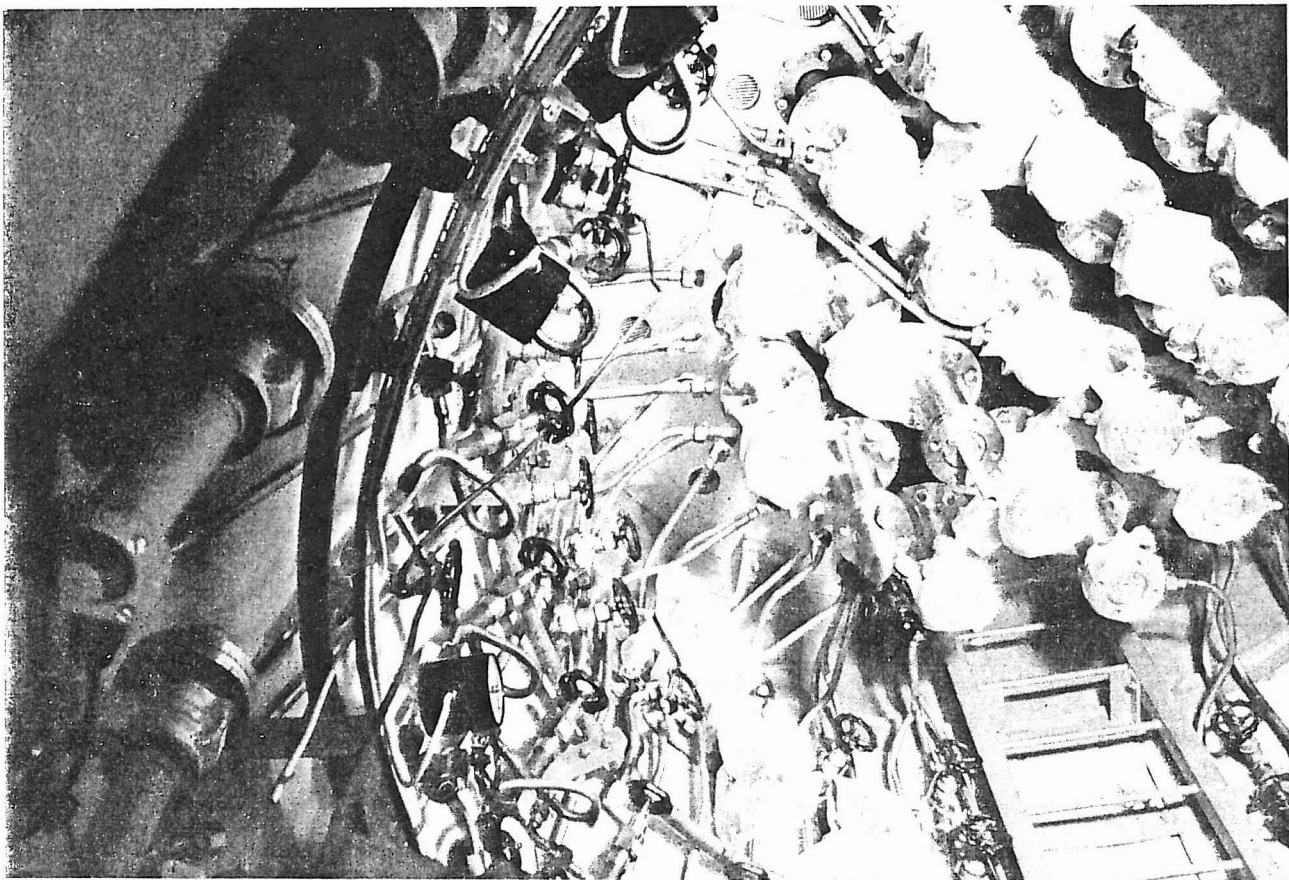
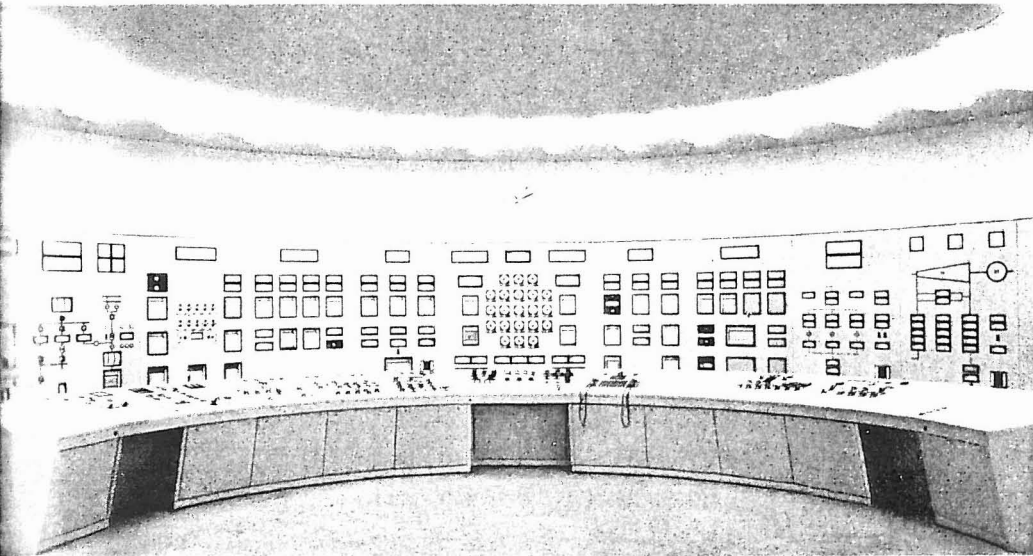


## VERSUCHS- ATOMKRAFTWERK KAHL

Abb. 7 (oben): Fertige Kraftwerksanlage, vom Eingang gesehen.

Abb. 8 (Mitte): Schaltwarte des Versuchsatomkraftwerks.

Abb. 9 (unten): Regelstabdurchführungen und Sperrwassersystem unterhalb des Reaktor Druckgefäßes.



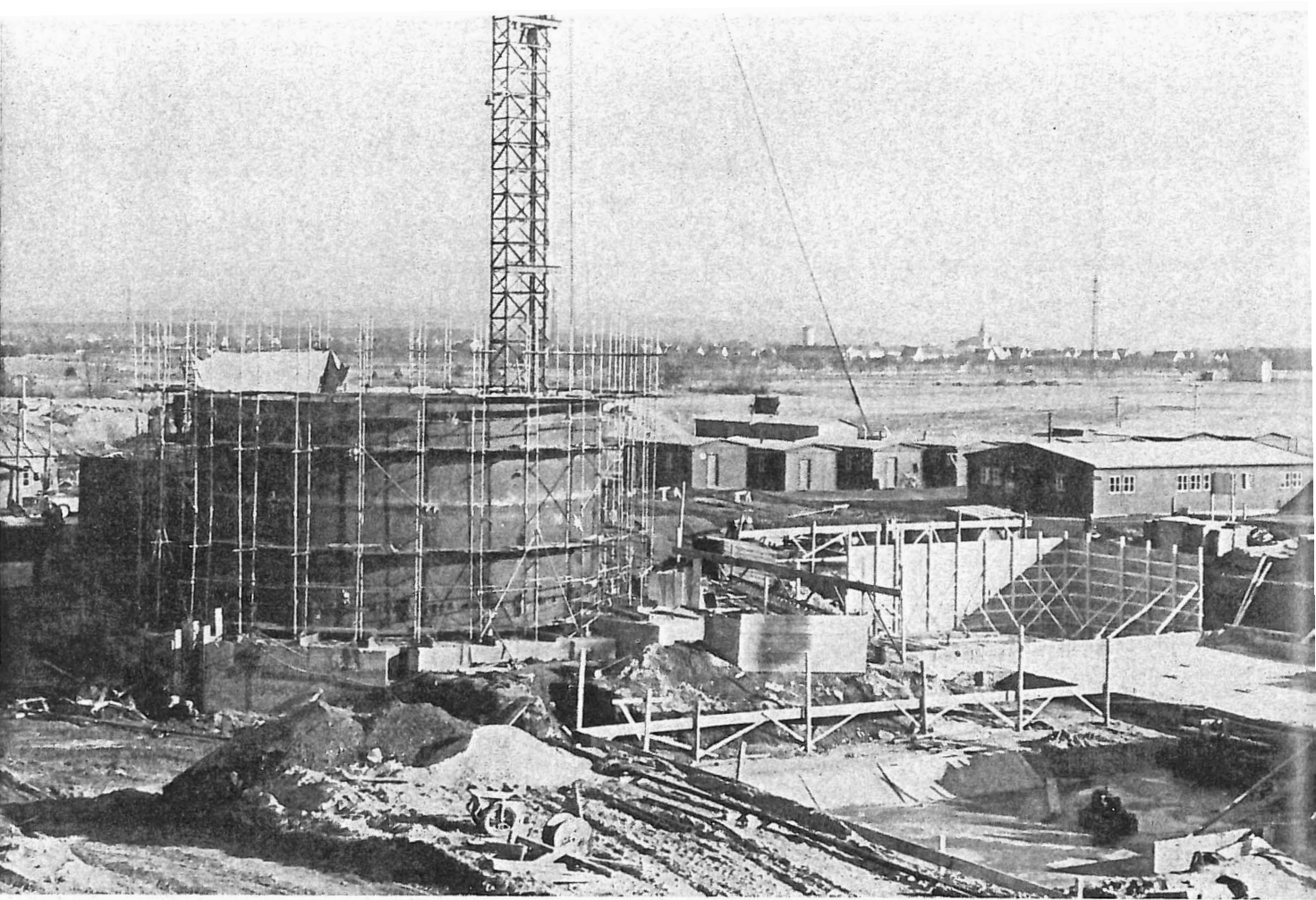
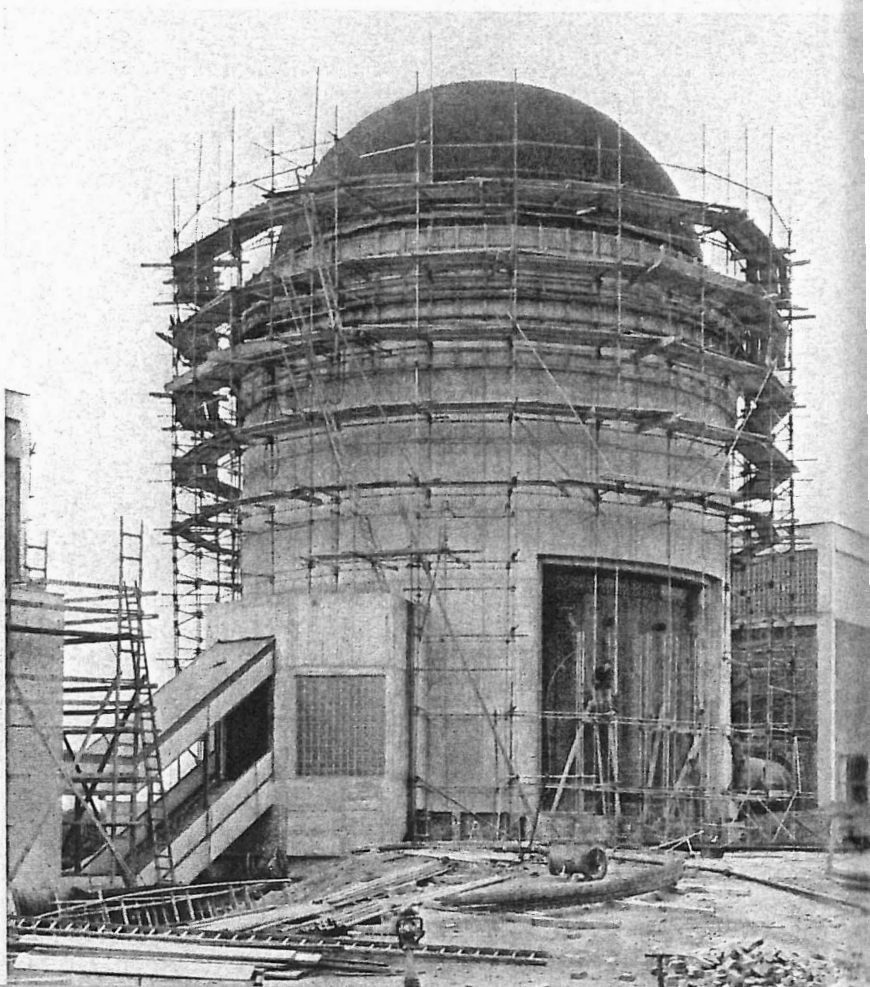
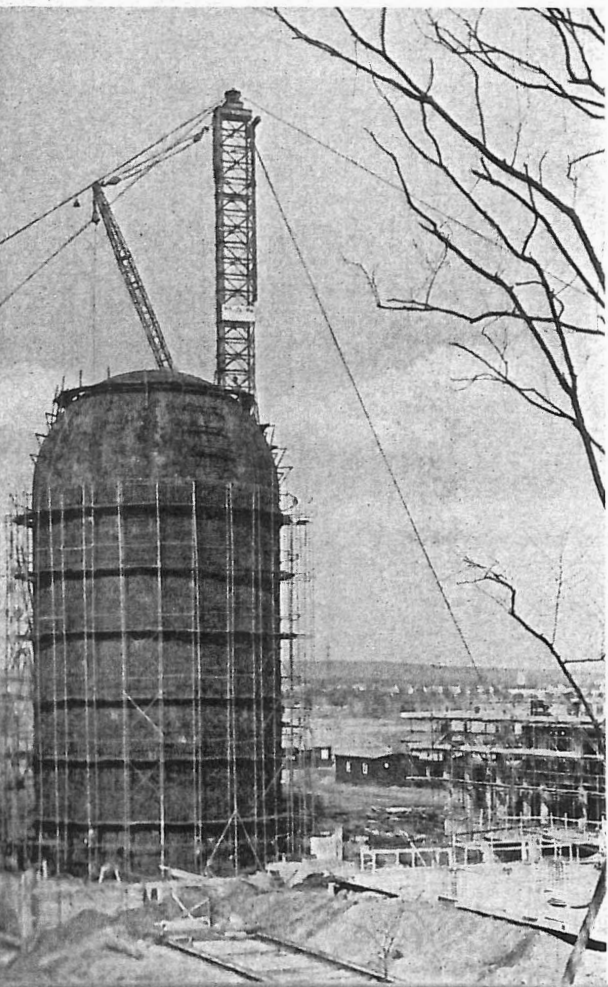
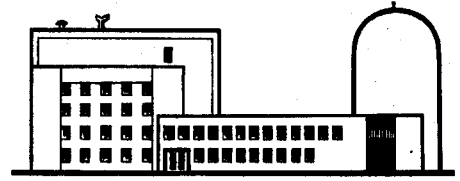


Abb. 10 (oben): Aufbau der Reaktordruckschale und Fundierung des Turbinenhauses (Februar 1959).  
 Abb. 11 (links): Die fertige Druckschale (April 1959).  
 Abb. 12 (rechts): Aufbau des 70 cm Betonstrahlenschutzmantels um die Reaktordruckschale (Juli 1960).

Fotos: AEG



# Versuchsatomkraftwerk Kahl



## PLANUNG DES VERSUCHSATOMKRAFTWERKS KAHL

VON DR.-ING. DR. PHIL. H. MANDEL, ESSEN\*)

Das Versuchsatomkraftwerk Kahl hat eine lange Vorgeschichte, die, wie bei den meisten Projekten auf dem Atomgebiet, bis in die Tage vor der 1. Internationalen Konferenz über die friedliche Nutzung der Atomenergie in Genf zurückreicht. Über diese Phase vor der Bestellung der Anlage sei zunächst einiges berichtet.

Als in den Jahren 1950 bis 1954 Nachrichten über eine mögliche Nutzung der Kernspaltungsenergie zur Stromerzeugung immer häufiger und vielversprechender wurden, begann die *Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk A.G. (RWE)*, Essen, diese Probleme eingehend zu studieren und zu untersuchen, welche Konsequenzen daraus für die Energiewirtschaft gezogen werden können. Auf diese Zeit eines intensiven Literaturstudiums folgte ab Herbst 1955 eine enge Fühlungnahme mit amerikanischen und englischen Herstellerfirmen von Reaktoranlagen mit dem Ziel, Möglichkeiten für die Errichtung eines Atomkraftwerkes festzustellen, das uns die ersten eigenen Erfahrungen im Bau und Betrieb solcher Anlagen liefern könnte. Bezüglich der Größe war zu berücksichtigen, daß damals nirgends in der Welt eine größere Atomkraftwerksanlage existierte und noch viel weniger eine wirtschaftliche Anlage. Unser Reaktor sollte dabei zur Vermeidung unnötiger Kosten und Risiken so klein werden wie möglich und so groß wie nötig, um Erfahrungen zu sammeln, die auf spätere Großprojekte übertragbar sind. Dieser Forderung entsprachen Reaktoren mit angereichertem Uran, da Natururanreaktoren aus physikalischen Gründen mit vertretbarem spezifischem und absolutem Aufwand nur für größere Leistungen gebaut werden können. Diese Überlegungen führten im Februar 1956 zur Anfrage eines Versuchsatomkraftwerkes von rd. 10 000 ekW mit angereichertem Uran bei zehn amerikanischen bzw. englischen Herstellerfirmen. Hierauf gingen sieben Angebote bei uns ein, von denen sich drei auf einen Druckwasserreaktor, zwei auf einen Siedewasserreaktor und je eines auf einen Natriumgraphitreaktor und einen homogenen Lösungsreaktor bezogen<sup>1)</sup>.

### VORBEREITUNG UND AUFTRAGSERTEILUNG

Zunächst galt es, unter den vier angebotenen Reaktortypen eine Wahl zu treffen, wobei im wesentlichen folgende Gesichtspunkte zu beachten waren:

\*) Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk A.G. (RWE)  
1) Vgl. Die Atomwirtschaft, Jg. I, S. 333/334 (1956).

Der Reaktortyp sollte gute technische und wirtschaftliche Aussichten für künftige betriebssichere Großatomkraftwerke bieten;

er sollte ein Höchstmaß an nutzbringenden Erfahrungen liefern, d. h. er sollte möglichst flexibel und nicht zu konservativ sein, ohne allerdings ein zu großes technisches Risiko zu enthalten;

er sollte in kurzer Zeit erstellt werden können und frühzeitig Betriebserfahrungen liefern, d. h. er sollte bei Berücksichtigung ausländischer Erfahrungen keine langfristige Entwicklung bis zum wirtschaftlichen Einsatz entsprechender Großanlagen notwendig machen;

schließlich sollte zur Erweiterung der Erfahrungsbasis in Europa ein Typ gewählt werden, der sich nicht bereits in einem benachbarten europäischen Land in Planung oder Bau befand.

Diese Gesichtspunkte führten im Jahre 1957 fast zwangsläufig zur Wahl eines Siedewasserreaktors. Zu jener Zeit waren nur zwei kleine Versuchsanlagen dieses Typs in den USA in Betrieb, eine weitere sowie ein Großatomkraftwerk von 180 eMW befanden sich in Bau. Eines der beiden Angebote auf einen Siedewasserreaktor kam von der Firmengruppe *AMF Atomics Inc., Div. der American Machine and Foundry Co., New York / Mitchell Engineering Ltd. (MEL)*, London. Das andere Angebot reichte die *International General Electric Co. (IGE)*, New York, ein.

Der nächste Schritt galt der Entscheidung über die Auslegungsleistung der Anlage und die prinzipielle technische Ausführung. Bei der Einholung der Angebote wurde, wie bereits erwähnt, als Richtwert eine Leistung von 10 000 ekW angegeben, wobei es der Herstellerfirma freigestellt wurde, auch eine etwas größere Leistung anzubieten. Von dieser Möglichkeit machten beide vorgenannten Firmen Gebrauch, indem sie bei etwa gleichen Kernabmessungen auf Grund zwischenzeitlich an den in Betrieb befindlichen Anlagen gesammelter Erfahrungen die Leistungsdichte steigerten. Bei der technischen Grundschaltung stand der geschlossene Kreislauf, der von *AMF — MEL* angeboten wurde, in Konkurrenz zum offenen Kreislauf von *IGE*. Zur Vermeidung betrieblicher Erschwerungen bei dieser Erstanlage und zur Erzielung der größtmöglichen Sicherheit nach innen und außen gaben wir der Anlage mit geschlossenem Kreislauf und Naturumlauf des primärseitigen Kühlmittels den Vorzug, obwohl damit eine Komplizierung, Verteuerung und eine Verschlechterung des Wir-



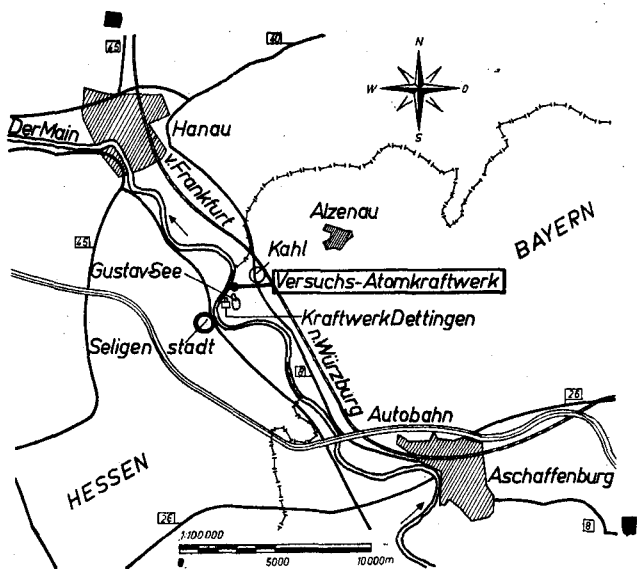


Abb. 1: Standort des Versuchsatomkraftwerks Kahl.

kungsgrades gegenüber dem offenen Kreislauf verbunden waren. So entschieden wir uns zunächst für das Angebot von AMF — MEL, zumal diese Firmengruppe bereits zum damaligen Zeitpunkt zu einer engen Zusammenarbeit bei der Erstellung eines Kraftwerkes mit einer deutschen am Reaktorbau interessierten Firma bereit war, während IGE nur den Reaktorteil mit Turbosatz und Hilfseinrichtungen angeboten hatte — und zwar auf US-Preisbasis —, wobei sie davon ausging, daß die Koordinierung bei der Erstellung der Gesamtanlage der amerikanischen Praxis entsprechend einer erfahrenen Planungsfirma übertragen würde.

Nach eingehender Wertung beider Angebote sowohl hinsichtlich der technischen Auslegung als auch der angebotenen vertraglichen Bedingungen wurde im März 1957 einer Firmengemeinschaft, bestehend aus den Firmen AMF — MEL und der Siemens-Schuckertwerke A.G. (SSW), Erlangen, ein vorläufiger Auftrag auf ein Versuchsatomkraftwerk erteilt<sup>2)</sup>. Die Anlage sollte der von AFM im Auftrag der US-AEC projektierten Atomkraftwerksanlage Elk River technisch entsprechen. Um außerdem alle beim Bau und Betrieb des *Experimental Boiling Water Reactor* im Argonne-Laboratorium gesammelten Erfahrungen für unser Projekt zu verwerten, wurde von AMF der namhafte amerikanische Fachmann Dr. Walter Zinn zur Zusammenarbeit gewonnen. Infolge inneramerikanischer Schwierigkeiten, auf deren Behebung weder der deutsche Partner der vorgenannten Firmengemeinschaft noch wir Einfluß hatten, kam der Vertrag zwischen der US-AEC und AMF über das Elk-River-Projekt nicht zustande, womit auch unserem Projekt die technische Basis entzogen war. Unser vorläufiger Auftrag wurde daher im Herbst 1957 annulliert.

Daraufhin nahmen wir erneut Verhandlungen mit den übrigen ursprünglichen Anbietern auf, zu denen der spätere Auftragnehmer für das Elk-River-Projekt, die *American Car and Foundry Inc.*, Washington, sowie MEL allein mit einem technisch abgewandelten Angebot hinzutraten. Zwischenzeitlich hatte sich die IGE zu einer engeren Zusammenarbeit auf dem Atomsektor mit der *Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft (AEG)*, Frankfurt, entschlossen und unterbreitete uns gemeinsam mit der AEG und *Hochtief Aktiengesellschaft für Hoch- u. Tiefbauten, vorm. Gebr. Hellmann (Hochtief)*, Essen, ein neues Angebot auf ein schlüsselfertiges Atomkraftwerk mit geschlossenem Primärkreis und einer Nettoleistung von 15 eMW. In der Grundkonzeption ähnelte diese Anlage der ursprünglich

<sup>2)</sup> Vgl. Die Atomwirtschaft, Jg. II, S. 253—255 (1957).

von AMF — MEL — SSW angebotenen, mit dem einzigen wesentlichen Unterschied, daß IGE nach wie vor als Brennstoff  $UO_2$  im Gegensatz zu einem  $UO_2$ - $ThO_2$ -Gemisch beim AMF — MEL — SSW-Angebot vorsah.

Nach gründlicher Prüfung und Wertung aller z.T. überarbeiteten Angebote erteilten wir der AEG als uns gegenüber allein verantwortlicher Firma am 13. Juni 1958 den Auftrag auf Erstellung und Inbetriebnahme des schlüsselfertigen Atomkraftwerkes. AEG erteilte IGE, Hochtief und zahlreichen anderen Lieferanten Aufträge im Namen des RWE. IGE stellte den Entwurf des Reaktors, arbeitete Spezifikationen für verschiedene Anlageteile aus und überprüfte deren Einhaltung, wirkte als Berater bei der Auslegung der Anlage sowie als Ausbilder für unser Betriebspersonal und lieferte die Brennstoffelemente, die Steuerstäbe mit Antrieben, einige Inneneinbauten des Reaktors und Teile der Meß- und Regelanlage. Der überwiegende Teil der Lieferungen wurde in Deutschland hergestellt, wodurch vielen deutschen Firmen Gelegenheit gegeben wurde, eigene Erfahrungen auf dem Atomsektor zu sammeln. Später sollen auch in Deutschland gefertigte Brennstoffelemente im Reaktor erprobt werden.

Als Standort für das Versuchsatomkraftwerk wurde das an das RWE-eigene Steinkohlenkraftwerk Dettingen mainabwärts unmittelbar angrenzende, zwischen Main und Gustavsee gelegene Gelände gewählt (Abb. 1). Dieser Standort bietet den Vorteil, daß das vorhandene Einlaufbauwerk des Kraftwerkes Dettingen die Kühlwasserversorgung des Atomkraftwerkes mit übernehmen kann, daß Hilfsdampf aus der Kesselanlage des Kraftwerkes Dettingen zur Verfügung steht und im Notfall der elektrische Eigenbedarf des Atomkraftwerkes aus dem Kohlekraftwerk gedeckt werden kann, womit er gegen Netzstörungen weitgehend unempfindlich wird. Schließlich entspricht dieser Standort der Forderung, bereits das Versuchsatomkraftwerk möglichst weit von unserer Kohlenversorgungsbasis, d. h. absatzorientiert, zu errichten. Die Anlage liegt in der Gemarkung Großwelzheim und wurde nach der nahegelegenen Ortschaft Kahl benannt.

Die Bayernwerk A.G., München, bekundete kurz nach Bestellung des Kraftwerkes ihr Interesse an einer Beteiligung am Bauvorhaben, um ihrerseits frühzeitig Erfahrungen auf dem Atomkraftwerksgebiet aus erster Hand sammeln und Personal für spätere eigene Atomkraftwerke schulen zu können. Das RWE entsprach diesem Wunsch und gründete gemeinsam mit der Bayernwerk A.G. im Oktober 1958 die *Versuchsatomkraftwerk Kahl G.m.b.H. (VAK)*, Großwelzheim, an der das RWE mit 80% und die Bayernwerk A.G. mit 20% beteiligt sind.

#### DAß VERSUCHSATOMKRAFTWERK KAHL

Der Reaktor ist ein heterogener leichtwassergekühlter und -moderierter Siedewasserreaktor mit Naturumlauf des Kühlmittels und geschlossenem Primärkreis. Der Reaktorkern hat eine aktive Länge von 1524 mm und einen aktiven Umkreisdurchmesser von 1575 mm. Er besteht aus 88 Brennstoffelementen, die ihrerseits aus 36 Zircaloy-2-umhüllten, mit  $UO_2$ -Preßlingen von 12,7 mm Durchmesser gefüllten Brennstoffstäben zusammengesetzt sind. Das Urangewicht des Kernes beträgt 5545 kg, die Anreicherung des Gleichgewichtskernes 2,3 Gewichtsprozent U-235. Der mittlere Abbrand der Brennstoffelemente ist bezüglich der Reaktivität des Kernes garantiert zu 8800 MWd/t Uran und bezüglich der Haltbarkeit zu 11 000 MWd/t Uran.

Der im Reaktor erzeugte Dampf gibt seine Wärme im *Dampfumformer* und im Unterkühler an den Sekundärkreis ab. Der im Sekundärkreis erzeugte Satttdampf wird über einen Wasserabscheider zur *Turbine* geleitet. Die Turbine ist eine eingehäusige, einflutige axiale Gleichdruck-Satttdampf-Kondensationsturbine, Bauart AEG, mit 4stufiger ungesteuerter Dampfentnahme für die Vorwärmung des Speisewassers und kontinuierlicher, innerer

Entwässerung des Dampfes. Sie hat eine maximale Dauerleistung von 16 MW und eine Drehzahl von 3000 Upm. Die maximale Dampfeuchte während der Expansion beträgt 11,5%. Der luftgekühlte Drehstromgenerator hat eine Scheinleistung von 20 MVA und eine Spannung von 5,3 kV. Die Leistung für den Eigenbedarf wird im Normalbetrieb zwischen Generator und Hauptumspanner (6/20 kV) entnommen, sie kann aber auch über Kabel aus dem Kraftwerk Dettingen bezogen werden. Abb. 2 gibt ein vereinfachtes Wärmeschaltbild der Kraftwerksanlage wieder, aus dem die Hauptdaten bei Vollast zu entnehmen sind. Der Wirkungsgrad der Kraftwerksanlage, bezogen auf die Hochspannungsklemmen des Hauptumspanners, beträgt bei Bestlast der Turbine (15 MW) 27,3%.

Der Reaktor einschließlich Primärkreis und seinen Nebenkreisen sowie Hilfseinrichtungen befinden sich in dem als druckdichtes Gehäuse ausgebildeten Reaktorgebäude

gegenüberliegenden Seite des Reaktorgebäudes liegt das Aufbereitungsgebäude. Durch dieses werden vor Entlassen in die Umgebung bzw. vor der Lagerung alle möglicherweise aktiven Flüssigkeiten und Gase geleitet und ggf. aufbereitet, d. h. alle Abwässer aus dem Reaktorgebäude und dem übrigen Kontrollbereich, die Abluft aus allen Gebäuden des Kontrollbereichs und die nicht kondensierbaren Gase aus der Reaktoranlage. Im Aufbereitungsgebäude sind auch die beiden Zwischenkühler untergebracht, über welche sämtliche Hilfskühlkreise des Reaktorsystems mit Kühlwasser aus dem Gustavsee indirekt gekühlt werden. Flüssige radioaktive Konzentrate sowie verbrauchte Ionenaustauschharze werden in Behältern im Lager für flüssige radioaktive Abfälle gelagert, das z. T. in den Erdwall eingelassen ist, der das Reaktorgebäude umgibt. Feste radioaktive Abfälle werden in einem bunkerförmigen, durch abnehmbare Platten verschlossenen und überdachten Lager für feste Abfälle untergebracht.

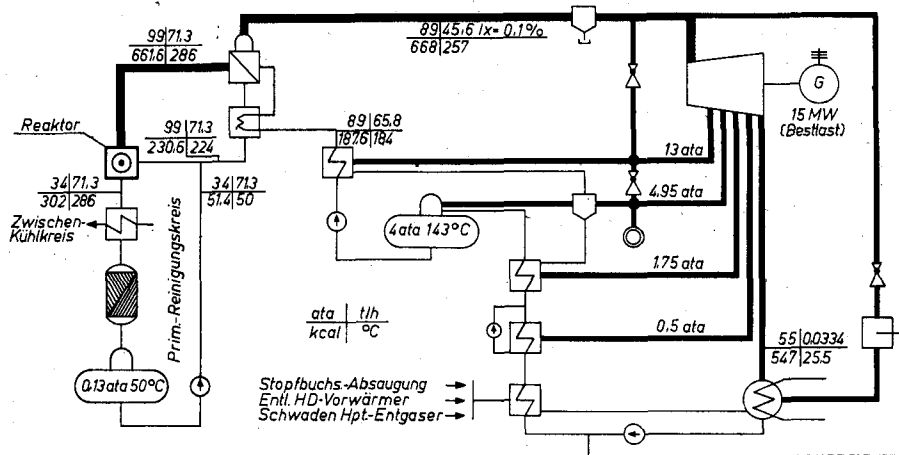


Abb. 2: Wärmeschaltbild des Kraftwerks.

von 13,7 m Innendurchmesser und 46,0 m Höhe. Das Reaktorgebäude ist zur Hälfte im Erdreich eingelassen. Die im zylindrischen Teil aus 21-mm-Blech hergestellte Druckschale ist von einem 70 cm starken Betonmantel umgeben und sitzt im unteren Teil in einem Betonzylinder, der während des Baues des Reaktorgebäudes als Caisson diente.

Der Sekundärkreis des Werkes, im wesentlichen bestehend aus Turbosatz mit Zubehör, Speisewasservorwärmanlage, Speisewasserbehälter und Entgaser, Speisepumpen, sowie der Notstromdieselsatz mit 500 kVA und die Vollentsalzungsanlage befinden sich im Maschinenhaus. An dieses ist das zweiteilige Betriebsgebäude angebaut, dessen beide Teile durch das Treppenhaus voneinander getrennt sind. Im Keller des reaktorgebäude-seitigen Teiles sind die Heizungsanlage und die Belüftungsanlage untergebracht, im Erdgeschoß das Laboratorium mit Zählraum, die Wäscherei und der Ein- und Ausgang des Kontrollbereichs mit entsprechenden Einrichtungen, im Obergeschoß Büroräume; die Werkstatt mit ca. 100 m<sup>2</sup> Grundfläche bildet einen Anbau an diesen Gebäudeteil. Im maschinenhausseitigen Teil des Betriebsgebäudes befinden sich im Keller vor allem ein Rohr- und Kabelraum, im Erdgeschoß die Zellen für die Eigenbedarfs-umspanner und Drosseln sowie der Batterieraum und Schaltanlagen, im 1. Obergeschoß Mannschaftsräume und der Speiseraum sowie die meßtechnische Werkstatt. Das 2. Obergeschoß wird vom Kabelboden eingenommen, in dem sich drei Umformersätze für wichtige Wechselstromverbraucher befinden. Darüber ist die Hauptwarte des Kraftwerkes untergebracht. Auf der dem Betriebsgebäude

Am Eingang zum Kraftwerksgelände befindet sich das Pfortnergebäude mit angebauter Garage. Abb. 3 zeigt den Lageplan des Kraftwerkes. Das Pumpenhaus am Main zur Hauptkühlwasserversorgung liegt außerhalb des Planes. Abb. 4 stellt den Aufriß der Anlage, Abb. 5 den Grundriß dar.

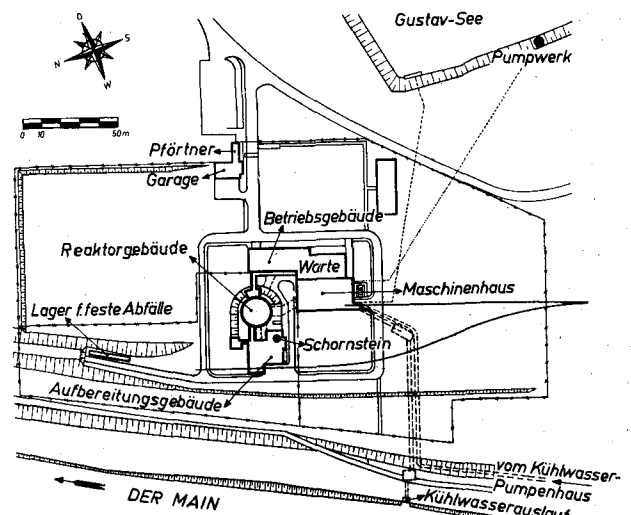


Abb. 3: Lageplan des Kraftwerks.

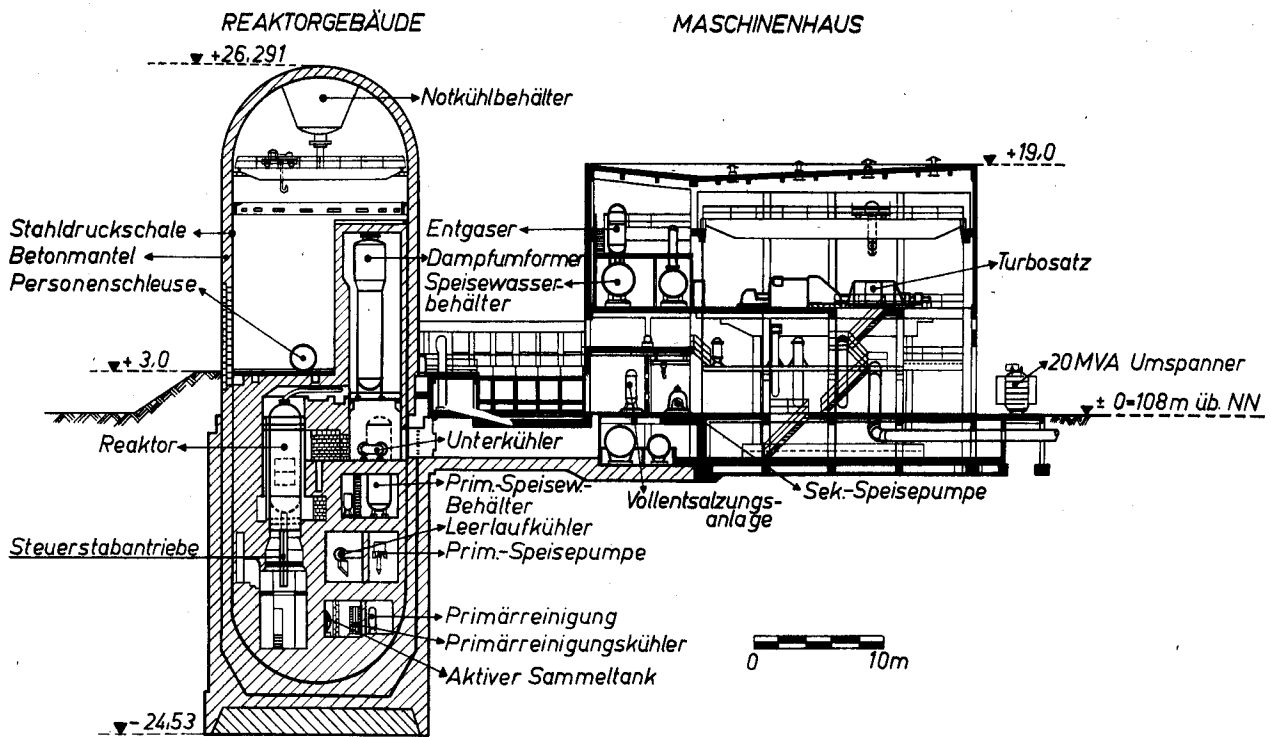


Abb. 4: Aufriß des Kraftwerks.

