

Kernkraftwerk Grohnde 1300 MWe - DWR

Sicherheitsbericht
für die
Kapazitätserweiterung
des Brennelementbeckens

von 260 Brennelement-Positionen auf
768 Brennelement-Positionen durch
den Einbau von Kompaktlagergestellen

April, 1981

Inhaltsverzeichnis

- 1 **Einleitung**

- 2 **Beschreibung des Standortes und der Anlage**
 - 2.1 Standort
 - 2.2 Beschreibung der Anlage
 - 2.2.1 Arbeitsweise der Gesamtanlage
 - 2.2.2 Kurzbeschreibung der Reaktoranlage
 - 2.2.3 Sicherheitsumschließung und Gebäudestruktur
 - 2.2.4 Reaktorschutzsystem
 - 2.2.5 Reaktorabschaltsysteme
 - 2.2.6 Reaktorhilfs- und Nebenanlagen
 - 2.2.7 Brennelementbecken
 - 2.2.8 Brennelemente
 - 2.2.9 Auslegung gegen Störfälle

- 3 **Beschreibung und Auslegung der Kompaktlagergestelle**
 - 3.1 Beschreibung der Kompaktlagergestelle
 - 3.2 Auslegung der Kompaktlagergestelle
 - 3.2.1 Festigkeit
 - 3.2.2 Kritikalitätssicherheit
 - 3.2.3 Thermohydraulische Auslegung

- 4 **Konsequenzen aus der Erweiterung der Lagerkapazität**
 - 4.1 Abtragung der Lasten im Gebäude
 - 4.2 Brennelementbeckenkühlung und Reinigung
 - 4.2.1 Berechnung der Nachzerfallsleistung
 - 4.2.2 Brennelementbeckenkühlung
 - 4.2.3 Erwärmung des Flußwassers
 - 4.2.4 Brennelementbeckenreinigung

...

- 4.3 Lüftungstechnische Anlagen
- 4.4 Veränderung des Aktivitätsinventars
- 4.5 Strahlung und Abschirmung
 - 4.5.1 Strahlung an der Wasseroberfläche
 - 4.5.2 Strahlung in den angrenzenden Räumen
- 4.6 Abgabe radioaktiver Stoffe
 - 4.6.1 Aktivitätsabgabe mit der Abluft
 - 4.6.2 Aktivitätsabgabe mit dem Abwasser
 - 4.6.3 Abgabe fester Stoffe
- 5 **Montage und Inbetriebnahme**
- 6 **Qualitätssicherung**
 - 6.1 Einleitung
 - 6.2 Vorprüfung
 - 6.3 Materialeingangskontrolle
 - 6.4 Bauprüfungen
 - 6.5 Funktions- und Abnahmeprüfung im Brennelement-becken
 - 6.6 Dokumentation
- 7 **Handhabung der Brennelemente**
- 8 **Störfallanalyse**
 - 8.1 Innere Störfälle
 - 8.1.1 Wasserleckage am Brennelementbecken
 - 8.1.2 Störung in der Brennelementbeckenkühlung
 - 8.1.3 Kühlmittelverlust im Reaktorkühlsystem
 - 8.1.4 Beschädigung eines Brennelementes bei der Handhabung oder durch Absturz
 - 8.1.5 Sicherstellung der Unterkritikalität beim Absturz eines Brennelementes
 - 8.1.6 Untersuchung der Absturzgefahr schwerer Lasten über dem Brennelementbecken

- 8.1.7 **Ausfall der Eigenbedarfsversorgung**
- 8.2 **Einwirkungen von außen**
- 8.2.1 **Erdbeben**
- 8.2.2 **Flugzeugabsturz, Explosionsdruckwelle**

- 9 **Längerfristige Lagerung bestrahlter Brennelemente
im Brennelementbecken**

- 10 **Zusammenfassung**

Tabellenverzeichnis

- | | |
|-------|---|
| 2.2/1 | Technische Anlagendaten |
| 2.2/2 | Brennelement-Daten |
| 3/1 | Technische Daten
Kompaktlagergestelle |
| 4.1/1 | Belastung des Brennelementbeckens |
| 4.2/1 | Nachzerfallsleistung und mittlere Kühlmitteltemperatur
im Brennelementbecken |
| 4.4/1 | Maximales Aktivitätsinventar im Brennelementbecken |
| 4.4/2 | Aktivitätsinventar der einzelnen Nachlademengen |
| 4.4/3 | Aktivitätsinventar im Brennelementbecken für einzelne
Nuklide |
| 8.1/1 | Aktivitätsfreisetzung beim Absturz eines Brennelemen-
tes |

...

Abbildungsverzeichnis

- 2.1/1 Übersichtslageplan 1 : 25000
- 2.2/1 Reaktorgebäude Grundriß + 22,9 m
- 2.2/2 Reaktorgebäude Schnitt A-A
- 3/1 Belegungsplan des Brennelementbeckens
- 3/2 Kompaktlagergestell
- 4.2/1 Nachzerfallsleistung in Abhängigkeit der Ab-
klingzeit bei unterschiedlicher Belegung des La-
gerbeckens
- 4.2/2 Mittlere Kühlmitteltemperatur im Brennelementbecken
in Abhängigkeit der Abklingzeit bei unterschied-
licher Belegung des Lagerbeckens
- 4.2/3 Abzuführende Nachzerfallsleistung und mittlere Kühl-
mitteltemperatur im Brennelementbecken
- 4.2/4 Brennelementbeckenkühlung
- 4.2/5 Brennelementbeckenreinigung

1 Einleitung

Am nördlichen Mittelgebirgsrand im Wesertal, etwa 10 km flußaufwärts von Hameln, errichtet die Kraftwerk Union AG im Auftrag der Gemeinschaftskernkraftwerk Grohnde GmbH*, im Ortsteil Grohnde der Gemeinde Emmerthal ein Kernkraftwerk mit einem Druckwasserreaktor mit einer thermischen Reaktorleistung von 3765 Megawatt.

Das mit der 1. Teilgenehmigung vom 08. Juni 1976 genehmigte Konzept sieht im Reaktorgebäude ein Brennelementbecken mit Einrichtungen zur Lagerung von 260 abgebrannten Brennelementen vor. Dies entspricht der bei dem jährlichen Brennelementwechsel im Mittel auszutauschenden Anzahl abgebrannter Brennelemente (Nachlademenge) zuzüglich der Brennelemente bei einer vollständigen Entladung des Reaktors.

Zur Erhöhung der betrieblichen Flexibilität und zur Vermeidung von Engpässen bei Verzögerungen im Abtransport von abgebrannten Brennelementen soll die Lagerkapazität für bestrahlte Brennelemente durch den Einbau von Kompaktgestellen im Brennelementbecken erweitert werden. Bei diesen Gestellen werden die Brennelemente dichter angeordnet und dadurch das Fassungsvermögen des Brennelementlagerbeckens bei unveränderter Größe auf 768 Brennelementpositionen erweitert. Diese Lagerkapazität entspricht neun Nachlademengen zuzüglich des Platzbedarfes für eine vollständige Brennelementladung des Reaktors.

* Gesellschafter: Preußische Elektrizitäts AG und Gemeinschaftskraftwerk Weser GmbH zu je 50 %

2 Beschreibung des Standortes und der Anlage

2.1 Standort

Der Kernkraftwerksstandort liegt im Bereich der Gemeinde Emmerthal, Landkreis Hameln-Pyrmont, zwischen den Ortschaften Grohnde und Kirchhosen am linken Weserufer zwischen Flußkilometer 124 und 125. Hinsichtlich der naturräumlichen Gliederung ist der Standort dem Bereich "Oberes Weserbergland" zuzuordnen. Das Kernkraftwerksgelände mit einer Ausdehnung von ca. 35 ha liegt etwa 72 m über NN und fällt leicht zur Weser hin ab. Weitere Details zur Lage des Standortes ist der Abbildung 2.1/1 zu entnehmen.

Die durchschnittliche Bevölkerungsdichte im Landkreis Hameln-Pyrmont beträgt 170 Einwohner/km². Bis ca. 1 km Entfernung vom Standort befinden sich keine Wohngebäude. Innerhalb eines Umkreises von 5 km um den Standort wohnen etwa 12.000 Menschen und innerhalb des 10 km Umkreises etwa 87.000 Menschen.

Die nächstgelegenen Wohngebiete sind die Ortsteile Kirchhosen, Grohnde, Latferde, Hagenhosen, Frenke und Börry der Gemeinde Emmerthal sowie der Ortsteil Tündern der Stadt Hameln. Die Gesamtbevölkerung der Gemeinde Emmerthal betrug am 30.06.1977 nach den Ergebnissen der amtlichen Statistik des Landes Niedersachsen 10.991 Einwohner.

Die nächstgelegenen größeren Städte sind:

Hameln	ca. 8,5 km Entfernung, NNW, 60.165 Einwohner
Bad Pyrmont	ca. 12 km Entfernung, WSW, 21.915 Einwohner

(Die jeweiligen Entfernungen gelten zum Ortskern).

...

Meteorologisch wird der Standort dem Klimabezirk "Unteres Weserland" in dem Klimabereich "Nord-West-Deutschland" zugeordnet. Nach Messungen des Deutschen Wetterdienstes ergibt sich für Grohnde eine mittlere Jahrestemperatur von $8,1^{\circ}\text{C}$; die Niederschlagsmenge beträgt etwa 717 mm im Jahresmittel. Die lokale Windverteilung am Standort (10 m über Grund) wird deutlich durch den Talverlauf bestimmt, in 100 bis 150 m über Grund trägt die Jahreswindrose bereits die deutlichen Züge der regionalen Struktur und ist kaum standortspezifisch.

Im unmittelbaren Standortbereich ist der geologische Aufbau des Untergrundes relativ einheitlich. Die oberen 2 - 3 m bestehen aus sandigem Lößmaterial (Auelehm). Bis in ca. 6 - 8 m Tiefe folgen dann sandige Flußablagerungen, die im unteren Teil bereits erhebliche Kiesbeimengungen enthalten. Sie gehen mit zunehmender Tiefe in grobe Kiese über. Die Gesamtmächtigkeit der quartären Lockergesteine beträgt ca. 15 m. Darunter liegen Schichten aus Sandstein und dolomitischen Schluff- und Tonstein (Keupergesteine).

Das für das Kraftwerk benötigte Kühlwasser soll der Weser entnommen werden. Die Wasserführung der Weser am Standort wird durch die Hauptwerte der Abflußjahre 1941 - 1975 für den Pegel Bodenwerder (Fluß-km 110,72) beschrieben:

Niedrigstes Niedrigwasser (NQ) =	23,5 m^3/s
Mittleres Niedrigwasser (MNQ) =	48,9 m^3/s
Mittlere Wasserführung (MQ) =	147,0 m^3/s
Mittleres Hochwasser (MHQ) =	716 m^3/s
Höchstes Hochwasser (HQ) =	1880 m^3/s

Bei den derzeitigen Abflußverhältnissen liegt die Wasserspiegelhöhe der Weser für das hundertjährige Hochwasser bei ca. 72,15 m und für das tausendjährige Hochwasser bei ca. 72,77 m ü. NN. Die Nullkote des Kraftwerkes wird auf 72,20 m ü. NN gelegt, die sicherheitstechnisch wichtigen Eingänge führen auf eine Höhe von 73,60 ü. NN in die Gebäude.

...

Die Umgebung des Standortes wird vorwiegend landwirtschaftlich genutzt. Neben Getreide- und Hackfruchtanbau wird, vorwiegend in der Flußniederung, Weidewirtschaft betrieben. Im 10 km Umkreis beträgt der landschaftlich genutzte Anteil etwa 60 % und der Waldanteil ca. 35 %.

Im benachbarten Ortsteil Kirchohsen liegen im Bereich zwischen ca. 1 - 2 km Entfernung einige lebensmittelherstellende, chemische und pharmazeutische Betriebe.

Die bisher über das Betriebsgelände verlaufende Bundesstraße 83 wurde zur Ortsumgehung des Ortsteils Kirchohsen in einem Teilbereich bereits verlegt, so daß die neue B 83 in einer Entfernung von etwa 300 m westlich vom Kraftwerkszaun entlangführt. Das Kraftwerksgelände ist über die alte B 83 vom Gelände nach Kirchohsen an das öffentliche Verkehrsnetz angeschlossen, weiterhin ist ein Gleisanschluß zur Eisenbahnstrecke 261 der Vorwohle - Emmerthaler Verkehrsbetriebe GmbH, Bodenwerder, vorgesehen.

Der Schiffsverkehr auf der Weser im Standortbereich ist mäßig und hat keine wesentlich steigende Tendenz.

Über dem Standort liegen keine Luftstraßen des Zivilluftverkehrs. Flugplätze für kleine Flugzeuge befinden sich in der weiteren Umgebung. Der militärische Flugverkehr über dem Standort weist keine Besonderheiten gegenüber anderen Kernkraftwerksstandorten auf.

Der Standort liegt nach der Übersichtskarte der Erdbebenzonen in der Bundesrepublik Deutschland (KTA-Regel 2201.1) in einem Gebiet sehr geringer seismischer Gefährdung (Erdbebenzone 0), in welchem nach den bisherigen Erfahrungen die Erdbebenintensität 5 der Medveder-Sponheuer-Karnik (MSK)-Skala nicht überschritten wurde.

2.2 Beschreibung der Anlage

2.2.1 Arbeitsweise der Gesamtanlage

Das Kernkraftwerk ist ein Wärmekraftwerk, bei dem an die Stelle des sonst bei Wärmekraftwerken üblichen, mit fossilen Brennstoffen gefeuerten Dampfkessels, das nukleare Dampferzeugungssystem tritt.

Im Reaktor wird bei der Kernspaltung Wärme frei. Diese wird an das in vier parallelgeschalteten Hauptkühlkreisen durch die Hauptkühlmittelpumpen umgewälzte Kühlmittel zu den Dampferzeugern transportiert. In diesen entsteht auf der Sekundärseite Sattedampf, der den Turbogenerator treibt. Die Heizrohre der Dampferzeuger stellen die Materialbarriere zwischen Reaktorkühlkreislauf und dem davon getrennten Speisewasserdampfkreislauf dar.

Das im Reaktorkühlkreis als Kühlmittel verwendete Wasser besitzt am Reaktorausstritt eine Temperatur von $326,1^{\circ}\text{C}$ und steht dabei unter einem Druck von 158 bar. Da dieser Druck höher ist als der zu $326,1^{\circ}\text{C}$ zugehörige Sättigungsdruck, kann eine Verdampfung des Kühlmittels nicht stattfinden. Dieser Druck wird vom angeschlossenen Druckhalter erzeugt. Ein eigenes System gleicht die durch Temperaturänderung hervorgerufenen Volumenänderungen des Kühlmittels aus.

Im Speisewasser-Dampf-Kreislauf fördern die Hauptspeisepumpen Speisewasser aus dem Speisewasserbehälter zu den Dampferzeugern. Es verdampft durch Wärmezufuhr aus dem Reaktorkühlkreislauf. Der erzeugte Dampf steht unter einem Druck von 68,65 bar und treibt den Turbogenerator an, der für eine Leistung von ca. 1360 MWe ausgelegt ist. Der Turbinendampf wird in drei Oberflächenkondensatoren niedergeschlagen.

Die Hauptkondensatpumpen fördern das Kondensat zurück zum Speisewasserbehälter. Auf dem Weg von Kondensator zu den Dampferzeugern wird das Speisewasser entgast und durch Anzapfdampf aus der Turbine vorgewärmt. Die in den Turbinenkondensatoren anfallende Kondensationswärme wird vom Hauptkühlwasser aufgenommen und in die Weser bzw. über Kühltürme abgeleitet.

Das Kraftwerk kann sowohl mit Frischwasser- als auch mit Kühlturmkühlung betrieben werden, wobei das benötigte Kühlwasser der Weser entnommen werden soll. Bei ausreichender Wasserführung und Wärmeaufnahmefähigkeit des Vorfluters wird die Frischwasserkühlung eingesetzt. Ab einer bestimmten Flußwassertemperatur wird das Kühlwasser vor Abgabe an die Weser über zwei Naturzugkühler rückgekühlt, bei geringer Wasserführung wird die Frischwasserentnahmemenge kontinuierlich auf das notwendige Maß verringert und die Anlage in Mischkühlung betrieben.

2.2.2 Kurzbeschreibung der Reaktoranlage

Der Reaktorkern enthält 193 Brennelemente, die insgesamt eine thermische Leistung von 3765 MW erzeugen. Jedes Brennelement besteht aus 236 Brennstäben und 20 Steuerstabpositionen, die in einer quadratischen 16 x 16 - Anordnung zusammengefaßt sind.

Die Brennstabhüllen aus Zirkaloy 4 haben einen äußeren Durchmesser von 10,75 mm und sind auf einer Länge von 3900 mm mit Uranoxid-Tabletten gefüllt. Der Reaktorkern ist im Erstkern für drei Anreicherungszone mit 1,9/2,5/3,2 Gew. % U-235 ausgelegt. Zur Regelung des Reaktors werden 61 Steuerelemente verwendet. Sie bestehen jeweils aus 20 Einzelstäben, die mit neutronenabsorbierendem Material gefüllt sind und in entsprechende Leerpositionen der Brennelemente eintauchen.

Die gesamte Brennelementenanordnung wird von dem Kernbehälter, der unteren und oberen Tragplatte umschlossen. Der dickwandige zylindrische Teil des Kernbehälters dient gleichzeitig als Neutronenschild. Das zum Wärmetransport verwendete Kühlmittel tritt mit 292,5 °C durch den Einlaßstutzen in den Reaktorkern ein und strömt zwischen Kernbehälter und Reaktordruckbehälterwand abwärts, durchströmt den Reaktorkern von unten nach oben und wird dabei aufgewärmt. Über die Austrittsstutzen gelangt es mit 326,1 °C in die Dampferzeuger und gibt dort seine Wärme an das Speisewasser ab. Die Hauptkühlmittelpumpen fördern das Kühlmittel (18800 kg/s) wieder zum Reaktordruckbehälter zurück. Durch das Druckhaltesystem, ausgestattet mit elektrischen Heizstäben und Wassersprühung, wird dem Reaktorkühlsystem der erforderliche Druck aufgeprägt. Weiterhin werden laständerungsbedingte Druckschwankungen im Reaktorkühlsystem begrenzt.

...

Das Reaktordruckgefäß ist aus mehreren vorgefertigten Teilen zusammengeschweißt. Für den zylindrischen Teil werden nahtlose Schmiederinge, für die kugelförmigen Böden ringförmige Segmente und geschmiedete Kalotten verwendet.

Die Dampferzeuger sind U-Rohr-Wärmetauscher in stehender Bauweise. Sie trennen den Hauptkühlmittelkreislauf vom Speisewasser-Dampf-kreislauf. Der erzeugte Sattedampf hat am Dampfaustritt einen Druck von 68,65 bar.

Als Hauptkühlmittelpumpen sind 4 vertikale Kreiselpumpen vorhanden. Die Abdichtung der Pumpenwelle geschieht über berührungsfrei arbeitende Spaltringdichtungen mit kontrollierter Leckageabfuhr und nachgeschalteter Gleitringdichtung.

