) bilden, nennt man diesen Vorgang Ionisation, und die Strahlung, die das verursacht, ionisierende Strahlung.

Ob und in welchem Grade radioaktive Stoffe durch die von ihnen abgegebene Strahlung schädlich auf den Organismus wirken, ist abhängig davon,

- um welche Isotope es sich handelt (physikalische Halbwertszeit s. Exkurs 4; Art und Energie der Strahlung)
- auf welchem Weg der Organismus mit dem Stoff in Berührung kommt
- welches chemisch-physiologische Verhalten der radioaktive Stoff zeigt (Verweildauer im Organismus: biologische Halbwertszeit, Speicherung in kritischen Organen)
- wie hoch die einwirkende Radioaktivität ist

- wie lange die Strahleneinwirkung andauert.

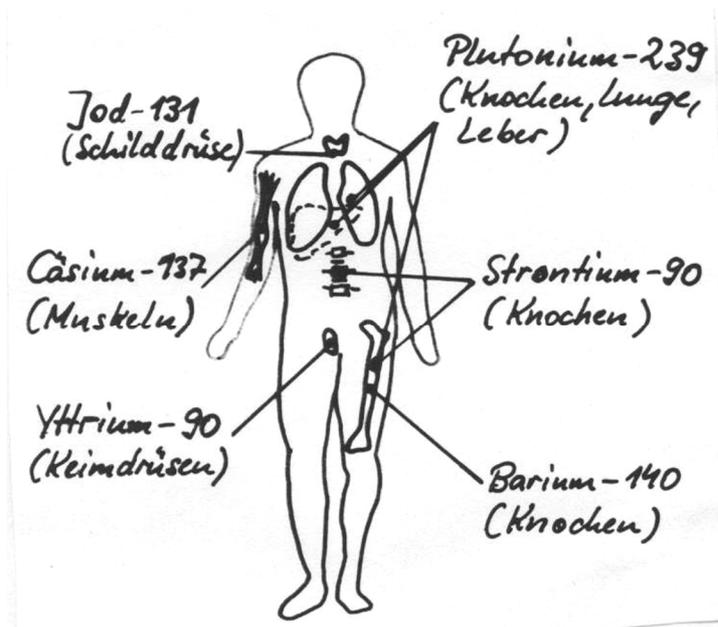


Abb. 6: Anreicherung von radioaktiven Stoffen im menschlichen Organismus

Von äußerer Strahlenbelastung spricht man, wenn die Strahlung von außen auf den Menschen trifft, von innerer Strahlenbelastung, wenn die radioaktiven Atome durch Atmung, Hautkontakt oder Nahrungsaufnahme in den Körper gelangen (Inkorporation) und erst dort unter Aussendung von Strahlung zerfallen. Wichtig für die innere Strahlenbelastung ist das Phänomen der Anreicherung (s. Exkurs 6).

Exkurs 6

**ANREICHERUNG VON RADIOAKTIVEN STOFFEN**

1. Anreicherung in Nahrungsketten  
 Radioaktive Stoffe, die sich im Wasser oder im Boden befinden, werden bei der Nährstoffaufnahme durch Pflanzen oder der Nahrungsaufnahme durch Tiere mit aufgenommen. Sie verweilen z. T. für einige Zeit im Organismus, werden nicht komplett wieder ausgeschieden, sondern in bestimmten Geweben oder Organen gespeichert und angereichert. So kann von Stufe zu Stufe einer Nahrungskette die relative Konzentration an Radioaktivität in den Organismen immer weiter ansteigen.

Anreicherung von Strontium-90 in der Nahrungskette eines Sees (R=Radioaktivität in Gray je Monat und Gramm Frischgewicht, A=Anreicherungsfaktor)

| Komponente     | R    | A   | Komponente  | R     | A    |
|----------------|------|-----|-------------|-------|------|
| Wasser         | 0,04 | 1   | Muscheln    | 33,7  | 840  |
| Bodensedimente | 8,2  | 210 | Fische      | 43,8  | 1100 |
| Wasserpflanzen | 12,9 | 320 | Bisamratten | 162,5 | 4100 |

2. Anreicherung in einzelnen Organen  
 Einige radioaktive Stoffe lagern sich wegen ihrer chemischen Eigenschaften bevorzugt in bestimmten ("kritischen") Organen ab und verbleiben dort mehr oder weniger lange Zeit, bis sie durch den natürlichen Stoffwechsel wieder ausgeschieden werden.  
 Als biologische Halbwertszeit bezeichnet man die Zeitspanne, in der sich die Anfangskonzentration eines Stoffes in dem speichernden Organ auf die Hälfte vermindert hat. Zusammen mit der physikalischen Halbwertszeit für den radioaktiven Zerfall ergibt sich durchaus die effektive Halbwertszeit als Maß für die Belastungsdauer nach

$$H_{eff} = \frac{H_{ph} \times H_{biol}}{H_{ph} + H_{biol}}$$

Beispiele:

| Isotop        | H <sub>ph</sub> | H <sub>biol</sub> | H <sub>eff</sub> | krit. Organ  |
|---------------|-----------------|-------------------|------------------|--------------|
| Strontium-90  | 28 Jahre        | 4000 Tage         | 2875 Tage        | Knochen      |
| Plutonium-239 | 24000 Jahre     | 4,3 Tage          | 4,3 Tage         | Knochen      |
| Jod-131       | 8 Tage          | 138 Tage          | 7,6 Tage         | Schilddrüse  |
| Cäsium-137    | 30 Jahre        | 100 Tage          | 100 Tage         | Muskelgewebe |

Wir haben keine Sinnesorgane, die uns vor radioaktiver Strahlung warnen und sind deshalb auf physikalische Messmethoden und rechnerische Gefahrenabschätzungen angewiesen (s. Exkurs 7).

Da außerdem die Zeit zwischen der Bestrahlung und dem Zutagetreten schädlicher Auswirkungen sehr lang sein kann (u. U. mehrere Generationen), gibt es zum Zeitpunkt der Verursachung scheinbar keinen Grund zur Beunruhigung.'

Exkurs 7 MESSUNG DER STRAHLENBELASTUNG

Die AKTIVITÄT eines radioaktiven Stoffes gibt die Anzahl der pro Sekunde zerfallenden Atomkerne an (Einheit Becquerel = Zerfälle pro Sekunde; alte Einheit 1 Curie =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Bq). Eine bestimmte Menge radioaktiver Atome besitzt die Aktivität von 1 Bq, wenn pro Sekunde ein Kern zerfällt.

Ionisierende Strahlung erzeugt beim Durchgang durch Materie Ionenpaare (wodurch die in ihr enthaltene Energie von der Materie absorbiert wird). Die ENERGIEDOSIS gibt die Energiemenge an, die ein durchstrahlter Körper pro Masse aufnimmt (Einheit rad = "radiation absorbed dose"; neue Einheit Gray: 1 Gy = 100 rad). 1 Gy bedeutet, daß die Energie von 1 Joule an 1 Kilogramm eines beliebigen Stoffes abgegeben wird. Die Energie von 1 rad (0,01 Gy), die als Wärme zugeführt<sup>+</sup> lediglich eine Temperaturerhöhung von weniger als 1/1000 Grad verursachen würde, kann als Strahlungsenergie bereits zu Strahlenschäden führen, wenn die Energieabgabe in extrem kleinen Bereichen vor sich geht, wobei lebenswichtige Moleküle geschädigt werden können.

Die verursachten Strahlenschäden hängen außer von der Energiedosis noch von der Art der einwirkenden Strahlung ab. So ist z. B. 1 rad  $\alpha$ -Strahlung für einen Organismus etwa 20 mal so gefährlich wie 1 rad  $\beta$ -Strahlung, da die  $\alpha$ -Strahlung mit hoher Wirksamkeit Moleküle in rascher Folge ionisiert, während bei  $\beta$ -Strahlung die Ionisationsereignisse vergleichsweise weit auseinanderliegen, diese also eine relativ kleine Ionisationsdichte aufweist. Die ÄQUIVALENTDOSIS versucht die unterschiedliche Wirksamkeit verschiedener Strahlungsarten mit Hilfe von Qualitätsfaktoren (RBW = relative biologische wirksamkeit) zu berücksichtigen, die auf empirisch gewonnenen Abschätzungen beruhen. Die Äquivalentdosis ergibt sich dann als: Äquivalentdosis = Qualitätsfaktor x Energiedosis (Einheit: 1 rem = "roentgen equivalent man"; neue Einheit Sievert: 1 Sv = 100 rem)

|  |    |
|--|----|
| Qualitätsfaktoren: Röntgen-, $\gamma$ - und $\beta$ -Strahlung | 1  |
| Neutronen, Protonen und schwerere einfach geladene Teilchen    | 10 |
| $\alpha$ -Teilchen und mehrfach geladene Teilchen              | 20 |

<sup>+</sup> im Gesamtkörper

## C) SCHÄDEN DURCH RADIOAKTIVE STRAHLUNG

Welcher Schaden infolge einer Strahlenbelastung auftritt, hängt entscheidend von der zeitlichen Verteilung der Dosis ab: Die gleiche Dosis, die bei einmaliger Belastung zu schweren akuten Strahlenschäden führt, verursacht bei gleichmäßiger Verteilung über längere Zeit keine akuten Schäden, kann aber durchaus Spätschäden hervorrufen.

Vom Erscheinungsbild her unterscheidet man stochastische und nichtstochastische Strahlenschäden.

Nichtstochastische Schäden treten an der bestrahlten Person selbst auf. Sie sind erst von einer bestimmten Strahlendosis an klinisch nachweisbar (Schwellenwert), und das Ausmaß der Schädigung nimmt mit der empfangenen Dosis zu. Hierzu zählen

die akuten Strahlenschäden bei kurzzeitiger hoher Belastung (Strahlenkrankheit s. Exkurs 8), 2. B. durch Atomwaffeneinwirkung, Havarien in Kernkraftwerken, aber auch durch Unfälle bei der medizinischen oder naturwissenschaftlichen Anwendung von Strahlungsquellen.

Stochastische (Spät)-Schäden hängen nicht von der Überschreitung eines Schwellenwertes für die Dosis ab. Jede noch so kleine Dosis kann zu einem Schaden führen. Die Höhe der erhaltenen Strahlendosis bestimmt hier die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten des Schadens, nicht aber die Schwere der Krankheit. Auch die kleinsten Beiträge einwirkender Strahlung summieren sich dabei im Laufe des Lebens.

Der typische somatische Spätschaden bei der bestrahlten Person ist Krebs, u. a. Leukämie (Blutkrebs), Knochen-, Lungen-, Schilddrüsen- und Brustkrebs. Bei dauernder Einwirkung niedriger Strahlendosen können aber auch Leukopenie (Verminderung der weißen Blutkörperchen, Anämie (Blutlosigkeit) Hautschäden bis zum Krebs, Trübung der Augenlinse („Strahlen-Star“) und Verminderung der Fruchtbarkeit auftreten. Stochastische Schäden können auch erst bei den Nachkommen strahlenbelasteter Personen auftreten, z. B. über Mutationen (Veränderungen der Erbsubstanz). Für das Ausmaß stochastischer Schäden lassen sich nur Wahrscheinlichkeiten angeben. Man geht z. B. davon aus, dass eine Kollektiv-Dosis von 1 Million Personen-Rem im Mittel zu 100 zusätzlichen Krebstoten führt. Das bedeutet anschaulich: wenn 1 Million Menschen die zusätzliche Strahlendosis von 1 rem (= 10 Sv) erhalten oder auch 10 Millionen Menschen die Strahlendosis von 100 Millirem (= 1mSv), so werden im Mittel 100 von ihnen zusätzlich an Krebs sterben (das ist im Verhältnis zur „normalen“ Krebsrate ein im Einzelfall nicht exakt nachweisbarer Anstieg um weniger als 1 Prozent/rem).

## Exkurs 8

### AKUTE STRAHLENKRANKHEIT - DOSEN UND SYMPTOME

- + bis zu 0,25 Sievert: keine akuten Schäden feststellbar
- + ab 1 Sievert ("milde Dosis"): vorübergehend verändertes Blutbild, Erbrechen, leichte Müdigkeit
- + bis 3 Sievert ("mäßige Dosis"): zunächst Übelkeit, Erbrechen und Durchfall; nach etwa zwei Wochen Appetitlosigkeit, Haarausfall, Durchfall und mitunter Darmbluten; nach zwei bis sechs Wochen vereinzelte Todesfälle
- + bis 5 Sievert ("zu fünfzig Prozent tödliche Dosis"): Übelkeit und Erbrechen in den ersten zwei bis vier Stunden; nach einigen beschwerdefreien Tagen setzen Erbrechen, Blutungen und Entzündungen ein; etwa die Hälfte der Betroffenen stirbt innerhalb eines Monats
- + bis 10 Sievert ("tödliche Dosis"): Übelkeit und Erbrechen nur kurz unterbrochen, dann zusätzliche Entzündungen, Haarausfall, Delirium, Koma; Tod innerhalb von ein bis zwei Wochen
- + 50 Sievert: Tod innerhalb von Stunden

(1 Sievert = 100 rem)

## d) BIOLOGISCHE WIRKUNG EINIGER ISOTOPE AUS DER KERNSPALTUNG '

Die meisten Zerfallsprodukte des Uran-235 haben eine sehr kurze Halbwertszeit zerfallen also sehr schnell und gelangen deshalb nicht über Luft, Wasser und Nahrung in Organismen.

Biologisch bedenklicher sind solche Stoffe, die im Gefolge der Uranspaltung in größeren Mengen auftreten und Halbwertszeiten (s. Exkurs 4) haben, die lang genug sind, dass diese chemischen Elemente in die Stoffkreisläufe der Natur gelangen können, evtl. in Nahrungsketten noch zusätzlich angereichert werden (s. Exkurs 6) und nach Aufnahme in den Organismus in bestimmten Organen gespeichert werden. Besonders Alpha- und Beta-Strahler geben dann bei ihrem Zerfall die gesamte Energie an das umgebende Zellgewebe ab, was schwerwiegende Störungen in den betreffenden Organen bedingt.

Der Organismus bezieht radioaktive Elemente genauso in seinen Stoffwechsel ein wie nicht-radioaktive. Von den in der Natur vorkommenden radioaktiven Isotopen ist lediglich Kalium-40 von Bedeutung, das durch die Nahrung in den Körper gelangt und dort für einen wesentlichen Teil der (natürlichen) inneren Strahlung verantwortlich ist. Das ebenfalls in der natürlichen Umgebung vorhandene Edelgas Radon (Rn-220, Rn-222) gelangt zwar über die Atemluft auch in den Körper, wird dort aber nicht angereichert und bald wieder ausgeschieden. Anders ist das bei einigen künstlichen, aus dem Betrieb von Kernkraftwerken oder aus dem Niederschlag von Kernwaffentests stammenden Spaltprodukten (siehe Abb. 6; zu Entstehungshäufigkeit und Halbwertszeit s. Abb. 3 und Exkurs 4).

Einige Beispiele sollen die Wirkung solcher Isotope verdeutlichen.

Jod-131 lagert sich nach dem Austritt in die Umwelt auf Boden und Pflanzen ab, z. B. auf Gras, das als Futter für Kühe, dient. Die Kuh reichert das aufgenommene radioaktive Jod besonders stark in ihrer Milch an. Bei Aufnahme solcherart belasteter Milch durch den Menschen wird das Jod nicht gleichmäßig im Organismus verteilt, sondern wandert bevorzugt in die Schilddrüse, die dadurch etwa 1000 mal so stark belastet wird wie der übrige Körper. Bei der kurzen Halbwertszeit von 8 Tagen ist die Gefahr groß, dass viel radioaktives Jod im Schilddrüsengewebe zerfällt und diese durch seine Strahlung stark schädigt. Bei Kindern ist z. B. das Risiko, durch Einwirkung von Jod-131 an Schilddrüsenknoten zu erkranken (was eine dauerhafte Beeinträchtigung der Gesundheit bedeutet), 200 mal so groß wie das des Auftretens von Schilddrüsenkrebs.

(Anmerkung: Die Einnahme von Jod-Tabletten soll bei starker Jod-131-Belastung der Umwelt vorbeugend wirken: der Organismus erhält so eine Überdosis an Jod, so dass weiteres (radioaktives) Jod dann kaum noch aufgenommen wird).

Strontium-90 wird mit der Nahrung aufgenommen und bevorzugt in den Knochen eingelagert, da es sich chemisch sehr ähnlich wie das knochenaufbauende Calcium verhält. Bei einer Verweilzeit von 10 Jahren besteht die Gefahr des Zerfalls im Knochen. Das rote Knochenmark ist Bildungsort von Blutzellen. Bei Bestrahlung kann dort z. B. nach wenigen Jahren Leukämie (Blutkrebs) entstehen, auch das Auftreten von Knochenkrebs wird befürchtet.

Yttrium-90 entsteht beim Zerfall von Strontium-90, kann zu den Keimdrüsen wandern und erst dort zerfallen. Bestrahlung der Keimdrüsen führt zu Schäden in der

Erbsubstanz – die Folgen (z. B.: Missbildungen) treten erst bei späteren Generationen in Erscheinung.

Cäsium-137 verhält sich chemisch ähnlich wie Natrium. Dieses Element wird in der Muskulatur gespeichert. Auch Keimdrüsen sind gefährdet. Schäden treten entweder direkt am betroffenen Organismus oder als genetische Änderung bei den Nachkommen ein.

Plutonium-239 (s. auch Exkurs 10) platziert sich in Wirbeltierorganismen an besonders empfindlichen Stellen: im Knochenmark, in der Leber, im Lungengewebe. Als Spätschaden ist mit Krebsbildung in solchen Geweben zu rechnen.

## e) PROBLEMATISCHE GRENZWERTE

Für den Umgang mit radioaktiven Stoffen und in der Strahlenschutzpraxis sind Grenzwerte festgelegt, die die höchste noch zulässige Belastung angeben.

Eine vieldiskutierte Frage ist nun, ob Strahlungswirkungen von einer Schwellendosis abhängig sind, ob es also einen Punkt gibt, bis zu dem Strahlung ungefährlich ist.

Alle in dieser Richtung angestellten Experimente deuten darauf hin, dass auch kleinste Strahlungsdosen mutagene oder kanzerogene Wirkung haben, es also Schwellwerte nicht gibt. Daraus folgt aber, dass keine allgemein gültigen, naturwissenschaftlich exakt bewiesenen Richtmaße für eine genetisch zu tolerierende Strahlungsmenge existieren. Eine Gefährdung besteht auch bei geringsten Strahlungsdosen.

Mit der natürlichen Strahlenbelastung müssen wir leben. Aber jeder zusätzliche Beitrag, der durch künstliche Radioaktivität (aber auch durch zu häufige Röntgenaufnahmen) hinzukommt, muss grundsätzlich als schädlich angesehen werden und sollte vermieden werden. Von daher ist auch der oft bemühte Vergleich bestimmter zusätzlicher Strahlenbelastungen mit dem „Normalwert“ nicht sinnvoll, um die Unschädlichkeit von Strahlung zu beweisen.

Alle Industriestaaten haben strenge Vorschriften über den Umgang mit energiereicher Strahlung und über Grenzwerte der Strahlenbelastung erlassen. Wie durch die frühere Bezeichnung „Toleranzdosis“ wird auch durch den Terminus „zugelassen“ für diese Grenzwerte die Vorstellung suggeriert, dass das, was der Gesetzgeber für zulässig erklärt, doch wohl unschädlich sein muss. In jedem Fall handelt es sich jedoch bei allen Grenzwertangaben um einen Kompromiss zwischen nutzbringender Anwendung und dem Risiko energiereicher Strahlung. Auch die Angabe von zulässigen Jahreswerten verleitet zu der Fehlinterpretation, dass eine Belastungsdosis nach Ablauf eines Jahres quasi gelöscht ist – die empfangenen Strahlendosen summieren sich aber über die gesamte Lebensdauer.

Durch Grenzwertsetzung lassen sich nur akute Strahlenschäden mit großer Sicherheit ausschließen, das Risiko von Erbschäden oder Krebs, die erst viel später manifest werden, wird durch sie verschleiert.

Dieser Kompromisscharakter zwischen wissenschaftlicher Erkenntnis und praktischem Strahlenschutz spiegelt sich auch in gesetzlichen Festlegungen und ist entsprechend einzuordnen, z. B. „Zum Schutz von Leben und Gesundheit des Menschen ist der Strahlenschutz so zu gestalten, dass nichtstochastische Strahlenschäden ausgeschlossen und die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von stochastischen Strahlenschäden auf ein wissenschaftlich vertretbares und für die Gesellschaft annehmbares Maß begrenzt werden.“ (Strahlenschutz-V0 § 9)

## f) ZWEI ÜBERHOLTE ARGUMENTE

Oft hört man auch heute noch die Behauptung, die Strahlenbelastung durch Kohlekraftwerke sei etwa 100 mal größer als die durch ein Kernkraftwerk gleicher Leistung. Sie bezieht sich auf die richtige Beobachtung, dass im Verbrennungsvorgang über Abgase und Staubauswurf die in den fossilen Brennstoffen enthaltenen natürlichen radioaktiven Stoffe in der Atmosphäre freigesetzt werden. Aber: Die quantitative Berechnung des BRD-Physikers Kolb aus dem Jahre 1978, die zu der o. g. Aussage geführt hat, hat sich inzwischen wegen Verwendung fehlerhafter Modelle und falscher Daten als unhaltbar erwiesen. Eine wesentlich genauere Untersuchung der UNSCEAR (Wiss. Komitee der UNO für Strahlenbelastung) aus dem Jahre 1977, die den gesamten Brennstoffzyklus (s. Kap. 7) einschließlich der Strahlenbelastung Werktätiger berücksichtigt, kommt zu der Schlussfolgerung, dass Schäden durch radioaktive Strahlung bei Kernkraftwerken ohne Unfälle 180 mal und mit Unfällen bis 1100 Mal größer sind als durch Kohlekraftwerke.

Die sog. Inhaber-Studie befasste sich mit der Gesamtgefährlichkeit verschiedener Arten der Energieerzeugung. Die Grundaussage lautete hier, dass regenerative Energiequellen (Wind, Sonne) etwa 30 mal und Öl und Kohle etwa 300 mal so gefährlich sind wie Kernenergie-Anwendung. Auch hier haben sich inzwischen eine Fülle von Fehlern nachweisen lassen (Langzeitschäden wurden ausgeklammert, Unfälle nur z. T. berücksichtigt, falsche Daten und Modelle verwendet) – eine bereinigte Rechnung erwies auch hier Kernenergie als die insgesamt gefährlichste Art der Energieerzeugung.

(Quellen zu dieser Kontroverse:

1. Inhaber, H.: Risk of Energy Production, AECB 1119/Rev. 3, Ottawa, Ontario, 1978
2. UNSCEAR: Sources and Effects of Ionizing Radiation, Report, New York, 1977
3. Teufel, D. u.a.: IFEU-Bericht Nr. 11, Heidelberg, 1980 (Analyse der Inhaber-Studie)
4. Ruske/Teufel: Das sanfte Energiehandbuch, Reinbek, 1982, S. 145 ff.
5. Der Fischer Öko Almanach 82/83, Frankfurt/M. 1982, S. 173 ff./dgl. 84/85, Ffm. 1984, S. 139ff.)

