

50 Jahre **AVR**



50 Jahre ***AVR***

**Aufbau und Abbau
einer deutschen Entwicklung**

Wir möchten uns bei allen, die an der Verwirklichung dieser Publikation mitgewirkt haben, bedanken.

Nicht zuletzt wollen wir aber auch all derer gedenken, die heute zwar nicht mehr bei uns sind, aber ohne deren unermüdlichen Einsatz das Projekt AVR nie realisiert worden wäre.

Inhaltsverzeichnis

Seite

Vorwort der Geschäftsführung ————— 9

Einleitung ————— 11

Energie im Wandel der Zeit ————— 14

AVR

Gründung ————— 28

Bau und Übergabe ————— 34

Betriebsjahre ————— 42

Sicherer Einschluss ————— 60

Vollständiger Abbau ————— 68

Entsorgung ————— 82

Fünfzig Jahre ————— 92

„Die HTR-Technologie“ von Prof. Dr. Barnert ————— 94

„Die Zukunft der EWN“ von Herbert Hollmann ————— 102

Literatur und Bild-/Quellennachweis ————— 106

Impressum ————— 108



Vorwort der Geschäftsführung

Der Blick zurück auf 50 Jahre „Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor GmbH“ ist ein Blick zurück auf

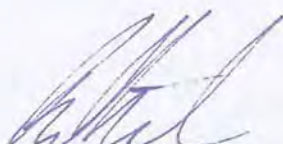
- eine Vision in der Zeit des beginnenden Wirtschaftswunders der Nachkriegszeit,
- eine innovative Technologie und ihre Herausforderung an Mensch und Material und
- eine Langzeitanwendung im Spannungsfeld immer schneller werdender technischer Verbesserungen und sich wandelnder gesellschaftlicher Akzeptanz.

Die folgende Darstellung berichtet von Personen, die die Kraft zu einer Vision hatten, den wachsenden Energiebedarf am Ende des letzten Jahrtausends dauerhaft und sicher zu decken. Mit viel Mut wurden innovative Lösungen entwickelt und umgesetzt. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse und Erfolge werden vom jeweiligen Betrachter an der Technik seiner Gegenwart gemessen.

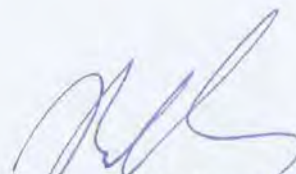
Dabei werden die Anforderungen, die an eine sichere Stromerzeugung zu stellen sind und die technisch-ökonomischen Grenzen, die einer auf eine lange Betriebszeit ausgelegten Großinvestition innewohnen, nicht immer angemessen gewürdigt. Es bedarf großer Anstrengungen und einer fast grenzenlosen Ausdauer, diese Parameter bewusst zu halten.

Die Geschichte der AVR GmbH umfasst alle diese Phasen. Selbst sein Abbau begann mit einer Vision (Ziehen des vollständigen Reaktorbehälters) und wird mit innovativen Schritten (Verfüllen des Reaktorbehälters mit Porenleichtbeton) abgeschlossen.

An dieser Stelle danken wir allen, die mit ihrem Können sowie mit Kraft, Mut und Ausdauer das Projekt „Hochtemperaturreaktor“ in den verschiedenen Phasen begleitet haben.



Dieter Rittscher



Herbert Hollmann



Einleitung

50 Jahre AVR – Anlass genug, um diese Jahre mit ihren herausragenden technischen Innovationen rund um den Hochtemperaturreaktor (HTR) in einer Publikation zu würdigen.

Innerhalb der Kernenergie nimmt der Reaktor der AVR GmbH eine Sonderstellung ein. Gasgekühlt, graphitmoderiert, inhärent sicher und der heißeste Reaktor weltweit — diese Adjektive beschreiben wohl am besten die Eigenschaften, die ihn aus der Reihe der anderen Reaktortypen, auch aus der Reihe der gasgekühlten Hochtemperaturreaktoren (HTR) hervorheben.

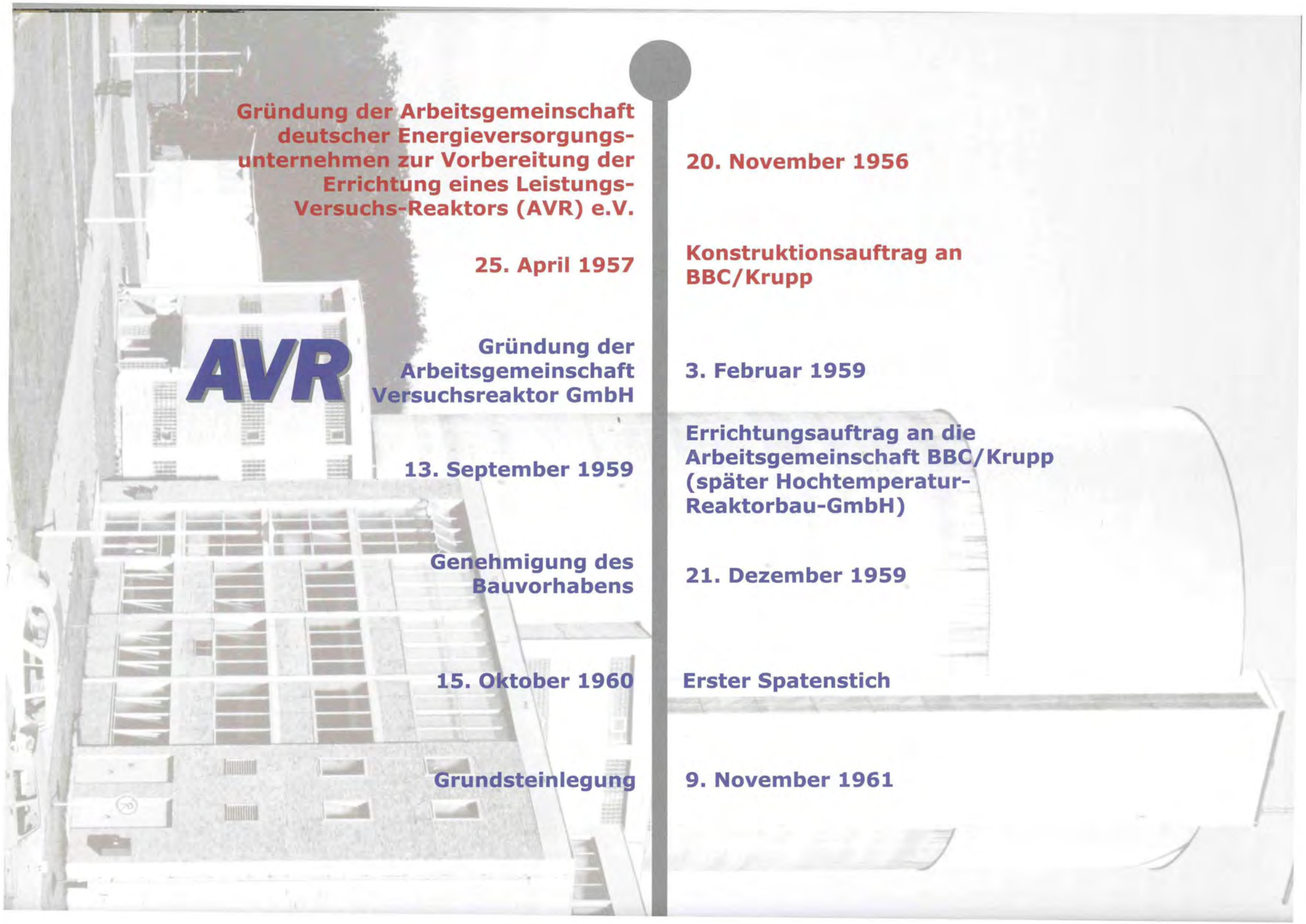
Wir wollen im Folgenden aber nicht einen wissenschaftlichen Text über die HTR-Technologie verfassen, sondern diese Technik einem breiten Publikum näherbringen. So möchten wir Sie, den Leser, auf den ersten Seiten mit der Schilderung der Anfänge der Energiegewinnung auf unseren Reaktor einstimmen.

Um Ihnen eine Einordnung der AVR-Geschichte in das allgemeine Zeitgeschehen zu ermöglichen, finden Sie auf jeder Seite oben eine Zeitleiste mit markanten Ereignissen.

Mit den auf einzelnen Seiten auftauchenden „gelben Punkten“ möchten wir Denkanstöße zu den ökonomischen und ökologischen Merkmalen fossiler und erneuerbarer Energien im Vergleich zur Kernenergie geben.

Betreten Sie mit uns die Welt des Hochtemperaturreaktors, der zwar nicht in seinem „Geburtsland“ Deutschland, aber in der übrigen Welt zunehmend an Bedeutung gewinnt.

Die Autoren



**Gründung der Arbeitsgemeinschaft
deutscher Energieversorgungs-
unternehmen zur Vorbereitung der
Errichtung eines Leistungs-
Versuchs-Reaktors (AVR) e.V.**

25. April 1957

AVR

**Gründung der
Arbeitsgemeinschaft
Versuchsreaktor GmbH**

13. September 1959

**Genehmigung des
Bauvorhabens**

15. Oktober 1960

Grundsteinlegung

20. November 1956

**Konstruktionsauftrag an
BBC/Krupp**

3. Februar 1959

**Errichtungsauftrag an die
Arbeitsgemeinschaft BBC/Krupp
(später Hochtemperatur-
Reaktorbau-GmbH)**

21. Dezember 1959

Erster Spatenstich

9. November 1961

26. August 1966

**Erste Stromeinspeisung
ins öffentliche Netz**

28. Mai 1969

**Erhöhung der Kühlgastemperatur
von 850 °C auf 950 °C**

31. Dezember 1988

**Genehmigung zur Herstellung
des „Sicheren Einschlusses“**

2003

**Genehmigung zum vollständigen
Abbau bis zur „Grünen Wiese“**

Erste Kritikalität

17. Dezember 1967

Übergabe an den Betreiber

27. Februar 1974

**Beendigung des
Leistungsbetriebs**

9. März 1994

**Übernahme der AVR GmbH
durch die EWN GmbH**

31. März 2009

Grüne Wiese

21 Jahre Betriebszeit

1911



Marie Curie wird für ihre Forschung auf dem Gebiet der Radioaktivität mit dem Nobelpreis für Chemie ausgezeichnet. Die in Frankreich lebende Physikerin erhielt bereits 1903 anteilig den Nobelpreis für Physik.

Energie im Wandel der Zeit

Energie. Jeder von uns braucht und benutzt sie in vielfältiger Weise. Sie tritt in zahlreichen Formen in Erscheinung: als Wärme, elektrisch, mechanisch, chemisch, als Bewegungsenergie und vieles andere mehr. Energie wird weder erzeugt noch verbraucht (auch wenn man im Allgemeinen den eigentlich falschen Ausdruck „Energieerzeugung“ verwendet), sie wird lediglich von einer Erscheinungsform in eine andere umgewandelt.

Was ist Energie überhaupt?

Das Wort „Energie“ leitet sich ab aus dem griechischen Wort „*enérgeia*“ (= Tätigkeit). Der Wissenschaftler oder Techniker definiert Energie als „das Vermögen, Arbeit zu verrichten“,

eine Erklärung, die oft unverständlich erscheint. Derjenige, der Energie verbraucht, versteht unter Energie eher die beiden ihm gebräuchlichsten Erscheinungsformen der Energie: **Wärme und Elektrizität.**

„Ich habe keine besondere Begabung. Ich bin nur leidenschaftlich neugierig!“

Albert Einstein,
Nobelpreisträger von 1921

Was ist Wärme?

Eine der ersten Annahmen über die Wärme als Energieform war leider ebenso populär wie falsch. Der Chemiker *Georg Ernst Stahl* stellte zu Beginn des 18. Jahrhunderts seine Theorie des „Phlogistons“ (griech. = Feuerstoff, Flamme, entzündlich) auf, wonach bei der Erwärmung eines Körpers Phlogiston in diesen eindringe und bei Erkalting wieder austrete. Diese Theorie erklärte viele Phänomene in der



1914 – 1918

1917

„Oktoberrevolution in Russland“
Die kommunistischen Bolschewiki
übernehmen gewaltsam die Macht. Dies bildet
den Ausgangspunkt für den Aufbau eines
sozialistischen Staates in Russland.



Reichspatentamt in Berlin, 1929

damaligen Chemie und war nahezu ein Jahrhundert lang gängige Lehrmeinung. Sie wurde erst 1785 von *Antoine Lavoisier* endgültig widerlegt.

Die Nutzbarkeit der Wärmeenergie zum Antrieb von Maschinen ist spätestens seit der Erfindung der Dampfmaschine durch *Denis Papin*

(1690) bekannt. *Thomas Newcomen* konstruierte dann die erste verwendbare Maschine, ehe *James Watt* gegen Ende des 18. Jahrhunderts diese nochmals entscheidend verbesserte. Solche Maschinen trieben in großen Fabriken über Direktantrieb (sogenannte Transmissionswellen) weitere Maschinen oder Geräte an. Elektrizität als nahezu

1918



Max Planck erhält im Dezember des letzten Kriegsjahres den Nobelpreis für Physik. Er wird als Begründer der Quantenphysik betrachtet.



16

1929, Apparat zur Herstellung von Dauerwellen

Italiener *Alessandro Volta* erzielte dann um 1770 erste Fortschritte auf dem Gebiet der sogenannten „Elektrisiermaschinen“. Nur vier Jahre später (1774) gelang angeblich die erste Herzwiederbelebung mittels Elektrizität.

Anfang des 19. Jahrhunderts begann der rasante Aufstieg der Elektrizität als nutzbare Energieform. Zahlreiche Wissenschaftler wie *Luigi Galvani*, *Nikola Tesla* oder *Werner von Siemens* sind untrennbar sowohl mit der Grundlagenforschung zur Elektrizität als auch mit den Erfindungen der verschiedensten elektrischen Apparaturen und Geräte verbunden. Die Namen dieser berühmten Forscher und Erfinder stehen heute als Synonym für viele der in der Elektrizität gebräuchlichen Einheiten. 1835 gelang es dem Schotten *James Bowman Lindsay* erstmals, mittels einer Glühlampe über einen längeren Zeitraum elektrisches Licht zu erzeugen. Eine erste brauchbare Glühbirne (mit verkohlter Bambusfaser als Glühfaden) erfand der eingewanderte, deutsche Uhrmacher *Heinrich Goebel* im Jahr 1854 in

universell einsetzbare Energieform war zu diesem Zeitpunkt noch unbekannt.

Doch schon 100 Jahre zuvor führten sowohl *Isaac Newton* als auch *Gottfried Wilhelm Leibniz* erste Versuche zur Elektrizität durch. Der

In Berlin wird der Prototyp der ersten deutschen Autobahn „AVUS“ eröffnet.

1921



In Deutschland wird der regelmäßige Hörfunk-Programmbetrieb aufgenommen.

1923



New York. Deren spätere Massenproduktion und Vermarktung durch *Thomas Alva Edison* leitete dann den endgültigen Siegeszug sowohl des elektrischen Lichtes als auch der „elektrischen Energie“ ein. Der Name *Edison* steht auch stellvertretend für das erste, 1881 eingeweihte elektrische Kraftwerk in New York. Drei Jahre später folgte in Berlin das erste deutsche Kraftwerk.

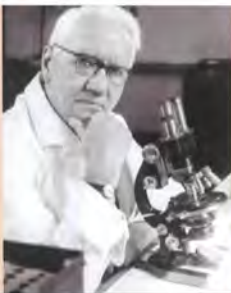
Der Strom erobert die Welt

Seither steigt der Energiebedarf stetig an. In den ersten Jahren der Stromerzeugung wurden hauptsächlich die Bedürfnisse der Industrie gedeckt, mit Beginn des 20. Jahrhunderts folgte die Versorgung des privaten Sektors. Heutzutage sind unsere Haushalte voll von elektrischen Geräten. Waren die Ursprünge dieser Entwicklungen im Heimbereich noch getrieben von der Idee, der Hausfrau das Leben zu erleichtern, so werden heute auch immer mehr die Bereiche der Freizeit oder des Luxus bedient. Und was einst noch Luxus war, wird nach und nach zum alltäglichen Gebrauchsgegenstand. Waschmaschinen oder Kühlschränke, Fernseher oder Computer, Stereoanlagen oder Bohrmaschinen gehören

Etwa 85 % des globalen Energiebedarfs werden aus fossilen Energieträgern gedeckt. Aufgrund ihrer hohen Energiedichte, der nahezu weltweiten Verbreitung sowie der in der Vergangenheit gesicherten Versorgung dominieren Erdöl, Erdgas und Kohle die globale Energiewirtschaft.

Sie sind in hohem Maß wettbewerbsfähig und garantieren bisher eine relativ günstige Versorgung mit Strom, Wärme und Kraftstoffen. Die wechselnde Marktsituation auf der Nachfrageseite bei Erdöl führte in den letzten Jahren zu teils massiven Schwankungen der Rohstoffpreise und Energiekosten.

Fossile Energieträger



Der schottische Bakteriologe Alexander Fleming untersucht im September 1928 Schimmelpilze, die eine keimtötende Wirkung haben. Diese Untersuchungen führen später zum Antibiotikum Penicillin.

Einrichtung der ersten drahtlosen transatlantischen Telefonverbindung zwischen London und New York

1928



Eindrücke aus der Bauphase des AVR-Reaktors bis zur Stromerzeugung

längst zu unserem Alltag und sind in nahezu jedem Haushalt vorhanden. Die Liste ließe sich beliebig fortsetzen. Alle diese Geräte brauchen vor allem eins: **Strom**.

erator an. Dieser wiederum liefert uns das Endprodukt: **Strom**.

18

Woher kommt der Strom?

Von Beginn der Stromgewinnung an bis zur heutigen Zeit sind Wärme und Strom nahezu untrennbar miteinander verbunden. In einem (Groß-)Kraftwerk wird Wärme „erzeugt“, meist durch Verbrennung fossiler Energieträger wie Kohle, Gas oder Öl. Diese Wärme wird dann an einen Wasser-Dampf-Kreislauf abgegeben. Hierdurch verdampft das Wasser und der entstandene Dampf treibt eine Turbine mit angeschlossenem Ge-

Vom Atom zum Strom

Der steigende Energiebedarf in den Industrienationen wurde in den vergangenen zweihundert Jahren nahezu ausschließlich von fossilen Energieträgern (Öl und Kohle) gedeckt. Die Rohstoffverknappung des Öls einerseits und die mit der Nutzung von Öl und Kohle verbundene Umweltbelastung (Kohlendioxid, Feinstaub) andererseits führte in den 1970er Jahren zu einem Umdenken. Alle bedeutenden Industrienationen erweiterten ihre Energieversorgung nun durch den Einsatz der Kernenergie.

1930

Ab Mai steigen in Deutschland die Benzinpreise durch die Einführung der Mineralölsteuer.

1931

Das Empire State Building in New York wird eröffnet. Es ist zu dieser Zeit das höchste Gebäude der Welt.

Schon Mitte des 19. Jahrhunderts beschäftigten sich namhafte Wissenschaftler mit der Erforschung des Atoms. Wissenschaftler wie *Pierre und Marie Curie*, *Ernest Rutherford* oder *Niels Bohr* stellten gegen Ende des auslaufenden 19. Jahrhunderts und zu Beginn des 20. Jahrhunderts erste Theorien zum Aufbau und Verhalten der Atome und ihrer Kernbausteine auf.

Der 17. Dezember 1938 sollte dann als Meilenstein der Kernforschung in die Geschichte eingehen: Es gelang die erste Teilung des „Unteilbaren“ (griech. *átomos* = das Unteilbare) durch den deutschen Chemiker *Otto Hahn* und dessen Assistenten *Fritz Straßmann* am Berliner Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie. *Otto Hahn* informierte umgehend seine langjährige Kollegin, die Physikerin *Lise Meitner* und bat um ihre Meinung, ob ein „Zerplatzen des Uran-239-Kerns“ möglich sei. *Lise Meitner* war erst ein halbes Jahr zuvor aus politischen Gründen ins schwedische Exil emigriert. Mit ihrem Neffen, dem Kernphysiker *Thomas Frisch*, beschrieb sie dann als erste die

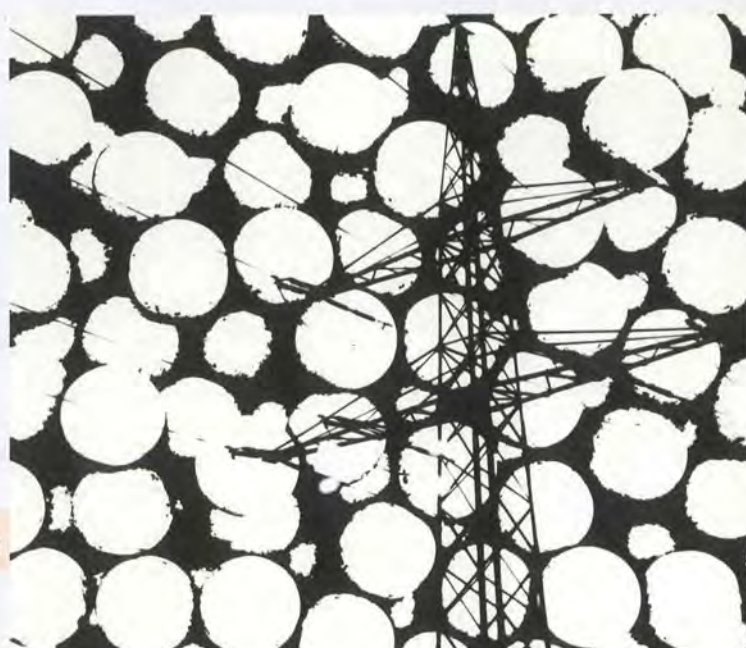
physikalisch-theoretischen Aspekte des Vorgangs.

Bereits vier Jahre später, am 2. Dezember 1942 gelang dem italienischen Physiker *Enrico Fermi* in Chicago die erste kontrollierte nukleare Kettenreaktion. Die Vision einer schier unerschöpflichen Energiequelle war „geboren“.

Was ist Radioaktivität?

Nach einer auf *Rutherford* und *Bohr* zurückgehenden Modellvorstellung bestehen Atome aus einem sehr kleinen Kern, in dem fast die gesamte Masse konzentriert ist, und einer Hülle. Der Atomkern enthält elektrisch positiv

19



1935

Im Mai meldet der US-Amerikaner Carl C. Magee das Patent für ein münzgesteuertes Parkmessgerät (Parkuhr) an. Es wird am 24. Mai 1938 erteilt.

1937

In Berlin wird die „Gesellschaft zur Vorbereitung des Deutschen Volkswagens mbH“, der Vorläufer der Volkswagen AG, gegründet.



Eindrücke aus der Bauphase

20

geladene Protonen und elektrisch neutrale Neutronen. In der Atomhülle befinden sich dagegen negativ geladene Elektronen, deren Anzahl in der Regel derjenigen der Protonen im Kern entspricht.

Alle chemischen Elemente sind durch eine charakteristische Anzahl von Protonen im Kern gekennzeichnet,

wobei die Anzahl der Neutronen variieren kann. Jedes Element wird so durch die Anzahl der Protonen, die sogenannte Kernladungszahl, eindeutig bestimmt. Bis zum Element Calcium (Kernladungszahl 20) stimmt die Anzahl der Protonen etwa mit der Anzahl der Neutronen überein. Bei Elementen mit höheren Kernladungszahlen sind dagegen mehr Neutronen als Protonen im Kern vorhanden. Die Massenzahl eines Atoms entspricht der Summe der Protonen und Neutronen.

Bestimmte Atome haben die Eigenschaft, sich ohne äußere Einwirkung umzuwandeln. Diese Prozesse senden „Strahlung“ aus, die in drei Hauptarten unterschieden wird. Sie werden nach dem griechischen Alphabet mit α -, β -, γ -Strahlung bezeichnet.

Wirtschaftlichkeit

Die Stromgewinnung aus Kernenergie entspricht preislich etwa derjenigen aus Kohle und Erdgas.

Gegenüber Kohle- und Gaskraftwerken machen sich Preisschwankungen auf der Rohstoffseite bei Kernkraftwerken weniger stark bemerkbar, da relativ kleine Mengen Kernbrennstoff benötigt werden, die nur einen geringen Anteil der Betriebskosten ausmachen.

Bei weiterhin hohen oder steigenden Preisen für fossile Energieträger relativieren sich somit Wettbewerbsnachteile von Kernkraftwerken hinsichtlich der höheren Investitionskosten und längeren Amortisationszeiten.

Kernenergie

1938



Ab 1. Januar treten aufgrund steigender Zahlen bei Verkehrstoten neue Verkehrsregeln in Kraft.

Unter anderem gehört das unbedingte Rechtsfahrgebot auf allen Straßen dazu.

Wie sieht diese Strahlung aus?

α -Strahlung besteht aus kleinen Atomkernen, genauer aus je zwei Protonen und Neutronen. Dies entspricht einem Heliumkern ohne Elektronen. α -Strahlung besitzt nur eine geringe Reichweite und lässt sich schon durch ein dickeres Blatt Papier abschirmen. Gesundheitliche Risiken gehen von α -Strahlern im Wesentlichen bei der Inkorporation, das heißt der Aufnahme in den Körper aus. Unter anderem stehen sie im Verdacht, die Entstehung von Lungenkrebs zu fördern. In der Technik benutzt man sie beispielsweise in Rauchmeldern.

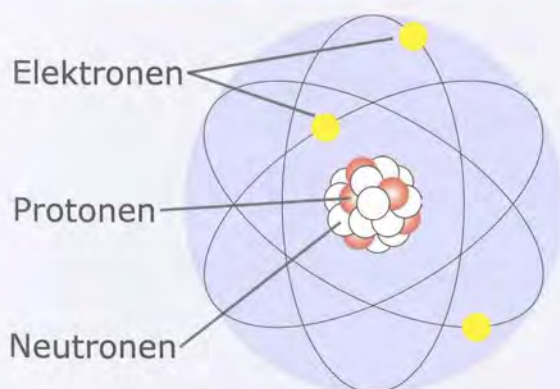
Bei einem β -Zerfall werden in der Regel negativ geladene Elektronen aus dem Kern geschleudert. (Man spricht dann vom β -Minus-Zerfall. Es gibt auch β -Plus-Zerfälle die jedoch viel seltener sind.) Die Elektronen

entstehen durch die Umwandlung eines im Kern befindlichen Neutrons, aus dem ein Proton und ein Elektron entstehen.

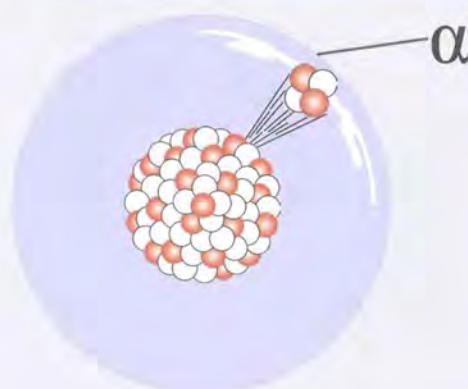
Das Proton verbleibt im Kern, das Elektron wird weggeschleudert. β -Strahlung kann bereits mit Kunststoffplatten von wenigen Millimetern abgeschirmt werden. Neben einem Einsatz zur Bestrahlung von Hauttumoren spielt sie vor allem bei der Altersbestimmung von Fossilien eine Rolle.

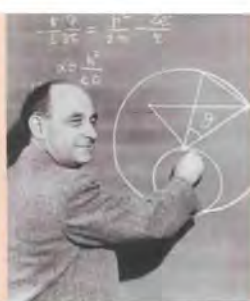
Im Unterschied zu α - oder β -Strahlung, bei denen Teilchen ausgesandt werden, ist die γ -Strahlung eine elektromagnetische Welle, wie auch die Röntgenstrahlung oder das Licht. Sie entsteht beim α - oder β -Zerfall oder wenn ein Atomkern aus einem energiereichen in einen energieärmeren Zustand zurück-

Atomkern mit Hülle



α -Strahlung

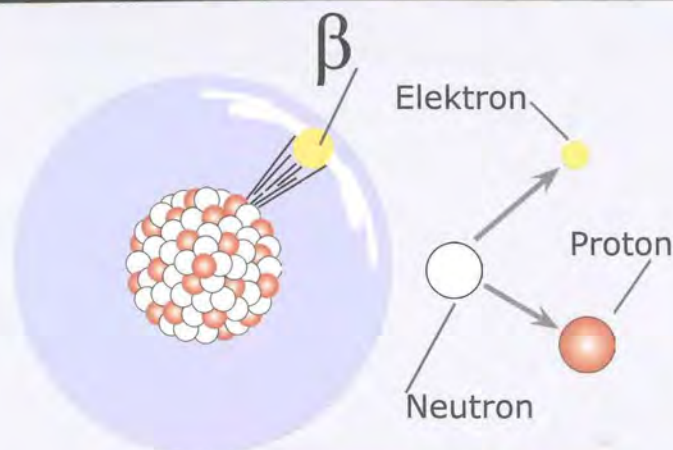




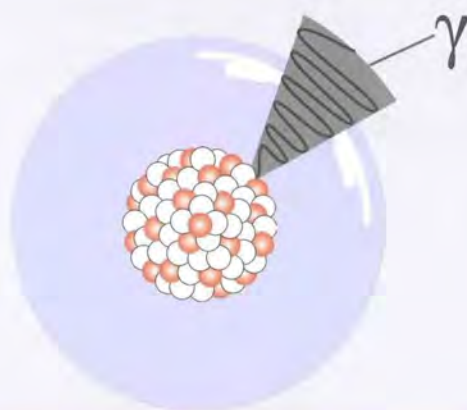
Enrico Fermi erhält für die Entdeckung von durch Neutronenbeschuss künstlich erzeugter Radioaktivität den Nobelpreis für Physik.

1938

Die Nacht vom 9. auf den 10. November wird als „Reichspogromnacht“ zu einem beschämenden Kapitel deutscher Geschichte.



β-Strahlung



γ-Strahlung

fällt. In Kernkraftwerken laufen unterschiedliche Prozesse ab, die zur Bildung von γ -Strahlung führen. Für die Abschirmung von γ -Strahlung werden Bleiplatten mit mehreren Zentimetern Dicke oder Betonwände benötigt. Der industrielle Einsatz erfolgt in der Krebstherapie oder auch zur Konservierung von Nahrungsmitteln.

Essenzielle Bedeutung für ein Kernkraftwerk hat die bei der Kernspaltung entstehende Neutronen-Strahlung. Die Kettenreaktion — und somit die Energieerzeugung — in einem Kernreaktor kann nur mit Hilfe freier Neutronen begonnen und in Gang gehalten werden. Grund genug, diesen Vorgang einmal etwas näher zu betrachten.

Woher kommt diese Energie?

Die nebenstehende Grafik verdeutlicht die Vorgänge, die in einem Kernkraftwerk stattfinden. Auslöser der Kettenreaktion sind sogenannte thermische, das heißt „langsame“ Neutronen geringer Energie. Trifft ein solches Neutron auf einen Brennstoffkern, wie zum Beispiel Uran-235 ($U\ 235$), so entsteht kurzfristig als Zwischenprodukt ein neuer Atomkern, ein Uran-236-Kern. Dieser ist jedoch instabil und zerfällt fast augenblicklich in zwei andere Atome (die sogenannten Spaltprodukte) sowie zwei bis drei weitere „schnelle“ Neutronen. Bevorzugt entstehen Spaltprodukte mit einer Massenzahl von 89 bis 100 oder von 131 bis 144. Eine typische Reaktion ist der Zer-



1939 – 1945

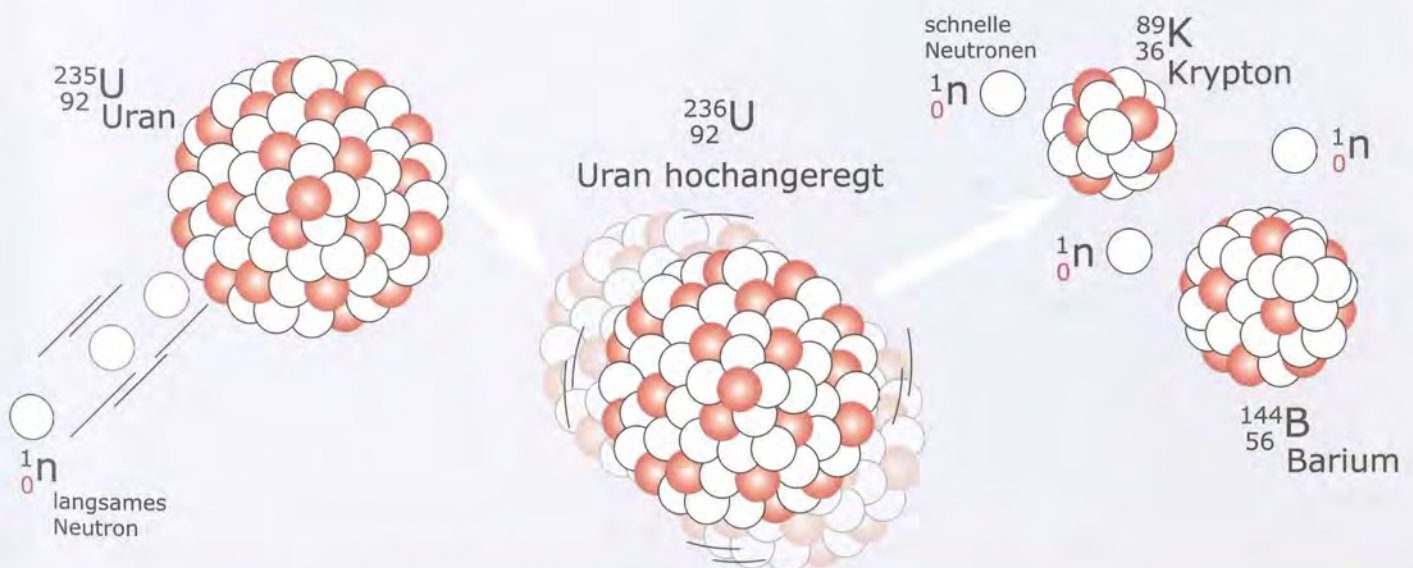
1940

fall von U 236 in Krypton-89 (Kr 89) und Barium-144 (Ba 144) sowie drei schnelle Neutronen. Bekannt sind jedoch Spaltprodukte wie Cäsium-137 (Cs 137), Jod-131 (J 131) oder Strontium-90 (Sr 90). Die bei der Kernspaltung entstehenden Spaltprodukte und Neutronen besitzen in Summe eine etwas geringere Masse als das Ausgangsprodukt U 235. Dieser „Massendefekt“ (Δm) liefert entsprechend der bekannten Einstein'schen Formel $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$ (mit c als Lichtgeschwindigkeit) die Energie ΔE , die durch die Spaltung freigesetzt wird. Diese entsteht, da die Spaltprodukte bei ihrer Entstehung eine hohe Geschwindigkeit, also eine hohe kinetische Energie

aufweisen, die sich durch Stöße mit anderen Atomen in Wärme umwandelt.