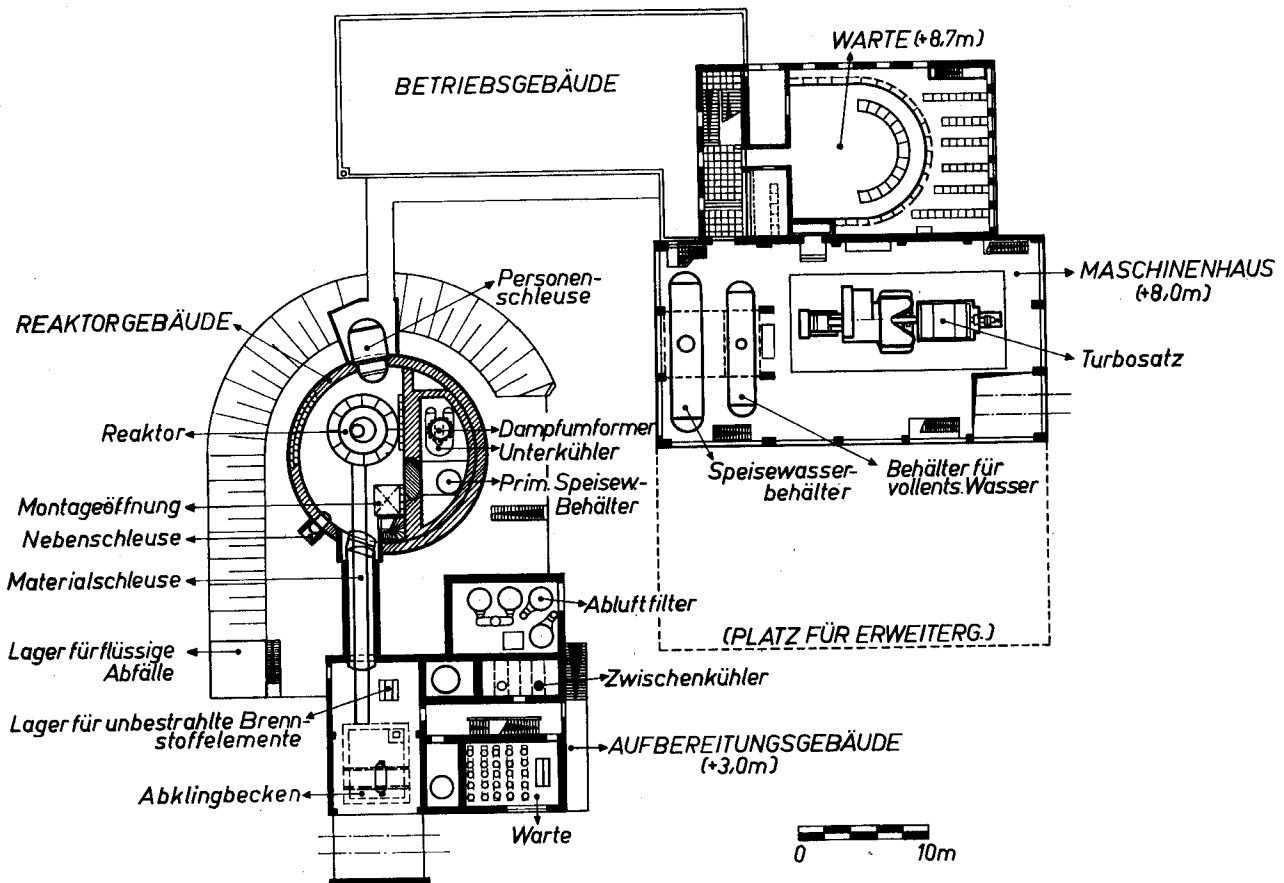


Abb. 5: Grundriß des Kraftwerks.



# GESTALTUNG UND ERRICHTUNG DES VERSUCHSATOMKRAFTWERKS KAHL

VON DIPL.-ING. M. ELLMER, ESSEN\*)  
UND DR.-ING. H. KORNBICHLER, FRANKFURT/M.\*\*)

## A. GESTALTUNG DER ANLAGE

Der grundsätzliche Aufbau der Kraftwerksanlage Kahl ist auf Seite 26 ff. beschrieben worden. Auskünfte über Werkstoffe, Regelungen, Strahlenschutz usw. befinden sich in den entsprechenden nachfolgenden Aufsätzen dieses Heftes. An dieser Stelle werden die Fragen behandelt, die mit der gesamten Gestaltung des Atomkraftwerks Kahl zusammenhängen, und zwar beschränkt auf jene Grundsätze, die in Kahl zur Erfüllung der gestellten Aufgabe angewendet wurden und über entsprechende Überlegungen im herkömmlichen Kraftwerksbau hinausgehen.

Oberster Grundsatz waren dabei Sicherheit und Betriebssicherheit.

### 1. Der Primärkreis

Die bei der Kettenreaktion im Reaktorkern freigesetzte Wärme wird an den *Primärkreis* abgegeben, der aus dem Reaktor, dem Dampfumformer, dem Unterkühler, der Dampfleitung und der Kondensatleitung gebildet wird (Abb. 2 auf S. 27). Die Bewegung des Kühlmittels wird durch Naturumlauf erreicht und nicht durch Pumpen. Dieser einfachste Aufbau birgt zugleich die größte Betriebssicherheit in sich. Der Druckverlust im Dampfumformer und Unterkühler beträgt jeweils 0,0844 ata bei Vollast. Der Reaktor ist ein stehender zylindrischer Behälter (ca. 2,4 m  $\varnothing$ ) mit zwei Kugelböden (ca. 8,2 m lang über alles), von denen der obere als Deckel am Unterteil angeflanscht ist. Die Dichtung wird mit zwei versilberten hohlen Metallringen hergestellt, die beim Verschrauben des Deckels in Nuten gepreßt werden. Die 21 Steuerstäbe sind durch den unteren Boden geführt, während nur die Primärdampfleitung an den oberen Deckel anschließt. Alle anderen Rohrleitungen dringen durch den zylindrischen Teil, mit Ausnahme der vorbereiteten Zwangumlaufstützen, die am unteren Kugelboden angeordnet sind. Das zurückkehrende Kondensat wird im Reaktor etwas unterhalb des Wasserspiegels ringförmig an der Wand verteilt und mit dem Fallstrom des Naturumlafs gemischt. Die Schwerkraft wird die erforderliche Trennung des Dampfes vom Wasser besorgen. (Angaben über Kern vgl. Seite 38 f.)

Das *Reaktordruckgefäß* steht auf einer am unteren Kugelboden angeschweißten zylindrischen Standzarge, in deren unteren Querschnitt eine Stahlkugelschüttung als Strahlenschutz eingebaut ist, um Reparaturen der Steuerstabantriebe zu ermöglichen. Die Steuerstäbe werden normal elektrisch und zum Schnellschluß mit Preßluft bewegt (vgl. Beschreibung der Meß-, Steuer- und Schutzschaltungen).

Der *Dampfumformer*, ein stehender zylindrischer Behälter (ca. 2,3 m  $\varnothing$ , 10 m lang), besitzt eine aus geraden Rohren bestehende Heizfläche mit festen Rohrböden und außenliegenden S-förmig gebogenen Fallrohren. In den Rohren fließt das Sekundärwasser (Naturumlauf), und man-

telseitig wird der Primärdampf kondensiert, der durch Zwischenböden in seiner Strömung geführt wird.

Der *Unterkühler* ist ein liegender und U-förmiger Wärmetauscher, bei dem das Primärwasser in den Rohren fließt.

Die *Rohrleitungen* NW 250, ND 160 (Dampf) bzw. NW 200 (Kondensat) erhielten eine 100%ige Vorspannung, so daß beim Vollastbetrieb keine Kräfte oder Momente von dem Reaktor bzw. dem Dampfumformer oder Unterkühler aufgenommen werden müssen. Die Kräfte und Momente im kalten Zustand sind als relativ gering anzusehen. Die zwei einzigen Flanschenpaare in der Dampfleitung, die zum Abnehmen des Reaktordeckels erforderlich werden, erhielten Kupferdichtungen.

Auf Grund des Dampfkesselgesetzes wurden 3 Sicherheitsventile (federbelastete Vollhub-Sicherheitsventile) für insgesamt 237 t/h-Abblaseleistung auf den Primärkreis gesetzt (gestaffelter Abblasedruck von 85–90 ata). Allerdings sollten diese nie ansprechen, da etliche Sicherungen eingebaut sind, die schon vorher einem Druckanstieg im Primärkreis entgegenwirken. Außer dem Reaktorschutz, der bei Überschreitung von Grenzwerten die Kettenreaktion unterbricht, wurde ein vom Primärdruck gesteuertes Entlastungsventil auf den Sekundärkreis gesetzt, um die erforderliche Wärmeabfuhr aus dem Primärkreis zu gewährleisten und damit auch den Druck im Primärkreis in Grenzen zu halten. Selbstverständlich besitzt der Sekundärkreis außerdem noch seine eigenen Sicherheitsventile (Abblasedruck 74,1 ata). Um Schwaden der Sicherheitsventile möglichst nicht ins Reaktorgebäude treten zu lassen, wurden diese mit einer Reißplatte abgedeckt und mit einer Entwässerung zum aktiven Sammelbehälter versehen.

Das zwar unwahrscheinliche Abblasen der Sicherheitsventile bzw. der denkbare Bruch des Primärkreises bedingte die Konstruktion und Auslegung des *Reaktor Gebäudes* (Auslegung für 6,05 atü, 155°C, Probedruck 6,8 atü, 20°C). Die Durchführung der Druckprobe und des Leckratenversuchs erforderte einen gewissen Aufwand an Sicherheitsvorkehrungen und stellte scharfe Ansprüche an die Meßgenauigkeit, da die Leckrate in der sehr kleinen Größe von 0,18%/Tag des Volumens (ca. 7,0 m<sup>3</sup>/Tag) festgestellt wurde. (Anordnung des Primärkreises: Abb. 13.)

### 2. Die primären Hilfssysteme

Das An- und Abfahren und der ständige Betrieb des Primärkreises verlangen besondere Anlagen, die unter *primäre Hilfskreise* zusammengefaßt sind (vgl. Schaltbild Abb. 13).

Über eine *Abgasanlage* erfolgt die Entlüftung beim Anfahren bzw. der laufende Entzug der nicht kondensierbaren Gase (Radiolyse). Das Dampf-Gas-Gemisch wird bei der Kondensation des Primärdampfes aus dem Dampfumformer unterhalb der einzelnen Zwischenböden entnommen, über elektrische Vorwärmer zur Kontaktanlage und weiter zum Gaskühler geleitet. Der elektrische Vorwärmer schützt die Kontaktanlage vor möglicherweise mitgerissener Dampfpeuchte, weil diese den Kontaktstoff

\*) Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk A.G. (RWE).  
\*\*) Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft AG (AEG).



vergiften würde. Die Kontaktanlage vereinigt die Komponenten des radiolytisch gebildeten Knallgases zu Wasserdampf. Im Gaskühler wird der Dampfanteil kondensiert und dem Primärspesewasserbehälter zugeleitet. Das getrocknete, nicht kondensierbare Gas wird zum Abklingen der Aktivität in den Rückhaltebehälter geleitet und dann entsprechend den Strahlenschutzbedingungen durch den Schornstein in die Atmosphäre entlassen (vgl. Beschreibung: Strahlenschutz S. 52 ff.).

Diese Anlagenteile mußten wegen der hohen Strahlung stark abgeschirmt und ferngesteuert werden, namentlich die Rückhaltebehälter. Pumpen und Ventile sind in einem bedingt begehbaren Raum für Wartung und Reparatur untergebracht. Alle Teile sind herkömmlicher Bauart. Als Pumpen wurden stopfbuchslose Typen verwendet. Bis zum Gaskühler wurde die Anlage im Reaktorgebäude (Dampfumformerraum), der Rest im Aufbereitungsgebäude untergebracht. Es wird mit einem Anfall von 110 kg/h Dampf-Gas-Gemisch gerechnet.

Eine *Primär-Reinigungsanlage* wurde zur laufenden Reinigung des Primärwassers von Korrosionsprodukten und anderen Verunreinigungen eingesetzt. Man rechnet mit einer Verschmutzung des Primärwassers von ca. 0,6 ppm (gelöst und ungelöst), die auf 0,1 ppm verringert wird ( $\text{pH} \approx 7,1$  bei  $20^\circ \text{C}$ ). An der tiefsten Stelle des Reaktors wird eine Teilmenge (normal 3,4 t/h) entnommen, auf unter  $50^\circ \text{C}$  gekühlt, auf 3,5 atü reduziert, im Mischbettfilter gereinigt und im Primärspesewasserbehälter bei 0,125 ata entgast (auf  $-3,7$  m Reaktorgebäude), der an die Abgasanlage angeschlossen ist. Die Reaktorspeisepumpe drückt das Wasser wieder in den Kreislauf.

Die doppelt installierten Mischbettfilter, die stark abgeschirmt auf  $-18$  m im Reaktorgebäude stehen, werden nicht regeneriert, sondern das verbrauchte Harz wird in das Lager für flüssige Abfälle gespült. Das Transportwasser wird der Abwasseraufbereitung zugeführt.

Die Bedienung der Armaturen, die in einem bedingt begehbaren Raum untergebracht sind, erfolgt über Ferngestänge vom Verkehrsweg aus (doppelte Betonabschirmung). Durch besondere Bedingungen für Abnahme und Erprobung wurde sichergestellt, daß diese Anlage einwandfrei arbeiten kann. Als Austauschmassen wurden Amberlite und Levatite eingesetzt.

Das nächstwichtige Element im Reinigungskreis, die zwei vertikalen 20stufigen Reaktorspeisepumpen, stehen auf  $-13$  m im Reaktorgebäude (eine in Betrieb, eine in Reserve). Sie besitzen eine Flexiboxdichtung, eine eigene Druckölschmierung und Sperrwasseranlage. Eine konstante Mindestmenge von ca.  $2 \text{ m}^3/\text{h}$  bei ca.  $12 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $90 \text{ atü}$ ) Vollastmenge sorgt für sicheren Betrieb beim automatischen Umschalten. Von der Speisewasserdruckleitung werden ca.  $2 \text{ m}^3/\text{h}$  für die Sperrwasserdichtung der Stopfbuchsen der Steuerstäbe abgezweigt, die aus Sicherheitsgründen nochmals über ein Filter geleitet werden (Rückfluß in den primären Speisewasserbehälter).

Der Kühler des Reinigungskreises ( $2,3 \text{ Gcal/h}$ ,  $-18$  m Reaktorgebäude), der ein sehr hohes Wärmegefälle zu verarbeiten hat, wurde als reiner Gegenstromapparat ausgebildet. Er wird auch benutzt, wenn bei Überspeisen Wasser aus dem Primärkreis in den Primär-Speisewasserbehälter abgefahren werden muß (Wasserstandsregelung am Reaktor).

Der *Leerlaufkreis* ( $-13$  m im Reaktorgebäude) ist ein kleines Zwangsumlaufsystem und dient zur Restwärmeabfuhr bei abgeschaltetem Reaktor. (Zu seiner Unterstützung kann auch der Primär-Reinigungskühler eingesetzt werden, namentlich oberhalb  $3,5 \text{ atü}$ .) Reaktorwasser wird mit einer Leerlaufpumpe durch einen Kühler gedrückt und dem Reaktor wieder zugeführt. Das System ist nur für ND 10 ausgelegt, da bei seinem Betrieb der Reaktor höchstens  $3,5 \text{ atü}$  besitzt. Das System wird mit Doppelabsperrungen (ND 160) und dazwischenliegenden

freien Entwässerungen von den Rohrstücken abgetrennt, die die Verbindung zum Reaktor herstellen und damit unter vollen Betriebsdruck kommen. Die Pumpe (1stufig,  $90 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $30,5 \text{ m W.S.}$ ) besitzt wiederum Flexiboxdichtung, um den Anfall an radioaktivem Wasser zu verringern. Der Kühler zeigt keine Besonderheiten.

Das *aktive Sammelsystem* erfährt alle möglichen Leckmengen aus Stopfbuchsen von Ventilen und Hilfspumpen. Dabei wurden diese Mengen möglichst klein gehalten, um die Abwasseraufbereitung zu entlasten. Zugleich sind sämtliche Ausblaseleitungen von den Sicherheitsventilen (außer den primären Hauptsicherheitsventilen) in den Sammelbehälter geführt, so daß auch keine radioaktiven Dämpfe in den Raum entweichen können. Diese Leckmengen werden in einen Behälter ( $-18$  m Reaktorgebäude) am tiefsten Punkt gesammelt und von dort mit zwei einstufigen stopfbuchslosen Pumpen zur Abwasseraufbereitung gefördert. Behälter und Pumpen werden fernüberwacht und -gesteuert. Der Behälterinhalt wird auf unter  $60^\circ \text{C}$  gekühlt.

Daneben steht eine *Gebäudeentwässerung*, die in einen Sumpf führt. Eine Kanalradpumpe fördert diese Mengen ebenfalls zur Abwasseraufbereitung. Diese Anlage wird nur bei größeren Reparaturen bzw. Reinigung des Ge-

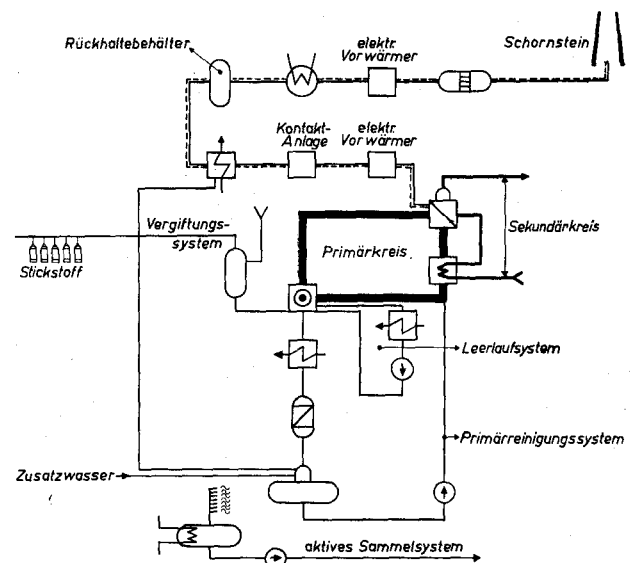


Abb. 13: Der Primärkreis und seine Hilfssysteme.

bäudes gebraucht. Alle Fußböden und Wände des Reaktorgebäudes wurden mit wasserdichtem Epikote angestrichen.

Zwei getrennte *Druckluftanlagen* bestehen für die Antriebe der Regelarmaturen und der Steuerstäbe (vgl. Seite 59).

### 3. Rohrleitungen und Armaturen

Die Rohrverlegung mußte zum Teil gegensätzliche Bedingungen beachten, wie Strahlenschutz (hinter Beton), Zugänglichkeit der Armaturen (Reparatur), Dehnverhalten (Bögen) und Raumverhältnisse. Die Durchtritte durch Wände erhielten Schutzrohre. Die Rohrdurchführungen durch die Druckschale des Reaktorgebäudes wurden als Festpunkte ausgebildet, wobei ein Schutzrohr mit dem einen Ende an die Druckschale und mit dem anderen an die Rohrleitung geschweißt wurde.

Die Armaturen liegen meist zugänglich, zumindest in Räumen, die beschränkt betretbar sind, so daß eine direkte Beobachtung möglich ist. Je nach Anforderung an die Armaturen bzgl. Druck, Temperatur, Dichtigkeit der Ventilspindel-Durchführung und Ablagerungsmöglichkeiten, wurden Konstruktionen gewählt mit Faltenbalg,

Membrane, doppelten Stopfbuchsen bzw. Schrägsitz. Die Stahlgußarmaturen wurden möglichst gemieden oder besonderen Abnahmen unterworfen. Die Armaturen wurden grundsätzlich eingeschweißt. Hierbei war die Frage maßgebend, bei welcher Einbauart mit der kürzesten Reparaturzeit bei üblichen Schäden gerechnet werden kann. Der Antrieb der Armaturen wurde wie in konventionellen Kraftwerken gewählt. Die Durchführung durch die Betonwände bei Ferngestängen mußten für die Strahlung etwa gleichwertig wie der Beton sein, was mit einer geschickten Anordnung von Verußbeton und Stahl erreicht wurde.

Um Fehlbedienungen weitgehend auszuschalten, hat jede Armatur eine Bezeichnung bekommen (Farbe + Buchstabe + Zahl). Ferner sind ganz wichtige Armaturen, deren unsachgemäße Betätigung den Betriebsablauf gefährden könnte, durch eine Verriegelung vor Fehlbedienungen geschützt. Der Schlüssel hierzu wird entsprechend den Betriebsanweisungen nur von der Betriebsführung ausgegeben.

#### 4. Sekundärkreis

Die vom Reaktor an den Primärkreis gegebene Energie wird im Dampfumformer an den in sich geschlossenen Sekundärkreis übertragen. Dieser Kreis ist grundsätzlich wie in jedem anderen Kraftwerk aufgebaut, wenn an Stelle des Dampfumformers ein Kessel gedacht wird.

Die Maschine (16 MW max., +8 m Maschinenhaus) ist mit vier Anzapfungen ausgerüstet, mit denen das Speisewasser auf 184°C vorgewärmt wird (siehe Wärmeschaltbild Abb. 2 auf S. 27). Die Temperaturen, Druck, Mengen erfordern keine besonderen Maßnahmen, so daß sich eine detaillierte Beschreibung erübrigt.

Da es sich hier aber um einen Sekundärkreis eines Kernkraftwerkes handelt, ergeben sich einige Sonderfragen.

Es mußte Sattdampf verarbeitet werden. Daher bedurfte es eines bestimmten Aufwandes, um die Entwässerung des Kreises betriebssicher zu gestalten. Die Turbine entwässert durch die Anzapfungen und drei zusätzliche Stufen über Wasserabscheider. Um mit Sicherheit die Wassermengen abzuleiten, wurde die Entwässerung auf mehrere Stränge geschaltet und zum Kondensator abgeleitet. Außerdem können sie oberhalb 0,5 ata auf die ND-Vorwärmer geleitet werden. Zum Schutz von Reduzierstationen sind weitere Wasserabscheider eingebaut. Auch vor der Maschine strömt der Dampf durch einen Wasserabscheider, der aber zunächst nur die Aufgabe hat, die Maschine vor einem Wasserschwall zu schützen. Auslegungsgemäß soll hier nur 0,1% Dampffuchte auftreten.

Falls tatsächlich Primärwasser in den Sekundärkreis übertreten sollte, bleibt die Umgebung völlig unberührt, da alle Schwaden gesammelt werden (Schwadenkühler) und nur an einer Stelle ins Freie treten. Eine mögliche aktive Verseuchung zeigt sich deutlich und am schnellsten an der Kondensator-Luftabsaugung der Leyboldsätze. Dort wird die Strahlung kontinuierlich gemessen. Alle diese Maßnahmen wurden auch als Vorstufe für eine Anlage angesehen, die primären Dampf direkt verarbeitet.

Von der zweiten Anzapfstufe wird der Dampf für sonstige Wärmeverbraucher abgezweigt (Heizung, Abwasseraufbereitung, Leerlaufkühler, Klima-Anlage).

Als Speisepumpen (auf  $\pm 0$  im Maschinenhaus) wurden 2-100%-Pumpen aufgestellt und noch eine Schwachlastpumpe (25%), da nur eine Drosselregelung vorgesehen ist. Diese Pumpen wurden mit einer elektro-hydraulischen Mindestmengenregelung ausgerüstet.

#### 5. Sondersysteme zur Sicherheit

Die gesamten Untersuchungen über die Frage: „Wie kann eine Störung auf kleinsten Bereich beschränkt werden?“ können hier nicht wiedergegeben werden. Zwei Systeme, nämlich Vergiftungs- und Notkühlanlage, werden bei dem größten denkbaren Unfall eingesetzt. Die Reaktor-druckschale schützt letzten Endes die Umgebung.

##### 5.1 VERGIFTUNGSANLAGE

Falls die Steuerstäbe nicht mehr ordnungsgemäß arbeiten, wird der Reaktor „vergiftet“. Dafür steht in einem Vorratsbehälter (-3,7 m Reaktorgebäude) unter einem

Stickstoffpolster von 130 atü eine Natriumpentaboratlösung (13,5%ig, 680 l), die, im Notfall von Hand ausgelöst, in den Reaktor eingespritzt wird (ca. 5,7 m<sup>3</sup>/h). Sie mischt sich mit dem Zirkulationswasser, wobei das enthaltene Bor in den Reaktor in den unterkritischen Zustand bringt. Eine Kombination von 4 Absperrventilen in der Druckleitung zum Reaktor erlaubt die Funktionsprüfung im Betrieb, so daß sich die Betriebsleitung von der Einsatzbereitschaft dieser Anlage stets überzeugen kann.

##### 5.2 NOTKÜHLANLAGE

Sollte trotz der schon erwähnten Vorkehrungen (vgl. Abschnitt 1) ein Bruch des Primärsystems erfolgen, zugleich der Eigenbedarf ausfallen und die Gefahr des Schmelzens vom Kern bestehen, dann wird die Notkühlanlage eingesetzt. Sie hat die Aufgabe,

- den Kern zu kühlen,
- den Wasserstand im Dampfumformer zu halten,
- den ins Reaktorgebäude entweichenden Dampf zu kondensieren,
- die angefallene Wärmemenge aus dem Reaktorgebäude zu entfernen.

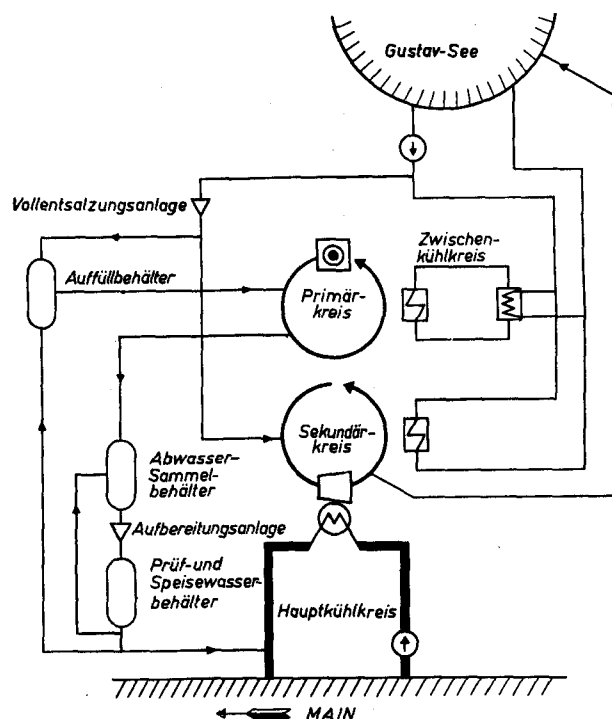


Abb. 14: Wasserwirtschaft des Versuchatomkraftwerks Kahl.

Diese Aufgaben werden erreicht durch:

Zwei Notkühlpumpen, die außerhalb des Gebäudes stehen, sprühen Wasser über den Kern (Reserve durch Sekundär-Speisepumpe).

Die Sekundär-Speisepumpen oder eine Kolbenpumpe, die durch einen Benzinmotor angetrieben wird (Reserve hierfür: Notkühlpumpe), versorgen den Dampfumformer über eine Notspeiseleitung mit Wasser.

Ein Sprinkler-System verrieselt aus der Kuppel des Reaktorgebäudes Wasser aus dem dort untergebrachten Notkühlbehälter. (Die Nachspeisung erfolgt durch die Notkühlpumpe.) Dabei wird die Temperatur im Reaktorgebäude gesenkt und der Dampf kondensiert, wodurch der Druck gesenkt wird. Man läßt zunächst das Wasser im Gebäude hochsteigen und beginnt später über die Notkühlpumpen (Reserve hierfür: Zwischenkühlpumpen) und Wärmetauscher mit der Abfuhr der gebundenen Wärme. Es besteht die Möglichkeit, das Reaktorgebäude

über die Abwasseraufbereitung wieder zu entleeren, indem durch 2-atü-Preßluft das Wasser aus dem Gebäude herausgedrückt wird.

Die genannten gegenseitigen Pumpenreserven bzw. deren Anschluß an das Notdieselaggregat geben dem System höchste Betriebssicherheit. Dem Wasser kann Natriumpentaborat zur Verhinderung eines Wiederkritischwerdens des Reaktors zugesetzt werden. Die Systeme arbeiten teilweise automatisch, verschiedene Handsteuerungen sind eingebaut, um sich die Entscheidungsfreiheit zu erhalten. Die Anlage wird in der Warte überwacht.

## 6. Wasserwirtschaft.

Wie in jedem Kraftwerk muß an zahlreichen Stellen der Anlage gekühlt werden. Hierzu sind drei Kühlkreise vorhanden. Außer den entsprechenden Kühlwässern müssen andere Brauchwässer dem Kraftwerk zugeführt und die Abwässer in den Vorfluter abgeleitet werden. Einzig die Abwasserbehandlung ist grundlegend anders als in herkömmlichen Kraftwerken (siehe Abb. 14).

### 6.1 ALLGEMEINE WASSERWIRTSCHAFT

Die bereits erwähnten Kühler der primären Systeme, wie Primär-Reinigungskühler, Leerlaufkühler, Gaskühler, aktiver Sammel-tank-Kühler, sind im *Zwischenkühlkreis* zusammengeschlossen. Dazu gehören noch der Schildkühler (Abfuhr der Wärme aus der biologischen Abschirmung), einige Probeentnahmekühler, Ölkühler der Primär-Speisepumpen und die Kühlung der Ionisationskammern; d. h. alle Kühler im Reaktorgebäude führen ihre Wärme an dieses geschlossene, mit vollentsalztem Wasser gefüllte System ab. Er wird intensiv durch Strahlungsmessungen und durch Probenahmen überwacht. Die Pumpen ( $2 \cdot 90 \text{ m}^3/\text{h}$ , 4,0 atü) drücken das Wasser durch die parallelgeschalteten Kühler, wobei der Notkühlbehälter als Standgefäß an der Druckseite angeschlossen ist. Es ist Vorsorge getroffen, den Inhalt des Notkühlbehälters nicht nur für die Gebäudenotkühlung, sondern auch für eine zeitlich beschränkte Kühlung von Teilen des Zwischenkühlkreises zu nutzen, falls die Pumpen ausfallen. Das Wasser wird mit einem Inhibitor geimpft und ständig von mechanischer Verunreinigung durch ein Filter gereinigt.

An Einzelheiten des Zwischenkühlkreises ist nur der Schildkühler bemerkenswert (alle anderen Elemente sind völlig konventionell).

In der biologischen Abschirmung fällt Wärme durch Wärmeleitung und Strahlungsenergie an, die auf der Innenseite der Abschirmung durch Rohrschlangen sofort abgeführt wird, und zwar einmal ca. 6 cm, und zum anderen 46 cm vom inneren Rand entfernt. Der Kühler kann bei Bedarf gereinigt werden, ein Auswechseln ist nicht möglich.

In den Zwischenkühlern wird die Wärme des Zwischenkühlkreises an das Wasser des *Nebenkühlkreises* ( $350 \text{ m}^3/\text{h}$ ) abgegeben, das dem Gustavsee in 15 m Tiefe entnommen und in diesen wieder zurückgeführt wird (Kühlteich). In den Zwischenkühlern besitzt der Nebenkühlkreis einen höheren Druck als der Zwischenkühlkreis, so daß sowohl durch die Zwischenkühlkreise selbst, als auch durch das Druckgefälle keine Aktivitäten aus dem Kraftwerk austreten können. Trotzdem wird das Wasser im Nebenkühlkreis auf Strahlung überwacht. Am Nebenkühlkreis hängen noch die Kühler des Sekundärkreises (Generatorluftkühlung, Maschinenölkühlung, Lagerölkühlung usw.).

Das *Kondensator Kühlwasser* ( $4200 \text{ m}^3/\text{h}$ ) wird dem Main entnommen, in Siebmaschinen gereinigt und von zwei Propellerpumpen (davon eine in Reserve) durch den Kondensator gedrückt (Rohrleitungen NW 1400). Durch ein Kraftschlußbecken werden ca. 9 m geodätische Höhe zurückgewonnen. Am Ablauf zum Main werden die von Aktivität befreiten Betriebswässer aus dem Aufbereitungsgebäude zugesetzt. Eine Kondensatorreinigungsanlage (System Taprogge) wurde eingesetzt.

Das *Trinkwasser* ( $6 \text{ m}^3/\text{h}$ ) wird aus einem ca. 800 m entfernten Brunnen entnommen und die *Abwässer* (nur Fäkalien) dem Gustavsee nach Durchlaufen einer Omsgrube zugeführt. Das *Feuerlöschwasser* ( $60 \text{ m}^3/\text{h}$ ) wird von dem Kraftwerk Dettingen bezogen. Es ist lediglich ein Ring um die gesamte Anlage mit

Überflurhydranten erstellt. Das *Regenwasser* wird sowohl dem Main als auch dem Gustavsee zugeführt.

Die Anlagen für Trinkwasser, Abwasser, Feuerlöschwasser und Regenwasser besitzen keine Besonderheiten außer der, daß man selbstverständlich eine Aktivierung dieser Wassermengen bewußt verhindert. So bestehen z. B. in dem Kontrollbereich keine WCs. Abwässer, die aus Räumen kommen, in denen möglicherweise Aktivitäten auftreten, und sämtliche aktiven Abwässer werden in einem besonderen System gesammelt und der Abwasseraufbereitung zugeführt (z. B. Waschräum, Labor, Wäscherei).

### 6.2 SPEZIELLE WASSERWIRTSCHAFT

Da sowohl der Primärkreis als auch der Sekundärkreis im Betrieb für große Dichtigkeit ausgelegt sind, dürfte der Wasserverbrauch sehr gering sein. In beiden Kreisen werden außerdem die anfallenden Betriebswässer gesammelt und dem Kreislauf — falls geeignet bzw. aufbereitet — wieder zugeführt. Trotzdem wird der Ersatz von Kreislaufwasser nötig werden.

Der Zusatzwasserbedarf wird aus dem sauberen Gustavsee gedeckt und das Wasser in einer Vollentsalzungsanlage aufbereitet. Der Bedarf für den Sekundärkreis wird über einen Behälter mit Entgaser dem Kreislauf (Speisewasserbehälter bzw. Kondensator), der Bedarf für den Primärkreis wird im dortigen Speisewasserbehälter (Primärreinigungskreis) zugesetzt.

Die Abwässer aus dem Sekundärkreis (Abschlammung Dampfumformer) werden nach Prüfung in den Vorfluter entlassen. Falls Aktivitäten nachgewiesen werden, durchlaufen sie die Abwasseraufbereitung genauso wie die aktiven Abwässer. Man rechnet mit einem Anfall von gereinigtem Abwasser (im Vorfluter) von insgesamt ca.  $2,6 \text{ m}^3/\text{Tag}$ . In der Leitung zum Vorfluter ist ein Ventil eingebaut, das bei Überschreiten von  $3 \cdot 10^{-5} \text{ mc/l}$  automatisch den Abfluß sperrt.

### 6.3 ABWASSERBEHANDLUNG

Kernstück der gesamten Wasserwirtschaft ist die Sammlung und Aufbereitung der aktiven Abwässer (vgl. Abb. 22 auf S. 55). Sie ist im Aufbereitungsgebäude untergebracht.

Gesammelt werden: die Abwässer aus dem Labor, der Wäscherei und den Waschräumen, die Wässer aus dem aktiven Sammelsystem und die Wässer aus der Gebäudeentwässerung des Reaktorgebäudes und des Aufbereitungsgebäudes.

Das gesammelte Abwasser durchläuft je nach Art der Verschmutzung und Aktivität entweder den Verdampfer und ein Mischbettfilter oder das Mischbettfilter allein und wird in einen Prüf- und Speicherbehälter geleitet. Von hier aus wird es gemäß den gesetzlichen Auflagen in den Main abgeleitet (zusammen mit dem Hauptkühlwasser) bzw., falls nicht genug gereinigt, der Aufbereitung nochmals zugeführt.

Verdampfer und Mischbettfilter (keine Regeneration, sondern Ausspülen der verbrauchten Harze) sind an sich keine speziell entwickelten Elemente, aber sie müssen hier, völlig fernbedient, ständig arbeiten, was einen erheblichen Aufwand an Meßgeräten und besondere Qualität der Werkstattarbeit erfordert. Ferner mußten Maßnahmen vorbereitet werden, um beim Verdampfer eine übermäßige Schaumbildung zu vermeiden (konstruktiv und durch Zusatz von Antischaummitteln) und um die anfallenden Abwässer zu neutralisieren (vgl. Seite 54). Die Kapazität der Aufbereitung wurde mit  $350 \text{ kg/h}$  festgelegt (vgl. Beschreibung: Strahlenschutz S. 52 ff.).

### 6.4 ABFALLAGER

Die Abfälle aus der Abwasseraufbereitung werden in einem Abfallager (neben der Abwasseraufbereitung angeordnet) in zwei Behälter gefüllt, wobei der eine für Harze (auch von der Primärreinigung) und der andere für Ver-

dampferkonzentrate dient. Nach Schätzung soll das Lager für etwa 5 Jahre ausreichen. Der Platz für eine Erweiterung ist vorgesehen. Die Förderung der Harze erfolgt mit Wasser, das wiederum der Aufbereitung zugeführt wird. Das Verdampferkonzentrat wird mit Dampf zum Behälter gedrückt. Die Leitung kann freigespült werden. Auch dieses Wasser wird ebenfalls wieder aufbereitet.

Die Behälter selbst liegen in einem Betongebäude, das sicher ist gegen Grundwasser, Hochwasser und Strahlung. Der Behälterraum kann zwar nicht mehr betreten, aber kontrolliert werden.

### 7. Elektrische Schaltung

Das Kraftwerk ist elektrisch mit dem ca. 500 m entfernten RWE-Kraftwerk Dettingen verbunden; es führt seine erzeugte Leistung dorthin ab (siehe Schaltbild Abb. 15).

Die Anlage wird normal mit offener Kupplung 6 kV und ohne Kupplung zwischen den äußeren 400-V-Schienen gefahren; die Eigenbedarfslasten sind dabei auf beide Einspeisungen möglichst gleichmäßig verteilt.

Bei Ausfall einer Eigenbedarfseinspeisung in 6 kV wird nach kurzer Pufferzeit der Schalter der ausgefallenen Einspeisung ab- und der Kuppelschalter eingeschaltet.