## 5. Wie Kernkraftwerke arbeiten

### a) BAUSTEINE FÜR EINEN KERNREAKTOR

Abb. 7 gibt einen Überblick über die wichtigsten Bestandteile eines Kernreaktors.

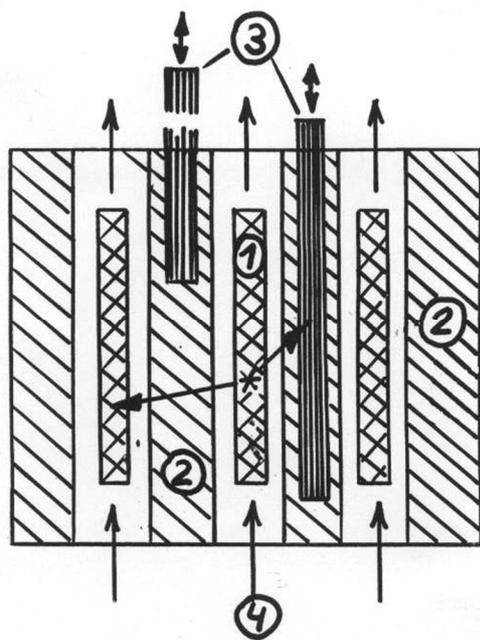


Abb. 7:  
Prinzipieller Aufbau der aktiven Zone von Kernreaktoren

- 1 - Brennstab
- 2 - Moderator
- 3 - Regelstab
- 4 - Kühlmittel

### Der Brennstoff

Uran 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 Prozent U-238, 0,71 Prozent 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 (s. Kap. 7 c) 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  $\text{UO}_2$  – in Tablettenform gepresst. Damit werden die sog. Brennstäbe gefüllt – dünne Rohre aus widerstandsfähigen Metallen, z. B. Zirkonium-Legierungen (s. Kap. 7 d).

Von diesen Brennstäben werden nun Tausende (in Kassetten zusammengefasst) im Reaktor nebeneinandergehängt (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 bestimmte Mindestmenge spaltbaren Urans zusammengepackt werden, die sog. „kritische Anordnung“. Dann erst hält sich der Spaltprozess von selbst in Gang: Die beim spontanen

Zerfall eines Uranatoms freierwerdenden 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. (Neben den beim Spaltvorgang sofort freigesetzten sog. „prompten“ Neutronen entstehen bei der radioaktiven Umwandlung der Spaltprodukte „verzögerte“ Neutronen, die für die praktische Steuerung der Kettenreaktion große Bedeutung haben.)

## Kontrollierte Kettenreaktion

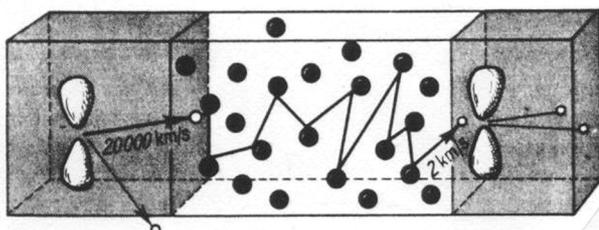
Um die Zahl der Neutronen im Reaktor zu kontrollieren, d. h. auf dem gewünschten Niveau konstant zu halten, werden an verschiedenen Stellen zwischen die Brennstäbe sog. Regelstäbe (Kontrollstäbe) geschoben. Sie enthalten Substanzen (z. B. Cadmium, Bor), die Neutronen absorbieren, „einfangen“. Je nachdem, 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 auch wichtig für den Fall einer Havarie: Hier werden die Regelstäbe regelrecht in den Reaktor „hineingeschossen“, um die Kettenreaktion augenblicklich zu beenden (= Schnellabschaltung).

Für die praktische Regelung der Kettenreaktion gibt man dem Kühlwasser des Reaktors auch Borsäurelösung zu, die ebenfalls Neutronen absorbiert.

## Der Moderator als „Neutronenbremse“

Die Neutronen, die bei der Uranspaltung frei werden, sind sehr energiereich, d. h. sie bewegen sich sehr schnell (etwa mit 20000 km/Sekunde). Für die Spaltung von Uran-235 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 statt ursprünglich 20000 km/Sekunde nur noch eine Geschwindigkeit von etwa 2 km/Sekunde). Diese Bremssubstanzen heißen Moderatoren. Das sind Stoffe, mit deren Atomkernen die Neutronen unter Energieverlust zusammenprallen, ohne dabei absorbiert zu werden (s. Abb. 8). Als Moderatoren eignen sich normales Wasser  $H_2O$  („Leichtwasser“), Kohlenstoff in Graphitform und sog. „schweres Wasser“  $D_2O$  (D = Deuterium ist das Wasserstoffisotop mit der Massenzahl 2).



## 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 bei Ausfall der Kühlung ist einer der schwersten vorstellbaren Unfälle in Kernkraftwerken). Aber nicht nur wegen dieser Gefahr – nein, die Gewinnung der Wärmeenergie ist ja der eigentliche 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 flüssigen Natrium-Metall gekühlt.

## b) ARBEITSWEISE VON KERNKRAFTWERKEN

Die Wärme, die z. B. in einem Kohlekraftwerk durch Verbrennung der Kohle gewonnen wird, stammt in einem Kernkraftwerk aus der Spaltung schwerer Atomkerne. Im Unterschied zum sog. schnellen Brutreaktor (s. Kap. 8) verwendet man in den heute üblichen (thermischen) Kernreaktoren gebremste „thermische“ Neutronen zur Kernspaltung. Im Reaktor wird die Kernenergie (die als Bewegungsenergie in den Teilchen steckt, die nach der Explosion des Kerns auseinanderrasen) in Wärmeenergie umgewandelt. Diese wird auf ein Kühlmittel übertragen und von diesem aus dem Reaktor geführt. Meist wird Wasser erhitzt. Man leitet den entstehenden Dampf auf Turbinen, die elektrischen Strom erzeugen. Dabei wird die Wärmeenergie nur zu etwa 30 Prozent in elektrische Energie umgewandelt und genutzt. Der Rest geht als Abwärme verloren und belastet die Umwelt. Moderne Kohlekraftwerke haben einen etwas höheren Wirkungsgrad (s. Exkurs 9): bis zu 40 Prozent.

Man hat zur besseren Nutzung der Energie damit begonnen, die Abwärme von Kernkraftwerken oder direkt aus dem Prozess ausgekoppelten Dampf als Fernheizwärme für Wohnungen zu nutzen: z.B. in Grenoble/Frankreich, in Gorki und Woronesh/UdSSR, auch in Lubmin-Greifswald. Solche Kern-Heiz-Kraftwerke haben eine wesentlich verbesserte Energiebilanz. Sie müssen allerdings zur Vermeidung großer Übertragungsverluste siedlungsnah gebaut werden, was besonders hohe Sicherheitsanforderungen stellt.

Wegen der relativ niedrigen Kühlwassertemperaturen von etwa 300° C ist eine direkte Wärmebereitstellung für Hochtemperaturprozesse in der Industrie nicht möglich. Mit Gas gekühlte spezielle Hochtemperaturreaktoren sollen eines Tages Arbeitstemperaturen von 800 bis 1000 °C liefern.

Nachdem bereits in Kap. 5 a die wichtigsten Bausteine eines Kernreaktors dargestellt wurden, soll im Folgenden an den beiden Hauptentwicklungslinien der UdSSR für die Reaktoren der 1980er Jahre gezeigt werden, wie die technische Stromgewinnung realisiert wird.

| WIRKUNGSGRAD   | Exkurs 9   |
|--|--|
| <p>Als <math>\eta</math> bei der Energieumwandlung wird ganz allgemein das Verhältnis von gewonnener Energie zu aufgewendeter Energie bezeichnet.</p> <p>Als theoretischer <math>\eta</math> einer Kraftwerksturbine kann bei der Umwandlung von Wärme in Elektrizität höchstens erreicht werden</p> |  |
| $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad \text{mit}$  |  |
|  | <p><math>T_1</math> = Temp. in Kelvin<br/>vor der Turbine</p> <p><math>T_2</math> = Temp. in Kelvin<br/>nach der Turbine</p> |
| <p>Für die Energiebilanz der Stromerzeugung müssen zusätzlich noch der eigene Stromverbrauch der Kraftwerke (etwa 6 Prozent der Bruttostromerzeugung) und die Leitungsverluste im Stromnetz (mehr als 6 Prozent) mit berücksichtigt werden.</p>  |  |

## Druckwasserreaktor

Beim Druckwasserreaktor (s. Abb. 9) wird das Kühlwasser im ersten (= Primär-) Kreislauf geschlossen geführt. Große Umwälzpumpen drücken das Wasser in den Reaktordruckbehälter, in dem es an den heißen Brennstäben vorbeiströmt und sich dabei aufheizt. Das erhitze Wasser steht unter hohem Druck und bleibt deshalb trotz Temperaturen von weit über 100 °C im Primärkreislauf flüssig.

Über einen Wärmetauscher (Dampferzeuger) gibt es seine Wärmeenergie an einen zweiten Wasserkreislauf ab. Hier kommt das Wasser zum Sieden. Der Dampf wird auf Turbinen geleitet und erzeugt im Generator Strom. Nach 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.

Druckwasserreaktoren der Baureihe WWER sind in der Sowjetunion in größerer Anzahl im Einsatz und auch in andere sozialistische Länder geliefert worden.

WWER ist die Abkürzung für Wasser-Wasser-Energie-Reaktor, d. h. Wasser wird hier gleichzeitig als Moderator und Kühlmittel eingesetzt. Die Zahlen 440 bzw. 1000 geben die Leistung in Megawatt (Millionen Watt) an, die als elektrischer Strom abgegeben wird (die Wärmeleistung liegt weit höher: mehr als zwei Drittel der Spaltungsenergie gehen als Abwärme verloren, s. Exkurs 9).

Wichtige technische Daten zu WWER-Reaktoren finden sich in Tab. 5.

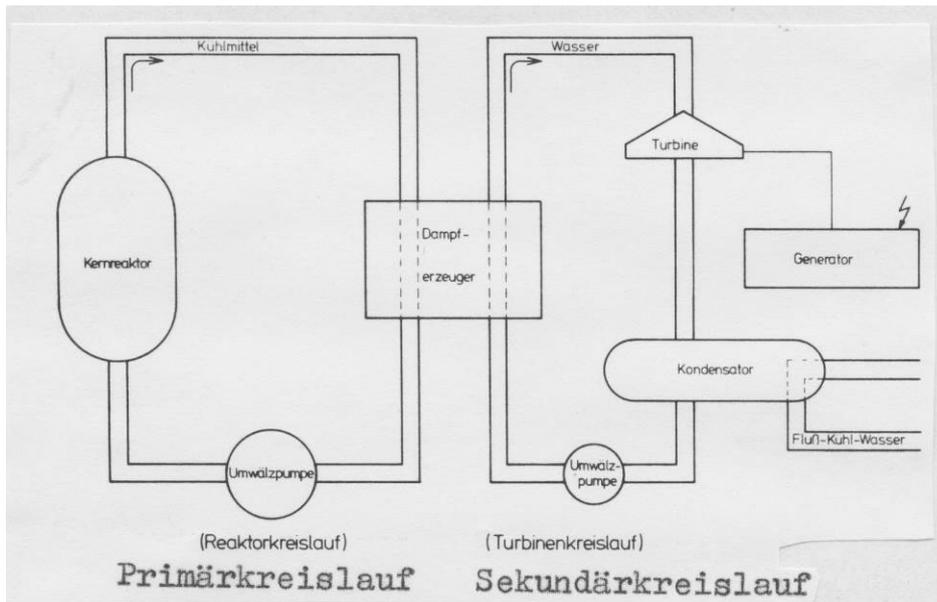


Abb. 9: Druckwasserreaktor (DWR)

Tabelle 5

## Technische Daten zu Druckwasserreaktoren des Typs WWER

|  |                       |                       |
|--|-----------------------|-----------------------|
| Leistung elektrisch                    | 440 MW <sub>el</sub>  | 1000 MW <sub>el</sub> |
| Leistung thermisch                     | 1375 MW <sub>th</sub> | 3000 MW <sub>th</sub> |
| Wirkungsgrad                           | 29,7 %                | 31,5 %                |
| Arbeitsdruck                           | 125 atm<br>(12,7 MPa) | 160 atm<br>(16,2 MPa) |
| Kühlwassertemperatur                   | 267 ° C               | 288 ° C               |
| Kühlwasserschleifen im<br>1. Kreislauf | 6                     | 4                     |
| Durchmesser der Hauptkühlleitung       | 500 mm                | 850 mm                |
| Reaktordruckgefäß Höhe<br>Durchm.      | 11,2 m<br>3,6 m       | 10,8 m<br>4,2 m       |
| Brennstoff: UO <sub>2</sub> Uranmenge  | 42 t                  | 66 t                  |
| Gehalt U-235                           | 2,8 %                 |                       |
| Kassetten                              | 315                   | 151                   |
| Brennstäbe                             | 43974                 | 47867                 |
| - Länge                                | 2,5 m                 | 3,5 m                 |
| - Durchm.                              | 9,1 mm                | 9,1 mm                |
| - Rohrwand                             | 0,67 mm               | 0,67 mm               |
| Regelstäbe                             | 73                    | 109                   |

Das erste Kernkraftwerk der DDR mit einem sowjetischen Druckwasserreaktor (Leistung: 70 MW) ging 1966 in Rheinsberg ans Netz. Heute arbeiten im Kernkraftwerk Nord in Lubmin bei Greifswald bereits vier Reaktoren des Typs WWER-440, und weitere vier Blöcke sind dort im Bau. Bei Stendal soll bis 1991 ein Block des

weiterentwickelten Typs WWER-1000 ans Netz gehen, bis 2000 ist die Inbetriebnahme von weiteren 5 bis 6 solcher Reaktoren in der DDR geplant.

## Siedewasserreaktor

In Siedewasserreaktoren wird das Kühlwasser bereits im ersten Kreislauf in Dampf umgewandelt und direkt auf die Turbine geleitet (Vergleich mit Druckwasserreaktor s. Abb. 9 und 10).

So wird ein Kühlmittelkreislauf eingespart und die im Wärmetauscher unvermeidlichen Übertragungsverluste verringert. Zusätzlich kann der erzeugte Dampf ein zweites Mal durch die heißesten Teile des Reaktors geführt werden (Nachüberhitzung), wodurch die für den Einsatz konventioneller Turbinen erforderlichen Temperaturen erreicht werden. Allerdings kommt der Turbinenteil des Kernkraftwerks direkt in Kontakt mit dem radioaktiv belasteten Wasser des Primärkreislaufs und muss entsprechend gegen die äußere Umgebung abgeschirmt werden.

Eine Variante des Siedewasserreaktors ist der sowjetische graphitmoderierte Druckröhrenreaktor RBMK (Abkürzung für russ.: Reaktor hoher Leistung vom Kanaltyp), der so nur in der Sowjetunion betrieben wird.

Von diesem Typ waren 1986 15 Reaktorblöcke in Betrieb, er kam auch in Tschernobyl zum Einsatz (4 x 1000 MW<sub>el</sub>).

Dieser Reaktortyp besitzt kein zentrales Reaktordruckgefäß. Die Kernspaltungsreaktion findet in einzelnen Druckröhren statt, die auch bei weiterlaufendem Betrieb des übrigen Reaktors einzeln zugänglich sind.

Zum Aufbau (Daten s. Tab. 6):

In einem kreisrunden Betonschacht befindet sich ein gemauerter Block aus Graphit (mehr als 1000 Tonnen), der als Moderator in der Kettenreaktion dient.

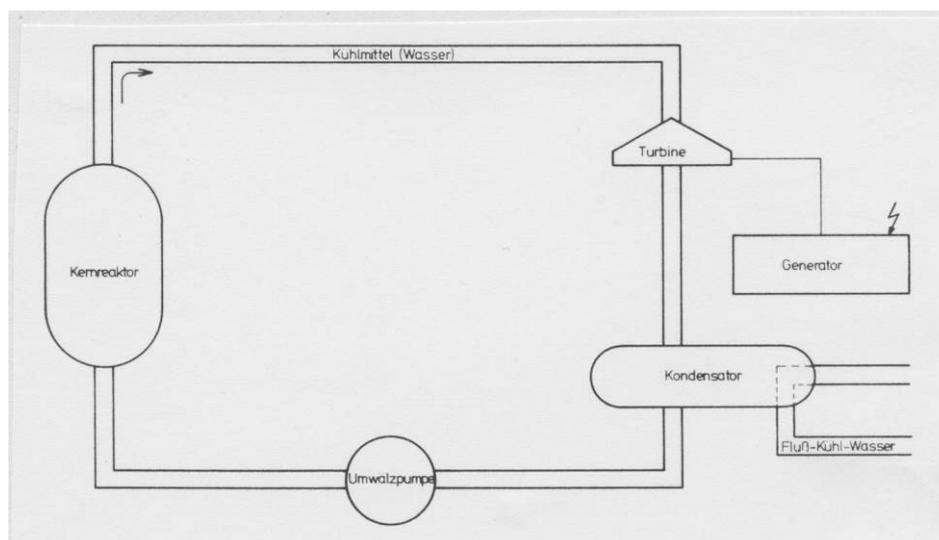


Abb. 10: Siedewasserreaktor (SWR)

Tabelle 6

Technische Daten zum graphitmoderierten Druckröhrenreaktor RBMK-1000

|   |                       |
|---|-----------------------|
| elektrische Leistung  | 1000 MW <sub>el</sub> |
| Wärmeleistung   | 3140 MW <sub>th</sub> |
| Wassertemperatur (Eintritt)                                   | 270 ° C               |
| Sattdampf Temperatur (Austritt)                               | 284 ° C               |
| Druck im Dampfabscheider                                      | 70 atm                |
| Reaktorschacht Höhe   | 25,5 m                |
| Durchm.   | 21,6 m                |
| Arbeitskanäle (Druckröhren)                                   | 1693                  |
| Brennstoff UO <sub>2</sub> Uranmenge                          | 180 t                 |
| Gehalt U-235  | 1,8 %                 |
| Brennelemente je Kassette                                     | 2 x 18                |
| Brennelemente Länge   | 3,5 m                 |
| Durchm.   | 13,6 mm               |
| Kühlmittelschleifen<br>(mit je 3 Arbeits- und 1 Reservepumpe) | 2                     |
| Regelstäbe  | 179                   |

Darin sind rund 1700 Kanäle ausgespart, in die druckfeste Graphitröhren eingelassen werden. In den hohlen Innenraum jedes Rohres sind im Bereich der aktiven Zone Kühlrohre aus Zirkonium eingesetzt. In den so gebildeten Kanal werden Brennstoffkassetten eingelassen, an denen vorbei das Kühlwasser strömt, wobei es teilweise verdampft. Der Graphitblock wird von einem gasdichten Stahlblechmantel umhüllt, der mit einem Helium-Stickstoff-Gemisch gefüllt ist, um zu verhindern, dass der Graphit mit Luftsauerstoff in Berührung kommt und sich eventuell entzünden kann.

Jeweils zwei Reaktoren sind in einem gemeinsamen Gebäudekomplex untergebracht. Neben 2000 MW Strom werden auch 140 Gcal Heizenergie pro Stunde abgegeben (für Fernheizung, Fischhaltung, Gewächshäuser).

Der RBMK-Reaktor hat einige technische und ökonomische Vorteile. So sind z. B. Reparatur- und Wartungsarbeiten (z. B. das mindestens einmal pro Jahr erforderliche „Umladen“ der Brennstoffkassetten innerhalb des Reaktors) während des weiterlaufenden Reaktorbetriebs möglich (das bedeutet eine höhere Zeitverfügbarkeit am Netz). Da die „heiße“ Zone nicht in einem zentralen Druckgefäß eingeschlossen ist, können Reaktorgröße und -leistung praktisch beliebig gesteigert werden. Vor dem Unfall von Tschernobyl gab es übrigens auch seitens westlicher Experten betont positive Aussagen in Bezug auf Ökonomie und Sicherheit dieses Reaktortyps.

## 6. Sicherheit von Kernkraftwerken

Im Folgenden soll über Notwendigkeit und Möglichkeit des sicheren Betriebens von Kernreaktoren berichtet werden – weitere denkbare Gefährdungen durch Anwendung der Kernenergie werden bei den einzelnen Gliedern der Brennstoffkette (s. Kap. 7) behandelt.

Mit der zivilen Nutzung der Kernenergie verbinden sich Zerstörungskräfte in einem Ausmaß, wie es sie in keinem anderen Industriebereich bisher je gegeben hat. Die weitaus größte Gefahr der Kernenergienutzung geht von der Möglichkeit großer Unfälle aus, verursacht durch technische Pannen, menschliches Versagen, Erdbeben, Flugzeugabstürze, Sabotage oder Krieg, die mit unvorstellbar hohen, mit den herkömmlichen Arten der Energieversorgung unvergleichbaren Folgen für den Menschen und für die gesamte Umwelt verbunden sein können.

Das maximale Schadensausmaß eines Unfalls für die heute eingesetzten Leichtwasserreaktoren liegt nach der BRD-Risikostudie für Kernkraftwerke (1979) pro 1000 Megawatt bei etwa 11000 Soforttoten und etwa 80000 späteren Todesfällen durch Leukämie und Krebs. Außerdem würden Tausende oder Zehntausende von Quadratkilometern Land radioaktiv verseucht. Dieses Ausmaß möglicher Gefährdung unterscheidet die Kernenergie grundsätzlich von anderen Energieträgern und macht ihr Risiko schwer kalkulierbar.

### a) UNFÄLLE IN KERNKRAFTWERKEN UND ABWEHRMASSNAHMEN

Die Gefahr der Freisetzung größerer Mengen Radioaktivität ist beim Betrieb eines Kernkraftwerkes immer dann gegeben, wenn die Brennstäbe infolge einer Überhitzung undicht werden und radioaktive Substanzen in den Kühlkreislauf gelangen.

Ursache einer solchen Überhitzung sind in der Regel Störungen im Kühlsystem. **Der sog. GAU ist der „größte anzunehmende Unfall“, nach dem die Sicherheitsbestimmungen eines Kernkraftwerks ausgelegt sind (Auslegungs-Störfall). Dem Konzept nach ist der GAU durch automatisch arbeitende Sicherheitssysteme beherrschbar und eine radioaktive Belastung über die zulässigen Grenzwerte hinaus vermeidbar.**

Bei Druckwasserreaktoren gilt heute allgemein als GAU der plötzliche Bruch einer Hauptumwälzleitung. Dadurch wird die notwendige Kühlung des Reaktorkerns unterbrochen. In wenigen Sekunden ist ein Großteil des Wassers im Primärkreislauf verdampft, und die Brennstäbe heizen sich von 300 auf über tausend Grad auf. Es droht ein Verbiegen, Bersten oder gar Schmelzen der Brennstäbe. Um das zu verhindern, muss sofort Reservewasser in das Druckgefäß nachgepumpt und der Reaktor abgeschaltet werden. Im Druckwasserreaktor bricht die Kettenreaktion bei Ausfall der Kühlwasserzufuhr schlagartig ab (das auch als Moderator dienende Wasser fehlt). Man spricht hier von „inhärenter Sicherheit“ solcher Reaktoren (im Gegensatz dazu wird der graphitmoderierte RBMK-Reaktor bei Kühlmittelverlust instabil; die atomare Kettenreaktion kann sich aufschaukeln). Durch den damit verbundenen Leistungsabfall des Reaktors wird automatisch die Schnellabschaltung ausgelöst: durch „Einschießen“ der Regelstäbe wird der Reaktor abgeschaltet. Trotzdem muss auch nach dem Abschalten des Reaktors noch längere Zeit intensiv mit Wasser gekühlt werden. Die in den Brennstäben gebildeten Spaltprodukte wan-

deln sich nämlich auch jetzt ständig weiter um unter großer Wärmeentwicklung. Diese sog. „Nachwärme“ erreicht anfangs etwa 6 Prozent der Leistung des Reaktors im Vollbetrieb.