Das gesamte Reaktorkühlsystem wird vom Trümmerschutzzylinder umgeben, der bis zur Höhe der Kranbahn reicht.

2.2.3 Sicherheitsumschließung und Gebäudestruktur

Die Sicherheitsumschließung besteht aus einer doppelten Sicherheitshülle und zwar aus einer druck- und gasdichten inneren Hülle aus Stahl (Sicherheitsbehälter) und dazu im begehbaren Abstand aus einer äußeren Hülle aus Beton. Die Sicherheitsumschließung stellt ein statisches, von dem Funktionieren von Regeleinrichtungen unabhängiges Volldruck-System dar.

Die Ringraumabsaugung stellt im Schadensfall sicher, daß der von Sicherheitsbehälter und äußerer Betonabschirmung gebildete Ringraum unter Unterdruck gehalten wird. Die abgesaugte Luft wird über Aktivkohlefilter dem Abluftkamin zugeführt. Das Reaktorgebäude ist lüftungstechnisch hiervon getrennt.

Für ausgewählte Durchführungen der Sicherheitshülle wird eine Abkammerung mit Anschluß an das Leckabsaugesystem vorgesehen. Zu den ausgewählten Durchführungen zählen insbesondere die Schleusen, Rohrleitungen mit temperaturbedingten Bewegungen gegenüber dem Sicherheitsbehälter und die Lüftungsleitungen zwischen den Abschlußklappen. Auftretende Leckagen werden im Schadensfall in die Sicherheitshülle zurückgefördert. Der die hochdruckführenden Anlagenteile des Reaktorkühlsystems umschließende Schutzzyylinder und die Decken der Anlagenräume sowie das biologische Schild sind statisch auf die bei den Auslegungstörfällen auftretenden Kräfte und Differenzdrücke ausgelegt. Die Gebäudestrukturen nehmen auch die bei einem Rohrbruch auftretenden Reaktionskräfte auf und leiten diese in das Fundament.

Die aus Stahlbeton gefertigte Betonhülle ruht auf der Fundamentplatte und umspannt in ihrem oberen Teil den Sicherheitsbehälter.

Das Brennelementbecken ist innerhalb des Sicherheitsbehälters angeordnet, wodurch ein Schutz der gelagerten Brennelemente gegen Einwirkungen von außen erreicht wird. Die Brennelementtransportwege vom Reaktordruckbehälter zum Brennelementbecken sind kurz. Der Zugang in den Sicherheitsbehälter erfolgt durch Schleusen.

...

2.2.4 Reaktorschutzsystem

Das Reaktorschutzsystem dient dazu, die Anlage vor dem Erreichen unzulässiger Betriebszustände sicher abzuschalten und einen Störfall, der zur Ausbreitung radioaktiver Stoffe führen könnte, zu verhindern. Störungen infolge Versagens von Anlagenteilen oder infolge von Bedienungsfehlern werden erkannt, durch automatisch eingeleitete Gegenmaßnahmen beherrscht und der Betriebszustand des Reaktors innerhalb sicherer Grenzen gehalten.

2.2.5 Reaktorabschaltsysteme

Um den Reaktor schnell unterkritisch zu machen, sind 61 Steuerelemente vorhanden, die in die Brennelemente eingefahren werden bzw. bei einer Schnellabschaltung selbsttätig einfallen. Zum Abfahren in den kalten Zustand wird Borsäure aus den Chemikalieneinspeisesystem über das Volumenregelsystem in den Reaktorkühlkreislauf eingespeist und damit der Reaktivitätsgewinn durch die Temperaturabsenkung kompensiert. Als Abschaltssystem steht außerdem das viersträngig aufgebaute Zusatzboriersystem zur Verfügung, mit dem ebenfalls Borsäure in den Reaktorkühlkreislauf eingespeist werden kann.

...

2.2.6 Reaktorhilfs- und Nebenanlagen

Im Reaktorhilfsanlagengebäude und im Nebenanlagengebäude sind die Hilfs- bzw. Nebenanlagen zusammengefaßt, wobei das Reaktor- gebäude weitere Hilfsanlagen enthält.

Die Reaktorhilfsanlagen schließen direkt an den Reaktorkühlkreis- lauf an und nehmen wichtige Funktionen während des Reaktorbetrie- bes wahr. Die Reaktornebenanlagen erfüllen Aufgaben, die nicht di- rekt mit dem Reaktorbetrieb gekoppelt sind. Nachfolgend sind die Aufgaben der verschiedenen Systeme stichwortartig zusammengefaßt.

Im An- und Abfahrbetrieb sowie bei Laständerungen treten Volumen- änderungen des Reaktorkühlmittels auf. Sie werden vom Volumen- regelsystem ausgeglichen.

Erforderliche Änderungen der Borkonzentration werden mit dem Chemikalieneinspeisesystem durchgeführt. Soll der Borgehalt des Kühlmittels erhöht werden, so wird 4 %ige Borsäure über das Vo- lumenregelsystems zugespeist. Im umgekehrten Fall wird der vor- handene Borsäuregehalt durch Einspeisung von vollentsalztem Was- ser (Deionat) reduziert.

In der Kühlmittelreinigung wird die dem Primärkreis über das Vo- lumenregelsystem entnommene Teilmenge laufend gereinigt. Dabei werden Korrosionsprodukte und andere radioaktive Verunreinigun- gen, die in gelöster und ungelöster Form auftreten können, ent- fernt.

Beim An- und Abfahren sowie bei Regelvorgängen fällt borsäure- haltiges Kühlmittel an und fließt zur Zwischenlagerung und zum Borentzug in die Kühlmittellagerung und Aufbereitung. Das ent- borierte Kühlmittel und die zurückgewonnene Borsäure können für

den Betrieb wieder verwendet werden. Durch ein weiteres Boriersystem wird sichergestellt, daß bei äußeren Einwirkungen eventuell betriebliche Leckagen sowie die Kontraktion des Kühlmittels beim Abkühlen der Anlage durch Einspeisen von boriertem Deionat ergänzt werden. Außerdem steht dieses System als zusätzliches Abschaltssystem zur Verfügung (siehe Kap. 2.2.5).

Das Nukleare Nachkühlsystem hat die Aufgabe, den Reaktorkern nach Abschalten des Reaktors und bei Kühlmittelverluststörfällen ausreichend und zuverlässig zu kühlen. Darüber hinaus übernimmt das Nukleare Nachkühlsystem auch die Nachwärmeabfuhr aus dem Brennelementbecken. Die Nachkühlung setzt beim Abfahren des Reaktors ein, wenn im Reaktorkühlsystem mit Hilfe der Dampferzeuger die Temperatur auf etwa 120 °C und der Druck auf etwa 35 bar abgesenkt sind.

Die Nachwärme und die Systemspeicherwärme werden über Nachwärme-kühler an das ebenfalls geschlossene, als Aktivitätsbarriere wirkende Nukleare Zwischenkühlsystem und anschließend an das Nebenkühlwassersystem abgeführt.

Das Nukleare Nachkühlsystem dient auch zur Beherrschung von Kühlmittelverluststörfällen, wobei in Abhängigkeit von der Größe des aufgetretenen Lecks unterschiedliche Teilsysteme herangezogen werden.

Bei einem störfallbedingten Bruch einer Hauptkühlmittelleitung, bei dem das Hauptkühlmittel aus dem doppelten Rohrquerschnitt auströmt, sinkt der Druck im Hauptkühlkreislauf in ca. 30 Sekunden auf den sich einstellenden Ausgleichsdruck im Sicherheitsbehälter ab. Bei einem Reaktorkühlmitteldruck von ca. 25 bar beginnen die Druckspeicher in den Reaktorkühlkreislauf einzuspeisen und fluten den Reaktorkern.

...

Die Sicherheitseinspeisepumpen und Nachkühlpumpen des Nuklearen Nachkühlsystems werden bei diesem Störfall schon nach wenigen Sekunden zugeschaltet, da der Druck schnell auf den Einschaltedruck der Sicherheitseinspeisepumpen (HD-Einspeisesignal = 110 bar) bzw. den der Nachkühlpumpen (ND-Einspeisesignal = 10 bar) absinkt. Die Pumpen saugen aus den Flutbehältern an und speisen das borierte Deionat in den Reaktorkühlkreislauf. Nach deren Entleerung wird automatisch auf Sumpfbetrieb umgeschaltet. Dabei fließt das im Reaktorgebäudesumpf zusammenlaufende Wasser den Nachkühlpumpen zu, gibt in den Nachwärmekühlern seine Wärme an den Nuklearen Zwischenkühlkreislauf ab und wird wieder in den Hauptkühlkreislauf eingespeist.

Bei mittleren und kleinen Lecks im Reaktorkühlkreislauf werden zuerst die Sicherheitseinspeisepumpen durch das HD-Einspeisesignal gestartet. Der Druck im Reaktorkühlkreis wird durch sekundärseitiges Abfahren mit 100 K/h weiter abgesenkt. Bei einem Reaktorkühlmittel-
druck von 25 bar beginnen die Druckspeicher selbsttätig einzuspeisen, bei einem Druck von 10 bar werden die Nachkühlpumpen zusätzlich zugeschaltet. Das Nukleare Nachkühlsystem ist viersträngig aufgebaut, zur Beherrschung von Störfällen werden jedoch nur zwei Stränge benötigt.

Das Brennelementbeckenkühlsystem (Abb. 4.2/4) führt die Nachzerfallsleistung der im Brennelementbecken gelagerten, bestrahlten Brennelemente über den Nachwärmekühler an den Nuklearen Zwischenkühlkreis und weiter an das gesicherte Nebenkühlwassersystem ab. Über Brennelementbecken, Beckenkühlpumpe und Nachwärmekühler des Nuklearen Nachkühlsystems wird ein geschlossener Kreislauf geschaltet. Das System ist zweisträngig aufgebaut, wobei beide Stränge räumlich getrennt angeordnet sind.

...

Die Rohrleitungsanschlüsse am Brennelementbecken sind so angeordnet, daß die Brennelemente bei einem Leck im Rohrleitungssystem noch ausreichend mit Kühlmittel überdeckt bleiben. Wasserverlust durch Verdunstung wird durch Deionatzuspeisung automatisch ergänzt.

Für die Brennelementbeckenreinigung (Abb. 4.2/5) sind folgende Auslegungskriterien maßgebend:

- ausreichende Sichtverhältnisse im Brennelementbeckenwasser während des Entladevorganges und
- die in DIN 25428 genannten Dosisgrenzwerte.

Zur Reinigung des Brennelementbeckenwassers werden ca. 70 m³/h Wasser über ein Mischbettfilter und einen Harzfänger gepumpt und in das Brennelementbecken zurückgeführt. Die tägliche Umwälzung entspricht dem gesamten Brennelementbeckeninhalt.

Auch bei der kontinuierlichen Brennelementbeckenreinigung wird die für den Brennelementwechsel vorgesehene Borkonzentration (2200 ppm) im Brennelementbeckenwasser nicht verringert.

In dem Beckenreinigungssystem ist ein weiterer Brennelementbeckenkühler vorgesehen. Dadurch ist es mit Hilfe des Beckenreinigungssystems möglich, die Beckenkühlung zu übernehmen.

Das Wasser aus dem Brennelementbecken kann wahlweise über separate Anschlüsse aus dem Brennelementbecken (Normalbetrieb) oder beim Brennelementwechsel aus dem Abstellbecken und aus dem Reaktorraum durch eine der beiden vorhandenen Beckenreinigungspumpen abgesaugt werden.

Im Normalbetrieb ist eine der beiden vorhandenen Beckenreinigungspumpen, die unterschiedlich ausgelegt sind, im Einsatz. Während die eine Beckenreinigungspumpe für den ausschließlichen Beckenreinigungsbetrieb ($70 \text{ m}^3/\text{h}$) ausgelegt ist, fördert die zweite Pumpe dieselbe Menge wie die Beckenkühlpumpe ($500 \text{ m}^3/\text{h}$) und ermöglicht somit die gleichzeitige Beckenkühlung und -reinigung.

Das Nukleare Zwischenkühlsystem ist ein geschlossenes Kühlsystem über das die Wärme aus den Kühlstellen im Kontrollbereich der Anlage über Wärmeaustauscher an das Nebenkühlwassersystem weitergeleitet wird. Die ständige Überwachung dieses Kreislaufes auf Radioaktivität gewährleistet, daß keine radioaktiven Stoffe in unzulässiger Weise in das Flußwasser gelangen.

Das Notspeisesystem dient dazu, bei Ausfall der betrieblichen Speisewasserversorgung z. B. infolge äußerer Einwirkungen auf das Kernkraftwerk die Speisewasserversorgung für die Dampferzeuger sicherzustellen. Hierzu ist im geschützten Notspeisegebäude ein Wasservorrat untergebracht, der mit Hilfe der Notspeisepumpen in die Dampferzeuger eingespeist werden kann. Hierdurch kann bei Einwirkungen von außen die im abgeschalteten Reaktor entstehende Nachwärme über die sekundärseitige Abblasestation abgeführt werden.

Die Aufgaben der Lüftungsanlagen für den Kontrollbereich lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Einhaltung definierter Unterdrücke und Sicherstellung gerichteter Luftströmungen
- Abbau von Aktivität aus der Raumluft durch Umluftfilterung oder durch Luftaustausch mit Rückhaltung der radioaktiven Bestandteile
- Abfuhr der Wärme von Anlagenteilen und Einrichtungen
- Einhaltung von Raumzuständen (Temperatur, Feuchtigkeit).

...

Durch entsprechende Druckstufungen innerhalb des Kontrollbereiches wird sichergestellt, daß die Luft von den Räumen niedriger zu denen höherer Radioaktivität strömt. Um im Normalbetrieb nicht-zugängliche Anlagenräume begehbar zu machen, sind ausreichende Spülmöglichkeiten mit Frischluft vorgesehen.

Die Fortluft wird getrennt nach Gebäudeabschnitten auf Radioaktivität überwacht, so daß etwaige Undichtheiten von Anlagenteilen lokalisiert werden können.

Die Fortluft aus der Sicherheitshülle zur Unterdruckhaltung wird durch Schwebstoff- und Aktivkohlefilter gereinigt.

Die vom Reaktor an den Biologischen Schild durch Wärme-, Neutronen- und Gamma-Strahlung abgegebene Wärme wird durch die Schildkühlung abgeführt und dadurch eine unzulässige Erwärmung des Betons verhindert.

Das System Abwasserlagerung und Abwasseraufbereitung sammelt und verarbeitet alle anfallenden radioaktiven Abwässer. In Abhängigkeit von Art der Verunreinigungen und Aktivitätskonzentration werden die Abwässer durch Fällung, Filterung oder Verdampfung aufbereitet. Das Verdampferkonzentrat und die Filterrückstände werden in Behältern gesammelt und nach entsprechender Verfestigung, Behandlung und Verpackung zur Endlagerstätte abtransportiert.

Die aufbereiteten Abwässer werden in Kontrollbehältern gesammelt und auf Reinheit und Radioaktivität geprüft, bevor sie kontrolliert ins rückströmende Kühlwasser eingeleitet werden.

Die im Kühlmittel des Reaktors enthaltenen radioaktiven Gase verbleiben während des Betriebes im geschlossenen Reaktorkreislauf und zerfallen dort. Vor jedem Öffnen des Reaktorkühlkreises, z. B. vor einem Brennelementwechsel, werden die Gase dem Kühlkreislauf entzogen und der mit Aktivkohle gefüllten Verzögerungsstrecke des Abgassystems zugeleitet.

Durch Absaugung wird in den gasführenden Anlageteilen ein Unterdruck erzeugt und der Austritt der Gase in die Betriebsräume verhindert. In der Verzögerungsstrecke werden die Edelgase Xenon und Krypton, die im wesentlichen die Aktivität bestimmen, so lange zurückgehalten, bis die Aktivität ausreichend abgeklungen ist.

2.2.7 Brennelementbecken

Das Brennelementbecken befindet sich innerhalb des Sicherheitsbehälters. Es ist zum Reaktorbecken so angeordnet, daß beide Becken von der Brennelementlademaschine überfahren und bedient werden können. Das Brennelementbecken ist bis zur Kote von 22,4 m mit Wasser gefüllt. Neben dem Brennelementbecken befindet sich das Absetzbecken für den Transportbehälter.

Die Wände und der Boden des Brennelementbeckens sind aus Stahlbeton. Das Brennelementbecken ist mit Blechen aus rostfreiem Stahl ausgekleidet, die auf einbetonierte Profile geschweißt sind. Zum Auffinden von Leckstellen sind die einzelnen Felder zwischen den Profilen durch Rohre an ein Leckageerkennungssystem angeschlossen. Zur genauen Positionierung werden die Kompaktlagergestelle auf am Brennelementbeckenboden aufgeschweißte Bolzen abgestellt.

Das Brennelementbecken ist mit vollentsalztem boriertem Wasser gefüllt. Das Wasser dient zur Kühlung und zur Abschirmung bestrahlter Brennelemente und aktivierter Teile aus dem Reaktorkern wie z. B. Absorberelemente und Instrumentierungslanzen.

Die Höhe der überdeckenden Wasserschicht ist so gewählt, daß sich beim Transport der Brennelemente Personen am Rande des Brennelementbeckens und auf der Lademaschine aufhalten können. Das Brennelementbecken kann in den Verbindungsschächten zum Reaktor- und Abstellraum und zum Transportbehälterbecken mit Dichtschrützen abgedichtet werden. Im Brennelementbecken können Kompaktlagergestelle für insgesamt 768 Brennelementpositionen aufgestellt werden, zuzüglich 3 Konsolen mit je 6 Abstellpositionen für gekapselte Brennelemente. Es ist ausreichender Raum vorhanden für alle mit der Brennelementhandhabung verbundene Tätigkeiten, und für die Lagerung sonstiger routinemäßig mit dem Brennelementwechsel anfallender Teile.

2.2.8 Brennelemente

Die im Reaktor verwendeten Brennelemente vom 16 x 16 Typ bestehen aus 236 Brennstäben und 20 Steuerstabführungsrohren. Die Hüllrohre bestehen aus Zirkaloy 4 und sind mit gesinterten UO_2 Tabletten gefüllt.

Die Brennstäbe bestehen aus einer aktiven mit Brennstoff gefüllten Zone und den Gasräumen an den Enden. Sie sind an den Enden gasdicht verschweißt und können einzeln im Brennelement ausgetauscht werden. Alle Brennstäbe eines Brennelementes haben die gleiche Anreicherung. Zusätzlich enthält jedes Brennelement 20 Positionen für Steuerstäbe, die von oben ins Brennelement eingefahren werden.

Durch die völlig offene Geometrie der Brennelemente, die neben den Brennstäben aus den Abstandshaltegittern, den Führungsrohren für Steuerstäbe und zwei kastenförmigen Endstücken (Kopf und Fuß) bestehen, wird ein guter Kühlmittelaustausch zwischen benachbarten Brennelementen erzielt.

Die wichtigsten Daten der Brennelemente sind aus Tabelle 2.2/2 zu entnehmen.

...