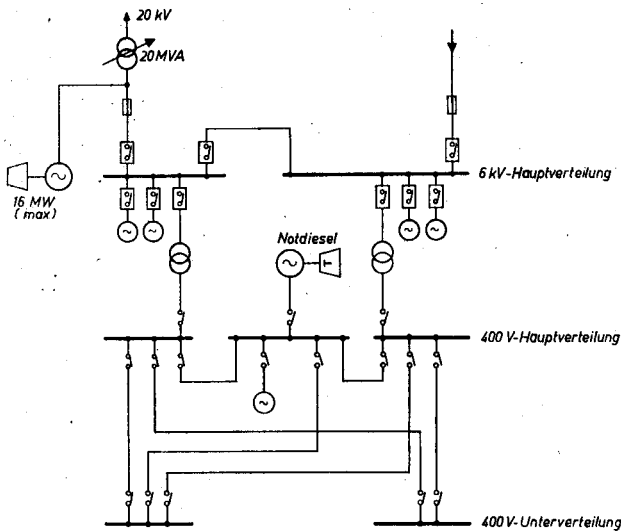


Abb. 15: Elektrisches Schaltbild des Versuchsatomkraftwerks Kahl.

In 400 V ist die mittlere Schiene normal mit einer der äußeren gekuppelt. Wenn der die mittlere Schiene speisende Hausspanner ausfällt, legt sich die mittlere Schiene selbsttätig auf die andere äußere Schiene um. Bei Ausfall beider Eigenbedarfseinspeisungen schaltet sich die mittlere 400-V-Schiene frei; der Notstromsatz läuft an und schaltet sich zu. Anschließend schaltet sich die Schwachlastpumpe für das sekundäre Speisewasser auf die mittlere Schiene zu.

Die Gußgruppen, die nur an die äußeren 400-V-Schienen angeschlossen sind, führen den ungesicherten Normaleigenbedarf; die an alle 400-V-Schienen angeschlossenen Gußgruppen führen den Noteigenbedarf, der bei Trennung der Anlage vom Netz durch den Notstromsatz (0,5 MVA) weiter versorgt wird. Jede Gußgruppe ist auf nur ein anstehendes Kabel zugeschaltet; fällt dieses aus, so schaltet je Gußgruppe eine Automatik auf ein anderes spannungsführendes Kabel um. Dabei sind die Zuschaltungen auf der mittleren 400-V-Schiene derart gestaffelt, daß der Notstromsatz nicht durch Anlaufströme überlastet wird.

Eine Schwierigkeit bei der Kabelverlegung ergab sich an der Stelle, an der die Kabel durch die Druckschale geführt werden müssen. Die Anforderungen an die Druckschale sind bekannt und mußten auch hier eingehalten werden. Nach einigen Versuchen entwickelte der Erbauer eine Durchführung, bei der die einzelnen Adern der Kabel an Stifte, die, mit Glas isoliert, in eine Stahlplatte eingebettet sind, innen und außen angelötet werden. Diese Stahlplatte wird mit Flanschen druckdicht mit der Druckschale verbunden.

### 8. Brennstoffweg

Der Brennstofftransport erfolgt aus dem Aufbereitungsgebäude durch die Materialschleuse zum Reaktor.

Das neue Element wird zunächst, in einem Vorratsraum (max. 40 Elemente) stehend, hochwassersicher gelagert, von dort durch den Kran herausgenommen, geprüft und im Bleibehälter zum Reaktor transportiert. Ein verbrauchtes Element wird mit demselben Bleibehälter aus dem Reaktor genommen (Kran hierzu in der Kuppel des Reaktorgebäudes), der dann mittels eines Spezialwagens durch die Materialschleuse zum Kühlbecken gefahren wird. Die genaue Ortsbestimmung des auszuwechselnden Brennelementes im Kern wird mit einem Drehdeckel und das feinfühliges Heben und Senken mit einer Handwinde erreicht. Im Abklingbecken wird das Element aus dem Bleibehälter in vorbereitete Gestelle abgelassen (ca. 6 m Wasserabschirmung). Nach ca. 3—4 Monaten kann es dann zur Wiederaufbereitung verschickt werden.

Das Abklingbecken faßt einen Kern und zusätzlich 56 Brennelemente und wird mit vollentsalztem Wasser gefüllt, das wiederum mechanisch gereinigt werden kann. Es ist allseitig auf Dichtheit zu prüfen. Beschädigte Elemente werden zusätzlich in dichte Stahlhüllen verpackt, um das Verbreiten von Spaltprodukten in Luft und Kühlbecken zu verhindern.

### 9. Lüftung

Die Lüftungsanlage besitzt keine besonderen Einzelteile. Sie sollen jedoch der Vollständigkeit halber erwähnt werden, weil die Belüftung insbesondere im Kontrollbereich wichtig ist.

Die Lüftung und Teilklimatisierung erfährt alle Räume außer dem Maschinenhaus. Die Zuluft für das Reaktorgebäude und das Aufbereitungsgebäude wird gereinigt (Abscheidegrad 97% bzw. auf 0,3  $\mu$ ). Die Abluft dieser Gebäude einschließlich der Abluft aus dem Labor und dem Betriebsgebäude wird mit Feinsfilter (99,9%, 0,2  $\mu$ ) gereinigt, auf Aktivität geprüft und durch einen 50 m hohen Schornstein abgegeben. Die Filtersätze werden nach Maßgabe der Aktivität und des Druckverlustes ausgetauscht und dem Lager für feste Abfälle zugeführt. Die maximale Temperatur in Räumen, die zur Bedienung während des Betriebes der Anlage betreten werden, wird ca. 35° C betragen. Außerdem wird im Reaktorgebäude ständig ein Unterdruck von 20 mmWS aufrechterhalten, dessen Verschwinden auf der Warte einen Alarm auslöst. Der Ringraum um das Reaktordruckgefäß besitzt nur einen Abluftanschluß zur Erzeugung eines zusätzlichen Unterdruckes, so daß alle Durchbrüche für Rohrleitungen besonders abgedichtet werden mußten (siehe S. 79).

Die Zuluftanlage ist im Keller des Betriebsgebäudes, die Abluftanlage im Gebäude der Abwasseraufbereitung untergebracht.

### 10. Räumliche Anordnung

Bis jetzt wurden die einzelnen Systeme der Funktion und ihrem Aufbau nach beschrieben. Auf Seite 27 wurde bereits der Lageplan im allgemeinen besprochen. Es bleibt nur noch, die Grundsätze der Raumaufteilung zu erläutern.

Der Primärkreis und seine Hilfssysteme befinden sich auf den verschiedenen Etagen des Reaktorgebäudes (s. Abb. 4 u. 5 auf S. 28). Ihre Höhenlage ergab sich aus ihrer Funktion und wurde bereits genannt. Wichtig ist jedoch ihre Staffelung hinsichtlich der Zugängigkeit.

Das Treppenhaus mit Montageöffnung ist auch bei Vollastbetrieb begehbar. Je nach der Zugängigkeit und der Strahlungsstärke sind die einzelnen Apparate so angeordnet, daß im Treppenhaus im wesentlichen Bedienungsstände und Meßgeräte und in den hiervon entfernteren Räumen die strahlungsintensiven und kaum wartungsbedürftigen Anlagen hinter Betonwänden untergebracht sind, wie z. B. Dampfumformer oder Mischbettfilter, Primärreinigungskühler usw. Außerdem sind Betondecken eingezogen und Setzsteinwände errichtet, um die gegenseitige Strahlungsbeeinflussung zu verhindern,

falls Reparaturen auszuführen sind. Die Rohrleitungen wurden ebenfalls in die abgeschirmten Räume verlegt.

Die Anlagen des Sekundärteiles, das Maschinenhaus, sind praktisch konventionell aufgebaut. Hier wurde noch die Vollentsalzungsanlage mit untergebracht (Turbine steht auf +8 m). Alle Gebäude sind durch begehbare Rohrkanäle miteinander verbunden. Das Reaktor- und Abwasseraufbereitungsgebäude sowie die beiden Abfalllager sind bis zum 1000jährigen Hochwasser dicht.

Alles in allem bedurfte es einer ganz genauen Planung, weil im Gegensatz zum konventionellen Kraftwerksbau die Strahlungssicherheit und Begehrbarkeit besondere Räume für die einzelnen Teilanlagen verlangen. Sie so anzuordnen, daß brauchbare Baukörper, kürzeste Leitungen, Übersichtlichkeit und weitgehende Reparaturmöglichkeit erreicht wurden, erforderte eine gewisse Kunstfertigkeit.

### 11. Sonstige Anlagen

Zwei Anlagen bedürfen einer Betonung:

Die *Werkstatt* gilt nur als „kalte“ Werkstatt, d. h. die zu reparierenden Werkstücke müssen im Kontrollbereich dekontaminiert werden, bevor sie zur Bearbeitung freigegeben werden, bzw. die Reparatur muß im Kontrollbereich ausgeführt werden.

Alle *Schleusen* haben die Aufgabe zu verhindern, daß das Innere des Reaktorgebäudes jemals mit der Atmosphäre verbunden ist. Die Türen jeder einzelnen Schleuse sind gegeneinander verriegelt. Es führen zum Reaktorgebäude die bereits erwähnte Materialschleuse, die Personenschleuse und die Not-schleuse.

Eine „Schleuse“ anderer Art bildet der Zugang zum Kontrollbereich. Hier mußte dem Personal ein Zwangsweg vorgeschrieben werden, damit jede Kontamination erkannt und jede Verschleppung derselben verhindert wird. Dies wird durch vollständigen Kleidungswechsel und durch Benutzung der Dusch- und Waschräume erreicht. Der Weg zwischen dieser Raumgruppe und der vorerwähnten Personenschleuse ist überdacht. Etwaige verseuchte Kleider werden in einer Waschmaschine dekontaminiert. Sollte damit kein Erfolg erzielt werden, dann müssen die Kleider im Abfallager für feste Abfälle abgelegt werden. Die Abwässer der Wäscherei gehen über die Abwasseraufbereitung.

### 12. Warte

Man beabsichtigt, das gesamte Kraftwerk praktisch nur von der Zentralwarte aus zu fahren. Das bedeutet, daß die direkte Kontrolle (sehen, fühlen) durch die indirekte (messen, signalisieren) viel mehr verdrängt wurde als in den konventionellen Kraftwerken. Dies erfordern die nuklearen Bedingungen unerbittlich. Diese Prinzipien wurden aber auch weitgehend auf andere Anlagenteile übertragen. Trotzdem sollen und müssen regelmäßige Kontrollgänge in der gesamten Anlage durchgeführt werden.

Dieses Konzept wirkt sich in der Größe der Warte am deutlichsten aus. Hier mußte ein Kompromiß gesucht werden zwischen der Unterbringung einer Vielzahl von Meßstellen, Signalen, Schaltern einerseits und der Forderung andererseits, daß der Wärter die Übersicht zu jeder Zeit behält. Die Ausstattung und die Lage der Warte (Betriebsgebäude +8,7 m) erlauben, von hier aus auch in größeren Störungsfällen die Gegenmaßnahmen zu leiten.

Das Werk konnte nur in Gemeinschaftsarbeit eines nicht kleinen Teils der deutschen und ausländischen Industrie erstellt werden, bei der jeder einzelne an Planung, Herstellung, Errichtung und Inbetriebnahme Beteiligte unbedingt die Einordnung seiner Arbeit in den Gesamtrahmen beachten mußte. Wieweit das Ziel erreicht wurde, ein leistungsfähiges Versuchsatomkraftwerk als Vorstufe für ein wirtschaftliches Großkraftwerk zu erstellen, wird die Betriebspraxis zeigen.

## B. ERRICHTUNG DER ANLAGE

### 1. Voraussetzungen zum Terminplan

Der *Terminplan* für die Erstellung des Kraftwerkes (vgl. Abb. 6 auf S. 29) war im wesentlichen durch zwei Komponenten bestimmt; einmal den Reaktor selbst, zum anderen den 16-MW-Naßdampf-Turbosatz. Der Turbosatz sollte nach zweijähriger Bau- und Montagezeit zur Verfügung stehen. Es wurde deshalb auch für den Reaktor ein Terminplan aufgestellt, der nach genau zwei Jahren den Abschluß der Montagearbeiten und den Beginn der Prüfung vorsah. Dieser sehr knappe Terminplan enthielt kaum Spielraum für Unvorhergesehenes, er sicherte aber eine Reserve von ein bis zwei Monaten gegenüber den vertraglich festgelegten Terminen.

Unmittelbar nach der Auftragserteilung mußte noch im Juni 1958 mit den Bauarbeiten begonnen werden, um für die als schwierig zu erwartende maschinelle Montagezeit zu gewinnen. Die Druckschalenabmessungen wurden daher nach dem damaligen Stand der Projektierung festgelegt, und zwar unter der Annahme, daß die neuen Nebenbedingungen (Leistungserhöhung und Zwangsumlauf) durch eine Umplanung innerhalb des Reaktorgebäudes bei den gegebenen Abmessungen erfüllt werden könnten. Die Caissonarbeiten gingen dann auch planmäßig voran, und am 1. Dezember 1958 war dieser Baukörper in Übereinstimmung mit dem Terminplan fertiggestellt.

Die Montage der Reaktordruckschale schloß sich sofort an. Der Auftrag hierfür wurde daher unmittelbar nach Erhalt des Gesamtauftrages erteilt. Hierzu wurden in Zusammenarbeit mit dem *Technischen Überwachungsverein* die Auslegungsgrundsätze festgelegt, da auf dem Sektor Reaktorbau ja noch keine ausreichenden amtlichen Vorschriften existieren. Der frühe Bestellzeitpunkt für die Druckschale hatte zur Folge, daß durch die laufende Detailplanung noch ein weiterer Schuß von 3 m Höhe eingeplant werden mußte, was aber ohne nennenswerte Beeinflussung der Termine auch ausgeführt werden konnte.

Die Detailplanung des Inneren des Reaktorgebäudes lief parallel zu den Caissonarbeiten, um sowohl den inneren Betonkörper festzulegen, als auch die Bestellungen für Reaktor, Dampfumformer, Unterkühler usw. rechtzeitig zu ermöglichen.

Die Anordnungszeichnungen für das *Innere des Reaktorgebäudes* wurden bis Februar 1959 fertiggestellt, so daß die Bauarbeiten an die Montage der Druckschale sofort anschließen konnten.

Das *Reaktordruckgefäß* mußte für den späteren Einbau von zwei Zwangsumlaufkreisen vier große Stützen erhalten, die in der ersten Ausbaustufe etwa 1,5 m lange Rohrstücke mit Endkappen tragen. Hierdurch wird trotz der Aktivierung des Druckgefäßes im Betrieb der spätere Anschluß einer Zwangsumlaufleitung möglich. In Zusammenarbeit mit dem Technischen Überwachungsverein wurden die Berechnungsmethoden für die Auslegung des Druckgefäßes, insbesondere für die Flanschen, die großen Stützen und den durch 21 Regelstabanschlußstützen durchbrochenen Boden, festgelegt. Am 1. September 1958 konnte der Auftrag auf das Druckgefäß erteilt werden; die vereinbarte Lieferzeit betrug 11 Monate. Sie wurde im wesentlichen durch die Flansche und die plattierten Bleche bestimmt, so daß die Detailkonstruktion der Innenausbauten etwas später beendet sein konnte.

Für die *Dampfumformer* stand eine Reihe verschiedener Ausführungsvorschläge zur Diskussion, die hinsichtlich der Widerstandsfähigkeit gegen Korrosion auf der Primärseite und der Gefahr der Undichtigkeit durch Wärmedehnungen geprüft werden mußten. Da der Hersteller mit ähnlichem Material bereits Erfahrung hatte, bestanden gegen den schließlich gewählten, schwierig zu verschweißenden Rohrwerkstoff (24%iger Chromstahl) keine



Bedenken. Der Dampfumformer wurde am 15. September 1958 mit einjähriger Lieferzeit bestellt.

Der *Kondensatunterkühler* im Primärkreis ist im Betrieb den schärfsten Temperaturschwankungen ausgesetzt. Auch hier mußten einige der ursprünglich zur Diskussion stehenden Bauformen ausgeschieden werden. Die Konstruktion des Unterkühlers wurde in Zusammenarbeit mit dem Hersteller Mitte Dezember 1958 endgültig fixiert, die Lieferzeit sollte dann noch rund neun Monate betragen.

Die Auslegungsdaten für den *Naßdampfturbosatz* lagen von Anfang an bei der Auftragserteilung fest. Jedoch mußte noch die Frage der Wasserabscheidung geklärt werden. Auf einem Prüfstand in der Turbinenfabrik des Herstellers wurde die Wirkung der internen Wasserabscheidung untersucht und die optimale Formgebung entwickelt.

Aus den obengenannten Planungsgründen für die Rohrverlegung war eine ungewöhnlich enge Zusammenarbeit mit der Bauplanung erforderlich. Da sehr viele austenitische Leitungen und Schieber zu verlegen waren, mußten mit Rücksicht auf die Lieferzeiten dieser Anlageteile die Planungsarbeiten im Frühjahr 1959 im wesentlichen abgeschlossen sein.

## 2. Montagedurchführung

### 2.1 SPEZIFISCHE MONTAGEN

Im großen und ganzen konnten alle Baukörper trotz zum Teil erheblicher und unerwarteter Gründungsschwierigkeiten so rechtzeitig fertiggestellt werden, daß die maschinentechnische Montage planmäßig begonnen werden konnte (siehe Terminplan).

Die Montage und die Prüfung der Reaktordruckschale erfolgte ziemlich genau in Übereinstimmung mit der ursprünglichen Terminplanung. Schwierigkeiten ergaben sich in der Festlegung der zulässigen Leckrate, da keinerlei Erfahrungen über so extrem dichte Druckgasbehälter derartiger Abmessungen vorlagen.

Während der Osterfeiertage 1959 fand die Druckprüfung mit 7,8 ata Prüfdruck statt. Die gemessene Leckrate ergab sich zu 0,18%/Tag. Nach dem Druckversuch wurde die vorgesehene Montageöffnung von 4·6 m für die Bauarbeiten und für die spätere Montage wieder geöffnet.

Da die Schleusen als relativ komplizierte Anlageteile zum Zeitpunkt des Druckversuches noch nicht fertig waren, wurde der Druckversuch ohne sie durchgeführt. Sie wurden einem Einzeldruckversuch unterworfen.

Kleine Bautoleranzen wurden hinsichtlich des zylindrischen Hohlraumes für das Reaktordruckgefäß und den konzentrisch dazu im Beton untergebrachten Schildkühler vorgegeben. Der Abstand zwischen Druckgefäßisolierung und Beton beträgt nur 30 mm. Der Schildkühler mußte zur Geringhaltung der Spannungen im Beton sehr genau montiert werden (siehe oben). Um diesen Forderungen nachzukommen, wurde ein Montagegerüst errichtet, das sowohl die zylindrische Schalung für den Beton, als auch den gesamten Schildkühler trug. Es wurde sehr genau vermessen und durch Absteifungen gegen die Druckschale fixiert. Besonders sorgfältig mußten die Arbeiten wegen der Gefahr einer möglichen Beschädigung des Schildkühlers ausgeführt werden.

### 2.2 MONTAGE DER SCHWEREN ANLAGETEILE

Die Montage der schweren Anlageteile erfolgte durch eine große verschließbare Montageöffnung seitlich in der Druckschale. Durch die Wahl dieser Montageart war die Druckschale von Anfang an geschlossen und erleichterte auf diese Weise die Montage, indem sie Schutz gegen Witterungseinflüsse bot. Die Montageöffnung blieb praktisch bis zum Ende der Maschinenmontage offen. Diese Montageart verlangte entsprechende Vorkehrungen, wie Einbau einer mit 20 t schweren Betonblöcken

verschließbaren Montageöffnung in der Abschirmwand zwischen +3 m und +14 m, Aufbau eines Montagekranes (100 t) innerhalb der Druckschale zur Montage von Reaktordruckgefäß und Dampfumformer, Aufbau einer Bahn zum Verfahren des senkrecht stehenden Dampfumformers von seiner ersten Montageposition oberhalb des Reaktordruckgefäßes in seine endgültige Position und Anschütten einer Montagerampe zwischen Gleis und Montageöffnung in der Druckschale. Dieses Montageverfahren brachte die unbedingt erforderliche Freizügigkeit in der Montagereihenfolge und kann auch mit einem zwar nicht geringen, aber immerhin erträglichen Aufwand bei einer möglichen Montage oder Demontage — besonders im Falle des Umbaus auf Zwangsumlauf — wieder angewendet werden.

Der Rundlaufkran wurde montiert, als die Bauarbeiten gerade die Höhe der Montageöffnung auf +3 m erreicht hatten. Der halbkugelförmige Raum oberhalb der Kranlaufbahn erlaubte keine schräge Montage des Kranes, so daß die Wangen für die Montage demontiert werden mußten. Das in den Notkühlbehälter eingelassene Rohr, das die Rundlaufführung des Kranes übernimmt, wurde für das Hochziehen des Kranes ausgebildet.

### 2.3 SAUBERKEITSBEDINGUNGEN UND CHEMISCHE REINIGUNG

Wegen der späteren Aktivierung des Primärkreises mußte natürlich auf Sauberkeit geachtet werden, jedoch weit weniger als beispielsweise bei einem Natururan-Reaktor. Dieser Umstand gestattete die gleichzeitige Durchführung von Arbeiten innerhalb des Reaktorgebäudes, die ansich, vom Sauberkeitsstandpunkt aus gesehen, nicht sehr gut zueinander passen, aber die Einhaltung der knappen Termine ermöglichte. Die Räume, in denen Austenit-Schweißungen ausgeführt wurden, wurden stets durch Folienabspannungen von anderen Montagestellen getrennt, so daß ferritische und grobe Verschmutzung vermieden wurden. Die Rohre und Behälter kamen gebeizt und verschlossen auf die Baustelle. Die chemische Reinigung des gesamten Primärkreises (vgl. Seite 76) wurde im Juni 1960 innerhalb von einer Woche nach vollständigem Abschluß der Montage der Rohrleitungen durchgeführt, also auch aller Instrumentierungsleitungen. Sie ergab mit Ausnahme einiger weniger, später noch behandelter Stellen eine ausgezeichnete Sauberkeit. Eine solche Reinigung wird immer notwendig sein, auch bei noch besseren Montagebedingungen. Sie muß daher sowohl konstruktiv als auch zeitlich sehr früh in die Planung einbezogen werden.

### 2.4 BEENGTE RAUMVERHÄLTNISSE

Mit Rücksicht auf die Gesteigungskosten des Kraftwerks war das Reaktorgebäude bewußt etwas knapp ausgelegt worden. Der vorgesehene Montageraum dürfte jedoch für die betrieblichen Belange völlig ausreichen, denn normalerweise sind täglich nur zwei Kontrollgänge durchzuführen und selbst bei Reparaturen wird nur an wenigen Stellen gearbeitet werden. Für die Montagezeit allerdings muß man sich die durch eine derart enge Bauweise hervorgerufenen Konsequenzen gründlich überlegen und die daraus resultierenden Möglichkeiten im Terminplan entsprechend berücksichtigen (Montagereihenfolge, beschränkte Anzahl und gegenseitige Beeinflussung der Montagestellen, namentlich bei Lieferverzögerungen usw.). Wenn irgend möglich, sollte man daher zwischen Liefertermin und Montagetermin bei den wichtigen Anlageteilen ausreichende Reserve vorsehen (Lagermöglichkeit auf der Baustelle).

Die Verwendung vieler Setzsteinwände hat sich während der Bauzeit sehr bewährt. Bei engsten Platzverhältnissen wird damit ausreichender Strahlenschutz erzielt und die Montagewege werden nicht verbaut. Das Aufsetzen der Setzsteinwände (und demzufolge auch die Demontage) kann innerhalb sehr kurzer Zeit erfolgen.

## 2.5 ELEKTROMONTAGE

Die Elektromontage ist bei einem Atomkraftwerk wegen der Vielzahl der ferngesteuerten Armaturen und der im Vergleich zu einem konventionellen Kraftwerk wesentlich vermehrten Instrumentierung sehr umfangreich. Die Hauptmontage des Elektroteils hat allein im Reaktorgebäude etwa vier Monate in Anspruch genommen.

## 2.6 VORVERSUCHE

Bei Kernkraftwerken muß die Betriebstüchtigkeit aller Anlagen vor Beginn der nuklearen Betriebszeit nachgewiesen werden. Dieses Vorversuchsprogramm wurde in der Zeit vom 1. August bis 1. November 1960 durchgeführt. Als besonders schwierig und zeitraubend erwiesen sich die Vorversuche deshalb, weil man an die Vollständigkeit und Betriebsbereitschaft jedes einzelnen Systems scharfe Anforderungen stellte, um das Erscheinen auch der letzten Meldung auf der Warte und den Erfolg von Steuerimpulsen von relativ untergeordneter Bedeutung prompt und einwandfrei sicherzustellen; sonst kann man ein System nicht als fertig bezeichnen. Änderungen an geprüften Systemen bringen eine Wiederholung des entsprechenden Vorversuches. Nur unabhängige Systeme können parallel geprüft werden. Um sich ein Bild von dem Umfang dieser Vorversuche zu machen, sei hier erwähnt, daß mit dem Steuerstabsystem Kahl im Zuge der Vorversuche vor dem ersten Laden etwa 600 Schnellabschaltungen (Einschießen der Regelstäbe mit Preßluft) durchgeführt wurden, wobei die Einschleißzeiten sowie Beschleunigungen und Verzögerungen sorgfältig gemessen wurden.

## 3. Hauptschwierigkeiten

Materialausfall bei einigen Anlageteilen und die damit verbundene Prozedur der Neubeschaffung beeinflussten die ursprüngliche Terminplanung wesentlich. Da alle wichtigen Teile natürlich mit entsprechenden Prüfzeugnissen geliefert werden müssen, hat jeder Materialausfall zur Folge, daß im allgemeinen wieder mit dem Erschmelzen der Legierung neu angefangen werden mußte, was beträchtliche Zeitverluste brachte, namentlich bei Sonderlegierungen. Durch diesen Umstand sind im Falle des Versuchsatomkraftwerkes Kahl für die drei

wichtigsten Anlageteile des Primärkreises (Reaktordruckgefäß, Dampfumformer, Unterkühler) Lieferverzögerungen von zwei bis fünf Monaten gegenüber dem ursprünglichen Terminplan eingetreten. Ebensoviel Zeitverlust bereitete oftmals bei nicht eindeutigen Ergebnissen der Materialprüfungen die nicht völlig überschaubare Kette von Ergänzungen der Untersuchungen und deren Auswertung. Sehr schwierig waren dabei die Entscheidungen, wenn die notwendige Gewißheit über die vorliegenden Materialeigenschaften und die unbedingt anzustrebende Betriebssicherheit mit der Forderung nach geringster Terminverzögerung in Einklang zu bringen waren. Von der Gestaltung des Kraftwerkes hängt es bei solchen Lieferverzögerungen ab, ob durch Umstellung des Terminplanes der Endtermin trotz dieser Verzögerungen gehalten werden kann. Im Falle Kahl ist dies im wesentlichen gelungen.

Auch der Umstand, daß auf dem Sektor der Kernenergie noch keine eindeutigen Vorschriften über die Auslegung von Anlageteilen bestehen, brachte manche Schwierigkeiten mit sich. So ist es zweckmäßig, mit den Genehmigungsbehörden schon von Anfang an den Umfang der Prüfungen und die Art der erforderlichen Zeugnisse auch von Teilen festzulegen, die nach dem Gesetz zwar nicht prüfpflichtig sind, auf Grund der besonders gelagerten Fälle beim Kernkraftwerk aber vernünftigerweise einer Prüfung unterzogen werden müssen. Dies ist schon deshalb notwendig, um die Hersteller rechtzeitig auf die Beschaffung der Zeugnisse hinweisen zu können, die sich häufig später durch zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen nicht mehr erstellen lassen.

## 4. Inbetriebsetzung

Trotz der erwähnten und zum Teil auch unerwarteten Verzögerung in der Lieferung großer Anlageteile konnten die Inbetriebsetzungsarbeiten des Versuchsatomkraftwerkes Kahl am 1. November 1960 beginnen. Nachdem die Neutronenquelle eingesetzt und eine nochmalige endgültige Überprüfung des Sicherheits- und des Neutronenmeßsystems stattgefunden hatte, begann am 11. November 1960 das Laden. Der Reaktor wurde am 13. November 1960 zum erstenmal kritisch.

DK 621.039.577.002(43) Kahl

# DIE NULLEISTUNGSPRÜFUNGEN DES REAKTORKERNS

VON DR. R. MISENTA, FRANKFURT/MAIN\*)  
UND DIPL.-ING. H. SCHMALE, ESSEN\*\*)

Die Inbetriebnahme eines Atomkraftwerkes kann in drei Stufen eingeteilt werden, die durch die Art der Prüfungen unterschieden sind. Bei den *Vorprüfungen* werden die Anlagenteile, Anlagen und Kreisläufe, Steuer-, Meß- und Schutzrichtungen durchgeprüft, ob sie entsprechend den Auslegungsbedingungen arbeiten und ob das geplante Zusammenspiel aller Anlagenteile erreicht werden kann. Diese Prüfungen werden soweit wie möglich unter Betriebsbedingungen oder durch Simulieren von Betriebsbedingungen durchgeführt.

Die *Nulleistungsprüfungen* beginnen mit dem Einsetzen der Neutronenquelle in das Reaktordruckgefäß. Dies erfolgt erst, nachdem alle Anlagenteile und Kreisläufe, die für das Laden der Brennstoffelemente und die Nulleistungsprüfungen benötigt werden, durchgeprüft sind und die vorbetrieblichen Prüfungen ergeben haben, daß diese Anlagenteile betriebssicher arbeiten.

\*) AEG, Abtlg. Kernergieanlagen.

\*\*) Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG.

Die Nulleistungsprüfungen werden bei offenem Reaktordruckgefäß durchgeführt. Die Reaktorleistung während dieser Prüfungen wird so niedrig wie möglich, meistens unter einigen kW gehalten, um bei Bedarf noch ohne Abschirmung an den Einbauten des Reaktordruckgefäßes oder an den Brennstoffelementen arbeiten zu können. Die Nulleistungsprüfungen umfassen das Laden der Brennstoffelemente bis zum vollen Betriebskern und das Nachprüfen und Bestimmen von Werten, die für die Sicherheit und den Betrieb des Reaktors wichtig sind. Je nach Reaktortyp werden die verschiedenen Koeffizienten der Reaktivität, die Abschaltreaktivität, die Steuerstabsausfahrtsfolge und kritische Anordnungen der Steuerstäbe experimentell bestimmt.

Die *Leistungsprüfungen* beginnen mit dem Aufsetzen des Druckgefäßdeckels auf das Reaktordruckgefäß und werden in drei Stufen durchgeführt:

Erstes nukleares Aufheizen des Primärkreislaufs auf Betriebsdruck und -temperatur, Leistungserzeugung bis zur halben Auslegungsleistung und Leistungserzeugung bis zur vollen Auslegungsleistung.

Während der Leistungsprüfungen wird das sichere Arbeiten des Reaktors bei den verschiedensten Betriebszuständen und das richtige Zusammenspiel aller Anlagenteile des Kraftwerkes unter Teil- und Vollastbedingungen, bei Laständerungen und -abwürfen nachgewiesen.

### ZIEL UND ZWECK DER NULLEISTUNGSPRÜFUNGEN

Gegenüber einem Forschungsreaktor waren den Nulleistungsprüfungen bei dem Versuchsatomkraftwerk Kahl hinsichtlich des Umfangs, der Dauer und des Aufwandes und damit auch hinsichtlich der Ergebnisse engere Grenzen gesetzt. Diese Grenzen ergaben sich zwangsläufig durch den Zweck und die relativ hohen Bauzinsen des Atomkraftwerkes sowie durch die ausrüstungsmäßig und personell geringen Möglichkeiten eines Kraftwerksbetriebes im Vergleich zu einem Forschungsinstitut. Da Reaktoren vom Siedewassertyp schon weitgehend durchentwickelt sind, beschränkten sich die Prüfungen auf den Nachweis der sicheren Auslegung und auf die Bestimmung von Daten des Reaktorkernes, die für den Betrieb wichtig sind. Die Art der Nulleistungsprüfungen war durch den verwendeten Reaktortyp und durch die physikalische Auslegung des Reaktorkernes bestimmt.

Insgesamt wurden folgende Messungen und Prüfungen durchgeführt:

1. Laden des Reaktors bis zum minimalen kritischen Reaktorkern.
2. Prüfen des Orientierungseinflusses der borierten Stahlelementkästen auf die Reaktivität.
3. Prüfen des minimalen kritischen Reaktorkernes:
  - a) Reaktivitätseichung von Steuerstäben,
  - b) Messen des Blasenkoeffizienten der Reaktivität,
  - c) Messen des Temperaturkoeffizienten der Reaktivität.
4. Laden bis zum vollen Betriebskern.
5. Bestimmen der Abschaltreaktivität für folgende Zwischenladungszustände:
  - a) Reaktorkern mit 36 Elementen in 6 · 6-Anordnung
  - b) " " 48 " " 6 · 8- "
  - c) " " 60 " " 6 · 10- "
  - d) " " 72 " " "
  - e) " " 84 " " "
6. Messen des Temperaturkoeffizienten für:
  - a) Kernladung mit 36 Elementen und
  - b) " " 60 "
7. Prüfen der vollen Betriebsladung:
  - a) Bestimmen der Abschaltreaktivität,
  - b) Bestimmen von Ausfahrfolgen und kritischen Anordnungen der Steuerstäbe,
  - c) Reaktivitätseichung von Steuerstäben,
  - d) Messen des Blasenkoeffizienten,
  - e) Messen des Temperaturkoeffizienten der Reaktivität.

### DURCHFÜHRUNG DER NULLEISTUNGSPRÜFUNGEN

Die Nulleistungsprüfungen wurden in drei Schichten von dem Betriebspersonal des Versuchsatomkraftwerkes Kahl durchgeführt. Jeder Schichtangehörige übernahm die Aufgaben, die er auch beim normalen Betrieb des Versuchsatomkraftwerkes Kahl zu erfüllen hat. Der Schichtführer hatte die Leitung aller Arbeiten, die auf der Schicht ausgeführt wurden. Der Reaktorfahrer führte alle Schaltvorgänge nach Anweisung des Schichtführers aus. Zur Unterstützung des Schichtführers war auf jeder Schicht ein Reaktor-Betriebsingenieur der *International General Electric S.A.* mit beratender Funktion tätig. Ein Reaktorphysiker übernahm auf jeder Schicht das Aufnehmen der Meßwerte und die sofortige Auswertung und Beurteilung der Ergebnisse.

Alle Messungen und Prüfungen wurden nach vorher aus-

gearbeiteten Prüfanweisungen ausgeführt. So lag die Reihenfolge des Zuladens der Brennstoffelemente in einem genauen Ladeplan fest. Dieser Ladeplan enthielt die Nummer des Brennstoffelementes, die Anreicherung, das Material des Elementkastens, den Gitterplatz und die Reihenfolge, in der es einzusetzen war. Außerdem waren die Gitterplätze und die Umsetzfolgen der Neutronenzählrohre und Neutronen-Ionisationskammern angegeben. In den Prüfanweisungen für das Laden war weiter angegeben, welche Steuerstäbe zu spannen, bei welchen Steuerstabstellungen die Anzeige der Neutronenmeßkanäle abzulesen und welche Prüfungen mit dem Steuerstab der Ladezelle durchzuführen waren. Ähnliche Ausarbeitungen lagen auch für die anderen Prüfungen, wie z. B. für das Messen des Temperaturkoeffizienten und des Blasenkoeffizienten, die Bestimmung der Abschaltreaktivität und für die Steuerstabeichungen vor.

### AUFBAU DES REAKTORKERNS

Der Reaktorkern, der aus 88 Brennstoffelementen aufzubauen war, hat einen äquivalenten Durchmesser von 157 cm und eine aktive Höhe von ebenfalls 157 cm. Zur Steuerung des Reaktors sind 21 kreuzförmige Steuerstäbe aus rostfreiem Borstahl in Form eines Gitters von 5 · 5 Steuerstäben eingebaut. Die vier Ecken des Steuerstabgitters sind unbesetzt. Jedem Steuerstab sind vier Brennstoffelemente zugeordnet. An den vier Ecken des Steuerstabgitters sitzt je ein weiteres Brennstoffelement. Von den 88 Brennstoffelementen ist die eine Hälfte auf 2,3% Uran-235 und die andere Hälfte auf 2,6% Uran-235 angereichert. Die Brennstoffelemente bestehen aus Stab-bündeln mit je 36 Brennstoffstäben, die in einem quadratischen Gitter mit 19,6 mm Stabzentrumsabstand angeordnet sind.

Die Brennstoffstäbe sind aus je zwei Teilstäben mit einer Zwischenplatte zur Sicherstellung der Stababstände zusammengeschaubt. Jeder Teilstab besteht aus 48 UO<sub>2</sub>-Preßlingen in einem Hüllrohr aus Zircaloy-2 von 14,4 mm Außendurchmesser und 0,84 mm Wandstärke. Die UO<sub>2</sub>-Preßlinge haben einen Durchmesser von 12,6 mm und eine Höhe von 15,9 mm.

Der Brennstoff ist gesintertes UO<sub>2</sub> in einer Dichte von etwa 95% des theoretisch erreichbaren Wertes. Das Gesamtgewicht eines Brennstoffelementes beträgt 108 kg, die Gesamtlänge von Führungsspitze bis einschließlich Handhabungsbügel 2 m. Über die Stabbündel sind austauschbare Elementkästen geschoben, die die erforderliche Verdrehungssteifigkeit schaffen und den Steuerstäben als Führung dienen. Diese Elementkästen sind entweder aus Zircaloy-2 oder aus rostfreiem Stahl. In den rostfreien Stahlkästen haben zwei aneinanderstoßende Seiten einen Borzusatz von 0,18%.

Die Steuerstäbe bestehen aus rostfreiem Borstahl mit kreuzförmigem Querschnitt, 225 mm Kreuzbreite, 9,5 mm Stärke und einer aktiven Länge von 1455 mm. Der Gesamthub beträgt 1530 mm, die normale Einfahrtgeschwindigkeit 25 mm/sec.

Durch die Verwendung von zwei verschiedenen Anreicherungen und Elementkästen aus Zircaloy und rostfreiem Stahl ergeben sich vier verschiedene Kombinationsmöglichkeiten von Brennstoffelement und Elementkasten. Der erste Reaktorkern hat folgenden Aufbau: 16 Brennstoffelemente mit 2,3% Uran-235 und rostfreien Stahlkästen sind in einer 4 · 4-Anordnung in die Mitte des Reaktorkernes eingesetzt. Um diese quadratische Anordnung sind in zwei Reihen 44 Brennstoffelemente mit 2,6% Uran-235 und rostfreiem Stahl gruppiert. Die restlichen 28 Brennstoffelemente mit 2,3% Uran-235 und Zircaloykästen bilden den äußeren Ring des Reaktorkernes. Um die Reaktivitätswirkung der Steuerstäbe nicht zu verkleinern, sind die Elemente mit Stahlkästen so eingesetzt, daß die borierten Seiten von den Steuerstäben wegewardt sind.