Damit auch bei Kühlmittelverlust die ständige Kühlung im Reaktorkern weiter gewährleistet ist, sind Pumpen und Leitungen des ersten Kreislaufs mehrfach ausgelegt (beim WWER-440 in der DDR wird z. B. mit 6, beim WWER-1000 mit 4 Kühlmittelschleifen gearbeitet). Die Notkühlung muss sofort nach der Schnellabschaltung des Reaktors einsetzen (z. B. Notstromdiesel, die bei totalem Stromausfall im öffentlichen Stromnetz sofort starten müssen, um Strom zum Betrieb der Pumpen bereitzustellen). Zusätzlich zu den genannten Reservesystemen im Primärkühlkreislauf sind bei einigen Reaktortypen noch gesonderte Notkühlsysteme vorhanden, bei denen Hochdruckpumpen riesige Wassermengen aus Reservebehältern in das Reaktordruckgefäß pressen.

Auch eine funktionierende Notkühlung kann beim Auftreten eines großen Lecks in der Kühlleitung nicht verhindern, dass ein Großteil des Kühlwassers innerhalb von 10 bis 100 Sekunden verdampft. Das würde zu einem schnellen Druckanstieg im Reaktorgebäude und der Belastung mit radioaktivem Dampf führen. Verschiedene technische Einrichtungen sollen eine Kondensation des Dampfes zur Druckentlastung und Bindung eines großen Teils der Radioaktivität bewirken (Sprinkleranlagen zum Versprühen von Wasser im Reaktorgebäude; Eisblöcke, an denen sich der Dampf kondensiert; zusätzliche Sicherheit bei neueren WWER-440-Kraftwerken erwartet man sich von einem Nasskondensationssystem: unmittelbar neben dem Reaktor wird ein 50 Meter hohes Gebäude errichtet – beim Störfall freigesetzter Dampf wird durch Einleiten in Wasserwannen abgekühlt und kondensiert).

Was aber ist für den Fall zu befürchten, bei dem die Notkühlung und andere der oben genannten Schutzvorkehrungen nicht ausreichend funktionieren? Dieser denkbar größte, nicht mehr beherrschbare Störfall, bei dem es zum Schmelzen des Reaktorkerns kommt, ist der sog. Super-GAU.

Innerhalb von Minuten erreichen die Brennstäbe im Reaktorkern Temperaturen von über tausend Grad, um schließlich bei etwa 3000 Grad zu schmelzen. Dabei werden radioaktive Stoffe frei, die bis dahin in der festen Brennstoffmasse gebunden waren. (Cäsium wird z. B. bei etwa 1000 Grad freigesetzt). Bei hohen Temperaturen kommt es zu chemischen Reaktionen zwischen dem Metall der Brennstabhülle (Zirkonium) und Wasser. Dabei wird das Gas Wasserstoff freigesetzt. Damit besteht die Gefahr von Knallgasexplosionen (Reaktion des Wasserstoffs mit Luftsauerstoff), durch die benachbarte Brennstäbe oder auch größere Bereiche des Reaktors beschädigt oder zerstört werden können.

Auch der schwer entzündliche Graphit (Moderator im RBMK-Reaktor) kann zu brennen beginnen. Er entzündet sich bei mehr als tausend Grad bei Anwesenheit von Sauerstoff (ein solcher Graphitbrand ist mit Wasser nicht zu löschen da Graphit bei hohen Temperaturen heftig auch mit Wasser reagiert). Im schlimmsten Falle würde der Reaktorkern zu einem glutflüssigen Metallbrei zusammenschmelzen. Nach wenigen Stunden hätte die einige hundert Tonnen schwere Masse alle Schutzvorrichtungen (Fundament) durchdrungen, sinkt in den Erdboden ein und erreicht den Grundwasserspiegel. Dabei sind gigantische Wasserdampfexplosionen mit erneuter Strahlenfreisetzung zu befürchten – möglich wäre auch die Funktion des Grundwassers als Moderator und ein erneutes Einsetzen der nuklearen Kettenreaktion. **Ein solcher völlig unkontrollierbarer Super-GAU kann auch durch das Bersten des Reaktordruckbehälters, Sabotage, Erdbeben, Flugzeugabstürze oder Kriegseinwirkungen ausgelöst werden.**

**Das tragische Geschehen in Tschernobyl war ein Super-GAU** – aber es hätte noch schlimmer kommen können. Immerhin konnte das Durchdringen der Fundamente verhindert werden. Nur knappe vier Prozent des hochradioaktiven Inventars des havarierten Reaktors wurden freigesetzt. Die bereits heute sichtbaren Folgen dieses Unfalls (mehr als 30 Tote; einige hundert Strahlenkranke; 135000 Menschen, die evakuiert werden mussten und zum großen Teil weiter medizinisch überwacht werden müssen; 1000 Quadratkilometer radioaktiv verseuchten Landes, auf dem die landwirtschaftliche Nutzung eingestellt werden musste; materielle Direktschäden von rund zwei Milliarden Rubel) haben auch dem letzten Optimisten deutlich gemacht, dass ein „großer“ Super-GAU auch nicht als noch so kleines „Restrisiko“ möglich sein darf. Damit lastet eine schwere Verantwortung auf den für die Energiepolitik zuständigen politischen Gremien wie auch auf dem Personal der Kernkraftwerke (als Hauptursachen für die Havarie in Tschernobyl wurden Bedienungsfehler und Irrtümer der Bedienungsmannschaft angegeben).

## b) ÜBERLEGUNGEN ZU SICHERHEITS-ANFORDERUNGEN FÜR KERNKRAFTWERKE

Die Atomtechnik ist wegen des ihr innewohnenden hohen Gefährdungspotentials mit einer gewissenhaftigkeit entwickelt worden, die in der Industriegeschichte ihresgleichen sucht. Diese Sorgfalt kann aber die maximalen Schadenspotentiale nicht aus der Welt schaffen, sondern vermindert nur die Wahrscheinlichkeiten, dass es zu Unfällen kommt.

Neu für Sicherheitsbetrachtungen in der Technik ist bei der Kerntechnologie, dass das Schadensausmaß (ökonomische und ökologische Wirkungen, die sich räumlich und zeitlich sehr weit erstrecken) im Falle großer Havarien bisher nicht gekannte Größenordnungen erreicht, die Schadenswahrscheinlichkeit also mit allen erdenklichen Mitteln so gering wie möglich gehalten werden muss. Hundertprozentige Sicherheit ist allerdings bei keiner technischen Anlage zu erreichen. Die einzelnen Risikobeiträge von Störfaktoren werden nach der Formel

### Schadensausmaß mal Eintrittswahrscheinlichkeit

in ein mittleres statistisches Risiko pro Jahr umgerechnet. Vor allem aus westlichen Kernkraftwerken ist eine Fülle von Störfällen bekannt geworden die glücklicherweise jedoch sämtlich nicht das Ausmaß der Havarie in Tschernobyl 1986 erreichten.

#### Übrigens:

Störfall ist nicht gleich Unfall! Man sollte sich auch hier an die verbindlichen Sprachregelungen halten. In der DDR werden beim Betreiben von Kernkraftwerken unterschieden:

- **Abweichungen vom Normalbetrieb**
- **Störfälle** – auch der schwerste, für jede Anlage festgelegte sog. Auslegungsstörfall (in westlichen Ländern: größter anzunehmender Unfall GAU) muss technisch und organisatorisch noch sicher beherrscht werden, sodass schädliche Wirkungen bei Menschen verhindert werden
- **außergewöhnliche Ereignisse** (hierzu gehören auch Unfälle bis hin zu nuklearen Havarien, die dem westlichen „Super-GAU“ nahekommen) sind Abweichungen vom beabsichtigten Betriebsverlauf mit Auftreten unzulässig hoher Strahlenbelastungen und Gefährdung der nuklearen Sicherheit.

Naheliegender ist angesichts des Gefährdungspotentials, das in der Kernenergie-technik steckt, die Forderung nach maximal erreichbarer Sicherheit, Vorkehrungen zu treffen gegen jeden denkbaren Störfall!

Nun ist aber hundertprozentige Sicherheit bei keiner technischen Anlage zu erreichen.

Selbst die hinreichende Berücksichtigung aller bereits bekannten Fehlerquellen ist ökonomisch nicht durchzusetzen. Man versucht deshalb, über Wahrscheinlichkeits-Szenarien Wichtiges von Bagatellen zu trennen. Die auf dieser Grundlage getroffenen Sicherheitsvorkehrungen in der technischen Praxis beinhalten dann aber immer ein „Restrisiko“, das als Kompromiss zwischen dem erhofften Nutzen und dem Umfang eines möglichen Schadens für akzeptabel gehalten wird.

Grundsätzliches dazu wird im Atomenergiewgesetz der DDR ausgesagt:

(§ 2 Abs. 3) „Der Schutz des Lebens und der Gesundheit des Menschen sowie der Schutz der Umwelt vor den Gefahren bei der Anwendung der Atomenergie ist zu gewährleisten und hat Vorrang gegenüber volkswirtschaftlichen und anderen Vorteilen, die sich aus der Anwendung der Atomenergie ergeben.“

Die allgemeine Forderung nach einer Minimierung des Unfallrisikos wird bei Sicherheitsanalysen meist in Form von Wahrscheinlichkeitsaussagen konkretisiert, d. h. durch (rechnerische) Ermittlung der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einzelner Störfälle oder auch schwerer Unfälle.

Die Wahrscheinlichkeit für den Super-GAU (s. Kap. 6 a) wurde in mehreren sicherheitsanalytischen Studien berechnet. 1975 erschien der amerikanische RASMUSSEN-Report, dessen Ergebnisse heute noch recht oft zitiert werden (der Bericht wurde bald von Rasmussen selbst in Frage gestellt und bereits 1979 wegen zahlreicher Fehler offiziell zurückgezogen). 1979 erschien die an diese Untersuchung angelehnte bundesdeutsche Sicherheitsstudie, nach der alle 10000 Reaktorbetriebsjahre ein Kernschmelzunfall mit radioaktiver Belastung der Umwelt zu erwarten ist, allerdings nur für 1 Million Reaktorbetriebsjahre ein Kernschmelzunfall mit mehreren Soforttoten. Kritiker der Kernenergienutzung schätzen die Gefahr höher ein: sie rechnen alle 1000 Reaktorbetriebsjahre mit einem Kernschmelzen und alle 10000 Reaktorbetriebsjahre mit einem schweren Kernschmelzunfall, der vom Austritt großer Mengen Radioaktivität und akuten Todesfällen begleitet ist.

Diese Angaben mögen sehr beruhigend klingen („ein schlimmer Unfall ist erst nach tausend oder gar zehntausend Jahren zu erwarten“), müssen aber in ihrer Aussagekraft gedeutet und gewertet werden.

Solche Sicherheitsanalysen sind generell mit großen Unsicherheiten behaftet: Sie können nicht auf Erfahrungen aufbauen, sondern sind auf Annahmen, Abschätzungen und Computersimulationen angewiesen. Es ist unmöglich, jede reale Fehlerquelle zu berücksichtigen. Viele Quellen von Störungen wurden erst mit wachsenden Betriebserfahrungen entdeckt, wenn an unerwarteten Stellen Fehler auftreten. Die Wahrscheinlichkeit, mit der jeder einzelne Störfall eintreten kann, und die wechselseitige Abhängigkeit der betrachteten Komponenten voneinander lassen sich letztlich nur über willkürliche Annahmen in Zahlenform bringen, wobei der Ermessensspielraum weit ist. Besonders schwer ist menschliches Fehlverhalten quantitativ zu erfassen (das ist wichtig, weil viele Störfälle und Havarien in Kernanlagen wesentlich durch menschliches Versagen mit bedingt waren, z. B. spielte dieser Faktor sowohl in Harrisburg als auch in Tschernobyl eine entscheidende Rolle). Ein umfassendes Sicherheitssystem wäre sinnvollerweise auch auf verschiedene „soziale Auslegungsstörfälle“ hin zu entwerfen, wobei neben Fällen menschlichen Versagens auch die Möglichkeit gezielter Angriffe gegen die Sicherheit des Kernkraftwerkes zu berücksichtigen wäre (Sabotage, kriegerische Einwirkungen).

Eine Übertragbarkeit umfassender Risikobetrachtungen von einem Reaktortyp auf einen grundlegend anderen ist nicht möglich – dazu sind jeweils eigene anlage-spezifische Untersuchungen unverzichtbar.

Und selbst wenn den o. g. Angaben für die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Unfällen exakte Daten und geeignete Simulationsmodelle zugrunde liegen sollten, wäre das Ergebnis doch nur eine statistische Aussage, d. h. einmal in 10000 Reaktorbetriebsjahren wäre dann statistisch mit einem schweren Unfall zu rechnen, also bei den heute etwa 400 in Betrieb befindlichen Reaktoren durchschnittlich aller 50 Jahre einmal. Dabei kann nicht gesagt werden, wann dieser Unfall eintritt, das wäre im ersten Jahr genauso wahrscheinlich wie sehr viel später. Bei positiver Erwartung neigen wir eher dazu, auch das Eintreffen von unwahrscheinlichen Ereignissen für möglich zu halten: Wer dreimal im Jahr im Lottosystem 5 aus 35 spielt und auf einen Hauptgewinn hofft, muss mit der gleichen Wahrscheinlichkeit auch damit rechnen, dass sich im gleichen Jahr im nächstgelegenen Kernkraftwerk ein schwerer Unfall ereignet (angenommene Kernschmelzhäufigkeit: einmal in 100000 Reaktorjahren)!

## C) SICHERHEITSVORKEHRUNGEN IN DER PRAXIS

Jedem Projekt eines Kernkraftwerks werden maximal angenommene Störfälle zugrundegelegt. Aus diesem Auslegungsstörfall (normalerweise sind das Leck-Störfälle) ergeben sich Festlegungen zur Schadensbegrenzung. Bei den möglichen Maßnahmen unterscheidet man solche der aktiven und der passiven Sicherheit. Aktive Sicherheit bietet einmal die dauernde messtechnische Überwachung des Betriebsverlaufs und wichtiger Bauelemente des Reaktors, daneben spezielle technische Vorkehrungen für den Störfall (z.B. Notkühleinrichtungen, Reaktorschnellabschaltung, Druckabbausysteme, Notstromversorgung) und auch Verhaltensvorschriften für das Personal (Havarietraining). Anlagen, in denen mit hochradioaktivem Material umgegangen wird, müssen in der DDR vom Staatlichen Amt für Atomsicherheit und Strahlenschutz genehmigt werden. Kernkraftwerke werden darüber hinaus von der Internationalen Atomenergiebehörde in Wien inspiziert.

Passive Sicherheit in einem Kernkraftwerk versucht man durch verschiedene Barrieren zwischen dem radioaktiven Material und der Umgebung zu erreichen (s. u.)

Wichtige Prinzipien beim Einsatz technischer Sicherheitseinrichtungen sind **Redundanz** (das Vorhandensein von mehreren gleichwertigen Reservesystemen) und **Diversität** (Systeme mit ganz unterschiedlicher Funktionsweise zur Erfüllung der gleichen Aufgabe).

Umstritten ist der Grad des anzustrebenden Automatisierungsgrades bei den Sicherheitsvorkehrungen, d. h. die Rolle des Menschen: ist er ein unkalkulierbarer „Störfaktor“, der weitgehend durch Technik ersetzt werden muss, oder ist nicht gerade dort, wo Technik versagen kann, für Störfälle geschultes Personal besonders wichtig?

## Sicherheitsbarrieren bei Kernkraftwerken

In den Brennstäben des Kernreaktors werden durch die Spaltprozesse im Laufe des Reaktorbetriebs eine Fülle von radioaktiven Spaltprodukten erzeugt.

Zusätzlich werden auch im Kühlwasser des ersten Kreislaufs v. a. die darin enthaltenen Korrosionsprodukte und durch die starke Neutronenstrahlung auch das Baumaterial zentraler Reaktorteile stark aktiviert.

Die Radioaktivität darf aus dem Reaktor (bis auf geringe unvermeidbare Abgabemengen in Abluft und Kühlwasser) nicht in die Umgebung entweichen, auch nicht bei den einkalkulierten größten Störfällen. Man arbeitet daher mit einem System von „Sicherheitsbarrieren“ („-einschlüssen“), die die strahlenden Stoffe von der Umwelt abschließen.

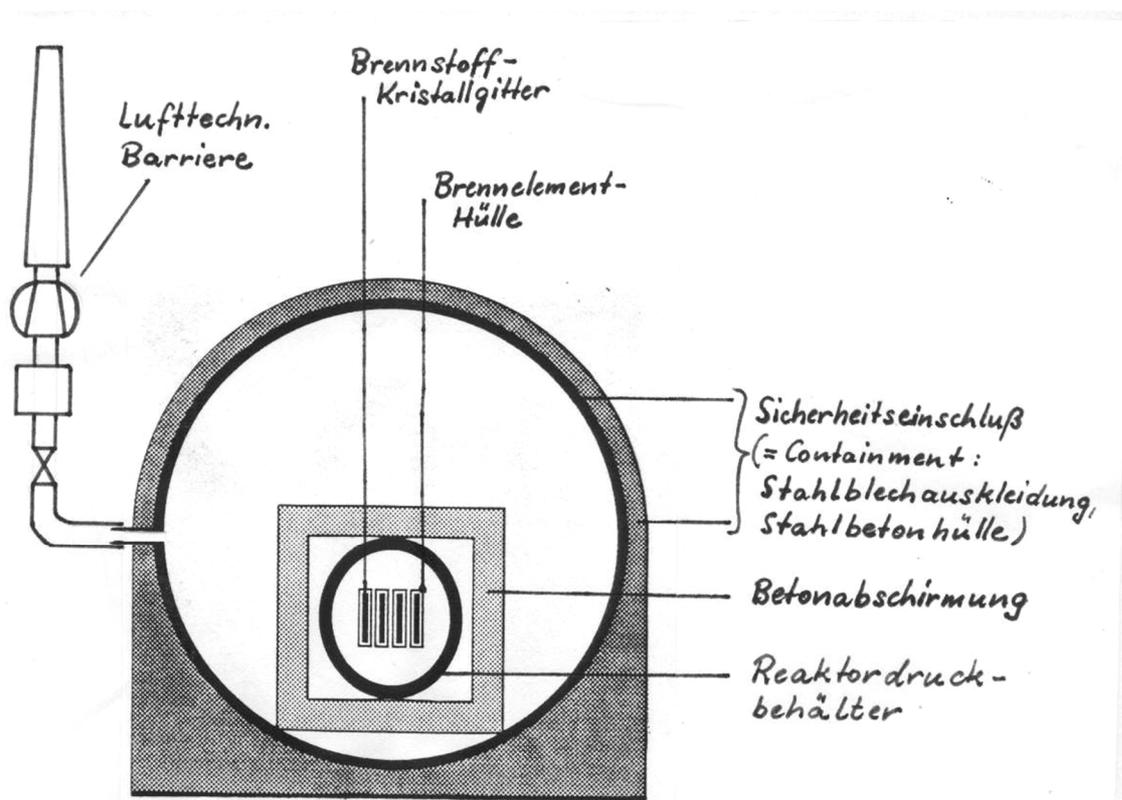


Abb. 11: Barrieren für Spaltprodukte

Abb. 11 zeigt einige prinzipielle Möglichkeiten auf, die aber nicht bei jedem Reaktortyp auch tatsächlich alle verwirklicht sind. Zu den einzelnen Barrieren im Folgenden einige Erläuterungen.

### Brennstoff-Kristallgitter

Im Kristallgitter des Brennstoffs sind die festen Spaltprodukte gebunden und werden erst bei starker Erhitzung (Schmelzen!) auf mehr als tausend Grad freigesetzt.

### Brennelement-Hülle

Die dichte Wandung aus widerstandfähigem Metall (Zirkoniumlegierung) verhindert den Übertritt radioaktiver Stoffe in das Kühlmittel.

### Reaktordruckbehälter

Der R. umschließt die Brennelemente und das Kühlmittel. Zu dieser Barriere sind auch die Bohrwandungen des ersten Kühlmittelkreislaufs zu rechnen. Das Material

muss hohen Belastungen durch Druck, Temperatur und Strahlung standhalten.

### **Betonabschirmung**

Dicke Betonwände umgeben den Reaktorteil eines Kernkraftwerkes, um eine direkte Strahlenbelastung der Umgebung durch Neutronen- und Gamma-Strahlung zu verhindern.

### **Containment**

Den gesamten nuklearen Bereich (= Reaktor und erster Kühlkreislauf) des Kernkraftwerks umgibt ein äußerer Sicherheitseinschluss, der aus einer dicken Stahlbetonhülle mit Stahlblechauskleidung besteht, sicher auch gegen Flugzeugabstürze sein soll und bei Störfällen dem auftretenden Überdruck standhält und radioaktive Gase und Dämpfe aufnimmt.

### **Lufttechnische Barriere**

In geringen Mengen in das Reaktorgebäude entweichende radioaktive Edelgase und flüchtige Stoffe werden mit Unterdruck abgesaugt und durch mehrere Filtersysteme geleitet, ehe sie über den Kamin in die Außenwelt gelangen.

## **Anmerkungen zur Gestaltung äußerer Sicherheitsbarrieren bei Reaktoren sowjetischer Bauart:**

### **WWER-440**

besitzt kein Volldruck-Containment;

Sicherheitseinschluss: das Reaktorgebäude ist aus Stahlzellen aufgebaut, die miteinander verschweißt und anschließend mit Beton ausgekleidet werden;

zur Druckentlastung im Falle einer Havarie: Nasskondensationssystem bei neueren Anlagen

### **WWER-1000**

Containment: innen mit Stahlblech ausgekleideter Stahlbetonzylinder (1,2 Meter Wandstärke; 76 Meter Höhe; sicher gegen Erdbeben und Flugzeugabsturz)

### **RBMK-1000**

wegen der Größe der Spaltzone ist hier kein Reaktordruckgefäß vorhanden;  
besitzt kein Containment

## 7. Der Weg des Kernbrennstoffs vom Erz bis zur Endlagerung

Wenn es um Aussagen zur Sicherheit und Umweltverträglichkeit, aber auch zur Wirtschaftlichkeit und zu sozialen und politischen Auswirkungen der Kernenergie geht, reicht eine Betrachtung lediglich der Kernkraftwerke nicht aus.