2.2.9 Auslegung gegen Störfälle

Das generelle Schutzziel bei Störfällen ist die Sicherstellung der Reaktorsicherheit durch:

- Abschalten der Reaktoranlage
- Halten im abgeschalteten Zustand
- Nachwärmeabfuhr
- Begrenzung der Aktivitätsfreisetzung

Zur Erreichung dieses Schutzzieles sind Sicherheitssysteme und Qualitätssicherungsmaßnahmen vorhanden. Einige Maßnahmen haben zum Ziel ein Versagen von Bauteilen zu verhindern, bzw. die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Versagens auf vernachlässigbar kleine Werte zu reduzieren.

Dazu gehören:

- sorgfältige Auslegung und Konstruktion unter Anwendung angemessener Sicherheitsfaktoren
- Qualitätssicherung bei Fertigung und Montage
- regelmäßige Prüfung und Inspektion
- Überwachung wichtiger Prozeßgrößen und Einleitung von Gegenmaßnahmen bei Erreichen vorgegebener Grenzwerte.

Andere Maßnahmen dienen dazu, die Auswirkungen von Störfällen gering zu halten. Insbesondere wird ein Übergreifen auf sicherheitstechnisch relevante Anlagenteile verhindert.

Dazu gehören:

- Redundanz, räumliche Trennung und baulicher Schutz sicherheitstechnisch wichtiger Systeme und Komponenten
- ausreichende Aktivitätsbarrieren
- Notstromversorgung der sicherheitstechnisch wichtigen Systeme

...

Interne Störfälle

Die Anlage ist im Hinblick auf innerbetriebliche Störfälle gegen ein breites Spektrum an Störfällen ausgelegt, wobei u. a. der Bruch einer Hauptkühlmittelleitung für den Sicherheitsbehälter und die Betonstrukturen der Inneneinbauten des Reaktorgebäudes auslegungsbestimmend ist.

Einwirkungen von außen

Das Konzept des Anlagenschutzes gegen Einwirkungen von außen, wie Erdbeben, Explosionsdruckwelle und Fluzeugabsturz, besteht aus einer aufeinander abgestimmten Kombination von anlagentechnischen, baulichen und organisatorischen Schutzmaßnahmen.

Die Anlage ist gegen folgende Ereignisse durch Einwirkungen von außen ausgelegt:

- Absturz einer schnellfliegenden Militärmaschine

Stoßlast	110	MN
Auftrefffläche	7	m ²
- Einwirkung durch eine Explosionsdruckwelle dynamischer Druck der Welle

	1,3	bar
dynamischer Reflexionsdruck	1,45	bar
Druckanstieg auf Spitzendruck in	0,1	s
Dauer des impulswirksamen Dreiecks	0,2	s
allseitig quasistatische Belastung (≥ 1 s)	1,3	bar
- Eintreten eines Erdbebens mit folgenden Bodenbeschleunigungen:

horizontale Bodenbeschleunigung	50	cm/s ²
vertikale Bodenbeschleunigung	25	cm/s ²
- Einwirkungen von natürlichen Ereignissen wie
 - Blitz
 - Unwetter
 - Sturm
 - Hochwasser
- Einwirkungen Dritter

...

Tabelle 2.2/1Technische Anlagendaten1. Allgemeine Daten

Reaktortyp	DWR	
Wärmeleistung des Reaktors	3765	MW _{th}
Elektrische Brutto-Leistung	1361	MWe
Elektrische Netto-Leistung	1289	MWe

2. Sicherheitsbehälter

Innendurchmesser	56	m
Auslegungsdruck	5,3	bar
Auslegungstemperatur	145	°C
Wandstärke	29	mm
Werkstoff	Feinkornbaustahl	

3. Reaktordruckbehälter

Innendurchmesser des Zylindermantels	5000	mm
max. Gesamthöhe	12820	mm
Wanddicke des Zylindermantels	243	mm
Gesamtgewicht	527	Mg
Werkstoff	22NiMoCr37	

4. Brennelement

Brennstoff	UO ₂	
Anzahl der Brennelemente	193	
Aktive Brennelementlänge	3900	mm

Gesamtlänge eines Brennelementes	4835	mm
Hüllrohr-Außendurchmesser	10,75	mm
Wandstärke des Hüllrohrmaterials	0,725	mm
Werkstoff des Hüllmaterials	Zircaloy-4	
Durchmesser des Pellets	9,11	mm
Brennstoffdichte	10,40	g/cm ³
UO ₂ -Gewicht je Brennstab	2,56	kg
Gesamtgewicht des Brennelements ca.	823	kg
Gesamtes Urangewicht im Kern	103	Mg

5. Physikalische Brennstoffdaten

Anreicherung des 1. Kerns	1,9; 2,5; und	
- von innen nach außen	3,2	Gew.-%
Mittlere Anreicherung des 1. Kerns	2,48	Gew.-%
Mittlere Anreicherung der Nachladung	ca. 3,3	Gew.-%
Abbrand 1. Kern	ca. 23000	MWd/t
Abbrand Nachladung	ca. 34000	MWd/t

6. Steuerelemente

Anzahl der Steuerelemente	61	
Steuerstabfinger	20	
Absorberlänge	3526	mm
Absorber	Ag15In5Cd	
Verstellgeschwindigkeit, maximal	75	Schritt/min.
Schrittlänge	10	mm

7. Neutronenquellen

Primärneutronenquellen

- Anzahl	2
- Material	Cf-252

Sekundärneutronenquellen

- Anzahl	2
- Material	Sb-Be

8. Kerninstrumentierung

Anzahl der n, β -Dedektoren	8 x 6
Kugelmeßpositionen	28

9. Reaktorkühlsystem

Anzahl der Reaktorkühlkreisläufe	4	
Kühlmitteltemperatur Reaktoreintritt	291,3	°C
Kühlmitteltemperatur Reaktorausritt	326,1	°C
Gesamter Kühlmitteldurchsatz	18800	kg/s

Hauptkühlmittelpumpe

Typ	Kreiselpumpe
Fördermenge	4700 kg/s
Förderhöhe	74,3 mFlS
Drehzahl	24,8 s ⁻¹
Motorleistung	5800 kW

Dampferzeuger

Dampfleistung je Dampferzeuger	513	kg/s
Äußerer Durchmesser	3615/4860	mm
Rohrdurchmesser x Wanddicke	22x1,2	mm
Gesamtgewicht einschließlich Füllung	450	Mg
Frischdampfdruck	68,65	bar
Frischdampftemperatur	284,5	°C
Dampffeuchte	0,25	%

Druckhalter

Gesamtes freies Volumen	65	m ³
Wasservolumen bei Vollast	40	m ³
Dampfvolumen bei Vollast	25	m ³
Betriebstemperatur	350	°C
Betriebsdruck	158	bar

10. TurbosatzTurbine

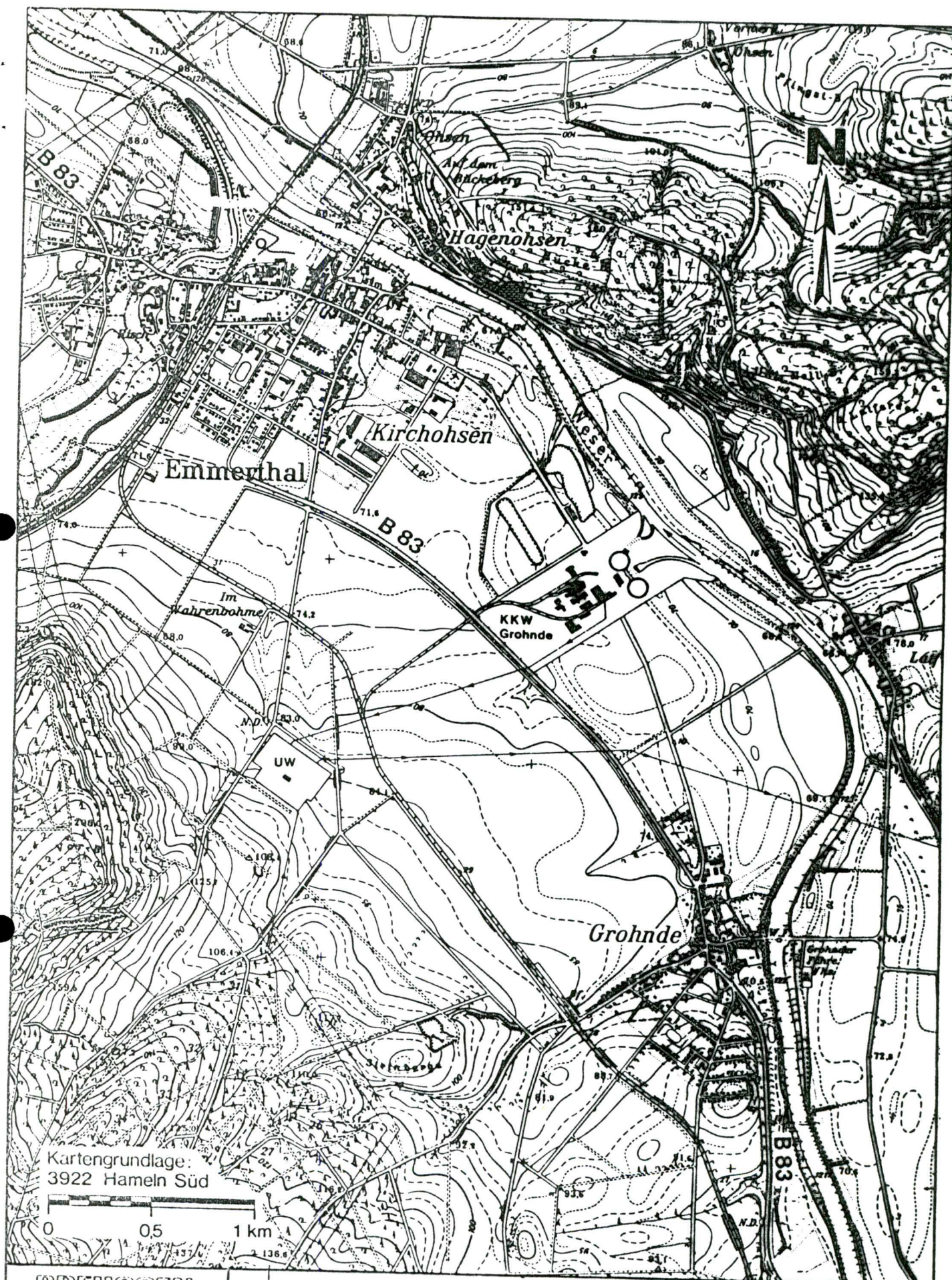
Typ	Sattdampf-Konden- sationsturbine
Turbinengehäuse	1 HD - 2-flutig 3 ND - 2-flutig
Drehzahl	25 s ⁻¹
Frischdampfdruck vor der Turbine	66,65 bar
Frischdampf-Enthalpie	2770,9 kJ/kg
Durchmesser der letzten Stufe	5624 mm
Endschaufellänge	1356 mm

Oberflächenkondensator

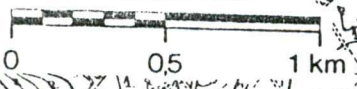
Anzahl x Kühlfläche	3 x 25013	m ²
Kühlwassereintrittstemperatur	12	°C
Kühlwasseraustrittstemperatur	24,2	°C
Kondensatorkühlwassermenge	47222	kg/s
Kondensatordruck	48,8	mbar

Generator

Drehzahl	25	s ⁻¹
Scheinleistung	1560	MVA
Wirkleistung	1361	MW
Leistungsfaktor cos φ	0,87	
Klemmenspannung	27	kV
Frequenz	50	Hz
Kühlmittel für Ständer und Läuferwicklung	H ₂ O	



Kartengrundlage:
3922 Hameln Süd



PREUSSEN
—ELEKTRA
HV HANNOVER

Index Änderungen

**GEMEINSCHAFTSKERNKRAFTWERK
GROHNDE - ÜBERSICHTSLAGEPLAN**

KWG Abb. 2.1/1

Maßst.	Tag	Name
1:25000	Gez. Stand 1980	
Gepr.		
Z.-Nr.	4 - 834	

Tabelle 2.2/2Brennelement-Daten

Werkstoffe und Abmessungen bei 20 °C

Brennelement

Länge	4835	mm
Grundriß	229,6 x 229,6	mm
Stabgitterteilung	14,3 x 14,3	mm
Anzahl der Brennstäbe	236	
Anzahl der Führungsrohre für Steuerstäbe	20	
BE-Gesamtgewicht ca.	832	kg

<u>Hüllrohre</u>	Werkstoff	Zircaloy-4
Außendurchmesser		10,75 mm
Wanddicke		0,725 mm
Länge		4407

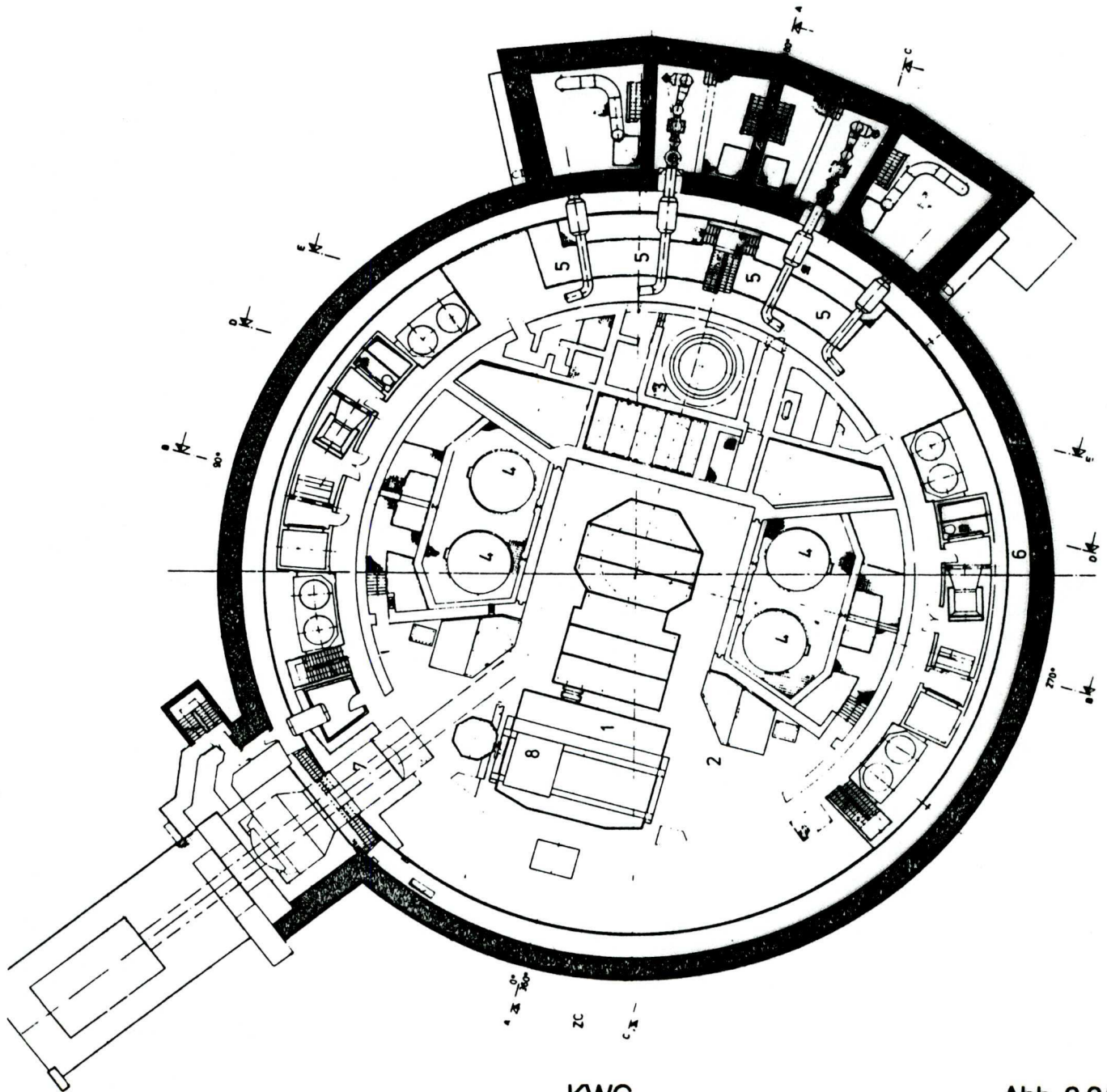
<u>Brennstoff</u>	Werkstoff	Urandioxyd
Tablettendurchmesser		9,11 mm
Tablettenlänge		11 mm
aktive Säulenlänge im Brennstab		3900 mm
Spezifisches Gewicht		10,4 g/cm ³

<u>Führungsrohr</u>	Werkstoffe	X10CrNiTi18 9
		Zircaloy-4*
Außendurchmesser		13,72 mm
Wanddicke		0,47 mm
Länge		4508 mm

<u>Abstandshalter</u>	Werkstoff	Inconel 718
Höhe		38 mm
Blechdicke		0,42 mm
<u>Kopf und Fuß</u>	Werkstoff	X10CrNiTi18 9
Höhe Kopf		205 mm
Höhe Fuß		182 mm
Durchmesser der Kühlmittelbohrung		10,5 mm

* Führungsrohrwerkstoff für Nachladeelemente

- 1 Brennelementbecken
- 2 Beckenflur
- 3 Abstellplatz für Reaktordeckel
- 4 Dampferzeuger
- 5 Frischdampfleitungen
- 6 Sicherheitsbehälter
- 7 Materialschleuse
- 8 Lademaschine