Die bei der Spaltung entstehenden „schnellen“ Neutronen werden im Reaktor durch einen sogenannten Moderator (Wasser oder Graphit) auf eine geringe Geschwindigkeit abgebremst und können dann als „thermische Neutronen“ zu weiteren Kernspaltungen führen. Die bei der Spaltung und dem Abbremsen der Spaltprodukte frei werdende Wärme wird dann an ein Kühlmittel abgegeben. Diese Wärme kann nun auf verschiedenen Wegen, sei es als Prozesswärme oder zur Stromerzeugung, genutzt werden.

23



1945

Atombombenabwürfe
auf Hiroshima
und Nagasaki am
6. und 9. August.

1949

Am 24. August tritt der
Vertrag zur „NATO“
(North Atlantic Treaty
Organization)
in Kraft.



Die Weiterentwicklung

In den Jahren nach der ersten Kernspaltung war die Forschung auf dem Gebiet der Kernenergie hauptsächlich auf die militärische Nutzung fokussiert. Doch gab es auch immer Bestrebungen zur friedlichen Nutzung der Kernenergie. Wissenschaftler hatten erkannt, dass eine solche gewaltige Energiemenge, wie sie bei der Kernspaltung frei wird, auch helfen könnte, den immer größer werdenden Energiehunger in der Welt zu stillen. Am 27. Juni 1954 ging das erste Atomkraftwerk mit Stromerzeugung in Obninsk in der Nähe von Moskau in Betrieb:

ein Reaktor mit circa 20 MW thermischer und 5 MW elektrischer Leistung. Der Leistungsbetrieb der Anlage dauerte zwar nur fünf Jahre, doch war sie zu Forschungszwecken bis ins Jahr 2002 in Betrieb. Seither wurden weltweit mehr als 440 Kernreaktoren der verschiedensten Bauarten in Betrieb genommen.

Dominiert wird der heutige, weltweite Einsatz der Kernenergie von den großen Druck- und Siedewasserreaktoren (mit Wasser als Moderator und Kühlmedium). Der Ur-Typ des Kernreaktors ist allerdings der gasgekühlte Reaktor, in dem Moderator (Graphit) und Kühlmittel (Gas) voneinander getrennt sind. Die erste kommerzielle Anlage dieser Art, der britische Calder Hall Reaktor (Sellafield, Nordwestengland 1956), war mit einer Kohlendioxid-Kühlung (CO_2) und einem großvolumigen Core ausgestattet und wurde erst im Jahr 2003 abgeschaltet. Als Kernbrennstoff diente hier metallisches Natur-Uran in Hüllröhren aus einer speziellen Magnesium-Legierung (Magneox). Bald darauf folgte in Großbritannien



Bau der Calder Hall Reaktoranlage, GB 1956

Durch Bundespräsident Theodor Heuss wird die neue Nationalhymne (Deutschlandlied, nur die dritte Strophe) nach einer Melodie von Joseph Haydn vorgestellt.

Die „ARD“ geht als deutsches Fernsehen mit zwei Stunden täglich auf Sendung.

1952



Das Interesse aus Politik und Wirtschaft an einem Projekt wie der AVR war groß.

die zweite Generation dieser Reaktoren, der ebenfalls mit CO_2 gekühlte „Advanced Gas-cooled Reactor“ (AGR). Dieser war mit Edelstahl-

brennstäben ausgestattet, die angereichertes Uran in mineralischer Form enthielten. Der AGR-Reaktor war gegenüber dem Vorgänger gekennzeichnet durch einen kleineren Reaktorkern mit höherer Energiedichte, einem höheren Abbrand der Brennelemente und einer höheren Dampftemperatur. All dies steigerte die Wirtschaftlichkeit.

In den USA und in Deutschland ging man mit der Entwicklung von Hochtemperaturreaktoren mit Helium-Kühlung noch einen Schritt weiter. Während man in den USA mit dem Peach Bottom Reaktor auf blockförmige Brennelemente setzte, verfolgte man in Deutschland mit dem Hochtemperaturreaktor der AVR GmbH in Jülich (im Folgenden kurz: der AVR-Reaktor) das Prinzip kugelförmiger Brennelemente.

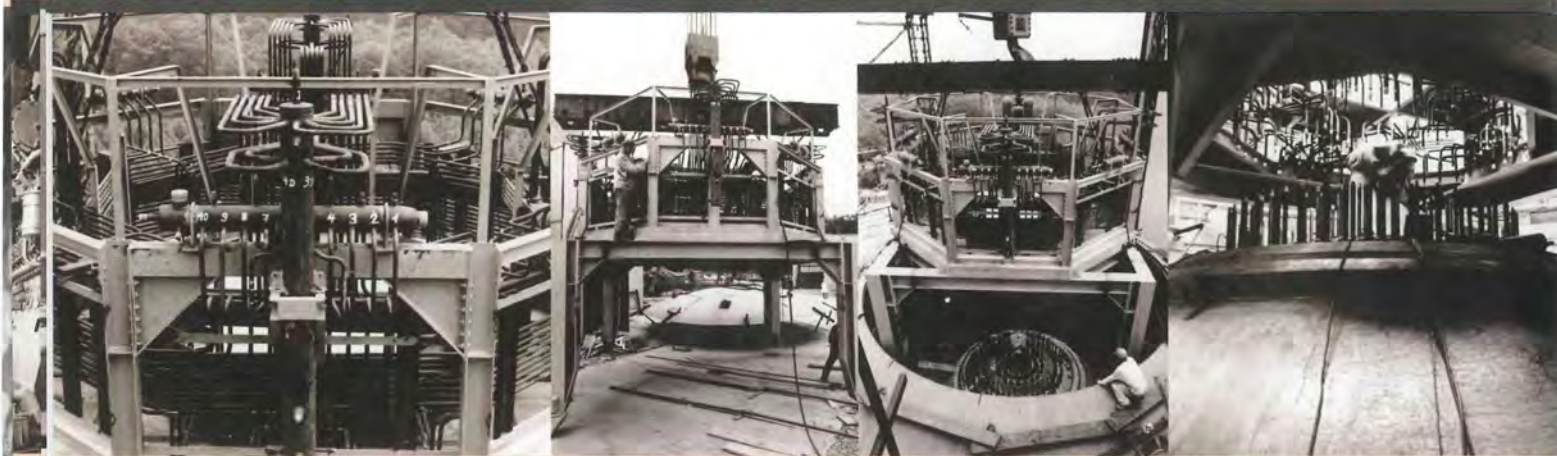
Spaltbares Uran-235 ($\text{U } 235$) kommt in der Natur nur zu 0,7 % vor und wird für den Einsatz in Kernkraftwerken üblicherweise auf ~4,5 % angereichert. Das mit 99,3 % um ein Vielfaches häufiger vorhandene Uranisotop $\text{U } 238$ ist in „herkömmlichen“ Kernkraftwerken nicht spaltbar. Unter Zuhilfenahme schneller Neutronen kann aus ihm jedoch über den Umweg $\text{U } 239$ und Neptunium-239 ($\text{Np } 239$) spaltbares Plutonium-239 ($\text{Pu } 239$) „erbrütet“ werden. Die Nutzung der schnellen Neutronen in Verbindung mit der Produktion von Kernbrennstoff – dem Brüten – gibt solchen Kernkraftwerken den Namen:

Schneller Brüter

Am 29. Mai wird der Mount Everest (8.848 m) von Edmund Hillary und Tenzing Norgay zum erstenmal erfolgreich bestiegen.

1953

Dwight D. Eisenhower spricht als amerikanischer Präsident am 8. Dezember über seine Vorstellung einer friedlichen Nutzung der Kernenergie („ATOMS FOR PEACE“).



Nochmals ein paar Bilder aus der Bauphase: Montage und Einbau des Sammler-traggerüstes

Der Wegbereiter

Der geistige Vater des AVR-Reaktors, *Prof. Dr. Rudolf Schulten*, wurde am 18. August 1923 in Oeding geboren und studierte von 1946 bis 1950

Physik und Mathematik an der Universität Bonn. 1953 promovierte er an der Universität Göttingen bei *Werner Heisenberg* — Nobelpreis-träger und besonders bekannt durch die „Heisenberg’sche Unschärferela-tion“ der Quantentheorie — und war bis 1955 als Assistent bei ihm und dem Kernphysiker *Karl Wirtz* am Göttinger Max-Planck-Institut tätig.

Von 1956 bis 1964 stellte er dem Konsortium BBC/Krupp Reaktorbau GmbH sein Wissen zur Verfügung. Dieses Konsortium war mit der Kon-struktion des Atomversuchsreaktors in Jülich beauftragt worden.

Professor Schulten war in vielfältiger Weise engagiert. So war er in den Jahren 1964 bis 1989 Direktor am Institut für Reaktorentwicklung der Kernforschungsanlage Jülich und

An dieser Stelle ist es Zeit,
des Mannes zu gedenken,
dessen grundlegende Ideen
Basis dieses Reaktors sind;
des Mannes, ohne den es
den AVR-Reaktor nicht gäbe:



Prof. Dr. Rudolf Schulten

Quelle Foto:
Forschungszentrum Jülich GmbH

Am 4. Oktober eröffnet die Sowjetunion mit dem Start des ersten künstlichen Erdsatelliten („Sputnik1“) das Zeitalter der Raumfahrt.

1957



Zur Weltausstellung in Brüssel wird das ATOMIUM erbaut.

1958



Prof. Dr. Werner Heisenberg

(* 5. Dezember 1901 in Würzburg; † 1. Februar 1976 in München) war einer der bedeutendsten Physiker des 20. Jahrhunderts

Aachen. Während dieser Zeit hatte er mehrmals den Vorsitz des wissenschaftlich-technischen Rates der Kernforschungsanlage Jülich inne und war Mitglied des Aufsichtsrates der Thyssen Industrie AG.

Aufgrund seiner besonderen Leistungen wurde er mit dem Otto-Hahn-Preis der Stadt Frankfurt und dem Werner-von-Siemens-Ring ausgezeichnet. Außerdem wurde ihm im Jahr 1987 das große Bundesverdienstkreuz verliehen.

Professor Schulten verstarb am 30. April 1996 in Aachen.

zeitgleich Professor für Reaktortechnik an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) in

Er wird zu Recht als „Vater“ des heutigen Kugelhaufen-Hochtemperaturreaktors angesehen.

27



Fertigstellung von Dampferzeuger und Sammlertraggerüst sowie festliche Einweihung durch Herrn Schweiger, seinerzeit Betriebsleiter der AVR GmbH



Erstmals überquert ein Luftkissenboot vom Typ „Hovercraft“ den Ärmelkanal.

1959

Am 29. Dezember hält der Physiker Richard P. Feynman eine Rede, welche zum ersten Mal die Möglichkeiten der Nanotechnologie andeutet.

Gründung

Die Geschichte der Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor (AVR) GmbH beginnt bereits einige Jahre vor ihrem eigentlichen „Geburtstag“, dem 3. Februar 1959. Maßgeblichen Anteil daran hatten vor allem die *Herren Seidel*, ehemaliges Vorstandsmitglied der Deutschen Babcock und *Herr Dr. Cautius*, seinerzeit Mitarbeiter der Stadtwerke Düsseldorf und späterer Geschäftsführer der AVR GmbH. Während eines Gedankenaustausches bot *Herr Seidel* an, den Stadtwerken Düsseldorf ein Angebot über den Bau eines Versuchskernkraftwerkes, basierend auf der Version des britischen Calder Hall Reaktors, zu unterbreiten.

Dr. Cautius war bekannt als Mann, der technischen Neuerungen ge-

Langjähriger Geschäftsführer, Förderer und Mentor der AVR



Dr. Chrysanth Marnet

Quelle Foto:
Stadtwerke Düsseldorf AG

genüber stets aufgeschlossen war. Auch im weiteren Verlauf sorgte er immer wieder hartnäckig dafür, das Projekt „AVR“ voranzutreiben. *Dr. Chrysanth Marnet*, der später *Dr. Cautius* als Geschäftsführer der AVR GmbH nachfolgte, war als Doktorand bei den Stadtwerken Düsseldorf beschäftigt.

Neben der **Wasserkraft**, die als nahezu wettbewerbsfähig eingestuft werden kann, gelten nur noch **solarthermische Kraftwerke** in klimatisch bevorzugten Regionen der Erde und **Blockheizkraftwerke auf Basis von Biomasse** als nahezu marktreif.

Geothermie und **Biomasse** besitzen theoretisch eine hohe Verfügbarkeit. Die zur Energiegewinnung verfügbare Biomasse ist allerdings beschränkt. Die **Geothermie** ist zudem mit hohen Investitionskosten verbunden.



Zum 1. Januar tritt in Deutschland das Atomgesetz zur friedlichen Kernenergieverwendung in Kraft.

Die Antibabypille „Enovid“ kommt auf den amerikanischen Markt und erfreut sich schnell größter Beliebtheit.

1960

Prof. Dr. Schulten (links) im Gespräch mit Dr. Cautius

Er wurde unverzüglich mit der Übersetzung des damals als „Bibel der Reaktortheorie“ geltenden Buches „The Elements of Nuclear Reactor Theory“ von *S. Glasstone* und *M. C. Edlund* ins Deutsche beauftragt. Mit dem „Haus der Technik“ in Essen und der „Technischen Akademie“ in Wuppertal wurden dann Partner gefunden, die den Mitarbeitern die Theorie der Reaktortechnik näherbrachten.

Zu diesem Zeitpunkt wurde *Dr. Cautius* von der Firma BBC mitgeteilt, dass diese gerade einen jungen Atomphysiker, *Dr. Rudolf Schulten*, für ihre Dienste gewinnen konnte.

Er entwickelte die Idee eines für die damalige Zeit sensationellen Reaktortyps:

Bei **Windkraft** und **Fotovoltaik** führt die geringe Energiedichte zu einem relativ hohen Materialaufwand und entsprechend hohen Investkosten in Bezug auf die erzeugte Energie.

Die schwankende Verfügbarkeit macht den Aufbau einer verlässlichen Infrastruktur, bestehend aus Anlagen zur Energiespeicherung und konventionellen Kraftwerken, notwendig. Ein entsprechender Ausbau der Netzstruktur muss in den betriebs- und volkswirtschaftlichen Kalkulationen berücksichtigt werden.



Ein mit Helium gekühlter Hochtemperaturreaktor mit kugelförmigen Brennelementen. Die etwa tennisballgroßen, kugelförmigen Brennelemente, in loser Schüttung als Kugelhaufen, sollten eine homogene Temperaturverteilung im Core gewährleisten. Nur so waren mittlere Kühlgastemperaturen von etwa 950 °C und Brennelementtemperaturen von ungefähr 1.000 °C möglich.

Diese Temperaturen steigerten einerseits den Wirkungsgrad und somit die Wirtschaftlichkeit, andererseits war damit auch der Weg für weitere Einsatzmöglichkeiten im Bereich der Prozesswärme frei.

Die Kugelform der Brennelemente ermöglichte darüber hinaus eine

Theodore H. Maiman, US-amerikanischer Physiker, konstruiert als erster ein Gerät, mit dem die Lasertechnik praktisch angewendet werden kann.

1961

J.F. Kennedy wird am 20. Januar der 35. Präsident der Vereinigten Staaten von Amerika. Er ist bis dato der jüngste US-Präsident.



Detailansicht des 30 kV-Transformators

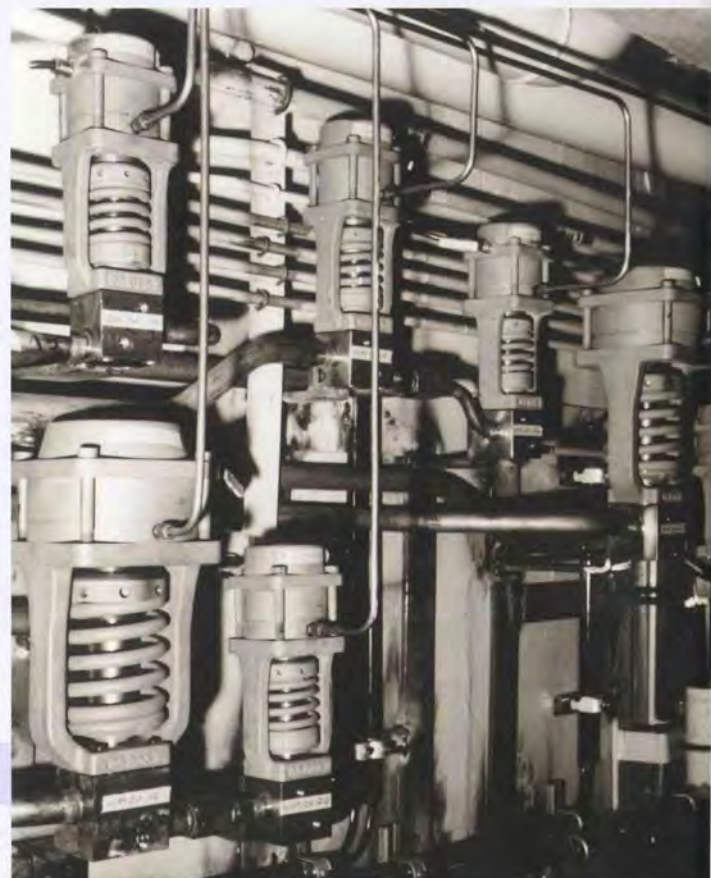
Zusammenschluss von BBC und Krupp, ein Konstruktionsauftrag für die Errichtung eines Versuchskernkraftwerkes, basierend auf den Vorgaben von *Prof. Dr. Rudolf Schulten*, erteilt.

Die 1950er Jahre waren bestimmt von einer globalen Aufbruchsstimmung, auch in Sachen Kernenergie. Immer mehr Industrienationen versuchten sich auf dem Gebiet der friedlichen Kernforschung und der Entwicklung von Kernreaktoren. Ziel war die Nutzbarmachung einer unerschöpflich erscheinenden,

30

kontinuierliche Be- und Entladung des Reaktors, ähnlich einem Kohleofen, der von oben befüllt und an dem unten die Asche abgezogen wird.

Zur technischen Umsetzung dieses Konzeptes gelang es *Dr. Cautius*, elf Gesellschafter aus lokalen und regionalen Versorgungsunternehmen zu gewinnen. Diese hatten sich Mitte der 1950er Jahre zur „Studiengesellschaft für verbrauchsnahe Stromerzeugung“ (SVS) zusammengeschlossen. Im Jahr 1956 wurde dann die „Arbeitsgemeinschaft deutscher Energieversorgungsunternehmen zur Vorbereitung der Errichtung eines Leistungs-Versuchs-Reaktors e.V.“ (AVR e.V.) gegründet und dem Konsortium BBK, einem



Ventilstation im Schutzbehälter

1961

Am 5. Mai startet der zweite bemannte Flug in der Geschichte der Raumfahrt, die Mission Mercury-Redstone 3 mit Alan Shepard Jr. an Bord. Er ist der erste Amerikaner im Weltall. Der Flug dauert 15 Minuten und 22 Sekunden und endet sicher auf dem Atlantik.



Turbo-Satz mit Generator im Maschinenhaus

sauberen Energiequelle. Auch in Deutschland wurde man aktiv. Nach dem Beschluss zum Bau eines Kernforschungszentrums in Karlsruhe initiierte der damalige Staatssekretär im nordrhein-westfälischen Wirtschaftsministerium, *Prof. Dr. Leo Brand*, den Bau eines ebensolchen Zentrums in Jülich. Für diese Atomforschungsanlage [1960 umbenannt in „Kernforschungsanlage Jülich des Landes Nordrhein-Westfalen e.V.“ (KFA), seit 1990: „Forschungszentrum Jülich GmbH“ (FZJ)] waren zwei Forschungsreaktoren englischer Bauart vorgesehen:



ein Leichtwasserreaktor mit 5 MW („MERLIN“) und ein Schwerwasserreaktor mit 10 MW („DIDO“) thermischer Leistung. Auf Wunsch des Landes Nordrhein-Westfalen wurde für die Errichtung der Forschungsreaktoren die Bauherreneigenschaft von den Stadtwerken Düsseldorf übernommen. In diesem Zusammenhang beschloss man, der AVR e.V. in direkter Nachbarschaft zur damaligen Atomforschungsanlage ein Areal zur Realisierung ihres Kugelhaufen-Versuchsreaktors zu überlassen.

In der Zwischenzeit wurde vom Konsortium BBK ein Angebot zur Errichtung eines Versuchskernkraftwerkes mit 46 MW thermischer Lei-

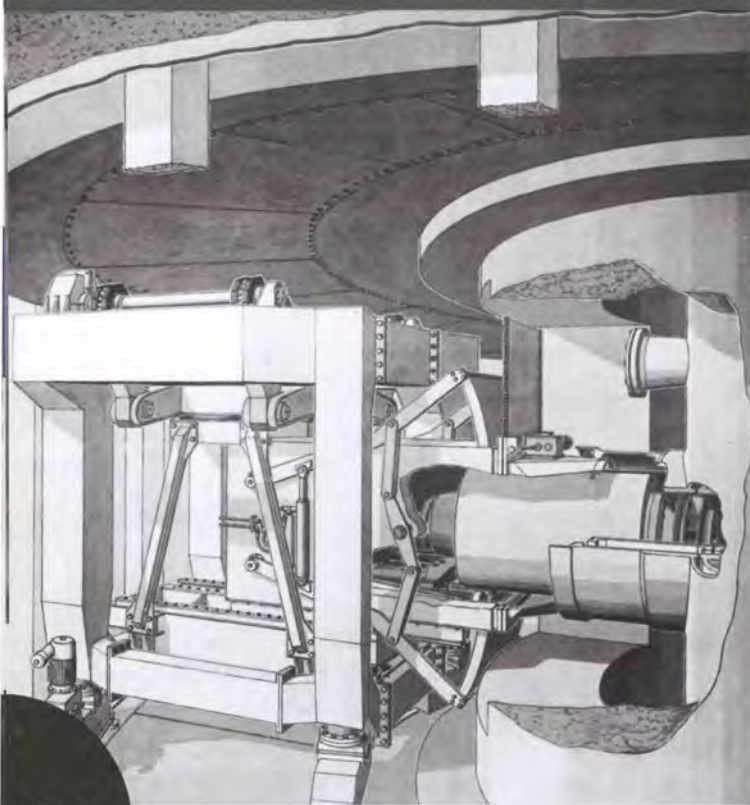


Notstromdieselaggregate im Maschinenhaus

Das erste (west-)
deutsche Kernkraftwerk
„Kahl“ geht ans Netz.

Der Bau der Berliner Mauer
zwischen dem Westteil und
dem Ostteil der Stadt beginnt.

1961



Skizze der Ausbaurichtung für die Kühlgasgebläse

Wieder war es dem Einsatz von *Dr. Cautius* zu verdanken, dass die Finanzierung der für damalige Verhältnisse doch ansehnlichen Summe gesichert werden konnte.

Er trat an die Mitglieder der AVR e.V. heran und konnte diese dazu bewegen, sich an einer Bau-GmbH zur Errichtung des Reaktors mit insgesamt 20 Millionen DM zu beteiligen. Mit Unterstützung von *Herrn Engel*, dem damaligen Generaldirektor der Stadtwerke Düsseldorf und von *Herrn Rohe* von der Elektromark Hagen wurde das Atomministerium in Bonn unter der Leitung von *Dr. Franz-Josef Strauß* überzeugt, die restlichen 20 Millionen DM zu übernehmen.

Die gesicherte Finanzierung des Projektes im Rücken erfolgte am 3. Februar 1959 die Gründung der „Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor GmbH“ mit dem Ziel „Errichtung und Betrieb eines Hochtemperaturreaktors“.

Am 13. September 1959 wurde dem Firmenkonsortium BBK der

stung (MW_{th}), basierend auf dem Schulden'schen Kugelhaufenreaktor, erstellt.

Die geplanten Kosten für den Bau dieses Versuchskernkraftwerkes beliefen sich auf 40 Millionen DM.

Es wird davon ausgegangen, dass die Förderhöhepunkte beim Erdöl, dem weltweit wichtigsten Energieträger, im ersten Viertel und beim Erdgas zum Ende des zweiten Viertels unseres Jahrhunderts überschritten werden. Die Reichweite der Kohlereserven beträgt 150 bis 200 Jahre.

Die weltweiten Öl- und Gasreserven befinden sich zunehmend in politisch instabilen Regionen, wodurch Risiken für die Versorgungssicherheit entstehen. Mit abnehmenden Ölreserven steigt der Ölpreis. Die Öl- und Gaspreiskopplung hat Verteuerungen von Elektrizität und Wärme zur Folge.

1961

Im September wird
in der Schweiz der
World Wildlife Fund
(WWF) gegründet.



Errichtungsauftrag erteilt. Zuvor waren jedoch noch diverse Hürden zu nehmen. Unter amerikanischer Aufsicht stehend erlaubte die damalige Gesetzeslage nur dann eine Nutzung der Kernenergie, wenn gemäß Alliiertem Kontrollratsgesetz zuvor eine Zustimmung zur Nutzung von Kernbrennstoffen vorlag.

Diese Zustimmung wurde jedoch

vom Erlass des Deutschen Atomgesetzes im Jahr 1960 überholt. Erst Anfang des folgenden Jahres war die Gesetzeslage eindeutig und der Errichtungsantrag konnte eingereicht werden.

Ein Jahr nach dem ersten Spatenstich im Oktober 1960 begann am 9. November 1961 mit der Grundsteinlegung der Bau der Anlage.

Skizze der AVR-Anlage aus den Anfangsjahren

33



Das Beruhigungsmedikament „Contergan“ wird vom Markt genommen, weil es zu Schädigungen einer großen Zahl von Ungeborenen und zu Missbildungen bei zahlreichen Neugeborenen geführt hat.

1961

„Der Stumme Frühling“, ein Sachbuch der US-amerikanischen Biologin R. Carson erscheint, es gilt als Ausgangspunkt der US-amerikanischen Umweltbewegung.

1962



Montage der Wasserhochbehältersegmente

Einrichtung handelt, in der eine Vielzahl neuer Techniken realisiert werden soll.

Die beteiligten Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker wurden vor immer neue Aufgaben gestellt. Schon für die Gebäudefundamente waren erste Änderungen erforderlich. Auf dem Gebiet des Stettericher Forstes, auf dem die Versuchsanlage errichtet werden sollte, wurden langfristig wegen der Nähe zum damals schon geplanten Braunkohlentagebau der Firma Rheinbraun bergbaubedingte Schäden bei Fortschreiten des Tagebaus befürchtet. Die Fundamente mussten daher entsprechend ausgelegt werden.

Bau und Übergabe

Der Bau eines jeden Prototyps wird naturgemäß von unvorhersehbaren Hindernissen begleitet. Besonders dann, wenn es sich, wie im Fall des AVR-Reaktors, um eine großtechnische

Bau des inneren Reaktorbehälters



Die „Kuba-Krise“ bringt die Welt an den Rand eines dritten Weltkrieges.

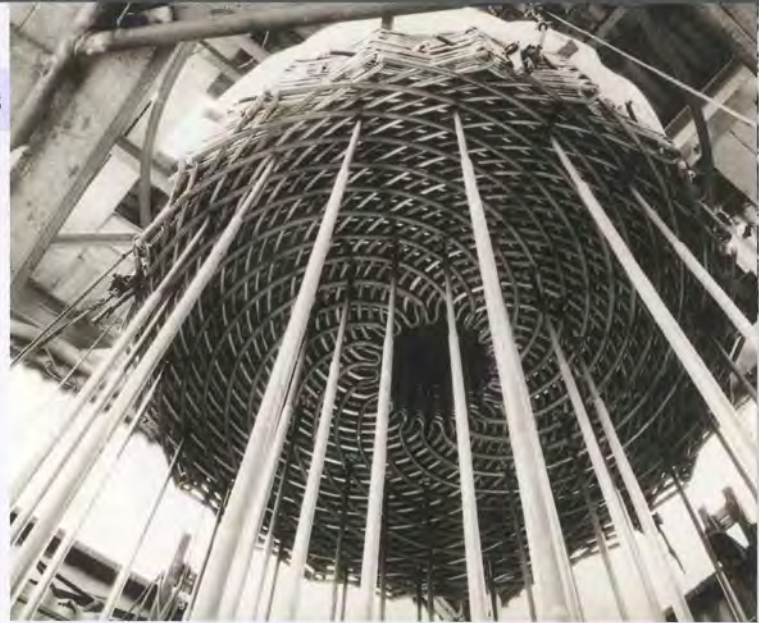
1962

Bau des Dampferzeugers

Auf der technischen Seite stellte die Fertigung des Dampferzeugers eine der ersten, großen Herausforderungen dar. Der Dampferzeuger besteht aus einem komplexen Gebilde von evolventenförmig verlaufenden und übereinander gegenläufig angeordneten Rohrleitungen. Insgesamt wurden so Stahlrohrleitungen mit einer Fläche von 1.762 m^2 in einem Zylinder mit den Außenmaßen von nur 5,5 m Höhe und 3,5 m Durchmesser verarbeitet. Fast fertiggestellt, wurden bei Röntgenaufnahmen Lochansätze in den Schweißnähten entdeckt. Dies führte zur Verschrottung des bereits bestehenden Dampferzeugers und zum Bau eines neuen.

Am 22. Januar unterzeichnen Charles de Gaulle und Konrad Adenauer den „Élysée-Vertrag“ zur deutsch-französischen Aussöhnung.

1963



Nicht nur beim Dampferzeuger, auch bei der Fertigung des inneren Reaktorbehälters lag die Schwierigkeit in den zahlreichen Schweißnähten. Nach langen Diskussionen mit Behörde und Gutachtern konnte letztlich durch geeignete Maßnahmen sichergestellt werden, dass die Belastung des inneren Behälters jederzeit im Rahmen der zulässigen Festigkeitswerte blieb.

Doch die wohl innovativste Aufgabe war die Fertigung der Brennelemente. Für die im Graphit der Brennelementkugeln eingebetteten „coated particles“ (= beschichtete Teilchen, die den Kernbrennstoff enthalten), musste ein industriell einsetzbares und finanziell vertret-

35

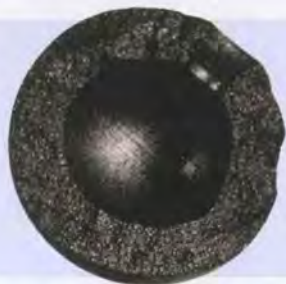
Gebläseflansch am inneren Reaktorbehälter



Der erste Bundeskanzler der Bundesrepublik Deutschland, Konrad Adenauer, tritt zurück. Sein Nachfolger wird Wirtschaftsminister Ludwig Erhard.

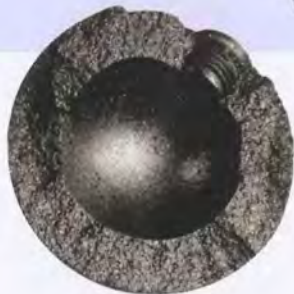
1963

Am 22. November fällt der US-amerikanische Präsident John F. Kennedy in Dallas/Texas einem Attentat zum Opfer.