Erst eine Einbeziehung der gesamten zugehörigen Brennstoffkette zeigt, dass dort in der Tat noch die größeren Probleme liegen, die längst nicht alle zufriedenstellend gelöst sind. Nur solch eine umfassende Betrachtung ergibt ein etwas klareres Bild über die Risiken dieser Art der Energiebereitstellung und für den zu ihrer Abwehr nötigen gesellschaftlichen Aufwand. Kernenergie darf aber nur dann als sichere und zukunftssträchtige Energiequelle bewertet werden, wenn diese Feststellung für jeden einzelnen Schritt der Brennstoffkette getroffen werden kann und in der Praxis demonstriert ist. Die Unlösbarkeit auch nur eines wichtigen Schrittes könnte den Gesamtkomplex in Frage stellen.

Die Brennstoffkette sieht grob etwa folgendermaßen aus (Abb. 12):

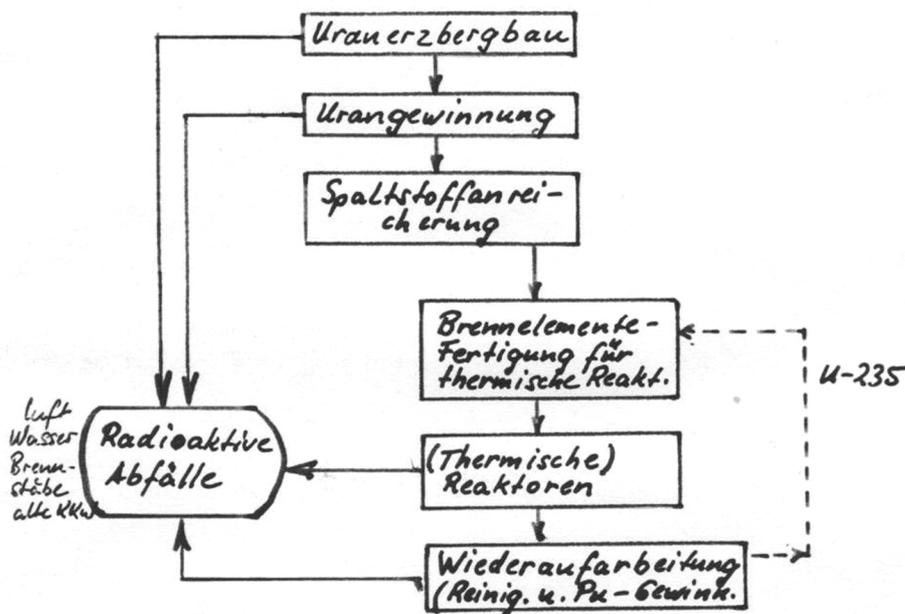


Abb. 12: Die Brennstoffkette – der Weg des Kernbrennstoffs vom Erz bis zur Endlagerung

Erläuterungen zu den einzelnen Gliedern der Brennstoffkette und speziellen damit verbundenen Problemen werden in den folgenden Abschnitten 7 a-h gegeben.

## a) URANERZBERGBAU

Uranerz wird im Tagebau oder unter Tage abgebaut. Auch in der DDR wird durch die SDAG Wismut Uran gefördert. Geschah das nach dem Krieg zunächst vor allem im Raum Aue/Schneeberg (Pechblende), so hat sich der Bergbau heute in die Gegend um Ronneburg im Bezirk Gera (obersilurische Schiefer) und nach Königstein in der Sächsischen Schweiz verlagert.

Beim Uranabbau sind die Arbeiter einer erhöhten Strahlenbelastung durch das radioaktive Edelgas Radon (ein Umwandlungsprodukt des Urans) ausgesetzt. Ermüdung, Blutbildveränderungen und stark erhöhtes Lungenkrebsrisiko wurden beobachtet.

Durch den Uranerzbergbau entstehen gewaltige Erzhalde: Uranerze gelten heute als abbauwürdig bei einem Urangehalt von mehr als 0,1 Prozent U-238. Um eine Tonne Uran-235 zu gewinnen, kann die Förderung von mehr als 100000 Tonnen Erz nötig sein. Aus den Abfallerzhalden wird z. B. Radium vom Regen ausgewaschen und gelangt in Grundwasser und Flüsse. Radon entweicht noch hunderttausende von Jahren aus dem Haldenmaterial in die Luft (über die biologische Wirkung geringer Mengen radioaktiver Strahlung s. Kap. 4 c,f).

## b) URANGEWINNUNG

Aus dem Uranerz gewinnt man in speziellen Fabriken (in der DDR in Crossen bei Zwickau, jetzt auch bei Ronneburg) das Uran. Das Gestein wird zerkleinert und das Uran z. B. mit Schwefelsäure herausgelöst. Dabei entsteht als Endprodukt „yellow-cake“ – ca. 70-prozentiges gelbes Urandioxid.

Bei der Auslaugung wird nur das Uran herausgelöst, andere radioaktive oder giftige Stoffe wie Thorium, Radium, Polonium, Blei und Wismut und oft auch einige Prozent des ursprünglich enthaltenen Urans verbleiben im Abfall und werden als Schlamm deponiert. Bei unsachgemäßer Lagerung besteht die Möglichkeit, dass radioaktive Substanzen zur Verunreinigung von Gewässern führen können.

## c) SPALTSTOFFANREICHERUNG

Das in den heute üblichen (thermischen) Reaktoren allein spaltbare Uranisotop U-235 ist im natürlichen Uran nur mit einem Anteil von 0,7 % enthalten.

Damit Kernreaktoren damit arbeiten können, muss sein Anteil auf normalerweise 2 bis 3 Prozent erhöht, es muss „angereichert“ werden. (Für die Anwendung in Bomben ist reines U-235 erforderlich).

Die Isotope U-235 und U-238 lassen sich mit chemischen Methoden nicht trennen. Man benötigt technisch komplizierte und ökonomisch sehr aufwendige physikalische Verfahren. Dabei nutzt man den geringen Massenunterschied der beiden Isotope.

- **Gasdiffusion**

Eine gasförmige Verbindung des Urans (Uranhexafluorid  $UF_6$ ) wird durch poröse Wände gepresst, dabei diffundieren die leichteren U-235-Moleküle etwas schneller. Mit 3000 solcher Trennstufen erzielt man eine Anreicherung von 80 %.

- **Gaszentrifugen**

Ein Zentrifugenzyylinder, der das Gas  $UF_6$  enthält, rotiert mit hoher Geschwindigkeit

um seine Längsachse (60000 U/min). Dabei wird das schwerere U-238 nach außen geschleudert, in der Nähe der Achse reichert sich U-235 an.

- Weitere Methoden sind das **Trenndüsenverfahren** und **Laser-Techniken**.

## d) BRENNLEMENTEFERTIGUNG

Das angereicherte Uran wird normalerweise als Urandioxid ( $UO_2$ ) zu Pellets (Brennstofftabletten) gepresst. Diese werden in Hüllrohre gefüllt, mit Helium gespült, gasdicht verschweißt und zu Brennstoff-Kassetten gebündelt (s. Abb. 13).

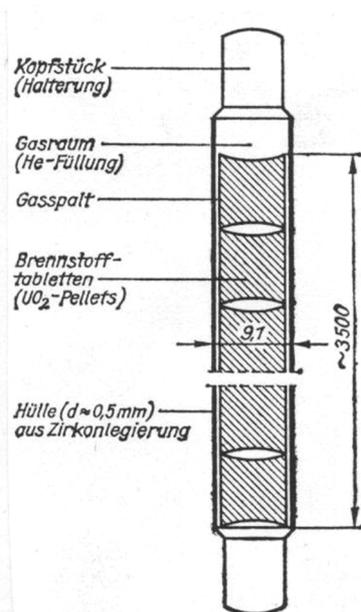


Abb. 13: Brennelement eines Druckwasserreaktors

## e) KERNREAKTOREN

Aufbau, Arbeitsweise und Sicherheitsvorkehrungen für wichtige Reaktortypen werden an anderer Stelle beschrieben (s. Kap. 5 u. 6). Hier soll nur einiges angemerkt werden zur Abgabe von Radioaktivität an die Umwelt und zur Entstehung von radioaktiven Abfällen beim Normalbetrieb eines Kernkraftwerkes; Auch im Routinebetrieb eines Reaktors ist der Austritt geringer Mengen radioaktiver Stoffe in das Kühlwasser und (als Gase) in die umgebenden Räume nicht vollständig zu vermeiden. Durch die vom Kernreaktor ausgehende Neutronenstrahlung werden im Kühlmittel, in Verunreinigungen des Kühlmittels (z. B. Korrosionsprodukte), in der Luft und in Anlagenteilen radioaktive Substanzen erzeugt.

In Spuren gelangt die radioaktive Belastung des Kühlwassers bis in die Kühlgewässer. Es sind Grenzwerte festgelegt, die die maximal zulässige Belastung der Kühlgewässer regeln. Obwohl die unmittelbare Strahlenwirkung normalerweise weit niedriger liegt als die natürlich vorhandene Umgebungsstrahlung, sollte man sich der besonderen Problematik solcher Grenzwerte bewusst sein (s. Kap. 4 c f).

Bestimmte Mengen an radioaktiven Gasen treten über Haarrisse durch die Hüllen der Brennelemente und andere Sicherheitsbarrieren hindurch und belasten die Luft in den angrenzenden Räumen. Es handelt sich v. a. um Jod, Edelgase (Kr-85, Xe-133,

Rn-222) und Metall-Aerosole. Die belastete Luft wird abgesaugt, z. B. über Filter geleitet und dann in Druckbehältern zwischengelagert, bis ein Großteil der Radioaktivität „abgeklungen“ ist. Reste werden mit Luft verdünnt über den auch in jedem Kernkraftwerk vorhandenen Kamin an die Atmosphäre abgegeben. Auch hier gibt es für die zugelassenen Abgabemengen Grenzwertfestlegungen. Beim Betrieb des Kernreaktors fallen schwach- bis mittelaktive Abfälle an, z. B.

- Filtermaterialien (Ionenaustauscherharze) aus der Primärwasser-Reinigungsanlage
- ausgewechselte Bauteile und Armaturen aus der Reaktorzone
- Kühlwasserverluste aus Lecks des Primärkreislaufs.

Hochradioaktiv ist neben den Brennstäben das gesamte Bau- und Betriebsmaterial des eigentlichen Reaktors. Im Kern eines 1000-MW-Reaktors ist beispielsweise eine Radioaktivität von etwa  $10^{19}$  Becquerel (10 Milliarden Milliarden radioaktive Zerfälle pro Sekunde) enthalten. Die hochradioaktiven Abfallstoffe in dem Reaktor entsprechen der Menge von (längerlebigen) Spaltprodukten, wie sie bei der Explosion von etwa 1000 Hiroshima-Bomben entstehen würden.

Die Brennelemente sind im Reaktor etwa 3 Jahre im Einsatz und werden während dieser Zeit vom Rand her zur Mitte des Reaktors hin mehrfach „umgeladen“, um einen möglichst hohen Anteil des Uran-235 zu spalten. Bestenfalls 50 Prozent Spaltstoff-Umsetzung werden in dieser Zeit erreicht. Dann sind die Brennstäbe „ausgebrannt“, d. h. sie enthalten zu geringe Mengen an spaltbarem Uran und andererseits zu viele Spaltprodukte, die Neutronen einfangen – der Spaltprozess verläuft nicht mehr ökonomisch.

Die ausgebrannten Brennelemente werden in wassergefüllte „Abklingbecken“ überführt (ständige Kühlung!) und dort einige Jahre lang gelagert, bis die kurzlebige Radioaktivität abgenommen hat (in 200 Tagen sinkt die Aktivität etwa auf ein Dreißigstel). Anschließend überführt man die Elemente in Spezial-Containern (weiter unter ständiger Kühlung) in Zwischenlager. Von da werden sie später entweder zur Endlagerung (s. Abschnitt g) oder zur Wiederaufarbeitung gebracht.

Kernkraftwerke haben normalerweise eine „Lebensdauer“ von höchstens 30 Jahren. Danach muss ein solches Kraftwerk demontiert und stillgelegt werden. Die Beseitigung einer solchen Anlage ist wegen der hohen Strahlenbelastung durch die aktivierten Baumaterialien problematisch und sehr teuer. Ein Teil der Reaktoranlage muss als aktiver Müll aufwendig beseitigt werden. Es wird erwartet, dass das strahlende Reaktordruckgefäß am Ort einbetoniert und anschließend Jahrzehnte oder länger bewacht werden muss.

## **f) WIEDERAUFARBEITUNG**

Auch ausgebrannte Brennelemente enthalten noch größere Mengen an spaltbarem Uran-235, die zurückgewonnen werden können.

Zusätzlich entsteht durch Brutprozesse (s. Kap. 8) auch in thermischen Kernreaktoren das Isotop Plutonium-239, das isoliert werden soll und selbst einen guten Reaktorbrennstoff darstellt. Für den Betrieb von Brutreaktoren ist auch die Rückgewinnung des Uran-238 wichtig.

Da die natürlichen Uranerzvorkommen beim Betreiben der heute üblichen Reaktoren nur für wenige Jahrzehnte reichen würden, legt sich eine Wiederaufarbeitung der Reaktorbrennstoffe nicht nur nahe, sondern ist ein unausweichlicher nächster Schritt

bei der konsequenten Nutzung der Kernenergie (s. Kap. 8).

Technisch durchgeführt wird die Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen schon seit Jahrzehnten – zur Gewinnung von Plutonium für den Einsatz in Atombomben.

Die Weiterverarbeitung „ziviler“ Brennstäbe führt jedoch zu Verarbeitungsproblemen (das Material ist viel länger im Reaktor und z. T. anders zusammengesetzt) und erfordert das Betreiben sehr großer industrieller Anlagen.

In solchen Fabriken werden die Brennstäbe in Säuren aufgelöst, die gewünschten Spaltstoffe mit chemischen Verfahren voneinander getrennt und entsprechend aufgearbeitet. Diese Prozesse lassen sich – da es sich um ganz „normale“ chemische Operationen in größtem Maßstab handelt – nicht hermetisch abschirmen. Die großen Mengen radioaktiver Flüssigkeiten und Schlamme als Zwischen- und Abprodukte schaffen immense Probleme in der Prozessführung und Abfallbeseitigung.

Man schätzt, dass schon im Normalbetrieb eine Wiederaufarbeitungsanlage ständig ein Vielfaches an Radioaktivität an die Umgebung abgibt im Vergleich zu allen von ihr „entsorgten“ Kernkraftwerken zusammen. Havariesituationen im chemischen Prozess werden durch die radioaktive Belastung der gehandhabten Stoffe viel gefährlicher. In Bezug auf Sicherheitsanforderungen und Standortwahl sind also sehr strenge Maßstäbe anzulegen.

Wiederaufarbeitungsanlagen können auch ein Weg sein, um an spaltbares Material in der für Atombomben nötigen Reinheit heranzukommen (s. auch Kap. 9). Die herkömmlichen Anreicherungsanlagen für Uran sind so aufwendig und teuer, dass kleineren Staaten dieser Weg versperrt ist, um zu reinem Spaltstoff zu kommen. Wesentlich einfacher gestaltet sich der Weg, wenn Brennstäbe nach einer bestimmten Zeit aus einem „zivilen“ Kernreaktor entnommen werden und man daraus mit relativ einfachen chemischen Verfahren Plutonium-239 abtrennt.

Der Atomwaffensperrvertrag und alle Bemühungen und Kontrollen durch die internationale Atomenergiebehörde (IAEA) könnten zur Farce werden, wenn machtbesessene Politiker oder wahnwitzige Terroristen solche Wege beschreiten.

## **g) ENDLAGERUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE**

Der sichere Abschluss radioaktiver Abfälle von der Umwelt für die gesamte Dauer ihrer Gefährlichkeit ist eines der wichtigsten Probleme in der nuklearen Brennstoffkette. Die Verschmutzung durch unkontrolliert sich in der Umwelt ausbreitende radioaktive Stoffe ist irreversibel. Diese Substanzen lassen sich weder technisch beseitigen noch verschwinden sie etwa durch Naturprozesse. Im Falle einer weiträumigen Kontamination (Verunreinigung) bleibt nur Warten, bis die radioaktiven Isotope nach 10 bis 20 Halbwertszeiten praktisch vollständig zerfallen sind.

Man unterscheidet je nach Aktivität (s. Exkurs 7) grob drei Gruppen von radioaktiven Abfällen:

- schwach aktiv: etwa  $10^{12}$  Becquerel pro Kubikmeter
- mittelaktiv: etwa  $10^{13}$  bis  $10^{14}$  Becquerel pro Kubikmeter
- hochaktiv: etwa  $10^{16}$  Becquerel pro Kubikmeter

Schwach- und mittelaktive Abfälle werden in der DDR bei Morsleben in alten Salzbergwerken gelagert, bei denen man mit geologischer Stabilität über Jahrzehntausende rechnet und Wasserzutritt für unmöglich hält. Die hochaktiven Abfälle bereiten wegen ihrer hohen Strahlungsintensität (Wärmeentwicklung) und der Lang-

lebigkeit vieler Isotope besondere Probleme. Sie müssen für die Dauer ihrer potentiellen Gefährlichkeit sicher gelagert und unter Kontrolle gehalten werden. Die Zeiträume erstrecken sich hierbei mindestens über einige Jahrhunderte. Das verlangt nicht nur absolute Sicherheitsgarantien für die praktizierten technischen Lösungen, sondern erfordert auch langfristige politische Stabilität und Reife der Gesellschaft, die mit einem solchen Erbe belastet ist. Wahrscheinlich sind die ins Auge zu fassenden Zeiträume aber noch viel größer: Das sehr gefährliche Plutonium-239 hat eine Halbwertszeit von 24000 Jahren, d. h. nach 80000 (!) Jahren ist hier immer noch ein Zehntel der ursprünglich vorhandenen Menge zu kontrollieren.

Ein großtechnisch erprobtes und allgemein anerkanntes Prinzip, den atomaren Müll auf Dauer sicher zu deponieren, ist bislang unbekannt. In Großbritannien und den USA wird hochradioaktiver Abfall zunächst in Salpetersäure aufgelöst. Die weiter stattfindenden Kernumwandlungen bringen die Flüssigkeit noch jahrelang von allein zum Sieden. Sie muss ständig gekühlt und gerührt werden. Druckluft wirbelt die sich bildenden Feststoffe auf. Die hochaktive Lösung kühlt in Behältern aus Edelstahl jahrzehntelang ab, wobei nach etwa 5 Jahren die Behälterwände durch Strahlenkorrosion und Säurewirkung leak werden und der „Müll“ umgelagert werden muss. Nach einer solchen Zwischenlagerung soll der atomare Müll weiter konzentriert und verfestigt werden. Man denkt z. B. an das Eingießen in Glasblöcke. Danach soll z. B. ein Vergraben in Salzstöcken erfolgen, geologisch sehr stabilen Formationen, oder man fasst eine oberflächennahe Lagerung in menschenleeren Wüstengebieten ins Auge. Auch in solchen Endlagern ist noch über längere Zeit eine ständig voll funktionsfähige Kühlung unerlässlich.

Bisher lagern in fast allen Kernkraftwerken der Welt die ausgebrannten Brennstäbe noch im Kraftwerk. Die Lager füllen sich aber, die Abfall-Endlagerung oder Wiederaufarbeitung wird immer dringlicher – dagegen sind die praktischen Erfahrungen bei den (zivilen) Wiederaufarbeitungsanlagen bisher technisch und ökonomisch nicht ermutigend und für eine sichere Endlagerung liegen befriedigende Konzepte bisher nicht vor.

Zur Zeit findet in der DDR keine Endlagerung hochaktiven Mülls statt – die „Entsorgung“ soll von der Sowjetunion durchgeführt werden. Angesichts des geplanten Ausbaus der Kernenergetik in der DDR erhebt sich allerdings die Frage, ob dann nicht so viel radioaktive Abfälle entstehen, dass Transportrisiko und -kosten in die Sowjetunion nicht mehr tragbar erscheinen und Möglichkeiten der Endlagerung auch bei uns gesucht werden müssen.

## **h) TRANSPORTE**

Zwischen den einzelnen Gliedern der nuklearen Brennstoffkette sind eine Vielzahl von Transporten durchzuführen. Diese Transporte finden auf den normalen Verkehrswegen (Straße und Schiene) statt. Es sind deshalb umfangreiche Sicherheitsvorkehrungen gegen Unfälle mit Freisetzung von Radioaktivität zu treffen, aber auch z. B. gegen Sabotage oder Diebstahl radioaktiven Materials. Besonders kritisch sind Transporte hochaktiven Materials wegen des besonders großen Gefährdungspotentials und z. T. erforderlicher ständiger Kühlung (hierfür wurden hoch belastbare Spezialcontainer entwickelt).

## 8. Der nächste Schritt: Schnelle Brutreaktoren

Kernenergie aus thermischen Reaktoren ist keine Alternative zur konventionellen Energieerzeugung, denn beschränkt man sich auf diesen Reaktortyp, würde der Rohstoff Uran-235 nur noch einige Jahrzehnte zur Verfügung stehen. Er würde also zur gleichen Zeit wie Erdöl zur Neige gehen. (Diese Schätzung ergibt sich aus den heute verfügbaren und wirtschaftlich gewinnbaren Vorräten – bei steigenden Energiepreisen und evtl. neu erkundeten Lagerstätten wäre eine Verlängerung dieser Zeitspanne denkbar.)

Kernenergie führt erst dann zu einer dauerhaften Lösung des Energieproblems, wenn man konsequent auch zwei weitere Schritte geht: Einführung von Wiederaufarbeitungsanlagen (s. Kap. 7 f) und Betreiben von sog. Schnellen Brutreaktoren. Erst letztere ermöglichen es, auch den bisher nicht verwendbaren Anteil an Uran-238 (zu 50 bis 70 Prozent) zu nutzen. Damit erst stünde Spaltstoff für eine Kernkraft-Ära von wenigstens einigen hundert Jahren zur Verfügung. Die Schnellen Brutreaktoren sind keine willkommene Bereicherung, sondern eine logische und unausweichliche Folge des Einstiegs in die Kernenergie. Wer A sagt wie (herkömmliches) Atomkraftwerk, der muss auch B sagen wie Brütertechnologie – mit allen Konsequenzen, die das hat.

In der DDR sollen perspektivisch Schnelle Brutreaktoren nach dem Jahre 2000 eingesetzt werden.

### a) AUS EINS MACH ZWEI: WIE MAN KERNBRENNSTOFF ERBRÜTEN KANN

Der Schnelle Brutreaktor wird so genannt, weil in ihm schnelle, d. h. energiereiche Neutronen stabile Bestandteile des Kernbrennstoffs in spaltbare Isotope überführen. Ungebremsten schnellen Spaltneutronen (s. Kap. 5 a) gelingt es, in die Atomkerne des Uran-238 einzudringen. Ein Teil wird nach Absorption der schnellen Neutronen gespalten. Als konkurrierender Prozess findet in der Folge des Neutroneneinfangs eine weitere Kernumwandlung statt, die letztlich zur Entstehung von Plutonium-239 führt (Abb. 14).