KWG

Abb. 2.2/1

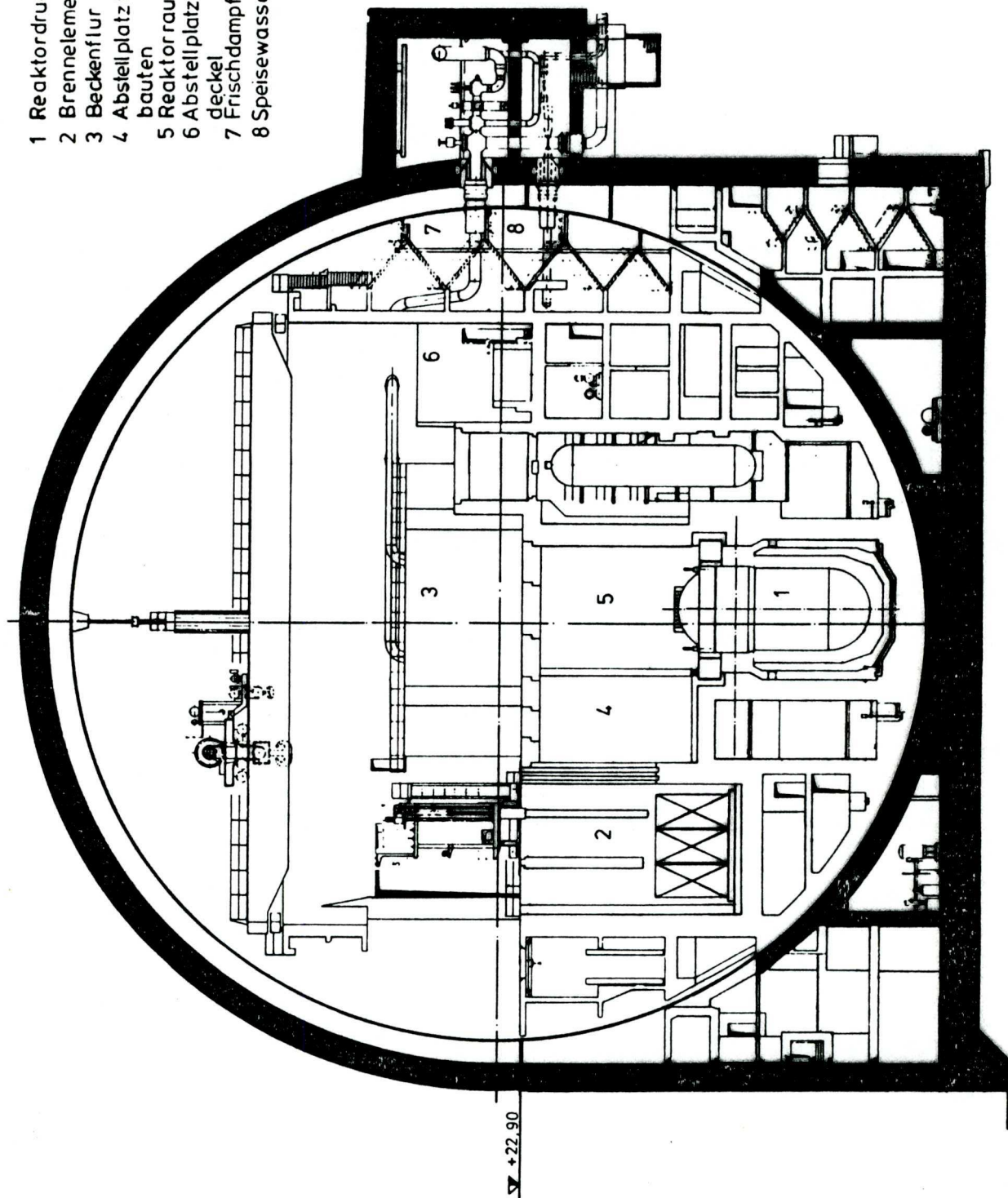
Reaktorgebäude
Grundriß + 22,9 m

Kernkraftwerk mit Druckwasserreaktor



Kraftwerk Union AG

- 1 Reaktordruckbehälter
- 2 Brennelementbecken
- 3 Beckenflur
- 4 Abstellplatz für Kerneinbauten
- 5 Reaktorraum
- 6 Abstellplatz Reaktordeckel
- 7 Frischdampfleitung
- 8 Speisewasserleitung



KWG

Abb. 2.2/2

Reaktorgebäude
Schnitt A - A

Kernkraftwerk mit Druckwasserreaktor



Kraftwerk Union AG

3 Beschreibung und Auslegung der Kompaktlagergestelle

3.1 Beschreibung der Kompaktlagergestelle

Die Kompaktlagergestelle nehmen im Brennelementbecken bestrahlte und unbestrahlte Brennelemente auf. Der konstruktive Unterschied zwischen den Kompaktlagergestellen und den Normallagergestellen besteht darin, daß bei den Kompaktlagergestellen die vorgeschriebene Unterkritikalität nicht nur durch Brennelementabstand, sondern durch zusätzliches neutronenabsorbierendes Material in Form von Absorberschächten um jede Brennelementposition als fester Bestandteil der Gestelle erreicht wird. Durch die verringerten Abstände zwischen den Brennelementen (von 380 auf 283 mm) wird die Lagerkapazität im Brennelementbecken von 260 auf 768 Positionen erhöht. Die Positionierung der Kompaktlagergestelle ist so vorgesehen, daß ausreichend Platz für die in DIN 25428 geforderten Freiräume vorhanden ist (Abb. 3/1). Die wichtigen technischen Daten sind in Tabelle 3/1 zusammengefaßt.

Die Kompaktlagergestelle bestehen im wesentlichen aus den folgenden Baugruppen (Abb. 3/2)

- Unterer Tragverband mit den Zentrierfüßen
- Oberer Tragverband
- Tragschächte
- Absorberschächte

Die Brennelemente werden auf dem unteren Tragverband abgestellt. Dieser wird als Schweißkonstruktion ausgeführt und besteht aus einer stabilen Deckplatte mit untergesetzten Versteifungsrippen.

...

An der Unterseite befinden sich Abstell- und Zentrierfüße zur genauen Fixierung des Kompaktlagergestells auf den vorgesehenen Bolzen des Brennelementbeckens. Auf der oberen Seite sind die Zentrierelemente für die Aufnahme und genaue Positionierung der Absorberschächte montiert.

Der obere Tragverband besteht aus einem kammverzahnten Gitter. Es dient zur Halterung und Fixierung der Absorberschächte sowie zum Zentrieren und Abstützen der Zentrierglocke des Lademaschinengreifers während der Brennelementhandhabung.

Die Tragschächte verbinden den unteren und oberen Tragverband und halten diese auf den vorgegebenen Abstand. Sie übertragen Kräfte und Momente zwischen dem oberen und unteren Tragverband und leiten diese weiter über die Abstell- und Zentrierfüße des unteren Tragverbandes in die Tragkonstruktion des Brennelementbeckenbodens. Die Absorberschächte und die darin gelagerten Brennelemente haben keine tragende Funktion.

Da die Brennelemente in dem kompakten Lagergestell dicht beieinander stehen, werden zur Einhaltung der sicheren Unterkritikalität für alle Brennelemente Neutronen-Absorberschächte verwendet. Diese quadratischen Schächte bestehen aus neutronenabsorbierenden Stahlblechen, die die Brennelemente über die gesamte Länge umschließen. Die Absorberbleche sind zu stabilen und formgenauen Schächten zusammengefügt. Diese Schächte werden durch die kammverzahnten Stege des oberen Tragverbandes sowie durch Profilleisten am unteren Tragverband zentriert.

Das Brennelementbecken ist mit vollentsalztem, boriertem Wasser mit einer Borkonzentration von 2200 ppm gefüllt. Aus Gründen der Korrosionsbeständigkeit und Verträglichkeit mit den Beckenkomponenten sind alle Baugruppen und Bauteile der Kompaktlagergestelle aus nichtrostendem Stahl hergestellt.

...

3.2 Auslegung der Kompaktlagergestelle

3.2.1 Festigkeit

Bei der Auslegung der Kompaktlagergestelle, der Gestellverankerung und der Betonstruktur des Brennelementbeckenbodens werden neben den betrieblich bedingten Lasten auch die Sonderlasten aus Erdbeben und den induzierten Erschütterungen aus Flugzeugabsturz und Explosionsdruckwelle berücksichtigt. Die einzuhaltenden zulässigen Spannungen und Sicherheitsbeiwerte sind für die im DIN-Regelwerk nicht festgeschriebenen Werkstoffe z. B. nichtrostender Chrom-Nickel-Stahl in Anlehnung an das DIN-Regelwerk ermittelt und festgelegt worden.

Die strukturdynamische Analyse aller Betriebs- und Sonderlastfälle für die Gestelle und die Betonstruktur zeigt, daß die vorgeschriebenen Sicherheitsbeiwerte bzw. die zulässigen Spannungen nicht überschritten werden. Damit ist sichergestellt, daß die Schutzziele

- Wahrung der Unterkritikalität
- Integrität der Betonstruktur
- Standfestigkeit der Gestelle

gewahrt bleiben.

Für die dynamische Berechnung der Kompaktlagergestelle werden die Bewegungen und Beschleunigungen des Reaktorgebäudes aus den Sonderlastfällen, die in der Höhe des Brennelementbeckenbodens auf die Kompaktlagergestelle wirksam werden, zugrunde gelegt.

Je nach Berechnungsverfahren können die Anregungen auf die Kompaktlagergestelle (Belastungsfunktionen) in Form von Etagen-Antwort-Spektren (Spektralverfahren) oder die zeitlichen Bewegungsabläufe des Gebäudes (Time-History-Verfahren), wirksam in der horizontalen und vertikalen Ebene (gleichzeitig wirkend), in die Berechnung eingesetzt werden.

...

Bei der Anwendung des Spektralverfahrens wird eine Dämpfung von 7 % (Verhältnis der vorhandenen Dämpfung zur kritischen Dämpfung) berücksichtigt.

Bei der Anwendung des Time-History-Verfahrens wird die Dämpfung berücksichtigt, die sich aus der jeweiligen Anregfrequenz des Kompaktlagergestells ergibt.

Die strukturdynamische Berechnung erfolgt mit einem Finite-Element-Programm.

3.2.2 Kritikalitätssicherheit

Bei der vorliegenden Konstruktion ist jedes Brennelement mit einem allseitig geschlossenen Kasten aus Borstahl (mind. 1,0 Gew.-% Bor) umgeben. Hierdurch wird eine sichere Unterkritikalität bei Flutung mit unboriertem Wasser gewährleistet.

Zur Sicherstellung der Unterkritikalität eines mit Brennelementen beladenen Kompaktlagergestelles bei allen möglichen Betriebsbedingungen werden die in der DIN 25428, "Lagerbecken für Brennelementbündel von wassergekühlten Leistungsreaktoren" spezifizierten Randbedingungen eingehalten:

- Die Brennelemente werden im Kompaktlagergestell so angeordnet, daß aufgrund des gegenseitigen Abstandes der Brennelemente und der neutronenabsorbierenden Zwischeneinbauten der k_{eff} -Wert im mit borfreiem Wasser gefüllten Brennelementbecken stets kleiner als 0,95 ist.
- Die Berechnung der Kritikalität erfolgt für ein in allen 3 Dimensionen unendlich ausgedehntes Kompaktlagergestell.
- In den Kritikalitätsrechnungen werden nur jene neutronenabsorbierenden Bauteile berücksichtigt, die fester Bestandteil der Kompaktlagergestelle sind.

Die Kritikalitätsanalyse für die Kompaktlagergestelle wurde mit dem Rechen-Programm KMC durchgeführt.

Die neutronenphysikalische Auslegungsrechnung erfolgte mit den folgenden, z. T. bewußt konservativ gewählten Eingabedaten:

- 16 x 16 DWR-Brennelemente mit 20 Steuerstabführungsrohren aus Zircaloy,
- die Anreicherung der Brennstäbe wurde mit 3,5 Gew.% U-235 angenommen,

...

- die Brennstoff- und Wassertemperaturen wurden mit 20 °C angenommen.
- es wird angenommen, daß sich im Brennelementbecken borfreies Wasser befindet. Von der Borierung mit einer Konzentration von ca. 2200 ppm wird bei der Berechnung kein Kredit genommen,
- der Zentralabstand der Brennelemente beträgt 28,3 cm,
- Borstahlschächte um jedes Brennelement,
- die Dicke des Borstahlbleches beträgt 0,3 cm,
- Borkonzentration im Borstahl $\geq 1,0$ Gew.% Bor natürlicher Zusammensetzung,
- Tragschächte aus 0,5 cm dickem Stahlblech um je vier Brennelemente
- axiale Neutronenleckage wurde nicht berücksichtigt

Die Berechnung des k_{∞} -Wertes unter Berücksichtigung obiger Annahmen ergab einen Wert von $k_{\infty} = 0,927$ bei einem statistischem Fehler von $\pm 0,003$ und ist damit kleiner als der nach DIN 25428 zugelassene Wert von $k_{\infty} \leq 0,95$. Es wurde auch der Einfluß auf die Kritikalität durch Änderung der Wasserdichte infolge Wassertemperaturänderung betrachtet. Hierbei ist festzustellen, daß für das Kompaktlagergestell der Wasserdichtekoeffizient positiv bzw. der Wassertemperaturkoeffizient negativ ist. Das bedeutet, daß im Brennelementbecken jede Temperaturerhöhung infolge der daraus resultierenden Wasserdichteverminderung zu einer Abnahme des oben angegebenen maximalen k_{∞} -Wertes führt.

...

3.2.3 Thermohydraulische Auslegung

Die durch den Zerfall radioaktiver Spaltprodukte in den eingelagerten Brennelementen freigesetzte Wärmemenge wird an das Brennelementbeckenkühlsystem abgeführt.

Eine ausreichend starke Durchmischung des Brennelementbeckenwassers wird durch die natürliche Konvektionsströmung bewirkt.

Da der Volumenstrom durch alle gelagerten Brennelemente größer als der Volumenstrom des Beckenkühlkreislaufes ist, stellt sich im Brennelementlagerbecken eine Zirkulation (Naturumlauf) ein. Durch Vermischung dieses zirkulierenden Volumenstromes mit dem eingespeisten Volumenstrom wird im Zuführspalt unterhalb der Kompaktlagergestelle eine Beckenwassertemperatur erreicht, die zwischen Einspeis- und Absaugtemperatur liegt.

Das thermodynamische Verhalten eines einzelnen Brennelementes wurde ebenso wie die Gesamtanordnung der in den Kompaktlagergestellen abgestellten bestrahlten Brennelemente untersucht. Es zeigte sich, daß die Temperaturdifferenz des Kühlwassers unter und über den Brennelementlagergestellen nur wenige Grad beträgt und unzulässige lokale Temperaturerhöhungen vermieden werden.

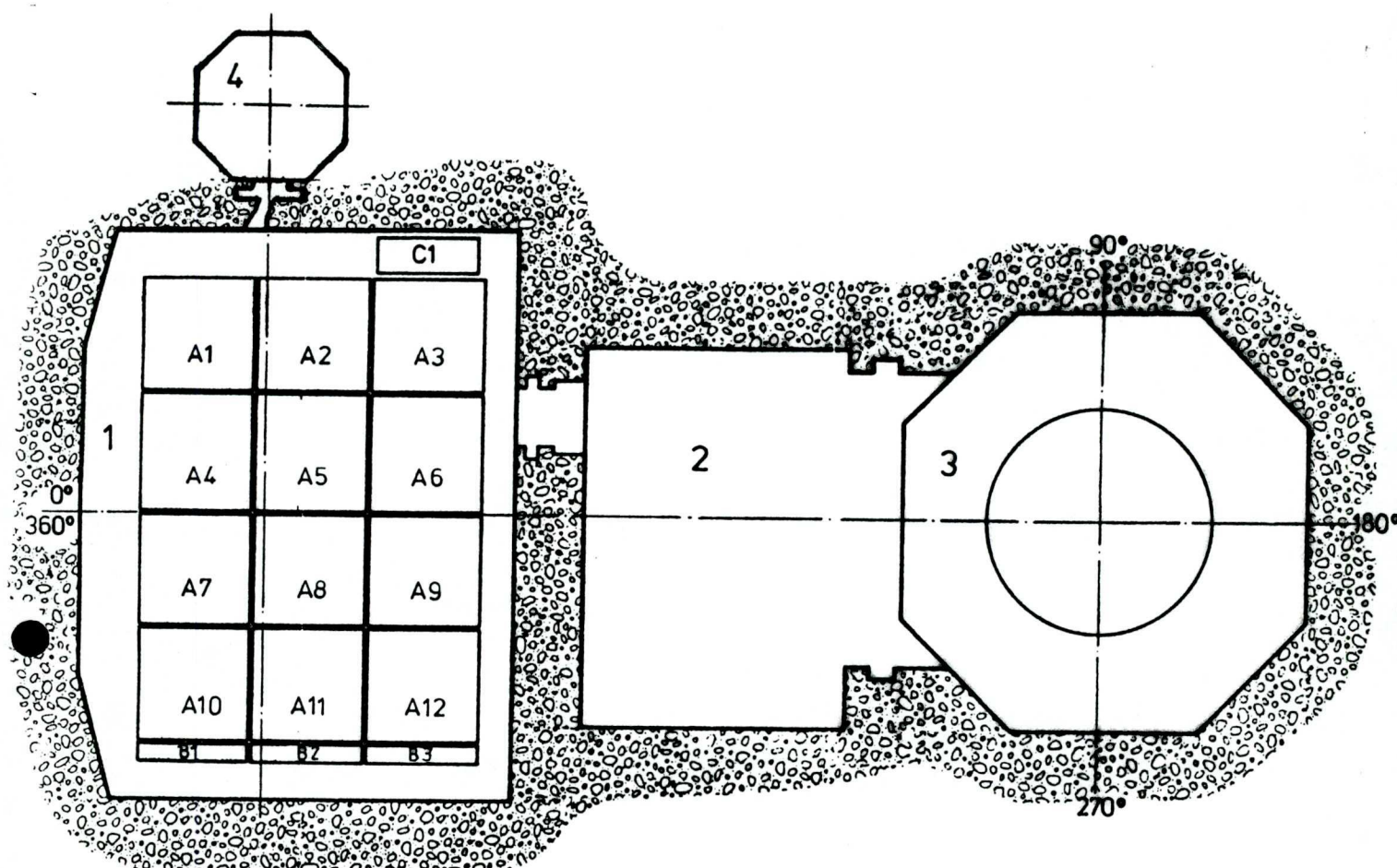
Bei der Einlagerung der bestrahlten Brennelemente ist deshalb keine Brennelementbecken-Belegungsvorschrift erforderlich.

Die mittleren Beckenwassertemperaturen sind in Tabelle 4.2/1 zusammengefaßt.

...