Aufgebrochene Außenhülle eines Brennelementes mit Schraubstopfen

Die kugelförmige Füllung besteht aus einer Mischung von Brennstoffteilchen und Graphit. Dies war der erste Typ in einer langen Reihe von Verbesserungen.



bares Verfahren gefunden werden. Die Beschichtung der Teilchen ist von zentraler Bedeutung für die Sicherheit des Reaktorbetriebes, denn sie verhindert die Freisetzung der bei der Kernspaltung entstehenden radioaktiven Spaltprodukte aus den Brennelementen in den Primärkreis des Reaktors.

In Zusammenarbeit mit Amerikanern und Engländern wurde schließlich eine Lösung gefunden:

Die sogenannten coated particles wurden zeitgleich zum Bau des AVR-Reaktors als Brennelemente für gasgekühlte Reaktoren in Winfrith/England und Peach Bottom/USA entwickelt. Im Unterschied zum AVR-Reaktor sind diese Brennelemente nicht kugelförmig, sondern block-

bzw. stabförmig ausgelegt. Allen gemeinsam war die Idee, die coated particles aus Uran-Karbid oder Uran-Oxid mit einer dichten Kohlenstoffschicht zu versehen. 1963 war der Zeitpunkt für eine industrielle Massenfertigung erreicht.

Nachdem zwischenstaatliche Hindernisse durch ein sogenanntes „Memorandum of Understanding“ ausgeräumt worden waren, konnte der AVR-Reaktor in Jülich – über EURATOM als Kontrollbehörde – aus den USA hoch angereichertes Uran in Form der neu entwickelten coated particles erhalten.

Doch mit der Herstellung der Brennstoffpartikel war das Problem der Brennelement-Fertigung nur zur Hälfte gelöst. Die Entwicklung des kugelförmigen Brennelementes selbst stand noch aus. Während über den prinzipiellen Aufbau Einigkeit herrschte – eine Kugel mit einer außen liegenden, brennstofffreien

1964

Mit der „Otto Hahn“ läuft
das erste atomgetriebene
Frachtschiff Europas
vom Stapel.



Stahlkonstruktion Reaktorgebäudedach

Graphitschale und einem Hohlraum zur Aufnahme des Graphitpulvers/ Brennelementgemisches — standen bei der Herstellung zwei unterschiedliche Konstruktionen zur Auswahl:

Dem Konzept einer Hohlkugel mit einem einschraubbaren Stopfen der Firma Union Carbide stand die Idee zweier miteinander verschraubbarer Halbkugeln der Firma General Atomic gegenüber. Für die erste Brennelementbeladung entschied man sich für das System „Hohlkugeln mit Stopfen“, in die die Brennstoffteilchen mit Graphitpulver vermischt eingepresst werden.

Nach der Abkehr vom Konzept der Hohlkugel wurden in den Folgejahren gepresste Brennelement-Vollkugeln eingesetzt, deren mechanische, chemische und thermische Beständigkeit im Zuge intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeiten fortlaufend verbessert wurde.

Die Aufzählung der technischen Herausforderungen ließe sich noch lange fortsetzen: Dichtigkeitsprobleme



bei den Ventilen, welche unter hohem Druck und hoher Temperatur ihre Funktion erfüllen mussten, unbekannte Reibungskoeffizienten metallischer Werkstoffpaarungen unter einer Heliumatmosphäre, niedrigere Durchschlagswerte elektrischer Spannungen in trockenem Helium und viele andere Aufgabenstellungen waren zu bewältigen. Doch alle wurden nach und nach von den beteiligten Wissenschaftlern und Ingenieuren gelöst.

Laut
B M W i
reichen die
Uranreserven der
Kostenkategorien

< 80 US\$/kg 54 Jahre,

80 bis 130 US\$/kg 13 Jahre
und

> 130 US\$/kg etwa 150 Jahre.

Unberücksichtigt sind dabei die nicht konventionellen Uranreserven, wie zum Beispiel Gewinnung aus Meerwasser, die zukünftig trotz hoher Gewinnungskosten wettbewerbsfähig werden könnten. Im Gegensatz zu Erdöl und Erdgas befinden sich die wichtigsten Uranexporteure in politisch stabilen OECD-Staaten.

37

Verfügbarkeit

Kernenergie

Die Programmiersprache BASIC (Beginners All-Purpose Symbolic Instruction Code) wird erfunden.

1964

Die Beatles geben auf ihrer US-Tournee ihr letztes großes Konzert im Candlestick Park in San Francisco.

1966



Befüllen der ersten Brennelemente am 14. Juli 1966

38

Neben den technischen gab es jedoch auch Aufgaben personeller Art.

Die Errichtung des AVR-Reaktor fiel in die Zeit des Wirtschaftswunders der Bundesrepublik Deutschland. Geringe Arbeitslosenzahlen und annähernde Vollbeschäftigung boten Arbeitnehmerinnen und Arbeit-

nehmern die Aussicht, ihr gesamtes Arbeitsleben in einer Anstellung zu verbringen. So war es nicht gerade einfach, fachkundiges Personal für ein zeitlich befristetes Projekt — der Betrieb des AVR-Reaktors war anfangs auf drei Jahre begrenzt — zu gewinnen. Doch auch diese Personalfrage wurde wieder durch den engagierten und weitsichtigen Einsatz von *Dr. Werner Cautius* gelöst.

Mit Beendigung der Bauarbeiten im Jahr 1966 war das nächste Ziel klar definiert: die Inbetriebnahme des Reaktors, gleichbedeutend mit der ersten Kritikalität des Reaktorkerns.

Diese Phase wurde durch den Erbauer der Anlage, das Konsortium BBK, unter der Federführung von *Herrn Dr. Hantke* geleitet.



Vorratsschrank für die Brennelementkugeln

In Indien wird mit Indira Gandhi, der Tochter des 1964 verstorbenen Jawaharlal Nehru, zum ersten Mal eine Frau Ministerpräsident.



1966

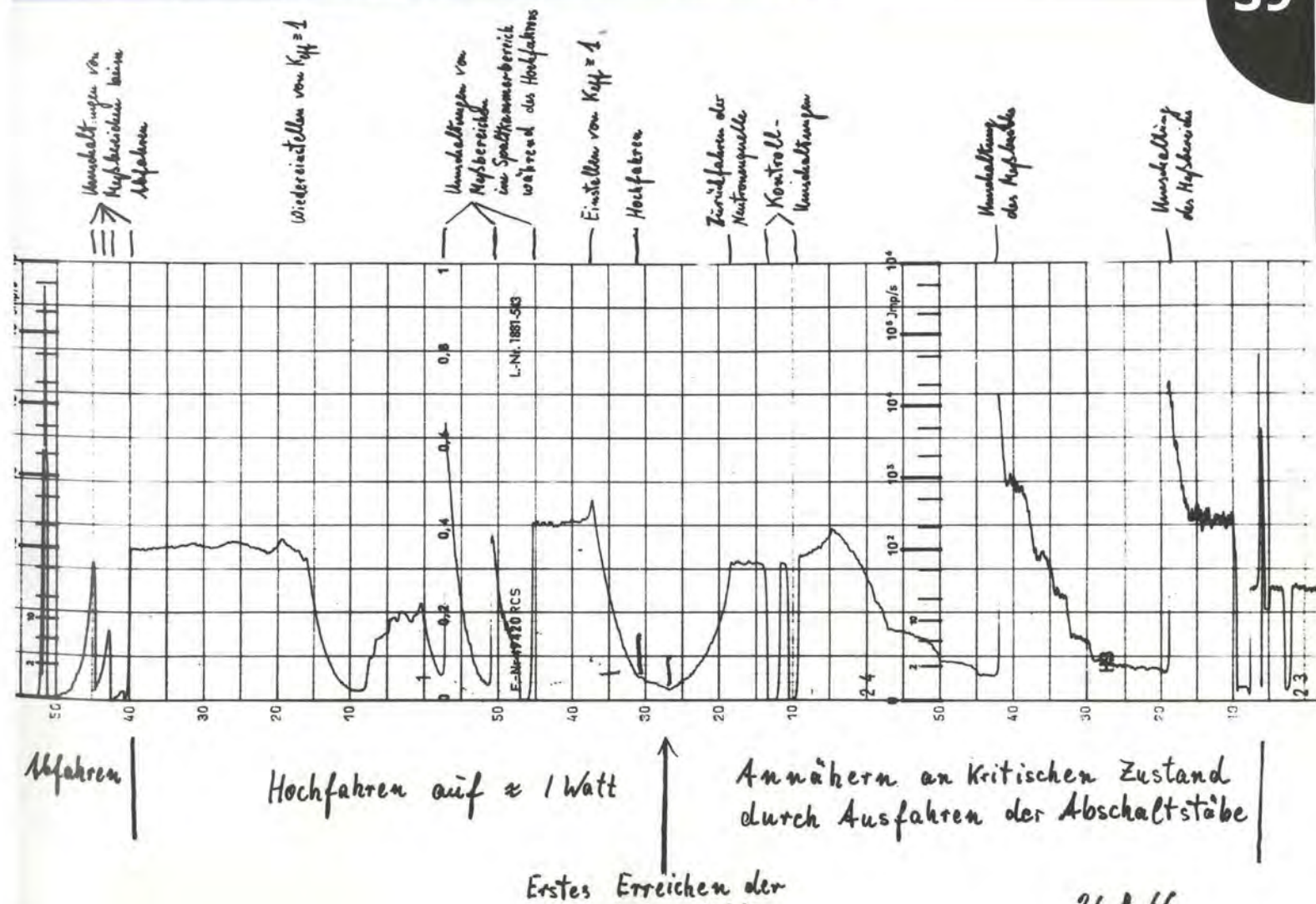
Im August war es dann so weit: Der Reaktor wurde das erste Mal kritisch. Ein Jahr später, im Dezember 1967, erfolgte die erste Strom-einspeisung in das öffentliche Netz. Mit dem Abschluss weiterer Tests war die Errichtung des AVR-Ver-suchskernkraftwerkes abgeschlos-sen. Folgerichtig übergab die BBK am 28. Mai 1969 die Verantwor-

tung für den Betrieb der Anlage an die AVR GmbH.

Die Entwicklung dieses rein deut-schen Nuklear-Projektes vom Bau-beginn im November 1961 bis zur ersten Kritikalität des Reaktors im August 1966 dauerte nicht einmal fünf Jahre.

Betriebsaufzeichnung der ersten Kritikalität vom 26. August 1966

39



1966

Im November wird in Frankreich das erste Gezeitenkraftwerk eingeweiht.

In der BRD beginnt das Farbfernseh-Zeitalter.

1967



Der AVR-Reaktor als Besichtigungsmagnet für Politiker und Staatschefs in den Jahren 1967-69: v.l.n.r.: der Schah von Persien, Minister Dr. Stoltenberg und Bundespräsident Dr. Dr. Heinemann

40

Als Kritikalität oder kritischer Zustand wird der Normalzustand eines Reaktors bezeichnet, bei dem eine sich selbst erhaltende Kettenreaktion abläuft.

In der heutigen Zeit sind wir daran gewöhnt, dass Computer uns Ergebnisse selbst zu den komplexesten Berechnungen in Sekundenbruchteilen liefern. Es gab in den 1960er Jahren noch keine CAD-Programme, die neben der 3D-Erstellung und -Visualisierung des Konstruktions-teils auch noch Finite-Elemente-

Berechnungen durchführen und die zugehörige Konstruktionszeichnung inklusive der Bemaßung quasi als Nebenprodukt auswerfen konnten. Zur Planungs- und Bauzeit des AVR-Reaktors musste noch von Hand und per Rechenschieber gerechnet werden. Die Richtigkeit der Ergebnisse unterlag jeweils der Verantwortung des Einzelnen, sei es Wissenschaftler, Konstrukteur oder technischer Zeichner.

Die Leistung aller Beteiligten an diesem Projekt kann deshalb nicht hoch genug eingeschätzt und gewürdigt werden.



Besuch des Bundespräsidenten Heinrich Lübke am 22. Oktober 1968

Der Führer der amerikanischen Bürgerrechtsbewegung, Dr. Martin Luther King, wird während einer Kundgebung erschossen.

1968

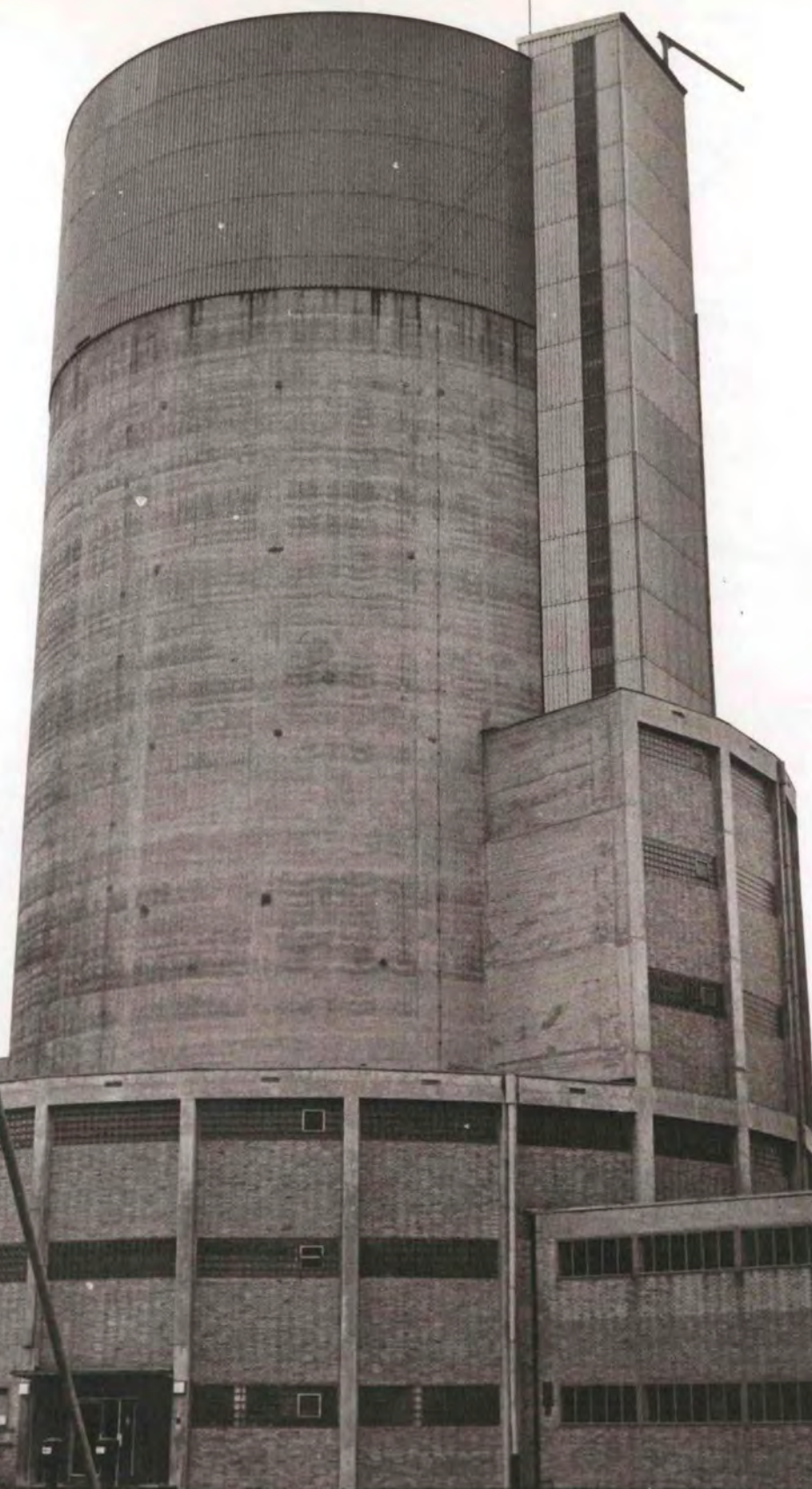
Die in Deutschland stattfindenden Protestbewegungen werden später unter dem Namen „68er-Bewegung“ bekannt.



41

AVR
ATOMVERSUCHSKRAFTWERK
Arbeitsgemeinschaft Versuchs-Reaktor AVR GmbH
Düsseldorf

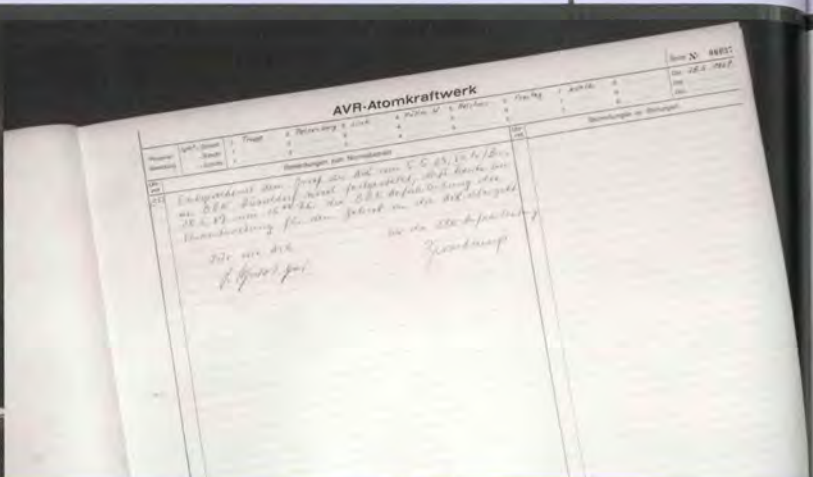
AVR
Betriebsleitung





Die US-amerikanischen Astronauten Michael Collins, Neil Armstrong und Edwin Aldrin schreiben mit der Mission APOLLO 11 Raumfahrtgeschichte. Neil Armstrong betritt als erster Mensch den Mond.

1969



Übergabe der Verantwortung von der BBK an die AVR GmbH am 28. Mai 1969

42

Betriebsjahre

Leistungsbetrieb

Mit der Übergabe der Verantwortung an die AVR GmbH im Mai 1969 begann die eigentliche Betriebsphase des „Versuchskernkraftwerkes“. Die Anlage sollte in erster Linie die Machbarkeit der neuen Technik demonstrieren. Aus dem für wenige Jahre vorgesehenen Leistungsbetrieb wurden dann doch mehr als 21 Jahre. Bis zur endgültigen Abschaltung Ende 1988 wurden zahlreiche Experimente der verschiedensten Art am AVR-Reaktor durchgeführt.

Wenn auch als Versuchsreaktor konzipiert, so lag doch der Schwerpunkt der ersten Betriebsjahre nicht in der Durchführung von wissenschaftlichen Experimenten; Priorität hatte vielmehr die Beweisführung, dass dieses Reaktorkonzept Energie in Form von Wärme und Strom sicher und zuverlässig bereitstellen kann. Schließlich sollte der Kugelhaufenreaktor inmitten von Ballungsräumen und Industriestandorten eingesetzt werden.

Daher konzentrierte sich das Inte-



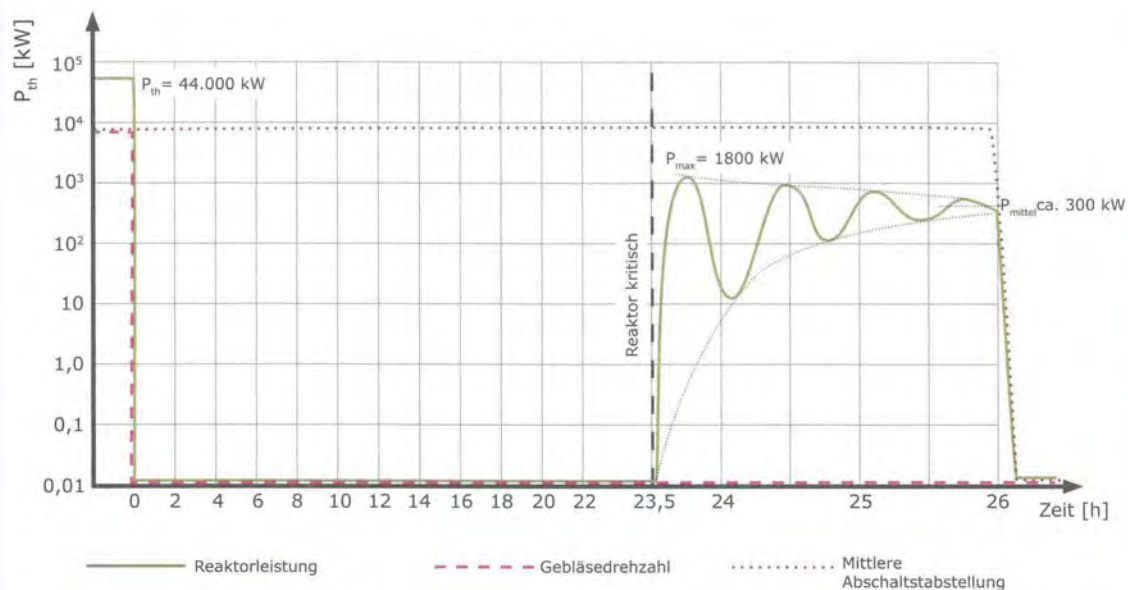
Anlagenüberwachung in der Warte

Intel Corporation stellt den ersten Mikroprozessor her, den „Intel 4004“.

1971

Die Olympischen Spiele in München werden durch die Geiselnahme und Ermordung israelischer Spieler überschattet.

1972



Vierstabsklemmversuch

P-Achse im logarithmischen Maßstab

resse in den ersten Jahren auf die nukleare Sicherheit und Verfügbarkeit der Anlage. Das auf der Basis physikalischer Gesetze zu erwartende hohe nukleare Sicherheitspotenzial des AVR-Reaktors wurde mit dem im September 1970 durchgeführten sogenannten „Vierstab-

klemmversuch“ eindrucksvoll bewiesen. Durch gezieltes Ausschalten der Kühlgasgebläse bei Volllastbetrieb (44 MW_{th}) wurde das Versagen der Kühleinrichtungen simuliert und gleichzeitig das Einfallen der Abschaltstäbe (Scram) steuerungstechnisch verhindert, also zusätzlich ein Verklemmen der Stäbe simuliert. In jedem Druck- oder Siedewasserreaktor ist der Verlust der Kühlung der GAU (= größter anzunehmender Unfall), für dessen Beherrschung aufwendige technische Maßnahmen erforderlich sind. Nicht so beim AVR-Reaktor:

Zunächst kam aufgrund des nega-

Die AVR-Anlage im Leistungsbetrieb

Der Grundlagenvertrag zwischen der DDR und der BRD zur Normalisierung der Beziehungen wird unterzeichnet.

1972

Die vier Siegermächte des 2. Weltkrieges verhandeln über die Besuchsregelungen und Zugangswege für West-Berlin. Die Verhandlungen münden im Transitabkommen zwischen der BRD und der DDR.

tiven Temperaturkoeffizienten die Kettenreaktion zum Erliegen, das heißt bei steigender Temperatur sank die Leistung und der Reaktor schaltete sich selbsttätig ab. Dies ist an sich noch nichts Besonderes und jedem Reaktor eigen.

Der GAU (**G**rößter **A**nzunehmender **U**nfall) ist ein statistisch unwahrscheinlicher, schwerer Störfall in einem Kernkraftwerk, für den die Anlage noch ausgelegt ist, ohne dass radioaktive Strahlung über die zulässigen Grenzwerte hinaus aus der Anlage austritt.

Beim AVR-Reaktor ist diese Eigenschaft jedoch so ausgeprägt, dass keine unzulässigen Temperaturen im Reaktorkern entstehen können. Die wesentlichen Gründe hierfür sind die geringe Leistungsdichte des AVR-Reaktors ($2,5 \text{ MW/m}^3$), die große Wärmekapazität der Graphiteinbauten und die gute Wärmeleitfähigkeit des Graphits.

Mit abnehmender Nachwärme (Abklingen der radioaktiven Spaltprodukte) sank dann die Core-Temperatur und der Reaktor wurde ohne eingefahrene Abschaltstäbe erst nach etwa einem Tag bei circa 0,6 % der Nennleistung wieder kritisch. Diese geringe Wärmeleistung von etwa 300 kW konnte vom Reaktor über rein natürliche Wärmeableitung und Wärmeabstrahlung problemlos ohne zusätzliche Hilfseinrichtungen abgeführt werden.

Dieser Versuch lieferte den Beweis, dass eine Kernschmelze somit naturgesetzlich ausgeschlossen war!

Nachdem diese inhärente, das heißt dem System innewohnende Si-

Theoretisch kann der gesamte globale Energiebedarf aus erneuerbaren Energien gedeckt werden.

Sie stellen per Definition eine unerschöpfliche Energiequelle dar.

Das Ausmaß der Nutzung erneuerbarer Energien wird nur limitiert durch die gesellschaftlich akzeptierte Bereitschaft, die Mehrkosten für die Gewinnung und Nutzung zu übernehmen und die sozialen, wirtschaftlichen, politischen sowie ökologischen Konsequenzen zu tragen.

Erneuerbare Energien

Die USA und die UdSSR unterzeichnen in Washington das Abkommen zur Verhinderung eines Atomkriegs (AVA) und vereinbaren eine Konsultationspflicht der Supermächte im Fall einer nuklearen Krise.

Begünstigt durch die erste Ölkrise wird die Kernenergie befürwortet.

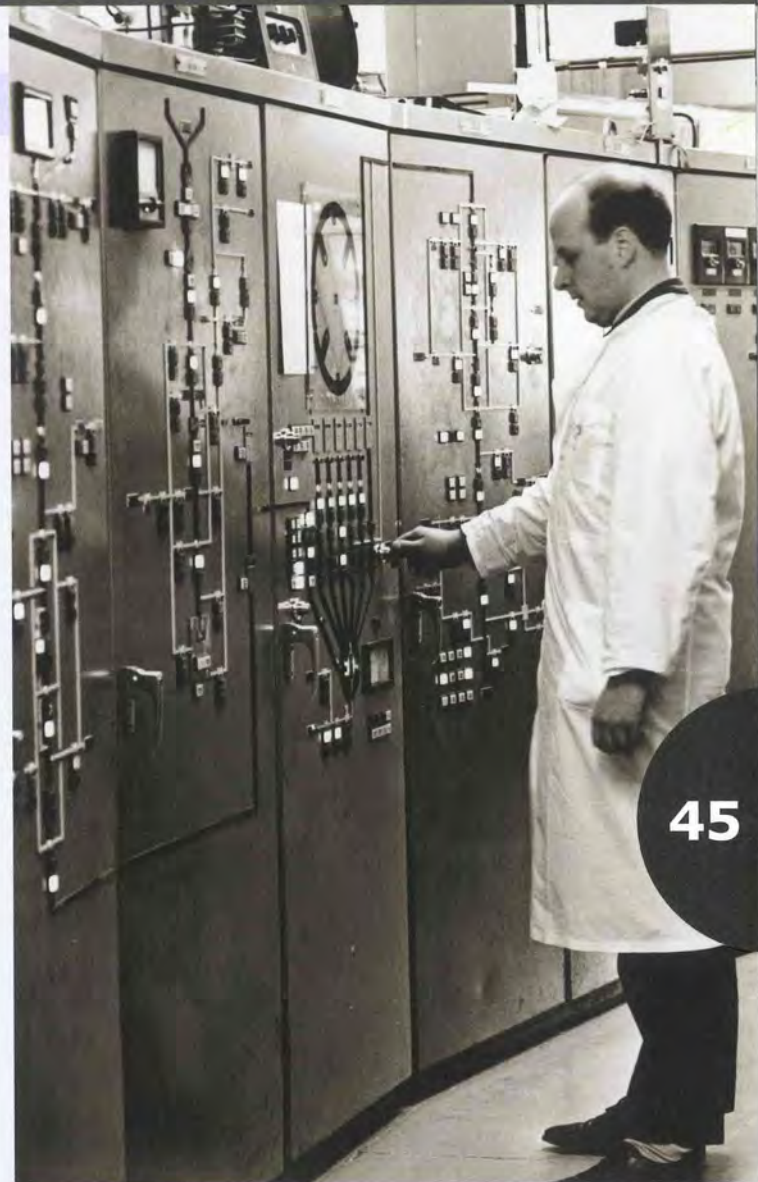
1973



Steuerung der Beschickungsanlage

cherheit bestätigt war, rückte, was die nukleare Sicherheit der Anlage betraf, die Beherrschung der Radioaktivität im Primärkreis in den Vordergrund des Reaktorbetriebes. Im Rahmen von Versuchen wurde während der gesamten Reaktorbetriebszeit die Primärkreisaktivität auf das genaueste untersucht und überwacht.

Nachdem die technischen Fragen beantwortet waren, widmete man sich verstärkt den ökonomischen Aspekten. Eine hohe Verfügbarkeit war gerade zu Beginn des Reaktorbetriebes von großem Interesse, um künftige Nutzer von der Wirtschaftlichkeit dieses Reaktortyps zu überzeugen. Trotz des völlig neuen Reaktorkonzeptes wurde beim AVR-Betrieb in den ersten acht Jahren eine Verfügbarkeit von durchschnittlich 81,3 % erreicht. Über die gesamte Reaktorbetriebszeit lag die mittlere Verfügbarkeit bei 67,2 %. Die damit verbundene elektrische Energieerzeugung belief sich auf insgesamt 1,63 Milliarden kWh. Damit konnten über den Zeitraum von 21 Jahren etwa 20.000 Haushalte



45

mit elektrischer Energie versorgt werden.

Als auch die Verfügbarkeit der Anlage erfolgreich demonstriert worden war, veränderte sich im Jahr 1973/74 die Zielstellung des AVR-Betriebes. Sie bestand nun im Sammeln von

Vor der möglicherweise zerstörenden Wirkung der Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) auf die Ozonschicht wird erstmalig gewarnt.

Unterzeichnung eines deutsch-amerikanischen Abkommens über Sicherheitsanforderungen bei Kernkraftwerken.

1974

1975



Überholungsarbeiten an der Gebläseölversorgung

mit einer mittleren Kühlgastemperatur von 950 °C betrieben wurde.

Das Jahr 1978

Zur vollständigen Betriebshistorie des AVR-Reaktors gehört natürlich auch der Störfall „Wassereintritt“ im Mai 1978. Aufgrund einer erhöhten Feuchte im Kühlgas wurde der Reaktor abgeschaltet. Über ein kleines Leck im Dampferzeuger — spätere Untersuchungen berechneten eine Leckgröße von etwa 1 bis 3 mm² — war Wasser in flüssiger Form in den Primärkreis des Reaktors eingedrungen. Nachdem das Wasser entfernt und der Reaktor getrocknet war, konnte der Leistungsbetrieb Ende 1979 wieder aufgenommen werden.

Brennelementkreislauf

Die tennisballgroßen Brennelemente können über verschiedene Komponenten der

Daten und Erfahrungen aus Experimenten sowie dem Massentest neu entwickelter Brennelementtypen, die der Weiterentwicklung künftiger Hochtemperaturreaktoren größerer Leistung dienen.

Besondere Aufmerksamkeit richtete sich hierbei auf das Verhalten der Brennelemente bezüglich ihrer Rückhaltefähigkeit für radioaktive Spaltprodukte. Damit eng verbunden ist die Beherrschung der Kühlgastemperaturen im Reaktorkern. Schließlich ist der AVR-Reaktor der einzige Reaktor in der Welt, welcher



Demonstration in Bonn am 18. Juli gegen den Bau von Kernkraftwerken.