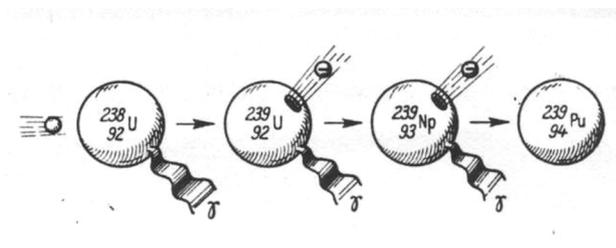


Abb. 14: Die Entstehung des Plutoniums

Dieses Pu-239 ist ein langlebiges Isotop (s. Exkurs 10), das als Brennstoff in normalen thermischen Reaktoren eingesetzt werden kann. Auch in thermischen Reaktoren läuft die dargestellte Reaktion ab. Allerdings werden dort auf 100 gesplante U-235-

Atome nur etwa 50 bis 60 U-238-Kerne umgewandelt (der sog. Konversionsfaktor ist kleiner als 1). Im Schnellen Brutreaktor dagegen werden mehr Pu-239-Kerne „erbrütet“ als im gleichen Zeitraum Kerne gespalten werden (Konversionsfaktor 1,3 bis 1,5). Damit kann sich im Laufe von 8 bis 15 Jahren der Spaltstoffgehalt in einem Reaktor verdoppeln. Als Brennstoff werden im Schnellen Brutreaktor normalerweise Natururan und mehr als 20 Prozent Pu-239 eingesetzt.

## b) DER SCHNELLE BRUTREAKTOR

Die aktive Zone eines Schnellen Brutreaktors besteht aus einem Kern, in dem bevorzugt Spaltprozesse ablaufen, und aus einer äußeren Brutzone, in der die Umwandlung zu Pu-239 stattfindet. Da die Kernreaktionen hier durch schnelle Neutronen eingeleitet werden, ist Wasser als Kühlmittel – da es Neutronen abbremst – nicht geeignet. Man setzt stattdessen meist flüssiges Natrium-Metall bei Temperaturen zwischen 300 und 800 ° C ein. Der Druck beträgt 5 bis 8 atm (0,5-0,8 MPa).

Exkurs 10

**PLUTONIUM**

Das Isotop Plutonium-239 wird mit dem Übergang zu Wiederaufarbeitungsanlagen und zur Brüter-Technologie eines der wichtigsten Materialien der Kernenergetik.

P. kommt in der Natur praktisch nicht vor. Das Element ist einer der giftigsten Stoffe, die wir kennen: bereits einige Millionstel Gramm reichen aus, um einen Menschen zu töten. Nach Einatmen kann sich P.-Staub in der Lunge festsetzen und dort Krebs auslösen.

P. ist radioaktiv. Es ist ein energiereicher  $\alpha$ -Strahler, der sich nach Aufnahme über Nahrung und Atemluft bevorzugt in Leber, Knochen und Lunge einlagert. Wegen der extrem langen Halbwertszeit von 24000 Jahren bleibt in die Umwelt gelangtes P. sehr lange gefährlich.

Bei umfassender Einführung der Brüter-Technologie in den kommenden Jahrzehnten würden jährlich bis zu hundert Tonnen dieses Metalls anfallen, die im Reaktorbetrieb, im Prozeß der Wiederaufarbeitung, bei Transporten und z. T. auch bei der Abfall-Endlagerung (hier für Jahrzehnttausende!) jederzeit sicher verwahrt werden müssen.

Fast alle Kernwaffen enthalten heute P. als Spaltstoff. Da sich P. chemisch relativ leicht aus Brennstäben isolieren läßt, besteht hier für jeden Betreiber von Kernkraftwerken und evtl. auch für Terroristen die Möglichkeit, an die zum Bau einer Bombe nötige P.-Menge von nur 5 bis 10 kg zu gelangen.

Doch der Einsatz von Natrium bringt erhebliche Probleme: Das flüssige Metall wird stark radioaktiv. Beim Zusammentreffen mit Luft oder Wasser würde es explosionsartig reagieren. Havariefolgen können deshalb bei Brutreaktoren viel ernster sein als bei Nichtwasserreaktoren. Zur Erhöhung der Sicherheit werden Kraftwerke mit Natriumkühlung mit drei Kühlkreisläufen errichtet. Im ersten zirkuliert das stark radioaktive Natrium, das seine Wärmeenergie in einem Wärmetauscher an einen zweiten Natriumkreislauf abgibt und erst in einem weiteren Wärmetauscher wird das Wasser eines dritten Kreislaufs verdampft, um die Turbinen anzutreiben. Der kritische Punkt dieser Kühlkette ist der Natrium-Wasser-Wärmetauscher, wo die reaktionsfreudige Metallschmelze nur durch dünne Rohrwände vom Reaktionspartner Wasser getrennt ist.

Damit auch im Brutreaktor der neutronenliefernde Spaltvorgang mit genügender Ausbeute stattfindet, muss das Pu-239 (oder U-235) auf etwa 20 Prozent angereichert sein. Im Falle eines Zusammenschmelzens des Reaktorkerns als Folge einer Kühlarie kann nicht ausgeschlossen werden, dass bei diesem Reaktortyp eine „überkritische“ Konzentration an Spaltstoff entsteht, die eine nukleare Explosion auslöst. In neueren Versuchsanlagen geht man deshalb von den üblichen Rohrssystemen für den ersten Kreislauf ab und betreibt den Reaktor in einer natriumgefüllten Wärme. Die gefährliche Nachwärme im Falle einer Havarie soll hier auch ohne Pumpen durch thermische Zirkulation des Kühlmittels abgeführt werden.

## c) DER WEG IN WIEDERAUFARBEITUNG UND PLUTONIUMWIRTSCHAFT

Der Übergang zur Brüter-Technologie bedeutet zwangsläufig auch den Aufbau der Wiederaufarbeitung (s. Kap. z f) im großen Maßstab. Das in den Brennstäben nicht verbrauchte Spaltmaterial und der neu erbrütete Brennstoff PU-239 müssen chemisch abgetrennt, gereinigt und zu neuen Brennstäben verarbeitet werden. Damit erweitert sich die Brennstoffkette (s. Kap. 7) und wird zum Kreislauf (Abb. 15).

Die Anzahl der Transporte von hochaktivem Material nimmt weiter zu und mit ihr steigt die damit verbundene Gefährdung (Unfälle, Diebstahl).

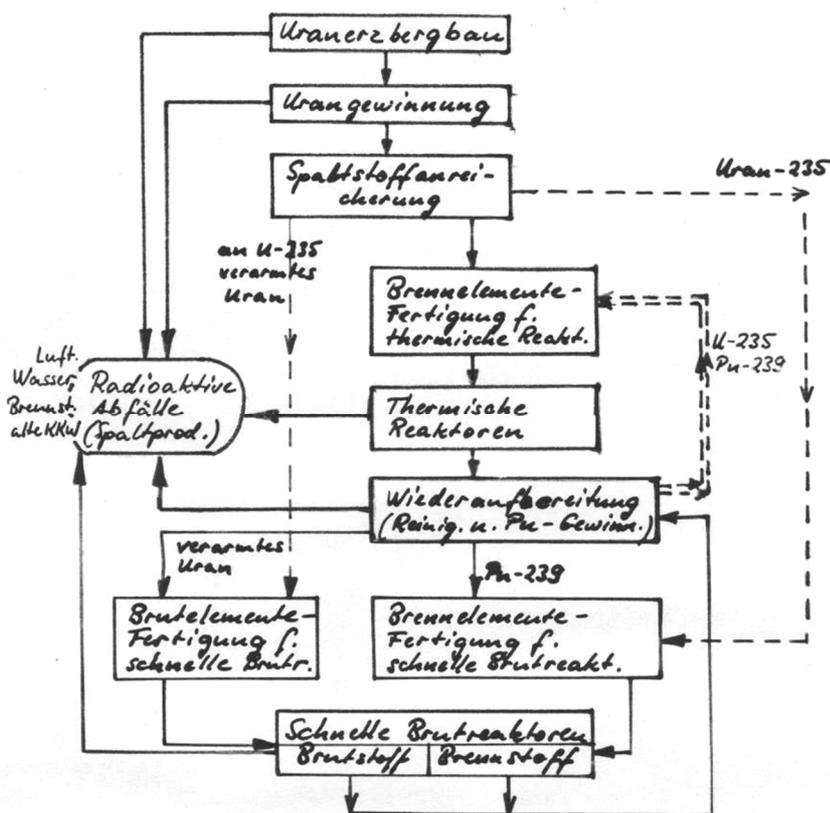


Abb. 15: Uran – Plutonium – Brennstoff – Kreislauf

## 9. Über friedliche Kernkraftwerke zur Atombombe?

Wer zivile Kernkraftwerke besitzt und betreibt, ist prinzipiell auch in der Lage, Kernsprengstoff für Atombomben zu erzeugen.

Mit der Ausbreitung ziviler Kerntechnologie durch Export von Kernkraftwerken erhöht sich die Zahl der potentiellen oder tatsächlichen Atomwaffen-Besitzer. Auf diesem Wege kann das Kernwaffenmonopol der Großmächte unterlaufen werden. Indien, aber wahrscheinlich auch Israel und Südafrika sind bereits auf diesem Wege zu eigenen Atomwaffen gelangt.

Kleine und ärmere Länder können zwar den Aufwand nicht finanzieren, der nötig ist, um in Anreicherungsanlagen das Uranisotop 235 in reiner Form zu erzeugen. Wenn sie aber Kernkraftwerke in bestimmter Weise betreiben (nur kurze Verweildauer der Brennstäbe, damit unökonomischer Betrieb) und anschließend die Brennstäbe mit dem Ziel aufarbeiten, das gebildete Plutonium-239 zu gewinnen, ist der Weg zu Bombenspaltstoff frei. Bereits mehr als ein Dutzend Länder verfügen heute über Wiederaufarbeitungsmöglichkeiten und mindestens 26 Länder besitzen genügend Plutonium und technisches Wissen, um Atomwaffen herzustellen.

Selbst für Terroristen scheint der Bau einfacher Atombomben im Prinzip kein Problem zu sein. Die wissenschaftlichen Grundlagen sind in der Fachliteratur genügend dokumentiert, und so sollten Fachleute für Feinmechanik und Sprengmittel eine Bombe basteln können. Sie würde sicher aus der Sicht der Fachleute sehr schlecht funktionieren, aber das wäre nur ein schwacher Trost.

Und das Plutonium – man benötigt theoretisch nur knapp 10 Kilogramm – könnte durch Diebstahl, Erpressung oder einen terroristischen Anschlag im Kraftwerk, aus Wiederaufarbeitungsanlagen oder bei einem Transport beschafft werden.

Aus dieser Gefährdung ergeben sich weitgehende Forderungen für die technische Sicherung und Überwachung kerntechnischer Anlagen, aber auch für die ständige Kontrolle der dort arbeitenden Menschen auf ihre Zuverlässigkeit.

Im Falle einer militärischen Auseinandersetzung (die evtl. auch innenpolitisch geführt werden kann und bei der „nur“ konventionelle Waffen zum Einsatz kommen) darf sich ein Land, das Kernenergieanlagen betreibt, eigentlich überhaupt nicht verteidigen! Auch bei Treffern „aus Versehen“, erst recht aber als bewusst gewählte Angriffsziele wären getroffene Kernreaktoren, Wiederaufarbeitungsanlagen und Endlager für hochaktive Abfälle Quellen erheblicher radioaktiver Belastungen und hätten letztlich die gleiche Wirkung auf die Umgebung wie eine Atombombe.

Gegen den bewussten Missbrauch der Kernenergie ist ein hundertprozentig wirksamer Schutz nicht möglich. Das bedeutet, dass es nie eine vom Fluch der Atombombe wirklich befreite Welt geben kann, solange es Kerntechnik und damit das Material und die Versuchung zum Missbrauch gibt.

# 10. Zukunft mit oder ohne Kernenergie?

## a) WAS GEGEN KERNENERGIE SPRICHT

Im Folgenden werden zunächst einige wichtige Probleme zusammengefasst, die bereits in den vorstehenden Kapiteln ausführlicher besprochen wurden. Die Aufstellung wird ergänzt durch Fragen zu Kosten und Standorten für Kernenergieanlagen und zu weiterhin nicht gelösten Fragen.

### **Die Umwelt wird radioaktiv belastet.**

Auch im Normalbetrieb der Brennstoffkette gelangen geringe Mengen radioaktiver Substanzen in die Umwelt, über deren Langzeitwirkung wir wenig wissen (s. Kap. 4 und 7).

### **Das „Restrisiko“ der Kernenergie ist schwer kalkulierbar.**

Der Kernenergie wohnen Gefahren von bisher nicht gekannter Größenordnung inne. Daher müsste die verwendete Technik hundertprozentig sicher sein, was prinzipiell nicht möglich ist. Zusätzlich ist das soziale Risiko (menschliches Versagen, bewusste Störaktionen durch Sabotage und Terror) schwer wägbare. Es bleibt ein „Restrisiko“ mit der Gefahr katastrophaler Folgen (s. Kap. 6).

### **Wichtige Fragen zum Gesamtkomplex Kernenergie sind noch nicht zufriedenstellend gelöst.**

Obwohl das Gesamtkonzept Kernenergie von der Lösung bestimmter Fragen abhängt, sind wichtige Probleme noch nicht geklärt, wie z. B. der sichere Betrieb Schneller Brutreaktoren, die Wiederaufarbeitung und die Endlagerung (s. Kap. 7 u. 8).

### **Die weltweite Nutzung der Kernenergie birgt die Gefahr der Weiterverbreitung von Atomwaffen.**

Mit der Verbreitung von Kernkraftwerken – besonders der Schnellen Brutreaktoren und der Wiederaufarbeitungsanlagen – werden immer mehr Staaten in die Lage versetzt, Spaltmaterial für Atomwaffen zu gewinnen. Damit steigt die Gefahr nuklear geführter Auseinandersetzungen und atomarer Erpressung in der Welt (s. Kap. 8 u. 9).

### **Mit dem Einstieg in das „Atomzeitalter“ muss eine langfristige Stabilität der menschlichen Gesellschaft garantiert sein.**

Wegen des hohen Gefährdungspotentials der Kerntechnologie ist nicht nur aktuell eine strenge Überwachungsgesellschaft zu erwarten. Langfristig setzt der verantwortliche Umgang mit Kernenergie stabile soziale Strukturen über tausende von Jahren voraus: z. B. müssen kriegerische Auseinandersetzungen und Terrorismus praktisch ausgeschlossen sein (s. Kap. 6 bis 9).

### **Lasten werden auf kommende Generationen verlagert.**

Unsere Kinder und Enkel übernehmen von uns ungelöste Probleme mit dem Zwang, sie lösen zu müssen: so ist z. B. der von unserer Generation erzeugte Atommüll über

viele Generationen hinweg sicher unter Kontrolle zu halten (s. Kap. 7 g).

### **Die Kernenergie-Zukunft ist sehr teuer.**

Nach der in Kap. 2b angeführten Prognose sollen in der DDR im Jahre 2020 Kernkraftwerke mit einer Leistung von 23 000 Megawatt elektrischer Leistung arbeiten. Obwohl auch damit nur etwa ein Fünftel der geplanten Gebrauchsenergie für die Volkswirtschaft bereitgestellt werden kann, erscheint der wirtschaftliche Aufwand zur Erfüllung dieses Vorhabens gigantisch:

Wir müssten nach 1990 fast jedes Jahr einen Kraftwerksblock mit 1000 MW Leistung fertigstellen (ein Kernkraftwerk dieser Größe kostete Anfang der 80er Jahre etwa 4 Milliarden Mark und erforderte Bauzeiten in der Größenordnung von 10 Jahren). Man geht von Betriebszeiten („Lebensdauer“) von 20 bis 30 Jahren aus – danach ist ein Kernkraftwerk stillzulegen und zu demontieren (auch das kostet viel Geld!) und durch ein neues zu ersetzen. Für die Jahre nach 2020 wird ein weiterer Ausbau erforderlich sein, um über Elektroenergieerzeugung hinaus andere Anwendungsbereiche abzudecken (Heizwärme, Prozesswärme, Treibstoffe). Wegen der Rohstoffsituation bei Uran werden zunehmend Schnelle Brutreaktoren (wesentlich teurer als Leichtwasserreaktoren) eingesetzt und eigene Wiederaufarbeitungsanlagen auch in der DDR errichtet werden müssen.

Die Investitionskosten für den Bau von Kernkraftwerken sind ständig gestiegen, so dass heute Strom aus Kernanlagen gerade eben mit den Stromkosten aus modernen Kohlekraftwerken konkurrieren kann.

Die Erklärung für diese Kostenexplosion liegt bei den ständig gestiegenen Sicherheitsanforderungen. Nach dem Unfall von Tschernobyl wird man gewiss in Ost und West die Sicherheitskonzeptionen vieler Anlagen neu überdenken und von Fall zu Fall weitere, bisher für unnötig erachtete Sicherheitsvorkehrungen treffen. So werden die Aufwendungen im Reaktorbereich noch weiter steigen.

In eine reale Betrachtung der Gesamtkosten der Kernenergie müssen alle weiteren vor- und nachgelagerten Bereiche mit einbezogen werden:

- Forschungs- und Entwicklungsaufwand
- Kosten für
  - die übrigen Glieder der Brennstoffkette (s. Kap. 7)
  - die Abfalllagerung über sehr lange Zeiträume
  - die polizeiliche/militärische Absicherung von Kernenergieanlagen
  - die durch Kernenergie bewirkte Schäden (akute Unfallfolgen und Langzeitwirkungen auf die Gesundheit des Menschen und den Naturhaushalt)

### **Geeignete Standorte für Kernenergieanlagen sind rar.**

Unter den konkreten Bedingungen unseres Landes wird es zunehmend schwierig, geeignete und zugleich sichere Standorte für Kernkraftwerke und Wiederaufarbeitungsanlagen zu finden.

Ein technisches Problem ist die Bereitstellung von Kühlwasser. Schon ein 1000-MW-Kraftwerk benötigt für Kühlzwecke etwa die Wasserführung der Elbe bei Magdeburg. Dafür ist nur relativ sauberes Wasser geeignet. Eine Ausweichlösung stellt die Errichtung von mehreren weit über hundert Meter hohen Kühltürmen dar.

Unter Berücksichtigung der Auswirkung möglicher Havarien mit hoher Strahlenbelastung sollten Kernkraftwerke nur in schwach besiedelten Gebieten errichtet werden. Durch die Havarie in Tschernobyl ist ein Gebiet mit etwa 20 Kilometer Radius rund um den Reaktor so stark verseucht worden, dass dort alle Einwohner (135 000) evakuiert werden mussten und die landwirtschaftliche Nutzung eingestellt worden ist. Eine Sicherheitszone dieser Größe oder noch weiterer Ausdehnung ist in der dichtbesiedelten DDR nicht zu realisieren.

Im Gegenteil denkt man ja daran, auch in der DDR Kernkraftwerke zur Wärmeversorgung gerade in Ballungsgebieten einzusetzen (Kernheizwerke). Auch Endlagerstätten für hochradioaktiven Müll scheinen bei einer bestimmten Konzentration von Kernkraftwerken auf dem Territorium unseres Landes unausweichlich notwendig zu werden.

### **Der Weg in die Energiezukunft auf der Grundlage der Kernenergie könnte sich als Einbahnstraße erweisen.**

Er verlangt wegen der hohen Investitionskosten die Konzentration aller Mittel (eine Entscheidung für massiven Ausbau der Kernenergie schließt die wirklich umfassende Entwicklung und Erprobung anderer, alternativer Energiequellen aus). Auf längere Sicht kann die Nutzung der Kernenergie nur durch Einsatz „fortgeschrittener Reaktorlinien“ (Schneller Brüter, Hochtemperaturreaktor) eine energiepolitische Option sein – unerlässlich ist auch der Einstieg in die Wiederaufarbeitung. Die mit diesem Weg verbundene zentralisierte Energieproduktion in Großanlagen und die durchgehende Elektrifizierung großer Bereiche der Volkswirtschaft schaffen Strukturen (Produktion, Verbrauch), aus denen später nicht mehr „ausgestiegen“ werden kann.

### **An der Abhängigkeit vom Verbrauch fossiler Energieträger wird sich kurz- und mittelfristig nichts ändern.**

Die Behauptung, Kernkraftwerke seien ein geeignetes Mittel, um weiteres Waldsterben (durch Abgase der Braunkohleverbrennung mit bedingt) zu verhindern, geht von der Alternative „Kernkraft oder fossile Brennstoffe“ aus. Aber diese Alternative besteht in Wirklichkeit nicht, denn wir werden trotz Kernenergie in den nächsten Jahrzehnten nicht weniger Kohle verbrennen als heute (s. Prognose Kap. 2 b).

Da die Braunkohlevorräte der DDR bestenfalls bis Mitte des nächsten Jahrhunderts reichen, fossile Energieträger aber auch bis weit in das nächste Jahrhundert hinein Hauptenergieträger sein werden, stellt sich die Frage, wie der Ersatz der Braunkohle aussehen soll. Wahrscheinlich werden wir wesentliche Mengen fossiler Brennstoffe importieren müssen. Zur Vermeidung weiterer gravierender Umweltschäden ist die langfristige intensive Nutzung fossiler Brennstoffe natürlich nur akzeptabel bei umfassendem Einsatz von Anlagen zur Entstaubung, Entschwefelung und Entstickung der Abgase!

### **Kernenergie kann nicht zur Lösung der Probleme in der Dritten Welt beitragen.**

In den armen Regionen dieser Erde besteht ein dringender Bedarf an mehr Energie, um grundlegende Lebensbedürfnisse besser befriedigen zu können. Kernkraftwerke sind dafür ein ungeeignetes Mittel. Sie sind einmal unerschwinglich teuer. Zum anderen ermöglichen sie nur die konzentrierte Erzeugung von Elektroenergie – dafür fehlen aber in unterentwickelten Ländern die nötigen Verteilungssysteme und Maschinen und Geräte für die Anwendung. Mit der Einführung der Kerntechnologie (wie auch anderer industrieller Großtechnik) wäre ein Import der „technologischen Kultur“ und im Weiteren mit der Lebensweise der hochindustrialisierten Länder verbunden, wodurch die gewachsenen sozialen Strukturen bedroht sind. Gerade für sich entwickelnde Länder sind billige, einfach zu handhabende und vor Ort verfügbare Energiequellen mit modernstem Wissen verfügbar zu machen – aussichtsreich ist hier die Nutzung von Sonnenenergie oder Biomasse.

## **b) GEHEN OHNE KERNENERGIE**

## DIE LICHTER AUS?

Kernenergie ist eine Möglichkeit zukünftiger Energieversorgung, die bis heute oft als einzig ernstzunehmender Weg vorgestellt wird.

Neue Anfragen an die Wirtschaftlichkeit der Kernenergie wie auch an ihre soziale Verträglichkeit angesichts der ihr innewohnenden Risiken und vieler ungelöster Probleme (s. Kap. 10 a) lassen wieder deutlicher nach alternativen Möglichkeiten der Energiebereitstellung fragen. Ginge es auch anders, mit einem geringeren Anteil oder gar ohne Kernenergie?