Tabelle 3/1Technische Daten - Kompaktlagergestelle

- Brennelementpositionen pro Gestell	8 x 8 = 64	
- Zentralabstand zwischen den Brennelementen	283	mm
- Innenmaße des Absorberschachtes	236 x 236	mm
- Wandstärke des Absorberschachtes	3	mm
- Boranreicherung des Absorberschachtes	≥ 1	%
- Gestellhöhe max. vom Brennelementbeckenboden	5345	mm
- Außenmaße der Grundplatte	2270x2295	mm



- A - Kompaktlagergestelle
- B - Gestelle für gekapselte Brennelemente
- C - Gestell für Steuerelement-Antriebsstangen
- 1 - Brennelementbecken
- 2 - Absetzbecken für Kerneinbauten
- 3 - Reaktorraum
- 4 - Absetzbecken für Transportbehälter

KWG

Abb. 3/1

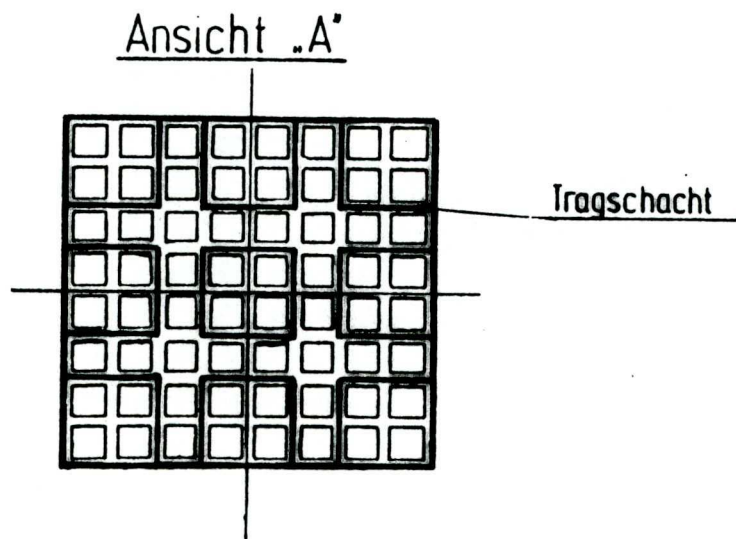
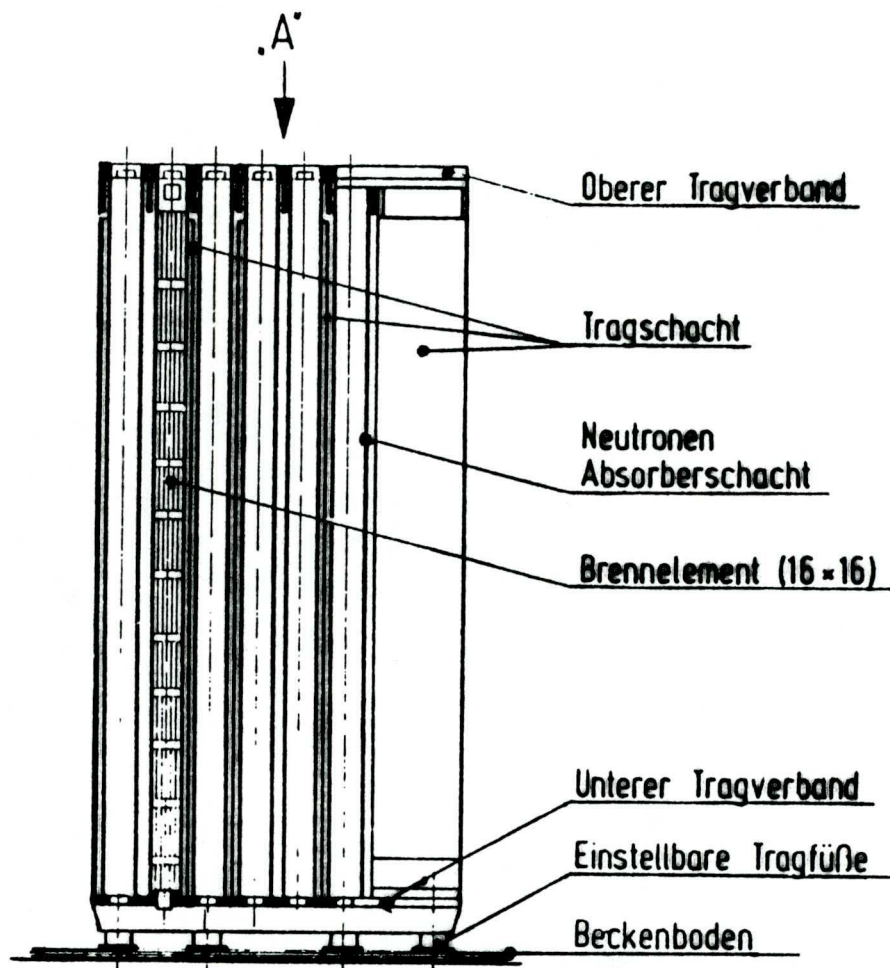
Belegungsplan des
Brennelementbeckens

Kernkraftwerk mit Druckwasserreaktor



Kraftwerk Union AG

Kompaktgestell für Brennelemente DWR



KWG

Abb. 3/2

Kompaktlagergestell

Kernkraftwerk mit Druckwasserreaktor



Kraftwerk Union AG

4 Konsequenzen aus der Erweiterung der Lagerkapazität

4.1 Abtragung der Lasten im Gebäude

Die Gesamtbelastung des Brennelementbeckenbodens aus der Belegung mit Kompaktlagergestellen besteht aus:

- Belastung durch das Gewicht der Kompaktlagergestelle
- Belastung durch die in den Kompaktlagergestellen eingelagerten Brennelemente
- Belastung durch die zusätzlichen Brennelementbeckeneinbauten
- Belastung durch den Wasserinhalt des Brennelementbeckens.

Bei Erhöhung der Brennelementbeckenkapazität von 260 Brennelementen auf 768 Brennelemente verändern sich nur die Belastungen aus dem Gewicht der Kompaktlagergestelle und aus den eingelagerten Brennelementen.

Bei der Auslegung des Brennelementlagerbeckens, der Kompaktlagergestelle und der Gestellverankerung wurden sowohl die Betriebslasten als auch Sonderlasten aus Erdbeben sowie Erschütterungen durch Flugzeugabsturz und Druckwelle berücksichtigt.

4.2 Brennelementbeckenkühlung und -reinigung

4.2.1 Berechnung der Nachzerfallsleistung

Für die Auslegung des Kühlsystems für das Brennelementbecken zur Abfuhr der Nachzerfallsleistung wurden folgende konservative Annahmen getroffen:

- Die minimale Zeit für einen Brennelementwechsel, gerechnet vom Abschalten des Reaktors bis zum Wiederaufstart, beträgt 230 h. Dies ist die kürzeste Abklingzeit für die zuletzt entladene Nachlademenge im Hinblick auf die Berechnung der Wärmeleistung des Brennelementbeckens im Leistungsbetrieb der Anlage.
- die Ausladung des kompletten Kerns vom Reaktordruckbehälter in das Brennelementbecken bei einem Brennelementwechsel ist vom Zeitpunkt der Reaktorabschaltung an frühestens nach 90 Stunden abgeschlossen. Dieser Wert wurde als kürzest mögliche Zeitspanne anhand theoretischer Untersuchungen bestimmt und stellt einen konservativen Idealwert dar. Verzögerungen im Betriebsablauf wie sie z. B. durch Schichtwechsel auftreten, lassen eine Zeit von 135 Stunden erwarten, wie dies auch Erfahrungen in anderen Anlagen gezeigt haben.

Bei der Ermittlung der Nachzerfallsleistung wurden für die 9 Nachlademengen eine Bestrahlungszeit von je 3 Einsatzperioden (Gleichgewichtskern) und für den ausgeladenen Reaktorkern (Kernvollausschüttung) Bestrahlungszeiten von 1, 2 und 3 Einsatzperioden für je ein Kerndrittel zugrundegelegt.

Die Berechnung der Nachzerfallsleistung erfolgte nach /1/ unter Zugrundelegung der realen Bestrahlungszeit und der oben angegebenen geringstmöglichen Abklingzeit der eingelagerten Brennelemente. Für die reale Bestrahlungszeit einer Nachlademenge bzw. für die jeweiligen Nachladeanteile wurde als Einsatzperiode die Zeit zwischen zwei Brennelementwechseln angenommen.

Aus der Dauer für einen Zyklus (1 Einsatzperiode + 1 Brennelementwechsel) ergeben sich für die im Brennelementbecken eingeladenen 9 Nachlademengen die entsprechenden Abklingzeiten.

Die Abb. 4.2/1 und 4.2/2 geben den Verlauf der Nachzerfallsleistung und der mittleren Kühlmitteltemperatur als Funktion der Abklingzeit für die nach dem Brennelementwechsel erste bzw. für die maximal 9 eingeladenen Nachlademengen an.

Abb. 4.2/3 zeigt für den Gleichgewichtszustand den Verlauf der Nachzerfallsleistung im Brennelementbecken über die Zeit von 9 Einsatzperioden, wobei von einem zunächst leeren Brennelementbecken ausgegangen wird. Als Bezugsleistung wurde 102 % der Reaktornennleistung zugrundegelegt. Der in Abb. 4.2/3 dargestellte Brennelementladeplan zeigt die Zunahme der Brennelementbeckenbelegung mit den zugehörigen Bestrahlungs- und Abklingzeiten.

In Tab. 4.2/1 wird die mittlere Kühlmitteltemperatur im Brennelementbecken für verschiedene Fahrweisen der Brennelementbeckenkühlung aufgeführt.

/1/ American National Standard ANSI/ANS 5.1-1979
for decay Heat Power in Light Water Reactors,
June 1979

4.2.2 Brennelementbeckenkühlung

Das Brennelementbecken wird über die Nachkühlkette, bestehend aus dem im Nachkühlsystem (TH) integrierten Beckenkühlkreislauf, dem Nuklearen Zwischenkühlkreislauf (TF) und dem Nebenkühlwasserkreislauf (VE) gekühlt. Das Brennelementbeckenkühlsystem besteht aus zwei vollkommen voneinander getrennten Kühlsträngen. Daneben besteht eine weitere Kühlkette, bestehend aus dem Beckenreinigungssystem, dem Nuklearen Zwischenkühlkreislauf (TF) und dem Nebenkühlwasserkreislauf, über welche das Brennelementbecken gekühlt werden kann. Die Betriebsweise des Beckenkühlsystem richtet sich nach dem Betriebszustand der Anlage. Es wird unterschieden zwischen Leistungsbetrieb, Abfahren der Anlage und Stillstand der Anlage.

Leistungsbetrieb

Mit einer Beckenkühlpumpe wird das erwärmte Wasser aus dem Brennelementbecken abgezogen, durch den zugehörigen Nachwärmekühler gefördert und dem Brennelementbecken wieder zugeführt. Im Nachwärmekühler wird die Wärme an den Nuklearen Zwischenkühlkreislauf weitergegeben und über den Nuklearen Zwischenkühler an das Nebenkühlwasser abgeführt.

Befindet sich die maximal mögliche Brennelementanzahl von 9 Nachlademengen im Brennelementbecken, so ergibt sich eine mittlere Kühlmitteltemperatur im Brennelementbecken von max. 36,0 °C (siehe Abb. 4.2/2 und Tab. 4.2/1).

Hierbei wurde eine maximale Nebenkühlwassertemperatur von 26 °C zugrundegelegt.

Alternativ zu dieser Betriebsweise kann auch mit dem Beckenreinigungssystem und dem dort vorhandenen Brennelementbeckenkühler die Wärme aus dem Brennelementbecken an den Nuklearen Zwischenkühlkreis abgeführt werden. Diese Fahrweise bietet den Vorteil, daß mit dem Beckenreinigungssystem gleichzeitig die Beckenreinigung und -kühlung betrieben werden kann.

...

Abfahren der Anlage

Aufgrund der großen Wärmekapazität des Beckenwassers und der damit verbundenen geringen Aufheizgeschwindigkeit von - im ungünstigsten Fall - ca. 3 K/h ist es möglich, zur Verkürzung der Abfahrzeit des Reaktors die Beckenkühlung vorübergehend außer Betrieb zu nehmen, so lange die zulässige mittlere Temperatur des Beckenwassers nicht überschritten wird.

Stillstand (Kernvollausladung)

Solange sich der Kern im Reaktordruckbehälter befindet, wird im Stillstand der Anlage das Brennelementbecken über eine Nachkühlkette gekühlt. Ist beim Brennelementwechsel die volle Kernladung zusätzlich im Brennelementbecken abgestellt, wird der zweite Beckenkühlkreislauf mit einer Beckenkühlpumpe oder gegebenenfalls einer Nachkühlpumpe in Betrieb genommen. Bei voller Kernausladung und 9 Nachlademengen steigt die Kühlmitteltemperatur auf max. 40,7 °C an (siehe Abb. 4.2/3 und Tab. 4.2/1).

4.2.3 Erwärmung des Flußwassers

Die Vergrößerung der Brennelement-Einlagerungsmenge hat eine Erhöhung der mit dem Nebenkühlwasser an die Weser abzugebenden Wärmemenge zur Folge. Diese ist jedoch sehr gering. Die Temperaturerhöhung des Nebenkühlwassers am Nuklearen Zwischenkühler ist immer kleiner als 1 K.

Deutlich niedriger ist die zusätzliche Erwärmung des Flußwassers. Je nach Betriebsart und Wasserführung der Weser ist von rechnerischen Werten von sehr viel kleiner als 1 K (ca. 0,01 K) auszugehen. Dieser Einfluß ist unbedeutend und liegt weit unterhalb der Meßgenauigkeit.

4.2.4 Brennelementbeckenreinigung

Als Folge der Oberflächenaktivität und aus während des Reaktorbetriebes entstandenen Hüllrohrdefekten gelangen bei der Handhabung und bei den gelagerten Brennelementen radioaktive Stoffe in das Lagerbeckenwasser. Die Hauptaktivitäten im Lagerbeckenwasser fallen während der Zeit des Brennelementwechsels und kurz danach an. Die während der übrigen Zeit anfallenden Aktivitäten sind demgegenüber außerordentlich gering.

Erfahrungswerte bei den Brennelementbecken der laufenden Anlagen mit Kugelharzmischbettfiltern bestätigen folgende Feststellung:

- Die Korrosionsprodukte tragen nur in geringem Umfang zur Gesamtaktivität im Brennelementbecken bei. Dabei ist der Anteil der durch Auflösungsvorgänge in das Lagerbeckenwasser gelangenden ionalen, aktiven Korrosionsprodukte von älteren abgestellten Brennelementen gegenüber dem Aktivitätsanteil der frisch entladenen Brennelemente vernachlässigbar klein.
- Die Freisetzung von langlebigen Spaltprodukten ist sehr gering, da sie nur bei defekten Brennstäben durch Diffusionsvorgänge aus dem Inneren anschließend über die in den Hüllrohren vorhandenen Risse oder Poren in das umgebende Wasser stattfinden kann.

Für die Brennelementbeckenreinigung stellt daher die Anzahl der im Brennelementbecken eingelagerten älteren Brennelemente praktisch keine Beanspruchung dar.

Mit der vorgesehenen und genehmigten Brennelementbecken-Reinigungsanlage kann auch bei der Einlagerung von 768 Brennelementen die Aktivitätskonzentration vorschriftsgemäß gering gehalten werden.

...

4.3 Lüftungstechnische Anlagen

Grundsätzlich zeigt die Erfahrung mit KWU-Leichtwasserreaktoren, daß die Aktivitätsfreisetzung aus dem Brennelementbeckenwasser an die Umgebung des Lagerbeckenflurs bisher keine Probleme hinsichtlich einer Begehrbarkeitseinschränkung oder einer Grenzwertüberschreitung der genehmigten Abgaberraten gebracht hat.

Durch die kurze Halbwertszeit der meisten in den Aerosolen enthaltenen Isotope ist die Freisetzungsrare der länger als ein Jahr eingelagerten Brennelemente gegenüber den frisch aus dem Kern ausgeladenen Brennelementen vernachlässigbar klein.

Für die Auslegung der Lüftungs- und Umluftfilteranlage des Reaktorgebäudes sind daher zwei Faktoren von Bedeutung:

- Die Freisetzungsrare für Aerosole der frisch aus dem Reaktor ausgeladenen Kernladung,
- der Zeitraum des Brennelementwechsels.

Die durch die Kompaktlagerung im Brennelementbecken eingelagerten älteren Brennelemente haben somit keinen Einfluß auf die lüftungstechnischen Anlagen.

4.4 Veränderung des Aktivitätsinventars

Die nuklidspezifische Berechnung des Aktivitätsinventars der Nachlademengen und des entladenen Reaktorkerns erfolgt mit dem Rechenprogramm ORIGEN*.

Das Aktivitätsinventar der im Brennelementbecken befindlichen Brennelemente setzt sich aus einem Gemisch von kurz- und längerlebigen Isotopen zusammen und klingt relativ schnell ab, so daß die bereits längere Zeit abgelagerten Brennelemente im Vergleich zum frisch ausgelagerten Reaktorkern vergleichsweise geringe Anteile enthalten. Bei Vergrößerung der Lagerkapazität im Brennelementbecken steigt das gesamte, maximal mögliche eingelagerte Aktivitätsinventar nicht proportional mit der Anzahl der eingelagerten Brennelemente an, vielmehr wird ein Höchstwert immer dann erreicht, wenn ein Kern gerade ausgeladen worden ist. Zur Beurteilung einer störfallbedingten Gefährdung ist der frühest mögliche Zeitpunkt zu betrachten, weil zu diesem Zeitpunkt flüchtige, kurzlebige Nuklide überwiegen. Länger abgeklungene Wechselchargen enthalten kaum flüchtige Nuklide und beeinflussen deshalb die Beurteilung nicht.

In Tabelle 4.4/1 wird angegeben, wie sich der Höchstwert des Aktivitätsinventars mit der Anzahl eingelagerter Brennelemente verändert, in Tabelle 4.4/2 werden die Inventare der einzelnen Wechselchargen mit Abklingzeiten von 1-9 Jahren angegeben. Zum Vergleich von Normal- und Kompaktlagerung (Lagerkapazität 4 bzw. 12 Nachlademengen) wird folgendes angenommen:

- Bei Normallagerung befinden sich im Brennelementbecken maximal 1 Nachlademenge (Kerndrittel) aus einem Gleichgewichtskern vom letzten Brennelementwechsel und der ausgeladene Gleichgewichtskern.
- Bei Kompaktlagerung wird angenommen, daß sich im Brennelementbecken 9 Nachlademengen aus Gleichgewichtskernen von früheren Brennelementwechseln und der ausgeladene Gleichgewichtskern befinden. (Im Gleichgewichtszustand erreicht die jeweilige Wechselcharge einen Abbrand von ca. 32 MWd/kg U).
- Die Abklingzeit der frisch entladenen Brennelemente wurde konservativ mit 90 h angenommen (siehe Kap. 4.2.1).

* M. J. Bell: "ORIGEN-The ORNL Isotope Generation and Depletion Code", Oak Ridge 1973

- Zur Bestimmung des Aktivitätsinventars eines Reaktorkerns mit 3765 MW Wärmeleistung im Gleichgewichtszustand wird vorausgesetzt, daß sich der Kern aus 3 annähernd gleich großen Teilen (Kerndritteln) mit 1, 2 und 3 Jahren Einsatzzeit und einer mittleren Anreicherung von 3,3 Gew. % U-235 zusammensetzt. Stillstandzeiten werden mit einem Lastfaktor 0,8 berücksichtigt.

Bei den Spaltprodukten, die ca. 80 % des Gesamtaktivitätsinventars darstellen, wird der Hauptanteil des Aktivitätsinventars nach 90 h Abklingzeit durch Isotope des Cer, Zirkon, Ruthenium, Barium und Jod sowie deren Folgeprodukte bestimmt.

Nach längerer Abklingzeit, also bei gelagerten Nachlademengen dominieren dann die Isotope des Strontiums, Cäsiums und Promethiums.

Bei den Aktiniden, die ca. 20 % des Gesamtinventars darstellen, wird kurz nach dem Entladen die Hauptaktivität vom Np-239 geliefert, das mit einer Halbwertszeit von 2,35 d jedoch rasch abklingt. In der Folge dominiert das Pu - 241, das mehr als 80 % der Gesamtaktivität dieser Gruppe liefert.

Die Aktivität des Strukturmaterials ist mit ca. 0,3 % der Gesamtaktivität von untergeordneter Bedeutung.

Betrachtet man das Gesamtbild des Aktivitätsinventars der beiden Lagerkonzepte, so läßt sich erkennen, daß das Aktivitätsinventar nicht proportional mit der Anzahl der eingelagerten Brennelemente steigt. Durch Erhöhung der Zahl gelagerter Brennelemente um ca. 200 % vermehrt sich beim neuen Lagerkonzept das Aktivitätsinventar um nur ca. 6 %.

In der Tabelle 4.4/3 ist das Aktivitätsinventar einzelner Nuklide angegeben.

4.5 Strahlung und Abschirmung

4.5.1 Strahlung an der Wasseroberfläche

Die Dosisleistung an der Wasseroberfläche des Brennelementbeckens wird in erster Linie durch die Aktivität radioaktiver Verunreinigungen im Lagerbeckenwasser, weniger durch die Direktstrahlung der im Brennelementbecken eingelagerten Brennelemente sowie eines mit der Brennelementwechselmaschine transportierten Brennelementes bestimmt.