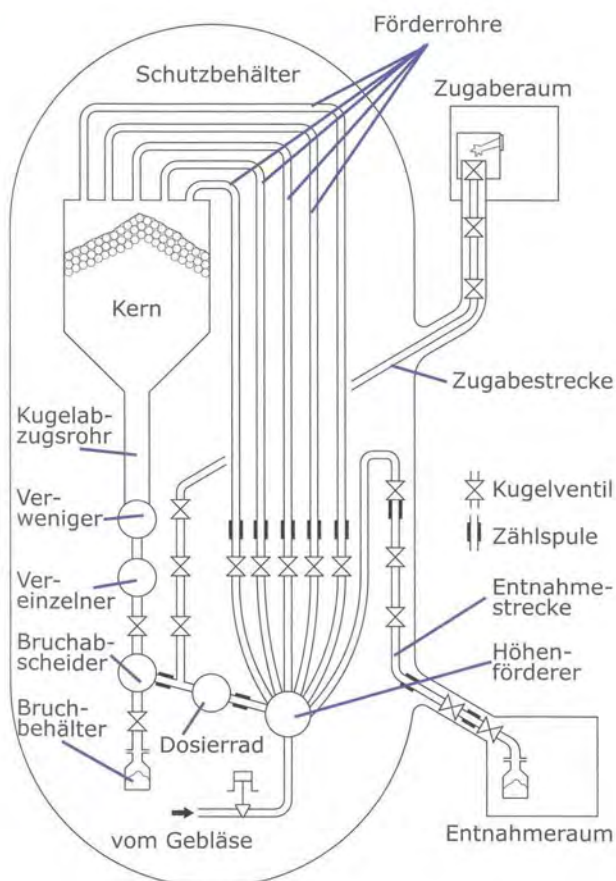
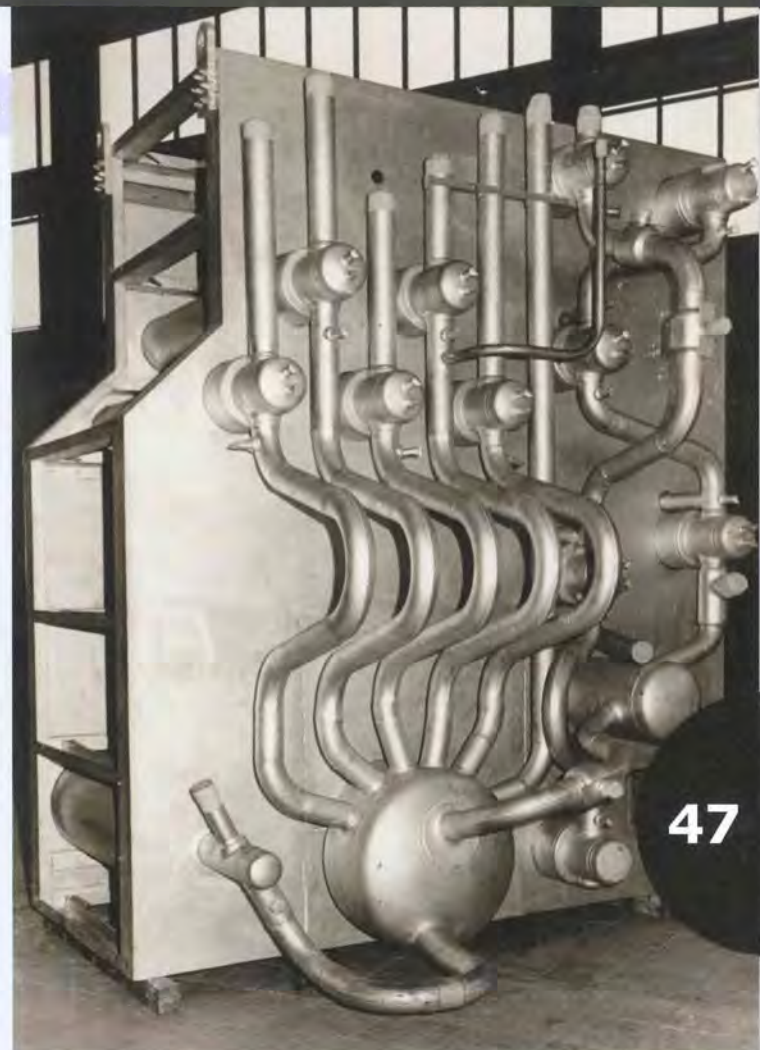
Das LCD (Liquid Chrystal Display) kommt auf den Markt.

1975

In den USA kann man den ersten Bausatz eines Personalcomputers kaufen.

Zugabewand der Beschickungsanlage

sogenannten Beschickungsanlage dem Core sowohl zugeführt als auch entzogen werden, ohne dass der Reaktorbetrieb unterbrochen werden muss — ein wichtiges Kriterium zum Erhalt einer hohen Verfügbarkeit (Druck- oder Siedewasserreaktoren benötigten durchschnittliche Abschaltphasen von circa 20 Tagen zum Wechsel ihrer Brennelemente). Die Zugabe der Brennelemente er-

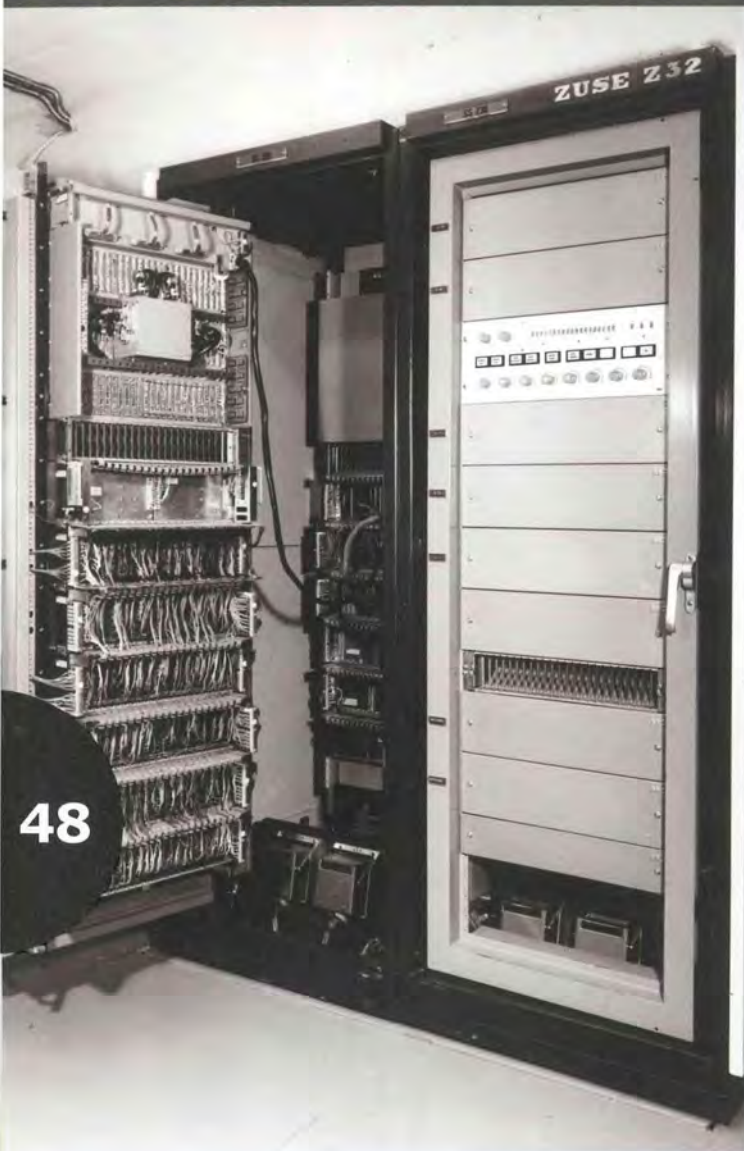


folgte pneumatisch über fünf Förderrohre, die eine gleichmäßige Verteilung des Kernbrennstoffes im Core ermöglichten. Die Entnahme erfolgte über den Verweniger, den Vereinzelner, den Bruchabscheider und das Dosierrad. Hier wurden die Brennelemente auf ihren Kernbrennstoffgehalt überprüft; diese Messung wurde später in den Höhenförderer verlegt. In Abhängig-



1976

Die Concorde nimmt als erstes Überschallflugzeug den regelmäßigen Linienverkehr auf der Transatlantikstrecke auf.



ZUSE 32

Insgesamt wurden beim AVR-Reaktor etwa 300.000 Brennelemente eingesetzt; 2,14 Millionen Kugeln wurden in den mehr als 21 Betriebsjahren umgewälzt.

Kontrolliert wurde die Beschickung mittels „moderner“ Computertechnik durch eine ZUSE 32 (benannt nach dem Erfinder und Computerpionier *Konrad Zuse*). Mit diesem Rechner konnte man den weiteren Weg der aus dem Core abgezogenen Brennelemente steuern. Der ZUSE 32 folgte im Jahr 1981 eine PDP 11, ein 16-Bit-Computer mit fortschrittlicher Schreibmaschinentastatur als Eingabeterminal. Erst mit Beginn der Core-Entleerung im Jahr 1994 wurde der erste, heutigen Maßstäben entsprechende PC eingesetzt.

keit des gemessenen „Abbrandes“ wurden sie entweder in das Core zurückgeführt oder über die Entnahmestrecke in Brennelementkanalen gefüllt. Diese wurden zum Forschungszentrum Jülich transportiert und dort in spezielle Castorbehälter umgeladen.

Die Erfahrung zeigte allerdings, dass bei der Vielzahl der Beschickungs-

„Der elektronische Marktplatz wird unsere Kultur ebenso verändern wie Gutenbergs Druckerpresse die Welt des Mittelalters.“

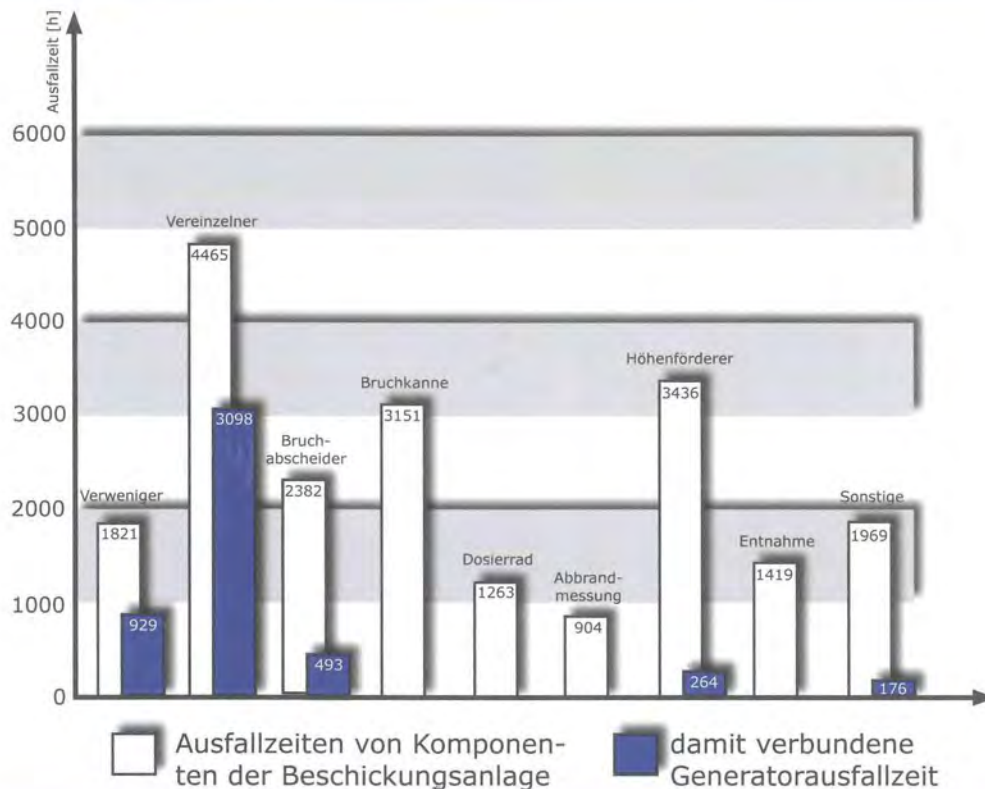
Bill Gates, Mitbegründer der Firma Microsoft Corporation

1977

Von der niedersächsischen Landesregierung wird Gorleben als nukleares Endlager festgelegt.

Wegen der zerstörerischen Wirkung auf die Ozonschicht wird in den USA FCKW als Treibgas verboten.

1978



Verteilung der Ausfallzeiten auf die Komponenten der Beschickungsanlage

anlagenkomponenten und ihrem Zusammenspiel auch eine entsprechend große Störungsanfälligkeit vorlag.

Da der Aufwand zur Störungsbehebung wegen der erforderlichen Strahlenschutzmaßnahmen doch sehr erheblich war, mussten auch Nachteile bezüglich der Verfügbarkeit in Kauf genommen werden (siehe oben).

Versuche

Nachdem in den ersten Betriebsjahren der Beweis erbracht worden war, dass der AVR-Reaktor die in ihn gesetzten Erwartungen vollständig erfüllte, rückten in den Folgejahren Großversuche zur weiteren Entwicklung der HTR-Technologie in den Vordergrund.

Dabei konzentrierte sich das Interesse insbesondere auf die Brenn-

Das erste „Retortenbaby“ wird in England geboren.

1978

Der letzte in Deutschland produzierte VW Käfer läuft vom Band. Danach wird er nur noch in Mexiko und Brasilien produziert. Insgesamt werden 21,5 Millionen Stück gebaut.



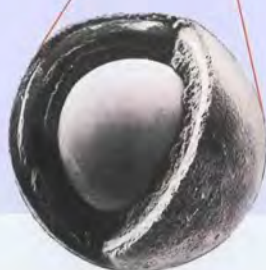
Unterschiede in Belastung/Belastbarkeit zwischen Brennelementen eines Druckwasserreaktors und HTR-Kugeln

Reaktortyp	Druckwasser	Hochtemperatur
mittlere Leistungsdichte im Brennelement	230 W/cm ³	4 W/cm ³
Abmessung des Brennelementes	r = ca. 6 mm (Stab)	r = 30 mm (Kugel)
max. Brennstofftemperatur im Betrieb	~ 2.200 °C	~ 1.300 °C
max. Temperaturdifferenz im Brennelement	1.800 °C	50 °C
max. verträgliche Temperatur des Brennelementes	~ 750 °C	~ 1.600 °C

50

elemententwicklung hinsichtlich ihrer Fähigkeit zur Spaltprodukt-rückhaltung auch bei hohen Temperaturbelastungen sowie auf die Beherrschung der Radioaktivität im Störfall.

Insgesamt wurden etwa 300.000 Brennelemente unterschiedlicher Ausführung eingesetzt. Sie unterschieden sich in ihrer Kernbrennstoffzusammensetzung [Anreicherungsgrad, Brutstoff wie Thorium-232 (Th 232)], durch die Art des Aufbaus der Kernbrennstoffbeschichtung sowie durch die chemische Zusammensetzung des Kernbrennstoffes (Uranoxid, Uran-carbid).



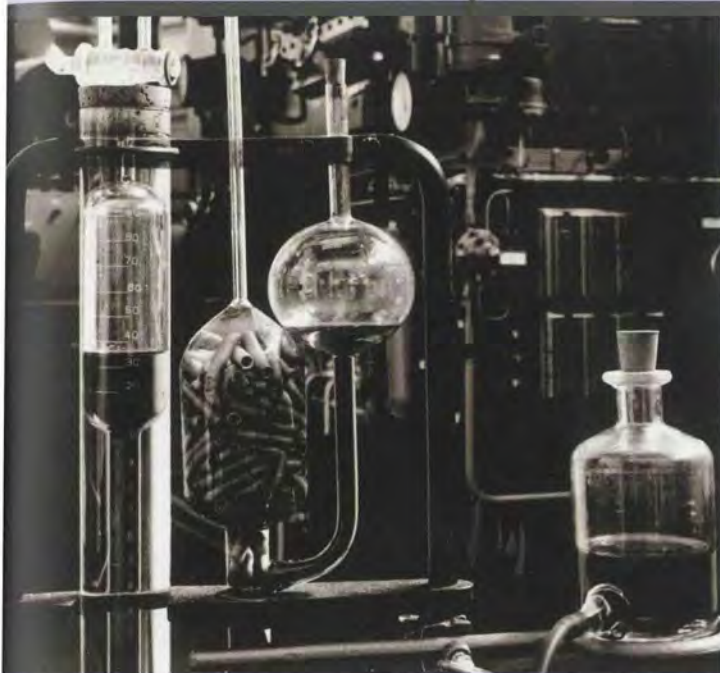
Querschnitt durch ein Brennelement

Der Brennstoff ist auf bis zu 40.000 beschichtete Teilchen innerhalb der Graphitkugel verteilt.

Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme eines aufgebrochenen beschichteten Teilchens: Der etwa 0,4 mm dicke Brennstoffkern ist zuerst von einer Puffer-Schicht, dann von einer Pyrokohlenstoff-Schicht, einer Siliziumkarbid-Schicht und einer zweiten Pyrokohlenstoff-Schicht umhüllt.

1979

Am 28. März wird bei einem durch menschliches Versagen ausgelösten Reaktorunfall am „Three Mile Island“ Reaktor in Harrisburg (USA) Radioaktivität freigesetzt.



Versuchsanordnung in der Kälteanlage

Die Überprüfung der Brennelemente erfolgte während des Reaktorbetriebes. Durch sehr aufwendige, kontinuierliche Filtermessungen im Heiß- und Kaltgasbereich des Primärkreises konnte ihr Verhalten bezüglich der Freisetzung von festen Spaltprodukten (Sr 90, Cs 137 usw.) bestimmt werden. Zur Auswertung der Filter war die Abschaltung des Reaktors erforderlich.

Die Überwachung der Brennelemente auf die Freisetzung gasförmiger Spaltprodukte [Kr 85, Xenon 133 (Xe 133) etc.] konnte dagegen kontinuierlich ohne Unterbrechung des Reaktorbetriebes durchgeführt werden.

Diese Messungen zeigten, dass die verschiedenen Brennelementtypen doch große Unterschiede hinsichtlich ihres Freisetzungsverhaltens zeigten. Einige setzten zum Beispiel ausschließlich Sr 90 frei, andere Cs 137. Diese Brennelementtypen sind die Ursache für das Kontaminationsniveau des AVR-Primärkreises.

Ein sehr gutes und ihrer Auslegung entsprechendes Freisetzungsverhalten wiesen die Brennelemente aus der Fertigung für den Thorium-Hochtemperaturreaktor (THTR 300) in Hamm auf. Am AVR-Reaktor wurden von diesem Typ ungefähr 35.000 Stück eingesetzt.

51

Neben den direkten Folgen der Gewinnung und des Transports von Erdöl, Erdgas und Kohle auf die betroffenen Ökosysteme führt vor allem die Verbrennung fossiler Brennstoffe zu Umweltproblemen in Form von Luftverschmutzung und Treibhauseffekt.

Es ist zurzeit unklar, ob der stattfindende Klimawandel langsam und ohne größere Schädigungen der Biosphäre abläuft, oder ob die Geschwindigkeit des Klimawandels die natürliche Anpassungsfähigkeit des globalen Ökosystems übersteigt und möglicherweise katastrophale Folgen nach sich zieht (Überschwemmungen, Hungersnöte).

Umweltverträglichkeit

Fossile Energieträger



Von dem ungarischen Architekten Ernő Rubik wird der „Zauberwürfel“ erfunden.

1980

Einführung der regelmäßigen „Friedensdekaden“ von der kirchlichen Friedensbewegung in der DDR.

Ein wichtiger Parameter für das Verhalten der Brennelemente bezüglich ihrer Freisetzung ist die von ihnen

erreichte maximale Temperatur. Daher führte man einen Versuch durch, mit dem es gelang, die Brennelementtemperaturen zu bestimmen.

Hierzu wurden speziell präparierte Graphitkugeln durch das Core gewälzt, die in ihrem Inneren Schmelzdrähte verschiedener Legierungen (und damit auch unterschiedlicher Schmelzpunkte) enthielten (oben rechts). Dabei zeigten sich unerwartet hohe Temperaturen, die am äußeren Core Werte von über 1.280 °C erreichten.

Dadurch konnte erklärt werden, warum einige frühe Brennelementtypen verstärkt Spaltprodukte freisetzen.

Die relativ hohen Brennelementtemperaturen erklären sich im Wesentlichen aus der Tatsache, dass die Physik des AVR-Cores zur Betriebszeit noch nicht mathematisch dreidimensional nachgebildet werden konnte. Dies ist mit den heutigen Methoden der finiten Elemente kein Problem.

52



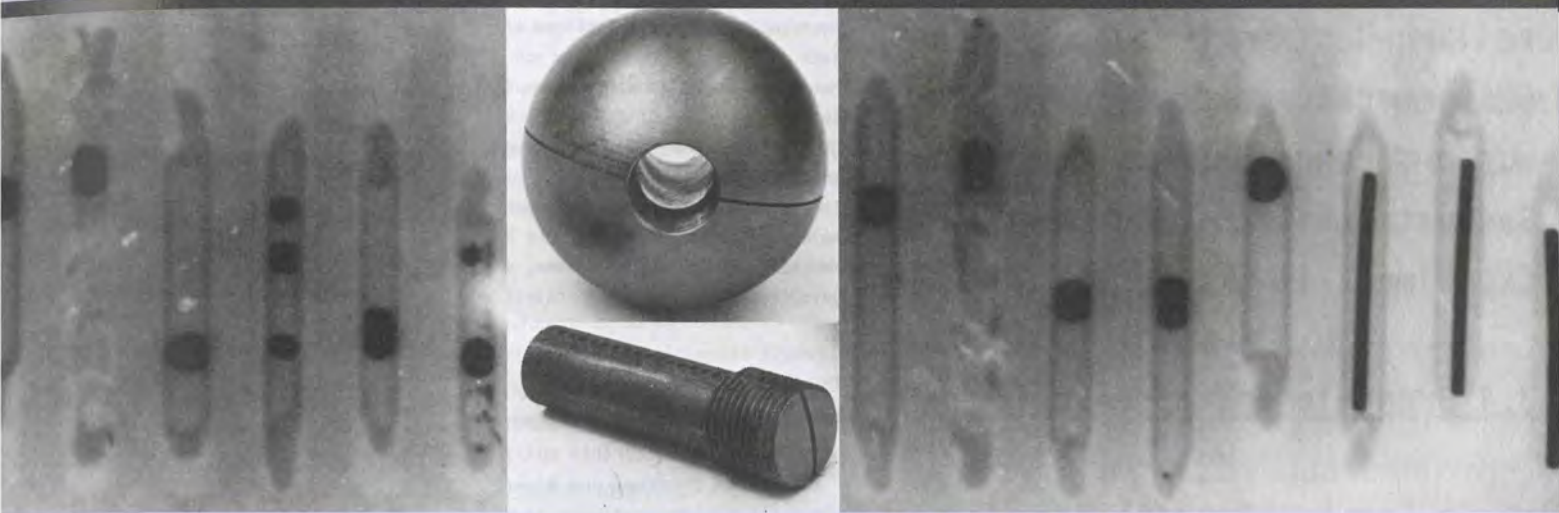
Schnittmodell des Reaktorgebäudes

Die Grünen formieren sich als Bündnis einzelner Gruppen zur Bundespartei.

1980

IBM bringt den heute weltweit verbreiteten ersten offiziellen Personalcomputer (PC) mit dem von Microsoft stammenden Betriebssystem DOS auf den Markt.

1981



Röntgenaufnahmen der Schmelzdrähte nach dem Temperaturmessversuch

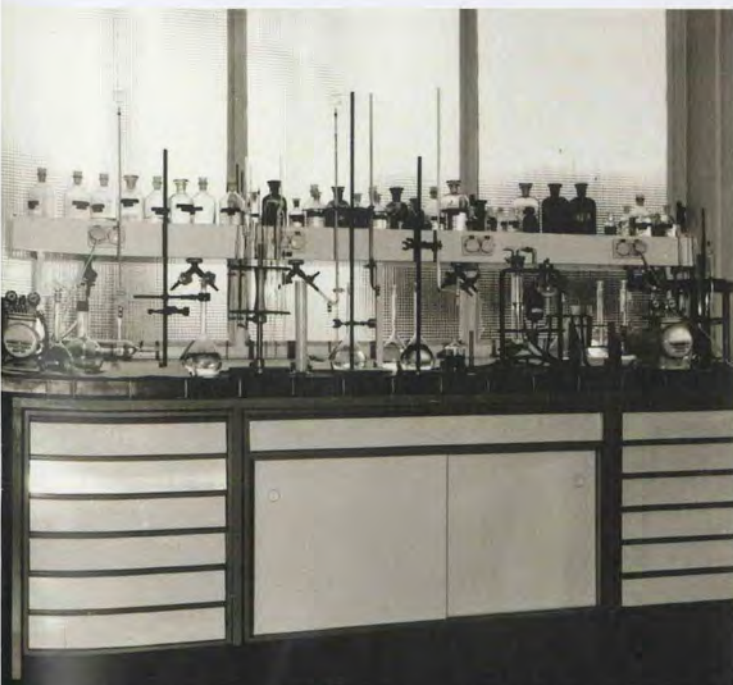
Eine wichtige Frage für die HTR-Entwicklung war, welche Auswirkungen für die Umwelt bei einem möglichen Kühlmittelverlust auftreten könnten. Die Berechnungen für den AVR-Reaktor ergaben, dass keine über die betrieblichen Grenzwerte hinausgehenden Freisetzungen zu erwarten wären. Zur Überprüfung dieser Berechnungen war ein Versuch geplant, der den Kühlmittelverlust

simulieren sollte. Dieser Versuch konnte leider nicht mehr durchgeführt werden.

Betriebserfahrungen

Die vielfältigen Aufgabenstellungen waren mit einer AVR-eigenen Technik zu bewältigen, welche im täglichen Einsatz die bei einer Pilotanlage üblichen „Kinderkrankheiten“ aufwies.

Vor allem aufgrund fehlender Erfahrungswerte waren verstärkt Können und Kreativität des verantwortlichen Personals gefordert. Entscheidungen zugunsten des Austauschs einer Komponente oder deren Reparatur bis hin zur vollständigen Neukon-



Labor im Maschinenhaus

1981

Die bis dato größte Friedensdemonstration mit 300.000 Teilnehmern findet am 10. Oktober in Bonn statt.

1982

Im Dezember erscheint das Erfolgsalbum „Thriller“ von Michael Jackson.



zeption von Anlagenteilen standen im Raum.

Im Lauf der Zeit wuchs der Erfahrungsschatz, und die gewonnenen Erkenntnisse führten zu Optimierungen, die bei Bedarf in der Anlage umgesetzt wurden. Beispiele hierfür waren der Austausch der Membrankompressoren gegen Trockenlaufkompressoren oder der Ersatz von Weichdichtungen gegen solche aus Metall.

Auch die Verfügbarkeit von Rohstoffen nahm Einfluss auf den Betrieb. Der zunächst aus Kosten- und Beschaffungsgründen geplante

Einsatz eines Helium-Neon-Gemisches als Kühl-

mittel wurde wegen ausreichender

gewerblicher Verfügbarkeit durch einen reinen Helium-Kreislauf ersetzt. Auch der Betrieb der AVR-eigenen Flüssigstickstoff-Erzeugung — älteren „Kältemaschinisten“ (das waren die Mitarbeiter, in deren Zuständigkeitsbereich der Betrieb der Gasreinigung und der Kälteanlage fiel) noch als äußerst schwer zu handhabende Anlage bekannt — konnte später zugunsten einer externen Bevorratung eingestellt werden.

Oberstes Ziel eines Reaktorbetriebes sind jedoch die Sicherheitsaspekte, die immer im Vordergrund stehen. Alle Anstrengungen sind darauf gerichtet, die Umwelt und das Betriebspersonal vor den nuklearen Risiken zu schützen. Wie bereits erwähnt, weist der Reaktor die folgenden, zwei wesentlichen Sicherheitsmerkmale auf:

Eine Kernschmelze ist naturgesetzlich ausgeschlossen und bei Kühlmittelverlust tritt keine Überschreitung von Grenzwerten auf.

Aber auch im Normalbetrieb zeigte der AVR-Reaktor trotz seines Pio-

54

Umweltverträglichkeit

Treibhausgase entstehen nur während der Bauphase eines Kernkraftwerkes und bei der Uranförderung.

Gegenüber den natürlichen und medizinischen Strahlenbelastungen liegen die Emissionen aus Kernkraftwerken um den Faktor 400 niedriger.

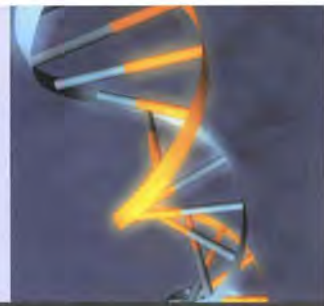
Als größte Risiken der Kernenergienutzung gelten Reaktorunfälle und die Endlagerproblematik. Hinsichtlich des Risikomaßes und der Beherrschbarkeit gibt es auf Seiten der Befürworter und Gegner konträre Auffassungen, deren Ursachen primär in den gesellschaftlich-politischen Entwicklungen der vergangenen Jahrzehnte zu suchen sind.

Kernenergie

Das erste rein durch Werbeaufträge finanzierte Satelliten- und Kabelfernsehprogramm RTL geht auf Sendung.

1984

Die Eigenschaften des „genetischen Fingerabdrucks“ werden entdeckt.



Einsatz mit Schutzanzug und Maske

und Wasser stets deutlich unterschritten. So lag die Aktivitätskonzentration des Nuklides Sr 90 stets um zwei Größenordnungen unterhalb dieser Grenzwerte.

Für das Personal hatte die schwierige Kontaminationssituation erheblichen Einfluss auf die Arbeitsbedingungen.

So mussten alle Reparatur- und Wartungsarbeiten im Reaktorschutzbehälter grundsätzlich unter oft aufwendigen Maßnahmen für Atem- und Hautschutz durchgeführt werden. Dies galt in besonderem Maß für die Beschickungsanlage mit einem Gesamtreparaturaufwand von über 60.000 Mannstunden. Zur Beherrschung dieser Kontaminationen entwickelte man für den AVR-Reaktor spezielle, der jeweiligen Situation angepasste Techniken im Hinblick auf die Handhabung hoch

niercharakters ein ausgezeichnetes Betriebsverhalten. Wichtige Kenngrößen für das Betriebs- und Sicherheitsverhalten eines Reaktors sind die radiologischen Belastungen für die Umwelt und das Personal.

Obwohl die Kontaminationssituation innerhalb des Reaktorgebäudes in Folge der Brennelementtests nicht einfach war und bis heute zu mehr als 97 % durch das Nuklid Strontium (Sr 90) geprägt ist, wurden die genehmigten Grenzwerte für Luft

Leitstand der Gasreinigungsanlagen





Mit 17 Jahren gewinnt Boris Becker als erster deutscher sowie jüngster Tennisspieler das Wimbledon-Tennisturnier.

Das Wrack des 1912 gesunkenen Luxusliners „Titanic“ wird gefunden.

1985

Im Ruhrgebiet wird der erste SMOG-Alarm Deutschlands ausgelöst.

56

kontaminierter Komponenten und deren Dekontamination. Durch diese technischen Innovationen konnte die Strahlenbelastung für das Personal in den letzten zehn Betriebsjahren bei weit höherem Reparaturaufwand sogar noch geringer gehalten werden als in den Anfangsjahren des Reaktorbetriebes, als das Niveau der Kontamination noch um drei Größenordnungen niedriger war.

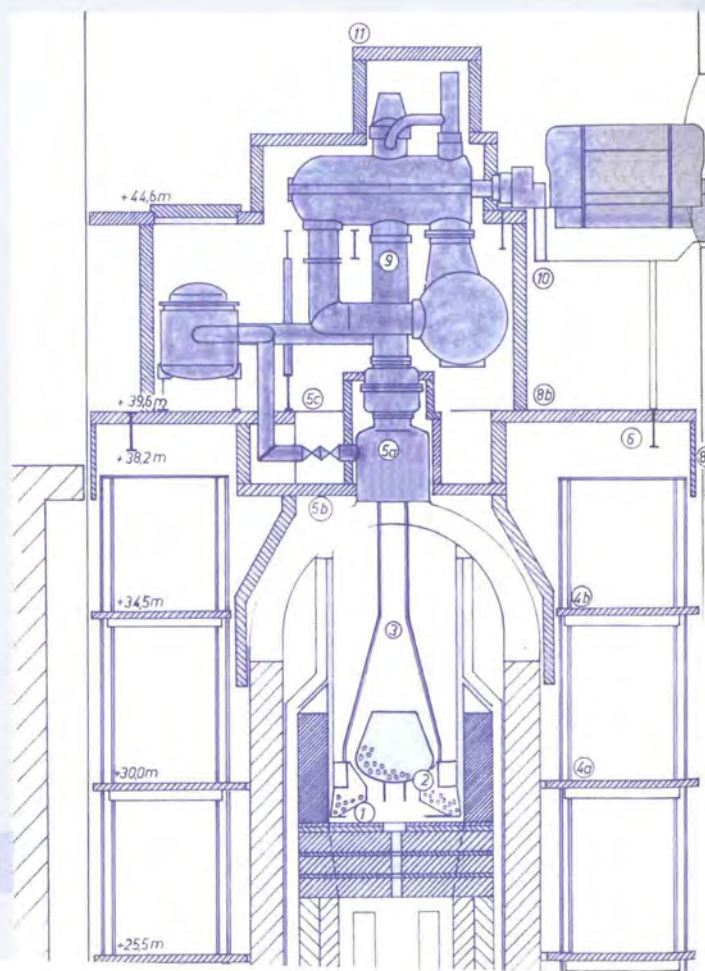
So betrug die Strahlenbelastung des vor Ort tätigen Personals in den ersten zehn Betriebsjahren 702 Millisievert (mSv) pro Jahr (etwa 6 mSv pro Person und Jahr), in den letzten zehn Jahren nur noch 392 mSv pro Jahr (etwa 3,5 mSv pro Person und Jahr).

Zum Vergleich:

Bei einer Röntgenaufnahme der Lunge wurde in den 1980er Jahren eine Dosis von ungefähr 6 mSv appliziert.

Moderne HTR-Reaktoren werden eine um drei Größenordnungen

niedrigere Kontamination in den Haupt- und Nebenschleifen als der AVR-Reaktor aufweisen. Die Ursache hierfür liegt einerseits in einer günstigeren Temperaturverteilung innerhalb des Cores, die eine so hohe Spaltproduktfreisetzung bestimmter Brennelementtypen wie beim AVR-Reaktor vollständig vermeidet; andererseits ist zu erwarten, dass nur bereits ausreichend erprobte Brennelemente zum Einsatz kommen. Die Dosisbelastung des Personals wird bei diesen Reaktoren unbedeutend sein.



Ein-Kreis-System mit Helium-Turbine

1985

Durch Untersuchungen in der Stratosphäre wird der Nachweis erbracht, dass sich tatsächlich ein Loch in der Ozonschicht gebildet hat.