Zweifel an der Sicherheit der Kerntechnik explodierender Kraftwerkskosten, Angst vor Weiterverbreitung der Atombombe haben in einigen Ländern bereits zu einem Stillstand oder zum Ausstieg aus der Kernenergie geführt.

In den USA ist seit 1978 kein neues Kernkraftwerk mehr in Auftrag gegeben worden, und Präsident Reagan scheiterte 1983 auch mit seinem Plan, die von Carter gestoppte Schnelle-Brüter-Entwicklung wieder in Gang zu bringen. In Österreich steht endgültig fest, dass das nach einer Volksabstimmung 1978 eingemottete Kernkraftwerk Zwentendorf nie in Betrieb genommen, sondern abgewrackt wird. Schweden wird bis zum Jahre 2010 alle Kernkraftwerke stilllegen. Allerdings wird dieser Entschluss für Österreich und Schweden durch eine geringe Bevölkerungsdichte und z. T. langfristig verfügbare andere Energiequellen erleichtert (Schweden: Wasserkraft, Biomasse; Österreich: Steinkohlestrom aus Polen).

Für die DDR allein (wie für jedes andere Land) wäre ein einseitiger Verzicht auf die Anwendung der Kernenergie nicht einfach. Einmal ergäben sich möglicherweise wirtschaftliche Nachteile gegenüber Nachbarn mit weiterem Ausbau der Kernenergie. Zum anderen tut sich – wenn unser Land seine Energiepolitik nur unter dem Blickwinkel eigener Ressourcen macht – nach der Ära der Braunkohle in einigen Jahrzehnten tatsächlich eine riesige Energie-“Lücke“ auf. Überlegungen zum Verzicht auf Kernenergie sind nur sinnvoll für die Gemeinschaft aller Staaten der Erde oder wenigstens aller sozialistischen Länder (gemeinsame Nutzung der fossilen Brennstoff-Ressourcen für die Übergangszeit). Im November 1986 genannten Prognosen zufolge soll jedoch in den RGW-Staaten (*Rat für gegenseitige Wirtschaftshilfe = wirtschaftlicher Verbund der sozialistischen Staaten – JK*) ein massiver Ausbau der Kernenergie erfolgen (installierte Kraftwerksleistung brutto in GW: 1986: 35; 1990: 84; 1995: 125; 2000: 200).

Wie aber könnte eine andere Energiestrategie aussehen?

Ist für hochentwickelte Industriestaaten in Mitteleuropa ein anderer Weg überhaupt vorstellbar oder bloßes Wunschdenken?

Als Beispiel sollen Überlegungen vorgestellt werden, die für die Bundesrepublik Deutschland erarbeitet werden:

Drei Wochen vor Tschernobyl erschien in der BRD eine Studie von Meyer-Abich u. a. („Die Grenzen der Atomwirtschaft“). Danach steht die Gesellschaft der BRD in einer Verzweigungssituation.

Zur Ablösung der fossilen Energieträger besteht die Wahl zwischen einem auf Kernenergie beruhenden Energiesystem und einem auf Sonnenenergie sowie auf Einsparmöglichkeiten beruhenden System. Es gibt nicht nur einen Weg in die Energiezukunft, denn beide Systeme sind gleichermaßen geeignet, um in einem wachsenden Maß Energiedienstleistungen für die Wirtschaft und für die privaten Haushalte bereitzustellen (für die Modellrechnungen wird eine Verdopplung des realen Sozialprodukts der BRD innerhalb der nächsten 50 Jahre unterstellt). Dabei werden

die fossilen Energieträger in beiden Fällen noch auf Jahrzehnte hinaus den größten Teil der Energiebedürfnisse zu decken haben. Beide Wege erweisen sich als gesamtwirtschaftlich vertretbar. Unter Kostengesichtspunkten ergibt sich ein leichter Vorteil für den Sonnen- und Einsparweg. Wichtig: Beide Wege erlauben ein gleiches Komfortniveau bei gleichem Preis – der zweite Weg kann die Hinwendung zu einem einfacheren Lebensstil einschließen, bedeutet jedoch nicht zwangsläufig Verzicht. Alternative Energieträger liefern nach den Berechnungen im Jahre 2030 weniger als ein Fünftel der Gesamtenergie (der Weg zum „Sonnenstaat“ ist also auch hier noch weit!). Im Vergleich ergibt sich, dass der auf Kernenergie orientierende Weg sich als sozial weniger verträglich erweist. Auch bei der Orientierung auf Sonnenenergie und Einsparung wird die vorübergehende Nutzung von Leichtwasserreaktoren für evtl. akzeptabel gehalten, aber Brutreaktoren und Wiederaufarbeitungsanlagen sollten nicht gebaut und betrieben werden, auch nicht als Demonstrationsanlagen.

Diese Analyse bestätigt das Ergebnis früherer Untersuchungen (Enquete-Kommission 1980, Öko-Institut 1979): Für die Bundesrepublik ist ein Weg in die Zukunft auch ohne Kernenergie möglich. C. F. von Weizsäcker, früher ein streitbarer Befürworter der Kernenergie, schreibt im Vorwort zu dieser Untersuchung: › „...trete ich nunmehr entschieden für Sonnenenergie als hauptsächliche Energiequelle, unterstützt durch technisch ermöglichte Energieeinsparung, und gegen die Entscheidung für Kernenergie als Hauptenergiequelle ein...“

Zwei im Auftrag des Bundesforschungsministeriums im September 1986 erstellte Gutachten zu den Folgen eines kurzfristigen Verzichts auf Nutzung der Kernenergie ergaben: Weder Massenarbeitslosigkeit noch Stillstand des Wirtschaftswachstums, weder heftige Preissteigerungen noch eine unerträgliche Luftverschmutzung wären zu erwarten.

Aber Vorsicht! Diese Beispiele sind wegen der grundlegend anderen Wirtschaftsbedingungen und der Rohstoffsituation (die BRD hat für einige hundert Jahre ausreichende eigene Kohlevorräte) nicht als Modell für unsere DDR-Situation verwendbar.

Es wäre jedoch sehr zu begrüßen, wenn recht bald auch für unsere Situation solche Überlegungen angestellt und der Öffentlichkeit vorgelegt würden. Es erscheint nicht ausgeschlossen, dass auch für die sozialistischen Länder gemeinsam ein geordneter Rückzug aus der Kernenergie möglich ist – wünschbar wäre er auf jeden Fall.

## **c) KÖNNEN WIR UNS KERNENERGIE ERSPAREN?**

Welche Möglichkeiten bieten sich an, um langfristig vielleicht die Energieversorgung auf hohem Niveau ohne Kernenergie zu sichern? Und welche Schritte wären nötig, diesen Weg zu gehen?

Schon seit längerer Zeit ist klar, dass keine zwingende Kopplung zwischen Energieverbrauch und Lebensstandard besteht. Wir haben z. B. in der DDR 1970 in unseren Haushalten nicht einmal halb so viel Elektroenergie verbraucht wie 1984 – ging es uns aber damals nur halb so gut wie heute? Oder: Lebt ein Franzose nur halb so gut wie ein US-Amerikaner, weil er nur halb so viel Energie ver(sch)wendet?

In der DDR – ein letztes Beispiel – stagniert der Primärenergieverbrauch seit einigen Jahren – trotzdem ist die Wirtschaftskraft gewachsen.

Dass wir immer mehr Energie brauchen, ist eine unbewiesene Behauptung. Für die Industrieländer liegt es nahe, bald mit einer Sättigung des Energieverbrauchs im Produktions- und auch im Konsumtionsbereich zu rechnen und zu planen. Niemand hat einen abstrakten Bedarf an „Energie“. Die Bedürfnisse sind konkret: Wir brauchen eine Raumtemperatur von 18 bis 20 °C, um uns wohlfühlen. wir wollen uns fortbewegen, um an den Arbeitsplatz zu kommen oder Freunde zu besuchen – brauchen also Transportleistungen. wir erwarten ausreichende, qualitativ gute und schmackhaft zubereitete Nahrung. Wir wünschen industriell gefertigte Konsumgüter, die bestimmten, sinnvollen Zwecken dienen. All das ist mehr oder weniger eng mit der Bereitstellung von Energie in irgendeiner Weise verknüpft. Aber oft führen auch Wege mit weniger Energieverbrauch zum Erreichen des Zieles.

Man kann heißen Kaffee 2 Stunden lang durch ständiges Nachheizen in der Kaffeemaschine warmhalten – eine Thermoskanne erfüllt den gleichen Zweck ohne Energieaufwand.

Man kann, um die Raumtemperatur zu erhöhen, die Heizleistung und damit den Energieverbrauch steigern – der gleiche Zweck wäre mit besserer Wärmedämmung zu erreichen.

wichtig ist nicht ein abstraktes hohes Maß an Energieerzeugung pro Kopf, sondern sind die Dienstleistungen, die mit Hilfe von Energie bereitgestellt werden (Nutzenergie).

Eine wirklich alternative Energiepolitik wäre daher strikt vom Energiebedarf des Verbrauchers her zu entwickeln. In diesem Sinne sind entscheidende Fragen bei der Energieplanung:

- Wer braucht Energie?
- Für welchen Zweck?
- Wieviel Energie?
- Wie lange?
- In welcher Form?

Eine in dieser Art erstellte Analyse kann Aufschluss darüber geben,

- in welchem Bereich der Gesellschaft ein Defizit besteht
- wie das konkrete Bedürfnis zu bewerten ist
- ob es andere Möglichkeiten zur Befriedigung des Bedürfnisses gibt als zusätzliche Energiebereitstellung
- in welchen Mengen und für welchen Zeitraum Energie bereitgestellt werden muss (lohnt sich der Aufbau großangelegter und langfristiger Versorgungssysteme?)
- welche konkrete Form an Energie beim Endverbraucher benötigt wird, um sie mit möglichst geringen Verlusten in genau dieser Form bereitzustellen (evtl. direkt vor Ort aus lokalen Reserven gewinnen).

Als wichtige Prinzipien bei der Durchsetzung alternativer Energiestrategien bieten sich an:

- verbesserte Energienutzung
- Ausschöpfen aller verfügbaren erneuerbaren Energiequellen (auch kleine Beiträge in dezentraler Form)
- Umorientierungen von Produktion und Verbrauch in allen Lebensbereichen (Industrie, Landwirtschaft, Verkehr, Haushalt)

## Energie-Einsparung

Das Einsparen von Energie, die rationelle Energieanwendung, stellt heute die wichtigste alternative Energiequelle dar. Solche Einsparungen bedeuten nicht zwangsläufig Einschränkungen im Lebensstandard – die Energiedienstleistungen für den Endverbraucher sollen weiter in vollem Umfang zur Verfügung gestellt werden.

Die Reserven sind groß. Von der in den Energieträgern ursprünglich vorhandenen Primärenergie (= 100 Prozent) werden in unserer Volkswirtschaft weniger als zwei Drittel als Gebrauchsenergie bereitgestellt und nur ein Drittel als Nutzenergie beim Verbraucher wirksam. Zwei Drittel der eingesetzten Energie gehen als Umwandlungs- und Anwendungsverluste in die Umwelt verloren (s. Kap. 2 a)!

Ein Bürger der BRD benötigt zur Realisierung seines Lebensstandards etwa ein Zehntel weniger Primärenergie als wir. Trotzdem wurde in der SHELL-Studie (1979) errechnet, dass eine Senkung des Energieverbrauchs pro Einheit des Bruttosozialprodukts in Westeuropa um bis zu 30 Prozent (!) möglich wäre, wenn alle energieverbrauchenden Anlagen einen technischen Standard hätten, wie er damals schon möglich und wirtschaftlich tragbar gewesen wäre. Ein ähnlich hohes Einsparpotential wäre auch für unsere Volkswirtschaft anzunehmen.

Einige konkrete Möglichkeiten besserer Energienutzung seien genannt:

- Erhöhung des Wirkungsgrades von Kraftwerken durch die sog. Kraft-Wärme-Kopplung, d. h. neben der Produktion von Strom wird zusätzlich Wärme genutzt (z. B. als Fernwärme – s. Abb. 16).
- Blockheizwerke (gleichzeitige Strom- und Wärmeproduktion zur Versorgung kleinerer Verbrauchsnetze)
- Nutzung von Abwärme in Industrie und Landwirtschaft (Vorheizen von Betriebsmedien; Aufheizung über Wärmepumpen, die allerdings nicht mit Elektroenergie, sondern wegen des höheren Gesamtwirkungsgrades z. B. mit Biogas betrieben werden)
- Erhöhung des Wirkungsgrades (der Energieausnutzung) von Motoren, Maschinen und Geräten
- optimale Wärmedämmung (Gebäude: Dach, Wände, Heizleitungen)

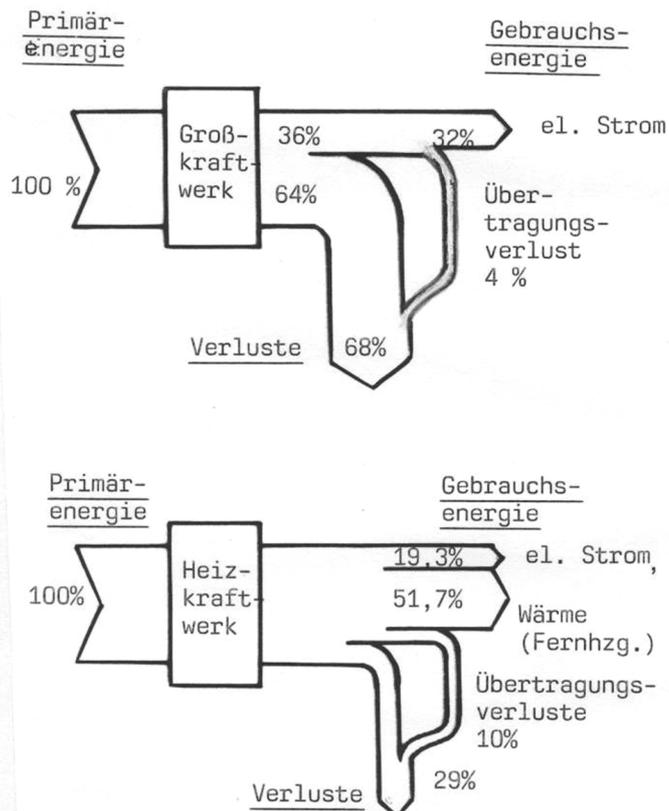


Abb. I6: Energiebilanz von Kraftwerken ohne (oben) und mit (unten) Kraft-Wärme-Kopplung

Größtmögliche Anstrengungen zur Energieeinsparung könnten einen hohen Lebensstandard sichern bei deutlicher Abnahme des Primärenergieeinsatzes. Das würde den Druck von der Energiewirtschaft nehmen, immer mehr Energie bereitstellen zu müssen, die „Lebensdauer“ der fossilen Brennstoffe könnte gestreckt werden (für die chemische Veredlung „retten“) und es würde Zeit gewonnen für die Suche nach alternativen Energiequellen.

## Alternative Energiequellen

Vor wenigen Jahren wurden Biogasanlagen und Windräder noch in den Witzspalten der Zeitungen belächelt – heute gibt es auch in der DDR umfangreiche Forschungsprogramme zur Untersuchung der Möglichkeiten alternativer Energiequellen. Diese Bemühungen sollten zielstrebig und in einem Umfang ausgebaut werden, der dem heutigen Aufwand für die Entwicklung der Kernenergie entspricht.

Als alternative Energiequellen bieten sich z. B. an (zur Kernfusion s. Exkurs 11):

Exkurs II

SO WIE DIE SONNE - UNERSCHÖPFLICHE ENERGIE AUS DER KERNFUSION?

Auch die Kernfusion soll Kernenergie nutzbar machen. Hier werden - wie es uns die Sonne seit Milliarden von Jahren vormacht - leichte Atomkerne (z. B. Wasserstoff) zu schwereren Elementen "zusammengebacken".

Wenn es gelänge, solche Prozesse technisch kontrolliert ablaufen zu lassen, stünde tatsächlich eine unerschöpfliche Energiequelle zur Verfügung. Aber dazu muß nichts weniger geschehen, als die auf der Sonne ablaufenden Vorgänge im Fabrikmaßstab zu realisieren und zu beherrschen: Temperaturen bis zu einigen zig Millionen Grad, was höchste Anforderungen an Material und Prozeßführung stellt. Heute ist nicht abzusehen, ob die großtechnische Nutzung der Fusionsenergie je möglich sein wird - optimistische Prognosen sprechen von frühestens Mitte des nächsten Jahrhunderts.

Und wenn es gelänge - ohne Probleme wäre auch das Leben mit dieser Energiequelle nicht: Beim Betrieb entsteht unmittelbar eine starke Strahlenbelastung (Neutronen), die sicher abgeschirmt werden muß. Die Wandungen des Reaktors werden unter diesem ständigen Beschuß stark radioaktiv. Auch beim Fusionskraftwerk fallen radioaktive Stoffe, u. a. das gasförmige Wasserstoffisotop Tritium an und können in die Umwelt gelangen.

Unabhängig von der Diskussion um die technische Realisierbarkeit sollte die globale Verträglichkeit einer "unbegrenzten" Energiebereitstellung untersucht werden (das gilt für alle Arten der Energieerzeugung, die nicht regenerative Quellen nutzen, also letztlich von der eingestrahlten Sonnenenergie leben). Letztendlich wird alle "verbrauchte" Energie in Wärme überführt. Da die Energieabstrahlung der Erde in den Kosmos aus heutiger Sicht konstant ist, muß langfristig mit einer Aufheizung der Atmosphäre und schwer einzuschätzenden Folgebelastungen gerechnet werden.

- **Sonnenenergie**  
(Wärmenutzung im Niedertemperaturbereich über Sonnenwärmekollektoren für Raumheizung und Brauchwassererwärmung; Hochtemperaturwärme bis zu einigen tausend Grad für Spezialzwecke z. B. in Kraftwerken mit konzentrierenden Spiegeln; Umwandlung der Sonnenstrahlung über Solarzellen in Elektroenergie)
- **Biomasse**  
(Nutzung der durch Photosynthese in pflanzlichen Stoffen gespeicherten chemischen Energie: z. B. Vergärung von Holz oder Abfällen aus der Landwirtschaft zu Biogas oder Methanol)
- **Windenergie**  
(Betreiben von Pumpen; Erzeugung von Elektroenergie)
- **geothermische Energie**  
(Wärmeenergie des Erdmantels zur Warmwassergewinnung, evtl. auch Elektroenergieerzeugung)
- **Wasserkraft**  
(z. B. arbeiten auch heute noch im Erzgebirge mit Wasserkraft getriebene Sägemühlen –solche brachliegenden Möglichkeiten gilt es wieder zu entdecken und mit der Effektivität moderner Technik zu nutzen)
- **Umgebungswärme**  
(Nutzung des in Grundwasser, Luft oder Abwärmeträgern vorhandenen Wärmepotentials über Wärmepumpen)

Solche regenerierbaren Energiequellen haben wichtige Vorteile:

- Rohstoffe werden nicht erschöpft
- sie bringen sehr viel weniger Umweltbelastung als herkömmliche Arten der Energieerzeugung (trotzdem sollten mögliche Schädwirkungen auch alternativer Energiequellen beachtet und vermindert werden, z. B. Veränderungen der Strahlungsbilanz durch Errichtung großer Solaranlagen, Entzug von Biomasse aus natürlichen Kreisläufen (Humus, Dünger), Lärm durch große Windkraftwerke)
- ihre Anwendung basiert weitgehend auf dem Wissensstand der Technik von heute, sie können also sofort realisiert werden und sind in ihren Folgewirkungen überschaubar (natürlich gibt es auch hier noch viele ungelöste Probleme, z. B. bei der Speicherung einzelner Energieformen; eine große Chance besteht darin, dass bei intensiver Beschäftigung mit diesen Energiequellen eine weitere Optimierung (heute liegen die Kosten oft noch sehr hoch) möglich ist und neue Anwendungsgebiete entdeckt werden).

Die Anwendung dieser Energiequellen kann nicht alle Energiesorgen sofort lösen. Ihr Anteil am Gesamtenergieaufkommen wird für die nächsten Jahrzehnte auf deutlich weniger als die Hälfte beschränkt bleiben. Viele industrielle Prozesse sind heute auf Hochtemperaturwärme und Elektrizität angewiesen, die durch die genannten neuen Quellen nicht im erforderlichen Umfang zur Verfügung gestellt werden können (langfristig bedeutet der Übergang zu alternativen Energiequellen damit auch einen grundlegenden Wandel in der Durchführung technischer Prozesse). Die weitere Nutzung eines hohen Anteils herkömmlicher fossiler Energieträger ist daher auf längere Sicht einzukalkulieren (natürlich nur als „umweltfreundliche“ Verbrennung durch massiven Einsatz von Filteranlagen, Entschwefelung usw.).

Ein Umdenken ist erforderlich, was den Weg der Energie vom Erzeuger zum Verbraucher betrifft. Heute wird hochwertige Energie in Großanlagen erzeugt und mit hohen Verlusten zum Verbraucher weitergeleitet. Alternative Energien bieten sich anders an: Nutzen der vielfältigen geringen Energiebeiträge, die vor Ort anfallen, Gewinnung und Anwendung ohne Umwandlungsverluste gleich in der gewünschten Form (Beispiel: warmes Wasser zum Waschen vom Sonnenkollektor auf dem eigenen Dach; nicht: Kernkraftwerk → Elektroenergie → Überlandleitung → Elektroboiler → handwarmes Wasser). So könnten viele kleine, bisher ungenutzte Energiequellen dezentral „angezapft“ werden und würden in der Summe auch gesamtwirtschaftlich einen merklichen Beitrag bringen.

Über Preisgestaltung und Prämien, auch über sinnvolle Normative (z. B. Bau von Einfamilienhäusern unter Berücksichtigung aller nutzbaren Möglichkeiten der Wärmedämmung und Energie-Eigenversorgung) hätte eine sozialistische Planwirtschaft die Möglichkeit, brachliegende Reserven schnell und umfassend zu erschließen.

## **d) WIR MÜSSEN UNS ENTSCHEIDEN**

Bei der Energiefrage geht es heute um grundlegende Entscheidungen, die den Weg nicht nur für Jahrzehnte, sondern weit darüber hinaus festlegen können. Wir müssen uns angesichts der Chancen und der Risiken verschiedener Möglichkeiten als Gesellschaft, aber auch als einzelne, fragen

- wie wir in Zukunft leben wollen
- was lebenswertes Leben wirklich ausmacht
- welche Rolle dabei Energie spielt und
- wieviel davon wir zum Erreichen ganz konkreter Ziele benötigen

und dann entscheiden, mit welchen Mitteln dieser Weg verwirklicht werden soll.