Die Aktivitätskonzentration des Beckenwassers ist nach entsprechenden Erfahrungen beim Brennelementwechsel höher als während der übrigen Betriebszeit, da sich bei der Brennelementhandhabung Aktivierungsprodukte von der Brennstaboberfläche lösen und radioaktive Stoffe in Form von Spaltprodukten leichter in das Beckenwasser freigesetzt werden können. Um die spezifische Wasseraktivität niedrig zu halten, wird das Beckenwasser gereinigt. Da die Auslegung der Lagerbeckenreinigungsanlage an der Aktivitätsfreisetzung beim Brennelementwechsel bemessen wird, ergibt sich aus der Kompaktlagerung keine unzulässige Erhöhung der Dosisleistung an der Wasseroberfläche.

Aufgrund der großen Wasserüberdeckung von 8 m hat der Anteil, der aus der Direktstrahlung der gelagerten Brennelemente resultiert, nur einen vernachlässigbaren Einfluß auf die Gesamtdosisleistung an der Wasseroberfläche.

Die Handhabung eines Brennelementes mit der Brennelement-Wechselmaschine ist unabhängig von der Art der Lagergestelle. Infolge einer verminderten Wasserüberdeckung bei der Brennelementhandhabung von frisch ausgeladenen Brennelementen oder solchen aus der letzten Wechselcharge wird zwar die Direktstrahlung vergrößert, dieser Effekt ist jedoch nicht kompaktlagerspezifisch.

...

4.5.2 Strahlung in den angrenzenden Räumen

Die Strahlung in den an das Brennelementbecken angrenzenden Räumen wird durch die größere Belegungsdichte, durch die Verringerung der Abstände und durch den Einsatz der Absorberschächte nur wenig beeinflusst.

Die größere Belegungsdichte hat eine entsprechende Vergrößerung der Quellstärke zur Folge. Da jedoch bei der vorliegenden Gestellanordnung die Selbstabsorption in etwa demselben Maße wächst, ist durch die dichtere Belegung mit Brennelementen die Änderung des durch die Brennelemente verursachten Strahlungspegels nahezu kompensiert.

Die Verringerung der Abstände zwischen den äußeren Brennelementen und der Lagerbeckenwand ergibt eine kleinere Wasservorlage und bewirkt dadurch eine leicht erhöhte Strahlung in den angrenzenden Räumen. Die vorhandene Abschirmung reicht jedoch aus, um die Dosisleistung bei einer Brennelementlagerung in Kompaktgestellen auch in Nachbarräumen den Planungswert von $10 \mu\text{J/kg h}$ (1 mrem/h) zu halten. Dies gilt auch, wenn die Brennelemente nach einer Abklingzeit von ca. 90 Stunden in die äußeren Positionen eingeführt werden. Somit sind durch den Einsatz der Kompaktlagergestelle keine abschirmtechnischen Änderungen notwendig.

4.6 Abgabe radioaktiver Stoffe

4.6.1 Aktivitätsabgabe mit der Abluft

Die Freisetzung radioaktiver Isotope in die Raumluft im Bereich des Brennelementbeckens ist abhängig von der Konzentration und Flüchtigkeit radioaktiver Stoffe im Beckenwasser, von der Verdunstungsrate und davon ob aufgrund von Manipulationen mit Brennelementen im Brennelementbecken Bewegungen der Wasseroberfläche stattfinden, die zur Freisetzung radioaktiver Aerosole führen könnten. Die höchste Aktivitätskonzentration und die meisten Manipulationen liegen während des Brennelementwechsels vor, wenn die noch stärker strahlenden, überwiegend sehr kurzlebige radioaktive Nuklide enthaltenden Brennelemente aus dem geöffneten Reaktor ins Brennelementbecken gelagert werden. Dabei wird das Beckenwasser mit dem radioaktiven Reaktorkühlmittel vermischt. Etwaige Verunreinigungen des Wassers durch Radionuklide, aus älteren Brennelementwechselchargen, sind dagegen vernachlässigbar, da deren Inhalt an radioaktivem Material sich durch den radioaktiven Zerfall auf weniger als ein Zehntel des ursprünglichen Wertes verringert hat.

Die Freisetzung radioaktiver Nuklide in die Raumluft im Bereich des Beckenraumes ist damit während der Brennelementwechselphase unabhängig von der Anzahl eingelagerter älterer Brennelemente, also unabhängig von der Lagerkapazität.

Eine signifikante Beeinflussung der Konzentration radioaktiver Aerosole über dem Brennelementbecken durch vermehrten Übertritt aus dem Beckenwasser aufgrund einer langfristigen Konzentrationserhöhung zwischen zwei Brennelementwechseln ist nicht zu erwarten. Durch die kurze Halbwertszeit der meisten als Aerosole auftretenden Isotope ist die Freisetzungsrates der länger als 1 Jahr eingelagerten Brennelemente gegenüber den neu hinzugekommenen klein. Bei vergleichbaren Anlagen sind außerhalb der Zeit des BE-Wechsels am Beckenrand bisher keine meßbaren Aktivitätskonzentration aufge-

...

treten. Außerdem bleibt die Verdunstungsrate praktisch unverändert. Die Wärmeabgabe im Brennelementbecken wird durch die frisch eingelagerten Brennelemente bestimmt, während der Beitrag älterer, abgeklungener Brennelemente gering ist.

Die in der Raumluft eventuell enthaltenen radioaktiven Stoffe werden mit der Fortluft über Filter geleitet. Dort wird der größte Teil der Feststoffe zurückgehalten. Der kleine verbleibende Rest wird über den Fortluftkamin an die Atmosphäre abgegeben. Insgesamt ist vom Beckenraum nur ein sehr geringer Beitrag zur Aktivitätsabgabe über die Lüftung zu erwarten. Der weitaus überwiegende Teil stammt aus den Räumen, in denen sich das Reaktorkühlsystem und die nuklearen Hilfsanlagen befinden.

Da die Freisetzung radioaktiver Stoffe im Beckenbereich während des Brennelementwechsels am größten und unabhängig von der Lagerkapazität ist, bleibt auch die Aktivitätsabgabe über den Fortluftkamin und die daraus folgende Umgebungsbelastung von der Lagerkapazität unbeeinflusst, zumal zwischen zwei Brennelementwechseln der Beitrag des Beckenbereiches zur Gesamtabgabe noch geringer ausfällt.

Die Fortluft aus dem Kontrollbereich wird auf Aktivität überwacht. Damit wird sichergestellt, daß bei keinem betrieblichen Vorgang die von der Genehmigungsbehörde festzulegenden Abgabegrenzwerte überschritten werden.

4.6.2 Aktivitätsabgabe mit dem Abwasser

Die Aktivitätskonzentration im Brennelementbecken wird maßgeblich vom Brennelementwechsel und den hierbei auszuführenden Brennelementbewegungen bestimmt und ist unabhängig von der maximal im Lagerbecken möglichen Anzahl gelagerter Brennelemente.

Aus dem Brennelementbecken gelangt kein Wasser in die Umgebung. Etwaige Leckagen des Beckenkühlkreislaufts und der Beckenreinigung gelangen ins nukleare Abwassersystem. Dort werden diese Abwässer zusammen mit denen aus allen anderen Teilen des Kontrollbereichs gesammelt, gereinigt und schließlich kontrolliert abgegeben.

Nach den bisherigen Erfahrungen in anderen Anlagen kann ein Teil der gesammelten Abwässer ohne weitere Behandlung kontrolliert an das Kraftschlußbecken abgegeben werden. Abwasser mit niedriger Aktivität und vorwiegend ungelösten Aktivitätsträgern wird über die Anschwemmfilteranlage gereinigt; Abwasser höherer Aktivität wird in der Verdampferanlage aufbereitet.

Die Abgabe der gesammelten Abwässer darf nur erfolgen, wenn u. a. die Höchstkonzentration des Abwassers vor Durchmischung mit dem Kühlwasser von $1,85 \cdot 10^7 \text{ Ba/m}^3$ ($5 \cdot 10^{-4} \text{ Ci/m}^3$) und die von der Genehmigungsbehörde noch festzulegenden Grenzwerte für die Jahresabgabe nicht überschritten werden.

Ein Zusammenhang zwischen der Umgebungsbelastung durch radioaktives Abwasser und der Lagerkapazität ist nicht herzustellen. Die beantragten Abgabewerte können unabhängig von der Lagerkapazität eingehalten werden.

4.6.3 Abgabe fester Stoffe

Im gesamten Kernkraftwerk fallen erfahrungsgemäß ca. 4 m³/Jahr radioaktive verbrauchte Harze aus den Filtern an. Diese Harze werden im Kraftwerk verfestigt und in 200 l Rollreifenfässer so abgefüllt, daß sie anschließend oder nach einer Zwischenlagerung zu einem Endlager gebracht werden können.

Der Anfall an verbrauchten Harzen aus den Filtern ist unabhängig von der Anzahl der eingelagerten Brennelemente, da die Filter in der Reinigungsanlage nicht wesentlich höher belastet werden als bei der bisherigen Lagerung.

Tabelle 4.1/1Belastung des Brennelementbeckens (Betriebslasten)

Benennung	Normalgestelle	Kompaktgestelle
Aufteilung der Brennelemente innerhalb eines Gestelles	6 x 6 = 36	8 x 8 = 64
Grundfläche eines Gestelles (m x m)	2,270x2,295=5,21	2,295x2,295=5,27
Gewicht eines Gestelles einschließlich Brennelemente (KN)	440	800
Flächenlast des gesamten Brennelementbeckenbodens durch Gestelle (KN/m ²)	74	154
Flächenlast durch den Wasserinhalt (KN/m ²)	136	136
Gesamtflächenlast aus Gestellen plus Wasserinhalt (KN/m ²)	210	290
Dimensionierung des Brennelementbeckenbodens (KN/m ²)	336	336

Tabelle 4.2/1

Nachzerfallsleistung und mittlere Kühlmitteltemperaturen
im Brennelementbecken

Eingelagerte Brenn- elemente	im Lagerbecken anfallende Nachzerfalls- leistung MWth	Anzahl der betriebenen Kühlstränge	mittlere Beckenwas- sertempera- tur °C *)	zulässige mittlere Bek- kenwasser temperatur nach DIN 25428 °C
1 Nachlade- menge	3,3	1	33,0	40
		2	29,5	40
9 Nachlade- mengen	4,5	1	36,0	40
		2	31,1	40
1 Nachlade- menge zu- sätzlich Kernauss- ladung	15,9	1	52,0	60
		2	39,5	45
9 Nachlade- mengen zu- sätzlich Kernauss- ladung	16,7	1	54,4	60
		2	40,7	45

* bei einer Nebenkühlwassertemperatur von 26 °C

Tabelle 4.4/1

Maximales Aktivitätsinventar im Brennelementbecken.

Abklingzeit des Gesamtgewichtskerns: 90 Stunden

Abklingzeit der Nachlademengen: 1 - 9 Jahre

Lagerbecken- belegung	bisherige Kapazität	erweiterte Kapazität	Steigerung
Kernla- dungen	3/3 + 1/3	3/3 + 9/3	200 %
Aktivität Spaltprodukte (Ci)	2,63 E9*	2,80 E9	6,5 %
Aktivität Aktiniden (Ci)	7,72 E8	7,96 E8	3,1 %
Aktivität Strukturmaterial (Ci)	1,17 E7	1,26 E7	7,7 %
Gesamtaktivität (Ci)	3,41 E9	3,61 E9	5,9 %

* 2,63 E9 = 2,63 · 10⁹

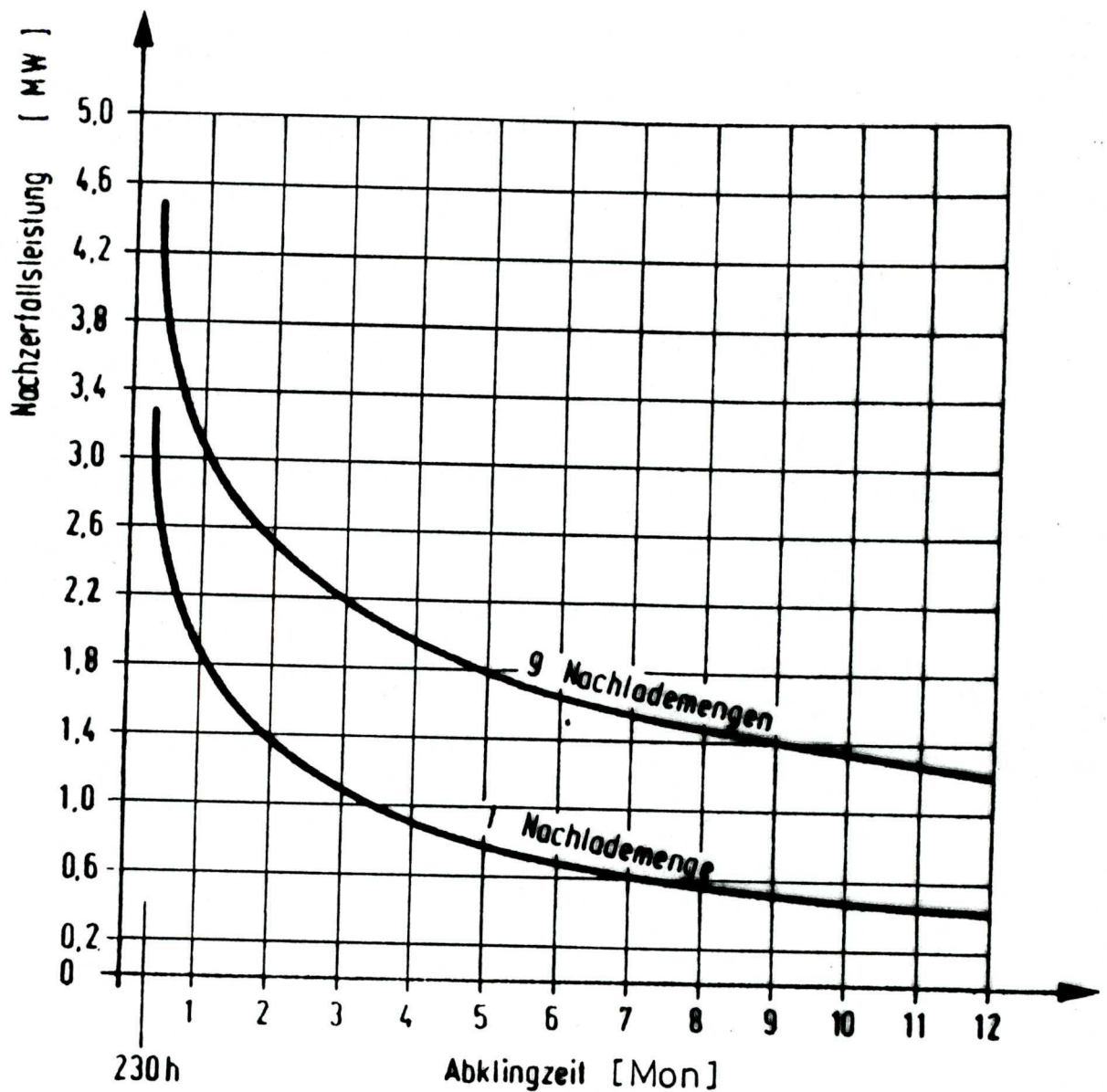
Tabelle 4.4/2

Aktivitätsinventar der einzelnen Nachlademengen

Zahl der ent- ladenen Brennele- mente	Abkling- zeit	Spalt- produkte	Akti- niden	Aktivitätsinventare (Ci)	
				Struktur- material	Summe
193	90 h	2,55E+9	7,68E+8	1,14E+7	3,33E+9
64	1 a	8,22E+7	4,06E+6	3,48E+5	8,66E+7
64	2 a	4,43E+7	3,68E+6	1,95E+5	4,82E+7
64	3 a	2,87E+7	3,48E+6	1,57E+5	3,23E+7
64	4 a	2,10E+7	3,32E+6	1,30E+5	2,45E+7
64	5 a	1,70E+7	3,17E+6	1,08E+5	2,03E+7
64	6 a	1,47E+7	3,04E+6	9,11E+4	1,78E+7
64	7 a	1,33E+7	2,91E+6	7,71E+4	1,63E+7
64	8 a	1,24E+7	2,79E+6	6,58E+4	1,53E+7
64	9 a	1,17E+7	2,67E+6	5,63E+4	1,44E+7

Tabelle 4.4/3 - Fortsetzung

Nuklid	Aktivitätsinventar bei	
	1 Nachlademenge und 1 ganzer Kern mit 90 h Abkling- zeit im BE-Becken Ci	9 Nachlademengen und 1 ganzer Kern mit 90 h Abkling- zeit im BE-Becken Ci
Nb 97 m	4,33 E6	4,33 E6
Nb 97	4,51 E6	4,51 E6
Mo 99	7,54 E7	7,54 E7
Tc 99 m	7,21 E7	7,21 E7
Tc 99	1,53 E3	5,56 E3
Ru 103	1,30 E8	1,30 E8
Rh 103 m	1,30 E8	1,30 E8
Ru 106	5,00 E7	6,03 E7
Rh 106	5,00 E7	5,00 E7
Sb 125	8,42 E5	1,58 E6
Te 125 m	3,00 E5	6,09 E5
Te 132	6,54 E7	6,54 E7
Ba 140	1,52 E8	1,52 E8
La 140	1,70 E8	1,70 E8
Ce 141	1,68 E8	1,68 E8
Ce 143	2,42 E7	2,42 E7
Ce 144	1,26 E8	1,38 E8
Pr 143	1,41 E8	1,41 E8
Nd 147	5,82 E7	5,82 E7
Pm 147	1,33 E7	2,18 E7
Sm 151	1,45 E5	4,85 E5
Np 237	2,84 E1	1,26 E2
Np 239	6,97 E8	6,97 E8
Pu 238	2,46 E5	1,06 E6
Pu 239	4,09 E4	1,30 E5
Pu 240	5,08 E4	1,84 E5
Pu 241	9,96 E6	3,31 E7
Pu 242	1,21 E2	5,26 E2
Am 241	1,26 E4	2,60 E5
Am 242	7,12 E4	7,34 E4
Am 243	1,53 E3	7,09 E3
Cm 242	1,88 E6	1,96 E6
Cm 244	2,03 E5	8,40 E5