## DAS LADEN

Vor Beginn des Ladens wurde eine Antimon-Beryllium-Neutronenquelle in das Reaktordruckgefäß eingebracht. Es handelte sich um ein Berylliumrohr von 29 mm Wandstärke und 65 cm Länge, welches in ein Blindelement eingebaut war. Durch Einführen eines aktivierten Antimonstabes in das Berylliumrohr entstand die Neutronenquelle. Diesem Zweck diente ein Antimonstab von 25 mm Durchmesser und 61 cm Länge mit rostfreier Stahlhülle, welcher in einem Reaktor des Reaktorzentrums *Saclay*, Frankreich, durch Neutronenbestrahlung aktiviert worden war. Die für die Nulleistungsprüfungen verwendete Neutronenquelle hatte eine Quellstärke von etwa  $8 \cdot 10^7$  Neutronen/sec.

Um während der Nulleistungsprüfungen den Neutronenfluß sicher und mit ausreichender Genauigkeit messen zu können, wurden für die Dauer dieser Prüfungen fünf kompensierte Neutronen-Ionisationskammern und zwei Borschichtzählrohre in das Reaktordruckgefäß eingesetzt. Die Anzeigen dieser Meßkammern wurden auf die Warte geführt und an den Reaktorschutz angeschlossen. Der Reaktorschutz war während der Nulleistungsprüfungen so verschärft, daß schon eine von drei Ionisationskammern bei Anzeige eines zu hohen Neutronenflusses und eine von zwei Ionisationskammern bei zu schneller Periode einen Schnellschluß auslöste. Nach dem Einsetzen der Neutronenquelle und der Neutronenmeßkanäle wurden der Reaktorschutz und die Neutronenmeßkanäle nochmals auf Betriebsbereitschaft geprüft.

Um die Steuerstäbe verfahren zu können, mußten in die Ladezellen des Reaktorkerns diagonal jeweils zwei Blindelemente eingesetzt werden, welche die erforderliche Führung der Steuerstäbe bis zum Einsetzen der Brennstoffelemente gewährleisteten. Vor dem Einsetzen von Brennstoffelementen in eine Zelle wurde jeweils der Steuerstab der zu ladenden Zelle in den Betriebsarten Ausfahren, Einfahren und Einschließen geprüft. Zwei benachbarte Steuerstäbe waren während des Ladens teilweise oder vollständig als angespannte Steuerstäbe ausgefahren. Diese gespannten Steuerstäbe dienten während des Einsetzens von Elementen als Reaktivitätsreserve für eine mögliche Schnellabschaltung. Das Einsetzen der Brennstoffelemente in die Reaktorgitterplatte erfolgte nach dem vorher ausgearbeiteten Ladeplan.

Der Einsatz drei verschiedener Brennstoffelementarten — 2,3% Uran-235 mit Stahlelementkästen, 2,6% Uran-235 mit Stahlelementkästen und 2,3% Uran-235 mit Zircaloykästen — erforderte eine sorgfältige Vorbereitung und Überwachung, welche den der Auslegung zugrunde liegenden vorgeschriebenen Kernaufbau sicherstellte. Zudem war bei den Brennstoffelementen mit Stahlelementkästen auf die Orientierung der borierten Seiten zu achten. Die Übereinstimmung des eingesetzten Elementes mit dem Ladeplan und die richtige Orientierung der borierten Seiten wurde jeweils von zwei Personen unabhängig voneinander überprüft.

Nach jedem Einbringen von zwei Brennstoffelementen wurde der Neutronenfluß durch Aufnehmen der sieben Neutronen-Meßkanalanzeigen bei den folgenden Steuerstabstellungen gemessen:

- Alle Steuerstäbe vollständig eingefahren,
- Steuerstäbe mit Ausnahme des Steuerstabes der gerade geladenen Zelle vollständig ausgefahren,
- alle Steuerstäbe vollständig ausgefahren.

Durch Vergleich der Anzeigen für die Steuerstabstellungen b) und c) konnte bei den Steuerstäben aller geladenen Zellen nachgewiesen werden, daß sie Bor enthalten.

Nach Messung des Neutronenflusses bei den verschiedenen Steuerstabstellungen wurden jeweils sofort die reziproken Werte der Anzeigen bei vollständig ausgefahrenen Steuerstäben gebildet und als Funktion der ein-

gesetzten Brennstoffelemente aufgetragen. Aus dieser Auftragung wurde die Zahl der Brennstoffelemente extrapoliert, bei der der Kern mit vollständig ausgefahrenen Steuerstäben voraussichtlich kritisch wird.

Nach dem Laden von 18 Brennstoffelementen ergab die Extrapolation der reziproken Anzeigen, daß der Reaktor mit 19 Elementen kritisch werden könnte. Daraufhin wurde dann bis zum Erreichen des kritischen Zustandes zwischen zwei Messungen immer nur ein Element zugeladen. Der Reaktor wurde mit 29 Elementen, die in einer 6·5-Anordnung eingesetzt waren, am 13. November 1960, 22.04 Uhr — 42 Stunden nach dem Einsetzen des ersten Brennstoffelementes —, kritisch. Der Rechnung zufolge hätte der Kern mit 26 Elementen kritisch werden sollen. Von den 29 Brennstoffelementen waren 16 Elemente auf 2,3% Uran-235 und 13 auf 2,6% Uran-235 angereichert. Alle Elemente der minimalen kritischen Anordnung hatten Elementkästen aus Stahl.

Im Anschluß an die Prüfungen mit der minimalen kritischen Anordnung wurde der volle *Betriebskern* durch Einsetzen weiterer Brennstoffelemente nach dem beschriebenen Ladeverfahren vervollständigt. Die Neutronenmultiplikation wurde dabei nur noch für die folgenden Stellungen der Steuerstäbe gemessen:

- alle Steuerstäbe vollständig eingefahren,
- der Steuerstab der Zelle, die gerade geladen wurde, und benachbarte Steuerstäbe teilweise oder vollständig ausgefahren.

## BESTIMMEN DER ABSCHALTREAKTIVITÄT

Während des Ladens der Brennstoffelemente bis zum vollen Betriebskern wurde bei 36 Elementen in einer 6·6-Anordnung, bei 48 Elementen in einer 6·8-Anordnung, bei 60 Elementen in einer 6·10-Anordnung, bei 72 und bei 84 Elementen die Abschaltreaktivität bestimmt. Die Steuerstäbe der bei diesen Anordnungen schon geladenen Zellen wurden dazu jeweils alle auf gleicher Höhe schrittweise so weit ausgefahren, bis der Reaktor kritisch wurde. Die Höhe, auf die die Steuerstäbe zum Erreichen des kritischen Zustandes ausgefahren werden mußten, war ein Maß für die Abschaltreaktivität. Diese gemessene Höhe wurde mit einem berechneten Wert verglichen.

## PRÜFUNGEN MIT DEM MINIMALEN KRITISCHEN REAKTORKERN

Die 29 Elemente des minimalen kritischen Reaktorkerns waren in Form eines Quaders von 6·5 Elementen, dem ein Ekelement fehlt, angeordnet. Nach dem Aufbau des minimalen kritischen Reaktorkerns wurde ein weiteres Ekelement herausgenommen, um in einem unterkritischen Reaktorkern von 28 Elementen den Orientierungseinfluß der borierten Seiten der Stahlelementkästen auf die Reaktivität zu überprüfen. Bei dem unterkritischen Reaktorkern wurde die Anzeige der Neutronenmeßkanäle aufgenommen, wenn die Steuerstäbe der geladenen Zellen vollständig ausgefahren und alle Elemente richtig orientiert, d. h. die borierten Seiten der Stahlelementkästen von den Steuerstäben weggewandt waren. Durch Vergleiche dieser Anzeige mit denjenigen für vollständig ausgefahrene Steuerstäbe nach Umorientierung eines Elementes derart, daß die borierten Seiten des Stahlelementkastens dem Steuerstab zugewandt waren, konnte als Stichprobe an 17 Elementen nachgewiesen werden, daß ihre Stahlelementkästen in den angegebenen Seiten Bor enthielten.

Zur Messung des Blasenkoeffizienten wurde zur minimalen kritischen Anordnung ein weiteres Element eingesetzt. In diesen Kern mit 30 Elementen in 6·5-Anordnung wurde ein für diese Messung vorbereitetes Brennstoffelement mit 2,3% oder 2,6% Uran-235 eingesetzt. Beide Elemente hatten Elementkästen aus rostfreiem Stahl. In jedes der beiden Brennstoffelemente waren je 25 Plastikschläuche mit 9,0 mm äußerem Durchmesser und je

16 Plastikschläuche mit 5,0 mm äußerem Durchmesser eingesetzt. Nach dem Einsetzen eines dieser Blasenbrennstoffelemente in den Reaktorkern wurde der Reaktor leicht überkritisch gemacht und die Periode durch Aufnahmen des Neutronenflusses als Funktion der Zeit gemessen. Nachdem der Fluß eine genügend lange Zeit aufgenommen wurde, wurde das Wasser über die ganze Länge der Brennstoffzone, 157 cm, aus den Plastikschläuchen von der Warte aus durch Druckluft herausgedrückt und die Periode gemessen, die sich mit dem luftgefüllten Brennstoffelement einstellte. Aus den beiden gemessenen Perioden wurde die Reaktivitätsdifferenz zwischen den Reaktorkernen mit wassergefülltem und luftgefülltem Blasenbrennstoffelement bestimmt. Für die Messung des Blasenkoeffizienten wurde entsprechend dem Gitterplatz ein Element mit 2,3% Uran-235 oder mit 2,6% Uran-235 und mit Stahlelementkästen verwendet. Der Blasenkoeffizient wurde an fünf verschiedenen Gitterplätzen gemessen. Die Reaktivität des Reaktorkernes mit luftgefülltem Blasenelement war an allen gemessenen Stellen geringer als die Reaktivität mit wassergefülltem Blasenelement.

Für die Messung des Temperaturkoeffizienten der Reaktivität wurde das Wasser im Reaktordruckgefäß durch Fremddampf vom Kraftwerk Dettingen mit einer Geschwindigkeit von 5° C/h aufgeheizt. Der Temperaturanstieg des Wassers wurde an vier Stellen gemessen und als Funktion der Zeit aufgetragen. Während der Aufheizung des Wassers im Reaktordruckgefäß wurde in Abständen von etwa 30 Minuten die Reaktivität des Reaktorkernes bei der gleichen Steuerstabanordnung gemessen. Um eine genau reproduzierbare Steuerstabanordnung zu erhalten, wurde der Reaktor zwischen zwei Messungen durch vollständiges Einfahren eines bestimmten Steuerstabes unterkritisch gemacht. Für die Messung wurde dieser Steuerstab vollständig ausgefahren und die sich jeweils einstellende positive Periode als Maß für die Reaktivität des Reaktors gemessen. Der Temperaturkoeffizient des Reaktorkernes mit 29 Elementen war bis zu 75° C positiv. Die Messungen wurden nicht auf Temperaturen über 75° C ausgedehnt. Mit zunehmender Temperatur nahm der Wert des Temperaturkoeffizienten ab. Da der Temperaturkoeffizient in der minimalen kritischen Anordnung positiv blieb, wurde die Messung für Kernladungen mit 36 und mit 60 Elementen wiederholt. Auch bei diesen beiden Kernladungen blieb der Temperaturkoeffizient bis zu der gemessenen Temperatur von 75° C positiv. Erst mit der vollen Betriebsladung konnte der Umschlag des Temperaturkoeffizienten vom Positiven ins Negative zwischen 60 und 70° C festgestellt werden.

#### PRÜFUNGEN MIT DEM VOLLEN BETRIEBSKERN

Mit dem vollen Betriebskern von 88 Brennstoffelementen wurde nach dem gleichen Verfahren, das während des Ladens angewandt wurde, die Abschaltreaktivität bestimmt. Der kritische Zustand wurde dabei durch das Ausfahren aller 21 Stäbe um 29 cm erreicht. Dieser kritischen Ausfahrstrecke entspricht eine Abschaltreaktivität von 7,8%  $\Delta k/k$ . Die experimentell bestimmte Abschaltreaktivität war damit um 3,8%  $\Delta k/k$  größer als die berechnete Abschaltreaktivität von 4%  $\Delta k/k$ .

Bei der Größe des Betriebskerns, der die 3,5fache Zahl von Brennstoffelementen der minimalen kritischen Anordnung enthält, und bei der großen Zahl von Steuerstäben war die Bestimmung einer günstigen Steuerstabausfahrstrecke und kritischen Steuerstabanordnung für das Anfahren des Reaktors und den Leistungsbetrieb besonders wichtig. Von den möglichen kritischen Steuerstabanordnungen seien als Beispiel zwei besonders unterschiedliche herausgegriffen: Der kritische Zustand des Reaktorkernes konnte durch Ausfahren aller 21 Steuerstäbe um 29 cm oder durch Ausfahren von vier benachbarten Steuerstäben in der Zentrumszone des Reaktorkernes um die Hälfte ihrer Ausfahrstrecke (etwa 75 cm) erreicht werden. Bei der ersten Anordnung erhält man eine steuerstabfreie Reaktorzone in Form eines flachen Zylinders von 29 cm Höhe und etwa 157 cm Durchmesser, an die sich der zylinderförmige Teil des Reaktorkernes mit eingefahrenen Steuerstäben an-

schließt. Bei der zweiten Anordnung besteht die steuerstabfreie Reaktorzone aus einem Zylinder von etwa 65 cm Durchmesser und 75 cm Höhe, welche von Zonen mit eingefahrenen Steuerstäben umgeben ist. Diese weitgehend verschiedenen kritischen Steuerstabanordnungen geben ebenso verschiedene räumliche Flußverteilungen im Reaktorkern. Das Ansprechen der Neutronenmeßkanäle während des Ausfahrens der Steuerstäbe ist bei den beiden Ausfahrfolgen ebenso verschieden wie die räumliche Flußverteilung.

Aus den möglichen Steuerstabausfahrfolgen zum Erreichen des kritischen Zustandes mußte experimentell eine günstige Ausfahrfolge für das Anfahren des Reaktors bestimmt werden. Die Auswahl der günstigen Ausfahrfolge erfolgte unter den Gesichtspunkten, daß schon beim Ausfahren der ersten Steuerstäbe die Neutronenmeßkanäle das Ansteigen des Neutronenflusses anzeigen und durch Ausfahren eines einzelnen Steuerstabes dem Reaktorkern keine zu große Reaktivität zugeführt wird. Bei der Bestimmung kritischer Steuerstabanordnungen war auch der Nachweis zu erbringen, „daß der Reaktorkern durch Einfahren aller Steuerstäbe bis auf einen beliebigen unterkritisch gemacht und gehalten werden kann<sup>1)</sup>“.

Bei dem Versuch, den Reaktor mit der kleinstmöglichen Zahl von Steuerstäben kritisch zu machen, ergab sich, daß drei benachbarte Steuerstäbe vollständig und ein vierter benachbarter Steuerstab etwa ein Viertel seiner Fahrstrecke ausgefahren werden mußten. Dadurch war die Bedingung, daß der Reaktorkern bei Ausfahren eines Steuerstabes nicht kritisch werden sollte, übererfüllt.

Verschiedene Steuerstäbe wurden nach dem üblichen Periodenverfahren geeicht. Die positive Periode des leicht überkritischen Reaktors wurde gemessen. Nach Verfahren des zu eichenden Steuerstabes um eine bestimmte Strecke wurde die sich einstellende Periode wieder gemessen. Aus der Differenz der Reaktivitäten, die den beiden Perioden entsprechen, läßt sich der Reaktivitätswert des betreffenden Steuerstabes für die verfahrenen Strecke bestimmen. Ohne Verfahren eines weiteren Steuerstabes konnte durch das Aufnehmen von positiven und negativen Perioden ein Steuerstab über eine Ausfahrstrecke geeicht werden, die einer Reaktivität von etwa 0,2%  $\Delta k$  entspricht. Die Eichung von Steuerstäben wurde hauptsächlich durchgeführt, um für die Messung des Temperatur- und Blasenkoeffizienten einen geeichten Steuerstab zur Verfügung zu haben. Bei der kritischen Steuerstabanordnung, die sich aus der normalen Ausfahrfolge ergibt, wurden einige Steuerstäbe geeicht, um festzustellen, welche Reaktivität durch weiteres Ausfahren eines Steuerstabes dem kritischen Reaktorkern zugeführt werden kann.

Mit dem vollen Betriebskern wurden Messungen des Temperaturkoeffizienten der Reaktivität durchgeführt, um das Vorzeichen des Koeffizienten und bei einem positiven Koeffizienten die Temperatur zu bestimmen, bei der sich das Vorzeichen ändert. Nach dem gleichen Verfahren wie beim minimalen kritischen Kern wurde der Temperaturkoeffizient für den vollen Betriebskern bis zu einer Temperatur von 85° C mit zwei verschiedenen Steuerstabanordnungen bestimmt. Bei der einen Anordnung waren 20 Steuerstäbe zwischen 27 und 28 cm und ein Steuerstab vollständig ausgefahren. Der dabei gemessene Temperaturkoeffizient war bis zu 65° C positiv, im Temperaturbereich 65° bis 75° C um Null und oberhalb 75° C negativ. Der Temperaturkoeffizient betrug zwischen 55° und 65° C

<sup>1)</sup> Diese Bedingung wurde bei der Bestellung des Versuchsatomkraftwerkes Kahl vom RWE gestellt. Die US Atomic Energy Commission hat in der Betriebsgenehmigung für das Kraftwerk Dresden Nuclear Power Station, Joliet, Ill., die Bedingung präzisiert und etwas verschärft. Sie hat eine Richtlinie, die innerhalb der General Electric Co. für die Auslegung des Reaktorkernes aufgestellt wurde, übernommen. Die innerbetriebliche Richtlinie der GE für die rechnerische Auslegung des Reaktorkernes lautete: „Die Abschaltreaktivität des Reaktorkernes soll im unvergifteten und kalten Zustand mindestens 1%  $\Delta k$  betragen, wenn alle Steuerstäbe bis auf einen beliebigen vollständig eingefahren sind.“



etwa  $+ 1,2 \cdot 10^{-5} \Delta k / ^\circ C$  und zwischen  $75^\circ$  und  $85^\circ C$  —  $1,3 \cdot 10^{-5} \Delta k / ^\circ C$ . Bei der kritischen Steuerstabanordnung, welche sich aus der für den Normalbetrieb vorgesehenen Ausfahrfolge ergab, änderte der Temperaturkoeffizient bei  $63^\circ C$  ziemlich scharf sein Vorzeichen. Bei Temperaturen oberhalb  $63^\circ C$  war der Koeffizient negativ.

Der Blasenkoeffizient der Reaktivität wurde für acht verschiedene Gitterplätze des vollen Betriebskerns nach dem gleichen Verfahren gemessen, das schon bei dem minimalen kritischen Kern angewendet worden war. Durch die Verdrängung von 1% des Wasservolumens eines Brennstoffelementes nahm die Reaktivität des Reaktors je nach Lage des ausgewählten Brennstoffelementes im Reaktor um  $2,2$  bis  $4,8 \cdot 10^{-5} \Delta k$  ab. Aus den durchgeführten acht Messungen kann geschlossen werden, daß der Blasenkoeffizient für alle Brennstoffelemente der vollen Betriebsladung negativ ist.

Die beschriebenen Nulleistungsprüfungen wurden am 28. November 1960 abgeschlossen. Am 3. Dezember 1960 wurden die Neutronenmeßkammern aus dem Reaktor-druckgefäß entnommen und in ihre vorgesehenen Führungsrohre innerhalb der Reaktorabschirmung eingesetzt. Durch die größere Entfernung der Neutronenmeßkammern vom Reaktorkern und die dazwischen liegenden Materialien, wie Druckgefäßwandung, thermische Abschirmung

und Wasser, ist für das normale Anfahren des Reaktors eine stärkere Neutronenquelle notwendig.

Der Antimonstab, der zusammen mit dem Berylliumrohr während der Nulleistungsprüfung die Neutronenquelle bildete, wurde durch einen Antimonstab mit den gleichen geometrischen Abmessungen, aber mit einer Aktivität von ungefähr 2800 Curie ersetzt. Mit einem Neutronenstab dieser Aktivität hat die Neutronenquelle eine Stärke von etwa  $8 \cdot 10^9$  Neutronen pro Sekunde. Bei dieser Quellstärke liefern die Neutronenmeßkammern in den Führungsrohren der Reaktorabschirmung auch beim Anfahren des Reaktors eine Anzeige. Mit dem Einsetzen der stärkeren Neutronenquelle sind die Nulleistungsprüfungen abgeschlossen. Vor Beginn des Leistungsbetriebes werden die Neutronenmeßkammern in ihrer endgültigen Stellung durch nukleares Aufheizen des Reaktorwassers bei einer Leistung von etwa 100 kW und Messen des zeitlichen Temperaturverlaufs vorläufig geeicht. Die genaue Leistungseichung der Neutronenmeßkammern wird während der Leistungsprüfungen durchgeführt, welche nach Eintreffen der behördlichen Genehmigung zur Aufnahme des Leistungsbetriebes vorgenommen werden. Über diesen Teil des Prüfprogramms wird zu gegebener Zeit getrennt berichtet werden.

DK 621.039.566(43) Kahl

## DIE GENEHMIGUNGSVERFAHREN

VON DIPL.-ING. H. RÖSCH, ESSEN\*)  
UND DIPL.-ING. G. VOGEL, FRANKFURT\*\*)

Für die Errichtung und Inbetriebnahme des Versuchsatomkraftwerks Kahl mußten von der *Versuchsatomkraftwerk Kahl GmbH (VAK)* bzw. in Einzelfällen auf Grund der Liefervertragssituation von der für die Errichtung der Anlage verantwortlichen *Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft (AEG)*, Frankfurt, bei den zuständigen Bundes- oder Landesbehörden folgende Einzelgenehmigungen beantragt und abgewickelt werden:

1. Baugenehmigung;
2. wasserrechtliche Erlaubnis bzw. Bewilligung;
3. atomrechtliche Genehmigung der Kraftwerksanlage nach § 7 AtG (gleichbedeutend mit der Befreiung von den Bestimmungen des AHK-Gesetzes Nr. 22 vor Inkrafttreten des AtG);
4. gewerbeaufsichtliche Genehmigung;
5. Genehmigungen nach § 4 und 5 des Energiewirtschaftsgesetzes;
6. Genehmigung zur Einfuhr des Kernbrennstoffes (§ 3 AtG);
7. Genehmigungen zur Beförderung des Kernbrennstoffes (§ 4 AtG);
8. Genehmigung zur Aufbewahrung des Kernbrennstoffes (§ 6 AtG);
9. Genehmigungen zur Einfuhr, zur Beförderung von und zum Umgang mit verschiedenen Gamma- und Neutronenquellen (§§ 3, 4, 5 der Ersten Strahlenschutzverordnung).

### 1. BAUGENEHMIGUNG

Trotz der sehr frühzeitigen Inangriffnahme der Einzelgenehmigungsverfahren gemeinsam mit den beteiligten Landes- und Bundesbehörden führten die beiden „konventionellen“ Genehmigungsverfahren nach dem Bau- und Wasserrecht erst relativ spät zu den endgültigen Genehmigungsbescheiden. Die notwendige Koordination und Parallelführung der Einzelverfahren mit dem atomrecht-

lichen Verfahren sowie die Vielzahl neuer kerntechnischer Probleme, die der Bau des ersten Atomkraftwerkes allen beteiligten Behörden erstmalig aufgab, und letztlich auch die Art der Projektabwicklung, die im Interesse der Berücksichtigung letzter ausländischer Erfahrungen und des neuesten technischen Entwicklungsstandes manche wichtige Detailplanung länger als konventionell üblich offen ließ, waren verständliche und für die Anlagenausführung letzten Endes positiv zu bewertende Gründe für den späten Abschluß dieser Verfahren.

So konnte seitens des Landratsamtes Alzenau die endgültige „*Bauaufsichtliche Genehmigung*“ erst im November 1959 erteilt werden. Von den umfangreichen Auflagen der Baugenehmigung verdienen im Hinblick auf die besonderen Gegebenheiten eines Atomkraftwerkes einige aus der Abstimmung mit dem wasserrechtlichen Verfahren resultierende Auflagen besondere Erwähnung, welche bestimmen, daß die unterkellerten Teile sämtlicher Gebäude des nuklearen Kraftwerksteiles (Reaktorgebäude, Aufbereitung, Lager für feste und flüssige Abfälle) durch entsprechende Bauweise mit wasserdicht isolierten Wänden bzw. mit zuverlässigen Isolierungsverfahren neuesten Entwicklungsstandes wasserdicht herzustellen sind und alle Eingänge dieser Bauteile in einer bestimmten Höhe oberhalb der Kote des „1000jährigen Hochwassers“ des Mainflusses anzuordnen sind, um eine Beeinflussung des Grundwassers und ein Eindringen und damit eine eventuelle Kontaminierung des Mainhochwassers mit Sicherheit auszuschließen.

### 2. WASSERRECHTLICHES GENEHMIGUNGSVERFAHREN

Das wasserrechtliche Genehmigungsverfahren für die Entnahme von Kühl- und Zusatzwasser aus dem Grundwasser (Gustavsee) bzw. aus dem Main und für die Einleitung

\*) Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG (RWE).

\*\*) AEG Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft.

von Kühl- und Abwässern in das Grundwasser bzw. in den Main wurde nach dem neuen *Bundeswasserhaushaltsgesetz (WHG)* durchgeführt und im August 1960 mit der Erteilung getrennter „Wasserrechtlicher Erlaubnisse“ gemäß § 7 WHG für Grund- und Flußwasser abgeschlossen.

Hauptziel der Wasserrechtserlaubnis ist es naturgemäß, über entsprechende „Auflagen“ Grund- und Flußwasser allgemein und im Falle einer Reaktoranlage im besonderen vor Verseuchung durch radioaktive Abwässer mit Sicherheit zu schützen und damit den „Schutz der Allgemeinheit“ zu gewährleisten.

Zahlreiche Einzelbestimmungen regeln alle zu diesem Zweck für Auslegung und Betrieb aktiver und nicht aktiver Wasser- und Abwassersysteme der Anlage erforderlichen, schaltungs-, meßtechnischen und sonstigen Überwachungs- und Sicherheitsmaßnahmen.

Als typische Beispiele gehören hierzu u. a. die Auflagen über die Aufbereitung von aktiven Abwässern, über Abflußmenge und höchstzulässige spezifische Aktivität nach der Ersten Strahlenschutzverordnung, von diskontinuierlicher oder dosierter Ableitung aktiver Abwässer in den Vorfluter und deren laufende Registrierung, die Überwachung aller das Kraftwerk bzw. das Kraftwerksgelände verlassender Abwasserstränge auf eine eventuelle nicht betriebsgewöhnliche Aktivierung, weiter die regelmäßige Messung der Gesamt- $\beta$ -Aktivität von Flußwasser- und zahlreichen Grundwasserproben aus dem Kraftwerksgelände und der Umgebung und, obschon auf Grund der getroffenen baulichen Sondermaßnahmen nach Ansicht der Ersteller nicht erforderlich, der Betrieb eines Test- und Sicherungsbrunnens auf dem Kraftwerksgelände zur Herstellung eines Grundwasserabsenkungstrichters, der den gesamten nuklearen Kraftwerksteil erfaßt.

### 3. ATOMRECHTLICHES GENEHMIGUNGSVERFAHREN NACH § 7 ATG

Das Verfahren bei der Genehmigung von Anlagen nach § 7 des Atomgesetzes und seine Durchführung werden durch die „Atomanlagen-Verordnung“ vom 20. 5. 60 nach den für genehmigungspflichtige Anlagen gültigen Grundsätzen der §§ 17 bis 19 und 49 der Gewerbeordnung geregelt.

Nach § 1 (3) der Atomanlagen-Verordnung kann die Genehmigung nach § 7 ATG sowohl in Form einer umfassenden Gesamtgenehmigung für die Errichtung und den Betrieb einer Anlage oder aber abschnittsweise in Teilgenehmigungen, z. B. allein für die Errichtung oder für die Errichtung und das erste Anfahren, erteilt werden.

Zur Vermeidung der Gefahr möglicher Terminverzögerungen, die eine Aufteilung des ohnehin umfangreichen und komplizierten atomrechtlichen Genehmigungsverfahrens ohne Zweifel in sich birgt, und einer generellen Präjudizierung späterer Genehmigungen für Großatomkraftwerke, bei denen Inbetriebnahmeverzögerungen über die Verzinsung des hohen Anlagekapitals während der Bauzeit erheblich zu Buche schlagen und die Stromerzeugungskosten des Werkes über seine gesamte Lebensdauer beeinträchtigen würden, war der VAK als Antragstellerin und späteren Betreiberin der Anlage begreiflicherweise sehr daran gelegen, rechtzeitig vor Inbetriebnahme eine Gesamtgenehmigung für die Errichtung und den späteren Leistungsbetrieb der Anlage zu erhalten. Dabei braucht die Erteilung einer Gesamtgenehmigung keineswegs den behördlicherseits als Vorteil des Teilgenehmigungsverfahrens vertretenen Grundsatz auszuschließen, daß erst nach Erfüllung vorher festgelegter Auflagen und des Nachweises bestimmter Ergebnisse der Nulleistungsversuche auf die nächstfolgenden Stufen der Leistungsinbetriebnahme übergegangen werden darf.

Aus terminlichen Gründen sowohl als auch nach zum Teil verständlichen grundsätzlichen Vorstellungen der Genehmigungsbehörde über die Abwicklung des Genehmigungsverfahrens im besonderen Fall des ersten Atomkraftwerkes ist es bedauerlicherweise nicht hierzu gekommen.

Die Genehmigung wurde aufgeteilt, wobei der erste Teilgenehmigungsbescheid die Errichtung und den Betrieb der Anlage genehmigt, die Genehmigung zum Betrieb jedoch auf die erste etwa 4 bis 6 Wochen dauernde Phase A des Anfahrprogramms, das kritische Experiment und die Nulleistungsversuche bei offenem Reaktor beschränkt.

Als Nachweis der Erfüllung der nach § 7 ATG für die Genehmigung der Errichtung und des Betriebes einer Reaktoranlage erforderlichen Voraussetzungen über

1. die Zuverlässigkeit und die erforderliche Fachkunde der für Errichtung, Leitung und Beaufsichtigung des Betriebes der Anlage verantwortlichen Personen,
2. die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik getroffene Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb der Anlage,
3. die Vorsorge für die Erfüllung gesetzlicher Schadensersatzverpflichtungen,
4. den Schutz gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter, und
5. darüber, daß überwiegende öffentliche Interessen, insbesondere im Hinblick auf die Reinhaltung des Wassers, der Luft und des Bodens, der Wahl des Standortes der Anlage nicht entgegenstehen,

wurden der Genehmigungsbehörde und den weiteren am Verfahren zu beteiligenden Behörden im Verlaufe der Planungs- und Bauabwicklung die nach § 1 (2) der *Atomanlagen-Verordnung* zur Prüfung des Genehmigungsantrages erforderlichen Unterlagen in Form ausführlicher Beschreibungen und erläuternder Pläne und Zeichnungen zugestellt.

#### Sicherheitsbericht

Als wichtigste und zugleich umfassendste Unterlage wurde der Genehmigungsbehörde und über diese den übrigen Behörden, der *Reaktorsicherheitskommission* und dem *Technischen Überwachungsverein Bayern e. V. (TUV)*, München, letzterem als Gutachter der Genehmigungsbehörde über die Sicherheit der Anlage, Anfang 1959 zunächst ein vorläufiger Sicherheitsbericht und im April 1960 der von der AEG und VAK gemeinsam verfaßte endgültige Sicherheitsbericht vorgelegt.

Der 400 Seiten Text und einen Zeichnungsband mit über 100 Zeichnungen und Tabellen umfassende Sicherheitsbericht enthält neben einer ausführlichen Beschreibung der Anlage, des Anlagenbetriebes und der Betriebsorganisation in seinen Hauptkapiteln über „Störfälle“ und „Schutz- und Sicherheitsmaßnahmen“, insbesondere als Nachweis der Erfordernisse nach § 7, Abs. (2), Ziff. 2 und 4 des ATG, eine eingehende kritische Analyse und Darlegung aller mit der Anlage verbundenen Gefahren, einschließlich des „größten denkbaren Unfalles“ und der hiergegen getroffenen technischen und organisatorischen Sicherheitsmaßnahmen. Darüber hinaus enthält der Bericht Angaben über die Genehmigungsvoraussetzungen § 7 ATG, Abs. (2), Ziff. 1 und 5, über Zuverlässigkeit und Fachkunde der für Errichtung und Betrieb verantwortlichen Personen sowie über die besonderen Gegebenheiten des Standortes.

Zur lückenlosen Erfüllung aller Genehmigungsvoraussetzungen war es erforderlich, diese Unterlagen im Verlaufe des Verfahrens bezüglich spezifischer technischer Fragen und der Lösung besonderer organisatorischer Aufgaben des Anlagenbetriebes durch weitere Einzelberichte, Pläne und Gutachten zu vervollständigen. Hierzu gehörten als wesentliche Ergänzungen u. a.:

ein Memorandum über die personelle Organisation, zunächst für den dreimonatigen Anfahrbetrieb, und über die fachliche Qualifikation und Erfahrung auf dem Gebiete der Kernphysik und Kerntechnik sowie des Reaktorbetriebes, des Personals der VAK, des für Inbetriebnahme und Probetrieb der Anlage verantwortlichen Personals der AEG und der in beratender Funktion hieran beteiligten Spezialisten der *General Electric* (zu Abs. [2], Ziff. 1, § 7 ATG);

eine ausführliche Beschreibung des in zwei Abschnitte, nämlich in eine „Phase A: Kritisches Experiment und Nulleistungsver-

suche" und eine „Phase B: Leistungsversuchsbetrieb“, aufgeteilten *Anfahr- und Inbetriebnahmeprogramms*, in welchem das Inbetriebnahmeverfahren in allen Einzelschritten beschrieben und festgelegt wurde und das als bindende Auflage über die verfahrensmäßige Abwicklung der Inbetriebnahme des Kraftwerkes dann von der Genehmigungsbehörde zum Bestandteil des Genehmigungsbescheides erklärt wurde (zu Abs. [2], Ziff. 2, § 7 AtG);

ein *Alarmplan* über das Vorgehen bei eventuellen Reaktorunfällen, enthaltend eine detaillierte Aufzählung und Beschreibung aller Sofortmaßnahmen zum Schutze der Reaktor Umgebung und des Betriebspersonals, des Einsatzes und Zusammenwirkens aller in solchen Fällen zu benachrichtigenden und zu beteiligten Behörden, öffentlichen Dienste und Organisationen, wie z. B. Polizei, Feuerwehr, Technisches Hilfswerk, Gesundheitsdienst, Rotes Kreuz usw. (zu Abs. [2], Ziff. 2, § 7 AtG);

eine *interne Strahlenschutzordnung* für den Betrieb der VAK, ausgearbeitet in Anlehnung an die Erste Strahlenschutzverordnung (zu Abs. [2], Ziff. 2, § 7 AtG);

ein ausführlicher *Sicherheitsplan* mit Angabe aller zum Schutze der Anlage gegen äußere und innere Störungsmaßnahmen oder sonstige unbefugte Einwirkungen Dritter getroffenen technischen und organisatorischen Maßnahmen und Vorkehrungen (zu Abs. [2], Ziff. 4, § 7 AtG).

Bei der Prüfung der Genehmigungsunterlagen und -voraussetzungen und folglich bei der Genehmigungserteilung konnte sich die Genehmigungsbehörde darüber hinaus auf verschiedene umfangreiche und wertvolle Sachverständigen-Gutachten und -Stellungnahmen abstützen.

#### *TUV-Gutachten*

Auf Wunsch des *Bayerischen Staatsministeriums des Innern*, als zunächst, bis Mitte 1960, zuständiger Genehmigungsbehörde, war der *TUV Bayern* schon zu Beginn des Verfahrens (Februar 1959) im Namen der Antragsteller vom *RWE* in Anlehnung an die konventionelle Baupraxis mit der Durchführung der Werkstoffabnahme, der Bauprüfung und Bauüberwachung wichtiger Systeme und Anlageteile des Versuchsatomkraftwerkes und zusätzlich mit der Erstellung eines eigenen Sicherheitsgutachtens über die Anlage auf der Grundlage einer Überprüfung des zur Erlangung der Betriebsgenehmigung der Genehmigungsbehörde vorzulegenden Sicherheitsberichtes beauftragt worden.

Nach Übergang der Zuständigkeit für den Vollzug des AtG in Bayern am 15. 6. 60 auf das *Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft und Verkehr (BSiMWV)* wurde dieser Auftrag auf dessen ausdrücklichen Wunsch annulliert und der *TUV* nunmehr als amtlicher Sachverständiger der Genehmigungsbehörde, selbstverständlich weiterhin zu Lasten der VAK, mit der Erstellung eines technisch-physikalischen Sicherheitsgutachtens für das Versuchsatomkraftwerk Kahl beauftragt.

In Anpassung an die von der Genehmigungsbehörde geplante Abwicklung des Genehmigungsverfahrens in Teilgenehmigungen lieferte der *TUV Bayern* mit seinem „Gutachten über die Sicherheit des Versuchsatomkraftwerkes Kahl beim ersten kritischen Experiment und beim Nulleistungsbetrieb für das atomrechtliche Genehmigungsverfahren“ im September 1960 für den ersten Teilgenehmigungsbescheid zunächst ein Vorgutachten, das in seiner zusammenfassenden Beurteilung feststellt, daß bei Erfüllung gewisser technischer und organisatorischer Voraussetzungen bei Auslegung bzw. Betrieb der Anlage und der von ihm in einem umfangreichen Katalog vorgeschlagenen Funktions- und Abnahmebedingungen und betrieblicher Auflagen, die sich fast restlos mit den vom Ersteller der Anlage vorgesehenen Maßnahmen decken, die Sicherheit der Anlage für die erste Inbetriebnahmephase A gewährleistet und der erforderliche Schutz gegen Störungsmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter gegeben ist.

Dieses *TUV-Gutachten*, das Bestandteil des ersten Teilgenehmigungsbescheides wurde, konnte erst nach Abschluß und Auswertung der Ergebnisse der in der Zeit vom 13. 11. bis 12. 12. 60 nach Programm erfolgreich durchgeführten Nulleistungsversuche Anfang Januar 1961 durch ein Zusatzgutachten für den Leistungsbetrieb, welches zugleich die Grundlage für die zweite Teilgenehmigung abgab, ergänzt werden.