Christliche Schöpfungs- und Zukunftsverantwortung heute konkret wahrzunehmen heißt, dem Fortschritt sorgfältig und kritisch Ziele zu setzen und wissenschaftliche und technische Möglichkeiten an diesen Zielen zu prüfen. Auch der schon festgeschriebene Einstieg in die Kernenergetik als Hauptquelle zukünftiger Energieversorgung sollte noch einmal und öffentlich zur Diskussion gestellt werden. Eine solche Denkpause muss weltweit genutzt werden, um nicht nur nach den ökonomischen Vorzügen der Kernenergienutzung zu fragen, sondern ebenso auch nach den medizinischen, ökologischen, sozial- und staatspolitischen sowie friedenspolitischen Risiken dieses Gesamtkomplexes. Als mögliche Alternative sollten gleichrangig Energieeinsparung und maximale Nutzung erneuerbarer Energiequellen geprüft werden. Wegen der besonders hohen Gefährdung legt sich ein sofortiger Verzicht auf Schnelle Brutreaktoren und Wiederaufarbeitung dringend nahe.

Noch sind die Weichen nicht endgültig gestellt. Noch sind wir nicht von Kernenergie abhängig und unausweichlich auf diesen Weg festgelegt. Aber die grundlegende Entscheidung über JA oder NEIN zur Kernenergie kann nicht mehr lange hinausgeschoben werden – ein paralleler Ausbau alternativer Energieversorgungssysteme neben der Kernenergie ist nicht zu bezahlen: wir können nur einen Weg gehen.

Es könnte sein, dass wir nach Prüfung aller Umstände feststellen, dass wir für eine Übergangszeit von vielleicht einigen Jahrzehnten auf Kernenergie aus Leichtwasserreaktoren nicht verzichten können. Das langfristige Ziel sollte aber auch dann sein V

- Kernenergie als „Energie-Brücke“ nur so lange anzuwenden, wie das bis zum Übergang auf verträglichere Quellen unbedingt nötig ist, und diese Grenzen deutlich festzuschreiben
- Kernenergieanlagen nur dort zu errichten, wo anderweitig Energie nicht in der nötigen Menge und Qualität erzeugt werden kann
- maximale Sicherheit in der gesamten Brennstoffkette zu realisieren.

Es geht um unsere gemeinsame Zukunft. Wir sollten darum auch bereit sein, gemeinsam die Verantwortung zu tragen. Und unsere Gesellschaft sollte uns dazu auch die Möglichkeit geben. Das Gespräch über die Kernenergie ist dabei ein wichtiger Schritt.

# 11. Anhang:

Ergänzende Angaben zur zukünftigen Anwendung der Kernenergie (s. auch Kap. 2)

## a) ENTWICKLUNG DES PRIMÄRENERGIEVERBRAUCHS

Tabelle 7

Prognose zur Entwicklung des Primärenergieverbrauchs

(WEC New Delhi 1983 - nach Energietechnik 34 (1984) 163f.)

|                                | 1960  | 1978  | 2000  | 2020  |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Weltverbrauch $10^{18}$ J      | 139,6 | 287,7 | 426,4 | 580,9 |
| Primärenergiestruktur          |       |       |       |       |
| Prozent                        |       |       |       |       |
| - feste Brennstoffe            | 36,3  | 25,0  | 27,0  | 31,6  |
| - Erdöl                        | 29,2  | 39,4  | 27,0  | 17,6  |
| - Erdgas                       | 12,7  | 17,1  | 17,0  | 17,5  |
| - Wasserkraft                  | 4,8   | 5,8   | 6,2   | 7,4   |
| - Kernenergie                  | -     | 2,1   | 8,0   | 12,0  |
| - erneuerbare E.-Träger        | -     | 0,1   | 2,7   | 5,8   |
| - Feuerholz                    | 12,3  | 7,1   | 7,0   | 5,0   |
| - tierische E.                 | 4,7   | 3,6   | 3,4   | 3,0   |
| Pro-Kopf-Verbrauch $10^{10}$ J |       |       |       |       |
| Weltdurchschnitt               | 4,6   | 6,8   | 7,0   | 7,5   |
| - Nordamerika                  | 24,6  | 35,2  | 34,8  | 37,3  |
| - Osteuropa                    | 7,8   | 16,0  | 21,6  | 25,4  |
| - Westeuropa                   | 7,7   | 12,4  | 15,3  | 18,0  |
| - Südasien                     | 0,9   | 1,1   | 1,3   | 1,5   |

Tabelle 7: Prognose zur Entwicklung des Primärenergieverbrauchs  
WEC New Delhi 1983 - nach Energietechnik 34 (1984) 163f.

## b) WELTWEITER AUSBAU DER KERNENERGIE

Tabelle 8

Prognose zum weltweiten Ausbau der Kernenergie  
(elektrische Bruttoleistung in GW)

|                  | 1986 | 1990 | 1995 | 2000 |
|------------------|------|------|------|------|
| UdSSR und andere | 35   | 84   | 125  | 200  |
| RGW-Staaten      |      |      |      |      |
| EG-Staaten       | 74   | 101  | 108  | 115  |
| Rest Europas     | 22   | 23   | 24   | 25   |
| USA              | 83   | 107  | 109  | 110  |
| Asien            | 35   | 45   | 60   | 75   |
| Rest der Welt    | 14   | 18   | 22   | 25   |
| Welt gesamt      | 263  | 378  | 448  | 550  |

(nach Rockstroh, R.: Vortrag Ev. Akad. Berlin 15. 11. 86)

Tabelle 8: Prognose zum weltweiten Ausbau der Kernenergie  
(elektrische Bruttoleistung in GW)

## c) ENTWICKLUNG DES EINSATZES DER KERNENERGIE IN DER DDR

Tabelle 9

Prognose zum Primärenergieverbrauch in der DDR bis 2030  
(Entwicklung bezogen auf 1980 = 100 % /absoluter Primärenergieverbrauch  
1980: 3563 PJ)

|                      | 1980 | 2000  | 2030  |
|----------------------|------|-------|-------|
| Primärenergie gesamt | 100  | 116   | 155   |
| davon: Erdöl         | 17   | 9     | 9     |
| Erdgas               | 9    | 8     | 8     |
| Steinkohle/Koks      | 5    | 2     | -     |
| Rohbraunkohle        | 65   | 81-83 | 56-68 |
| Kernenergie          | 4    | 14-15 | 70-82 |

(Die Schwankungsbreite bei Rohbraunkohle und Kernenergie hängt davon ab, ob und in welchem Umfang Kernenergie auch zur Wärmebereitstellung genutzt wird – berechnet nach Münser, H. u.a.: Energietechnik 36 (1986) 244)

## d) KERNENERGIE ZUR WÄRMEVERSORGUNG

Möglichkeiten der nuklearen Wärmebereitstellung (Niedertemperaturwärme 200°C für Raumheizung und industrielle Prozesse) sieht man entweder in der Wärmeauskopplung aus Kernkraftwerken (schon realisiert in Lubmin, soll so auch bei den für die Zukunft geplanten 1000-MW-Reaktoren wie in Stendal erfolgen – man denkt an Heizleitungen über 50 bis 100 km) oder in der Errichtung spezieller Kernheizwerke (für die DDR rechnet man mit dem Einsatz des sowjetischen Kernheizwerkstyps AST-500 = Blockleistung 500 MW; reine Kernheizwerke werden derzeit nur in der UdSSR errichtet – bei Gorki und Woronesh in unmittelbarer Stadtnähe).

Für die DDR ist der schrittweise Ausbau der nuklearen Fernwärmeversorgung ab den 1990er Jahren vorgesehen. Für die (wegen der Wirtschaftlichkeit) erforderlichen großen Blockeinheiten müssen geeignete, d. h. leistungsstarke zentralisierte Fernwärmenetze geschaffen werden.

Konkrete Projektstudien für die Einbeziehung von Kernheizwerken in Fernwärmenetze bis 2020 wurden z. B. für den Thüringer Raum (Jena, Erfurt) durchgeführt.

Tabelle 10

Mögliche nukleare Wärmebereitstellung in der DDR bis 2030 (Angaben in MW)

|  | 2010  | 2030  |
|--|-------|-------|
| Gesamtleistung nuklearer Wärmebereitstellung | 10000 | 17000 |
| davon: Wärmeauskopplung                      |       |       |
| aus Kraftwerken                              | 7000  | 12000 |
| spez. Kernheizwerke                          | 3000  | 5000  |

(Literatur zum Komplex Wärme aus Kernenergie siehe: Kernenergie 1983/S. 54; 1984/S. 356 - Energietechnik 1983/S. 84; 1985/S. 98; 1986/S. 244)

## 12. Literaturhinweise und Quellen

Im Folgenden sind einige in der DDR erschienene Titel aufgeführt, die eine weitergehende Beschäftigung mit dem Thema ermöglichen. Sie fanden z. T. auch bei der Erarbeitung dieses Heftes Verwendung, ohne dass das an den betreffenden Stellen gesondert kenntlich gemacht wäre. Zusätzliche Informationsquellen waren weitere Publikationen, aber auch Gespräche, Vorträge und Seminare in den letzten Jahren zum Thema Kernenergie.

Benes, J.: Radioaktive Kontamination in der Biosphäre, Jena 1981

Freye, H.-A.: Humanökologie, Jena 1985 (bes. S. 281 ff.)

Grumbach, J. (Hrsg.): Reaktoren und Raketen, Köln 1980

Lindner, H.: Das Bild der modernen Physik, Leipzig 1973

Lindner, H.: Grundriss der Atom- und Kernphysik, Leipzig 1984 1

Nagel, H.-D.; Zastrow, L.: Geht uns das Licht aus? – Kernkraft oder Alternativen, Berlin 1982

Schramm, G.; Hahn, W.: Entwicklungstendenzen bei Dampfturbinen für Kraftwerke und Einsatzperspektiven in der DDR, Energietechnik 35 (1985), S. 442 ff.

Sitzlack, G.: Einführung in den Strahlenschutz, Berlin 1985

Spickermann, W.: Kernenergie, Leipzig 1981

Wunderlich, K.: Umwelt im Wandel, Leipzig 1984 (bes. S. 207 ff.)

BI-Taschenlexikon Energie, Leipzig 1983

BI-Taschenlexikon Radioaktivität, Leipzig 1982

Kleine Enzyklopädie Struktur der Materie, Leipzig 1982

Antwort der Konferenz der Evangelischen Kirchenleitungen in der DDR auf Anfragen und Eingaben aus den Gemeinden zur Havarie im Kernkraftwerk Tschernobyl, Berlin 1986 (Auguststr. 80, Berlin, 1040)

Urania-Dia-Fundus: Physikalisch-technische Grundlagen kernenergetischer Prozesse, Berlin 1985

Gesetze:

- Atomenergieweggesetz, Gesetzblatt der DDR I Nr. 34, 1983
- Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz Gbl. I Nr. 20, 1984

eine wichtige Adresse:

Staatliches Amt für Atomsicherheit und Strahlenschutz der DDR,  
Waldowallee 117, Berlin, 1157

# Anhang 2014:

Einige Anmerkungen zur Entstehungsgeschichte des Heftes,  
entnommen aus zwei Büchern:

**A) Joachim Krause: „Am Abend mancher Tage“,  
Wartburg-Verlag Weimar 2008 /  
Sax-Verlag Markkleeberg 2023**

## **Blinde Flecken**

Mein Vater fuhr, als ich noch zur Schule ging, jedes Jahr im Winter mit mir für eine Woche ins Erzgebirge zum Skiurlaub. Die Reise nach Johanngeorgenstadt mit der Eisenbahn war noch in den 1960er Jahren ein richtiges Abenteuer. Schon in Zwickau stiegen in jeden Waggon zwei Uniformierte ein. Die Ausweispapiere der Mitreisenden wurden intensiv kontrolliert, alle wurden nach ihrem Reisegrund befragt. Der Grund: Wir waren in einem Gebiet unterwegs, das so richtig nicht zur DDR gehörte. Hier im Erzgebirge gewann die Sowjetunion seit 1946 Uran, das Metall, mit dem man Atomwaffen baut und Atomkraftwerke betreiben kann. WISMUT hieß die Firma zur Tarnung, und auch der formal souveräne Staat DDR hatte hier nichts zu sagen. Ganze Landstriche wurden durch hektischen Raubbau verwüstet, Tausende von Bergleuten opferten ihr Leben dem Bohrstaub und dem Umgang mit dem radioaktiven Material. Aber darüber wurde nicht geredet. Zwar hörte und wusste man so manches – aber darüber breitete sich kollektives Schweigen. Am Ende der DDR-Zeiten hatte sich der Uranbergbau bis nach Ronneburg in Thüringen ausgebreitet. Von unserem Dorf aus waren am Horizont deutlich die WISMUT-Halden zu sehen, höher als die Pyramiden von Ägypten – aber ich habe sie bis zur Wende einfach nicht wahrgenommen. Unbequem, unheimlich, und einfach ausgeblendet.

...

## **Tschernobyl und die Folgen**

26. April 1986 – dieses Datum hat sich tief in das Gedächtnis einer ganzen Generation eingebrannt, verbunden mit dem Stichwort »Tschernobyl«. In einem sowjetischen Kernkraftwerk 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 bis in die Idylle deutscher Kleingärten.

Erschrecken machte sich breit, Nachdenklichkeit, Ratlosigkeit. Auch die Menschen hierzulande stellten Fragen, sie erwarteten Antworten, sie 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 und Lügen, die in den Medien verbreitet wurden.

Bis dahin hatte es eine breitere oder gar öffentliche Debatte über Pro und Kontra der Kernenergie in der DDR nicht gegeben. Der Informationsbedarf war riesig. Wie arbeitet eigentlich so ein Atomkraftwerk, was kann bei einem Unfall passieren, welche Gefahren bestehen für die Bevölkerung, ist die Kernenergie unverzichtbar oder gibt es Alternativen?

Ich schrieb in den folgenden Wochen eine Informationsbroschüre, die interessierten Mitmenschen helfen sollte, sich in der Debatte zurechtzufinden und selbst eine Meinung zu bilden.

Herausgegeben und vervielfältigt wurde das Heft über das »Kirchliche Forschungsheim« in Wittenberg. Wir gaben dem Heft etwas schlitzohrig den Titel

*»... nicht das letzte Wort«.*

Das war nämlich ein Zitat von Erich Honecker, dem damaligen Generalsekretär der allmächtigen »Partei« und Staatsratsvorsitzenden der DDR. (Die Staatspartei in der DDR hieß wirklich bis zum Schluss SED, Sozialistische Einheitspartei Deutschlands!) Er war mit dieser Formulierung in einem Interview nach den Ereignissen von Tschernobyl einer endgültigen Bewertung zu den Perspektiven der Kernenergie in der DDR ausgewichen.

Mein Kernenergie-Heft wurde seit Ende März 1987 im Lande verbreitet. Natürlich stand wie immer im Impressum der Vermerk »Für innerkirchlichen Gebrauch!« Aber natürlich sollten und durften auch alle anderen interessierten Mitmenschen darin lesen. Und wir konnten davon ausgehen, dass sich längst auch die »zuständigen Organe« damit beschäftigten.

Zunächst sei noch auf eine kleine Ergänzung hingewiesen, durch welche WIR die Verwendung einschränkten: Im Impressum war zu lesen: »Nicht zur Veröffentlichung!« Das klingt etwas schizophren, hatten wir das Heft doch gerade gedruckt und boten es öffentlich an. Entschlüsselt bedeutete dieser Satz: Die Menschen hier im Osten sind unsere Zielgruppe, eine »Veröffentlichung« in westlichen Medien mit den damit verbundenen politischen Turbulenzen würde unserem Anliegen eines Gesprächs innerhalb der DDR mehr schaden als nützen.

Und weil wir grundsätzlich immer mit offenen Karten spielten und auch gern ein bisschen pokerten, und natürlich auch, weil wir gespannt waren, was passieren würde, war es nur folgerichtig, dass ein paar Wochen später ein Exemplar direkt per Post an Erich Honecker ging:

*Sehr geehrter Herr Generalsekretär!*

*Hiermit übersende ich Ihnen ein im Raum der Kirche entstandenes und verbreitetes Papier zur Diskussion über die Nutzung der Kernenergie zu friedlichen Zwecken. ...*

*Es mag unüblich sein, Ihnen ein solches Heft zuzuschicken. Ich tue es trotzdem, da ich aus Pressemitteilungen und aus Berichten eines Ihrer Gesprächspartner weiß, dass die Problematik der Kernenergienutzung Sie bewegt und da der Titel des beiliegenden Heftes auf Sie zurückgeht.*

*Mit freundlichen Grüßen ...*

Den weiteren Fortgang der Geschichte haben wir erst nach dem Ende der DDR aus staatlichen Archiven erfahren. Erich Honecker hielt unser Schreiben tatsächlich wenige Tage später in der Hand und notierte handschriftlich auf dem Brief: »Gen. F.J. Hermann zur Prüfung E.H. 22.4.87«

Die Prüfung im ZK der SED dauerte zwei Wochen, und sie und ergab, dass wir »oppositionell und staatsfeindlich« seien. Wir landeten aber erstaunlicherweise nicht etwa im Knast, sondern erhielten einige Wochen später eine Einladung in das

zuständige »Staatliche Amt für Atomsicherheit und Strahlenschutz« zu einem Fachgespräch.

Solche Erfahrungen machten durchaus Mut, weitere »staatsfeindliche Aktionen« dieser Art ins Auge zu fassen.

### **Undichte Vertraulichkeiten**

Mein oberster Chef im Landeskirchenamt ließ sich einige Wochen nach dem Unfall in Tschernobyl von mir über die ersten Ergebnisse der Diskussion zur Kernenergie unterrichten. Der Hintergrund für sein Interesse ist mir erst später deutlich geworden. Er nahm im September 1986 an einem »Gespräch über die verantwortliche Nutzung der Atomenergie nach der Havarie von Tschernobyl« teil. In erlauchter Runde trafen sich in Berlin reichlich 20 Vertreter der Kirchenleitungen verschiedener evangelischer Landeskirchen (Bischöfe, Präsidenten, Mitglieder von Synoden) mit Vertretern des Staates: dem Staatssekretär für Kirchenfragen Klaus Gysi (der Vater von Gregor Gysi) und seinen Mitarbeitern, einem Mann vom ZK der 168 SED – und Prof. Klaus Fuchs (dem ehemaligen Atomspion in den USA in Diensten der Sowjetunion). Sie ließen sich informieren, es gab Möglichkeiten zu Rückfragen und zum Gespräch. ABER: Alles blieb, auch innerkirchlich, geheim. Kirchnahe Leute, die sich fachlich-kritisch mit den Folgen des Unfalls in Tschernobyl beschäftigten, und zu denen auch ich gehörte, wurden weder in solche Gespräche einbezogen noch erfuhren wir etwas über deren Inhalt und Verlauf.

Ich kenne das Protokoll des Treffens trotzdem, aber nur deshalb, weil es mir Monate später am Rande einer Veranstaltung irgendjemand verstohlen in die Hand gedrückt hat. Es handelt sich dabei um eine Fotokopie. Auf einigen Seiten sind Ahornblätter mit aufs Foto geraten – irgendjemand hatte das Original wahrscheinlich illegal im Gebüsch hektisch abfotografiert.

...

### **»Unser Schulhof strahlt!«**

Meine Familie saß beim Mittagessen zusammen. Ich war gerade mit Michael Beleites von einer Tour zurückgekommen, bei der wir nach strahlenden Altlasten des Uranbergbaus gesucht hatten. Dabei steuerten wir nicht nur gezielt verdächtige Orte an, die mit dem Bergbau und der Aufarbeitung der Erze direkt in Verbindung standen (Halden, Schlamm-Deponien, Lagerplätze, industrielle Anlagen). Schon seit einigen Wochen legten wir während unserer Erkundungs-Touren mit dem Auto den Geigerzähler einfach eingeschaltet auf den Rücksitz. Auf manchen Straßen und Wegen ertönten dann die Piep-Töne in deutlich schnellerer Folge als im »normalen« Gelände. Dann wussten wir, dass wir wieder einmal »fündig« geworden waren – in solchen Fällen war in der Regel das uran-haltige, strahlende Abfall-Gestein aus der Urangewinnung als Schotter im Straßenbau verwendet worden.

Wir diskutierten über die Entdeckungen auf unserer heutigen Fahrt, als meine 16-jährige Tochter sich unvermittelt einmischte: »Auf unserem Schulhof strahlt es auch.« Nun konnte sie das zwar so genau nicht wissen, aber einer ihrer Klassenkameraden hatte mal erzählt, dass beim Anlegen des Schulgeländes vor zehn Jahren auch Gestein aus dem Uranbergbau verwendet worden sei. Die Mitteilung elektrisierte uns. Eine halbe Stunde später schlichen wir auf dem Schulhof herum und ließen den Geigerzähler piepsen. Und der Verdacht bestätigte sich: Hier steckte zweifellos WISMUT-Material unter der Asphalt-Decke! Schnell fertigten wir eine grobe Lageskizze an und zeichneten einige Messpunkte mit besonders auffälligen Messwerten ein.

Eine Woche später schickte ich ein Päckchen an das für Strahlengefahren offiziell zuständige »Staatliche Amt für Atomsicherheit und Strahlenschutz« (SAAS). Darin

befanden sich einige Granitsteine, die besonders stark strahlten, und die wir bei unseren Mess-Exkursionen im Gelände aufgespürt und mitgenommen hatten. In einem Begleitschreiben erinnerte ich an das Gespräch, das ich zwei Jahre zuvor wegen meines Kernenergie-Heftes im SAAS gehabt hatte. Ich teilte nüchtern mit, dass ich in der Umgebung meines Wohnortes orientierende Messungen zur Strahlenbelastung durchgeführt habe, und dass dabei an einigen Messorten eine deutlich erhöhte Strahlenbelastung gegenüber dem Normalwert festgestellt worden sei. Eine Auflistung der Fundorte und der zugehörigen Messwerte lag bei.

Vielleicht sei es ja möglich, anhand der mitgeschickten, besonders stark strahlenden Gesteinsproben eine Bewertung vorzunehmen. Vor allem bäte ich um Prüfung, ob derartiges Material an öffentlich zugänglichen Plätzen liegen oder als Baumaterial genutzt werden dürfe. Mit einem solchen Brief (und der indirekten Selbst-Anzeige, dass wir im Besitz eines Geigerzählers waren) lehnten wir uns natürlich ziemlich weit aus dem Fenster, denn es war nicht genau abzuschätzen, was nun passieren würde. Natürlich bekam die Stasi sofort Wind davon; eine Kopie des Briefes wurde in »meiner« Stasi-Akte abgeheftet. Aber offiziell erfolgte eine sehr »normale« Reaktion, die wir so gar nicht erwartet hatten. Das SAAS schickte umgehend seine eigenen Leute zwecks amtlicher Kontrollmessungen auf den Schulhof im Nachbardorf. Dort wurde an verschiedenen Stellen die Asphaltdecke aufgehackt. Gesteinsproben wanderten zur Untersuchung nach Berlin. Und dann gab es viel Aufregung und Stress, denn der vorgefundene Zustand war auch nach DDR-Maßstäben unzulässig. Schlampereien, Sparen an der falschen Stelle! – Nun wurde angeordnet, dass unverzüglich alles nach Recht und Gesetz in Ordnung gebracht werden musste. Noch im Juli wurden alle betroffenen Flächen mit erheblichem Aufwand durch eine zusätzliche zehn Zentimeter dicke Schicht aus Beton und Bitumen abgedeckt und abgeschirmt. Danach lagen die Messwerte für die Strahlung – das bestätigten auch meine heimlich durchgeführten Kontrollmessungen – im zulässigen Bereich.