KWG

Abb. 4.2/1

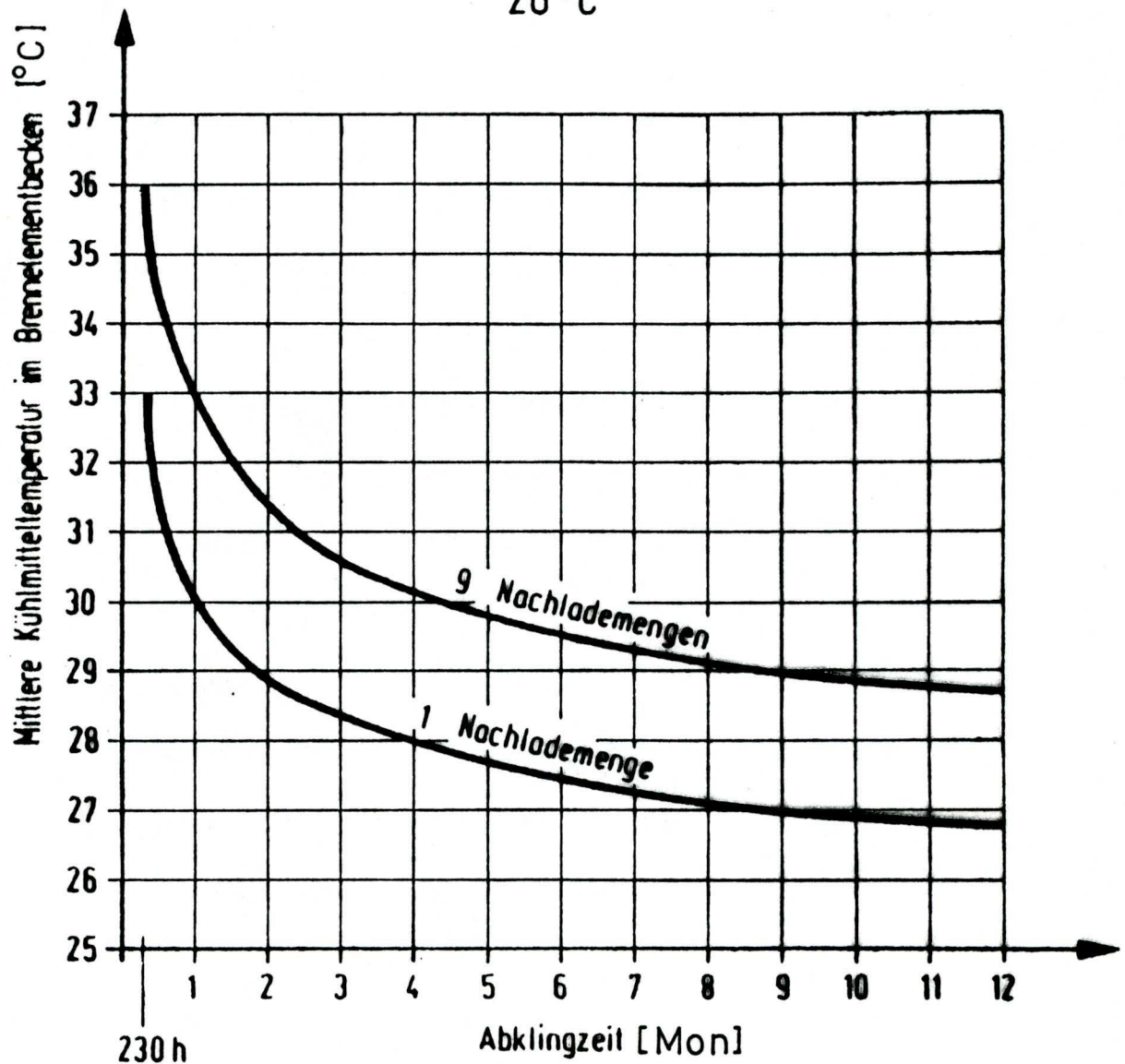
Nachzerfallsleistung in Abhängigkeit der
Abklingzeit bei unterschiedlicher
Belegung des Lagerbeckens

Kernkraftwerk mit Druckwasserreaktor



Kraftwerk Union AG

Nebenkühlwassertemperatur 26 °C



KWG

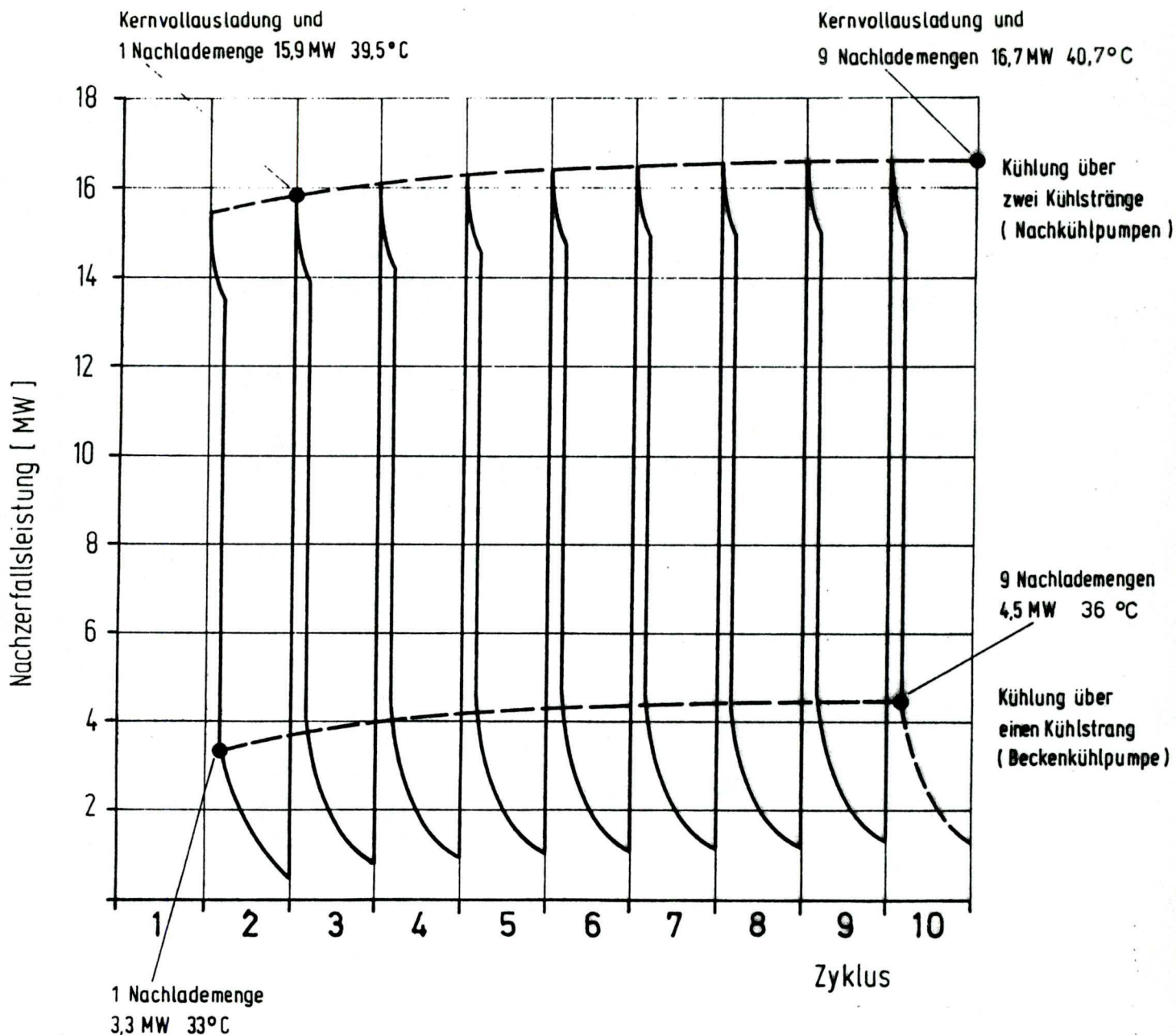
Abb. 4.2/2

Mittlere Kühlmitteltemperatur im Brennelementbecken in Abhängigkeit der Abklingzeit bei unterschiedlicher Belegung des Lagerbeckens

Kernkraftwerk mit Druckwasserreaktor



Kraftwerk Union AG



Brennelement - Ladeplan

Nachlademengen	Zyklus									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

— Bestrahlungszeit

- - - Abklingzeit

KWG

Abb. 4.2/3

Abzuführende Nachzerfallsleistung und mittlere Kühlmitteltemperatur im Brennelementbecken

Kernkraftwerk mit Druckwasserreaktor



Kraftwerk Union AG

1 Gesicherte Nebenkühlwasserpumpe

2 Notnebenkühlwasserpumpe

3 Nukl. Zwischenkühler TF

4 Nachwärmekühler TH

5 Zwischenkühlpumpe

6 Notzwischenkühlpumpe

7 Nachkühlpumpe TH

8 Beckenkühlpumpe TH

9 Brennelementlagerbecken

10 Reaktorraum

11 Reaktor

12 Beckenreinigungspumpe

13 Beckenreinigung

TF Nukleartechnische

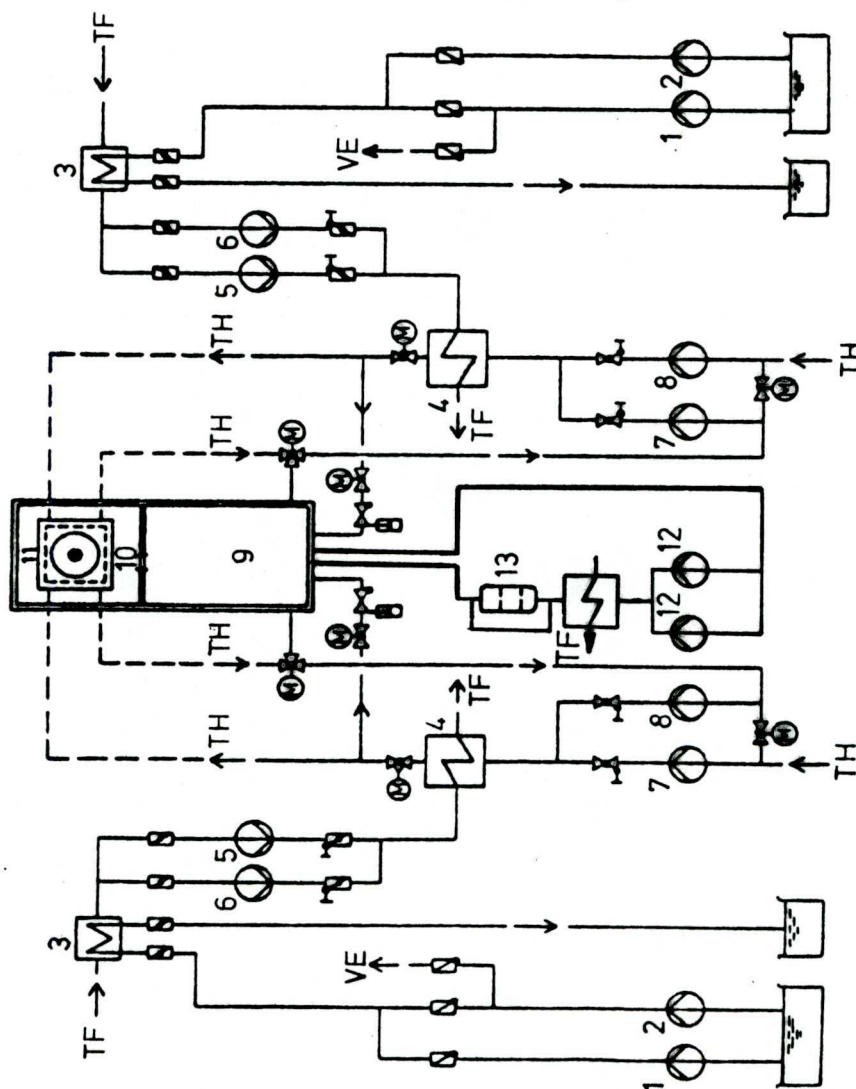
Zwischenkühlkreise

TH Nukl. Nachkühl und Becken-

kühlsystem

VE Nebenkühlwassersystem für

gesicherte Anlage



KWG

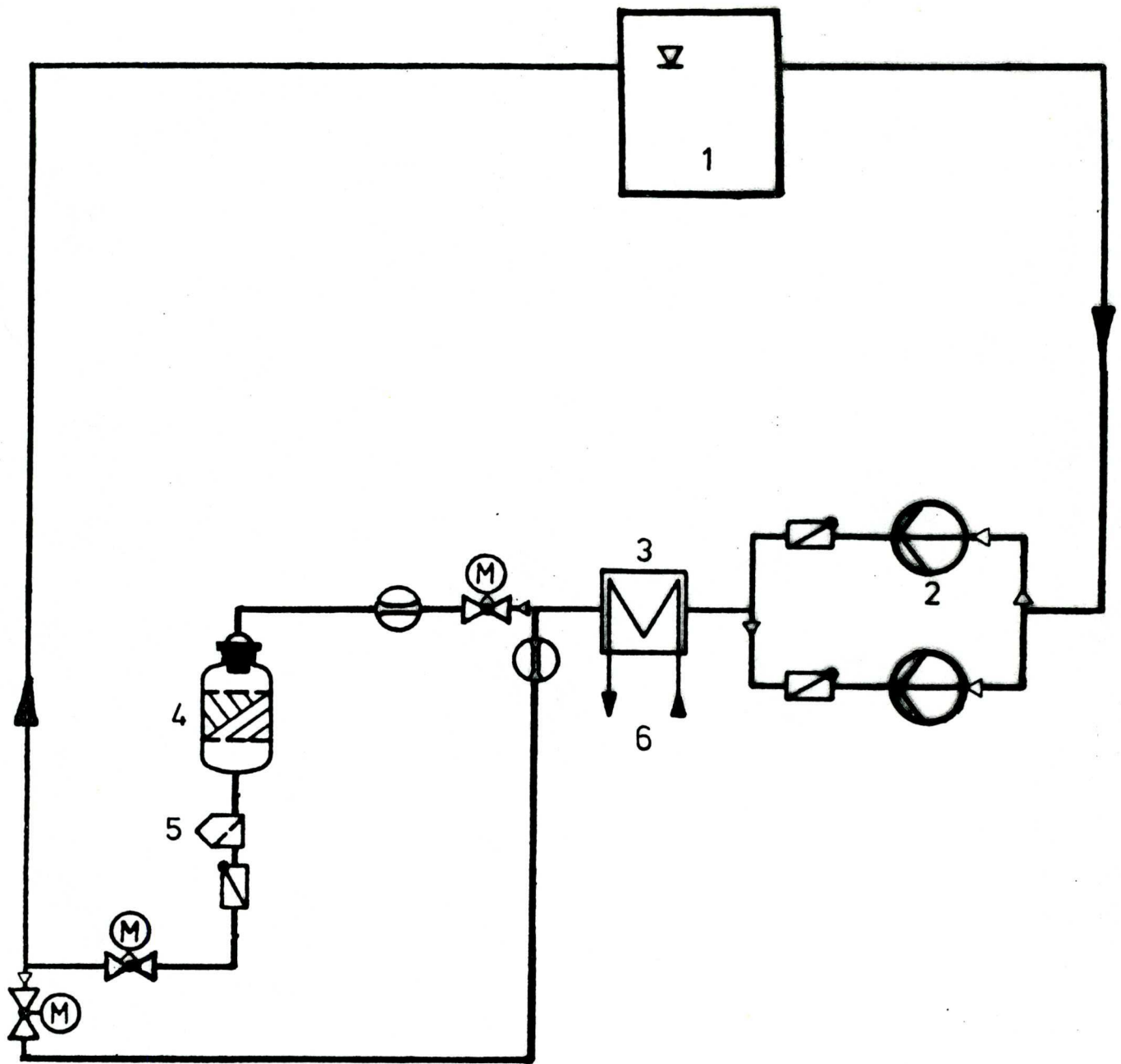
Abb. 4.2/4

Brennelementbeckenkühlung

Kernkraftwerk mit Druckwasserreaktor



Kraftwerk Union AG



- 1 Brennelementbecken
- 2 Beckenreinigungspumpe
- 3 Beckenkühler
- 4 Mischbettfilter
- 5 Harzfänger
- 6 Nukleartechnischer Zwischenkühlkreis

KWG

Abb. 4.2/5

Brennelementbeckenreinigung

Kernkraftwerk mit Druckwasserreaktor



Kraftwerk Union AG

5 Montage und Inbetriebnahme

Die Montage und Inbetriebnahme der Kompaktlagergestelle unterscheidet sich grundsätzlich nicht von der Montage und Inbetriebnahme der Normallagergestelle.

Die Kompaktlagergestelle werden mittels Reaktorgebäudekran und Hebegeschirr nach dem Belegungsplan des Brennelementbeckens auf die vorhandenen Bolzen abgesetzt. Durch Einstellen der Gewindefüße wird das Kompaktlagergestell so ausgerichtet, daß

- die Kompaktlagergestelle senkrecht stehen
- die Oberkanten aller Kompaktlagergestelle in einer Ebene liegen
- alle Kompaktlager-Gestellfüße aufliegen.

Bei der Inbetriebnahme werden repräsentative Positionen der Kompaktlagergestelle mit dem Doppelgreifer der Lademaschine angefahren, die Lademaschine entsprechend eingestellt und Maßgenauigkeit und Funktionsfähigkeit durch Befahren mit einer Brennelementattrappe geprüft. Weiterhin ist sichergestellt, daß sich alle Brennelementpositionen im Anfahrbereich der Lademaschine befinden.

6 Qualitätssicherung

6.1 Einleitung

Es ist die Aufgabe der Qualitätssicherung, die organisatorischen und technischen Aktivitäten zur Sicherstellung der Produktqualität ab der Projektierungsphase bis einschließlich der Inbetriebsetzung zu planen und systematisch abzusichern, damit die Anlagenteile, Systeme, Komponenten und Bauteile die gestellten Anforderungen erfüllen. Die Qualitätssicherung schließt die Qualitätskontrolle ein. Die Qualitätskontrolle beinhaltet die Qualitätssicherungsmaßnahmen, die die physikalischen Eigenschaften eines Materials und die Eigenschaften eines Bauteils oder einer Komponente betreffen, und sieht Überwachungen, Kontrollen und Prüfungen der Produktqualität nach festgelegten Anforderungen vor.

Die Summe der hierzu erstellten innerbetrieblichen Anweisungen und Verfahren zur Regelung der Verantwortlichkeiten und Aufgaben der einzelnen Abteilungen und Stellen, die die Qualitätssicherungsmaßnahmen durchführen, bilden das Qualitätssicherungssystem.

Der Hersteller garantiert durch organisatorische und personelle Maßnahmen, daß die Qualität anhand von Fertigungs-, Prüf- und Dokumentationsunterlagen sowie durch Eingangskontrollen, kontinuierliche Fertigungsüberwachung, Zwischen-, Bau- und Abnahmeprüfungen den spezifischen Anforderungen entspricht.

6.2 Vorprüfung

Im Rahmen der Vorprüfung werden vom Hersteller folgende Unterlagen erstellt und von einem Sachverständigen geprüft:

- Spezifikation
- Berechnungen
- Konstruktionszeichnungen
- Werkstofflisten
- Schweißplan
- Werkstoffprüfplan
- Bauprüfplan.

6.3 Materialeingangskontrolle

Alle Materialien werden einer Materialeingangskontrolle unterzogen. Dabei werden besonders die Prüfanforderungen und Prüfumfänge mit dem Anlieferungszustand der Stähle und der Vollständigkeit der zugehörigen Werkstoffzeugnisse überprüft.