1986

Am 26. April um 01:23 Uhr explodiert der Block 4 des ukrainischen Kernkraftwerkes Tschernobyl.

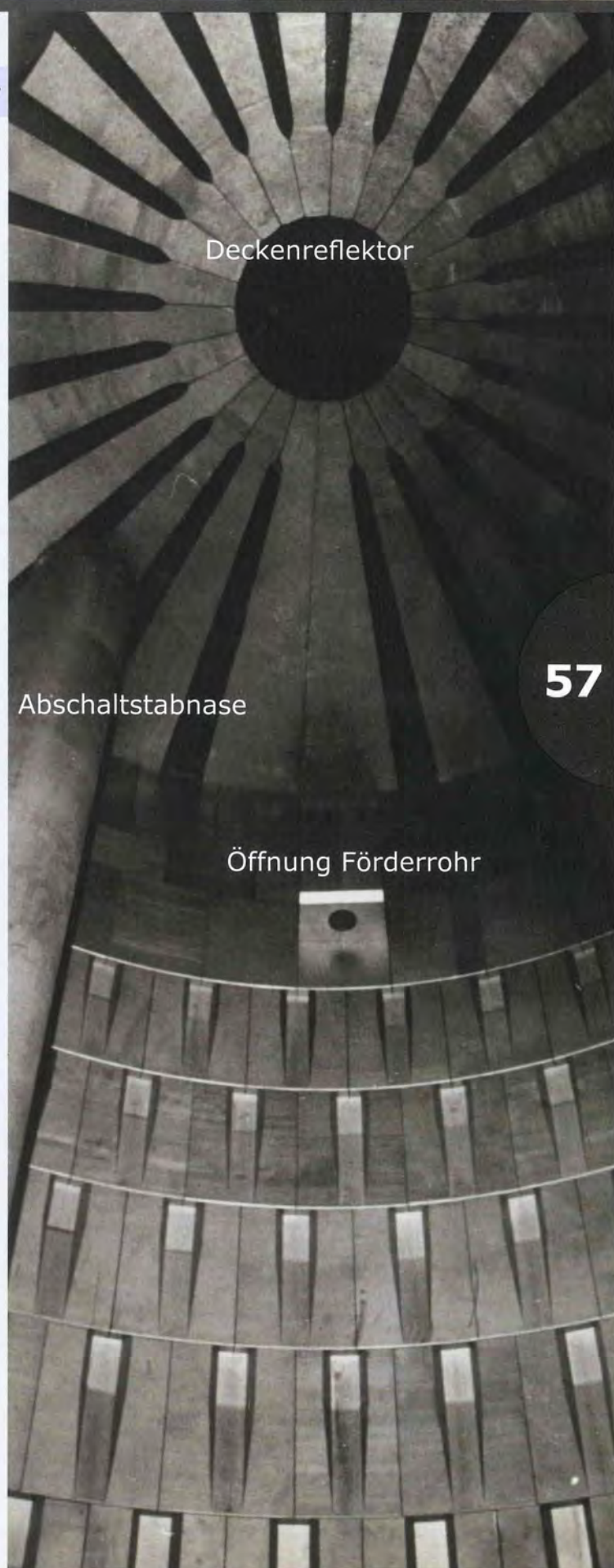


Einbauten innerer Reaktorbehälter

Entwicklungspotenzial

Nachdem sich bereits in der Anfangsphase das erfolgreiche Gelingen des Projektes AVR abzeichnete, gab es schon die nächsten Überlegungen zur erweiterten Nutzung des Reaktors.

Gegenüber dem ursprünglich konzipierten Zwei-Kreis-System mit getrenntem Primär- (Helium-) und Sekundär- (Wasser-Dampf-) Kreislauf gab es schon zu Beginn der 1970er Jahre die Idee eines Ein-Kreis-Systems mit direkt angeschlossener Gas-Turbine. Die Planung sah vor, den Dampferzeuger zu entfernen und unmittelbar oberhalb der Dampferzeuger-Position eine Turbine zu installieren. Dies hätte den Vorteil einer kurzen Wegstrecke von der Heißgas erzeugenden Seite, dem Core, zur Heißgas nutzenden Seite, der Turbine, gehabt. Erwartet wurden unter anderem Erkenntnisse über Kontaminationsverhalten und Sicherheit eines solchen Systems. Das Projekt wurde später zugunsten eines hierzu von der



Deckenreflektor

Abschaltstabsnase

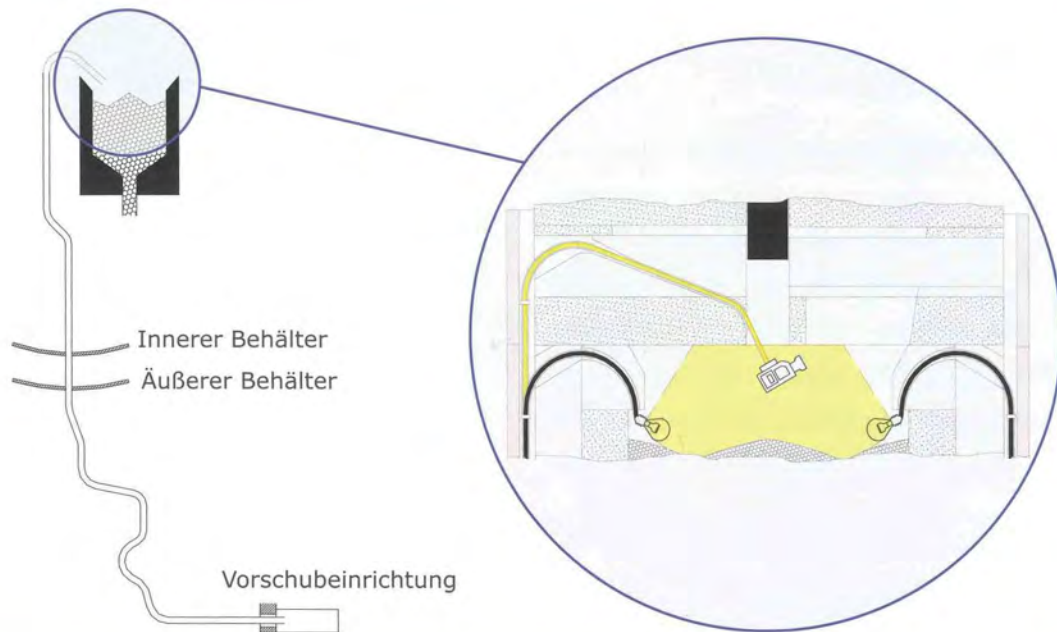
Öffnung Förderrohr

57

1987



Michail Gorbatschow beginnt mit „Glasnost“ und „Perestroika“ die Sowjetunion radikal zu reformieren.



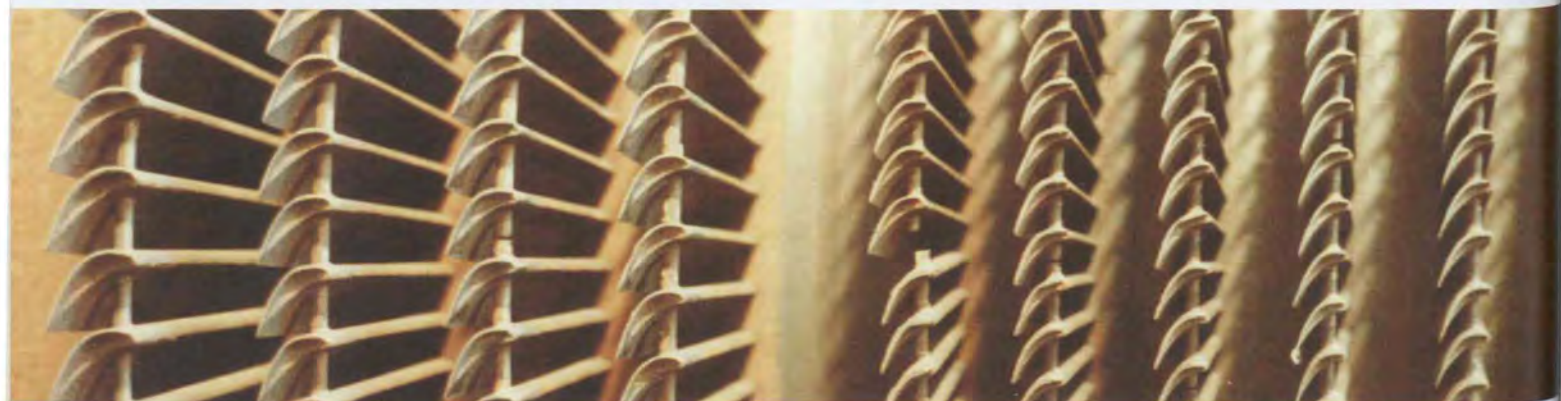
Inspektion des Deckenreflektors durch die Brennelement-Beschickungsrohre

58

Kernforschungsanlage Jülich durchgeführten Großversuchs eingestellt.

Ein weiterer geplanter Großumbau wurde ebenfalls nicht mehr realisiert: die Auskopplung des Heißgasstromes zur Prozesswärmenutzung. Konzeptionell war der Umbau so ausgelegt, dass er möglichst ge-

ringfügig in die vorhandene Anlage eingriff. Es war geplant, die wesentlichen Komponenten in einem zusätzlichen Erweiterungsbau unterzubringen. Dort sollten in einer ersten Phase in einem Röhrenspalt-ofen Kohlenwasserstoffe mittels der sogenannten Wasserdampf-Reformierung in Wasserstoff und Neben-



Turbinenwelle...

1988

Mit 406 km/h stellt der deutsche Hochgeschwindigkeitszug ICE einen neuen Geschwindigkeitsweltrekord für Schienenfahrzeuge auf.



... mit Laufschaufeln

produkte aufgespalten werden. Für eine zweite Versuchsreihe war unter Zuhilfenahme von Wasserdampf die Kohlevergasung geplant.

Für beide Projekte war die Erhöhung der Heißgastemperatur von 850 °C auf 950 °C eine wichtige Voraussetzung. Obwohl beide Projekte nicht mehr umgesetzt werden konnten, lieferten sie dennoch für die Forschung wichtige Erkenntnisse!

Die im Vorfeld der Umbauplanungen stattgefundenen, gründlichen Untersuchungen zum Anlagenzustand zeigten deutlich, dass alle wichtigen Komponenten des AVR-Reaktors in einem einwandfreien Zustand waren. Höhepunkt dieser Untersuchungen war die optische Inspekti-

on des Deckenreflektors im Core. Sie zeigte deutlich, dass die dort vorhandenen, keramischen Einbauten der Anlage ungeachtet hoher und höchster Temperaturen nicht angegriffen waren.

Die Energiegewinnung aus Wasserkraft, Windkraft, Solarenergie und Geothermie ist in der Betriebsphase frei von Schadstoffemissionen. Allerdings fallen entsprechende Emissionen bei der Rohstoffgewinnung, der Anlagenproduktion und dem Aufbau der notwendigen Infrastruktur an.

Außer bei der Geothermie sind großflächige Eingriffe in das Landschaftsbild zu berücksichtigen. Hinsichtlich der Umweltverträglichkeit ist die Energiegewinnung aus Biomasse kritisch zu sehen, sofern für deren Produktion landwirtschaftliche Nutzflächen und Lebensraum für Pflanzen und Tiere verlorengehen.

Erneuerbare Energien

59

Umweltverträglichkeit



In Berlin fällt
die Mauer und
mit ihr die DDR.

1989

Wiedervereinigung der beiden
deutschen Staaten am
3. Oktober

1990

Am 11. Dezember wird
bei einem Gipfeltreffen
in Maastricht die Bildung
der Europäischen Union
beschlossen.

1991

Sicherer Einschluss

Genehmigung

Mitte der 1980er Jahre stand der Beschluss fest, den Betrieb des AVR-Reaktors Ende 1988 einzustellen. Eine zunehmende Verunsicherung in der Bevölkerung, ausgelöst durch die Proteste um die Endlagerung Anfang der 1980er Jahre, drängte die Vorteile einer friedlichen Nutzung der Kernenergie immer mehr in den Hintergrund. Gleichzeitig stieg die Betonung der Gefahren um den Betrieb der Kernkraftwerke und die Endlagerproblematik des radioaktiven Abfalls. Als sich dann noch 1986 der Reaktorunfall in Tschernobyl ereignete, war das endgültige „Aus“ für den AVR-Reaktor abzusehen.

In den Folgejahren nach der Abschaltung Ende Dezember 1988 wurden die Unterlagen für die Still-

legungsgenehmigung zusammengestellt.

Am 9. März 1994 erhielt die AVR GmbH den Genehmigungsbescheid 07/15 für die **„Stilllegung, Entladung des Reaktorkerns, Abbau von Anlagenteilen und Sicherer Einschluss des Versuchskernkraftwerks AVR der Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor AVR GmbH in Jülich“**.

Im Lauf der Zeit zeigte sich, dass der „Sichere Einschluss“ in der genehmigten Form nicht ausreichend war. Daher wurde die Genehmigung bis zum Jahr 2003 durch zwei, den Demontageumfang betreffende, Ergänzungen erheblich erweitert.



Das endgültige „Ende“ der
Apartheidspolitik wird durch den
Präsidenten von Südafrika,
Frederik de Klerk, verkündet.

1992

Nach sieben Jahren
Bauzeit wird der
Eisenbahntunnel
unter dem
Ärmelkanal
eröffnet.

1994

Nach 46 Jahren wird der
Kriegszustand zwischen Israel
und Jordanien durch einen
Friedensvertrag beendet.



Abtransport der Brennelementkannen in der Bleiglocke

Brennelemententladung

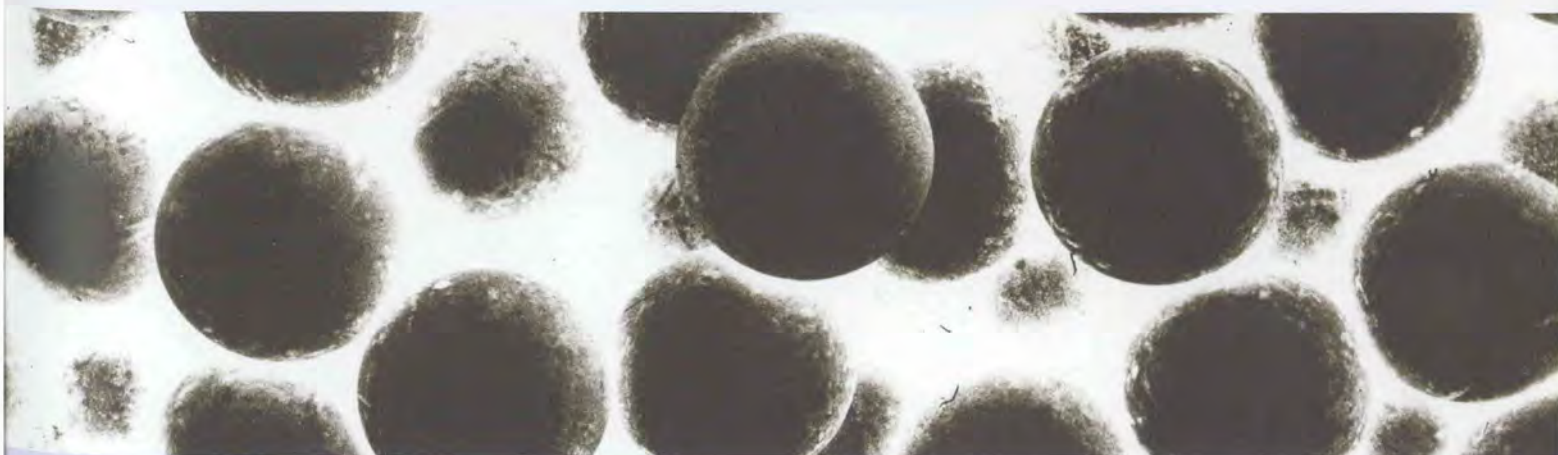
Schwerpunktmaßnahme des „Sicheren Einschlusses“ war die Entladung der Brennelemente aus dem Core. Diese wurden, wie schon während des Leistungsbetriebes, mit den betrieblich vorhandenen Einrichtungen über die Entnahmestrecke in die bereitgestellten Brennelementkannen gefördert.

Nur drei Wochen nach Erhalt der Genehmigung zum „Sicheren Ein-

schluss“ der Anlage rollte bereits der erste Brennelementtransport vom AVR-Gelände zum Forschungszentrum Jülich. Auch die Vorgehensweise für die Transporte war identisch mit der in der Reaktorbetriebszeit erprobten Vorgehensweise. Zur Beschleunigung der Entnahme wurden nun jedoch parallel zwei Bleiglocken eingesetzt.

Gegen Betriebsende bestand das Core des AVR-Reaktors etwa zur Hälfte aus niedrig angereicherten Brennelementen, welche jedoch aus

61

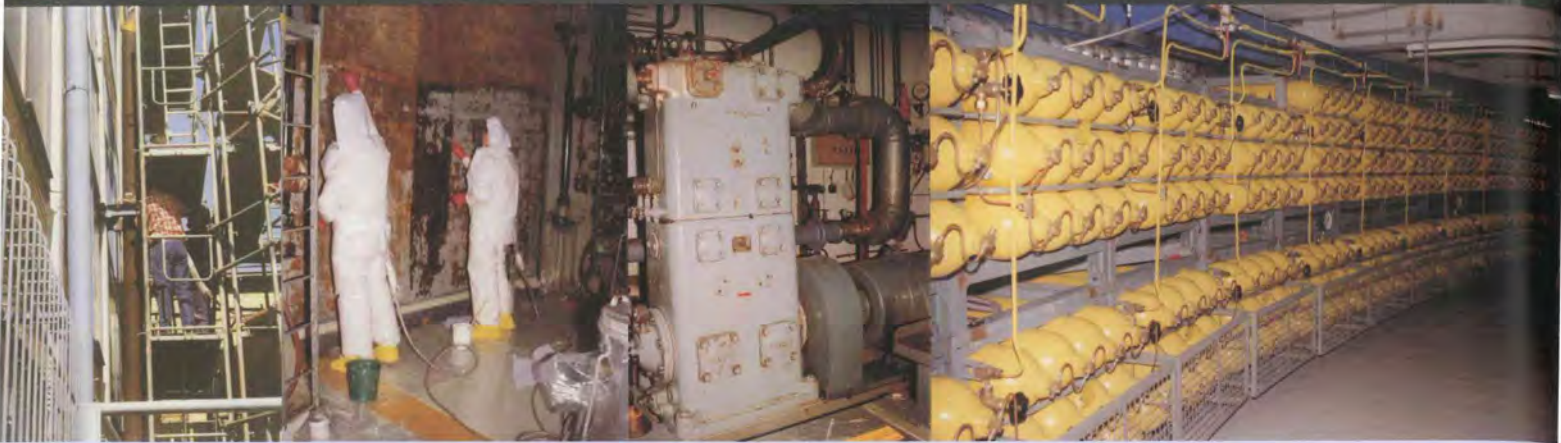


Brennelemente

In sieben Staaten der Europäischen Union fallen die Grenzschranken zugunsten eines ungehinderten und unkontrollierten Ein- und Ausreiseverkehrs.

1995

In Berlin wird der Reichstag von dem Künstlerehepaar Christo und Jeanne-Claude verhüllt.



v.l.n.r.: Demontage der Verbindungsrohre des Kaltspeichers, Abschleifen des Materialtors, Sulzerkompressor TK 2 und Flaschenlager

genehmigungstechnischen Gründen beim Forschungszentrum Jülich zunächst nicht zwischengelagert werden konnten.

Aus diesem Grund war anfangs nur eine selektive Entnahme von Brennelementen möglich. Die niedrig angereicherten Brennelemente mussten wieder auf das Core zurückgeführt werden.

Erst ein Jahr nach Beginn der Entladung

erhielt das Forschungszentrum Jülich die Genehmigung zur Zwischenlagerung auch der niedrig angereicherten Brennelemente. Wegen dieser Genehmigungssituation verzögerte sich die Core-Entladung beträchtlich.

Zusätzliche technische Schwierigkeiten führten zu weiteren Verzögerungen. So trat an der Ringbahn eine Störung aufgrund eines Defektes an einem der Transportschlitten auf. Diese Störung konnte erst nach Bau eines 1:1-Modells (siehe hierzu Seite 64) und unter Zuhilfenahme eines fernbedienten Manipulators beseitigt werden.

Im Juni 1998 verließ der letzte Brennelementtransport das Gelände der AVR GmbH.

62

Sozialverträglichkeit

Die Etablierung einer auf fossile Energieträger ausgerichteten globalen Energiewirtschaft erfolgte über einen langen Zeitraum und garantierte bisher in den Industriestaaten die Versorgung mit relativ günstiger Energie. Die fossilen Energieträger stießen bisher auf geringe Akzeptanzprobleme.

Problematisch sind die abzusehende Verknappung und damit verbundene Preissteigerungen sowie die Konzentration der Reserven in politisch instabilen Regionen. In Folge kann es zu sozialen Spannungen in der Gesellschaft sowie zwischen Ländern, Regionen oder Kulturen kommen.

Fossile Energieträger

Bundeskanzler Helmut Kohls
14-jährige Amtszeit ist die
längste in der Geschichte der
Bundesrepublik Deutschland.



Die Arbeitslosenzahl erreicht
die Vier-Millionen-Grenze.

1996

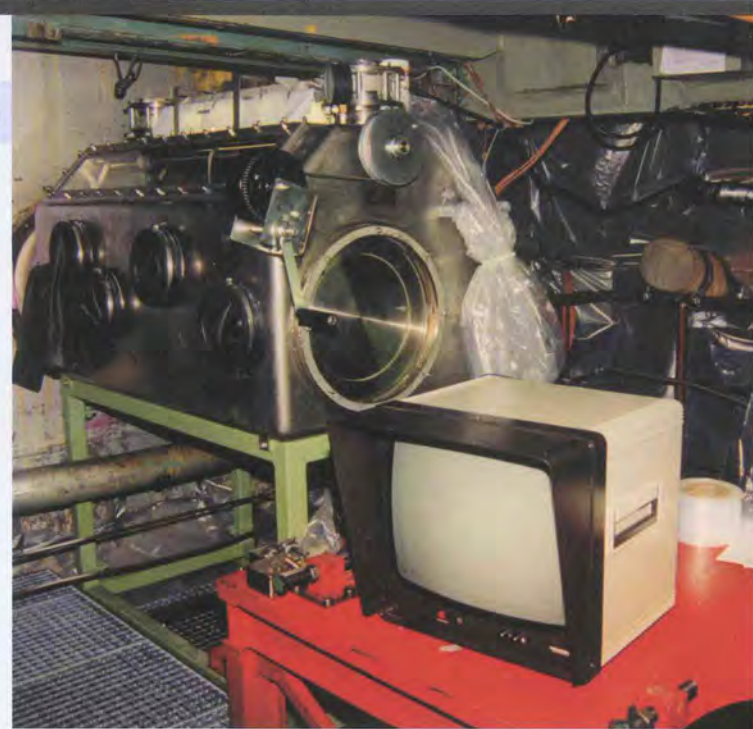
Montagebox zur Core-Inspektion

Core-Inspektion

Eine genehmigungsrechtliche Voraussetzung für den „Sicheren Einschluss“ war die Sicherstellung der Kernbrennstofffreiheit des Reaktors. Daher wurde im Anschluss an die Entnahme der insgesamt etwa 100.000 Brennelemente sowohl das Core als auch die Beschickungsanlage mittels einer Videokamera auf ihre Brennelement- und Bruchstückfreiheit hin inspiziert.

Während Untersuchungen dieser Art im Bereich der Beschickungsanlage schon zur Routine gehörten, stellte die Core-Inspektion in technischer und radiologischer Hinsicht eine große Herausforderung dar.

Über eine am Reaktorbehälter angebrachte Montagebox wurden der äußere Reaktorbehälter, das Biologische Schild I, der innere Reak-



torbehälter, das Thermische Schild und schließlich die Kohlestein- und Graphiteinbauten durchbohrt, insgesamt circa 2,5 m.

Der nachfolgend eingebrachte Manipulator mit Kamera ermöglichte dann sowohl die Besichtigung des Cores und der Core-Einbauten als auch die Entfernung noch verbliebener Brennelemente.

Im Rahmen dieser Überprüfung des Cores konnten Proben des Bohrmaterials sowie von den Oberflächen der Core-Einbauten gewonnen werden. Anhand von Messungen der radioaktiven Nuklide in diesen Proben

Als erste 100% genetisch identische Kopie eines erwachsenen Säugetieres wird von dem Embryologen Bill Ritchie das geklonte Schaf „Dolly“ vorgestellt.

1997

Am 30. Juni um 24 Uhr läuft der 1898 zwischen Großbritannien und China geschlossene Pachtvertrag über die Nutzung von Hongkong ab.



v.l.n.r.: Hilfskesselausbau, Demontage und Abtransport des Generators mit Zubehör, Ausbau des Hochdruckteils des Turbosatzes

64

wurde das bis dahin nur theoretisch berechnete Aktivitätsinventar nun auch experimentell bestimmt. Die auf den Versuchen basierenden Berechnungen dieses Aktivitätsinventars wurden durch die Messungen hervorragend bestätigt.

Demontage

Parallel zur Brennelemententladung des Cores erfolgte bereits die Demontage der Sekundär- und Kühlwasserkreislaufkomponenten im Maschinenhaus: Turbine und Vorwärmer, Speisewasserbehälter und Kondensator, Kerzenfilter und Vollentsalzungsanlage. Insgesamt wurden 285 Tonnen an kontaminiertem Stahlschrott aus dem Maschinenhaus entfernt.

Auch auf dem Außengelände schritten die Demontagearbeiten zügig voran. Hier wurden neben den Kühltürmen die vier Heliumbehälter (aufgrund ihres vorderen Flansches dem Aussehen nach „Schweinchen“ genannt) und der Kaltkondensatspeicher abgerissen.

Die zugehörigen Versorgungsleitungen — meist unterirdisch verlegt und mit Durchmessern von bis zu 1,50 m — wurden durch umfangreiche Erdarbeiten freigelegt, in handhabbare Segmente zerteilt und ebenfalls entsorgt.



Ringbahnmodell für die Bergung der Kannen ...



Durch die Eröffnung des Reichstages am 19. April ist Berlin von da an die politische Metropole Deutschlands, das umgebaute Reichstagsgebäude ist seit diesem Tag Sitz des Deutschen Bundestages.

Die Weltbevölkerung übersteigt die Sechs-Milliarden-Marke.

1999



v.l.n.r.: Demontage der Heliumbehälter, der Kühltürme und erdverlegter Kühlwasserleitungen

Im Rahmen der weiteren Demontagearbeiten stand zunächst der Abbau der Anlagen in den Ringanbauten im Vordergrund. Die einzelnen Räume beherbergten verschiedene Einrichtungen wie die Heliumbevorratung (etwa 600 Stück 50 l-Druckgasflaschen), die alten und neuen Komponenten zur Stickstofferzeugung sowie sicherheitsrelevante Armaturen des Sekundärkreislaufes wie die Notabschaltventile und den Hauptabsperrschieber oder die Analysengaskreisläufe. Doch nicht nur die verfahrenstechnischen Komponenten, sondern auch der Großteil

der Elektro-, Mess-, Steuer- und Regeltechnik war hier installiert. Einer besonderen Erwähnung ist der Verteiler- und Steuerraum auf der Ebene +3,5 m wert. Neben den Schaltanlagen zur Bedienung der Beschickungsanlage ließen sich von dort aus auch die wichtigsten Regelventile im Schutzbehälter steuern.

Erst nachdem die Brennelemententladung abgeschlossen war, durfte genehmigungsgemäß mit den Demontagearbeiten im Schutzbehälter begonnen werden.

Bald erkannte man, dass das dem Genehmigungsbescheid zugrunde liegende Konzept zum „Sicheren Einschluss“ im Hinblick auf den Arbeitsumfang und die Kosten unverhältnismäßig war. Der Kern des Problems war die sogenann-



... mit fernbedientem Manipulator

Mit der „EXPO 2000“
findet die erste
Weltausstellung
in Deutschland statt.

2000



Der Aachener Karlspreis für
herausragende Bemühungen um
die Einigung Europas wird an
den 42. US-Präsidenten
Bill Clinton verliehen.



v.l.n.r.: Perliteabsaugung aus den Bodenkammern, Einstieg und Demontagen im
Entnahmeraum, Abbau des Ölauffangbehälters

66

te „Weichdichtungsproblematik“:
Tausende von Armaturen und Ven-
tilen (am gesamten Reaktor etwa
5.000 Stück) sowie zahlreiche Kom-
ponenten enthielten Weichdich-
tungen. Da die Komponenten gemäß
Genehmigungsbescheid in der An-
lage verbleiben sollten, hätten diese
Dichtungen entfernt und durch alter-
ungsbeständige, meist metallische
Dichtungen ersetzt werden müssen.
Nur so war ein qualifizierter Ver-
schluss dieser Anlagenteile möglich.
Bei den anstehenden Planungen
zeigte sich schnell, dass eine voll-

ständige Demontage aller Kompo-
nenten im Schutzbehälter sich in
jeder Beziehung günstiger gestalte-
te als ein sicherer Verschluss aller
einzelnen Komponenten.

Folgerichtig betraf daher die erste
Ergänzung zum Genehmigungsbe-
scheid Anlagen, bei denen der Ar-
beitsaufwand vor Ort (und damit
auch die Dosisbelastung des aus-
führenden Personals) durch eine
vollständige Demontage dieser An-
lagen reduziert werden konnte. Bei-
spielhaft sind vor allem die Kompo-
nenten der Beschickungsanlage und
die Kühlgasgebläse inklusive Ölver-
sorgung zu nennen. Beide Anlagen
besaßen zahlreiche Verbindungen
sowohl zum Reaktor als auch zu
den einzelnen Gas- und Sperrgas-
Systemen. Allein an diesen beiden
Anlagenteilen konnten nun durch



Modellversuch zum Verschluss der Kühlgasgebläse

2001



Am Morgen des 11. Septembers wird ein Terroranschlag auf das World Trade Center (WTC) in New York und auf das Pentagon verübt. Die Türme des WTC stürzen ein und circa 3.000 Menschen kommen ums Leben.



v.l.n.r.: Reinigung eines Ölbehälters der Kühlgasgebläse, Arbeiten an den Brennelementkannen, Rundlaufgerät, Deckelheber unter geöffneter Deckenkammer

deren vollständige Demontage nahezu 200 Verschlussstellen vermieden werden. Ähnlich, wenn auch in geringerem Umfang, stellte sich die Situation an anderen Komponenten dar.

Eine Erweiterung des Demontageumfangs bis hin zu einer fast vollständigen Entkernung des Schutzbehälters erfolgte dann mit der zweiten Ergänzung zum Genehmigungsbescheid. Diese umfasste die noch auf den Bühnen verbliebenen Kompressoren und Behälter. Das hieraus resultierende Demontagekonzept konnte nun ohne weitere Schwierigkeiten umgesetzt werden. Nach Abtrennung und qualifiziertem Verschluss aller Zu- und Ableitungen der Komponenten im Schutzbehälter, sowohl an der Außenseite der Schutzbehälterdurchführungen als

auch am Reaktorbehälter selbst, waren die zwischenliegenden Komponenten somit freigeschnitten und konnten demontiert werden.

Nach Durchführung aller Demontagetagearbeiten sollte nur eine letzte Großkomponente zurückbleiben: der Reaktorbehälter.

67

Trotz hoher Versorgungssicherheit bei niedrigen Produktionskosten ist in (Industrie-)Ländern mit einer starken Gegenbewegung die Sozialverträglichkeit nicht gegeben.

Die Auseinandersetzung zwischen Befürwortern und Gegnern ist emotional aufgeladen, wobei auf der einen Seite die Risiken der Kernenergie überschätzt, Risiken und Konsequenzen einer anderen energiepolitischen Ausrichtung dagegen unterschätzt werden. Auf globaler Ebene ist mit der Nutzung der Kernenergie in politisch instabilen Regionen die Gefahr der Proliferation von Kernwaffen verbunden.

Sozialverträglichkeit

Kernenergie



Am 1. Januar wird der Euro in mehreren europäischen Ländern als einheitliches Zahlungsmittel eingeführt.

2002

2003

Am 1. Februar zerbricht die Raumfähre COLUMBIA beim Landeanflug auf Cape Canaveral in einer Höhe von etwa 60 km.

Vollständiger Abbau

Ein neuer Gesellschafter mit neuen Lösungen

Ende der 1990er Jahre zeichnete sich der Ausstieg aus der Kernenergie in Deutschland immer deutlicher ab; die kommerzielle Nutzung der Hochtemperaturreaktortechnik wurde immer unwahrscheinlicher. Die Stadtwerke als bisherige Gesellschafter drängten aus der AVR-Beteiligung und auch der „Sichere Einschluss“ stellte letztlich keine überzeugende Lösung dar. In Folge sahen die Geldgeber das „Projekt AVR“ äußerst kritisch und suchten nach neuen Lösungen.

Im Auftrag des Bundes und des Landes NRW (als Geldgeber des AVR-Projektes) übernahm im April des Jahres 2003 die Energiewerke Nord (EWN) GmbH die Verantwortung als alleiniger Gesellschafter.