Abgesehen von der anerkannt wertvollen persönlichen und fachlichen Qualität, mit welcher die *TUV-Sachverständigen* ihre umfangreichen und vielseitigen Prüf- und Gutachteraufgaben besonders auf dem neuen atomtechnischen Sektor in sehr gründlicher und intensiver Arbeit erledigt haben, mußte es als nachteilig empfunden werden, daß für Art und Umfang der *TUV-Überwachung* nicht, wie für konventionelle Anlagen, von allen beteiligten Stellen anerkannte Richtlinien vorliegen, sondern bei den ersten Atomanlagen Festlegung und Erweiterung des Prüfumfanges unter dem Vorwand der Reaktorsicherheit und der Sicherheitsgutachterfunktion oft der einseitigen Entscheidung dieser Prüforganisation überlassen blieb. Dies mußte sich um so schwerer und belastender für den Antragsteller auswirken, soweit und solange die Genehmigungsbehörden selbst nicht in allen Fällen über ein unabhängiges fachliches Urteilsvermögen verfügten. Im Interesse einer Förderung der atomtechnischen Entwicklung wäre es sehr wünschenswert, daß geeignete Fachausschüsse dieses Problem unverzüglich aufgreifen und, an die konventionelle Abnahmepraxis anknüpfend, sinnvolle und zugleich zumutbare Grenzen für den Prüfumfang bei Reaktoranlagen zwischen allen Beteiligten abstimmen.

Als eine wesentliche Begründung dieser Notwendigkeit sei im Zusammenhang hiermit erwähnt, daß nach den Ende 1960, noch vor Abschluß der Inbetriebnahme, möglichen Schätzungen nach den beim Bau der Kahler Anlage gemachten Erfahrungen der gesamte Prüf- und Abnahmeaufwand für dieses Atomkraftwerk, umfassend die *TUV-Prüfungen* und -Gutachten, die Prüfung des Sicherheitsberichtes durch die *Reaktor-Sicherheitskommission*, meteorologische Messungen und Gutachten sowie die Auflagen zur Beweissicherung und Überwachung der Standortumgebung, größenordnungsmäßig etwa das Zehnfache des Prüf- und Abnahmeaufwandes für ein konventionelles Großkraftwerk zehnfacher Leistung betragen wird.

#### *Reaktor-Sicherheitskommission*

Als weiterer Gutachter hatte die *Reaktor-Sicherheitskommission (RSK)* beim *Bundesministerium für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft* die Aufgabe, den Sicherheitsbericht zu überprüfen und festzustellen, ob die gesetzlichen oder anderweitig vorgeschriebenen oder nach dem Stand von Wissenschaft und Technik für notwendig erachteten Sicherheitsbedingungen für die Anlage erfüllt sind. Auch die *RSK* konnte nach eingehender Bearbeitung und Prüfung aller Sicherheitsprobleme, die sie zum Teil gemeinsam mit dem *TUV* durchführte, in ihrem Prüfergebnis unter gleichzeitiger Empfehlung einer Reihe von Auflagen zur Aufnahme in den Genehmigungsbescheid die Kahler Anlage zunächst für die erste Inbetriebnahmephase A und später nach gleichen ergänzenden Verfahren und Vorgehen auch für die Phase B, den Leistungsbetrieb, als sicher zulassen.

#### *Standortprüfung*

Auch die Standortfrage, d. h. die Prüfung der Genehmigungsvoraussetzung, § 7 AtG, Abs. (2), Ziff. 5, konnte auf Grund der von der Genehmigungsbehörde speziell hierzu angestellten Ermittlungen und eingeholten gutachtlichen Stellungnahmen, die im übrigen z. T. für die Durchführung des wasserrechtlichen und des baurechtlichen Genehmigungsverfahrens erforderlich waren und zu denen u. a. das von der *Landesplanungsstelle* im *BSiMWV* durchgeführte „Raumordnungsverfahren“, gutachtliche Äußerungen der *Regierung von Unterfranken*, der *Bezirksplanungsstelle* dieser Regierung, der *Staatl. Bakteriologischen Untersuchungsanstalt*, des *Landesamtes für Wasserversorgung und Gewässerschutz*, des *Wasserwirtschaftsamtes Aschaffenburg*, des *Landratsamtes Alzenau*, der *Gesundheitsbehörde* sowie das von der Antragstellerin in Auftrag gegebene „amtliche Gutachten des *Deutschen Wetterdienstes* Offenbach über die klimatologischen Verhältnisse

am Standort" vom April 1959 gehörten, dahingehend positiv beschieden werden, daß überwiegende öffentliche Interessen, insbesondere im Hinblick auf die Reinhaltung des Wassers, der Luft und des Bodens, der Wahl des Standortes der Anlage nicht entgegenstehen.

Zur Schaffung einer Vergleichs- und Beweisgrundlage für den späteren Nachweis, ob der Atomkraftwerksbetrieb die Standortumgebung nachteilig beeinflußt, wurde der VAK schon zu Beginn des Genehmigungsverfahrens über eine „Beweissicherungs-Anordnung“ ein umfangreiches Untersuchungs- und Meßprogramm zur Feststellung der Grundradioaktivität der Standortumwelt vor Inbetriebnahme des Kraftwerkes zur Auflage gemacht. Nach dieser Beweissicherungsaufgabe werden, zum größten Teil bereits seit Ende 1958, in der näheren und weiteren Standortumgebung, und zwar auf bayerischem und auf benachbartem hessischem Gebiet, laufend die Grundaktivität (Gesamt- $\beta$ -Aktivität) des Grund- und Oberflächenwassers, der Wasserfauna, der Luft (kontinuierlich und diskontinuierlich), der Niederschläge, des Bodens, der Flora einschl. Mikroflora und der Fauna gemessen. Diese Messungen wurden bisher fast ausschließlich von neutralen Stellen, Universitätsinstituten, Staatlich-Chemischen Untersuchungsämtern, TÜV, ausgeführt.

#### Deckungsvorsorge

Die Erfüllung der Genehmigungsvoraussetzung § 7 AtG, Abs. (2), Ziff. 3 über die Deckungsvorsorge für gesetzliche Schadensersatzverpflichtungen wurde durch Vorlage einer mit der *Deutschen Kernreaktor-Versicherungsgemeinschaft (DKVG)* abgeschlossenen Haftpflichtversicherung bei der Genehmigungsbehörde nachgewiesen. Nach dieser Haftpflichtversicherung gewähren die in der DKVG zusammengeschlossenen Versicherer den beiden Versicherungsnehmern, der VAK und der nach dem Liefervertrag für die Anlage für deren Inbetriebnahme und Probetrieb verantwortlichen AEG, Versicherung gegen die gesetzliche Haftpflicht aus dem Betrieb des Versuchsatomkraftwerkes Kahl zu den *Allgemeinen Versicherungsbedingungen für die Haftpflicht (AHB)* und den *Sonderbedingungen der DKVG für die Haftpflichtversicherung von Forschungsreaktoren*, und zwar mit einer Versicherungssumme für Kernenergieschäden nach § 25 AtG von 7,5 Mio. DM. Der Versicherungsschutz wurde für die mit dem ersten Teilgenehmigungsbescheid zu genehmigenden Nulleistungsprüfungen des Reaktors als ausreichende Schadensdeckungsvorsorge im Sinne der Bestimmungen §§ 7, 13 u. 15 AtG vom *Bundesminister für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft* und von der Genehmigungsbehörde anerkannt. Die Versicherung schließt zugleich die der Inbetriebnahme des Reaktors vorausgehende Lagerung der unbestrahlten Brennstoffelemente und deren Überprüfung (Besichtigung) auf Transportschäden auf dem Kraftwerksgelände mit ein. Im zweiten Teilgenehmigungsbescheid für den Leistungsbetrieb des Kraftwerkes wurde die Deckungsvorsorge auf 9,6 Mio. DM erhöht, ein Satz, der zur Zeit des Versicherungsabschlusses nach § 13 AtG dem Höchstmaß des Versicherungsschutzes entsprach, der zu zumutbaren und zu dem wirtschaftlichen oder sonstigen Interesse an dem Betrieb der Anlage in angemessenem Verhältnis stehenden Aufwendungen auf dem Versicherungsmarkt erhältlich war.

#### Behördenbeteiligung

Gemäß § 7 AtG, Abs. (3) wurden im Genehmigungsverfahren für die Anlage beteiligt die *Bayerischen Staatsministerien des Innern, — für Arbeit und soziale Fürsorge und — für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten* mit den Behörden ihres Geschäftsbereiches, deren Zuständigkeitsbereich berührt wurde, und außerdem, wegen der Lage des Kraftwerksstandortes in unmittelbarer Nähe der Landesgrenze Bayern/Hessen, die *Hessischen Ministerien für Wirtschaft und Verkehr, — für Arbeit, Volkswohlfahrt*

*und Gesundheitswesen und — für Landwirtschaft und Forsten* mit den Behörden ihres Geschäftsbereiches, deren Zuständigkeit berührt wurde; außerdem an *Bundesbehörden das Bundesministerium für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft, die Wasser- und Schifffahrtsdirektion Würzburg* und die *Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz*.

In Übereinstimmung mit den Bestimmungen des § 2 der Atomanlagenverordnung und der Gewerbeordnung wurde das Bauvorhaben des Atomkraftwerkes von der Genehmigungsbehörde in ihrem amtlichen Veröffentlichungsblatt, in allen örtlichen Tageszeitungen, in denen der örtlich zuständige Landkreis Alzenau seine amtlichen Bekanntmachungen veröffentlicht, und zusätzlich durch Aushang in den dem Standort benachbarten bayerischen und hessischen Gemeinden bekanntgegeben und die Genehmigungsunterlagen bei der Genehmigungsbehörde und der VAK für die gesetzlich vorgeschriebene Frist zur Einsicht ausgelegt.

*Einwendungen* wurden von drei städtischen bzw. Kreis-Wasserwerken aus der Umgebung des Standortes mit der Begründung erhoben, daß der Betrieb des Atomkraftwerkes eine mögliche Gefährdung der öffentlichen Wasserversorgung darstelle. Sie konnten in dem von der Genehmigungsbehörde in Form einer „Verhandlungstagfahrt“ anberaumten Erörterungstermin mit dem sich auf Sachverständigen-Stellungnahmen und -Gutachten stützenden Hinweis, daß durch die getroffenen umfangreichen Sicherheitsvorkehrungen nach menschlichem Ermessen die Gefahr einer radioaktiven Verseuchung der Umwelt durch den Betrieb der Anlage des Versuchsatomkraftwerkes ausgeschlossen sei, mit Einverständnis der Einwendungsführer als erledigt erklärt werden. Voraussetzung hierfür war, daß der VAK der laufende Austausch der Meßergebnisse über die Radioaktivität in Grund- und Flußwasser mit diesen Werken und deren unverzügliche Verständigung im Gefahrenfall und insbesondere bei einer gefährlichen Erhöhung der Aktivität im Wasser oder in der Abluft des Atomkraftwerkes im Genehmigungsbescheid zur bindenden Auflage gemacht wurde.

Ob die nach § 7, Abs. (3) AtG und § 4 Atomanlagenverordnung praktizierte lose Kopplung und Koordination der übrigen konventionellen Teilgenehmigungen, insbesondere nach dem Bau- und Wasserrecht, mit dem atomrechtlichen Anlagengenehmigungsverfahren, welche in der praktischen Durchführung eine getrennte Abwicklung aller Einzelverfahren bedeutet, für beide, den Antragsteller und die Behörden, angesichts des hiermit verbundenen größeren Aufwandes die glücklichste und rationellste Lösung darstellt oder ob eine eindeutigere Konzentrierung möglichst aller Verfahren bei der für den Vollzug des Atomgesetzes bestimmten Obersten Landesbehörde, die natürlich eine geschlossene Einreichung der auf die verschiedenen Teilverfahren zugeschnittenen Genehmigungsunterlagen voraussetzt, günstiger ist und eine weniger komplizierte und aufwendige Abwicklung der Verfahren gewährleistet, soll hier abschließend zu dem kurzen Überblick über das atomrechtliche Genehmigungsverfahren für den Kahler Reaktor lediglich als Frage aufgeworfen werden, die wahrscheinlich nur die Praxis weiterer Reaktorgenehmigungen, bei denen die günstigste Regelung durch rechtzeitige Abstimmung zwischen der Genehmigungsbehörde, den übrigen sachlich berührten Behörden und dem Antragsteller zu Beginn des Verfahrens gesucht werden sollte, beantworten kann.

#### 4. GEWERBEAUF SICHTLICHE GENEHMIGUNG

Im Falle des Versuchsatomkraftwerkes Kahl unterlagen die Dampf erzeugenden bzw. führenden Hauptkomponenten des Primärkreises, das Reaktordruckgefäß und der Dampfumformer als „Dampfkessel“ im Sinne der *„Bekanntmachung betr. allgemeine polizeiliche Bestimmungen über die Anlegung von Landdampfkesseln vom 17. 12. 08“*, sowie der Leerlaufkühler, der Reaktorspeisewasserbehälter und der Verdampfer in der Abwasseraufbereitung als „Dampfgefäße“ nach der *„Verordnung über die Anlegung und den Betrieb von Dampfkesseln und Dampfgefäßen“ vom 24. 11. 09* einer gewerbeaufsichtlichen Erlaubnis.

Diese Erlaubnisse wurden von dem örtlich zuständigen *Gewerbeaufsichtsamt Würzburg* auf Grund der Abnahmeprotokolle und -unterlagen des *TUV-Bayern* für die genannten Komponenten erteilt.

Außerdem wurde die gesamte Anlage des Versuchsatomkraftwerkes Kahl, d. h. sowohl die baulichen als auch die maschinentechnischen Anlagen, nach den einschlägigen Bestimmungen der Gewerbeordnung, insbesondere auf die Einhaltung der geltenden Unfallverhütungsvorschriften und der Ersten Strahlenschutzverordnung, überprüft und abgenommen. Die im Zusammenhang hiermit bereits während der Planungs- und Bauzeit erfolgte Einsichtnahme und Begutachtung der Genehmigungsunterlagen und die während der Erstellung und abschließend vor Inbetriebnahme der Anlage erforderlichen örtlichen Abnahmebegehungen wurden gemeinsam von Vertretern des *Bayerischen Staatsministeriums für Arbeit und soziale Fürsorge*, des örtlich zuständigen Gewerbeaufsichtsamtes bzw. der Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik vorgenommen. Auflagen aus dem Bereich des Arbeitsschutzes, die vor allem den Strahlenschutz des Betriebspersonals der Anlage betreffen, wurden in die Genehmigungsbescheide nach dem atomrechtlichen Verfahren aufgenommen.

#### **5. GENEHMIGUNGEN NACH §§ 4 UND 5 DES ENERGIEWIRTSCHAFTSGESETZES**

Das Bauvorhaben des Versuchsatomkraftwerkes Kahl wurde bereits im Stadium der Planung gemäß § 4 des Energiewirtschaftsgesetzes vom 13. 12. 35 der zuständigen energieaufsichtlichen Landesbehörde, der *Obersten Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern*, angezeigt und von dieser nach Überprüfung genehmigt. Die gleiche Behörde genehmigte auf Antrag gemäß § 5 des Energiewirtschaftsgesetzes auch die Abgabe der im Versuchsatomkraftwerk Kahl erzeugten Energie in das örtliche 20-kV-Netz der RWE-Betriebsverwaltung Dettingen.

#### **6.-9. GENEHMIGUNGEN ZUR EINFUHR, BEFÖRDERUNG UND NICHTSTAATLICHEN AUFBEWAHRUNG DES KERNBRENNSTOFFES UND DER NEUTRONENQUELLEN**

Zur Zeit der Auftragsvergabe des Versuchsatomkraftwerkes Kahl, 1958, waren sich Besteller und Lieferer darüber im klaren, daß ohne Bundesatomgesetz als Grundlage einer für alle Beteiligten „zufriedenstellenden“ Regelung der komplizierten Haftungsfragen die Einfuhr und Auslieferung der Brennstoffelemente an die VAK, wenn nicht unmöglich, so doch sehr stark in Frage gestellt sein würde.

Diese Befürchtungen haben sich dann in der Praxis schon bei Abwicklung der ersten Schritte, welche die AEG zur Einfuhr des von ihr im Namen, im Auftrage und für Rechnung der VAK bei der *International General Electric Co.*, New York, bestellten Lieferumfangs der Anlage unternahm, sehr bald bewahrheitet insofern, als die hierfür beantragten Spezial-Einfuhrbewilligungen ohne Atomgesetz nach Artikel 1 und 2 des AHK-Gesetzes Nr. 22 zunächst nur für die maschinellen Anlageteile (Reaktor-druckgefäß-Einbauten, Regelstäbe mit Antrieben usw.), nicht jedoch für Brennstoff und Neutronenquellen vom *Bundesministerium für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft* freigegeben und vom *Bundesamt für Gewerbliche Wirtschaft* erteilt werden konnten.

#### **Kernbrennstoff**

Ungeachtet der weiteren vielseitigen Bemühungen um eine gangbare und annehmbare Zwischenlösung konnten die eigentlichen Verfahren für die Auslieferung, Einfuhr und Weiterverpackung der inzwischen, Ende 1959, in den USA fertiggestellten und bei der *General Electric* auf Abruf lagernden Brennstoffelemente erst nach Inkrafttreten des Atomgesetzes und der mit diesem geschaffenen, wenn

auch keineswegs befriedigenden Regelung der nuklearen Haftungsfragen, zusammen mit der Abfassung des „Kaufvertrages“ zwischen der Regierung der Bundesrepublik und der Regierung der Vereinigten Staaten über den Kauf des in den Kahler Brennstoffelementen enthaltenen angereicherten Urans sowie des Vertrages zwischen der Bundesrepublik und der VAK über die Weiterverpackung des Brennstoffes, in der ersten Hälfte des Jahres 1960 wieder aufgegriffen und durch große Schwierigkeiten hindurch und, angesichts des relativ schnellen Baufortschrittes der Anlage, unter erheblichem Zeitdruck weiter bearbeitet und zu Ende geführt werden.

Einfuhr, Beförderung und Aufbewahrung von Kernbrennstoffen sind gemäß §§ 3, 4 und 6 AtG nach sinngemäß gleichen Voraussetzungen, wie sie auch für die Genehmigung für Atomanlagen gelten, genehmigungspflichtig. Gewährleistet bzw. nachgewiesen sein müssen auch hierzu:

- die Zuverlässigkeit der jeweiligen Antragsteller,
- die Beachtung der für den jeweiligen Verkehrsträger geltenden Rechtsvorschriften über die Beförderung gefährlicher Güter,
- die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Beförderung bzw. Aufbewahrung,
- die Vorsorge für die Erfüllung gesetzlicher Schadensersatzverpflichtungen nach § 13, Abs. (3) AtG,
- Vorkehrungen zum Schutz gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter.

Die *Einfuhr* der Brennstoffelemente einschließlich des „Kernbrennstoffes“ wurde erst nach Abschluß des Kaufvertrages zwischen der Bundesrepublik Deutschland und der USAEC und des innerdeutschen Pachtvertrages zwischen der Bundesrepublik und der VAK mit Erteilung der Spezial-Einfuhrbewilligung seitens des nach § 22 AtG hierfür zuständigen Bundesamtes für gewerbliche Wirtschaft genehmigt.

Die *Übergabe* der Brennstoffelemente von der *General Electric Co.* an die USAEC und von dieser an die Bundesrepublik bei gleichzeitigem Übergang der Gesamthaftung auf die VAK erfolgte auf dem Kai im Hafen Oakland/San Francisco (USA).

Der *Transport* der Elemente, und zwar der gesamten Brennstoff-Erstausrüstung von 100 Elementen, die in 50 Transportbehältern verpackt waren, von dort nach Nordenham wurde auf einem amerikanischen Schiff durchgeführt, nachdem die Bemühungen, ihn bei einer deutschen Reederei zu buchen, auf Grund der Auslegung des § 25 AtG seitens des Bundes, wonach der Transport des Kernbrennstoffes keine „betriebszugehörige Handlung“ darstellt, und der daraufhin von der Reederei gestellten Forderungen über eine zusätzliche Kaskoversicherung für das Transportmittel zu einer unverhältnismäßig hohen Prämie sowie einer Freistellung in völlig indiskutabler Höhe für Ausfälle und Nutzungsschäden während und nach Transportdurchführung, gescheitert waren. Insofern entfiel die Notwendigkeit einer Genehmigung für den Schiffstransport des Brennstoffes von deutscher Seite bis zur Dreimeilenzone vor der deutschen Küste.

*Einzeltransportgenehmigungen* für den Brennstoff nach § 4 AtG waren somit erforderlich

für die Einfahrt des US-Schiffes in die Dreimeilenzone vor dem Hafen Nordenham/Weser,

für die Umladung der zu je zwei Stück in Stahlblechkisten verpackten Elemente vom Schiff in einen Sonderzug der Deutschen Bundesbahn im Hafen Nordenham,

für den Eisenbahntransport von Nordenham nach Dettingen/Main und über Anschlußgleis zur Baustelle des Kraftwerkes mit einem aus 13-Kmmgks-Wagen bestehenden Sonderzug der Deutschen Bundesbahn,

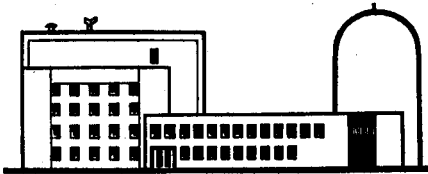
für die Ausladung der verpackten Brennstoffelemente am Kraftwerksstandort in den dortigen Lagerraum.

Als weitere Einzelgenehmigung mußte die nichtstaatliche



# Versuchsatomkraftwerk

## Kahl



### Bauherr und Betreiber:

Versuchsatomkraftwerk Kahl GmbH. (VAK), Groß-Welzheim

### Gesellschafter:

Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG. (RWE), Essen, 80%

Bayernwerk AG., München, 20%

**Aufbewahrung** der Brennstoffelemente auf dem Kraftwerksgelände (§ 6 AtG) beantragt und erteilt werden.

Einbezogen in die Aufbewahrungsgenehmigung wurde die Erlaubnis, die Brennstoffelemente am Lagerort einzeln aus ihrer Verpackung zu entnehmen und auf Transportschäden zu untersuchen. Schwierigkeiten entstanden hierbei insofern, als diese Handlung weder unter den Begriff Lagerung und Aufbewahrung (§ 6 AtG) noch unter den des Anlagenbetriebes (§§ 7 und 25 AtG) einbezogen werden konnte. Durch vorzeitigen Beginn der gesetzlichen Haftpflichtversicherung für den Betrieb des Kraftwerkes, die mit Eintreffen der Brennstoffelemente auf der Baustelle abgeschlossen und wirksam wurde, konnten sich die Genehmigungsbehörden letztlich bereithalten, diese Elementüberprüfung bzw. -besichtigung in die Aufbewahrungsgenehmigung einzubeziehen.

Zuständig für die Erteilung der Transport- und Aufbewahrungsgenehmigungen ist nach § 23 AtG die *Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)* in Braunschweig. Auch für diese Genehmigungen mußten zusammen mit den Anträgen zum Nachweis der Erfüllung aller Voraussetzungen umfangreiche Unterlagen über Transportmittel, Ladeplan, Verpackung der Elemente, physikalischer Nachweis der Ungefährlichkeit und der an der Oberfläche der Verpackung auftretenden Strahlendosis, über Transportbegleitpersonal, getroffene Sicherheitsvorkehrungen usw. eingereicht werden.

Die Vorsorge für die Erfüllung gesetzlicher Schadensersatzpflichtungen (§ 13, Abs. 5 AtG) wurde auch hier durch eine bei der DKGV aufgenommene „Transport-Strahlenhaftpflichtversicherung“ über eine Versicherungssumme von 15 Mio. DM nachgewiesen. Die an und für sich in keinem Verhältnis zum Risiko stehende hohe Deckungsvorsorge resultierte hier vor allem aus der bereits vorher kurz erwähnten Auslegung des AtG, wonach der Brennstofftransport nicht als zum Betrieb gehörige Handlung anerkannt wird.

Erst nach Vorliegen dieses Nachweises über die Deckungsvorsorge und aller Einzelgenehmigungen für den Transport und die Aufbewahrung der Brennstoffelemente wurde seitens des *Bundesministers für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft* der Kaufvertrag zwischen der Bundesrepublik und der USAEC und der Pachtvertrag zwischen der Bundesrepublik und der VAK unterzeichnet, und erst danach konnten die Brennstoffelemente in den USA übergeben und mit ihrer Beförderung nach Deutschland begonnen werden.

Es sei hier vermerkt, daß der angereicherte Brennstoff für das Versuchsatomkraftwerk Kahl nicht, wie ursprünglich angenommen, gegen Entrichtung einer Leihgebühr in Höhe von 4% pro Jahr des Uranwertes gepachtet, sondern nach neueren Bestimmungen der USAEC für außerhalb des

Euratom/USAEC-Vertrages errichtete Leistungsreaktoren *nur gekauft* werden konnte und der volle Kaufpreis nach den Bedingungen des Kaufvertrages zwischen der Bundesrepublik und der USAEC 60 Tage nach Lieferung bzw. Rechnungslegung von der VAK direkt an die USAEC zu bezahlen war.

Während seines Einsatzes im Reaktor und seiner Lagerung beim Kraftwerk unterliegt der Brennstoff gemäß Artikel 78 des Euratom-Vertrages der laufenden Kontrolle der Kommission der *Europäischen Atomgemeinschaft* und ebenso auf Grund des bilateralen Abkommens zwischen der Bundesrepublik und der USAEC vom 3. 7. 1957 der Beaufsichtigung und Kontrolle durch den *Bundesminister für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft*.

### Neutronenquellen

Die Genehmigungen zur Einfuhr und zur Beförderung der zur Inbetriebnahme mit Nulleistung und für den späteren Leistungsbetrieb erforderlichen beiden Antimon-Beryllium-Neutronenquellen nach §§ 4 und 5 der Ersten Strahlenschutzverordnung waren beim *Bundesamt für Gewerbliche Wirtschaft* und beim *Bundesminister für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft* bzw. für die Beförderung beim *Bundesminister für Verkehr* zu beantragen, wobei wiederum sinngemäß die gleichen für die Reaktoranlage und den Brennstoff gültigen Genehmigungsvoraussetzungen zu erfüllen waren.

Die Genehmigung zur Handhabung der Neutronenquellen wurde vom *Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Verkehr* erteilt und in die Teilgenehmigungsbescheide für die Errichtung und den Betrieb der Kraftwerksanlage nach § 7 AtG aufgenommen.

Die Antimonstäbe der Neutronenquellen wurden im Forschungszentrum *Saclay* der Französischen Atomenergiebehörde bestrahlt und von dort per Bahn an ihren Bestimmungsort befördert. Hierzu mußte eine Koordinierung der Transportmaßnahmen der Deutschen Bundesbahn und der Französischen Staatsbahn erfolgen. Die für den Transport erforderliche „Deckungsvorsorge“ für die Erfüllung gesetzlicher Schadensersatzpflichtungen, für die nach der Ersten Strahlenschutzverordnung auch hier die §§ 13 und 35 AtG maßgebend sind, wurde durch Abschluß einer Transport-Strahlenhaftpflichtversicherung für den gesamten Transportweg bei einer französischen Versicherungsgesellschaft erbracht und nachgewiesen.

DK 351.82(43):621.039.577(43) Kahl

# Mit wichtigen Lieferungen beteiligte Unternehmen

## Hauptauftragnehmer:

AEG, Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft AG. — Kernenergieabteilung, Frankfurt/M

Reaktor: International General Electric Operations S.A. (IGEOSA), Genf

Bauten: Hochtief AG. für Hoch- und Tiefbauten, vorm. Gebr. Helfmann, Essen

Messungen und Prüfungen: Technische Überwachungsvereine

Sachverständiger: Technischer Überwachungsverein Bayern e. V.

*AEG Turbinenfabrik, Berlin (Turbine)*  
*AEG Fabrik Mülheim, Mülheim/Ruhr (Generator)*  
*AEG Fabrik für Elektroheizung, Nürnberg (Heizstäbe)*  
*AEG Fabrik Stuttgart, Stuttgart-Bad Cannstatt (Trafos)*  
*AEG Fabrik Heiligenhaus, Heiligenhaus (Meß- und Regelgeräte)*  
*AEG Isolierstofffabrik, Kassel-Bettenhausen (Kabeldurchführungen)*  
*AEG Hochspannungsschaltgerätefabrik, Kassel-Bettenhausen (Schaltgeräte)*  
*AEG Kleinmaschinenfabrik, Berlin (Motoren)*  
*AEG Röhren- und Gleichrichterfabrik, Belecke/Möhne (Gleichrichter)*  
*AEG Schaltgerätefabrik, Zweigwerk Menden (Sauerland) (Schaltgeräte)*  
*AEG Schaltgerätefabrik, Neumünster (Schaltgeräte und Gußgruppen)*  
*AEG Zählerfabrik, Hameln (Zähler)*  
*Aerojet General Nucleonics, USA (Kobaltfolie)*  
*Armaturenfabrik Karl Vogelsang, Bielefeld (Muffen)*  
*Askania Werke, Berlin (Reduzierstation)*  
*Farbenfabriken Bayer AG., Leverkusen (Diphyl, Hydrazinhydrat)*  
*Becker & Söhne Maschinenfabrik, Neckarsulm (Druckluftkessel)*  
*Bergedorfer Eisenwerk AG., Astra Werke, Hamburg-Bergedorf (Separierungsanlage)*  
*Berg, Hedström & Co. Inc., USA (Sonderstecker)*  
*Bernhard Biegenwald, Bad Godesberg (Verzögerungsrelais)*  
*Bischoff & Hensel, Mannheim (Federkohlenstromabnehmer)*  
*Bleiwerk Höchst GmbH., Frankfurt/Main-Höchst (Bleimaterial)*  
*Gebr. Böhler & Co. AG., Düsseldorf-Oberkassel (Edelstähle, Elektroden)*  
*Boll & Kirch GmbH, Maschinenfabrik, Köln-Ehrenfeld (Elementbeckenfilter)*  
*Robert Bosch GmbH., Stuttgart (Batterien, Schütze)*  
*H. Brauckmann, Düsseldorf (Ventile)*  
*Hch. Brinkmann KG, Maschinenfabrik, Frankfurt/Main-Fechenheim (Hart-PVC, Polyäthylen-Behälter, Pumpen, Rohre)*  
*British Insulated Callender's Cables Ltd., London (Thermoelemente)*  
*BBC, Brown, Boveri & Cie. AG., Mannheim (Druckwächter, Schutzschalter, Schaltautomaten)*  
*Buderus'sche Eisenwerke, Wetzlar (Gußabschirmung)*  
*Wilh. Carstens, Hamburg-Wilhelmsburg (Spezialgießharz)*  
*Chemat GmbH., München (Ventile, Schraubverbindungen)*  
*CEAG Concordia Elektrizitäts AG., Dortmund (Magnetventile)*  
*Degussa, Deutsche Gold- und Silber-Scheideanstalt, Hanau (Widerstandsthermometer, Thermoelemente, Ausgleichsleitung für Thermoelemente, Gold)*  
*Delbag-Luftfilter GmbH., Berlin-Halensee (Luftfilter)*  
*Demag-Zug GmbH., Wetter/Ruhr (Hängelaufbahn)*  
*H. Desch, Frankfurt/Main (Kugelgelenke)*  
*Deutsche Kahneisen-Ges. West GmbH., Berlin-Wittenau (Ankerschienen)*  
*Deutsche Ortotherm, Hamburg (Schalter)*  
*Dietz & Sohn, Neustadt (Stahldrahtseil)*  
*Dilo Gesellschaft Drechsler & Co., Augsburg (Drosselscheiben)*  
*Donges Stahlbau GmbH., Darmstadt (Abluftschornstein, Abschirmplatte)*  
*Drägerwerk, Lübeck (Behälter)*  
*Dreyer, Rosenkranz & Droop AG., Hannover (Quecksilberthermometer, Manometer)*  
*Dürener Metallwerke AG., Lüdenscheid (Stecker)*  
*Ed. Dyckerhoff, Abt. Alfol, Neustadt am Rübenberge (Wärmeisolierungen: Rohrleitungen, Reaktor-gebäude, Dampfumformer-Unterkühler, Druckgefäß mit Rohrleitungen)*  
*Eberle & Co., Elektro GmbH., Nürnberg (Relais)*  
*Eisenlager GmbH., Essen (Flansche)*

*Eisenwerk Nürnberg, Nürnberg (Fundamentalschrauben Reaktordruckgefäß)*  
*Eisenwerk Wülfel, Frankfurt/Main (Kupplungen)*  
*Eisenwerk Würth GmbH., Bad Friedrichshall-Jagstfeld (Stahlsand)*  
*Elima GmbH., Frankfurt/Main (Strommesser)*  
*Ellenberger & Pönsen GmbH., Altdorf b. Nürnberg (Kleinautomaten)*  
*Joh. Erhard H. Waldenmaier Erben, Süddeutsche Armaturenfabrik, Heidenheim a. d. Brenz (Zwillingsringkolbenschieber, Armaturen)*  
*Ermeto-Armaturen GmbH., Windelsbleiche üb. Bielefeld (Federn)*  
*Essener Apparatebau GmbH., Essen-Altenessen (Probeentnahmebehälter)*  
*Fawa GmbH., Berlin (Impulsabstellventile)*  
*H. Feilbach, Wiesbaden-Kastel (Luo-Dermin)*  
*Felten & Guillaume, Carlswerk AG., Köln-Mülheim (Koaxialkabel, HS-Anzeige)*  
*Raimond Finsterhölzl, Ravensburg (Signalleuchten, Leuchttaster, Kelloggschalter)*  
*P. Fischer & Co. AG., Frankfurt/Main (Montagearbeiten, Rohrleitungen konventioneller Teil, Röntgenprüfung)*  
*Fränkische Isolierrohr und Metallwerke Gebr. Kirchner, Königsberg (Unterfranken) (Stabarohr)*  
*Frank & Schulte Handelsgesellschaft mbH., Essen (Ballastkugeln)*  
*Fries & Sohn, Frankfurt/Main (Heizungsanlage)*  
*Frieseke & Hoepfner GmbH., Erlangen-Bruck (Strahlungsmeßgeräte)*  
*F. Henriques, Zweigniederlassung „Foxboro“, Düsseldorf (anzeigende Druckregler)*  
*GEA, Gesellschaft für Luftkondensation mbH., Bochum (Kreislaufkühler)*  
*Göhring KG., Offenbach/Main (Spezial-Trafos)*  
*J. K. Görler, Berlin (Spulen)*  
*K. H. Görlich Armaturen, Offenbach/Main (Magnetventil)*  
*J. Gollnow & Sohn, Karlsruhe (50-t-Laufkran)*  
*L. Greje, Lüdenscheid (Durchflußmesser: Sperrwassersystem, Speisewasserpumpen, Schildkühler; Strömungswächter)*  
*Goetze-Werke, Fr. Goetze AG., Burscheid b. Köln (Dichtungsringe)*  
*Grünzweig + Hartmann AG., Ludwigshafen (Isolierung Wärmeschutz)*  
*H. Grüter, Ing.-Büro, Frankfurt/Main (Elek-Normgehäuse)*  
*W. Günther KG., Nürnberg (Flach- und Rundkupferleisten, Schalter)*  
*Gutehoffnungshütte Sterkrade AG., Werk Sterkrade, Oberhausen-Sterkrade (Dampfumformer, Montage Dampfumformer/Druckgefäß)*  
*Hackethal Draht- und Kabelwerke AG., Hannover (Tonfrequenz-Leitung)*  
*Haenni & Cie. mbH., Stuttgart-Bad Cannstatt (Betriebsmanometer)*  
*Hahn & Kolb, Werkzeugmaschinen und Werkzeuge, Stuttgart (Spezialwerkzeuge)*  
*Halberg Maschinenbau und Gießerei, Ludwigshafen (Aktiver Sammel-tank, Pumpen)*  
*Hartmann & Braun AG., Frankfurt (Montage Bartonzellen, Rohrleitungsverlegung)*  
*Henschel-Werke GmbH., Kassel, (Reaktor-Speisewasser-, Sperrwasserbehälter, Brennelementtransportwagen mit Wechselflasche)*  
*W. C. Heraeus GmbH., Hanau (Rekombinator, Heliumtest, Cadmiumfolien)*  
*E. Herion, Stuttgart (Druckschalter, Ventile)*  
*Ch. Heussler KG., Frankfurt/Main (Sandstrahlen, Reinigen und Feuerverzinken)*  
*J. Hildebrandt, Mannheim (Relais)*  
*Hochtief AG. für Hoch- und Tiefbauten, vorm. Gebr. Helfmann, Essen (Bautechnischer Teil)*  
*Höhn, Neuß (Flexibel-Leitungen, Steuerkabel)*  
*Honeywell GmbH., Frankfurt (Temperaturregler, Thermostate, Ventile mit E-Antrieb)*  
*Hydrawerk AG., Berlin (Kondensatoren)*  
*Intereng, Frankfurt/Main (KGM Stahl und Blei)*  
*International General Electric Operations S. A., Genf (Nukleare und thermische Auslegung des Reaktors, Entwurfskonzept des nuklearen Dampferzeugungssystems sowie Beratung bei Auslegung und Inbetriebnahme, Reaktorsicherheitsystem, Brennstoffelemente, Regelstäbe und Antriebe)*  
*Isar-Chemie GmbH., München (Kleber)*  
*Iweg GmbH., Düsseldorf (Kaltzink)*  
*Jenaer Glaswerk Schott & Gen., Mainz (Kabeldurchführungen)*  
*Jola GmbH., Lambrecht/Pfalz (Tauchsonde, Spezialschalter)*  
*C. H. Jucho, Dortmund (Klimaanlage für Warte)*  
*K. W. Frowein, Wuppertal (Kabel)*  
*Paul Kahle Rohrleitungsbau GmbH., Düsseldorf (Rohrleitungen)*  
*Kernreaktor Bau- und Betriebs-GmbH., Karlsruhe (Radioaktive Präparate)*  
*KSB, Klein Schanzlin & Becker AG., Frankenthal (Panzerventile, Ventile, Pumpen, Reaktorspeisepumpen, Armaturen)*  
*Knapsack Griesheim AG., Frankfurt/Main-Griesheim (Stickstoffanlage, Stickstoff-Preßluft-Flaschen)*  
*Körting AG., Hannover-Linden (Teil der Abgasanlage im Abfallbeseitigungsgebäude)*  
*H. Krantz Lufttechnik, Aachen-Richterich (Lüftungsanlage für nuklearen Teil)*  
*Kromberg & Schubert, Wuppertal-Langerfeld (Silikonschlauchleitung)*  
*Fried. Krupp, Schmiede und Gießerei, Essen (Rohrleitungen)*  
*H. Kuhnke, Elektrotechnische Fabrik GmbH., Malente/Holst. (Konstanthalter)*  
*C. Kuntze KG., Röhrenwerk, Süssen/Württ. (Hauptkühlwasserleitungen)*  
*Lauf, Bungert und Winnesberg KG., Mülheim/Ruhr (Laufkatzen)*  
*Lavis Stahlbau, Offenbach/Main (Kran Maschinenhaus, aktiver Sammel-tank)*  
*Lloyd Dynamowerk AG., Bremen (Diesel-Synchrongenerator, Compoundregler)*  
*Leonische Drahtwerke AG., Nürnberg (Kabel)*  
*Märkische Kabelwerke, Berlin-Spandau (Kabel)*  
*MAN Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg AG., Werk Nürnberg (Einbaumontage, Reaktordruckschale, Reaktordruckgefäß, Schleusen)*  
*Gustav Mankenberg, Armaturenfabrik GmbH., Lübeck (Ventile)*  
*Mannesmann Aktiengesellschaft, Düsseldorf (Reaktordruckgefäß)*  
*Mannesmann Rohrleitungsbau GmbH., Düsseldorf (Rohrleitungen, Sprüh-ring für Core-Notkühlung, Montage Meßfühler, Seilgehänge für Brennstoffwechsel)*  
*Marquardt Spezialfabrik für Einbauschnalter, Riesheim/Württ. (Schalter, Cadmiumbleche)*  
*Maschinenbau AG., Balcke, Bochum (Wärmeaustauscher)*  
*Maschinenfabrik Kiefer GmbH., Stuttgart-Feuerbach (Dieselmotor)*