Die Schulhof-Affäre hatte noch ein paar pikante, DDR-typische Begleiterscheinungen. Bei unserer ersten Messung war der Hausmeister der Schule aufmerksam geworden und hatte dann interessiert unser Tun verfolgt. Er erzählte aufgeregt dem Physiklehrer vom Ticken und Pfeifen des Geigerzählers – der aber meinte, er solle sich nicht verrückt machen lassen, das sei nur Panikmache. Sofort anschließend aber lief der Lehrer, ein »strammer« SED-Genosse zudem, eilends zum Bürgermeister und informierte diesen von den gefährlichen und illegalen Aktivitäten des Herrn Krause. Der wütende Bürgermeister wiederum wies den Hausmeister der Schule an, »ab sofort jeden vom Schulhof zu schmeißen, der da irgendwelche Messungen macht« ... Der Bürgermeister war übrigens einer von ganz wenigen, die nach der Wende eingestanden, Fehler gemacht zu haben. Er entschuldigte sich für sein Verhalten in der Schulhofgeschichte bei mir.

...

### **Denk mal**

Anfang des Jahres 1989 war ich auf Dienstreise in Norwegen, also im Westen, oder doch mehr im Norden ...

Wir hatten etwas Freizeit. Drei Ossi-Teilnehmer erkundeten Oslo. Wir besuchten das Munch-Museet mit den großformatigen Munch-Gemälden (»Der Schrei« in mehreren Variationen), die Ausstellung am Hafen über Thor Heyerdahls Weltreisen, und dann hatten wir Hunger. In einem normalen Lebensmittelgeschäft entdeckten wir in der Auslage ein kleines rundes Pfund-Brot – und mussten dafür acht Westmark bezahlen. »Nahrungsmittel sind hier so teuer, weil sie uns das wert sind«, so erfuhren wir später von Einheimischen. Norwegen möchte weiter eine eigene bodenständige Landwirtschaft haben, die auch produziert. Aber nach Weltmarktkriterien lohnt sich

das überhaupt nicht, Importe wären viel günstiger. Die Norweger sind bockig und sagen: Das leisten wir uns! Aus solcherlei Gründen sind sie später auch nicht der EU beigetreten.

Ich habe dann noch eine private Extratour gestartet. Mit der Straßenbahn hinauf zur berühmten Holmenkollen-Schanze. Herrlicher Blick auf die Bucht vor Oslo, Spielzeug-Flugzeuge, die weit unter mir zur Landung einflogen. Und dann stand ich vor einem Denkmal. Es wurde von den dankbaren Norwegern für ihren König errichtet. Nach der deutschen Besetzung Norwegens im April 1940 stand König Haakon zwei Monate lang an der Spitze des Widerstands, erkannte die von den Nazis eingesetzte Regierung nicht an, ging nach England und leitete dort die norwegische Exilregierung. Das Denkmal machte mich nachdenklich. Hier stand kein Herrscher mit Fernblick auf einem Sockel, kein Krieger hoch zu Ross – nein, ich stand vor der lebensgroßen Bronzeskulptur eines skilaufernden Königs, begleitet von seinem – ebenfalls in Bronze gegossenen – Hund.

Aber eigentlich waren wir ja zum Arbeiten hier. Umweltprobleme, Schöpfungsverantwortung, als gemeinsame Aufgabe über Grenzen hinweg. Ich sollte nicht nur zuhören und mitdiskutieren, ich sollte auch einen Vortrag halten. Das Thema allerdings war so brisant, dass ich kein Manuskript mitgenommen hatte. Lediglich ein paar Folien für den Overhead-Projektor hatte ich eingepackt – ohne Erläuterungen waren sie kaum zu entschlüsseln. Ich sollte darüber informieren, mit welchen Auswirkungen mein Land DDR durch 40 Jahre Uranbergbau konfrontiert war. Es ging um die Gewinnung des Rohstoffs für den Bau russischer Atombomben, die das zweifelhaft atomare Gleichgewicht möglich gemacht hatten, aber auch des Brennstoffs, der im Reaktor von Tschernobyl das nukleare Feuer in Gang gehalten hatte. Rücksichtsloser Raubbau hatte ganze Landstriche verwüstet, Menschenleben gefährdet oder gar zerstört, und viele radioaktive Altlasten hinterlassen. Mir blieb eine Stunde Zeit, um dieses komplexe Geflecht Menschen aus ganz unterschiedlichen Kulturen und Gesellschaftssystemen deutlich zu machen. Mehrsprachig auch noch. Ich schrieb aus dem Gedächtnis ein Vortragsmanuskript, und dann saß ich mit den deutschsprachigen Dolmetscherinnen zusammen und machte mit ihnen einen Crashkurs – sie mussten ja erst einmal selbst einigermaßen etwas verstehen von der Physik und Chemie und Technik der Kernspaltung und der Urangewinnung, inklusive der angemessenen Übertragung der Fachbegriffe.

---

## **B) Joachim Krause: „Die Verschiebung des Horizonts – eine Spurensuche im Terminkalender“, Wartburg-Verlag Weimar, 2014**

(im Internet unter: [https://www.krause-schoenberg.de/buch\\_JK\\_horizont.htm](https://www.krause-schoenberg.de/buch_JK_horizont.htm) )

### **TERMINKALENDER 26.4.1986**

In meinem Kalender steht für diesen Tag ein Termin für eine Routineveranstaltung in „Meißen“. Aber rückblickend hat sich dieses Datum tief in das Gedächtnis einer ganzen Generation eingebrannt, verbunden mit dem Stichwort „Tschernobyl“! Auch auf meine Arbeit in den nächsten Jahren hatte dieses Ereignis fern in der Ukraine erhebliche Auswirkungen.

In einem sowjetischen Kernkraftwerk 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 Rechenspielerereien – 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 und Lügen, die in den Medien verbreitet wurden.

### **TERMINKALENDER 6.-9.5.86**

#### **„Naturwissenschaftliche Woche ASH Radebeul“**

Die Frauen und Mädchen, die am „Amalie-Sieveking-Haus“ in Radebeul zu Gemeindepädagoginnen ausgebildet wurden, zeigten in normalen Zeiten nur manchmal und nur bei manchen Themen Interesse für meine Angebote zu naturwissenschaftlich-weltanschaulich-ethischen Fragestellungen. Anfang Mai 1986 jedoch waren sie hochmotiviert. Das Interesse entzündete sich an dem in die Schlagzeilen gekommenen Thema Kernenergie. Der Unfall in Tschernobyl lag da nur wenige Tage zurück. Plötzlich war deutlich geworden: Naturwissenschaft, Technik – das war nicht weit weg, das war nicht nur graue Theorie, das konnte das eigene Leben unmittelbar betreffen! Und die Damen merkten plötzlich: Wenn man (frau) wollte, dann war das auch zu verstehen, was da in so einem Kernkraftwerk geschah. Alle Veranstaltungen in diesem Jahr an den kirchlichen Ausbildungsstätten hatten einen erkennbaren Motivationsschub erhalten, und da ich im Zusammenhang mit Kernspaltung offenbar eindrücklich auch das Funktions-Prinzip einer Atombombe erklärt hatte, erinnerten sich noch viele Jahre später Schüler von damals an mich als den „Bomben-Krause“.

„**Kernenergie – nach Tschernobyl**“ wurde *das* Thema der nächsten Monate in meiner Arbeit. Unruhe garte auch in der DDR-Bevölkerung, eine verharmlosende Informationspolitik des Staates konnte die Wogen nicht glätten, es gab viele Fragen und nur unbefriedigende Antworten.

Am 16.5.86 richtete ich eine „Anfrage zur radioaktiven Belastung im Zusammenhang mit der Havarie im KKW Tschernobyl“ an das Staatliche Amt für Atomsicherheit und Strahlenschutz. Welche Messwerte zur Strahlenbelastung lagen inzwischen vor? Wie wurden sie bewertet? Gab es wirklich „keinerlei gesundheitliche Gefährdungen“, wie das Amt immer wieder festgestellt hatte?

Mein schon bekannter Gesprächspartner im SAAS, Dr. Sxxx, antwortete bereits zwei Wochen später: „... Eine detaillierte Beantwortung Ihrer Anfrage würde in Inhalt und Umfang einer wissenschaftlichen Abhandlung entsprechen.“ Dazu sei man derzeit nicht in der Lage. Im Weiteren wurden einige leider nur halb-richtige Informationen zu Messwerten und Maßnahmen aus den vergangenen Wochen wiederholt.

### **TERMINKALENDER 20.-22.6.86**

#### **„Wittenberg Erde-Kreis KE-Papier vorgestellt“**

An einem strahlenden Apriltag des Jahres 1986 war der Atomreaktor in Tschernobyl explodiert. Bis dahin hatte es eine breitere oder gar öffentliche Debatte über Pro und Kontra der Kernenergie in der DDR nicht gegeben. Der Informationsbedarf war riesig.

Wie arbeitet eigentlich so ein Atomkraftwerk, was kann bei einem Unfall passieren, welche Gefahren bestehen für die Bevölkerung, ist die Kernenergie unverzichtbar oder gibt es Alternativen?

Ich schrieb in den folgenden Wochen den Entwurf für einen Text, der interessierten Mitmenschen helfen sollte, sich in der Debatte zurechtzufinden und selbst eine Meinung zu bilden.

Auf der nächsten Sitzung des Wittenberger „Erde-Kreises“ stellte ich den ersten Entwurf der Broschüre vor. Eigentlich fand das vertraulich, intern, unter uns statt. Aber die Stasi war bestens informiert, wie ein detaillierter Bericht zeigt, den ich später in meiner Akte fand. Einer unserer besten Leute im „Erde-Kreis“, intelligent, offen, konstruktiv – er hat „denen“ immer zeitnah Bericht erstattet.

## **TERMINKALENDER 24.6.86**

### **„Dxxx: Papiere KE“**

Mein oberster Chef im Landeskirchenamt ließ sich von mir über die ersten Ergebnisse der Diskussion zur Kernenergie nach dem Unfall in Tschernobyl unterrichten. Der Hintergrund für sein Interesse ist mir erst später deutlich geworden. Er nahm am 5. September 1986 an einem „Gespräch über die verantwortliche Nutzung der Atomenergie nach der Havarie von Tschernobyl“. In erlauchter Runde trafen sich in Berlin reichlich 20 Vertreter der Kirchenleitungen verschiedener Evangelischer Landeskirchen (Bischöfe, Präsidenten, Mitglieder von Synoden) mit Vertretern des Staates: dem Staatssekretär für Kirchenfragen Klaus Gysi (der Vater von Gregor Gysi) und seinen Mitarbeitern, einem Mann vom ZK der SED – und Prof. Dr. Klaus Fuchs (dem ehemaligen Atomspion in den USA in Diensten der Sowjetunion). Sie ließen sich informieren, es gab Möglichkeiten zu Rückfragen und zum Gespräch. Aber: Alles blieb, auch innerkirchlich, geheim. Kirchnahe Leute, die sich fachlich-kritisch mit den Folgen des Unfalls in Tschernobyl beschäftigten, und zu denen auch ich gehörte, wurden weder in solche Gespräche einbezogen noch erfuhren wir etwas über deren Inhalt und Verlauf.

Ich kenne das Protokoll nur, weil es mir Monate später am Rande einer Veranstaltung irgendjemand verstohlen in die Hand gedrückt hat. Es handelt sich dabei um eine Fotokopie. Auf einigen Seiten sind Ahornblätter mit aufs Foto geraten – irgendjemand hat das Original wahrscheinlich illegal im Gebüsch hektisch abfotografiert.

Die Arbeiten an meinem Heft über „Kernenergie“ nahmen mich weiter in Beschlag. Herausgegeben und vervielfältigt wurde das Heft über das „Kirchliche Forschungsheim“ in Wittenberg. Wir gaben dem Heft etwas schlitzohrig den Titel

### **„... nicht das letzte Wort (Kernenergie in der Diskussion)“.**

Das war ein Zitat von Erich Honecker, dem damaligen Generalsekretär der allmächtigen „Partei“ und Staatsratsvorsitzenden der DDR. Er war mit dieser Formulierung in einem Interview nach den Ereignissen von Tschernobyl einer endgültigen Bewertung zu den Perspektiven der Kernenergie in der DDR ausgewichen.

**ARBEITSHILFE (Broschüre)**

**Joachim Krause:** „... nicht das letzte Wort – Kernenergie in der Diskussion“, Broschüre Format A4, 64 Seiten (Hrsg.: Kirchliches Forschungsheim Wittenberg 1987 – Nur für innerkirchlichen Gebrauch! Nicht zur Veröffentlichung!)

Ich hatte die erste Fassung des Textes, der am Ende 64 Seiten umfasste, zunächst allein skizziert. Damit die Darstellung aber naturwissenschaftlich richtig, in den technischen Darstellungen zutreffend, alles mit soliden Quellen belegt und damit das alles auch für Laien verständlich war – da war mir von Anfang wichtig, eine Handvoll anderer Leute einzubeziehen, als Erst-Leser und fachlich-kritische Begleiter.

So entstanden nacheinander einige Fassungen des Manuskripts, die per Post oder durch Boten zu den Mit-Tätern gelangten. Ein Fachmann, der mir manchen hilfreichen Tipp zum Aufbau und zur Funktionsweise der in der DDR betriebenen Atomkraftwerke gegeben und Daten zur Verfügung gestellt hat, arbeitete als Physiker im Zentralinstitut für Kernforschung in Rossendorf, saß also direkt an der Quelle. Wir kannten uns damals überhaupt nicht persönlich. Ein gemeinsamer Freund hatte den Kontakt vermittelt, und wir mussten uns schon wechselseitig sehr vertrauen. Ein anderer Mit-Autor war ein Lehrer aus Cottbus, der in der kernenergie-kritischen „Szene“ der DDR damals sehr aktiv war – auch ihn habe ich nie persönlich kennengelernt.

Nach vielen Diskussionen und Korrekturen war dann endlich der Termin für die „Endredaktion“ da.

**TERMINKALENDER 9./10.9.86****„KFH Wittenberg Endredaktion KE-Papier“**

Dabei ging es zunächst darum, den endgültigen textlichen Inhalt des Heftes beim Herausgeber vorzustellen und vom „Wissenschaftlichen Rat“ des KFH „absegnen“ zu lassen.

Dann wurde die endgültig letzte Fassung zusammengestellt und an die nette Frau an der Schreibmaschine übergeben. Ihr war nun im Detail zu erklären, wie eine physikalische Gleichung richtig aussehen musste oder warum manche Fachbegriffe gerade SO geschrieben werden mussten usw. Sie hatte nämlich nur einen Versuch, da der Text direkt auf die Matrize geschrieben wurde, damit endgültig war und keine späteren Korrekturen mehr zuließ. Ein harter Job, der in den folgenden Tagen noch manche Rückfrage per Telefon notwendig machte.

**TERMINKALENDER 6.10.86****„KFH Wittenberg Übergabe KE-Papier“****TERMINKALENDER 24.10.86****„KFH Wittenberg Korrekturlesen KE“**

.....

**KASSENBELEG 28./29.10.86****„Gemeindeabende Kirchgemeinde Kamern, Kirchgemeinde Sandau“**

Diese Veranstaltungen fanden ein halbes Jahr nach dem Unfall in Tschernobyl statt. Ich fuhr in zwei Dörfer bei Stendal, weit im Norden. Dort war in Elbnähe das nächste Atomkraftwerk der DDR im Bau, die fast 200 Meter hohen Kühltürme überragten eindrucklich die Kirchtürme, auf die wir zur Besichtigung der Baustelle stiegen, und den Kiefernwald.

**KASSENBELEG 18.11.86****„Einschreibepäckchen – R. Rxxx Dresden“**

Dr. V. Bxxx, der im ZfK (Zentralinstitut für Kernforschung) Rossendorf bei Dresden arbeitete, schrieb mir mit privatem Absender am 8.2.87: „ ... Im November 1986 haben Sie meinem Abteilungsleiter Dr. R. Rxxx die 1982/83er und 1984/85er Ausgabe des ‚Öko-Fischer-Almanachs‘ ausgeliehen. Da ich fachlich mit Risikovergleichen in Energiesystemen befasst bin, bekam ich die Möglichkeit zur Einsichtnahme ... Ich bin an sachlichem und wissenschaftlichem Faktenmaterial interessiert, da ich mich Sorge, ob wir in ausreichendem Maße und schnell genug schädliche Auswirkungen von Mensch und Technik auf die Umwelt erkennen und ob wir diesen effektiv und adäquat entgegenwirken. ... Für offene und ehrliche Diskussionen zu Problemen der fachlichen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen bin ich im Übrigen sehr aufgeschlossen ...“

Er durfte das Material natürlich in Ruhe weiter auswerten. Es war schon merkwürdig, dass solche im Westen frei verfügbaren und eigentlich mehr populärwissenschaftlichen Publikationen die Fachleute in der DDR manchmal nur auf solchen etwas konspirativen Umwegen erreichten. Und wieder war da diese Mischung aus Frechheit und Vertrauen: Dr. Rxxx hatte am 15.11.86 einen Vortrag bei der Evangelischen Akademie in Berlin gehalten – im Nachgang hatte ich ihm das Material zugeschickt. Aber weder ihn noch Dr. Bxxx kannte ich wirklich.

### **KASSENBELEG 21.11.86**

#### **Einlieferungsschein Einschreibe-Päckchen an Michael Wxxx Branitz**

Mit dieser Postsendung hat M. Wxxx wohl die letzte Fassung des Textes für das Heft „ ... nicht das letzte Wort“ erhalten. Er war einer von den hilfreichen Unterstützern, die meine Entwürfe immer wieder kritisch gegengelesen hatten. In der Druckfassung des Heftes wurde ihm und allen anderen Helfern gedankt, vorsichtshalber nur unter Nennung der Vornamen. Genützt haben unsere vorsichtigen Versuche zur Konspiration wohl wenig. Die Stasi hat jedenfalls meine Briefe an Wxxx intensiv ausgewertet und war immer auf dem neuesten Stand. Aber man ließ uns gewähren

...

.....

### **TERMINKALENDER 7.3.87**

#### **„nachm. / abends Hauskreis Strausberger Platz 1“**

In der kirchlichen Umweltarbeit der DDR hatte ich mich nun schon länger mit Energiefragen beschäftigt. Ich galt darum wohl als exotischer Geheimtipp. Jedenfalls erhielt ich Anfang 1987 eine ungewöhnliche Einladung nach Berlin. „Hauskreis“, kein streng innerkirchlicher Zirkel, wurde mir gesagt, Fachleute. Etwas geheimnisvoll die Vorbereitung, kein Veranstaltungsort („wir holen Sie am Bahnhof ab“). Ich fuhr hin, den üblichen POLYLUX (Overheadprojektor) in der Hand, und wurde von einem mir unbekanntem Herrn per Auto in die Stalinallee kutschiert. Die hieß natürlich schon lange „Frankfurter“, aber sie sah immer noch aus wie „Stalinallee“. Wir betraten ein Eckhaus, kamen in eine höchst geräumige „Bonzen“-Wohnung, ich schätze mal: 50 Quadratmeter Wohnzimmer mit riesigen Fenstern. Nach und nach versammelten sich etwa 25 Menschen. Damen und Herren mittleren Alters, die interessiert meinen Ausführungen lauschten, offenbar ziemlich sachkundig und kompetent waren. Wahrscheinlich arbeiteten die meisten in irgendwelchen Behörden oder Ministerien. Wir haben fünf Stunden lang (!) im offenen Gespräch um Fragen gerungen, die unsere gemeinsame Zukunft betrafen. Und das ging, obwohl wir ja eigentlich auf verschiedenen Seiten standen. Schon 1987 also gab es das Suchen nach Alternativen, nach Veränderung, frühe Aufbruchsstimmung.

### **TERMINKALENDER 11.3.87**

### „Magdeburg KE-Papier abholen, nach Wittenberg“

Endlich war „unser“ Wittenberger Kernenergie-Papier fertig! Mit 1000 Exemplaren hatte es für DDR-Verhältnisse eine hohe Auflage. Die Hefte konnten nun bestellt werden. Sie wurden ganz normal mit der Post versandt oder direkt in Veranstaltungen weitergegeben. Im Gegenzug erbaten wir Spenden. Als die Auflage schnell vergriffen war, machte der Herausgeber ein DDR-spezifisches Angebot: Interessenten konnten die gezielt zurückgehaltenen letzten Exemplare befristet ausleihen (!).

.....

### TERMINKALENDER 1.7.87

#### „Berlin Gespräch KFH – SAAS (Prof. Kxxx / Gxxx – Staatssekr. f. Kirchenfragen) zur KE-Studie KFH“

Mein Wittenberger Kernenergie-Heft wurde seit Ende März in der DDR verbreitet. Natürlich stand wie immer im Impressum der Vermerk „Für innerkirchlichen Gebrauch!“ Aber natürlich sollten und durften auch alle anderen interessierten Mitmenschen darin lesen. Und wir konnten davon ausgehen, dass sich längst auch die „zuständigen Organe“ damit beschäftigten.

Zunächst sei noch auf eine kleine Ergänzung hingewiesen, durch welche WIR die Verwendung einschränkten: „Nicht zur Veröffentlichung!“ Das klingt etwas schizophren, hatten wir das Heft doch gerade gedruckt und boten es doch öffentlich an ... Entschlüsselt bedeutete dieser Satz: Die Menschen hier in der DDR sind unsere Zielgruppe, eine „Veröffentlichung“ in westlichen Medien mit den damit verbundenen politischen Turbulenzen würde unserem Anliegen eines Gesprächs innerhalb der DDR mehr schaden als nützen.

Und weil wir grundsätzlich immer mit offenen Karten spielten und auch gern ein bisschen pokerten, und natürlich auch, weil wir gespannt waren, was passieren würde, war es nur folgerichtig, dass ein paar Wochen später ein Exemplar direkt per Post an Erich Honecker ging. Der formale Anknüpfungspunkt ergab sich daraus, dass von ihm ja das Zitat stammte, das wir uns als Titelzeile für unser Heft ausgeborgt hatten: „... nicht das letzte Wort“.



Interessant war der weitere Vorgang. Das haben wir aber erst nach der Wende aus staatlichen Archiven erfahren. Honecker hat unser Begleitschreiben tatsächlich nur sechs Tage nach dem Abschicken in die Hand bekommen und persönlich abgezeichnet. Und er hat die Angelegenheit nicht etwa an die Stasi weitergeleitet, sondern um Prüfung durch Fachleute gebeten.

Wenige Tage später lag die von ihm angeforderte Expertise vor. Wir – der Herausgeber und der Autor – bekamen das amtliche Etikett „oppositionell und staatsfeindlich“ zuerkannt. Wenige Wochen später waren wir aber nicht etwa im Knast, sondern erhielten eine Einladung in das zuständige „Staatliche Amt für Atomsicherheit und Strahlenschutz“ zu einem Fachgespräch über den Inhalt des Heftes.

So etwas machte durchaus Mut, weitere „staatsfeindliche Aktionen“ dieser Art ins Auge zu fassen.