Neues Projektziel ist seitdem der vollständige Abbau der AVR-Anlage bis zur „Grünen Wiese“. Dieses neue Ziel erfordert ein neues, technisches Rückbaukonzept, welches als Kernpunkt das „Ziehen des Reaktorbehälters“ als Ganzes, das heißt ohne vorherige Zerlegung, aus seiner jetzigen Position vorsieht.

Das Kernkraftwerk in Lubmin/Greifswald „Bruno Leuschner“ war mit acht Blöcken das größte KKW der ehemaligen DDR. Die ersten vier im Betrieb befindlichen Kraftwerksblöcke, ausgestattet mit Druckwasserreaktoren sowjetischer Bauart, deckten circa 10 % des Landesbedarfs. Vier weitere Blöcke wurden nicht mehr in Betrieb genommen. Kurz nach der Wende wurde die Stilllegung beschlossen.

Das neue Projektziel der „Grünen Wiese“ wurde bereits Ende 2002 in den Eckpunkten einer Verwaltungsvereinbarung zwischen der Bundesrepublik Deutschland, vertre-



Im August wird in Deutschland die bis dahin höchste Temperatur von 40,3 °C gemessen. Dieser Rekord-sommer geht als heißester Sommer seit 1540 in die Geschichte ein.

2003

Im Oktober finden im Oman die ersten allgemeinen Wahlen in der Geschichte des Landes statt, bei der alle Personen über 21 Jahren, auch Frauen, wahlberechtigt sind.



EWN

69

Panoramaansicht des Geländes der Energiewerke Nord (EWN) GmbH in Lubmin

ten durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), und dem Land Nordrhein-Westfalen, vertreten durch das Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand, Energie und Verkehr (MWMEV), festgelegt.

Die EWN, deren alleiniger Gesellschafter das Bundesministerium der Finanzen (BMF) ist, erhielt im Jahr 1995 die Genehmigung zum Abbau der beiden Kernkraftwerke KGR in Greifswald (Mecklenburg-Vorpom-

mern) und KKR in Rheinsberg (Brandenburg) und besitzt weitreichende Erfahrung im Abbau von wassergekühlten und -moderierten Reaktoren. Neben dem AVR-Reaktor (2003) hat sie auch die Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK, 2006) Abbau- und Entsorgungsgesellschaft mbH in Eggenstein-Leopoldshafen (Baden-Württemberg) als Tochtergesellschaft übernommen, sowie ab 2009 die übrigen Rückbauprojekte der nuklearen Anlagen des For-

Im April erhält die deutsche Luftwaffe die ersten Mehrzweckkampfflugzeuge „Eurofighter“.

2004

Am 60. Jahrestag der Landung der Alliierten in der Normandie nimmt mit Gerhard Schröder erstmals ein deutscher Bundeskanzler an den Gedenkfeiern teil.

Erneuerbare Energien

Mit Ausnahme von Biomasse, Geothermie und Wasserkraft, deren Potenzial begrenzt ist, bieten die übrigen erneuerbaren Energien ohne entsprechende Infrastruktur keine ausreichende technische Versorgungssicherheit.

Ein weiterer Ausbau der erneuerbaren Energien wird zu einer Verteuerung der Preise für Elektrizität und Wärme führen. Vor diesem Hintergrund ist die Sozialverträglichkeit der erneuerbaren Energien nicht gegeben, dennoch genießen sie eine hohe gesellschaftliche Akzeptanz. Zudem würde eine verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien die Verteilungskonflikte um die fossilen Energieträger entspannen.

schungs-
zentrums

Karlsruhe

(FZK) mit den da-

zugehörigen Entsorgungseinrichtungen.

International schafft die EWN im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie bei Murmansk die Voraussetzungen für eine Zerlegung und sichere Lagerung russischer Atom-U-Boote. Sie ist beratend an vielen Rückbauprojekten in Osteuropa beteiligt.

Das Konzept

Der „Sichere Einschluss“ mit seinen Ergänzungen beinhaltet die Demontage aller Systeme und Komponenten mit Ausnahme des Reaktorbehälters. Nur ein Grundbedarf notwendiger Infrastruktur war vorgesehen.

Der vollständige Abbau umfasst nun zusätzlich den Reaktorbehälter, alle Gebäudestrukturen sowie die unterirdische Infrastruktur. Ziel ist die „Grüne Wiese“.

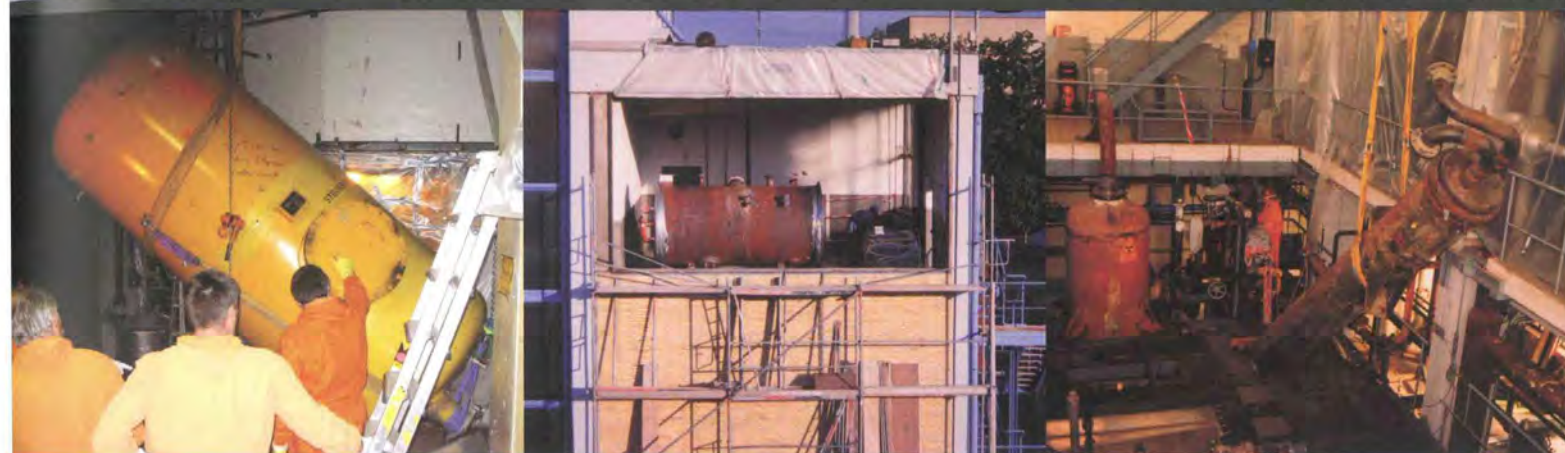
Für dieses neue Ziel fallen etwa weitere 40.000 Mg an Demontagemassen an. Diese lassen sich auf die drei Hauptbereiche Stahl und Metall, Bauschutt und Erdreich sowie sonstige Abfälle aufteilen.

	Herstellung des Sicheren Einschlusses Mg	Vollständiger Abbau Mg
Stahl und Metall	1.350	5.650
Bauschutt und Erdreich	2.500	34.700
sonstige Abfälle	130	245

Die britische Regierungsbehörde HFEA gestattet dem „Newcastle Centre for Life“ das Klonen menschlicher Embryonen zu Forschungszwecken.

2004

In der Nacht zum 3. September werden Tausende von Büchern bei einem Brand in der Herzogin-Anna-Amalia-Bibliothek in Weimar beschädigt.



v.l.n.r.: Demontage des Reingaspufferbehälters im Schutzbehälter, Hilfskesselausbau und Abtransport der Wärmetauscher aus dem Maschinenhaus

Den Löwenanteil stellt hierbei der Bauschutt aus dem Rückbau der Gebäudestrukturen ($\sim 85\%$). Nur jeweils ungefähr 10% der jeweiligen Massen werden als radioaktiver Abfall entsorgt.

Die auf der gegenüberliegenden Seite dargestellte Tabelle zeigt einen kurzen Vergleich der Demontagemassen bei der Herstellung des „Sicheren Einschlusses“ und unter dem neuen Ziel des vollständigen Abbaus der Anlage.

Demontage des Reaktorbehälters

Der Reaktorbehälter mit einem Gewicht von 1.650 Mg , einem Durch-

messer von $7,6\text{ m}$, einer Höhe von 26 m und einem Aktivitätsinventar von $5 \times 10^{15}\text{ Bq}$ (Becquerel) stellt eine besondere Entsorgungsaufgabe dar. Sein senkrechter Einbau und seine Höhe von 26 m ließen in Verbindung mit den radiologischen Gegebenheiten eine Zerlegung vor Ort unverhältnismäßig und unüberschaubar teuer werden. Die erforderlichen sicherheitstechnischen Nachweise für den Fall von Erdbeben und Flugzeugabstürzen, verbunden mit

Antoine Henri Becquerel erhielt 1903 gemeinsam mit *Marie Curie* den Physik-Nobelpreis für die Entdeckung der Radioaktivität. Die Einheit Becquerel gibt die Anzahl der Atome eines radioaktiven Stoffes an, die pro Sekunde zerfallen.

$$1\text{ Bq} = 1\text{ s}^{-1}$$

Das Bq ersetzt die alte Einheit Curie (Ci).

$$1\text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10}\text{ Bq}$$

Im April erhält die deutsche Luftwaffe die ersten Mehrzweckkampfflugzeuge „Eurofighter“.

2004

Am 60. Jahrestag der Landung der Alliierten in der Normandie nimmt mit Gerhard Schröder erstmals ein deutscher Bundeskanzler an den Gedenkfeiern teil.

Erneuerbare Energien

Mit Ausnahme von Biomasse, Geothermie und Wasserkraft, deren Potenzial begrenzt ist, bieten die übrigen erneuerbaren Energien ohne entsprechende Infrastruktur keine ausreichende technische Versorgungssicherheit.

Ein weiterer Ausbau der erneuerbaren Energien wird zu einer Verteuerung der Preise für Elektrizität und Wärme führen. Vor diesem Hintergrund ist die Sozialverträglichkeit der erneuerbaren Energien nicht gegeben, dennoch genießen sie eine hohe gesellschaftliche Akzeptanz. Zudem würde eine verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien die Verteilungskonflikte um die fossilen Energieträger entspannen.

schungs-
zentrums

Karlsruhe

(FZK) mit den dazugehörigen Entsorgungseinrichtungen.

International schafft die EWN im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie bei Murmansk die Voraussetzungen für eine Zerlegung und sichere Lagerung russischer Atom-U-Boote. Sie ist beratend an vielen Rückbauprojekten in Osteuropa beteiligt.

Das Konzept

Der „Sichere Einschluss“ mit seinen Ergänzungen beinhaltet die Demontage aller Systeme und Komponenten mit Ausnahme des Reaktorbehälters. Nur ein Grundbedarf notwendiger Infrastruktur war vorgesehen.

Der vollständige Abbau umfasst nun zusätzlich den Reaktorbehälter, alle Gebäudestrukturen sowie die unterirdische Infrastruktur. Ziel ist die „Grüne Wiese“.

Für dieses neue Ziel fallen etwa weitere 40.000 Mg an Demontagemassen an. Diese lassen sich auf die drei Hauptbereiche Stahl und Metall, Bauschutt und Erdreich sowie sonstige Abfälle aufteilen.

	Herstellung des Sicheren Einschlusses Mg	Vollständiger Abbau Mg
Stahl und Metall	1.350	5.650
Bauschutt und Erdreich	2.500	34.700
sonstige Abfälle	130	245

Die britische Regierungsbehörde HFEA gestattet dem „Newcastle Centre for Life“ das Klonen menschlicher Embryonen zu Forschungszwecken.

2004

In der Nacht zum 3. September werden Tausende von Büchern bei einem Brand in der Herzogin-Anna-Amalia-Bibliothek in Weimar beschädigt.



v.l.n.r.: Demontage des Reingaspufferbehälters im Schutzbehälter, Hilfskesselausbau und Abtransport der Wärmetauscher aus dem Maschinenhaus

Den Löwenanteil stellt hierbei der Bauschutt aus dem Rückbau der Gebäudestrukturen ($\sim 85\%$). Nur jeweils ungefähr 10% der jeweiligen Massen werden als radioaktiver Abfall entsorgt.

Die auf der gegenüberliegenden Seite dargestellte Tabelle zeigt einen kurzen Vergleich der Demontagemassen bei der Herstellung des „Sicheren Einschlusses“ und unter dem neuen Ziel des vollständigen Abbaus der Anlage.

Demontage des Reaktorbehälters

Der Reaktorbehälter mit einem Gewicht von 1.650 Mg , einem Durch-

messer von $7,6\text{ m}$, einer Höhe von 26 m und einem Aktivitätsinventar von $5 \times 10^{15}\text{ Bq}$ (Becquerel) stellt eine besondere Entsorgungsaufgabe dar. Sein senkrechter Einbau und seine Höhe von 26 m ließen in Verbindung mit den radiologischen Gegebenheiten eine Zerlegung vor Ort unverhältnismäßig und unüberschaubar teuer werden. Die erforderlichen sicherheitstechnischen Nachweise für den Fall von Erdbeben und Flugzeugabstürzen, verbunden mit

Antoine Henri Becquerel erhielt 1903 gemeinsam mit *Marie Curie* den Physik-Nobelpreis für die Entdeckung der Radioaktivität. Die Einheit Becquerel gibt die Anzahl der Atome eines radioaktiven Stoffes an, die pro Sekunde zerfallen.

$$1\text{ Bq} = 1\text{ s}^{-1}$$

Das Bq ersetzt die alte Einheit Curie (Ci).

$$1\text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10}\text{ Bq}$$

einem extrem hohen Demontageaufwand aufgrund der Höhen- und beengten Platzverhältnisse sowie der damit einhergehenden hohen Strahlenexposition für das Personal machten eine Zerlegung des Reaktorbehälters in Einbaulage nahezu unmöglich.

Erst mit der außerordentlich kühn erscheinenden Idee des neuen Gesellschafters, den Reaktorbehälter als Einheit aus seiner Position herauszuheben und in horizontaler Lage an einem geeigneten Ort zu lagern und später zu zerlegen, erhielt die Entsorgungsplanung für den Reaktorbehälter eine technisch machbare und bezahlbare Strategie. Um den Reaktorbehälter herausheben zu können, waren wichtige technische Maßnahmen erforderlich. Neben der Schaffung eines Zwei-

Barrieren-Systems zur Verhinderung unkontrollierter Freisetzungen durch den Bau der Materialschleuse war vor allem die Verfüllung des Reaktorbehälters mit Porenleichtbeton von enormer Wichtigkeit. Mit ihr wird die Fixierung der inneren Einbauten während des Transportes und der Lagerung des Behälters garantiert, seine Stabilität erhöht, der kontaminierte Graphitstaub gebunden und durch die Abschirmwirkung des Materials die Dosisleistung am äußeren Behälter gesenkt.

Nach Entfernen des Reaktorbehälters aus der Anlage ist eine Zwischenlagerung von mindestens 30 Jahren Abklingzeit vorgesehen.

Zur Verbringung des Reaktorbehälters in sein zurzeit im Bau befindliches Zwischenlager wird er als



Starke Fundamente zum Bau der Materialschleuse

2004

Durch die am 26. Dezember von einem Seebeben im Indischen Ozean ausgelöst bis zu 10 m hohen Flutwellen sterben in Asien und Afrika über 200.000 Menschen.



Einheit aus seiner vertikalen Position herausgehoben, horizontal geschwenkt und auf einem speziellen Transportsystem abgelegt.

Nach der Abklingzeit wird das in der Nähe des AVR-Geländes errichtete Zwischenlager um einen Anbau erweitert, in dem der Reaktorbehälter zerlegt und die entstehenden Abfälle endlagergerecht konditioniert werden können.

Materialschleuse

Die erste noch für den „Sicheren Einschluss“ durchgeführte Maßnahme unter der neuen Geschäftsführung war die Errichtung einer Materialschleuse, die unmittelbar an den bestehenden

Biologischen Schild II angrenzt.

Ihre Funktion als Zwei-Barrieren-System wurde bereits erwähnt, stellt jedoch nur eine ihrer Aufgaben dar. Mit der Schaffung neuer Lüftungsanlagen im Rahmen der Errichtung wurde eine wesentliche Verbesserung der Arbeitsbedingungen sowohl innerhalb der Schleuse als auch im Schutzbehälter erreicht. Der Einbau eines 25 Mg-Krans stellt eine weitere Transportmöglichkeit dar, die den bestehenden Engpass bei den Materialtransporten innerhalb des Schutzbehälters beseitigt. Nicht zuletzt werden im Schutz der Materialschleuse alle Maßnahmen durchgeführt, die für das Ausheben des Reaktorbehälters notwendig sind.

Für das 2,5 m starke Fundament der Schleuse waren 270 Mg

73



Stahlbau und Fertigstellung der Materialschleuse

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung erklärt im Rahmen der Initiative „Wissenschaft im Dialog“ 2005 zum „Einsteinjahr“. Anlass dafür ist der 100. Geburtstag der Relativitätstheorie und der 50. Todestag von Einstein.

2005

Papst Johannes Paul II. stirbt im Alter von 84 Jahren. Der deutsche Kardinal Joseph Ratzinger wird zum neuen Papst Benedikt XVI. gewählt.



v.l.n.r.: Container mit Blähglaskugeln, Umfüllstation innerhalb der Materialschleuse, Zementsilos

74

Bewehrungsstahl und 2.000 m³ Beton nötig. Das Fundament wurde in einer 19-stündigen Kampagne in einem Stück gegossen. 35.000 m Kabel waren für die Bereiche der Elektro-, Mess-, Steuer- und Regeltechnik nötig. Die Außenfläche wurde mit insgesamt 9.500 m² ISO-Fassadenelementen verkleidet.

Mit ihren Ausmaßen von 60 m Höhe, 39 m Länge und 27 m Breite ist die Materialschleuse das höchste Gebäude in Jülich. Diese Abmessungen sind notwendig, um Großkomponenten wie zum Beispiel die Mischkühler und den Reaktorbehälter aus dem Schutzbehälter auszuschleusen. Der Bau der Materialschleuse war Bestandteil der fünften und gleichzeitig letzten Ergänzung zur Genehmigung 07/15 „Herbeiführung des sicheren Einschlusses“.

Porenleichtbeton

Nicht nur in technischer Hinsicht stellt das Ausheben des Reaktorbehälters mit seinem Gesamtgewicht von ~2.100 Mg eine Herausforderung dar. Überlegungen zur Sicherheit von Personal und Umwelt, sowohl während des Aushebens als auch für eine geplante Lagerzeit von mehreren Jahrzehnten, standen von Anfang an bei allen Planungen im Vordergrund.



Aufstellung des Zeltgerüsts

Am 10. Mai wird in Berlin das Holocaust-Mahnmal für die ermordeten Juden Europas feierlich eingeweiht.

2005



v.l.n.r.: Verfüllpumpen und Misch tanks, Filterstrecke, Gerüst des Schutzzeltes, Montage des Zeltdaches

Das Augenmerk lag insbesondere auf den radiologischen Aspekten eines fiktiven Absturzes des Reaktorbehälters innerhalb der Materialschleuse. Vor allem stand die Frage der Freisetzung radioaktiver Stoffe eines solchen angenommenen Absturzes im Raum.

Gesucht wurde nach einem geeigneten Füllmaterial für den Reaktorbehälter, welches hauptsächlich zwei Kriterien erfüllen sollte:

- Fixierung der inneren Einbauten während der Handhabung und des Transportes und
- Bindung der staubförmigen Kontaminationen.

Aber dies waren nicht die einzigen Bedingungen. Darüber hinaus musste das Material fließfähig, stabil und leicht sein.

Eine gute Fließfähigkeit war erforderlich, da die innen liegenden Geometrien des Reaktorbehälters teils schwer erreichbar waren und doch sicher verfüllt werden mussten. Hohlräume durften bei der Verfüllung nicht entstehen.

Stabilität war gefordert, da der Behälter im Fall des hypothetischen Absturzes keinen größeren Schaden nehmen durfte.

75



Tag der Verfüllung

In Frankreich wird der Ort Cadarache für den Bau des Versuchs-Fusionsreaktors „ITER“ ausgewählt, geplante Fertigstellung 2019.

2005

Im August findet der XX. Weltjugendtag in Köln statt. Zur Abschlussmesse steigt die Teilnehmerzahl auf 1,1 Millionen Gläubige an. Damit ist diese Messe die bis dahin größte in Deutschland.



Verfüllrohre in der Materialschleuse

ger am Reaktorbehälter sowie die Handhabung des Reaktorbehälters gaben die Grenzen für die durch das Füllmaterial zusätzliche Masse vor. Bei einem freien Volumen von 500 m^3 musste die mittlere Dichte etwa $0,7 \text{ kg/dm}^3$ betragen.

Kurz:

Das Füllmaterial musste leichter als Wasser, flüssig wie Wasser, aber zusätzlich noch stabil sein. Um diese scheinbar gegensätzlichen Eigenschaften zu vereinen, fiel die Wahl schließlich auf einen Porenleichtbeton.

Jeder Bauherr kennt die schwedische Erfindung eines mittels Aluminium aufgeschäumten Leichtbetons aus dem Hausbau, im Volksmund nach ihrem Handelsnamen „Ytong-Steine“ genannt.

Leicht musste das Füllmaterial sein, um bei einem Eigengewicht von etwa 1.650 Mg und einer zusätzlichen Belastung von weiteren 100 Mg durch das noch anzubringende Anschlagmittel das Gewicht des Reaktorbehälters nicht unnötig zu erhöhen. Die Aufnahmekapazität der Setzla-



Porenleichtbeton-Silos aus der Vogelperspektive ...

Am 30. Oktober 2005 findet in der Frauenkirche in Dresden ein Festakt zum abgeschlossenen Wiederaufbau statt. Durch Mithilfe von Fördervereinen und Spendern aus aller Welt konnte dieser Wiederaufbau finanziert werden.

2005

Dr. Angela Merkel wird vom Bundestag zur ersten Bundeskanzlerin Deutschlands gewählt.



... und unter dem Schutzzelt nach vollständigem Aufbau der Ausrüstung

Auch beim AVR-Projekt verfolgte man anfänglich den Gedanken an einen gasgeschäumten Zement, der nicht nur im Hausbau, sondern auch in der Industrie zum Standard gehört. Industriell eingesetzte Porenleichtbetone können von ihrer Struktur her mit einem Schwamm verglichen werden und dienen der Abdichtung großer Bohrlöcher oder der Verfüllung unterirdischer Hohlräume.

Doch diese gasgeschäumten Porenbetone waren für die AVR-Belange immer noch zu schwer. Des Weiteren konnte mit ihnen die benötigte Stabilität der Hohlräume nicht garantiert werden, da bei den vorgesehenen Überströmungen im Behälter eine Trennung des schwereren Zements vom leichteren Gas nicht zu vermeiden gewesen wäre.

Letztendlich entschied man sich für einen Zement, bei dem die Hohlraumbildung durch mikroskopisch kleine, hohle Glaskugeln von nur 0,1 bis 0,2 mm Durchmesser erreicht wurde.

Doch hiermit stand man erst am Anfang eines langen Weges.

Chemische Reaktionen mit dem aluminiumhaltigen Schutzanstrich des Behälters oder unerwünschte Verbindungen, die zwischen der Silikon-Beschichtung der Glaskugeln und den Zementzusätzen auftraten, waren nur einige der Schwierigkeiten, die aus dem Weg geräumt werden mussten.

Zahlreiche Vorversuche und Prüfungen waren notwendig, ehe man zum Jahreswechsel 2007/2008 der



Im Januar fordert der kälteste Tag mit Tiefstwerten bis unter $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$ vier Todesopfer in Deutschland.

2006

Inbetriebnahme des umstrittenen „Drei-Schluchten-Staudamms“ in China.

Hierfür wurden etwa zwei Millionen Menschen umgesiedelt.



Behörde und den Gutachtern in zwei Großversuchen die endgültige Mischung und Verfülltechnik vorstellen konnte. Nach positiver Auswertung wurde dieses Material als geeignet befunden und testiert.

Mit dem erfolgreichen Abschluss der Planung zur Logistik und zum Verfüllkonzept war es dann am 4. November 2008 so weit:

Nachdem 44 Blähglas-Silos, 22 Zementsilos, 8 Anmisch tanks sowie die Pump- und Mischstationen im Schutz eines 30 x 50 m großen,

beheizbaren und eigens für diesen Zweck gebauten Schutzzeltes untergebracht waren, wurde der Reaktorbehälter in einer 13-stündigen Aktion mit dem Porenleichtbeton verfüllt. Ein wichtiger Meilenstein auf dem Weg zum Abbau war somit erreicht.

Ausheben und Transport des Reaktorbehälters

Der Reaktorbehälter mit seinem ohnehin schon hohen Eigengewicht ist nach der Verfüllung mit Porenleichtbeton und der Montage des oberen Anschlagmittels insgesamt etwa 2.100 Mg schwer.

Zur Bewältigung dieser enormen Masse werden vier Litzenheber eingesetzt. Diese heben den Behälter aus seiner jetzigen Position heraus und setzen ihn auf ein vorbereitetes Traggestell in der Materialschleuse ab. Dort wird das untere Anschlagmittel angebracht. Weitere drei Litzenheber sind nötig, um den Behäl-

78

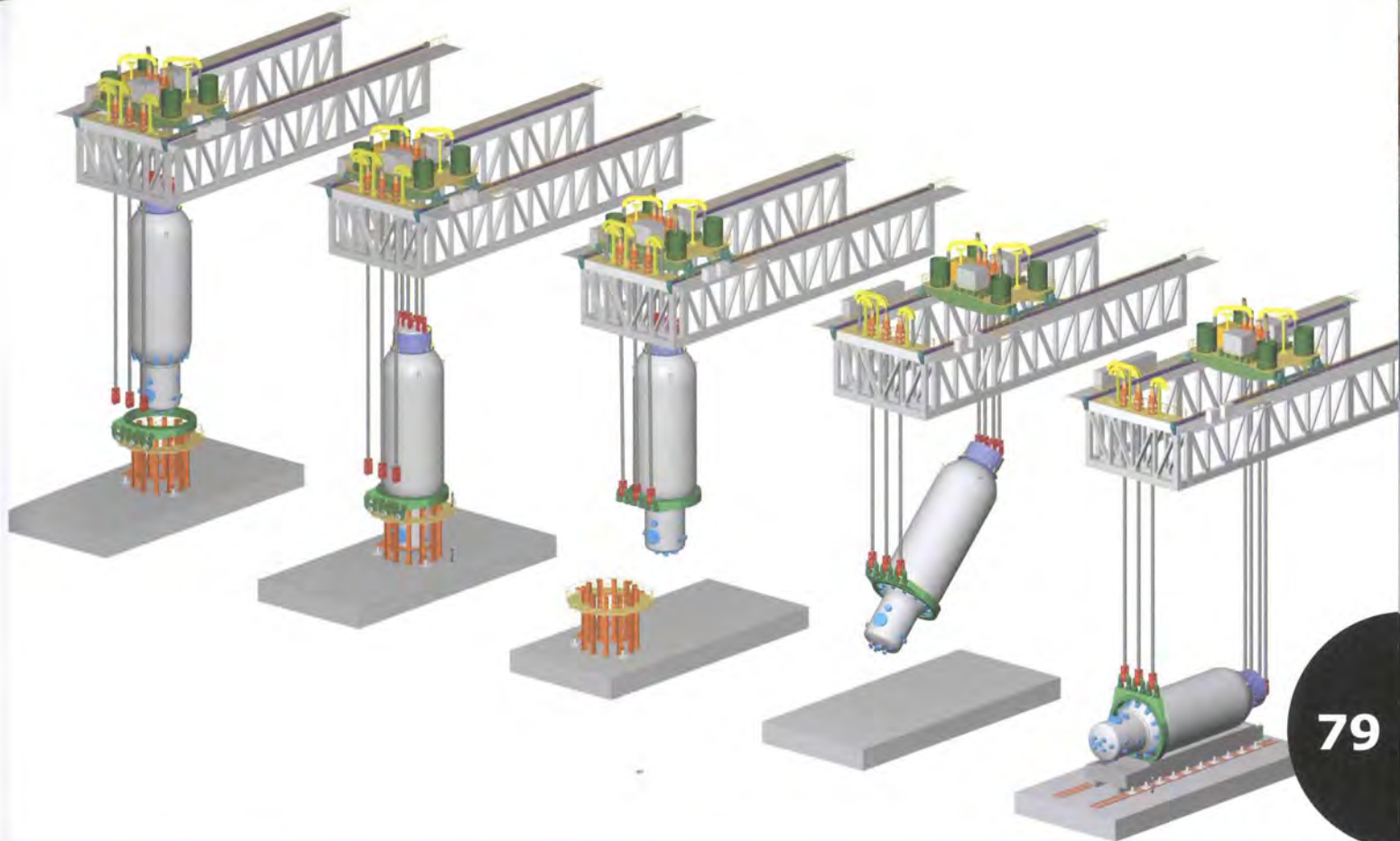


Litzenheber

Das Portrait „Adele Bloch-Bauers“ des Malers Gustav Klimt wird für die Rekordsumme von 135 Millionen US-Dollar (106,7 Mio. Euro) verkauft, damit ist es das bis dato am teuersten verkaufte Bild.

2006

Anfang Juni findet in Deutschland die Fußball-Weltmeisterschaft statt.



79

3D-Zeichnung zum Ausheben, Schwenken und Ablegen des Reaktorbehälters

ter anschließend erneut anzuheben und in eine waagerechte Position zu schwenken. Erst dann wird er endgültig auf den Transportschlitten abgesenkt.

In dieser Position wird der Reaktorbehälter innerhalb der Materialschleuse vorbereitet, ehe er für die nächsten Jahrzehnte in sein Zwischenlager transportiert wird.

Demontage der Gebäudestrukturen

Nach dem Herausheben des Reaktorbehälters beginnt eine vollkommen neue Abbauphase, die durch sich ständig ändernde Abbausituationen gekennzeichnet ist.

Konnte man bisher noch auf bestehende Strukturen und Überwa-

2006

Im November sitzen 10 Millionen Menschen in Westeuropa wegen eines Stromausfalles im Dunkeln. Vermutlicher Auslöser hierfür ist die Abschaltung einer Hochspannungsleitung für die Ausschiffung der „Norwegian Pearl“, eines auf der Meyer-Werft in Papenburg (Emsland) gebauten Kreuzfahrtschiffes.



chungseinrichtungen zurückgreifen, werden diese nun sukzessive abgebaut und durch temporäre Schutz- einrichtungen bis hin zur kompletten Einhausung von Gebäudeteilen ersetzt.

Schließlich können die Gebäudestrukturen potenziell noch geringfügige radioaktive Kontaminationen enthalten, die nicht nur an der Oberfläche vorhanden sind, sondern die Gebäudestrukturen oft auch durchdrungen haben können. Deshalb ist aus statischen Gründen eine vollständige Dekontamination mit anschließendem konventionellem Abbau nicht möglich.

Das Nebeneinander kontaminierter und nicht kontaminierter Bereiche macht den Abriss der Gebäudestrukturen zu einem komplexen Vorgang, bei dem — wie bei al-

Die Emission von Treibhausgasen erfolgt vor allem in Industrie- und Schwellenländern wie Indien und China. Zudem sind die individuellen Pro-Kopf-Emissionen in den Industrieländern bedeutend höher als im Rest der Welt.

Die Risiken des Klimawandels wirken jedoch global und treffen gerade die Entwicklungsländer besonders hart.

Die Folgen des Klimawandels werden auch zukünftige Generationen tragen bei gleichzeitig geringeren Chancen zur Nutzung fossiler Energieträger.

Durch den Bundestag beschlossen steigt zum Jahresanfang die Mehrwertsteuer von 16 % auf 19 %.

In Deutschland wird erstmals seit 1969 ein ausgeglichener Staatshaushalt erreicht.

2007

len Demontagen — die Freisetzung von radioaktiven Stoffen verhindert werden muss.

Grüne Wiese

Letzter, aber sehr aufwendiger Arbeitsschritt hin zur „Grünen Wiese“ wird die Freimessung des AVR-Geländes sein. Damit wird nachgewiesen, dass radioaktive Kontaminationen selbst in geringer Konzentration weder überirdisch noch unterirdisch vorliegen. Der erforderliche Umfang der Freimessung

des AVR-Geländes, das heißt insbesondere die Anzahl der notwendigen Stichproben, wird in einem zu erstellenden Konzept festgelegt. Die atomrechtliche Aufsichtsbehörde prüft anschließend das vorgelegte Konzept.

Erst dann, wenn die Kontaminationsfreiheit des AVR-Geländes sichergestellt und durch die zuständigen Behörden und Gutachter bestätigt worden ist, wird das Gelände der AVR GmbH aus dem Atomrecht entlassen. Erst dann ist das Projektziel erreicht:

Grüne Wiese





Im Herbst erreichen die Erdöl- und Goldpreise Rekordniveau.