*H. Meinecke AG.*, Hannover (Voltmannzähler)  
*E. Merk AG.*, Darmstadt (Borsäure, Borax, Natriumpentaborat)  
*I. G. Merckens KG.*, Aachen (Fernanzeiger)  
*Metallgesellschaft AG.*, Frankfurt/Main (Borsäure, Borax)  
*Metallschlauchfabrik Pforzheim*, Pforzheim (Metallschläuche)  
*Metrawatt AG.*, Nürnberg (Schalttafelmeßgeräte)  
*Metzenauer & Jung GmbH.*, Wuppertal-Elberfeld (Wasserdichte Schwimmerschalter)  
*Mining & Chemical Products Ltd.*, Zweigniederlassung Lübeck (Iridium- und Kobaltfolien)  
*Motorenwerke Mannheim*, Mannheim (Dieselmotor Notstromaggregat)  
*Dipl.-Ing. W. Müller, Ing.-Büro*, Ludwigshafen-Rheingönheim (Materialprüfung)  
*Neue Argus GmbH.*, Ettlingen (Kugelhähne)  
*Dr. Ing. Max Nolte*, Lüdenscheid (Präzisionszähler)  
*Norddeutsche Kabelwerke AG.*, Berlin (Kabel, Montagearbeiten)  
*NUKEM, Nuklear-Chemie und -Metallurgie GmbH.*, Hanau/Main (Helium)  
*„Orlof“-Vertriebsgesellschaft, Orłowski & Kreikenbohm*, Hamburg (Wasserabscheider)  
*Osram GmbH.*, München (Lampen, Widerstände, Glühbirnen)  
*Alfred Ostwald & Co. GmbH.*, Frankfurt/Main (Prüfflansche)  
*Passavant-Werke Michelbacher Hütte*, Michelbach/Nassau (Schieber)  
*Pertrix Union GmbH.*, Frankfurt/Main (Anodenbatterien)  
*Friedrich Petzold GmbH.*, München (Reinigung nuklearer Teil)  
*Pintsch-Bomag AG.*, Butzbach (Wasserreinigung Primärsystem, Anlage zur Beseitigung radioaktiver Abfälle)  
*Phoenix, Armaturenwerke Biegel KG.*, Frankfurt/Main-Rödelheim (Meßgeräte, Ventile, Manometer)  
*Phoenix-Elektrizitäts-Gesellschaft*, Essen (Elektrokleinmaterial)  
*Phoenix-Rheinrohr AG., Vereinigte Hütten- und Röhrenwerke*, Düsseldorf (Rohre, Kernmanteloberteil, Vergiftungslösungstank, Meßprüfung)  
*Pötschke & Co. oHG., Vertriebsgesellschaft für Strahlungsmeßgeräte*, Frankfurt/Main (Strahlungsüberwachungsgeräte, Hand- und Fußmonitor, Bleiabschirmbehälter)  
*F.M.A. Pokorny*, Frankfurt/Main (Kompressoranlage)  
*Präzisions-Rotfuß-Armaturen*, Frankfurt/Main (Druckluftarmaturen)  
*Radio-Energie*, Paris (Dynamos)  
*E. Rathmann*, Berlin (Trockengleichrichter)  
*Rheinkabel*, Köln-Riehl (Kabel)  
*Rieber GmbH.*, Reutlingen (Gelenkkompensatoren, Flutbehälter für Reaktordruckgefäß, Druckgefäß für Strahlungsmessung, Vorrichtung für Luftprobeentnahme im Kamin)  
*Rieth & Co.*, Kirchheim/Teck (Kabelpritschen, Kabeltrassen)  
*Ritz & Schweitzer*, Schwäbisch-Gmünd (Lieferung und Montage Kreiselpumpe)  
*K. A. Röhr*, Berlin (Meldetableaus, Lampentableaus, Leuchtmelder)  
*Rohrwerk Haltern GmbH.*, Haltern i. W. (Panzerrohr)  
*Rosenthal Isolatoren GmbH.*, Selb (Widerstände)  
*Rota Dr. Hennig KG.*, Oeflingen/Baden (Hauptstrommesser)  
*Ruhrstahl AG.*, Witten-Annen (Drehdeckel)  
*Samson Apparatebau AG.*, Frankfurt/Main (Druckminderer)  
*Albert Sempell Rhein. Armaturen- und Maschinenfabrik*, Mönchengladbach (Schieber, Ventile)  
*Sequoia Wire Co., USA*, (Spezialkabel)  
*Siemens & Halske*, München (Meßstellenumschalter)  
*Siemens-Schuckertwerke AG.*, Erlangen (Meßstellenumschalter, Relais)  
*W. Sihn jr.* (Programmschaltgerät)  
*Simplex, Wire & Cable, USA* (Koaxialkabel)  
*Süddeutsche Kabelwerke*, Mannheim (Kabel)  
*Schanzenbach & Co. GmbH*, Frankfurt/Main (Unterwasserstrahler)  
*C. F. Scheer & Cie.*, Stuttgart-Feuerbach (Heizungsanlage)  
*Schleicher Relaisbau KG.*, Berlin (Relais, Spannungswächter)  
*G. Schlick KG.*, Coburg (Wasserreinigungsfilter)  
*Aug. Schnakenberg & Co. GmbH.*, Wuppertal-Barmen (Walzblei)  
*Schöller & Co.*, Frankfurt/Main (Schalter)  
*Schoppe & Faeser GmbH.*, Minden i. W. (Anzeiger, Schalter)  
*Felix Schuh & Co. GmbH.*, Essen-Krey (Schwitzwasserisolation)  
*R. Stahl*, Stuttgart (Kräne)  
*Stahlbau-Nidda, Inh. E. Lang*, Nidda/Hessen (Teile für Abfallbeseitigung)  
*Standard Electric Lorenz*, Stuttgart (Kabel)  
*Telefonbau & Normalzeit, Lehner & Co.*, Frankfurt/Main (Uhrenanlage)  
*Telefunken GmbH.*, Ulm/Donau (Strahlungsmonitore, Dosimeter, Lüfterfeldeinschub)  
*Thode*, Essen (Malerarbeiten)  
*Total KG., Foerstner & Co.*, Ladenburg/Neckar (Feuerlöscher)  
*Dr. O. Trenner*, Aachen (Schwimmerschalter)  
*Turbon GmbH.*, Berlin (Lüftung Telefonbatterieraum, Klimaanlage)  
*Varta Accumulatorenfabrik AG.*, Frankfurt/Main (Batterie)  
*Vedag*, Frankfurt/Main (Grundwasserisolation)  
*Vereinigte Armaturen GmbH.*, Frankfurt/Main (Armaturen)  
*Vereinigte Deutsche Nickelwerke AG.*, Schwerte/Ruhr (Nickelband)  
*Vereinigte Kesselwerke AG.*, Düsseldorf (Kondensatunterkühler)  
*Wabag Wasserreinigungsbau*, Kulmbach (Vollentsalzungsanlage, Montage Vollentsalzungs-, Entgasungsanlage)  
*Wandler- und Trafowerk Wirges GmbH.*, Wirges/Westerwald (Isolatoren)  
*Walther & Cie. AG.*, Köln-Dellbrück (CO<sub>2</sub>-Feuerlöschanlage)  
*Wilhelmi KG.*, Mülheim/Ruhr (Fahrbare Arbeitsbühne)  
*Wittmann & Co.*, Frankfurt/Main (Spezial-Trafo, Gleichrichter)  
*Hch. Wösthoff oHG.*, Bochum (Kühl- und Entspannungseinrichtung)  
*J. Wolff & Co.*, Heilbronn (Rundlaufkran Reaktorgebäude)  
*A. Zettler GmbH.*, München (Relais)  
*Hch. Ziegler*, Mannheim (Elektrisches Montagematerial)  
*Ch. Zikesch GmbH.*, Düsseldorf-Kaiserswerth (Hochdruckschieber)  
*Zimmermann KG.*, Ludwigshafen (Wärmeaustauscher, Bypass-Leerlauf-Gaskühler)





$\rho = 4,2 \text{ g/cm}^3$ , in diesen Normalbeton eingelagert. Diese Materialien sind mit den Schichtdicken in Zentimeter unten bzw. oben in den folgenden Abbildungen 16 bis 19 angegeben. Man ersieht aus Abb. 16 die Überhöhung des thermischen Flusses im Moderator, Reflektor und auch noch im Beton sowie an der Grenze Schwerbeton-Normalbeton.

Da die letzten Abschirmschichten axial nach oben nur aus Eisen bestehen und Eisen gerade für epithermische Neutronen recht durchlässig ist, wurden die Neutronenflüsse axial nach oben aus den Lösungen von 3-Gruppen-Diffusionsgleichungen bestimmt. Abb. 17 zeigt den Verlauf dieser Neutronenflüsse. Die Materialien und die Stärken der Abschirmschichten sind ebenfalls unten auf den Zeichnungen aufgeführt. Dabei wurde vernachlässigt, daß über dem Kern Kamine sitzen, die aus Stahlblech bestehen. Die Abbildung läßt den starken Abfall der Neutronenflüsse im Wasser und den bedeutend schwächeren Abfall im Dampf erkennen. Für die Rechnung mußte ein scharfer Übergang Wasser — Dampf angenommen werden, der in natura sicher nicht vorhanden ist, so daß man in Wirklichkeit einen allmählichen Übergang von starker Neutronenabsorption bzw. -bremsung zu schwacher Absorption bzw. Bremsung hat.

Die  $\gamma$ -Strahlung aus dem Kern, die bei der Uranspaltung, beim Einfang von Neutronen in den Kernmaterialien und beim Zerfall der Spaltprodukte entsteht, und die  $\gamma$ -Strahlung, die beim Einfang von Neutronen in den Abschirmungsmaterialien ausgesandt wird, wurden in zehn Energiegruppen (1 bis 10 MeV) berechnet.

Abb. 18 zeigt als Beispiel den Verlauf der  $\gamma$ -Strahlung in den Abschirmschichten in radialer Richtung. Dabei wurde die aus dem Kern kommende  $\gamma$ -Strahlung als primäre  $\gamma$ -Strahlung bezeichnet, die in den Abschirmungsschichten durch Neutroneneinfang entstehende  $\gamma$ -Strahlung als sekundäre.

Abb. 19 zeigt den Verlauf der  $\gamma$ -Strahlung in der Richtung axial nach oben. In beiden Fällen, also Abb. 18 und Abb. 19, wurden die Werte der  $\gamma$ -Strahlungsflüsse nur an den Schichtgrenzen berechnet und der übrige Verlauf der Kurven ergänzt.

Für die primäre  $\gamma$ -Strahlung werden jeweils zwei Kurven angegeben: mit Stahl und mit Zircaloy im Kern. Zunächst werden nämlich 60 Brennstoffelemente, mit Stahlkästen als Mantel des Elementbündels versehen, eingesetzt. Die einzelnen Brennstoffstäbe behalten natürlich ihre Hülle aus Zircaloy. Durch diese Stahlkästen wird dem Reaktorkern ein Teil seiner Überschußreaktivität genommen. Mit fortschreitendem Abbrand werden die Stahlkästen gegen Zircaloykästen ausgetauscht.

### Abschirmung der übrigen Anlageteile

Durch die intensive Neutronenstrahlung im Reaktorkern bilden sich im Kühlmedium radioaktive Isotope (s. Tab. 1).

Die Aktivität des aus dem Druckgefäß austretenden Dampfes und Wassers wird in den ersten 100 sec durch die gebildete N-16-Aktivität bestimmt. Erst später und vor allem dort, wo Ablagerungen stattfinden, z. B. im Ionenaustauscher der Primärkreisreinigung, ist die Aktivität der im Wasser vorhandenen aktivierten Korrosionsprodukte zu berücksichtigen.

Da der Brennstoff aus Uranioxyd besteht, treten im Falle eines Brennstoffschadens fast nur Edelgase und Halogene ins Wasser über. Die N-16-Aktivität ist aber so bestimmend, daß man etwa die hundertfache Aktivität an diesen Spaltprodukten im Wasser oder Dampf haben müßte, bevor die Dosisleistung an den Abschirmungen doppelt so hoch würde. Dieser Wert liegt so hoch, daß er auch bei größerem Brennstoffschaden kaum zu erreichen ist, da Teile des Primärkreiswassers ständig über Ionenaustauscher gegeben werden. Alle Anlageteile im Reaktor-gebäude oder dem Gebäude der Abfallaufbereitung, die radioaktives Wasser oder Dampf führen, wurden im allgemeinen mit Beton abgeschirmt.

In den Gebäuden wurde eine Reihe von Punkten derart ausgewählt, daß die Dosisleistung in ihnen für die Umgebung repräsentativ ist. Für diese Punkte wurden dann die Dosisleistungsbeiträge der einzelnen Strahler (Apparate, Reaktor) berechnet.

Die Gesamtheit dieser Abschirmungsrechnungen ergab,

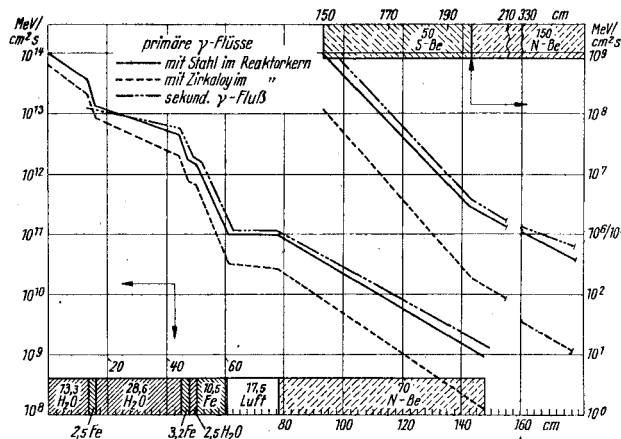


Abb. 18:  $\gamma$ -Strahlungsflüsse in radialer Richtung.

daß in den Räumen, die bei Kontrollgängen betreten werden, die Dosisleistungen beim 1- bis 5fachen der zulässigen Dosisleistung für eine 40-h-Woche liegen. Nur in ein bis zwei Räumen, die aber nur durchquert zu werden brauchen, hat man Dosisleistungen bis 50 mr/h zu erwarten. Da pro Schicht nur ein Kontrollgang durch zwei Personen des Schichtpersonals durchgeführt wird, steht zu erwarten, daß die durchschnittliche Strahlenbelastung des Personals weit unter der zulässigen Dosis bleiben wird.

### Betriebsüberwachung

Die berechneten Dosisleistungen im Reaktor-gebäude und in dem Aufbereitungsgebäude werden zu Beginn des Leistungsbetriebes des Reaktors durch Messungen überprüft. An wichtigen Stellen wird die Abschirmwand mit einem Punktgitter überzogen und an den Gitterpunkten die Dosisleistung der Gamma- und Neutronenstrahlung bestimmt. Auf diese Weise ist es möglich, Spalte und sonstige Stellen in den Wänden zu finden, an denen die Abschirmung verstärkt werden muß. In vielen Fällen werden diese zu Beginn des Leistungsbetriebes gemessenen Dosisleistungen bei gleicher Leistung des Reaktors über lange Zeit wenigstens annähernd konstant bleiben. An den Ionenaustauschern des Primärreinigungssystems wird die Dosisleistung dagegen eine Funktion des Beladungszustandes der Ionenaustauscher sein. Ferner werden Änderungen der Dosisleistung in der Nähe von Rohren oder Behältern usw. wichtige Hinweise auf Absetzen von aktivierten Korrosionsprodukten und dergleichen geben. Daher ist dem Reaktorbetrieb eine Strahlenschutzgruppe angegliedert, die direkt der Betriebsleitung untersteht.

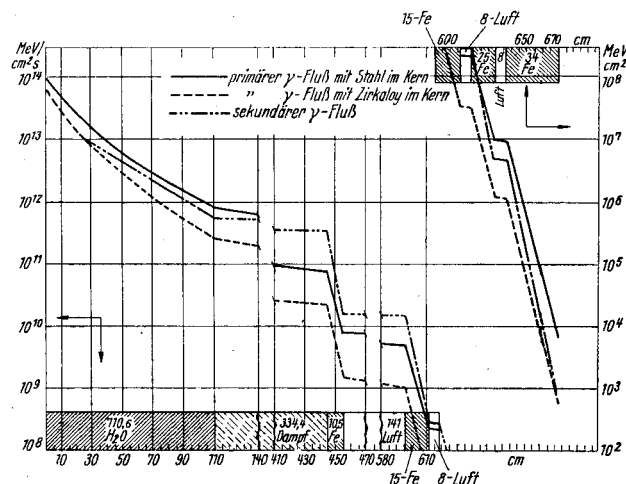


Abb. 19:  $\gamma$ -Strahlungsflüsse in Richtung axial nach oben.

Dadurch ist eine genügende Unabhängigkeit vom täglichen Betrieb gegeben. Dieser Gruppe obliegt vor allem auch die Strahlenschutzüberwachung des Betriebspersonals. Sie hat dafür zu sorgen, daß die in der 1. Strahlenschutzverordnung des Bundes und in den Euratom-Richtlinien festgelegten Normen eingehalten werden. Dazu gehört z. B. die Ausrüstung des Personals, das den Kontrollbereich der Anlage betritt, mit Taschendosimetern und Filmplaketten. Diese Filmplaketten werden monatlich von einer neutralen Stelle ausgewertet. Über die Auswertung dieser Dosismessungen, die ärztlichen Untersuchungen und Strahlenschutzbelehrungen des Personals ist Buch zu führen.

Neben Gamma- und Neutronenstrahlung wird hierbei auch die Bildung radioaktiver Aerosole mit Staubsammlern überwacht. Für diese Arbeiten ist die Strahlenschutzgruppe mit tragbaren Strahlungsmessgeräten für Beta- und Gammastrahlen sowie für schnelle und thermische Neutronen ausgerüstet. Ferner stehen ihr die Strahlungsmeßplätze und das Gammaspektrometer im Zählraum zur Durchführung von Messungen zur Verfügung.

Im Betriebsgebäude befindet sich ferner innerhalb des Kontrollbereiches das *radiochemische Laboratorium*. Hier werden sämtliche chemischen und physikalisch-chemischen Untersuchungen durchgeführt, die für die Betriebsüberwachung aller aktiven und möglicherweise aktiven Kreisläufe erforderlich sind.

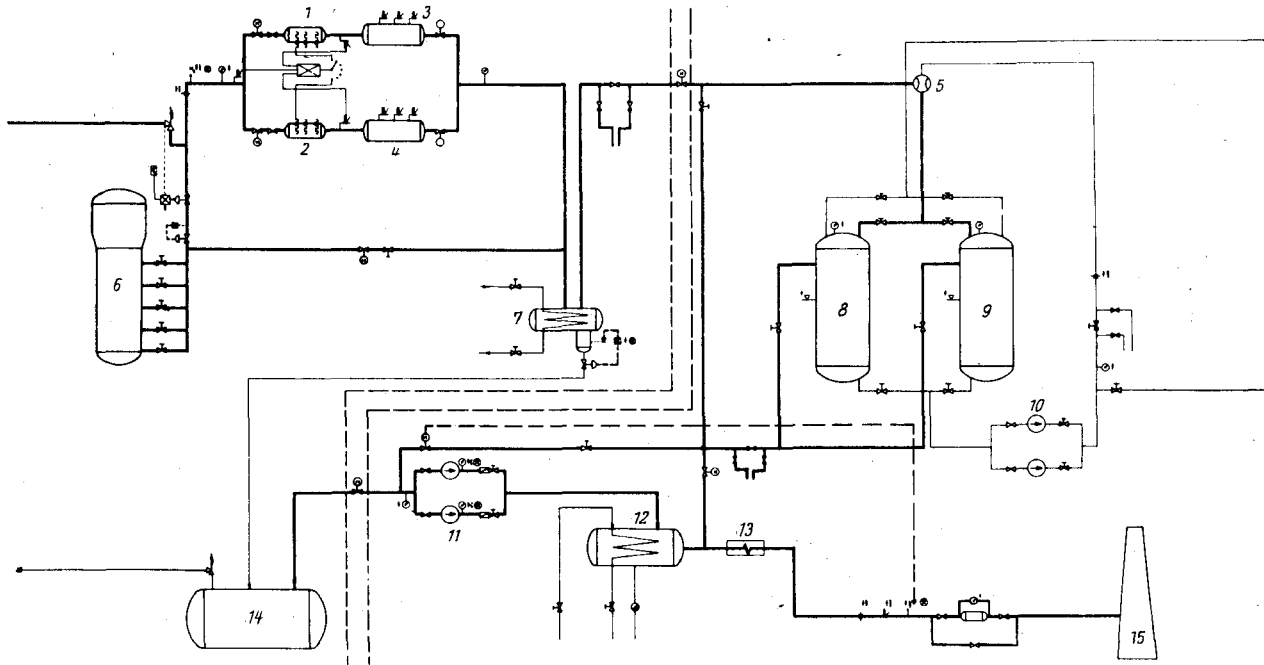


Abb. 20: Abgasanlage.

- |                             |                               |
|-----------------------------|-------------------------------|
| 1 Elektrischer Vorwärmer I  | 9 Rückhaltebehälter II        |
| 2 Elektrischer Vorwärmer II | 10 Abgas-Wasserpumpen         |
| 3 Verbrenner I              | 11 Vakuumpumpen               |
| 4 Verbrenner II             | 12 Kondensator                |
| 5 Wasserstrahlpumpe         | 13 Vorwärmer                  |
| 6 Dampfumformer             | 14 Primärspisewasser-Behälter |
| 7 Gaskühler                 | 15 Schornstein                |
| 8 Rückhaltebehälter I       |                               |

Im Rahmen der allgemeinen Betriebskontrolle wird an zehn Stellen im Reaktorgebäude, Abfallaufbereitungsgebäude, Maschinenhaus und in der Schaltwarte die radioaktive Strahlung gemessen. Praktisch jeder Kreislauf in der Anlage wird auf Radioaktivität hin überwacht. Ferner werden alle abgegebenen Stoffe (Abluft, Abwasser usw.) laufend überwacht. Die Kontrolle und Auswertung der anfallenden Meßergebnisse obliegen der Strahlenschutzgruppe. Ebenso hat sie z. T. in Zusammenarbeit mit der radiochemischen Gruppe die diskontinuierlichen Messungen vor der Abgabe von radioaktiven Stoffen durchzuführen. So dürfen z. B. die Prüf- und Speicherbehälter erst in das Kraftschlußbecken abgelassen werden, wenn nach einer Messung der Volumenaktivität des Wassers eine Freigabebestätigung der Strahlenschutzgruppe vorliegt.

Wenn auch bei einem Leistungsreaktor mit bedeutend weniger Umbauten im Strahlungsfeld als bei einem Forschungsreaktor zu rechnen ist, so werden doch auch hier Wartungsarbeiten durchzuführen sein. Sobald dabei mit dem Auftreten erhöhter Strahlung zu rechnen ist, werden diese Arbeiten vorher mit der Strahlenschutzgruppe abgesprochen, und diese Gruppe übernimmt mit ihren Strahlungsmessgeräten den Schutz der Arbeitenden. Regelmäßig wird die Strahlenschutzgruppe beim Umladen der Brennstoffelemente im Reaktor, beim Entladen der verbrauchten Brennstoffelemente sowie beim Beladen des Transportbehälters zum Abtransport zur Aufbereitung die Messung der Strahlendosisleistungen übernehmen.

Zur Durchführung dieser Untersuchungen ist das radiochemische Laboratorium mit zwei Isotopenabzügen, einem Doppelarbeitstisch, einem Wandarbeitstisch, einer aktiven Spüle und einem mit Strahlungsmessgeräten und Gammaspektrometer ausgerüsteten Zählraum versehen. Der Laboratoriumsraum ist mit 2900 m<sup>3</sup>/h Frischluft, die zu 40% über die Isotopenabzüge abgesaugt wird, und der Zählraum mit 800 m<sup>3</sup>/h teilklimatisiert. Ein Labormonitor und ein Radimeter überwachen die Arbeitsplatz- und Raumaktivität.

Durch den Strahlenschutz wird der Aerosolgehalt der Laboratoriumsluft diskontinuierlich in unregelmäßiger Folge und bei evtl. notwendigen Anlässen überwacht.

Radiochemische und Strahlenschutzgruppe führen zusammen die Überwachung der Umgebung des Versuchsatomkraftwerks auf Radioaktivität durch, wie sie im letzten Abschnitt beschrieben ist.

#### AUFBEREITUNG VON RADIOAKTIVEN ABFÄLLEN

Wie die bisherige Betriebsstatistik von Reaktorstationen zeigt, sind größere Unfälle in diesem Zweig der Technik recht selten. Doch auch kleinere Unfälle und Störfälle, bei denen nur geringfügige Aktivitäten frei werden, treten

Tabelle 1: Aktivierung des Kühlmittels

Reaktion	Halbwertszeit	Bildungsrate $\mu\text{c/sec}$	Reaktion verläuft mit Neutronen
$^2\text{H} (n,\gamma) ^3\text{H}$ . . .	12,16 a	2,3	thermischen
$^{16}\text{O} (n,p) ^{16}\text{N}$ . . .	7,35 sec	$1,2 \cdot 10^8$	schnellen
$^{17}\text{O} (n,p) ^{17}\text{N}$ . . .	4,14 sec	$3,4 \cdot 10^4$	schnellen
$^{18}\text{O} (n,\gamma) ^{19}\text{O}$ . . .	29 sec	$7,4 \cdot 10^6$	thermischen

kaum auf, da überall streng auf ein lückenloses System zur Verarbeitung und Lagerung von radioaktivem Material, insbesondere radioaktiver Abfälle, geachtet wird.

Wie jeder Betrieb, so hat auch ein Atomkraftwerk Abfälle. Das Besondere ist nur, daß hier, wie bei jeder Kernenergieanlage, diejenigen Stoffe radioaktiv werden, die mit Neutronen in Wechselwirkung treten. Diese Materialien sind teilweise Bauteile, teilweise Betriebsmittel, und zwar:

- Kernbrennstoff,
- Reaktormoderator und -kühlmittel,
- Reaktordruckgefäß und seine Einbauten,
- Luft im Ringspalt zwischen Druckgefäß und biologischer Abschirmung.

Die Aktivität des Reaktordruckgefäßes und seiner Einbauten hat für diese Betrachtung hier nur insoweit Bedeutung, als Korrosions- oder Erosionsprodukte in die Betriebsmittel und die Luft des Reaktor Gebäudes gelangen.

Die im Atomkraftwerk anfallenden radioaktiven Stoffe werden entsprechend ihrem Aggregatzustand getrennt aufbereitet und gelagert bzw. nach Unterschreiten der maximal zulässigen Konzentration aus der Anlage abgeleitet.

**Gasförmige Abfallstoffe**

Radioaktive Gase fallen durch Aktivierung des Kühlwassers und durch Freisetzen von Spaltprodukten bei undichten Brennstoffelementen im Reaktor an.

Bei einer thermischen Leistung von 60,4 MW entstehen im Normalbetrieb mit unbeschädigten Brennelementen durch Aktivierung des Kühlmittels die in Tab. 1 angegebenen Aktivitäten.

Da Wasserstoff und Sauerstoff in der Kontakttanlage zu Wasser reagieren und in den Primärkreis zurückgelangen, sind die Aktivitäten der Restgase N-16 und N-17 in Anbetracht ihrer geringen Halbwertszeit von untergeordneter Bedeutung.

Auf Grund amerikanischer Untersuchungen<sup>2)</sup> ist bei dem Kernbrennstoff, wie er in Kahl Verwendung findet, bei einer Leckstelle von 0,13 mm  $\phi$  mit einer Freisetzung von ca. 90  $\mu\text{c/sec}$  an Krypton, Xenon, Jod und Brom zu rechnen.

Wie aus Abb. 20 zu ersehen ist, wird an der Primärseite des Wärmeaustauschers an verschiedenen Stellen ein Dampf-Gas-Gemisch abgesaugt. Der freie Wasserstoff und

Tabelle 2: Bildungsraten der Luftaktivität

Reaktion	Halbwertszeit	Bildungsrate der Aktivität $\mu\text{c/sec}$
$^{16}\text{O} (n,p) ^{16}\text{N}$ . . . . .	7,35 sec	3
$^{17}\text{O} (n,p) ^{17}\text{N}$ . . . . .	4,14 sec	$5 \cdot 10^{-4}$
$^{18}\text{O} (n,\gamma) ^{19}\text{O}$ . . . . .	29 sec	$3 \cdot 10^{-2}$
$^{40}\text{Ar} (n,\gamma) ^{41}\text{Ar}$ . . . . .	1,82 h	14

<sup>2)</sup> Westinghouse Electric Corp., Atomic Power Div., WAPD 183.

Sauerstoff, der sich durch Radiolyse bildet, reagiert in der Kontakttanlage zu Wasser und fließt zum Reaktorspeisewasser zurück: Die verbleibenden Restgase strömen durch die Verweilbehälter über die Meßstrecke und Ultra-Feinfilter mit der Abluft der Teilklimaanlage durch den Kamin ins Freie:

Die Rückhaltebehälter sind so angelegt, daß die radioaktiven Restgase jeweils während 10 Tagen gesammelt und für weitere 9 Tage gelagert werden können. Am 20. Tag sind diese Gase mit der gesamten Abluft der Teilklimaanlage von 28 800  $\text{m}^3/\text{h}$  über den Kamin in die Atmosphäre abzublasen.

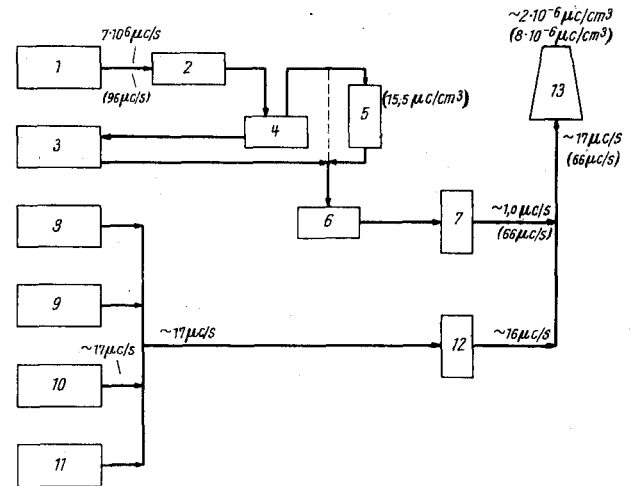


Abb. 21: Flußschema des gesamten Abgassystems und der Teilklimaanlage mit Aktivitätsangaben (Werte in Klammern geben die zusätzlich auftretenden Aktivitäten bei einem beschädigten Brennstoffstab an).

- 1 Dampfmformer
- 2 Katalytische Verbrennungsanlage
- 3 Primärspisewasser-Behälter
- 4 Gaskühler
- 5 Zwei Rückhaltebehälter (Aktivität nach 19 Tagen Speicherzeit bei 150 l Gasvolumen)
- 6 Vakuumpumpen
- 7 Abgasfilter
- 8 Aufbereitungsgebäude
- 9 Betriebsgebäude
- 10 Ringspalt (Reaktordruckgefäß)
- 11 Reaktorgebäude
- 12 Abluftfilter
- 13 Schornstein

Bei einer anfallenden Aktivität an Xe, Kr, J und Br von 90  $\mu\text{c/sec}$  befinden sich nach 10 Tagen kontinuierlicher Gasspeicherung 6,8 Curie in einem Behälter. Nach weiteren 9 Tagen Lagerung ist die Aktivität auf 2,9 Curie abgesunken. Am Schornsteinaustritt ergibt sich durch die Verdünnung mit der Gesamt-Abluft der Teilklimaanlage eine Aktivität von  $4 \cdot 10^{-6} \mu\text{c/cm}^3$ . Durch die Verdünnung mit der freien Atmosphäre und die Verteilung in alle Windrichtungen ist ein zusätzlicher Verdünnungsfaktor von größer als  $10^4$  sichergestellt.

Die Luft im Ringspalt zwischen Reaktordruckgefäß und biologischer Abschirmung wird durch den thermischen Neutronenstrom von etwa  $5 \cdot 10^9 \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$  aktiviert. Es ist konstruktiv Sorge getragen, daß dieser Ringspalt weitgehend luftdicht zum Reaktor Gebäude abschließt, so daß eine geringe Saugleistung von maximal 300  $\text{m}^3/\text{h}$  einen Unterdruck gegenüber dem Luftdruck im Reaktor Gebäude sicherstellt. Die entstehende Aktivität ist, abgesehen von Ar-41, im Hinblick auf die geringe Halbwertszeit von untergeordneter Bedeutung (Tab. 2). Durch die Verdünnung mit der gesamten Abluft beträgt die Ar-41-Aktivität am Kaminaustritt  $2 \cdot 10^{-6} \mu\text{c/cm}^3$ . Eine weitere Verdünnung mit der Atmosphäre, wie bereits vorher beschrieben, reduziert den Wert auf etwa  $10^{-10} \mu\text{c/sec}$ .

Abb. 21 zeigt das Flußschema des gesamten Abgassystems und der Teilklimaanlage mit den im Normalbetrieb und

im Störfall mit beschädigten Brennelementen auftretenden Aktivitäten.

### Flüssige Abfallstoffe

Die im Wasser gelösten radioaktiven Stoffe stammen ausnahmslos aus dem Reaktorkühlmittel und bestehen daher im Normalfall aus den aktivierten Restsalzen des Reaktorkühlwassers und aus den im Wasser gelösten oder suspendierten Korrosions- bzw. Erosionsprodukten des für den Primärkreis verwandten Konstruktionsmaterials und der Brennstoffhüllen.

Tab. 3 zeigt die im Primärwasser erwarteten Korrosionsprodukte nach einigen Jahren Betriebszeit. Zunächst ist die Aktivität von Mn-56 vorherrschend. Ist der Reaktor jedoch längere Zeit abgeschaltet oder sind die Korrosionsprodukte längere Zeit aus dem Strahlungsbereich heraus, so wird die Aktivität der Korrosionsprodukte durch die des Co-60 bedingt.

Tabelle 3: Korrosionsprodukte im Primärwasser

Aktives Isotop	Halbwertszeit	Aktivität $10^{-3} \mu\text{e/cm}^3$
Cr—51	27,8 d	8
Mn—56	2,58 h	30
Fe—59	46 d	0,3
Co—58	71 d	3
Co—60	5,3 a	112
Ni—65	2,6] h	2
Cu—64	18,8 h	0,1
Zr—95	60 d	9

Bei Beschädigung der Brennstoffhüllen treten zusätzliche Spaltprodukte in das Primärwasser über. Wie bereits früher erwähnt, entweichen vorwiegend die gasförmigen Spaltprodukte; feste Spaltprodukte nur soweit, als sie in dem gesinterten  $\text{UO}_2$  durch Diffusion zur Oberfläche gelangen und in Lösung gehen.

Abb. 22 zeigt das Schaltschema der Abwasserreinigungsanlage, die sich wie folgt aufgliedert:

- Sammlung der anfallenden Wasser
- Verarbeitung der gesammelten Wasser
- Lagerung der radioaktiven Konzentrate.

Die Sammelanlage für radioaktive Wasser soll alle aktiven und möglicherweise aktiven Abwasser gemeinsam zur Aufbereitungsanlage weiterleiten.

Dies betrifft: Alle Leckwässer der Armaturen, Pumpen und Regelstabdurchführungen im Reaktorgebäude fließen zum aktiven Sammelbehälter. In diesen Behälter werden ebenfalls bei einer evtl. Reinigung von Primärkreisteilen die benötigten Spüllösungen eingeleitet.

Sollte bei Reparaturen oder evtl. Undichtigkeiten im Reaktorgebäude Wasser frei werden, so fließt dieses über die Gebäudeentwässerung zum Sumpf.

Die Abwässer aus dem Laboratorium werden im Laborabwasserbehälter und die Abwässer aus der Wäscherei und der sanitären Einrichtung des Kontrollbereiches im Wäschereiabwasserbehälter gesammelt.

Die evtl. radioaktiven Leckwässer aus dem Aufbereitungsgebäude fließen über die Gebäudeentwässerung zum Sumpf des Aufbereitungsgebäudes.

Alle in den Sammelbehältern vereinten Abwässer werden in den einzelnen Teilen der Aufbereitungsanlage behandelt und dekontaminiert.

Der Primärkreislauf wird im Beipß über zwei parallel geschaltete Mischbettfilter kontinuierlich gereinigt. Das Wasser des Elementabklingbeckens wird über ein mechanisches Filter geführt. Schadhafte Brennstoffelemente werden, soweit ihr Schaden während des Reaktorbetriebes erkannt wurde, vor dem Entladen im Druckgefäß in

Büchsen gasdicht verpackt. Sollte jedoch Aktivität in das Kühlwasser des Elementbeckens dadurch gelangen, daß die Elemente erst im Becken schadhafte werden, so wird das Wasser über das Mischbettfilter der Aufbereitungsanlage gereinigt.

Zur Reinigung der aktiven Wasser ist vorgesehen:

Die salzreichen oder möglicherweise organisch verschmutzten Abwässer strömen über den Verdampfer-Speisewasserbehälter dem Verdampfer zu, nachdem im Neutralisationsbehälter ein pH-Wert von etwa 8 eingestellt wurde. Durch Probeentnahme und Untersuchung im Betriebslaboratorium werden die Radioaktivität, der Salzgehalt und der pH-Wert überwacht. Ein Antischaummittel kann notfalls dem Verdampferinhalt zudosiert werden. Der Verdampferbrüden strömt über eine Raschig-Ringsäule zum Kondensator. Eine über der Raschig-Ringfüllung angebrachte Kühlung regelt den Rücklauf und damit den Abscheidegrad des Verdampfers. Der Abscheidegrad wird auf etwa  $10^6$  gehalten. Das Destillat fließt aus dem Kondensator in den Abwassersammelbehälter, in dem die salzarmen Abwässer gesammelt werden. Das Verdampferkonzentrat wird diskontinuierlich zum Konzentratsammelbehälter gedrückt und die Konzentratleitung anschließend freigespült. Für eine evtl. Reinigung des Verdampfers ist ein Verteillerring, durch den Reinigungslösung, evtl. Säure, eingespült werden kann, oberhalb der Heizschlange eingebaut.

In den Abwassersammelbehälter fließen, wie gesagt, das Verdampferdestillat und darüber hinaus die salzarmen Abwässer aus dem Sammelbehälter des Reaktorgebäudes. Sollte jedoch durch eine Spüllösung das Wasser dieses Sammelbehälters salzreich sein, wird es in den Neutralisationsbehälter geführt.

Die in dem Abwasserbehälter vereinten Wasser werden durch Ionenaustausch gereinigt. Das aus dem Sammelbehälter auströmende Wasser fließt darum über ein doppelstöckiges Mischbettfilter. Durch die Anordnung eines doppelstöckigen Filters ist die Möglichkeit gegeben, die verschiedenen Filtermaterialien und -anordnungen auszuprobieren. Der Abscheidegrad für dieses Mischbettfilter beträgt etwa  $10^6$ . Eine Regeneration der Austauscherharze ist nicht vorgesehen. Das Filter wird jeweils mit frischem Material gefüllt und dieses nach Erschöpfung in den Harzsammelbehälter gespült. Das Harzförderwasser fließt zum Abwassersammelbehälter zurück.

Das gereinigte Wasser strömt von dem Austauscherfilter den beiden Prüf- und Speicherbehältern zu. Nach Untersuchung im Betriebslaboratorium wird es entweder über einen Speicherbehälter zum Primärkreis zurückgeführt oder aber in das Kraftschlußbecken des Maschinenkühlwassers geleitet. Die Verdünnung mit dem Turbinenkühlwasser beträgt 1:2000. Eine kontinuierliche Radioaktivitätsüberwachung und Mengenregistrierung ist dazwischengeschaltet, die beim Überschreiten der vorgegebenen Konzentration des unverdünnten gereinigten Wassers von  $3 \cdot 10^{-5} \mu\text{e/cm}^3$  die Leitung zum Kraftschlußbecken automatisch schließt. Um die Verdünnung sicherzustellen, ist eine automatische Steuerung vorgesehen, die bei Ausfall der Turbinenkühlung die Leitung des aktiven Abwassers zum Kraftschlußbecken schließt.

Im grundwassersicheren Lager für flüssige Abfälle befinden sich ein  $30\text{-m}^3$ -Behälter für das Verdampferkonzentrat und ein  $10\text{-m}^3$ -Behälter für verbrauchtes Austauschermaterial. Sollte ein Behälter gefüllt sein, so wird in einem neu zu errichtenden Behälter das dann anfallende Konzentrat weiter gesammelt, sofern es bis dahin keine zentralen Sammelstellen für radioaktive Abfälle geben sollte. Durch die Anordnung von Behältern in grundwassersicheren Gebäuden ist es praktisch unmöglich, daß Radioaktivität unkontrolliert ins Grundwasser gelangt.

### Feste Abfälle

Im Versuchsatomkraftwerk Kahl werden alle radioaktiven festen Abfälle im Lager für Feststoffe, einer wasserdichten hochwassersicheren Betonkammer, aufbewahrt. Dieses Lager ist in drei Kammern unterteilt: zwei für Abfallstoffe und eine für verbrauchte Regelstäbe. Betonschwellen decken die Kammern nach oben ab und sichern gleichzeitig gegen evtl. Strahlung. Ein zusätzliches Regendach schützt das Lager gegen Feuchtigkeit. Trotzdem sind in die Kammern Sümpfe eingebaut, um evtl. anfallendes Schwitzwasser zu sammeln und diskontinuierlich abzapfen.

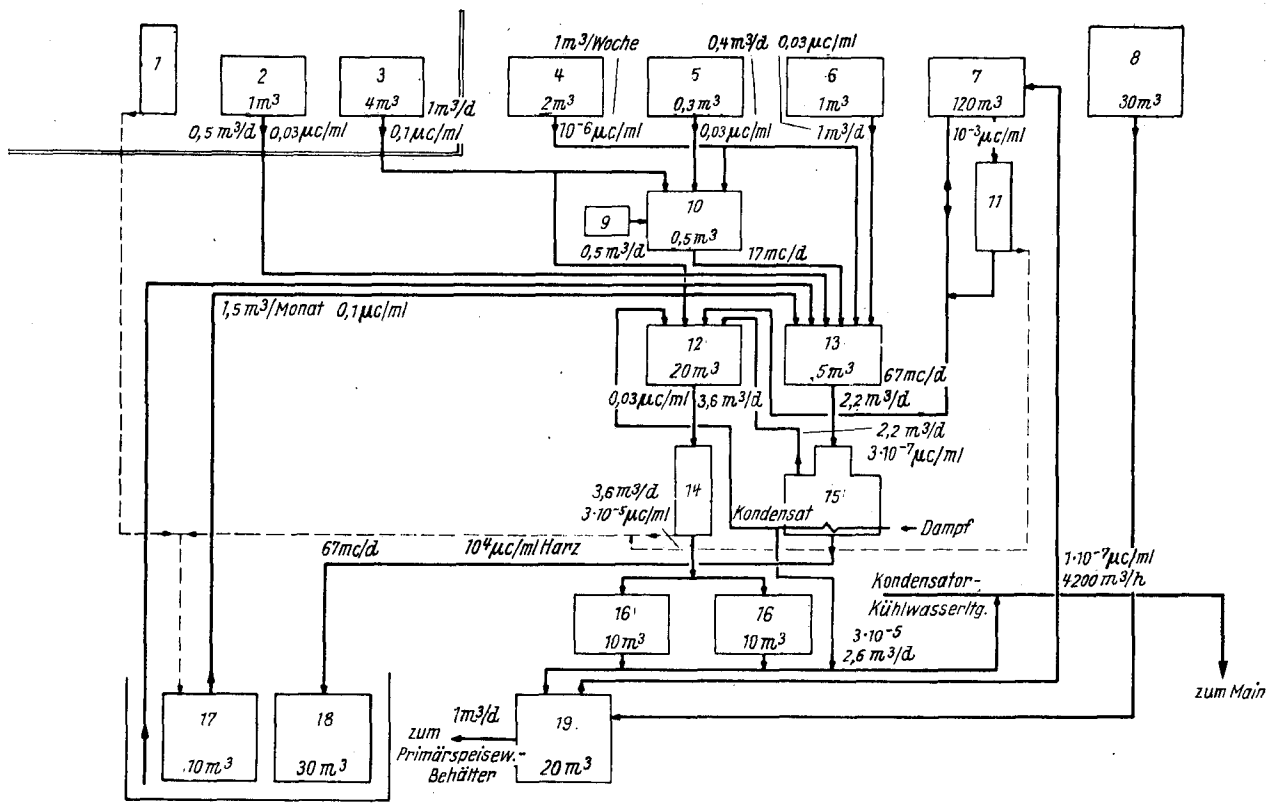


Abb. 22: Schaltschema der Abwasser-Reinigungsanlage.

- |  |  |
|--|--|
| 1 Primärreinerungsfilter                   | 11 Filter                                      |
| 2 Sumpf im Reaktorgebäude                  | 12 Abwasser-Sammelbehälter                     |
| 3 Aktiver Sammelbehälter                   | 13 Verdampfer-Speisewasserbehälter             |
| 4 Wäscherei-Abwasserbehälter               | 14 Mischbettfilter (Abstreiffaktor $10^{-3}$ ) |
| 5 Labor-Abwasserbehälter                   | 15 Verdampfer (Abstreiffaktor $10^{-5}$ )      |
| 6 Sumpfabwasser-Aufbereitung               | 16 Prüf- und Speicherbehälter                  |
| 7 Abklingbecken                            | 17 Harz-Auffangbehälter                        |
| 8 Vorratsbehälter für aufbereitetes Wasser | 18 Konzentrat-Sammelbehälter                   |
| 9 NaOH                                     | 19 Auffüllbehälter                             |
| 10 Neutralisationsbehälter                 |  |

In den Kammern für feste Abfälle sind auch die mit evtl. radioaktiven Aerosolen beladenen, verbrauchten Luftfilter aufzubewahren. Selbstverständlich gelangen alle Teile nur luftdicht verpackt in das Abfallager. Darüber hinaus werden die von den chemischen Betriebsuntersuchungen herührenden radioaktiven Abfälle, in Plastikbeutel luftdicht verschweißt, in unzerbrechlichen Behältern gelagert.

#### ÜBERWACHUNG DER REAKTORUMGEBUNG

Wie bisher ausgeführt, ist Vorsorge getroffen, daß keine Radioaktivität, sei sie gasförmig, flüssig oder fest, unkontrolliert in die Reaktor Umgebung gelangt. Trotzdem wird laufend in der gesamten Umgebung der Aktivitätsspiegel in Luft, Wasser, Boden, Pflanzen und Tieren überwacht.

#### Luft und Niederschläge

Durch die Ausarbeitung eines Gutachtens des Deutschen Wetterdienstes über die klimatologischen Verhältnisse am Standort des Versuchsatomkraftwerkes sind die Großraum-Luftbewegungen in Kahl bekannt. Luftbewegung, Richtung und Geschwindigkeit in 30 m Höhe werden durch eine Windmeßstation auf dem Dach des Maschinenhauses laufend gemessen und registriert.

Die Abluft der Reaktoranlage wird durch kontinuierliche Messung der Aktivität der Gase und der Aerosole überwacht. Sollte der eingestellte Wert, der durch Auflagen der Genehmigungsbehörde auf  $1,2 \cdot 10^{-5} \mu\text{C}/\text{cm}^3$  für Ar-41 und auf  $4 \cdot 10^{-11} \mu\text{C}/\text{cm}^3$  für nicht analysierte Aerosole festgelegt wurde, überschritten werden, so ertönt Alarm, und die Beseitigung dieser Störung wird schnellstens vorgenommen.

Darüber hinaus wird durch ständige Untersuchung von Haftplatten, die im wöchentlichen Turnus gewechselt werden, die weitere Umgebung auf Aktivität überwacht. Diskontinuierliche Untersuchungen der Umgebungsluft mit elektrostatischen Staubabscheidern und Zelluloseasbest-Filtergeräten werden ebenfalls durchgeführt. Mit einem Großflächenzählrohr werden  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlenpegel der Kraftwerksumgebung kontinuierlich gemessen und registriert. Die Meßstelle ist auf dem Dach des Betriebsgebäudes untergebracht.

#### Grund- und Oberflächenwasser

Obwohl eine Kontaminierung des Grundwassers unmöglich ist, wird entsprechend der Auflage der Genehmigungsbehörde die Aktivität des Grundwassers aus 13 Grundwasserüberwachungsbrunnen, zwei Seen und zwei Wasserwerken in wöchentlicher Folge überwacht. Ein Test- und Sicherungsbrunnen, der mit seinem Absenkrichter die Anlage umfaßt, ist versuchsweise errichtet worden und soll einige Zeit lang betrieben werden. Das Mainwasser oberhalb und unterhalb der Anlage wird im wöchentlichen Turnus auf die Gesamt- $\beta$ -Aktivität untersucht; der Glührückstand des Bodenschlammes an den beiden Meßstellen monatlich und der Glührückstand von Plankton und Wasserpflanzen vierteljährlich.

#### Boden

Die Aktivität des Bodens samt den darauf stehenden Pflanzen wird in halbjährlichem Rhythmus bis zu einem Umfang von 8 km um den Reaktorstandort an festgelegten Probeentnahmestellen von einem Hochschulinstitut untersucht.



### Flora

Ein botanisches Institut hat an über 100 Untersuchungsstellen in der Reaktorumgebung eine Bestandsaufnahme der Pflanzenwelt in physiologischer sowie soziologischer und genetischer Beziehung mit Berücksichtigung von Forstwirtschaft und Sonderkulturen durchgeführt. Durch eine Vergleichsuntersuchung kann jederzeit während der Dauer des Reaktorbetriebes eine Aussage über die Veränderung in der Pflanzenwelt gegeben werden.

Durch die Bayerische Landesanstalt für Moortwirtschaft und Landkultur, München, werden jährlich Untersuchungen über das mikrobiologische Gleichgewicht durchgeführt. Durch die Eigenart der Mikroorganismen, stark selektiv bestimmte Elemente zu absorbieren, würden evtl. morphologische Veränderungen, die auf Grund einer vielleicht möglichen Radioaktivitätserhöhung zurückzuführen wären, am ehesten erkannt werden.

### Fauna

Ab Frühjahr 1961 werden im Bereich des Versuchsatomkraftwerkes Kahl fünf Milchschafe gehalten und mit Futter aus der Umgebung des Reaktors gefüttert. Ihre Milch wird vierteljährlich einmal auf Gesamt- $\beta$ -Aktivität untersucht. Auflage der Genehmigungsbehörde ist es darüber hinaus, jährlich ein Schaf zu schlachten und Knochen und einige charakteristische Organe dieses Tieres auf den Radioaktivitätsgehalt zu untersuchen.

Nach Inbetriebnahme des Reaktors, d. h. im Frühjahr 1961, sind entsprechend der Auflage der Genehmigungsbehörde einige Bienenvölker in der Reaktorumgebung zu halten. Pollenstaub und sonstiges Material aus diesen Bienenstöcken werden einmal im Sommer auf ihre Gesamt- $\beta$ -Aktivität untersucht.

Diese Untersuchungen werden durch die Bayerische Biologische Versuchsanstalt, München, durchgeführt.

### ZUSAMMENFASSUNG

Durch alle diese Maßnahmen soll erreicht werden, daß der Betrieb des Versuchsatomkraftwerkes sicher ist. Im Normalbetrieb werden nur geringfügige Aktivitäten im Abgas und im Abwasser kontrolliert abgegeben. Eine Strahlenbelastung der Umgebung wird im Normalbetrieb kaum nachweisbar sein. Durch die aufgeführten Strahlenschutzmaßnahmen und die Betriebsüberwachung ist auch dafür gesorgt, daß die Strahlenbelastung des Personals gering bleibt.

Diese außerordentlich weitgehenden Schutzmaßnahmen lassen erwarten, daß wie in den USA so auch in Deutschland der Betrieb von Reaktoranlagen zu der Industrie mit der geringsten Unfallquote werden wird.

DK 621.039.58(43) Kahl:614.898

## MESS-, STEUER- UND SCHUTZSCHALTUNGEN FÜR DAS VERSUCHSATOMKRAFTWERK KAHL

VON DIPL.-ING. H. SCHULZE, DIPL.-ING. P. NIKOLAUS, DIPL.-ING. R. DYCK,  
FRANKFURT/MAIN\*)  
UND DIPL.-ING. K. PEUSTER, ESSEN\*\*)

Die Beschreibung der gesamten Instrumentierung des Atomkraftwerkes Kahl würde den hier zur Verfügung stehenden Raum weit überschreiten. Es wird deshalb nur die für ein Kernkraftwerk typische Instrumentierung behandelt; d. h. nicht behandelt wird die in einem konventionellen Kraftwerk ebenso vorhandene sowie die auch bei Forschungsreaktoren für den Strahlenschutz erforderliche Instrumentierung. Die erste Gruppe wird als bekannt vorausgesetzt, die zweite wird bei der Behandlung des Strahlenschutzes gewürdigt (siehe S. 50 ff.).

In Abb. 23 sind diejenigen Geräte und Kreisläufe gezeigt, deren Instrumentierung hier beschrieben wird: der Primärkreislauf mit dem Reaktor, der Sekundärkreislauf mit Turbosatz, Kondensator und Speisepumpe und der Wärmetauscher als Mittler zwischen beiden Kreisläufen.

### TECHNISCHE GRUNDLAGEN

Der Reaktor ist die Wärmequelle des Versuchsatomkraftwerkes. Die erzeugte Wärme wird vom Primärkreislauf in Form von Satttdampf konstanten Druckes abgeführt, im Wärmetauscher an den Sekundärkreislauf übertragen. Der Sekundärkreislauf führt Satttdampf in konstanten Druckes, dessen Energie über den Turbosatz als Nutzenergie in das Netz und über den Kondensator als Verlustenergie an das Kühlwasser abgegeben wird.

Die Leistung der Anordnung wird am Turbosatz eingestellt; der Reaktor hat sich der geforderten Leistung anzupassen. Mit

steigendem Leistungsdurchsatz nimmt der Temperaturabfall im Wärmetauscher zu, Daher sinken Druck und Temperatur des Sekundärdampfes bei steigender Belastung.

Der Reaktor folgt der Belastung mit Hilfe seines Reglers; da dieser Regler nicht beliebig schnellen Belastungsänderungen folgen kann, sind im Sekundärkreislauf Maßnahmen getroffen, um die dem Turbosatz abverlangten Laständerungen in hinreichend gemilderter Form an den Reaktor weiterzugeben.

### INSTRUMENTIERUNG IM KONVENTIONELLEN ABSCHNITT

Diese Instrumentierung wird hier nur soweit behandelt, als sie mit Rücksicht auf den Reaktor über das Konventionelle hinausgeht.

Dem normalen Turbinenregler ist eine Vordruckgrenzregelung übergeordnet, deren Aufgabe es ist, bei raschen Laständerungen sowohl plötzliche Druckabsenkungen, u. U. sogar mit Wasserschlag, als auch die Bildung von Dampfstaunungen zu verhindern. Bei rascher Druckabsenkung infolge erhöhter Dampfenahme wird die Dampfzufuhr zur Turbine gedrosselt, bei rascher Druckerhöhung wird über ein Turbinenumleitventil Entlastung zum Kondensator hin geschaffen. Im Grenzfall des völligen Lastabwurfs schließt das Turbineneinlaßventil und öffnet das Turbinenumleitventil völlig.

\*) AEG, Abtlg. KEA, Meßwesen.

\*\*\*) RWE, Abtlg. KW/KE, Meßwesen.

Die Vordruckregelung spricht bei Überschreiten der Grenzen eines vorgegebenen Vordruckbandes an; dieses liegt allerdings, wegen des Gleitdruckbetriebes auf der Sekundärseite, nicht starr fest, sondern erstreckt sich im ungestörten Betrieb beiderseits des gerade gefahrenen Betriebsdrucks. Bei plötzlicher Druckänderung wird das Vordruckband langsam dem neuen Druck nachgeführt, so daß die von der Vordruckgrenzregelung getroffenen Eingriffe nach und nach automatisch zurückgenommen werden. Die Vordruckregelung greift nicht ein, solange Lastsprünge nicht 4% der Nennleistung übersteigen oder sich die Last nicht schneller als um 0,2% der Nennleistung je Sekunde ändert.

Der sekundäre Füllstand im Wärmetauscher wird mit einem an sich bekannten Dreikomponentenregler gehalten; der Sollfüllstand steigt etwas mit steigender Leistung. Die Regelung des Füllstandes im Reaktor ergibt sich zwangsläufig durch die Notwendigkeit, zur Reinigung ständig einen Anteil aus dem Primärkreislauf in die Primärwasserreinigung abzulassen und die entsprechende Menge Zusatzwasser nachzufüllen. Diese Regelung ist auch in der Lage, die temperaturbedingten Schwankungen des Reaktorfüllstandes auszugleichen.

Der Primärkreis enthält keinerlei Durchflußmessungen, da die dazu nötigen Einbauten den Naturumlauf stärker stören würden, als es der Wunsch nach Information rechtfertigen könnte.

#### Störungsschnellschreiber

Wenn auch von vornherein durch entsprechende Auslegung die Anfälligkeit des Versuchsatomkraftwerkes zu Störungen möglichst gering gehalten ist, so soll doch nicht auf die Information verzichtet werden, die eine trotz allem eingetretene Störung liefern kann. Es sind daher Schnellschreiber eingesetzt, die als Meßgrößen die Neutronenflußdichte, den Primär- und Sekundärdruck sowie als Zeitmarken die Stellung verschiedener Pumpen, Ventile, Steuerstäbe (bis zu 80 Marken) usw. aufzeichnen. Im ungestörten Betriebszustand beträgt der Vorschub 20 mm/h, nach einer Störung für die Meßgrößen und einen Teil der Zeitmarken 30 mm/min., für den Rest der Zeitmarken 20 mm/sec. Außerdem sind noch die üblichen Spannungsschnellschreiber eingesetzt.

Da zur Zeit noch nicht abzusehen ist, welche Informationen wertvoll sein könnten, kann die Belegung der Zeitmarkenschleifen leicht geändert werden.

#### EIGENTLICHE REAKTORINSTRUMENTIERUNG

Zur eigentlichen Reaktorinstrumentierung gehören: die Erfassung konventioneller und nuklearer Meßgrößen, ihre Verwendung für Anzeige, Steuerung, Regelung und Schutz sowie die Beeinflussung der Stellglieder.

#### Erfassung der Meßgrößen

An konventionellen Meßgrößen werden *Temperaturen, Druck* und *Füllstand* am Reaktor erfaßt. Die dazu benötigten Geräte sind grundsätzlich bekannt und in der Literatur behandelt. Es ist zu bemerken, daß jede Größe mehrfach erfaßt wird, sowohl für kontinuierliche Anzeige als auch für Grenzwertfassung. Dies geschieht nicht nur, weil sich in einem so großen Gefäß, wie es der Reaktor darstellt, vorübergehend wissenswerte Inhomogenitäten einstellen können, sondern auch, damit falsche Angaben einwandfrei als solche erkannt werden können und die Behebung der entsprechenden Fehler ohne Nachteil für den Betrieb zu einer gelegenen Zeit vorgenommen werden kann. Soweit irgend möglich, ist jede Fühlstelle unabhängig von den anderen (eigene Stützen, Rohrleitungen u. dgl.) aufgebaut.

Diese mehrfache Erfassung erfolgt auch bei den nuklearen Größen. Den Aufbau der *nuklearen Messung* zeigt Abb. 24. Da die Neutronenflußdichte sich über viele Dekaden hin-

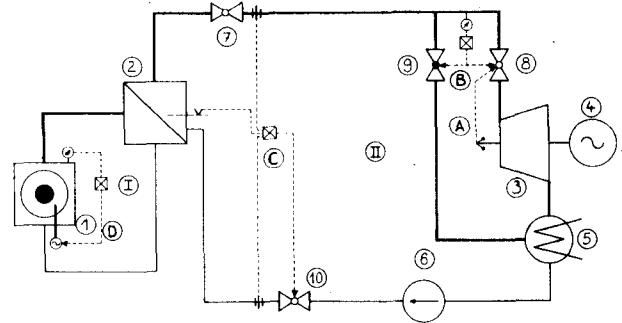


Abb. 23: Grundschialtung

I Primärkreis, II Sekundärkreis, 1 Reaktor, 2 Wärmetauscher, 3 Turbine, 4 Generator, 5 Kondensator, 6 Sekundärspieispumpe, 7 Frischdampfventil, 8 Schnellschluß- und Regelventil, 9 Turbinenumleitventil, 10 Speisewasserregelventil; A Drehzahlregler, B Vordruckgrenzregler, C Wärmetauscherfüllstandsregler, D Reaktorregler.

weg ändern kann, erfolgt die Messung in drei Kanalgruppen, die sich gegenseitig überlappen. Zwei Zählrohrkanäle überstreichen den Bereich von  $10^{-9}$  bis  $10^{-3}$ , zwei Ionisationskammerkanäle den Bereich von  $10^{-7}$  bis 1 und drei Ionisationskammerkanäle den Bereich von  $10^{-8}$  bis 1,5 der Nenn-Neutronenflußdichte. Die ersten beiden Kanalgruppen haben logarithmische Anzeige und erfassen auch die inverse Reaktorperiode, die letzte Kanalgruppe hat lineare Anzeige. Damit im ganzen nutzbaren Bereich eine einwandfreie lineare Ablesung möglich ist, können je Kanal mit einem Vielfachumschalter 19 Meßbereiche mit einem gegenseitigen Abstand von etwa einer halben Dekade ausgewählt werden.

Die Meßfühler sind in eigenen Rohrkanälen im biologischen Schild über den Reaktorumfang verteilt angeordnet. Die Ionisationskammern verbleiben stets in ihrer Betriebsstellung. Die Zählrohre befinden sich beim Anfahren in der Betriebsstellung; bei steigender Neutronenflußdichte werden sie zunächst in eine Zwischenstellung gezogen, in welcher die Meßempfindlichkeit um eine Dekade geringer ist; anschließend werden sie in eine Ruhestellung zurückgezogen, damit sie nicht unnötig verbraucht werden.

Die Beschaltung dieser Kanäle mit anzeigenden und schreibenden Geräten, mit Wächtern zur Abgabe von Meldungen und zum Eingriff in Reaktorsteuerung und -schutz sowie mit Regeleinflüssen ist in Abb. 24 dargestellt. Es ist dabei zu beachten, daß die Wächter in den linearen Kanälen (Leistungskanälen) nicht auf den Absolutwert der Flußdichte, sondern auf den Anzeigewert des jeweils eingestellten Meßbereichs eingestellt sind.

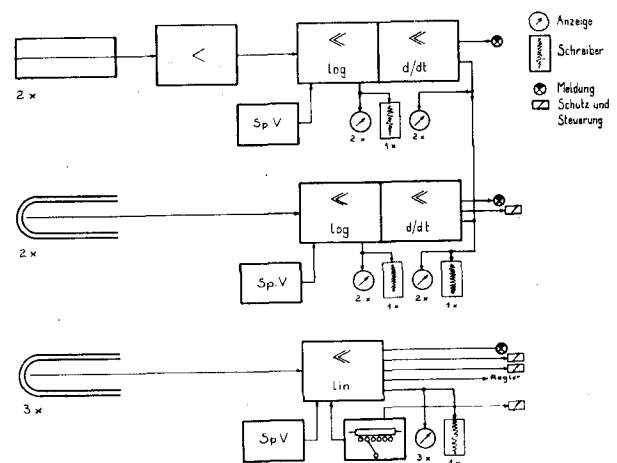


Abb. 24: Neutronenmessung

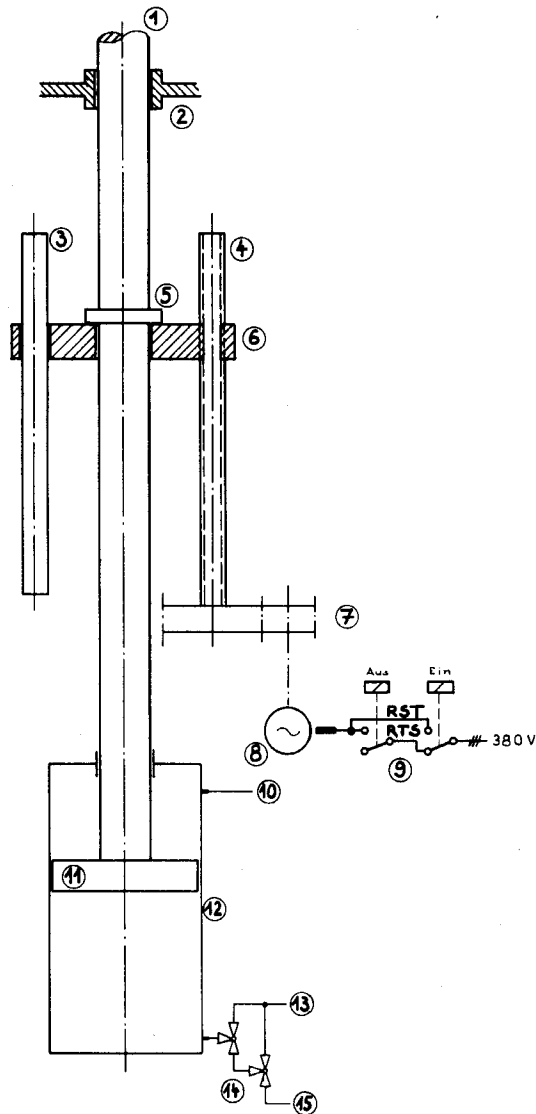


Abb. 25: Steuerstabantrieb

1 Steuerstabstange, 2 Druckgefäßboden, 3 Führungsstange, 4 Leitspindel, 5 Anschlag, 6 Mutterschlitten, 7 Getriebe, 8 Asynchronmotor, 9 Motor-Fahrschütze, 10 Zuführung Bremsluft, 11 Kolben, 12 Zylinder, 13 Zuführung Pufferluft, 14 Schnellschluß-Umschaltventile, 15 Zuführung Schnellschlußluft.

Diese Maßnahme zwingt den Wärter dazu, den Meßbereich der Leistungskanäle stets der gerade gefahrenen Neutronenflußdichte anzupassen; bei zu niedrigem Meßbereich spräche sonst der Reaktorschutz an, bei zu hohem Meßbereich könnte er sonst den Reaktor nicht mehr auf höhere Leistung steuern. Außerdem greift bei einem Leistungsabbruch im Bereich kleiner Flußdichten der Reaktorschutz eher ein, als es bei einem starr eingestellten Ansprechpegel der Fall wäre.

#### Stellglieder für den Neutronenfluß

Der Neutronenfluß wird von außen mit 21 Steuerstäben eingestellt. Der Antrieb ist für alle Stäbe gleich (Abb. 25). Da der Reaktor an sich keine selbstregelnden Eigenschaften hat, müssen die Steuerstäbe leicht und feinfühlig verstellt werden können. Die Ausfahrgeschwindigkeit muß sicher begrenzt sein, damit der Zuwachs an Reaktivität nicht zur prompten Kritizität führt. Endlich müssen alle Stäbe aus jeder Betriebslage heraus schnellstens in den Kern eingeführt werden können (Reaktorschnellschluß). Zur Erfüllung dieser Forderungen erfolgt der Stabantrieb gemischt elektromotorisch und pneumatisch.

Die Steuerstabstange ist durch den Boden des Reaktor-

druckgefäßes hindurchgeführt. Der aktive Steuerstabteil fährt in den Kern ein, wenn sich die Stabstange nach oben bewegt. Die Stabstange läuft durch eine Öffnung in einem Mutterschlitten und endet in einem Kolben.

Der Mutterschlitten wird über eine selbsthemmende Leitspindel-anordnung von einem Asynchronmotor (konstante Drehzahl) verfahren. Beim Heben schiebt er die Stange an einem Anschlag vor sich her; beim Senken bleibt die Stange über den Anschlag mit ihm in Fühlung. Wenn sich der Anschlag vom Mutterschlitten abhebt, klemmt sich die Stange derart im Mutterschlitten fest, daß sie sich nicht nach unten bewegen kann. Die Drehrichtung des Asynchronmotors wird durch Phasentausch geändert. Die Schaltschützen sind kontaktmäßig so geschaltet, daß bei angezogenem Einfahrschutz die Stellung des Ausfahrerschützes belanglos ist (Einfahren hat unbedingten Vorrang).

Der Kolben arbeitet in einem beiderseits geschlossenen Zylinder. Auf der Kolbenunterseite steht normalerweise Pufferluft an, deren Schub den vom Reaktorinnendruck auf den Steuerstab ausgeübten Schub nahezu ausgleicht; damit wird der elektromotorische Antrieb entlastet. Zum Schnellschluß wird unter den Kolben Schnellschlußluft mit erhöhtem Druck geführt, unter deren Einfluß der Steuerstab in den Kern geschossen wird. Über dem Kolben steht Bremsluft an, welche die Wucht des Schnellschlusses abfängt. Solange der Reaktor seinen halben Betriebsdruck nicht erreicht hat, wird der Druck der Pufferluft gesenkt und der der Bremsluft erhöht, damit der Gesamtschub auf die Stabstange stets eindeutig nach unten gerichtet bleibt.

Mit Mikroschaltern wird für jeden Stab einzeln gemeldet, ob sich der Mutterschlitten in der oberen oder der unteren Grenzlage und in Fühlung mit dem Anschlag der Stabstange befindet. Mit einer elektrischen Welle (Drehfeldgeber) wird weiterhin die Stellung des Mutterschlittens erfaßt.

Jedem Stab ist ein Vorratsbehälter für Schnellschlußluft zugeordnet.

#### Steuerung der Stäbe

Die Steuerung der Stäbe erfolgt über die Fahrschütze. Das Fahrschütz „Ein“ muß ständig schaltbereit sein; weiter muß es möglich sein, alle 21 Fahrschütze „Ein“ gleichzeitig zu betätigen. Das Fahrschütz „Aus“ darf nur bei Vorliegen besonderer Freigabebedingungen betätigt werden, und zwar für nur jeweils einen Stab. Solange ein Stab auf den Reaktorregler geschaltet ist, darf er von Hand nicht zu verfahren sein, muß allerdings am gemeinsamen Einfahren teilnehmen.

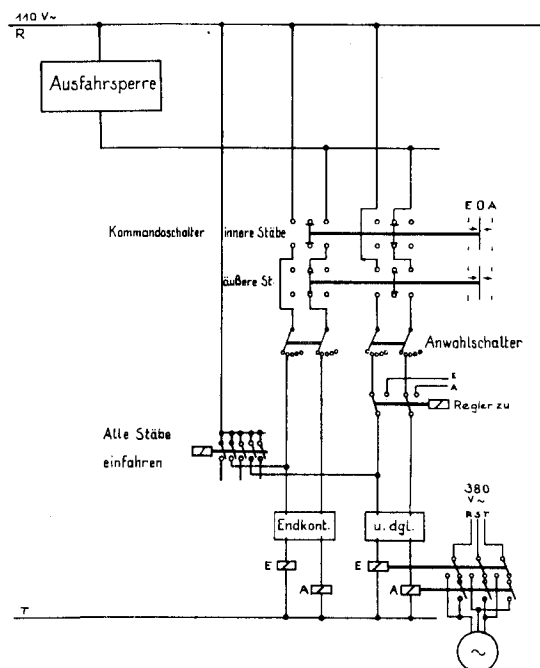


Abb. 26: Steuerschaltung für die Steuerstäbe

Die Steuerschaltung zeigt Abb. 26. Die Stäbe sind in eine innere Gruppe von 9 und eine äußere Gruppe von 12 Stäben aufgeteilt. Jede Gruppe hat einen eigenen Kommandoschalter Aus-Halt-Ein und einen eigenen Anwahlschalter zur Wahl des zu verfahrenen Stabes. Die Spannung für die Fahrstütze „Ein“ wird der Steuerschiene unmittelbar, die Spannung für die Fahrstütze „Aus“ über eine Verriegelungsschaltung entnommen. Im Zuge der Steuerleitungen liegen konventionelle Unterbrechungsschaltung mit Grenzlagen- und Motorschutzschalter-Kontakten. Grundsätzlich sind die Steuerwege für äußere und innere Stäbe gleich aufgebaut; jedem inneren Stab ist jedoch zusätzlich ein Relais zugeordnet, das die Steuerleitungen vom Auswahlschalter trennt und auf den Regler zuschaltet.

#### Verriegelungen

Die in Abb. 26 gezeigte Verriegelung schaltet die Ausfahr-Steuerschiene erst zu, wenn mindestens zwei der drei Anzeigergeräte der Leistungsbereichskanäle (vgl. Abb. 24) Minimalausschlag zeigen, also ablesebereit sind. Erst dann können Stäbe ausgefahren werden. Sobald dieser Zustand erreicht ist und außerdem der Reaktor zu sieden beginnt, kann der Reaktorregler zugeschaltet werden. Als Zeichen für den Siedebeginn gilt, daß alle drei Anzeigergeräte im Leistungsbereich auf eine der drei höchsten Umschaltstufen eingestellt sind. Dann können bis zu vier innere Stäbe mittels Steckerschnüren mit dem Reaktorregler verbunden und durch die in Abb. 26 gezeigten Relais auf den Regler überschaltet werden. Diese Überschaltung erfolgt durch Druckknopfschalter mit anschließender Selbsthalteschaltung. Die Selbsthalteschaltung wird nicht wirksam, solange der Regler während der Überschaltung noch Stellbefehle abgibt; sie wird aufgehoben, wenn die Freigabe der Ausfahr-Steuerschiene entfällt, wenn der Regler gestört ist, oder wenn der Aus-Druckknopf durch Hand betätigt wird.

#### Reaktorregler

Der Siedewasserreaktor mit einfachem Kreislauf hat die charakteristische Eigenschaft, daß alle Maßnahmen zur Konstanthaltung des Reaktordrucks auch gleichzeitig die Leistungserzeugung der Belastung anpassen. Mit steigender Leistung steigt der Dampfgehalt im Kern; zum Ausgleich dafür müssen die Stäbe weiter ausgefahren werden. Es besteht daher eine eindeutige Kopplung zwischen gefahrener Leistung und Eindringtiefe der Steuerstäbe.

Es reichen vier Steuerstäbe aus, um bei einem Hub zwischen 25% und 75% den Leistungsbereich zwischen etwa 30% und Vollast zu bestreichen. Die übrigen 17 Stäbe können dazu benutzt werden, Langzeiteffekte wie Ausbrand und Vergiftung auszutrimmen. Diese vier regelnden Stäbe können beliebig unter den 9 inneren Stäben ausgewählt werden. Es dürfen auch weniger als vier regelnde Stäbe benutzt werden; allerdings wird dann der Regelbereich kleiner.

Der Reaktorregler ist also als Druckregler ausgebildet; für die Druckmessung selbst gibt es genügend genaue und zuverlässige Geräte (siehe Abb. 27). Ein Druckgeber mit Differentialtransformator gibt eine Wechselspannung ab, die nach Höhe und Polarität der Druckabweichung von einem einstellbaren Sollwert entspricht. Diese Spannung wird nach phasenrichtiger Gleichrichtung einem elektronischen Regler zugeführt; dieser Regler arbeitet als Proportionalregler mit Ausgleich (PJ-Regler). Zur Beschleunigung des Regelvorganges ist noch die Aufschaltung eines Vorhaltes (D-Glied) möglich. Bei der Inbetriebnahme wird der Regler optimiert; er bleibt dann fest eingestellt.

Der Regler gibt ein Gleichstromsignal ab, das als Führungsgröße für die Stellung der regelnden Stäbe gegenüber einer frei wählbaren Ausgangslage dient. Jeder Stab wird für sich durch einen Nachlaufregler dieser Führungsgröße nachgeführt. Ein-

gang für jeden Nachlaufregler ist die allen Stäben gemeinsame Führungsgröße, die für den Stab einzeln eingestellte Ausgangslage (als Sollwert-Signal) und die Ist-Stellung des Stabes. Der Nachlaufregler selbst ist ein Stellverstärker mit Dreipunktcharakteristik; er schaltet mit seinem Relaisausgang die Fahrstützen des regelnden Stabes.

Bei Überschreitung der Nenn-Neutronenflußdichte wird dem Regler eine Begrenzung aufgeschaltet; das Signal dazu wird über ein Oder-Gatter den drei Kanälen des Leistungsbereichs entnommen.

Die einzelnen elektronischen Kreise werden durch Relais überwacht, die bei Störungen den Regler abschalten und die Stäbe wieder für die allgemeine Steuerung freigeben.

#### Reaktorschutz

Der Reaktorschutz greift ein, wenn wichtige Betriebsmeßgrößen die zulässigen Toleranzen überschreiten. Dabei kann entweder der Reaktor langsam zurückgefahren oder der Reaktorschneßschluß ausgelöst werden.