2007

Lageplan der AVR-Anlage

Entsorgung

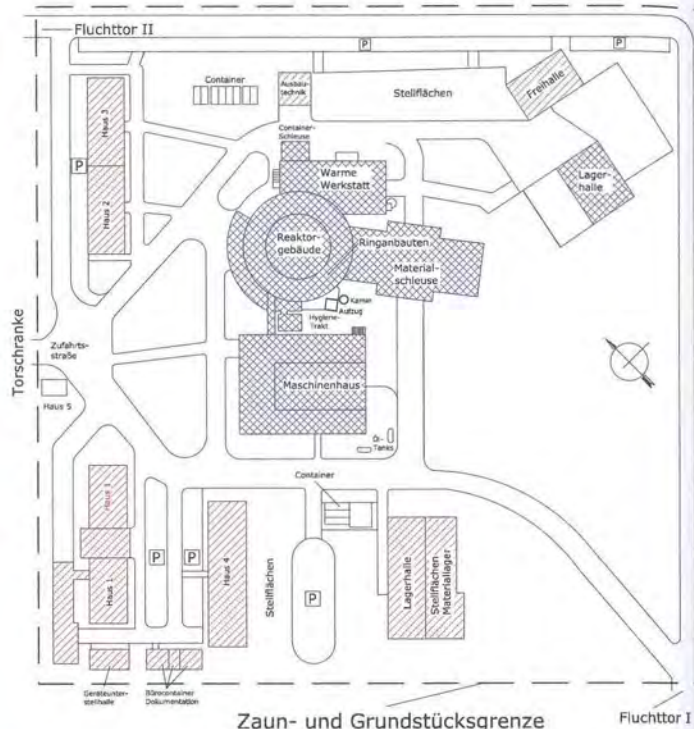
Betriebsjahre

Schwach-aktive Abfälle

Neben den abgebrannten Brennelementen fallen beim Betrieb eines Kernkraftwerkes auch schwach radioaktive Abfälle an. Hierbei handelt es sich um feste und flüssige Stoffe, die beim Betrieb direkt durch kontaminierte Medien (Kühlgas/Kühlwasser) oder indirekt im Zusammenhang mit Reparatur-, Wartungs- und Umbauarbeiten kontaminiert werden.

Um den Umfang dieser Abfälle zu minimieren, stehen vier Behandlungswege zur Verfügung:

- die sogenannte Freimessung, mit der durch sehr aufwendige Messungen sichergestellt wird, dass weder an der Oberfläche noch im Material selbst eine Kontamination



vorliegt, das Material also als nicht radioaktiv eingestuft werden kann; diese Messungen erfolgen nur, wenn eine Kontamination des Materials von vornherein als unwahrscheinlich gilt;

- die Hochdruckverpressung nicht brennbaren Materials mit 280 bar;
- die Verbrennung brennbarer fester und flüssiger Stoffe, wobei die entstehende Asche/Schlacke anschließend noch der Hochdruckverpressung zugeführt wird;

In Lissabon werden die sieben neuen Weltwunder gekürt

Chichen Itza

Mayaruinen auf
der Halbinsel
Yucatán
(Mexiko)

Chinesische

Mauer
Grenz-
befestigung
(Volksrepublik China)

Christo
Redentor
Christusstatue
in
Rio de Janeiro
(Brasilien)

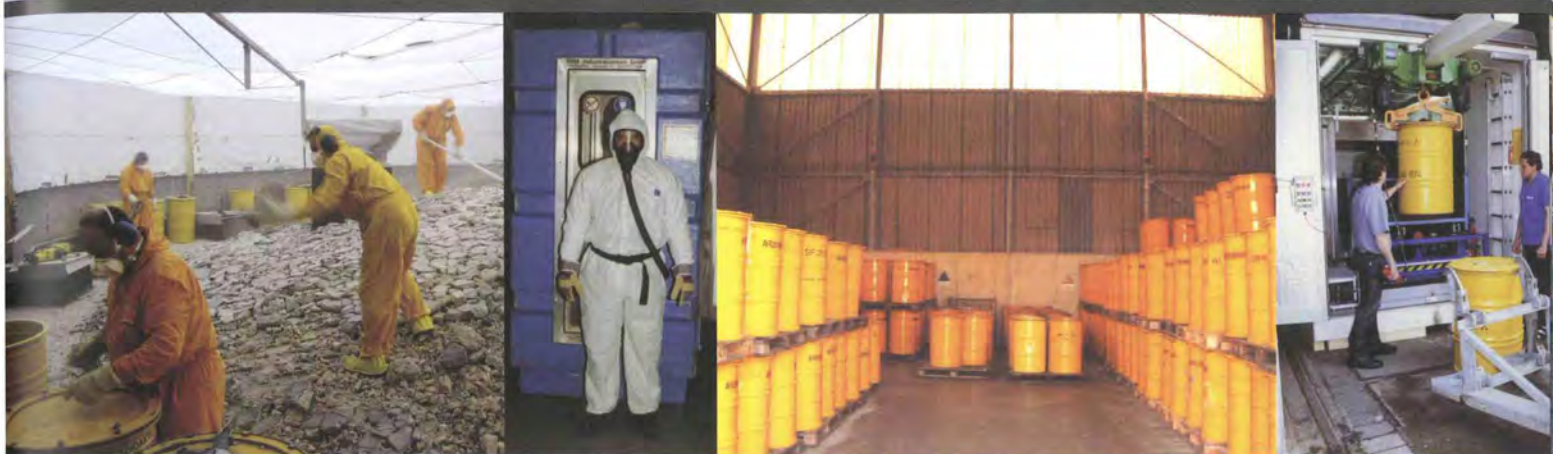
Kolosseum
antikes
Amphitheater
in Rom
(Italien)

Machu
Picchu
Inkaruinenstadt
in den
Anden
(Peru)

Petra
antike
Felsenstadt
(Jordanien)

Taj Mahal
Grabmal
(Indien)

2007



v.l.n.r.: Befüllen der Abfallfässer bei der Demontage des Reaktorgebäudedaches, Demontageeinsatz unter Vollschutz, Einlagerung der Abfallfässer in der Krupphalle, Freimessung

- die Verdampfung von wässrigen Flüssigkeiten, wobei die Rückstände weiterbehandelt werden.

Die Behandlung der radioaktiven Abfälle durch Hochdruckverpressung, Verbrennung und Verdampfung erfolgte meist durch das Forschungszentrum Jülich, gelegentlich aber auch bei externen Einrichtungen. Die Zwischenlagerung aller angefallenen Rohabfälle sowie der behandelten und für eine spätere

Endlagerung konditionierten Abfälle erfolgte ausschließlich auf dem Gelände der AVR GmbH.

Während 21 Jahren Reaktorversuchsbetrieb sind bis zur endgültigen Abschaltung des Reaktors im Jahr 1988 insgesamt etwa 375 m³ radioaktive Abfälle mit einer Gesamtkativität von ungefähr $2,4 \times 10^{13}$ Bq angefallen, an der das Radionuklid Sr 90 mit 97 % beteiligt ist.

Brennelemente

Die bestrahlten AVR-Brennelemente werden zurzeit in Trockenlagerbehältern vom Typ CASTOR-AVR/THTR zwischengelagert. Eine Wiederaufbereitung

83



Zur Kokille eingeschmolzene Metallreststoffe

2007

Die Veröffentlichung des vierten VN-Klimaberichts führt zu einem weltweiten Umdenken in der Klimaschutzpolitik.

2008

Das Briefmonopol der Deutschen Post AG ist seit dem 1. Januar aufgehoben.



Abbau des Reaktorgebäudedaches unter einem Schutzzelt innerhalb der Materialschleuse

ist nicht vorgesehen, die Brennelemente sollen der direkten Endlagerung zugeführt werden. Wie sie dafür verpackt werden sollen, ist noch nicht festgelegt.

Aus radiologischer Sicht sind die HTR-Kugelelemente für die Endlagerung ideal. Bislang konnte in Expositionsversuchen keinerlei Beeinträchtigung der Kugeln durch Wasser oder Salzlaugeangriff festgestellt werden.

Abbau

Radioaktive Abfälle

Während der Reaktorbetriebszeit ist die Entsorgung der radioaktiven Abfälle von untergeordneter Bedeutung. Im Gegensatz hierzu beinhalten die Stilllegung und der Abbau einer kerntechnischen Anlage praktisch ausschließlich entsorgungstechnische Fragen, die von den radiologischen Verhältnissen in der Anlage bestimmt werden.

Schließlich unterliegt jedes Teil der Anlage einschließlich der Baustrukturen der atomrechtlichen Überwachung und muss daher auf seine tatsächliche oder auch nur potenzielle radioaktive Verunreinigung überprüft und, wenn möglich, da-



Montage von Bleischutzmatten vor dem Kühlgasgebläse

Eine weltweite Finanzkrise führt zu zahlreichen Insolvenzen von Banken. Die Börsen erleben extreme Kursschwankungen.

2008

Mit dem Large Hadron Collider wird am Forschungszentrum CERN in Genf der weltweit größte Teilchenbeschleuniger in Betrieb genommen. Kritiker befürchten Risiken im Zusammenhang mit der künstlichen Erzeugung von Schwarzen Löchern.

Demontage der Wasserhochbehälter und Montage des Verschlusssystems 1 in der Materialschleuse

von gereinigt oder als radioaktiver Abfall entsorgt werden.

In den weit verbreiteten Druck- und Siedewassereaktoren wird die Überprüfung eines Materials auf Kontamination durch eine relativ einfache Messung der γ -Strahlung (^{60}Co) durchgeführt. Da das Leitnuklid einer Kontamination beim AVR-Reaktor ^{90}Sr ist, also ein reiner β -Strahler, muss hier das Maß der Kontamination durch eine aufwendige β -Messung ermittelt werden.

Obwohl ursprünglich „nur“ der „Sichere Einschluss“ der AVR-Anlage geplant und der vollständige Abbau erst 30 Jahre nach der endgültigen Reaktorabschaltung vorgesehen war, wurde sofort nach der endgültigen Reaktorabschaltung zur Bewältigung der anstehenden Entsorgungsauf-

gaben die „Warme Werkstatt“ der AVR-Anlage erweitert. Damit wurde dem zu erwartenden höheren Anfall radioaktiver Stoffe Rechnung getragen. Die Verschrottung der ausgebauten metallischen Komponenten und Anlagenteilen erfolgt dabei in vier Schritten:

1. Dekontamination und Zerlegen auf eine Einzelteilgröße, die eine Verpackung in einem 200 l-Fass ermöglicht

2. Einschmelzen der Reststoffe zu Kokillen in einem atomrechtlich überwachten Einschmelzofen

3. messtechnische Überprüfung des eingeschmolzenen Materials auf eine eventuelle Restradioaktivität

2008

Ende Oktober wird der Verkehrsflughafen Tempelhof in Berlin geschlossen. Während der Berlin-Blockade (1948–1949) landeten hier die alliierten Flugzeuge der „Berliner Luftbrücke“ zur Versorgung der Westberliner mit Lebensmitteln.



v.l.n.r.: Abriss Pumpenhaus und Kühltürme, Schuttbeseitigung

86

4. Entscheidung, ob das Material gemäß Strahlenschutzverordnung im atomrechtlich überwachten Bereich verbleibt und dort zur Fertigung von Gussbehältern für radioaktive Abfälle verwendet wird oder als radioaktivitätsfreies Material aus der atomrechtlichen Überwachung entlassen und unbeschränkt weiterverwertet werden kann.

Metallische Reststoffe besitzen aus Sicht des Entsorgers den Vorteil, dass sie eingeschmolzen und damit einer präzisen Radioaktivitätsmessung zugänglich gemacht werden können. Dies ist bei nicht metallischen Stoffen fast nicht möglich. Daher werden solche Stoffe grundsätzlich als radioaktiver Abfall behandelt.

Eine Besonderheit unter den Demontagemassen stellt Bauschutt dar.

Gebäudestrukturen, bei denen eine Kontamination aufgrund ihrer Funktion und ihrer Betriebsgeschichte (wie zum Beispiel die Kühltürme) prinzipiell ausgeschlossen werden kann, werden unabhängig von dieser Einschätzung auf eine potenzielle Kontamination anhand von

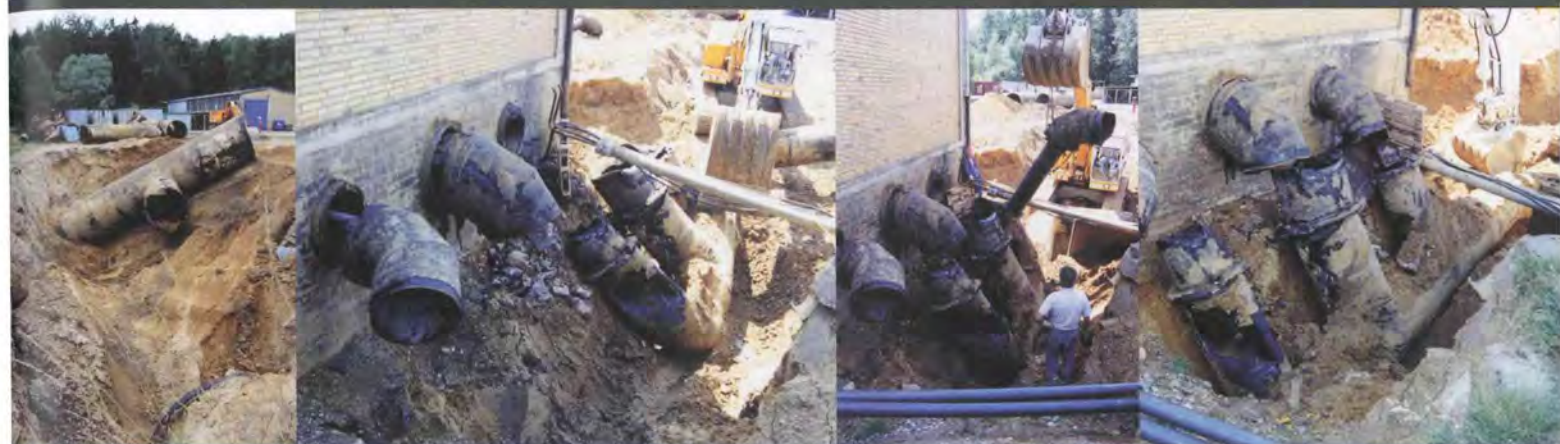
Chancen-Risiko-Relation

Aufgrund theoretisch möglicher Störfälle tragen die im unmittelbaren Umkreis von Kernkraftwerken lebenden Menschen ein höheres Risiko als der Rest der Bevölkerung.

Durch die notwendige Endlagerung der radioaktiven Abfälle werden die Risiken an folgende Generationen weitergegeben, ohne dass diese am Nutzen der Kernenergie partizipieren können.

Zukünftige Risiken werden aber gegebenenfalls durch die Minderung des Treibhauseffektes und die Schonung der fossilen Energieträger kompensiert.

Kernenergie



Demontagen der unterirdischen Rohrsysteme

Stichproben überprüft, bevor sie aus der atomrechtlichen Überwachung entlassen und abgerissen werden.

Der größte Teil der Gebäudestrukturen der AVR-Anlage befindet sich allerdings in Bereichen, in denen potenziell oder tatsächlich eine radioaktive Verunreinigung (Kontamination) vorliegt.

Wegen der zu erwartenden sehr großen Bauschuttmassen — für den gesamten Abbau der AVR-Anlage wird mit etwa 27.500 Mg gerechnet — ist daher zur Minimierung des radioaktiven Abfalls (und damit der Kosten) eine sorgfältige Trennung des kontaminierten und nicht kontaminierten Anteils erforderlich. Diese Trennung kann allerdings meist nicht anhand von Stichprobenmessungen, sondern nur durch 100 %-

Messungen des Materials erfolgen. Bauschuttabfälle aus der Reaktorbetriebszeit und der Stilllegungsphase bis zum Jahr 2003 konnten noch nicht ausreichend präzise auf ihre Kontamination überprüft werden und wurden daher als radioaktiver Abfall behandelt. Seit dem Jahr 2003, in dem der vollständige Abbau der AVR-Anlage geplant wurde, entwickelte die AVR GmbH jedoch ein inzwischen patentiertes Verfahren. Mit Hilfe dieses Verfahrens lässt sich nun preisgünstig und absolut sicher die Kontamination auch großer Mengen an Bauschutt bestimmen. Voraussetzung allerdings ist, dass der Bauschutt zur messtechnischen Überprüfung gemahlen und homogenisiert wird.

Mit dem gleichen Verfahren ist auch eine messtechnische Überprüfung

2009

Am 20. Januar wird Barack Obama als erster Afroamerikaner zum Präsidenten der Vereinigten Staaten von Amerika vereidigt.

2010

100. Geburtstag von Konrad Zuse. Er gilt als Erfinder des Computers.



Außen- und Innenansicht der Lagerhalle V

88

von Erdreich möglich, das aufgrund des Störfalls im Jahr 1978 im Fundamentbereich des Reaktorgebäudes geringfügig kontaminiert wurde. Dieses Verfahren ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu einer kostengünstigen Entsorgung.

Lagerhalle V

Bis zum Jahr 2003 konnten die aus der Reaktorbetriebszeit und den Stilllegungsarbeiten hervorgegangenen radioaktiven Abfälle noch auf dem Gelände der AVR-Anlage zwischengelagert werden.

Zur Sicherstellung der Entsorgung der nun zu erwartenden großen

Abfallmengen von insgesamt etwa 1.400 m³ errichtete die AVR GmbH zusammen mit dem Forschungszentrum Jülich auf dessen Gelände an der bereits bestehenden Lagerhalle IV eine zusätzliche Lagerhalle (Lagerhalle V). Diese neue Halle bietet Platz für insgesamt 5.000 m³ schwach- und mittelradioaktive Abfälle. Der Lagerplatz steht zu 50 % für Abfälle aus dem Abbau der AVR-Anlage zur Verfügung.

Im Mai 2007 wurde mit den Bauarbeiten zur Errichtung der Halle begonnen, die exakt ein Jahr später abgeschlossen werden konnten. Nach Erhalt der Betriebsgenehmigung im Frühjahr 2009 war die Einlagerung der ersten Abfälle möglich.

Zum 1. November soll der elektronische Personalausweis bundesweit eingeführt werden.

2010

Laut Beschluss der Bundesregierung vom 29. August 2006 beteiligt sich Deutschland an der EU-weiten Volkszählung.

2011

Reaktorbehälter-Zwischenlager

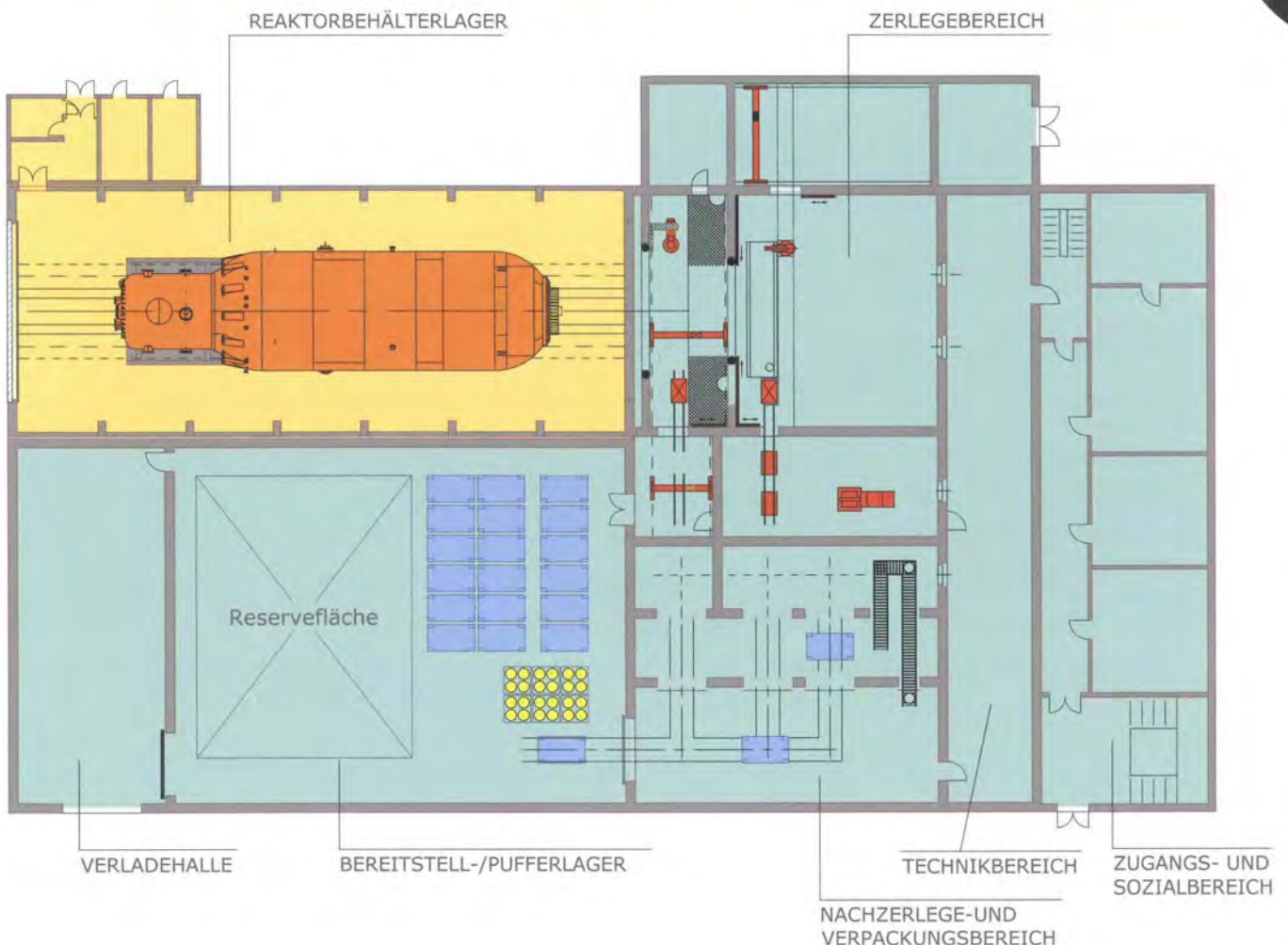
Auch das geplante Reaktorbehälter-Zwischenlager wird auf dem Gelände des Forschungszentrums Jülich in unmittelbarer Nähe zum AVR-Gelände errichtet.

Wie schon beschrieben, wird der ungefähr 2.100 Mg schwere Reak-

torbehälter nicht vor Ort zerlegt, sondern als Einheit ausgebaut und in das Reaktorbehälter-Zwischenlager, RB-ZL-I genannt, transportiert. Im März 2009 wurde mit den Errichtungsarbeiten des Zwischenlagers begonnen, geplanter Fertigstellungstermin ist Mitte 2010.

Nach einer Zwischenlagerzeit von etwa 30 Jahren kann nach Abklingen der Kobalt 60 (Co 60)-Aktivität die

Zeichnung des Reaktorbehälter-Zwischenlagers inklusive Erweiterungsbau (RB-ZL-I+II)





Geplante Fertigstellung des Freedom Tower am Ground Zero in Manhattan in New York, der an der Stelle des am 11. September 2001 zerstörten World Trade Centers errichtet wird.

Überprüfung des Beschlusses zum Ausstieg Deutschlands aus dem Steinkohlenbergbau.

2012

Endlagerung der radioaktiven AVR-Abfälle

Abfallart	Abfall- menge	Leit- Nuklid	spez. Gesamt- aktivität heute	spez. Gesamt- aktivität in 500 Jahren	spez. natürliche Aktivität von Acker- boden
	Mg	(Halbwerts- zeit in Jah- ren)	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg
abgebrannte Brennelemente	60	U 233 (1,6x10 ⁵)	9,7x10 ⁹	2,6x10 ⁹	500
sonstige radioaktive Abfälle					
- aus dem Reaktorbetrieb	125	Sr 90 (28,5)	1,8x10 ⁸	880	
- aus dem Abbau der AVR-Anlage (ohne RB)	750	Sr 90 (28,5)	2,4x10 ⁶	14	
- aus der Zerlegung des Reaktorbehälters	2.100	Cs 137/ C 14 (30,2/5.730)	1,7x10 ⁹ / 1,2x10 ⁸	350	

Zerlegung dieser Großkomponente scheibenweise in einer fernbedienbaren Seilschneidetechnik erfolgen. Allerdings ist hierzu ein später noch zu errichtender Zerlegungs- und Entsorgungsanbau (RB-ZL-II) erforder-

lich, der die notwendige Infrastruktur enthält.

Die aus der Zerlegung des Reaktorbehälters und der anschließenden Beseitigung des RB-ZL-I und II her-

2012

Durch eine internationale Kontrolle sollen alle Chemiewaffen der Unterzeichnerstaaten der Chemiewaffenkonvention vernichtet sein.

100 Jahre Deutsche Lebens-Rettungs-Gesellschaft (DLRG)

2013

Zum 100. Mal wird die Tour de France ausgetragen.

vorgehende Menge an radioaktiven Abfällen wird ungefähr 3.000 m³ Endlagervolumen beanspruchen.

Endlagerung

Oft wird in der Öffentlichkeit die Endlagerung radioaktiver Abfälle als das zentrale Problem der Kerntechnik dargestellt. Wie sich die Verhältnisse für die AVR-Abfälle in dieser Hinsicht darstellen, zeigt die Tabelle auf der gegenüberliegenden Seite.

Danach weisen die abgebrannten Brennelemente nach einer Lagerzeit von 500 Jahren noch eine bedeutende Radioaktivität auf.

Gleiches gilt für die aus der Zerlegung des Reaktorbehälters anfallenden Abfälle, hier ausschließlich wegen des „langlebigen“ Nuklids C 14 (Halbwertszeit 5.730 Jahre). Dieses Nuklid, ein schwacher β -Strahler, ist nur durch Einatmen gefährlich. Es ist durch die Neutronenaktivierung von Stickstoffver-

Halbwertszeit

Hiermit bezeichnet man den Zeitraum, in dem die Hälfte aller Atomkerne einer bestimmten Menge eines radioaktiven Elementes zerfallen ist.

unreinigungen entstanden und liegt chemisch sehr fest eingebunden hauptsächlich im Kohlestein-Isolationsmaterial des Cores vor.

Abgesehen von den Brennelementen und der Kohlestein-/Graphit-Kontamination mit C 14 liegt die Kontamination aller AVR-Abfälle nach einer Abklingzeit von 500 Jahren nur noch auf dem Niveau der natürlichen Aktivität von Ackerboden.

Mit der Geothermie, Wind- und Sonnenenergie sind keine folgensweren Großrisiken verbunden.

Im Unterlauf von Staudämmen bestehen Risiken hinsichtlich möglicher Dammbrüche.

Bei einer verstärkten Nutzung importierter Biomasse besteht das Risiko der Ungleichverteilung, sofern durch die Beanspruchung landwirtschaftlicher Nutzflächen, zum Beispiel in Entwicklungs- und Schwellenländern, die dortige Versorgung mit Grundnahrungsmitteln durch den direkten Verlust dieser Flächen beziehungsweise durch steigende Weltmarktpreise gefährdet wird.

91

Chancen-Risiko-Relation

Erneuerbare Energien



Die Niederlande feiern
den 200. Jahrestag ihrer
Unabhängigkeit von
Frankreich.

2013

2015

In diesem Jahr sollen
die Millenniumsziele
zur Reduzierung
der Armut in der
Welt erreicht
werden.

Fünfzig Jahre ...

92

Aussichten?

Mit der Demontage des Reaktorbehälters wird das „Herz“ des AVR-Kernkraftwerkes aus der Anlage entfernt. Nach Abbau aller Komponenten aus dem Schutzbehälter, der Warmen Werkstatt und dem Maschinenhaus erfolgt der Abriss dieser Gebäude einschließlich der Fundamente und der gesamten unterirdischen Infrastruktur. Nichts als eine „grüne Wiese“ wird an der einstigen Wirkungsstätte des AVR-Reaktors daran erinnern, dass hier einmal ein Vorzeigeprojekt der Bundesrepublik Deutschland stand.

Mit dem Abbau des AVR-Reaktors, dem ersten Kugelhaufenreaktor und heißesten Reaktor der Welt überhaupt, wird ein einzigartiger Abschnitt deutscher Technologie-Entwicklung und -Geschichte „beerdigt“.

Mit der Außerbetriebnahme wurde eine Reaktorlinie abgeschaltet, die nicht nur durch ihre inhärenten Sicherheitseigenschaften überzeugte, sondern darüber hinaus auch noch zusätzliche Möglichkeiten im Bereich der Prozesswärme bot. Ob dieser Schritt richtig war, wird die Zukunft zeigen.

Alle, die in den vergangenen 50 Jahren an der Gründung, dem Bau und dem Betrieb der Anlage beteiligt waren, betrachten die Abbauarbeiten mit Wehmut.

Da vermag auch die Tatsache, dass außerhalb von Deutschland die Technik angewandt wird und Kugelhaufen-Hochtemperaturreaktoren gebaut werden (beispielsweise in Südafrika und China), wenig zu trösten.

Mit Energie gehen wir jeden Tag um.

Diese benötigte Energie wird
„erzeugt“,
umgewandelt,
transportiert,
gespeichert
und „verbraucht“.

Ohne Energie geht in unserem Leben nichts.

2015

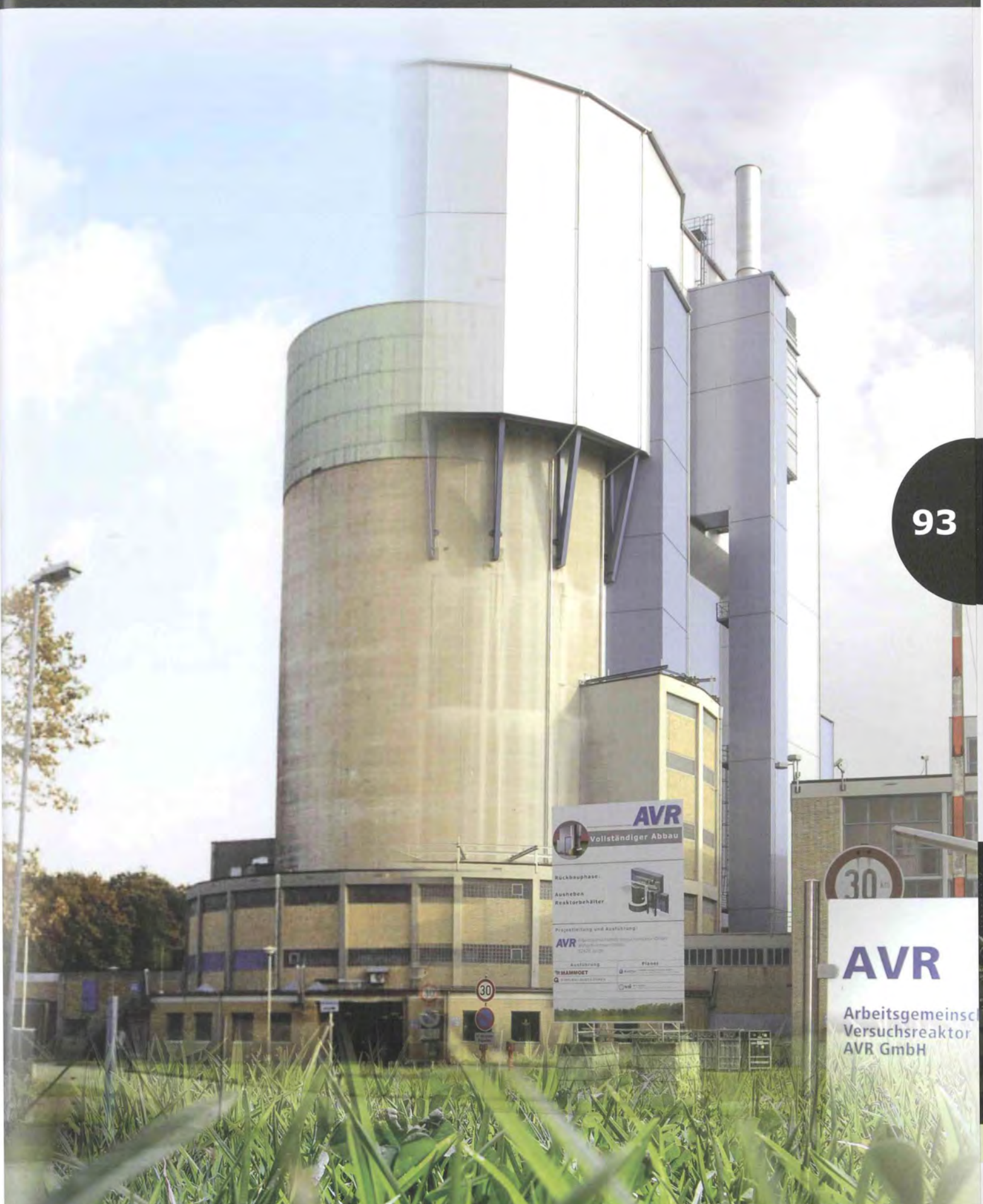
Am 14. Juli soll die Raumsonde „New Horizons“ den zweitgrößten Zwergplaneten unseres Sonnensystems „Pluto“ erreichen.

500 Jahre deutsches Reinheitsgebot für Bier.

2016



93



AVR
Vollständiger Abbau

Rückbauphase:
Ausheben
Reaktorbehälter

Projektleitung und Ausführung:
AVR
Gesamtkonzept und -umsetzung: DLR
Bau- und Montagearbeiten: DLR, Jülich

Ausführung:
THAMMOET
Q: www.thammoet.de

Planung:
www.avr.de



AVR

Arbeitsgemeinschaft
Versuchsreaktor
AVR GmbH



500 Jahre Reformation
Martin Luthers Kritik am Ablasswesen und der Ämterhäufung in der Kirche wurde von ihm am 31. Oktober 1517 in Form von 95 Thesen veröffentlicht, was allgemein als Auslöser der Reformation in Deutschland gilt.

Geplante Inbetriebnahme des
Gotthard-Basistunnels,
des längsten
Tunnels
der Welt.

2017

Die HTR-Technologie

AVR:

Lehren für die Zukunft

Vor 50 Jahren, am 3. Februar 1959, wurde die Betreiberfirma „Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor“ (AVR) GmbH gegründet. Das Kraftwerk AVR war 21 Jahre erfolgreich in Betrieb bis Ende 1988; derzeit läuft der Abbau. Der AVR-Reaktor war das erste Vorhaben und das Fundament im Programm für Forschung, Entwicklung und Demonstration des Hochtemperaturreaktors (HTR) mit kugelförmigen Brennelementen in

der Bundesrepublik Deutschland. Dieses Programm wurde in Zusammenarbeit zwischen der deutschen reaktorherstellenden Industrie und der Kernforschungsanlage (KFA), nunmehr Forschungszentrum Jülich (FZJ), später ergänzt durch die deutsche Kohleindustrie (Rheinbraun und Ruhrkohle), mit Förderung durch die Bundesregierung und die Landesregierung Nordrhein-Westfalen im Zeitraum von fast vier Jahrzehnten durchgeführt.

Die Ergebnisse des Betriebes des AVR führten im HTR-Programm zum Demonstrations-Kernkraftwerk THTR (Thorium-HTR) zu vielen Konzept-Projekten. Insbesondere auch kleiner Leistungs-Einheiten HTR-Modul und HTR-100, zu neuen Arten der Stromerzeugung (Helium-Turbine) und zur Erweiterung der Anwen-

94



Impressionen aus der Bauphase des AVR-Reaktors

Geplante Beendigung der
Steinkohlesubvention
in Deutschland.

2018

500. Todestag des Künstlers
Leonardo da Vinci.

2019



Gesamte Treibhausgas-Emissionen von Stromerzeugeroptionen (inkl. vorgelagerter Prozesse und Stoffeinsatz zur Anlagenherstellung)

Strom aus	Emissionen in g/kWh _{el}
KKW - Uran nach Importmix/nur aus Russland	31/61
Import-Steinkohle-Kraftwerk/Heizkraftwerk	897/508
Braunkohle-Kraftwerk/Heizkraftwerk	1.142/702
Erdgas-GuD (Gas und Dampf) -Kraftwerk/Heizkraftwerk	398/116
Wind Park on-/offshore	23/22
Wasserkraftwerk	39
Solarzelle	89
Solarstrom-Import (Spanien)	25

95

derung durch Prozesswärme mit vielen Verfahren. Beispiele dafür sind die Veredelung von Kohle zur Produktion von Substitut-Erdgas und Substitut-Kraftstoff und die Produktion von Wasserstoff als zukünftigem Gebrauchs-Energieträger.

Die HTR-Stromerzeugung war Ende der Achtzigerjahre zur Marktreife entwickelt, die HTR-Prozesswärmeeinnutzung war in Einzelschritten im industriellen Maßstab demonstriert. Die Markteinführung gelang jedoch nicht (Anti-Kernenergie-Bewegung,



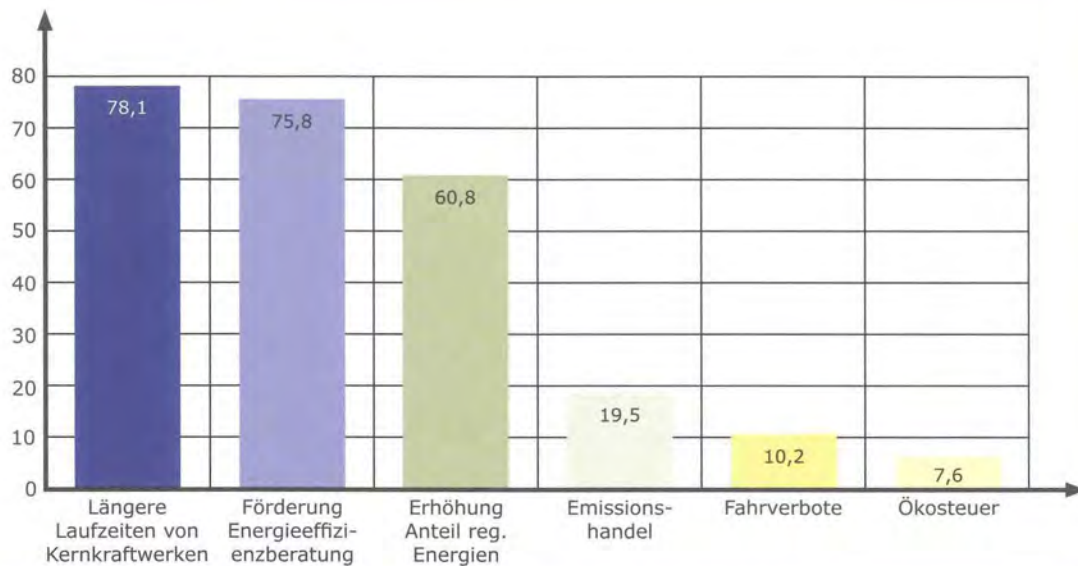
Bau- und Betriebsphase in den Sechziger- und Siebzigerjahren des 20. Jh.

Das letzte deutsche
Kernkraftwerk
„Neckarwestheim II“
soll abgeschaltet
werden.

2024

2026

Vor 200 Jahren entdeckte
Georg Simon Ohm das nach
ihm benannte Gesetz in der
Elektrotechnik.



IHK-Umfrageergebnis zu sinnvollen Maßnahmen zur Erreichung der Klimaschutzziele der BRD

Nach-Tschernobyl-Zeit, Verlust der Investitionssicherheit). Dies führte innerhalb der deutschen reaktorherstellenden Industrie 1991/92 zur „Überwinterung der HTR-Technologie“.

Wenige Jahre später (1995/96) und noch eingeleitet durch den

„Vater“ des HTR-Konzepts mit kugelförmigen Brennelementen, *Prof. Rudolf Schulten*, entwickelte sich in Südafrika und später in China (2004) trotz vorhandener eingeführter Kernenergie (Leichtwasserreaktor, LWR) ein neues Interesse am HTR mit kugelförmigen Brennelementen, weil dort grundlegende Vorteile erkannt wurden. Diese gelten dem Ausbaupotenzial, der Anwendungsbreite und der Sicherheit. Auf Wunsch und Antrag der ausländischen Partner wurde ein Technologietransfer von der HTR

Teersandabbau in Alberta/Kanada
Gesamtfläche, unter der Teersand
vermutet wird: 80.000 km²,
entsprechend fast einem Viertel der
Fläche der Bundesrepublik Deutschland





100 Jahre „Der Blaue Engel“, Titel eines deutschen Spielfilms, der unter der Regie von Josef von Sternberg entstand. Das Drehbuch wurde nach dem 1905 erschienen Roman „Professor Unrat“ von Heinrich Mann geschrieben.

2030

GmbH (und deren Mutterfirmen) sowie von FZJ/AVR und mit Genehmigung durch die Bundesbehörden vertraglich etabliert und in Zuarbeit nach jeweiliger Anfrage ausgeführt. Beide Teams in beiden Ländern sind ausgesprochen anspruchsvoll: Sie wollen die HTR-Technik weiter fortführen und dazu auch eigene Industrien aufbauen beziehungsweise einsetzen.

In Südafrika werden von der Firma PBMR (Pty) Ltd (= Pebble Bed Modul Reactor), einer Tochter des Elektrizitäts-Versorgungsunternehmens ESKOM in Südafrika, Planungsarbeiten für ein Demonstrations-Kraftwerk mit HTR-Modul (kugelförmige Brennelemente, 400 MW thermische Leistung) zur Stromerzeugung mit Heliumturbine durchgeführt. Des Weiteren wird am Einsatz dieses Reaktors zur Gewinnung von Öl aus Ölsanden gearbeitet.

In China laufen am INET (= Institut für Neue und Nukleare Energietechnologien der Tsinghua-Universität, Beijing) in Zusammenarbeit mit der Firma CHINERGY für das

Elektrizitäts-Versorgungsunternehmen HUANENG (Betreiber einiger Kernkraftwerke in China) Konzept- und Planungsarbeiten für ein Demonstrations-Kraftwerk mit Zwillings-HTR-Modul (kugelförmige Brennelemente, 2 x 250 MW thermische Leistung auf eine Dampfturbine) zur Stromerzeugung. Auch in China besteht Bedarf an Prozesswärme-Nutzung, vor allem zur Kohleveredelung. Zusätzlich dazu gibt es bei der Europäischen Union und den USA Aufmerksamkeit und Einsatz, vor allem unter der Überschrift „fortgeschrittene Kernenergie der vierten Generation“ mit dem Schlagwort „Very High Temperature Reactor, VHTR“. Dabei ist klar: der AVR-Reaktor ist das Vorbild für heute.

97



2032



200. Todestag von Johann Wolfgang von Goethe

Er ist als Dichter, Dramatiker, Theaterleiter, Naturwissenschaftler, Kunsttheoretiker und Staatsmann der prominenteste Vertreter der Weimarer Klassik.



Subjektive
Gefahrenereinschätzung:
hoch

Weltweite
Todesopfer/Jahr:
10



Subjektive
Gefahrenereinschätzung:
mittel

Weltweite
Todesopfer/Jahr:
14.000



Subjektive
Gefahrenereinschätzung:
gering

Weltweite
Todesopfer/Jahr:
1.200.000

Die hauptsächlichen „AVR-Lehren“ für die Zukunft der Kernenergie sind in den folgenden sechs Sachverhalten begründet:

1. Die Produktion von Wärmeenergie aus Kernenergie im AVR mit einer mittleren Helium-Austrittstemperatur aus dem Core des Reaktors von 750 °C eröffnete für die Stromerzeugung den Einsatz der eingeführten Dampfturbinentechniken mit Heißdampf von 530 °C (im Gegensatz zu Satt-dampf beim LWR). Die weitergehende Erhöhung der mittleren Helium-Austrittstemperatur auf 950 °C bereits im Februar 1974 und die Demonstration dieser Wärmeenergie-Produktion über mehrere Jahre

erweiterte den Einsatzbereich zur Stromerzeugung für die Helium-Turbine und zur Prozesswärme-Nutzung bis zu einer Temperatur von 950 °C auch für den höheren Temperaturbereich der Nutzung.

Die Bezeichnung „mittlere“ bei Nennung der Helium-Austrittstemperatur mit dem Wert 950 °C beinhaltet, dass neben niedrigeren Werten auch höhere Temperaturen produziert wurden. Die Messungen zeigen an, dass in einigen Zonen sogar mindestens 1.280 °C erreicht wurden. Dieser Sachverhalt wird zurzeit in der wissenschaftlichen Diskussion mit den ausländischen Partnern aufgeklärt. Der Markt für Prozesswärme ist sehr groß und sehr vielgestaltig,



leider aber auch sehr sprunghaft, nicht zuletzt wegen der bekannten Ölpreiskrisen.

2. Der Nachweis der Machbarkeit im Kraftwerksmaßstab der kontinuierlichen Beladung des Reaktors mit kugelförmigen Brennelementen (anstelle der jährlichen Chargen-Beladung wie beim LWR) bedeutet einen inhärenten Sicherheitsvorteil, weil Störungen durch den Ausfall von Kompensationseinrichtungen (wie beim LWR nötig) ausgeschlossen sind. Dies wurde in dem berühmten „Vierstabklemmversuch“ das erste Mal bereits am 22. September 1970 und später noch häufig experimentell bewiesen:

Nach Abschalten der Gebläse, das heißt der Kühlung des Reaktors, und nach absichtlicher Außerfunktionssetzung der ansonsten automatisch einsetzenden Abschaltung durch die vier einfallenden Abschaltstäbe fiel die Leistung steil ab auf Null und der Reaktor war und blieb für etwa einen Tag lang abgeschaltet. Der Grund dafür sind inhärente, prompt wirkende neutronen-physi-

kalische Effekte, die sicherheitsgerichtet wirken. Damit ist bewiesen: Der AVR konnte wegen Ausfall der Kühlung und der Abschaltung nicht „durchgehen“, das heißt in einer Coreschmelze enden.

3. Die Massentests der laufend weiter entwickelten kugelförmigen Brennelemente im AVR zusammen mit den Bestrahlungstests in Materialprüfreaktoren haben zu den weltweit anerkannt besten Brennelementen, bezeichnet als „German Standard“, geführt. Diese Brennelemente zeichnen sich durch gute Rückhalte-Eigenschaften für Spaltprodukte aus, und zwar unter Normalbetriebsbedingungen und unter den Bedingungen des Auslegungsstörfalls „Kühlmittelverlust“ für das HTR-Modul-Konzept bis zur Grenztemperatur von 1.600 °C. Damit war die Grundlage für das Konzept des HTR-Moduls geschaffen.

4. Das Nachweisexperiment am AVR zur Begrenzung der Aufheiztemperatur im Core beim Auslegungsstörfall „Kühlmittelverlust“



Vor 100 Jahren, am 6. Mai 1937, fing bei der Landung in Lakehurst der Zeppelin „Hindenburg“ Feuer. Innerhalb von Sekunden ging das größte Luftschiff aller Zeiten in Flammen auf.

2037



100

Blick vom Reaktorgebäude der AVR-Anlage auf das Forschungszentrum Jülich

ist die Bestätigung der Konzeptidee der Modularisierung großer Reaktorkores beziehungsweise der schlanken Bauart mit relativ kleiner Leistung des HTR-Moduls. Mit diesem Konzeptmerkmal, das heute allen HTR-Projekten zugrunde liegt, ist das Auftreten einer Coreschmelze

aus Gründen des Versagens aktiver Komponenten deterministisch ausgeschlossen. Der Grund dafür liegt darin, dass die Nachwärme durch die Reaktorstrukturen hindurch nach außen in die Umgebung abgeführt wird.



Vor 100 Jahren stellte die Firma von Gustave Eiffel für die Weltausstellung in Paris den „Eiffelturm“ fertig.

2039

Die Briefmarke wird 200 Jahre.

2040



5. Mit dem AVR wurden neben der Stromproduktion viele wichtige Experimente durchgeführt zu Problemen der Brennelemente, der Anlagentechnik, der Störfälle und zum normalen Betrieb. Dies geschah in Zusammenarbeit mit den deutschen Partnern und sogar mit ausländischer Beteiligung entsprechender Institutionen aus den USA, Japan, China und weiteren Ländern.

6. In den 21 Betriebsjahren des AVR wurden sehr viele Erfahrungen positiver und negativer Art gemacht. Zu den positiven Erfahrungen gehört die „Gutmütigkeit“ des Systems, auf Störungen zu reagieren. Zu den negativen Erfahrungen gehören der Störfall des Wassereinbruchs in den Primärkreis, der sogenannte Pellkartoffel-Effekt an den Brennelementen und der Lagerbrand an der Turbine, um einige Beispiele zu nennen. All diese Schwierigkeiten wurden durch die Betriebsmannschaft nach Beratung mit den Genehmigungsbehörden und mithilfe der Industrie überwunden. Hier bewahrheitete sich, dass

man aus eigenen Fehlern am meisten lernt. Die Betriebserfahrungen sind für die ausländischen Partner und deren zukunftsgerichtete Projekte ein wertvoller Schatz.

Für die Zukunft wird neuerdings in der Fachwelt der eingeführten Kernenergie die „Renaissance der Kernenergie“ diskutiert. Die Antriebe dafür sind deren wirtschaftliche Attraktivität und Umweltfreundlichkeit sowie der große Bedarf durch den Energiehunger der Welt. Die Abgabe klimaschädlicher Gase ist viel geringer als die der fossilen Energieträger. Diese Vorteile gelten für den HTR ebenfalls. Darüber hinaus hat das HTR-Modul mit kugelförmigen Brennelementen weitere Vorteile wegen der inhärenten Sicherheitseigenschaften, die mit diesem Konzept am besten realisiert werden. Dies hat der AVR bewiesen und dies ist ein wesentlicher Grund für das neu entstandene weltweite Interesse am AVR und seinen Lehren für die Zukunft.





Vor 150 Jahren entdeckte der Physiker Wilhelm Conrad Röntgen die nach ihm benannten „Röntgenstrahlen“.

2045

2050

Die Weltbevölkerung wird auf 9,2 Milliarden Menschen geschätzt.

Die Zukunft der EWN

Chancen & Ausblick

Wie in der vorangegangenen Darstellung deutlich geworden, konzentriert sich die Leistung der AVR-Belegschaft in der jetzigen Phase auf den Abbau des Reaktors und die Entsorgung der anfallenden Abfälle.

Diese Aufgabe unterscheidet sich deutlich von der Errichtung einer kerntechnischen Anlage und ihrem Versuchsbetrieb.

Allen spontanen Einschätzungen zum Trotz handelt es sich hierbei nicht um eine einfache Abbruchtätigkeit, die durch den Einsatz einer Abbruchbirne und die Anzahl der mit Bauschutt beladenen Fahrzeuge bestimmt wird. Nein, es handelt sich um komplexe Demontageabläufe, die insbesondere unter dem

Aspekt des Strahlenschutzes exakt geplant, genehmigt und umgesetzt werden müssen. Hierbei steht der Schutz des Demontagepersonals an erster Stelle. Es sind aber auch Kontaminationsverschleppungen zu vermeiden, um das Abfallvolumen nicht unnötig zu erhöhen.

Betrachtet man die Kostenseite eines komplexen Abbauprojektes, ist festzustellen, dass neben einem optimierten, die Freiheiten eines Abbaus nutzenden Demontageablaufs das höchste Einsparpotenzial durch eine geschickte Entsorgungsstrategie erzielt werden kann. Wesentliche Aspekte sind hierbei die Fixkosten während des Demontagebetriebes, die Kosten einer Zwischenlagerung, das Abklingverhalten der radioaktiven Stoffe und die verbleibende Abfallmenge für das Endlager. Unter Abwägung dieser Aspekte lässt sich für jede einzelne Anlage ein optimales Abbau- und Entsorgungskonzept erarbeiten, das sowohl den Anforderungen an die Anlagenkenntnisse und an die Qualifikation des Personals als auch dem wirtschaftlichen Mitteleinsatz Rechnung trägt.

Vor 300 Jahren wurde von Benjamin Franklin der Blitzableiter erfunden.

2052

Vor 600 Jahren wurde von Johannes Gutenberg die erste Bibel gedruckt. Der Drucker gilt als Erfinder des Buchdrucks mit auswechselbaren Lettern.



Mit diesen Erfahrungen steht die AVR-Mannschaft nicht allein. Sie ist seit 2003 eingebettet in den EWN-Verbund. Die „Energiewerke Nord GmbH“ (EWN) hat 1990 ihre kommerziell betriebenen Reaktoren an den Standorten Greifswald und Rheinsberg abgeschaltet und mit dem Abbau begonnen. Die dabei gewonnenen Erfahrungen mit Abbautechniken, Abfallmanagement und Projektsteuerung haben das Bundesfinanzministerium als Ge-

sellschafter der EWN und das Bundesministerium für Bildung und Forschung, das alle kerntechnischen Prototypanlagen finanzieren muss, veranlasst, sowohl den Abbau des AVR-Reaktors als auch den der „Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe“ (WAK) und weiterer Rückbauprojekte aus den Forschungsbereichen der Verantwortung der EWN zu unterstellen.

103

Rückansicht



2056



300. Geburtstag von
Wolfgang Amadeus Mozart

Strom für die Welt



104

Bei allen Rückbauprojekten ist zwischenzeitlich in der Vielfalt der Aufgaben ein Know-how herangereift, das weltweit seinesgleichen sucht. Das spezielle Fachwissen der Belegschaften und die technischen Ausrüstungen sowohl für Abbauarbeiten als auch für die Behandlung der radioaktiven Abfälle bieten beste Voraussetzungen für zukünftige

Arbeiten.

Da im Sinne der oben angedeuteten Strategie die Abfallbehandlung/Zwischenlagerung einen besonderen Stellenwert hat, wurde am Standort Greifswald unmittelbar nach der Entscheidung für den Abbau im Jahr 1991 mit der Planung eines Zwischenlagers (einschließlich Konditionierungseinrichtungen) begonnen; das Lager (ZLN) wurde 1997 in Betrieb genommen.

Mit der Übernahme der WAK im Jahr 2006 war die Übertragung der Entsorgungseinrichtungen des „Forschungszentrums Karlsruhe“ (FZK), die „Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe“ (HDB) verbunden. Zur Jahresmitte 2009 sind die HDB und mit ihr die restlichen Rückbauprojekte auf die WAK übergegangen.

Dadurch wird das Management für fast alle von der öffentlichen Hand finanzierten kerntechnischen Abbauprojekte in einer Hand zusammengefasst; es werden standortübergreifend Synergien erzielt bei

Vor 100 Jahren erhielt Pawel Alexejewitsch Tscherenkow den Physik-Nobelpreis für die „Entdeckung und Interpretation des Tscherenkow-Effekts“. Vorausgegangen war die Beobachtung blauen Lichts an einer Wasseroberfläche, die zuvor radioaktiv bestrahlt wurde.

2058

- den technischen Konzepten,
- den Genehmigungsverfahren,
- den Demontagearbeiten,
- der Entsorgung radioaktiver Abfälle.

Die Bedeutung der Abfallbehandlung wurde bereits oben herausgestellt. Die von der öffentlichen Hand zu finanzierende Entsorgung radioaktiver Abfälle macht 38 % des genehmigten Endlagervolumens im Schacht Konrad aus. Der überwiegende Teil kommt aus dem EWN-Verbund und dem Forschungszentrum Jülich. Um hierfür die Position der öffentlichen Hand zu stärken, hat sich die EWN im Jahr 2008 mit 25 % an der „Deutschen Gesellschaft zum Betrieb eines Endlagers mbH“ (DBE) beteiligt, die zurzeit im Auftrag des „Bundesamtes für Strahlenschutz“ (BfS) die Errichtung des Schachtes Konrad durchführt.

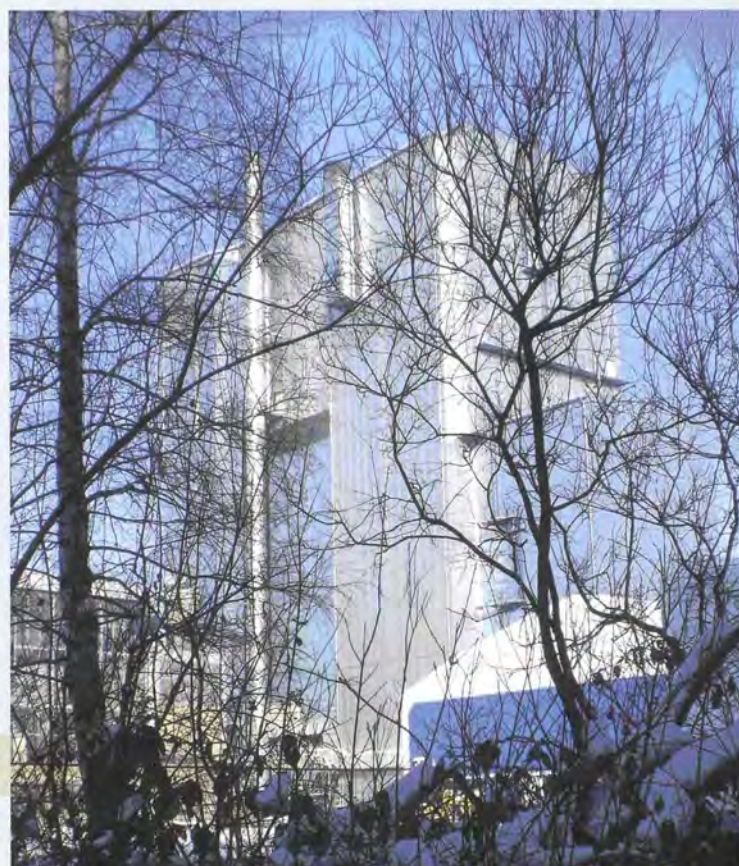
Herzstück des EWN-Verbundes mit den Zentren in Greifswald (EWN), Jülich (AVR) und Karlsruhe (WAK) ist eine ganzheitliche Konzeption vom Abbau über die Zwischenlage-

rung bis zur Einlagerung im Endlager, ein Prozess, der uns noch viele Jahre, genauer Jahrzehnte beschäftigen wird.

Für unsere Arbeit benötigen wir die „alten Hasen“, die ihr Wissen noch aus den Betriebsphasen haben. Dies reicht jedoch in Anbetracht der Dauer der Projekte nicht. Wir benötigen zunehmend eine junge Mannschaft, die das Wissen der „alten Hasen“ aufnimmt und weiterentwickelt.

Es ist noch viel zu tun, packen wir es an.

105



Literaturnachweis

Titel	Autor	Verlag
Abschlussbericht über den Leistungsbetrieb des AVR-Versuchskernkraftwerkes	E. Ziermann G. Ivens	
AVR - 20 Jahre Betrieb Ein deutscher Beitrag zu einer zukunftsweisenden Energietechnik		Verein Deutscher Ingenieure Tagung in Aachen, 17. und 18. Mai 1989 VDI-Berichte 729
AVR- Experimental High-Temperature Reactor 21 Years of Successful Operation for a Future Energy Technology		Association of German Engineers (VDI) VDI-Verlag GmbH
Der große Preis	U. Buse	Der Spiegel, Nr. 31, 28.07.08
Design of Chinese Modular High-Temperature Gas-Cooled Reactor HTR-PM	Z. Zhang Z. Wu Y. XU Y. Li Fu Sun	presentation 2nd International Topical Meeting on HTR organized by Tsinghua University, Beijing
Die Entstehungs-Geschichte des AVR-Reaktors: Atomwirtschaft - Atomtechnik	R. Schulten	Verlag Handelsblatt GmbH
Die Preis-Treiber	M. Dettmer	Der Spiegel, Nr. 24, 09.06.08
Energiesysteme im Übergang- unter den Bedingungen der Zukunft	W. Häfele	Ergebnisse einer Studie des Energieforschungszentrums Jülich GmbH, verlag moderne industrie AG& Co
Energy in a Finite World, a Global Systems Analysis	W. Häfele	Ballinger Publishing Company, Cambridge, Massachusetts
EWI/Prognos Studie Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030 im Auftrag des Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit		Dokumentation Nr. 545 Internet Publikation
Fortschritte in der Energietechnik - Professor Dr. Rudolf Schulten zum 70. Geburtstag.	K. Kugeler H. Neis G. Ballensiefen	Forschungszentrum Jülich GmbH
Geschichte der Kernenergie in der BRD	W. D. Müller	Schäfer Verlag
Hochtemperaturreaktortechnik	K. Kugeler R. Schulten	Springer Verlag
Ist der Ausstieg aus der Kernenergie verantwortbar?		VDI Bericht 1943
Kernenergie	C. Wesselmann W. Tromm M. Koch	Sonderdruck aus der Jahresausgabe 2008 in BWK, das Energie-Fachmagazin
PBMR, made for Africa?	H. Erasmus	African Energy Journal, Vol. 10, No.4

Bildnachweis

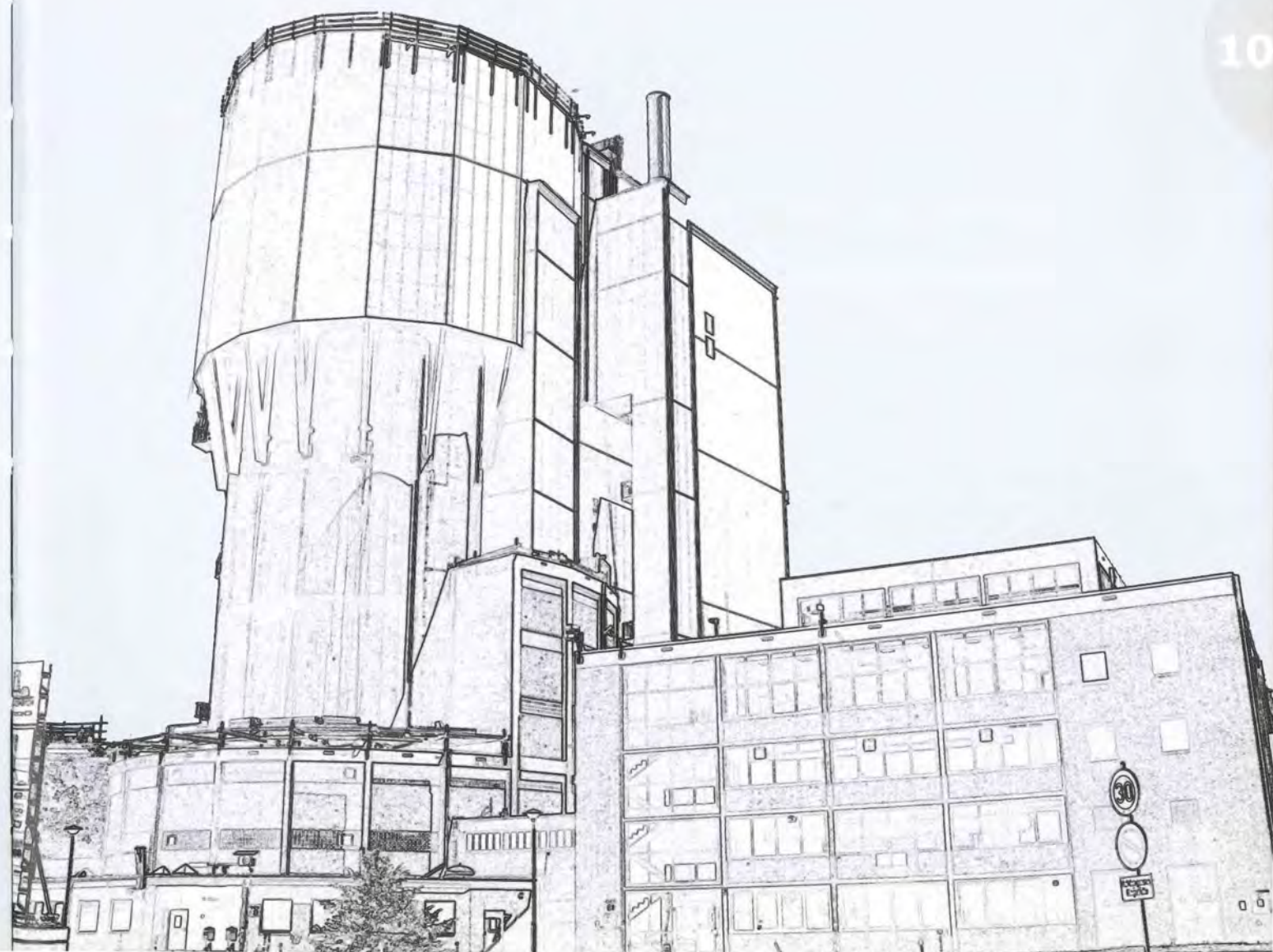
Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 08/2008

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)

Energy Information Administration (EIA) 2007

Öko-Institut: Treibhausgasemissionen und Vermeidungskosten der nuklearen, fossilen und erneuerbaren Strombereitstellung - Arbeitspapier
Eigene Berechnungen des Öko-Instituts mit GEMIS 4.4

Unternehmensbarometer der IHK vom 26.08.2008



Impressum

Herausgeber

AVR GmbH
Wilhelm-Johnen-Straße
52428 Jülich
Telefon: 02461 629-0
Fax: 02461 629-410
E-Mail: kontakt@avr-juelich.de

= heute JEN, Tochter von EWN

Autor/en:

Prof. Dr. Heiko Barnert
Dr. Norbert Hess
Herbert Hollmann
Wilfried Hubrich
Jürgen Wahl

Redaktion:

Wilfried Hubrich
Claudia Jülicher
Håkan Sterner

= 47159

Satz / Gestaltung:

Claudia Jülicher

Lektorat:

Adelheid Siebigs

Fotos:

Archiv AVR GmbH
Bundesbildarchiv
Britisches Museum
Fotolia
Forschungszentrum Jülich
Gettyimages
Stadtwerke Düsseldorf

Jülich 2009

2. Auflage, überarbeitete Fassung

Druck Produktion:

sieprath-druckservice.de

Gedruckt in Deutschland

© AVR GmbH, 2009

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (wie Druck, Fotokopie oder einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Herstellers reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.



Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor GmbH

Wilhelm-Johnen-Straße

52428 Jülich

Telefon: 02461 629-0

Fax: 02461 629-200

E-Mail: kontakt@avr-juelich.de

Ein Unternehmen der **EWN**-Gruppe