Das Zurückfahren erfolgt nach Anwurf des Relais für gemeinsames Einfahren (Abb. 26) (tatsächlich ist wegen der benötigten Kontaktzahl eine Gruppe von Relais parallelgeschaltet). Als Anregung für das Zurückfahren dienen: anhaltender Ausfall beider Eigenbedarfsschienen, Rückgang des Druckes der Bremsluft bzw. der Schnellschlußluft in zwei der 21 Vorratsbehälter und verschiedene

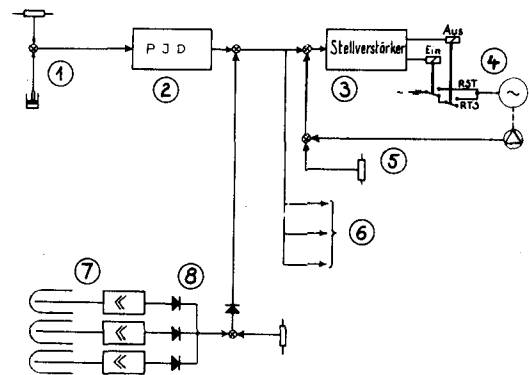


Abb. 27: Reaktorregelung

1 Druck-, Ist- und Sollwert, 2 Reaktorregler, 3 Stellverstärker, 4 Steuerstabbmotor, mit Antrieb und Stellungsgeber, 5 Stabstellungs-Vorgabe, 6 Abgänge zu den drei anderen regelnden Stäben, 7 Neutronenmessung, 8 Oder-Gatter mit Sollwertsteller.

miteinander verknüpfte Bedingungen für den Brennstoffwechsel. (Hierbei weist der Ausdruck „anhaltend“ darauf hin, daß die Anregung erst nach Ablauf einer Verzögerungszeit wirksam wird.)

Die Bedingung für den Brennstoffwechsel hat folgenden Sinn: bei Wechsel eines Brennstoffelements sollen zur Sicherheit die benachbarten Steuerstäbe etwas ausgefahren werden. Dies ist nicht möglich, solange der Schutz das Zurückfahrkommando aufrechterhält. Damit ist dann der Brennstoffwechsel verboten, bis die ihm gemäßen Bedingungen geschaffen sind und die Steuerstäbe freigegeben werden.

Das Zurückfahren wird unterbrochen, sobald die auslösende Anregung zurückgegangen ist. Die Anregungen arbeiten mit einfachen Arbeitsstromschaltungen.

Der *Schnellschluß* hingegen ist eine endgültige Maßnahme, die auch dann zu Ende geführt wird, wenn die Anregungen zwischenzeitlich zurückgehen. Entsprechend dem höheren Gewicht dieser Auslösung ist die Schaltung als Ruhestromschaltung aufgebaut; die Abschlußrelais und -spulen der einzelnen Schaltungsabschnitte werden zudem mit ihrer Abschaltung gleichzeitig kurzgeschlossen, um auch bei Isolationsfehlern den Abfall zu erzwingen. Entsprechend der oben erwähnten Mehrfacherfassung aller Meßgrößen am Reaktor ist auch jede Anregung mit mehreren Anrege-

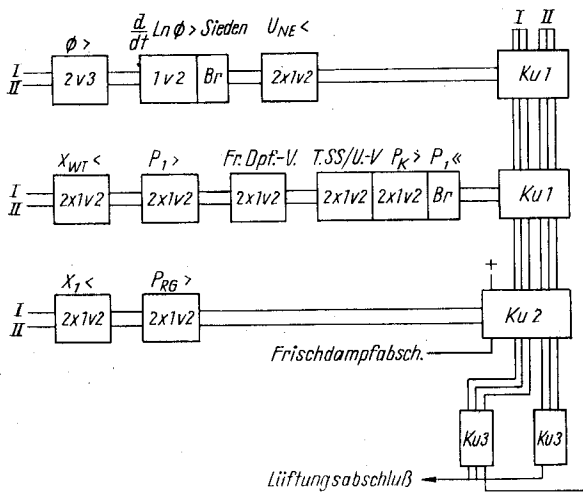


Abb. 28: Reaktorschutz, Schnellschlußteil (einpolig).

- I, II Spannung von Generator I, II
  - $\phi$  Neutronenflußdichte
  - $U_{NE}$  Noteigenbedarfsspannung
  - $X_1$  Füllstand Reaktor
  - $X_{WT}$  Füllstand Wärmetauscher
  - $p_1$  Druck Reaktor
  - $p_K$  Druck Kondensator
  - $p_{RG}$  Druck Reaktorgebäude
  - $FrDpfV$  Frischdampfventil
  - $T. SS/U-V$  Turbinen-Schnellschluß- und -Umleitventil
  - $Br$  Brücke
  - $Ku$  Kupplung
- Innenschaltung der Blöcke siehe Abb. 29

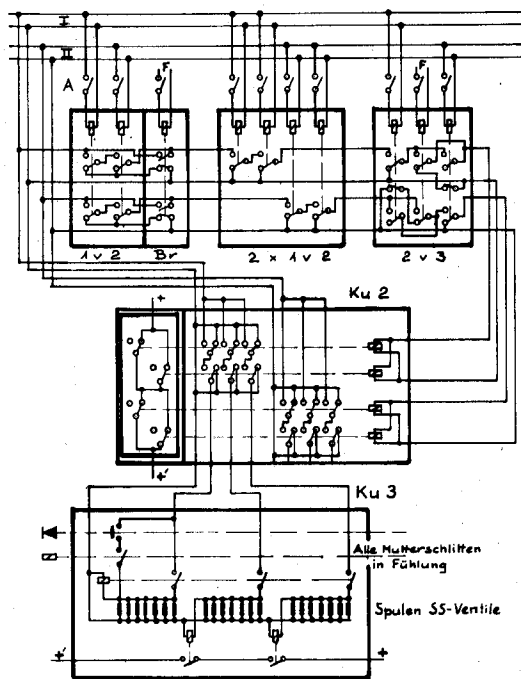


Abb. 29: Innenschaltung der Blöcke aus Abb. 28 (schematisch).

- I, II Spannung von Generator I, II
- F andere Spannung
- A Kontakte der Anregeglier
- Ku1 wie Ku2, jedoch ohne doppelt gerahmten linken Teil

gliedern besetzt; eine Auswahlschaltung gibt eine Anregung erst dann weiter, wenn einige Anregeglier angesprochen haben. Den Aufbau des Schnellschlußteiles im Reaktorschutz zeigt Abb. 28. Die Anregungen sind in drei Gruppen angeordnet, und zwar

in der ersten Gruppe: zu hohe Neutronenflußdichte, zu hohe inverse Periode und anhaltender Ausfall der Noteigenbedarfsspannung;

in der zweiten Gruppe: zu niedriger Füllstand im Wärmetauscher, zu hoher Druck im Reaktor, geschlossenes Frischdampfventil, anhaltender gleichzeitiger Verschluss von Turbinen-Schnellschluß- und -Umleitventil und schlechtes Vakuum im Kondensator;

in der dritten Gruppe: zu niedriger Füllstand im Reaktor-druckgefäß und zu hoher Druck im Reaktorgebäude.

Die Anregung durch die Periode wird überbrückt, wenn das Sieden im Reaktor einsetzt, die Anregungen durch die Turbinen-Schnellschluß- und -Umleitventile sowie durch das Kondensatorvakuum bleiben überbrückt, bis der Reaktor nahezu Betriebsdruck erreicht hat.

Jede Anregung greift über ihre Auswahlschaltung in zwei von unabhängigen Spannungen gespeiste Ruhestromlinien ein; die Anregung ist wirksam, wenn beide Linien unterbrochen sind. Die Anregelinen jeder Gruppe enden in einer Kupplung, in welcher zwei von den gleichen unabhängigen Spannungen gespeiste Sammelstränge die Ruhestromlinien abfragen. Jeder Sammelstrang ist über eine weitere Kupplung zu den Magnetspulen der Umschaltventile von Puffer- auf Schnellschlußluft (vgl. Abb. 26) durchgeschaltet. Je Stab ist jedem Sammelstrang ein Ventil zugeordnet. Die Ventilsulen sind in normalem Betrieb erregt; die pneumatische Schaltung ist derart, daß beide Ventile entregt sein müssen, damit die Schnellschlußluft durchgeschaltet wird.

Bei jedem Schnellschluß werden gleichzeitig die Be- und Entlüftungen des Reaktorgebäudes verschlossen und alle Steuerabmotoren auf Zurückfahren geschaltet. Bei Anregung aus der dritten Anregegruppe wird auch das Frischdampfventil geschlossen.

Damit die unter Spannung stehenden Sammelstränge auf die Ventilsulen durchgeschaltet werden, muß erst mit Druckknopf eine Selbsthalteschaltung angeworfen werden; dies ist nur möglich, wenn bei allen Stäben Mutterschlitzen und Stabstange in Fühlung stehen.

Abb. 28 ist der Übersicht halber als Blockschaltbild gezeichnet. Die Innenschaltungen charakteristischer Blocks zeigt Abb. 29.

Die Aufteilung des Schutzes in zwei Stränge gestattet es, jeden Strang einzeln abzuschalten, ohne daß dadurch schon Schnellschluß erfolgt. Damit sind nicht nur Prüfungen des Schutzes im Betrieb möglich; es können auch in regelmäßigen Zeitabständen die beweglichen Bauteile des Schutzes zum Abfallen und Anziehen gebracht und damit sicher beweglich gehalten werden.

Alle im Schutz verwendeten Hilfsrelais gehören der gleichen Type an. Durch Anordnung auf Stecksockeln können sie leicht ausgewechselt werden. Alle Hilfsrelais und alle Zeitrelais (entsprechend „anhaltend“ in der Anregebedingung) sind mit durchsichtigen Kappen abgedeckt, so daß ihre Kontakte stets der Besichtigung freistehen.

### STROMVERSORGUNG

Für die nuklearen Messungen und den Schnellschlußteil des Reaktorschutzes besteht eine eigene Spannungsversorgung. Drei Motorgeneratorsätze werden von der Batterie aus betrieben und liefern Wechselstrom 110 V, 50 Hz. Diese drei Wechselspannungen werden ungekuppelt betrieben; der Schutz ist an zwei Spannungen angeschlossen, die Meßkanäle sind gleichmäßig auf alle drei Spannungen verteilt.

DK 621.039.56(43) Kahl



# DIE BAULICHE ENTWICKLUNG DES VERSUCHSATOMKRAFTWERKS KAHL

VON DIPL.-ING. F. BÖRNKE, ESSEN\*)

## 1. STANDORT — ERSCHLIESSUNG

Der Standort zum Bau des Versuchsatomkraftwerkes ist nach betriebstechnischen, nuklearen und ökonomischen Gesichtspunkten bestimmt worden. Als Bauplatz wurde das Gelände in unmittelbarer Nähe des RWE-Steinkohlenkraftwerkes Dettingen gewählt. Das völlig ebene Gelände liegt am rechten Mainufer bei Flußkilometer 67,7.

Die abseitige Lage des Standortes bedingte die Erschließung des Verkehrs für Straße und Schiene:

Für den Straßentransport wurde eine Zufahrt von 1 km Länge bis zur Bundesstraße 8 erforderlich.

Zum Transport der schweren Einbauteile des Kraftwerkes wurde das an die Bundesbahn angeschlossene Betriebsgleis des Kraftwerkes Dettingen bis zum Atomkraftwerk verlängert.

Für die Kühlwasserversorgung des konventionellen Teiles wird das Einlaufbauwerk des KW Dettingen mitbenutzt. Die Verbindung zum Atomkraftwerk erfolgt über ein neu errichtetes Pumpenhaus durch Stahlrohr. Das abgehende Kühlwasser wird durch vorgefertigte Stahlbetonrohre über ein Kraftschlußbecken in ein neu hergestelltes Auslaufbauwerk zum Main zurückgeführt. Für die Hilfskühlkreise wird das Wasser aus dem nahegelegenen Gustavsee genommen und dorthin wieder zurückgeleitet.

## 2. SICHERUNG GEGEN HOCH- UND GRUNDWASSER

Die Lage des Kraftwerkes in unmittelbarer Nähe des Mains und der Grundwasserstand bei 103,35 über NN machten eine Untersuchung der alten Hochwasserstände erforderlich, um daraus Rückschlüsse für die Höhenlage des Werkes ziehen zu können.

Die amtlichen Hochwasserstände für das Baugelände betragen:

bei 10jähr. Hochwasser	105,40 m ü. NN
bei 50jähr. Hochwasser	106,50 m ü. NN
bei 100jähr. Hochwasser	107,20 m ü. NN
bei 500jähr. Hochwasser	109,20 m ü. NN
bei 1000jähr. Hochwasser	110,30 m ü. NN

Das höchste bekannte Hochwasser lag im Jahre 1342 bei 109,20 m ü. NN. Da nach der Kanalisierung des Mains künftige Hochwasserstände nur schwer einzuschätzen sind, wurden folgende Höhen für die Kraftwerksanlage von den zuständigen Behörden zur Auflage gemacht:

\*) Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG (RWE).

Kraftwerksgelände	107,85 m ü. NN
Eingänge von konventionellen Anlageteilen	108,00 m ü. NN
Eingänge von nuklearen Anlageteilen	111,00 m ü. NN

Zunächst wurde bestimmt, das Werksgelände um 1,00 m auf 107,85 m ü. NN anzufüllen. Durch diese Maßnahme wird erreicht, daß das Grundstück gegen Überschwemmung gesichert bleibt, da nunmehr der Kraftwerksstandort höher liegt als das umliegende Gelände.

Beim Reaktorgebäude, dem Aufbereitungsgebäude und beim Lager für feste und flüssige Abfallstoffe ist aus Sicherheitsgründen die Hochwasserkote für die Eingänge auf 111,00 m ü. NN festgelegt. In diesen Gebäuden befinden sich Anlageteile, die selbst aktiv sind und Aktivitäten abgeben können. Die hier ausgeführten verschärften Isolierungsmaßnahmen bieten gleichzeitig Schutz gegen das Eindringen von aktivem Wasser aus Leckagen in das Grundwasser. Alle Verbindungs- und Rohrleitungen sowie Behälter mit Aktivitäten sind so verlegt und angeordnet, daß sie ständig kontrolliert werden können.

Für den Eingang zu den konventionellen Anlageteilen wurde die Kote auf 108,00 m ü. NN gelegt. Zur Berücksichtigung besonderer Sicherheitsvorkehrungen für den Eingang zu den nuklearen Betriebsanlagen ist das 1000jährige Hochwasser zugrunde gelegt worden. Diese Eingangskote ist auf 111,00 m ü. NN angeordnet (Abb. 30 und 31), wodurch Schutz gegen höchstes Hochwasser gewährleistet ist. Sollte ein Katastrophen-Hochwasser eintreten, wird die gesamte Anlage umgehend außer Betrieb gesetzt.

Aggregate, die keine Radioaktivität besitzen, jedoch für den nuklearen Betrieb funktionsbedingt und nicht im Reaktorgebäude untergebracht sind, wurden unter Berücksichtigung eines mehr als 100jährigen Hochwassers auf 108,00 m ü. NN aufgestellt. Diese Bauten wurden zusätzlich gegen Grund- und Hochwasser wie folgt isoliert:

zweifacher wasserhemmender Anstrich (Epikotelack), wasserdichter Zementestrich bzw. Zementputz, wasserdichter Stahlbeton, vierfache Bitumen-Pappschicht mit entsprechenden Über- und Zwischenanstrichen, halbsteiniges Schutzmauerwerk aus Hartbranntsteinen in Zementmörtel.

Die Dehnungsfugen sind mit Kupferblech in herkömmlicher Bauart ausgeführt.

## 3. GRUNDUNG

Das Kraftwerksgelände liegt im Bereich eines ehemaligen Braunkohlentagebaues. Die vor ca. 35 Jahren erfolgte Auffüllung — eine Abraumkippe der stillgelegten Braunkohlengrube — wurde „Vorkopf“ vorgenommen, wodurch

die Schichten unter 45° einfallen. Die Zusammensetzung der Auffüllung unterliegt starken Schwankungen. Sie wechselt unregelmäßig von Meter zu Meter sowohl in der Tiefe wie auch in der Fläche.

Unter der Auffüllung stehen Braunkohle und Ton, darunter bis in großer Tiefe tertiärer Sand.

Insgesamt 41 Bohrungen, z. T. mehr als 50 m tief, geben Aufschluß über die Beschaffenheit und Konsistenz des Baugrundes. In einem Gutachten stellte Dr. Breth, Darmstadt, fest, daß die Tragfähigkeit des Bodens sehr gering ist und nur durch eine Verdichtung und Verbesserung des Untergrundes die Aufnahmefähigkeit der durch das Kraftwerk auftretenden statischen und dynamischen Kräfte gewährleistet werden könnte. Das Ergebnis von Setzungs-vorausberechnungen bestimmte die Fundamentkonstruktionen, damit die Setzungen der durch Rohrleitungen und Kanäle verbundenen verschiedenartigen Gebäude in

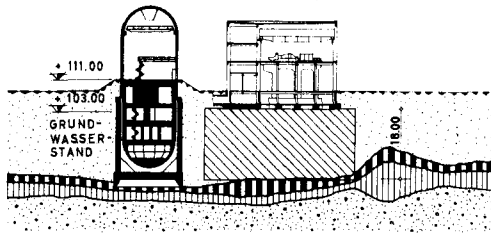


Abb. 30: Schnitt durch Reaktor und Maschinenhaus mit hochwasserfreien Höhenkoten, Bodenschichten und Lage der Verdichtungen bzw. Gründungen. Schichtenbezeichnungen siehe Abb. 31

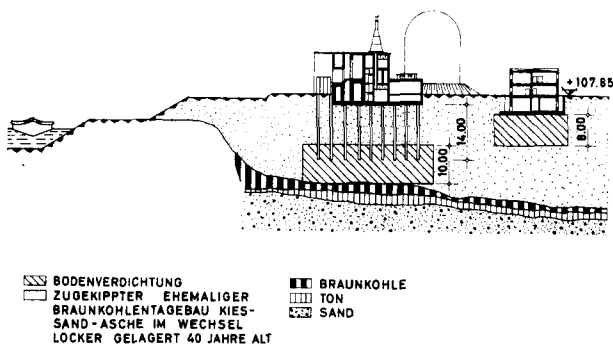


Abb. 31: Schnitt durch Aufbereitungs- und Betriebsgebäude mit Verlauf der Bodenschichten und Übersicht über die Art der Gründungen und die Höhenlagen der Bodenverdichtungen.

knapp bemessenen und auch verhältnismäßigen Toleranzen verlaufen. Eine ständige, in gleichen Zeitabständen wiederholte Meßkontrolle der fest verankerten Höhenbolzen bestätigte die Übereinstimmung der Berechnungen mit den eingetretenen Setzungen.

Die zur Verbesserung des Baugrundes erforderliche Bodenverdichtung (Abb. 32) wurde nach dem Rütteldruckverfahren der Fa. Keller geplant und ausgeführt. Die punktweise vorgenommenen Verdichtungsvorgänge erfolgten mittels eines Rüttlers, aus dem seitlich unter Druck austretende Wasserstrahlen eine zusätzliche einschlämme Wirkung ausübten. Die Vibration des Rüttlers und das Einschlämme bewirkten dichtere Zusammenlagerungen der Bodenschichten. Die Bodenmassen rutschten von oben nach, wobei sich ein Trichter bildete, der ständig mit grobkörnig gewaschenem Kies nachgefüllt wurde. In Abständen von 50 cm in der Tiefe wurde jeweils stufenweise so lange gerüttelt, bis die größtmögliche Lagerungsdichte erreicht war. Der Fortschritt der geleisteten Verdichtungsarbeit wurde an einem Amperemeter abgelesen.

Insgesamt wurde der Boden bis zu 18,0 m Tiefe so zusammengerüttelt und verdichtet, daß ca. 2,50 m Höhe Kies/m<sup>2</sup>

Oberfläche zugegeben werden mußte. Die Zusammenpressung betrug dabei etwa 13,5%. Eine Übersicht über die Verdichtungsarbeiten ist aus den Bildern 31 und 32 zu entnehmen.

Für die statische Berechnung je nach Fundamentbreite wurden dabei folgende maximale Bodenpressungen zugrunde gelegt:

Reaktorgebäude	5 kg/cm <sup>2</sup>
Maschinenhaus	3–4 kg/cm <sup>2</sup>
Aufbereitungsgebäude	3–4 kg/cm <sup>2</sup>
Betriebsgebäude	3–4 kg/cm <sup>2</sup>

Die einzelnen Bauwerke werden wie folgt gegründet:

#### Maschinenhaus

Die Maschinenhausgründung wird im wesentlichen bestimmt von der statischen und dynamischen Belastung des Maschinensatzes. Die schwache Tragkraft des Baugrundes mußte in Form der oben beschriebenen Verdichtung verstärkt werden. Zum Zweck der Bodenverbesserung wurden insgesamt

248 Hauptverdichtungen	18 m tief
23 Zwischenverdichtungen	18 m tief
27 Hauptverdichtungen	8 m tief
123 Zwischenverdichtungen	7 m tief

ausgeführt. Die Abstände der Verdichtungspunkte betragen im Bereich des Turbinenfundamentes 1,50 · 1,50 m, im Einflußbereich des Turbinenfundamentes und beim übrigen Maschinenhaus 1,90 · 2,00 m.

Für den Fall, daß der Baugrund unter dem Turbinenfundament sich später infolge der Maschinenschwingungen wider Erwarten unterschiedlich setzen sollte und sich Hohlräume bilden könnten, kann der Baugrund unter der Fundamentplatte mit Zementmilch ausgepreßt werden. Zu diesem Zweck sind Injektionsrohre in der Fundamentplatte eingebaut worden.

#### Betriebsgebäude

Unter Berücksichtigung der geringen Lasten wurde der Baugrund nur bis zu 8,00 m Tiefe mit 214 Verdichtungen im Abstand von 1,90 · 2,00 m verstärkt. Da nach den Setzungs-vorausberechnungen für das Betriebsgebäude mit einer größeren Anfangssetzung zu rechnen ist als für das Maschinenhaus, wurde das Betriebsgebäude durch eine Dehnungsfuge vom Maschinenhaus getrennt. Die zu erwartende Gesamtsetzung beträgt nach den Vorausberechnungen im Mittel 8 cm; weil die Setzungen zu 80% mit Fertigstellung des Rohbaues erreicht wurden, sind später nahezu die gleichen Setzungs- und Standfestigkeitsverhältnisse wie beim Maschinenhaus vorhanden. Die größeren Anfangssetzungen veranlaßten eine Höherlegung des Betriebsgebäudes um 3 cm. Nach Fertigstellung der Ausbauarbeiten hatte sich das Betriebsgebäude soweit gesetzt, daß die Flurhöhen mit denen des Maschinenhauses wieder übereinstimmten.

#### Abwasseraufbereitung

Das Gebäude steht in unmittelbarer Nähe des Reaktorgebäudes und soll sich mit diesem möglichst gleichmäßig setzen. Verbindende Kabel- und Rohrkanäle zum Reaktorgebäude wurden beweglich an beiden Enden der Gebäude gelagert. Die größte Gründungstiefe für das Aufbereitungsgebäude liegt 6,20 m unter dem Gelände. Bohrergebnisse zeigten, daß die Auffüllung in diesem Bereich mit Ton durchsetzt und nur unterhalb — 14,0 m frei von bindigen Bestandteilen ist. Versuchsverdichtungen zeigten schlechte Ergebnisse für den Bodenbereich oberhalb — 14,0 m. Der aufgefüllte Boden wurde aus diesem Grunde nur unterhalb — 14,0 m mit dem Rütteldruckverfahren verdichtet. Das Bauwerk selbst wurde dann auf 30 Stahlbetonpfähle gesetzt, die 2,70 m tief in den verdichteten Kies eingerammt sind; die Stahlbetonpfähle leiten die Gebäudelasten durch den mit bindigen Bestandteilen durchsetzten Boden in den verdichteten Kies ab.

## Reaktorgebäude

Aus Sicherheits- und betriebstechnischen Gründen wurde der Reaktor als Caisson bis auf 83,30 m ü. NN = 25,50 m unter Gelände gegründet. Der Senkkasten als zylindrisches Gebilde mit einem Durchmesser von 17,25 m steht als einziger Baukörper der Anlage auf gewachsenem Boden, einer festen Braunkohlenschicht, knapp über einer nahezu horizontal verlaufenden Tonschicht mit gleichbleibender Stärke.

## Nebengebäude

Die Lagergebäude für feste und flüssige Aktivitäten, das Pfortnergebäude und die Garagen wurden auf flachen Fundamenten aufgebaut, da infolge der geringen Lasten schadenverursachende Setzungen in kaum nennenswertem Umfang auftreten können.

## 4. BAULICHE ANLAGEN

### Reaktorgebäude

Das Reaktorgebäude nimmt den Reaktor und alle druckführenden radioaktiven Leitungen und Behälter sowie die zugehörigen Hilfseinrichtungen auf. Einzelheiten sind an anderer Stelle beschrieben. Form und Aufbau werden bestimmt durch die gasdichte, zylinderförmige Stahl-druckschale, welche oben und unten durch Halbkugelschalen abgeschlossen ist. Die Druckschale hat einen Durchmesser von 13,7 m und ist 46,0 m hoch. Zur Sicherung der Anlage liegt die Sohle der Druckschale auf + 87,5 m ü. NN und somit etwa zur Hälfte im Erdreich. Der Senkkasten des tragenden Baukörpers wurde aus wasserdichtem Beton hergestellt und zusätzlich innen mit einer 2 cm dicken Papp-Bitumenisolierung abgedichtet. Das untere Drittel der Kalotte des Druckbehälters steht unmittelbar auf der Betonsohle des Senkkastens. Im übrigen Bereich ist der Druckbehälter sowohl innen als außen durch eine Dehnungsfuge von umgebenden Betonteilen getrennt. Diese Fugen lassen alle Drehungen der Stahl-druckschale zu, die bei dem denkbar größten nuklearen Unfall durch erhöhten Druck und erhöhte Temperaturen auftreten können. Die Ausführung ist in Abb. 33 detailliert dargestellt. Als Material wurde innen eine 2 cm dicke Schicht aus Isoka-Falz-pappe mit Poronplatte und außen eine 5 cm dicke Spezial-glaswollmatte verwendet. Eventuell anfallende Kondenswasser können über besondere Rohrstützen abgepumpt werden. Im Erdreich ist die Druckschale von dem Beton-mantel des Senkkastens umschlossen. Oberhalb ist sie zum Strahlenschutz mit 70 cm starkem Beton ummantelt, der entsprechend dem Schalsystem und dem Betonierungs-vorgang durch Fugenbänder gegliedert ist.

Das Reaktorgebäude besitzt vier Zugänge: eine Personenschleuse, eine Nebenschleuse, eine Materialschleuse und eine Montageöffnung.

Während die Personen- und Nebenschleuse auch bei Reaktorbetrieb benutzt werden können, ist die Materialschleuse nur bei abgeschaltetem Reaktor zu öffnen. Die Montageöffnung hingegen bleibt nach Beendigung der Bauarbeiten geschlossen.

Im Innern liegen die fünf Betriebsstockwerke, die durch ein einläufiges Treppenhaus miteinander verbunden sind. Der gesamte Innenbeton ist mit einem leicht dekontaminierbaren Anstrich auf Kunststoffbasis behandelt. Zur besseren Orientierung für das Betriebspersonal ist dieser Anstrich in den einzelnen Stockwerken verschiedenfarbig aufgebracht.

Alle Böden besitzen einen Hartbetonestrich mit Kunststoffversiegelung. Die Dekontaminierung kann durch Abspritzen mit Wasser erfolgen, das aus dem Nebenkühlwasserkreis entnommen wird. Durch ein kontrollierbares Entwässerungssystem wird auftretendes kontaminiertes Wasser in dem Sumpf des Reaktorgebäudes gesammelt und von hier in das Aufbereitungsgebäude gegeben.

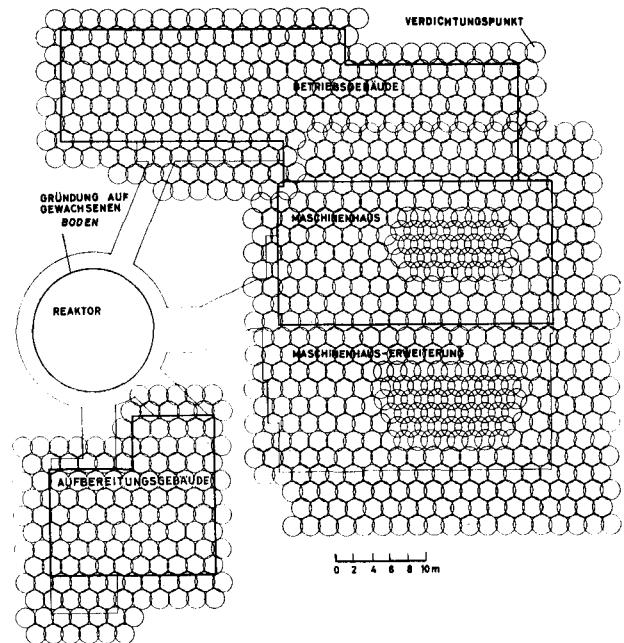


Abb. 32: Übersicht über Lage und Dichte der einzelnen Verdichtungspunkte.

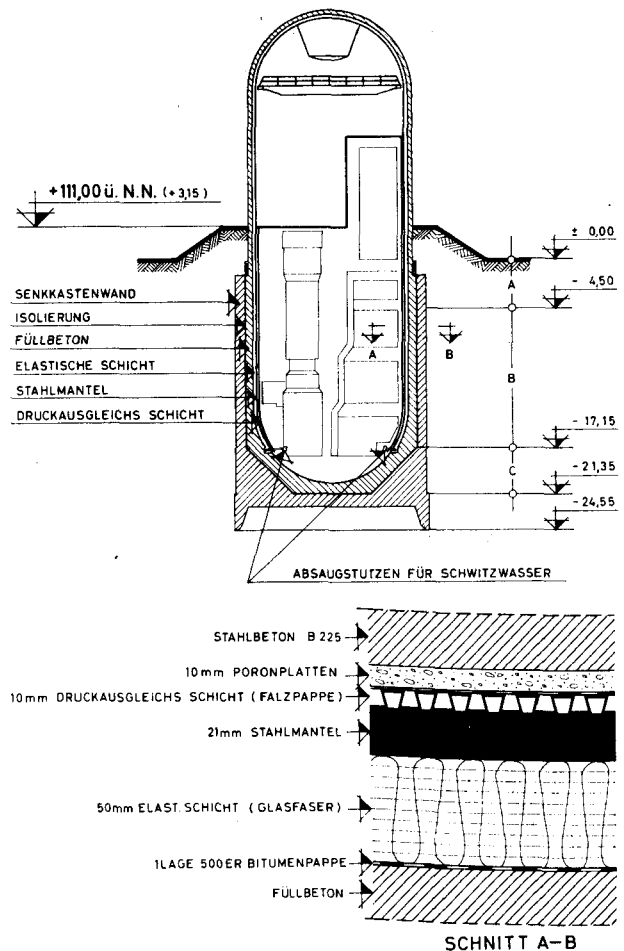


Abb. 33: Schnitt durch Reaktorgebäude mit Anordnung der Isolierschichten und Druckausgleichsschichten.

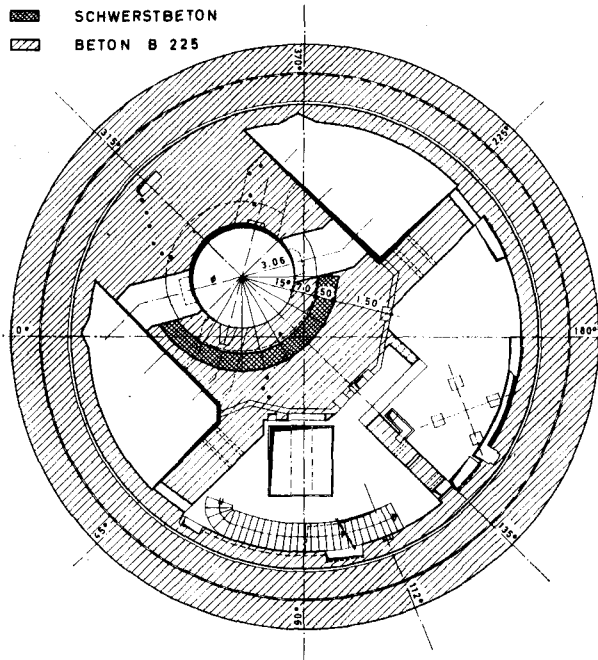


Abb. 34: Horizontalschnitt durch das Reaktorgebäude mit der Schwerstbetoneinlage.

#### Maschinenhaus

Die Kellerwände sind bis zur Kote  $\pm 0,0$  m in Stahlbeton hergestellt. Die aufgehende Konstruktion ist als Stahlbetonskelett mit Mauerwerksausfachung ausgebildet. Der Bedienungsflur  $+ 7,0$  m besteht aus einer Massivdecke mit Stahlbetonunterzügen. Die Dachhaut aus Stegzementdielen mit Korkdämmplatten und Pappisolierung liegt auf Stahlbetonpfetten und -bindern. Das Fundament für den 15-MW-Turbo-Generator ist aus Stahlbeton mit tiefer Abstimmung erstellt.

#### Aufbereitungsgebäude

Das Aufbereitungsgebäude ist ein reiner Stahlbetonbau. Die Außen- und Innenwände sowie die Decken sind als Strahlungsschutz mit einbezogen worden, so daß Wand- und Deckenstärken teilweise 0,80 bis 1,50 m stark ausgebaut sind. In einem Teil des Gebäudes ist die Brennstofflagerung und im anderen die aktive Wasserreinigung, die Abgasanlage und die Be- und Entlüftungsanlage untergebracht.

Das Abklingbecken für verbrauchte Brennstoffe ist aus wasserdichtem Stahlbeton hergestellt und mit säure- und laugefesten Keramikplatten ausgekleidet, die in einer säure- und laugefesten Fugenmasse verlegt sind. Das Becken steht allseitig frei im Gebäude. Dadurch wird erreicht, daß es ständig auf Undichtigkeiten kontrolliert werden kann.

Die Be- und Entlüftung sämtlicher Räume erfolgt maschinell. Unterdruck verhindert ein Austreten aktiver Luft aus dem Gebäude ins Freie. Aus Lüftungs- und strahlungstechnischen Gründen sind keine Fenster vorgesehen.

In den weniger strahlungsgefährdeten Räumen ist eine natürliche Belichtung durch Glasbausteine hergestellt worden. Auf diese Weise erhalten Aufbereitungswarte auf  $+ 3,0$  m und die Kranhalle über dem Abklingbecken ausreichend natürliches Licht. Sämtliche Außentüren sind weitgehend luftdicht ausgebildet. Auf dem Dach des Aufbereitungsgebäudes ist mittig über den darunterliegenden Abluftkanälen ein verspannter, 50 m hoher Stahlschornstein aufgestellt, der zum Schutz gegen Korrosion säkapheniert wurde.

Die Fußböden bestehen aus wasserundurchlässigen Estrichen, die je nach Beanspruchung eine Versiegelung oder einen Kunststoffanstrich erhalten haben. Decken und Wände sind mit einem gut dekontaminierbaren Kunstharzestrich überzogen.

#### Betriebsgebäude

Die Kellerwände und das aufgehende Gebäude bestehen aus Stahlbetonskelett mit Mauerwerksausfachung. Das Betriebsgebäude ist in zweispänniger Aufteilung mit Mittelfluren ausgeführt. Das Treppenhaus dient gleichzeitig als Verkehrsverbindung zum Maschinenhaus und zur Warte.

In dem Gebäudeflügel, der dem Maschinenhaus vorgelagert ist, sind untergebracht:

- Zentralwarte für den nuklearen, maschinentechnischen und elektrotechnischen Teil,
- Kabelboden,
- Umkleide- und Aufenthaltsräume,
- meßtechnische Werkstatt,
- Schaltanlagen,
- Rohr- und Kabelkeller.

Der dem Reaktorgebäude vorgelagerte Flügel beinhaltet:

- Büroräume,
- Waschkauen,
- nuklearer Kontrollbereich,
- heißes Labor,
- Heizzentrale mit Außenluftaufbereitungsanlage und Werkstatt.

Die Decken, Wände und Fußböden der zum Kontrollbereich gehörenden Räume sind so ausgebildet, daß sie ggf. einwandfrei dekontaminiert werden können.

#### 5. STRAHLENSCHUTZ

Wie im Aufbereitungsgebäude sind im Reaktorgebäude alle Wände und Decken zur Strahlungsabschirmung über die statischen Erfordernisse hinaus dimensioniert. Die Betoneinbauten im Bereich des Reaktor Druckgefäßes sind so konstruiert, daß sie einen Schacht bilden mit einer minimalen Wandstärke von 2,70 m. Der Beton ist in B 225 mit einem spezif. Gewicht von 2,4 t/cbm und konstruktiver Bewehrung ausgebildet. In Höhe des Reaktorkerns ist die Schachtwandung durch eine 3 m hohe und 0,50 m dicke halbkreisförmige Einlage (Abb. 34) aus Schwerstbeton mit einem spezif. Gewicht von 4,25 t/cbm verstärkt. Mit Hilfe dieses Strahlenschutzes werden die vom Reaktor ausgehenden Strahlungen, insbesondere Neutronen- und Gammastrahlen, des Reaktorkerns auf ein betriebssicheres Mindestmaß reduziert. Diese Betonumschließung (biologische Abschirmung) wird über zwei getrennte Rohrsysteme mit Wasser gekühlt. Die Kühlung dient dazu, die im biologischen Schild absorbierte Strahlungsenergie und die durch die Druckgefäßisolierung durchgehende Konvektionswärme abzuführen. Abb. 35 zeigt den Abbau der Temperaturen.

Die Zusammensetzung der Stoffe des Schwerstbetons, wie sie aus der in Abb. 36 dargestellten Analyse ersichtlich ist, sind Erfahrungswerte einer eigens durchgeführten Versuchsreihe. Unterhalb des Druckgefäßes ist eine Abschirmung vorgenommen, die aus einer 40 cm dicken Stahlkugelschüttung besteht. Nach oben, d. h. im Bereich der Bedienungsfläche, wird der Schacht durch herausnehmbare Stahlplatten von insgesamt 15 cm Stärke und einem 19 cm dicken stählernen Drehdeckel abgeschlossen. Der Raum für den Dampfumformer von  $+ 1,40$  bis  $+ 14,28$  m ist von einer Betonwand aus Setzsteinen umgeben, welche die Bedienungsfläche gegen radioaktive Strahlen abschirmt.

Alle Radioaktivität führenden Aggregate müssen jederzeit zugänglich sein, um eine regelmäßige Wartung bzw. eine Auswechslung zu ermöglichen. Als Strahlungsschutz für