6.4 Bauprüfungen

Es werden folgende im Bauprüfplan festgelegten Prüfungen durchgeführt:

- Prüfung der Hauptmaße und der Bauform aufgrund der gültigen Unterlagen
- Prüfung aller Anschlußmaße
- Reinheitsprüfung aller nichtrostenden Bauteile
- Nachweis der Befähigung der eingesetzten Schweißer
- Oberflächensichtprüfung aller Schweißnähte
- Oberflächen-Rißprüfung der in die Berechnung eingehenden Schweißnähte mittels Farbeindringverfahren
- Belastungsprüfung des Hebegerätes

Durch die Prüfungen gemäß Bauprüfplan wird sichergestellt, daß eventuelle Fehler erkannt und ggf. technisch einwandfrei ausgebessert bzw. eventuell verworfene Teile neu gefertigt werden.

6.5 Funktions- und Abnahmeprüfung im Brennelementbecken (FP)

Nach beendeter Endmontage erfolgt die Funktions- und Abnahmeprüfung des Lieferumfanges. Es werden folgende Prüfungen durchgeführt:

- Prüfung der Gestelljustierung bezüglich horizontaler und vertikaler Ausrichtung
- Prüfung der Gestellkoordinaten mit Hilfe der Lademaschine
- Kontrolle auf gleichmäßiges Tragen der Zentrierfüße
- Anfahren und Absetzen einer Brennelement-Nachbildung in verschiedenen Gestellpositionen mit Hilfe der Lademaschine
- Funktionsprüfung des Hebegerätes und des Manipulierwerkzeuges
- Reinheitsprüfung aller nichtrostenden Bauteile.

6.6 Dokumentation

Unterlagen und Berichte, die den tatsächlichen Fertigungsablauf beschreiben sowie die Ergebnisse von Kontrollen und Prüfungen und die Nachweise über die durchgeführten und angewandten Qualitätssicherungsmaßnahmen werden zusammengestellt und archiviert.

Durch die Dokumentation soll erreicht werden, daß die Fertigungs- und Prüfschritte rückverfolgbar sind und daß ersichtlich ist, nach welchen Vorschriften gearbeitet und geprüft wurde, wer geprüft hat und welche Prüfergebnisse erzielt wurden.

7 Handhabung der Brennelemente

Die Handhabung der Brennelemente ist unabhängig von der Art und Stückzahl der verwendeten Lagergestelle. Einmal jährlich zum Brennelementwechsel wird der gesamte Kern in das Brennelementbecken entladen. Davon werden ca. $\frac{2}{3}$ in den Reaktor zurückgeladen, das restliche Drittel verbleibt bis zum Abtransport im Brennelementbecken.

Nach einem vorgegebenen Schrittfolgeplan werden die Brennelemente einzeln mit den in ihnen verbleibenden Einsätzen (Steuerelemente, Absorberelemente, Drosselkörper oder Neutronenquellen) von der Lademaschine gegriffen, ins Brennelementbecken transportiert und in das Lagergestell abgestellt.

Der Brennelementgreifvorgang läuft folgendermaßen ab:
Nachdem die Lademaschine mit Hilfe des Positionierungssystems auf die vorgesehene Position gefahren wurde, wird der Doppelgreifer abgesenkt. Die Zentrierglocke wird ebenfalls abgesenkt, bis sie mit ihren acht Zentrierstiften in jeweils zwei Bohrungen der umliegenden vier Brennelemente eingreift und sich auf einen Anschlag im Mast absetzt. Anschließend fährt der Brennelementgreifer, der in der Zentrierglocke über Rollen geführt wird, abwärts bis er kurz vor Erreichen des BE-Kopfes abgeschaltet wird. Dabei werden die mechanischen Sperren der Greifklinken selbsttätig geöffnet. Gleichzeitig wird bei Erreichen der vorgesehenen Höhenstellung durch die Meldung "Brennelementgreifer unten" die elektrische Freigabe der Greiferbetätigung gegeben.

Die Greiferbetätigung erfolgt mechanisch/pneumatisch, wobei das Schließen der vier Greifklinken über Druckfedern, das Öffnen durch Druckluft erfolgt. Nach Schließen der Greifklinken wird der Brennelementgreifer angehoben, wobei sich vor dem Anheben des Brennelements die mechanischen Greifklinkensperren schließen.

...

Das Brennelement wird unter Überwachung der Zugkräfte (Grenzwertabschaltung) vollständig in die Zentrierglocke eingezogen, die dabei als Führungsschacht dient.

Anschließend wird die Zentrierglocke mit angehoben und in den Führungsmast eingezogen.

8 Störfallanalyse

8.1 Innere Störfälle

Folgende Störfälle wurden analysiert und bei der Auslegung der Lagergestelle, des Brennelementbeckens und der zugehörigen Systeme berücksichtigt:

- Wasserleckage am Brennelementbecken
- Störung der Brennelementbeckenkühlung
- Kühlmittelverlust im Reaktorkühlsystem
- Beschädigung eines Brennelementes bei der Handhabung oder durch Absturz
- Sicherstellung der Unterkritikalität beim Absturz eines Brennelementes
- Untersuchung der Absturzgefahr schwerer Lasten über dem Brennelementbecken
- Ausfall der Eigenbedarfsversorgung (Notstromfall)

Die Analyse dieser Störfälle basiert auf Experimenten oder auf experimentell abgesicherten Rechenverfahren. Bei der Störfallanalyse werden für die Rechenverfahren konservative Annahmen verwendet.

Diese Störfälle wurden ebenfalls bei den ursprünglich geplanten Lagergestellen berücksichtigt.

8.1.1 Wasserleckage am Brennelementbecken

Eine Wasserleckage aus dem Brennelementbecken ist denkbar bei

- Abriß einer die Brennelementbecken-Auskleidung durchdringenden Rohrleitung
- Leckage an der Brennelementbecken-Auskleidung.

Alle am Brennelementbecken vorhandenen Rohrleitungsanschlüsse befinden sich oberhalb der Brennelementoberkante, so daß auch bei deren Abriß die Wasserüberdeckung der Brennelemente und ihre Kühlung sichergestellt sind.

Das Lagerbecken ist mit einem Leckageerkennungssystem ausgerüstet, das so aufgebaut ist, daß eventuell auftretende Leckagen je Wand- und Bodenfeld getrennt erkannt und erfaßt werden können. Das Brennelementbecken stellt eine geschlossene Betonwanne dar, bei der die bei einer eventuellen Beschädigung der metallischen Auskleidung auftretenden Leckagen jederzeit überspeist werden können.

Zur Reparatur von Schäden an der Brennelementbeckenauskleidung steht ein speziell für kerntechnische Anlagen entwickeltes Verfahren für die Reparatur unter Wasser zur Verfügung.

Der Füllstand im Brennelementbecken wird kontinuierlich überwacht. Abweichungen von den Sollwerten werden auf der Warte signalisiert. Die entsprechenden Maßnahmen werden durch Handeingriffe (Einschalten einer Pumpe, Freischalten der Saugleitung) von der Warte aus eingeleitet.

Der Störfall und seine Beherrschung sind unabhängig von der Anzahl der gelagerten Brennelemente.

...

8.1.2 Störung in der Brennelementbeckenkühlung

Das Beckenkühlssystem ist so aufgebaut, daß die Nachzerfallsleistung der im Brennelementbecken abgestellten Brennelemente über zwei vollkommen getrennte Beckenkühlkreise abgeführt werden kann. Darüber hinaus besteht ein dritter Beckenkühlkreis, der in das Beckenreinigungssystem integriert ist. Die Maßnahmen bei teilweisem Ausfall der Beckenkühlung richten sich nach dem jeweils herrschenden Betriebszustand der Anlage.

Leistungsbetrieb

Bei Leistungsbetrieb ist nur ein Kühlstrang in Betrieb. Bei Ausfall dieses Kühlstranges wird der zweite Kühlstrang eingeschaltet. Die mittlere Kühlmitteltemperatur im Brennelementbecken steigt deshalb nicht an, sondern verbleibt bei Einlagerung von 9 Nachlademengen bei max. 36,0 °C. Darüber hinaus besteht bei Ausfall eines Brennelementbeckenkühlstranges die Möglichkeit der Kühlung mit Hilfe des Beckenreinigungssystems (dritter Beckenkühlkreis).

Stillstand (Kernvollausladung)

Bei Kernvollausladung wird die Nachzerfallsleistung bestimmungsgemäß von 2 Kühlsträngen abgeführt. Bei Ausfall eines Stranges und Weiterbetrieb mit einem Kühlstrang steigt bei 9 Nachlademengen die mittlere Kühlmitteltemperatur im Brennelementbecken von 40,7 °C auf 54,4 °C an und bleibt somit unter dem nach DIN 25428 zulässigen Wert von 60 °C. Es besteht auch die Möglichkeit, den ausgefallenen Beckenkühlstrang durch den im Beckenreinigungssystem integrierten Kühlstrang zu ersetzen.

...

8.1.3 Kühlmittelverlust im Reaktorkühlsystem

Bei einem Kühlmittelverluststörfall im Reaktorkühlsystem wird die betriebliche Brennelementbeckenkühlung durch den Reaktorschutz unterbrochen, indem die Beckenkühlpumpe abgeschaltet wird und die Armaturen zu den Anschlußleitungen zugefahren werden.

Die Unterbrechung der Beckenkühlung während der ersten Stunden nach einem Kühlmittelverluststörfall ist zweckmäßig, da das nukleare Zwischenkühlsystem vorrangig zur Wärmeabfuhr aus dem Reaktor benutzt werden soll. Durch die langsame Temperaturerhöhung des Beckenwassers (im ungünstigsten Fall ca. 2,9 K/h) ist ein sofortiges Zuschalten der Beckenkühlung auch nicht erforderlich. Vielmehr ist es sinnvoll, die gesamte Kapazität des Nachkühlsystems als Wärmesenke für den Reaktor zu verwenden. Nachdem die Kühlmitteltemperatur im Reaktor ausreichend gesenkt ist - dies ist nach wenigen Stunden der Fall - wird die Kühlung des Brennelementbeckens fortgesetzt. Die im Brennelementbecken anfallende Nachzerfallswärme wird nach dieser kurzfristigen Unterbrechung der Lagerbeckenkühlung entweder von

- den zwei vorhandenen Beckenkühlsträngen (Abb. 4.2/4) oder vom
- das Beckenreinigungssystem (Abb. 4.2/5).

an das nukleare Zwischenkühlsystem und weiter an das gesicherte Nebenkühlwassersystem abgeführt.

Die Umschaltung eines der beiden Stränge des Nachkühlsystems, in denen die Beckenkühlpumpen angeordnet sind, auf Beckenkühlbetrieb wird von Hand vorgenommen, nachdem die Niederdruck-Einspeisung beendet und das Nachkühlsystem sich im Sumpfbetrieb befindet. Das Zuschalten des Beckenreinigungssystems zur Beckenkühlung geschieht ebenfalls von der Warte aus nach erfolgter Umschaltung des Nachkühlsystems auf Sumpfbetrieb.

Die Temperatur des Beckenwassers kann beim Kühlbetrieb mit einem Strang des Beckenkühlsystems oder dem Beckenreinigungssystem unterhalb der in DIN 25428 festgelegten zulässigen Temperatur von 60 °C gehalten werden.

...

8.1.4 Beschädigung eines Brennelementes bei der Handhabung oder durch Absturz

Störungen an der Lademaschine und dem Doppelgreifer, die während der Brennelementhandhabung zur Beschädigung von Brennstäben und damit zur Freisetzung radioaktiver Stoffe führen könnten, sind durch etliche technische Sicherheitsmaßnahmen an den Fahrwerken, am Hubwerk und am Greifer nahezu ausgeschlossen:

- Der Fahrbetrieb über dem Brennelementbecken und dem Reaktorraum ist durch Endschalter und Puffer begrenzt. Die Zentrierglocke und der Mast umgeben das Brennelement während der Fahrt. Eine Kollision des Mastes mit den Wänden ist dadurch ausgeschlossen.
- Die Antriebe für Brücke und Katze werden erst freigegeben, wenn das Brennelement in den Mast hineingezogen ist und sich in oberer Endstellung befindet.
- Das Hubwerk wird beim Heben durch Maximallastbegrenzung, beim Senken durch Minimallastbegrenzung abgeschaltet.
- Das Hubwerk besitzt in der letzten Getriebestufe ein aus dem Lauf selbsthemmendes Schneckengetriebe. Der Doppelgreifer hängt an einer Doppelseilaufhängung.
- Zum Fahren der Lademaschine wird unter das Brennelement ein Bügel geschwenkt, auf den sich das Brennelement bei einem Absturz aufsetzt.
- Die Betätigung des Greifers ist mechanisch lastabhängig durch vier voneinander unabhängige Greifklinkensperren und elektrisch durch eine höhenabhängige Verriegelung gegen Fehlbedienung gesichert.

...

Im übrigen sind auch die Vorschriften der KTA-Regel 3902 "Hebezeuge in kerntechnischen Anlagen" bei der Auslegung der Geräte berücksichtigt.

Die radiologischen Auswirkungen, die bei der Beschädigung eines Brennelementes während der Handhabung auftreten können, sind wegen der kleineren Zahl der als defekt anzunehmenden Brennstäbe sowie wegen der in der Regel längeren Abklingzeit der Brennelemente im Brennelementbecken geringer als der nachfolgend analysierte Fall des Brennelementabsturzes.

Der Absturz eines Brennelementes ist als hypothetischer Störfall anzusehen, da er - wie vorstehend dargelegt - nur aus der Kombination von an sich bereits extrem unwahrscheinlichen Einzereignissen heraus eintreten kann. Trotzdem werden im folgenden die Auswirkungen eines solchen Störfalles untersucht, wobei im Sinne einer konservativen Abschätzung der Störfallfolgen angenommen wird, fünf Brennstäbe eines Brennelementes würden so beschädigt, daß eine Freisetzung der gasförmigen bzw. leicht flüchtigen Spaltnuklide aus den Brennstabhüllrohren erfolgen kann. Durch die Wasserschicht des Brennelementlagerbeckens gelangen diese Isotope in die darüberliegende Raumluft und vermischen sich mit ihr; anschließend erfolgt zusammen mit der Abluft aus dem Sicherheitsbehälter nach vorheriger Filterung die kontrollierte Abgabe über den Fortluftkamin.

Ein derartiger Störfall wird von dem mit der Handhabung beschäftigten Personal unmittelbar visuell erkannt, so daß Gegenmaßnahmen zur Beherrschung des Störfalles sofort eingeleitet werden. Im übrigen wird bei einer Freisetzung größerer Aktivitäten aus dem Brennelementbecken in die Raumluft dieses von der Ortsdosisleistungsmeßstelle auf der Lademaschine registriert. Beim Ansprechen des Meßgerätes wird sowohl vor Ort als auch auf der Warte optischer sowie akustischer Alarm gegeben.

...

Daraufhin werden die Lüftungsdurchdringungen durch den Stahlsicherheitsbehälter durch Handmaßnahmen geschlossen. Aufgrund der räumlichen Gegebenheiten kann nur dann geringe Aktivität in die Umgebung abgegeben werden, falls längere Zeit bis zum Schließen der Abluftklappen vergeht. Im folgenden wird im Einklang mit den entsprechenden kerntechnischen Richtlinien konservativ unterstellt, daß die Lüftungsklappen des Sicherheitsbehälters erst 30 Minuten nach Störfalleintritt geschlossen werden. Die anderen Randbedingungen der radiologischen Berechnung sind wie folgt angenommen:

Da der Störfall erst nach Öffnen des Reaktordruckbehälters eintreten kann, wurde mit einer Abklingzeit von 2 Tagen nach Abschalten gerechnet; die Einsatzdauer des betrachteten Brennelementes wird zu 2,5 Jahren Vollast angesetzt.

Bei der Aktivitätsfreisetzung während eines Handhabungsstörfalles wurde damit gerechnet, daß 10 % des Edelgasinventars der beschädigten Brennstäbe freigesetzt werden und trotz der Wasserlöslichkeit von Edelgasen unmittelbar durch die 8 m messende Wasserschicht in die darüberliegende Raumluft gelangen. Für Jod und Cäsium wird angesetzt, daß die für Spiking typischen Freisetzungsanteile von 1 % und 0,5 % mit dem in den Stab eindringenden Kühlmittel aus den beschädigten Stäben ausgetragen werden, wobei Cäsium allerdings vollständig im Wasser zurückgehalten wird. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die den Freisetzungsvorgang in starkem Maße begünstigenden hohen Brennstofftemperaturen bei der Brennelementhandhabung nicht gegeben sind und darüberhinaus vom langsam ablaufenden Auslaugprozeß kein Kredit genommen wurde.

...

Für die Durchmischung steht innerhalb des Sicherheitsbehälters ein Volumen von insgesamt etwa 70.000 m^3 zur Verfügung, die Ablufterate von $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ ist in der Rechnung berücksichtigt. Das Jod wird in Abhängigkeit der Luftwechselzahl über ein dynamisches Gleichgewicht mit der Fortluft nach außen abgeben. Das Verteilungsgleichgewicht, ausgedrückt durch den Quotienten der volumenbezogenen Konzentration von Jod in Wasser und Luft - Verteilungskoeffizient genannt - wurde mit $1 \cdot 10^{-6}$ angesetzt. Diese Wahl des Koeffizienten ist aufgrund von Messungen zur Bestimmung des Übertritts von Radionukliden aus dem Beckenwasser in die Luft als konservativ zu beurteilen.

Vor Erreichen des Kamins wird die Abluft über Feinfilter (Sonderstufe 3) und Aktivkohlefilter geleitet. Als Filterwirkungsgrad wird für Jodaerosole 99,9 % vorausgesetzt.

Die so ermittelte Aktivitätsfreisetzung ist nuklidspezifisch in Tabelle 8.1/1 aufgelistet. Mit diesen Werten und den in den vom BMI veröffentlichten "Allgemeinen Berechnungsgrundlagen für die Bestimmung der Strahlenexposition...." (GMB1 1979, S. 369) angegebenen Dosisfaktoren wurde die Strahlenbelastung durch γ -Submersion, β -Submersion, und Inhalation betrachtet. Dabei ergeben sich als höchste Werte für die Strahlenexposition von Ganzkörper und Haut durch γ -bzw. β -Submersion Dosen von weit kleiner als $1 \cdot 10^{-6} \text{ J/kg}$ (0,1 mrem). Alle anderen Dosiswerte sind noch wesentlich geringer.

Alle Werte liegen um Größenordnungen unter den in § 28 der StrlSchV festgelegten Dosisgrenzwerten für Störfälle und unterschreiten sogar die zulässigen Grenzwerte für den bestimmungsgemäßen Betrieb erheblich.

Die Kompaktlagerung ändert im übrigen nichts an der Betrachtungsweise dieses Störfalles.

...

8.1.5 Sicherstellung der Unterkritikalität beim Absturz eines Brennelementes

Der Absturz eines Brennelementes ist durch die Auslegung der Handhabungseinrichtungen und der hieraus resultierenden Sicherheitsmaßnahmen mit großer Sicherheit ausgeschlossen. Trotzdem werden im folgenden die Auswirkungen eines solchen hypothetischen Störfalls hinsichtlich der Sicherstellung der Unterkritikalität diskutiert.

Durch den geringen Zentralabstand der Brennelemente in den Kompaktlagergestellen und durch die umgebenden Borstahlkästen ist der Einfall eines Brennelementes zwischen andere im Brennelement-lagerbecken befindliche Brennelemente ausgeschlossen.

Ein horizontal auf einem vollbelegten Lagergestell liegendes Brennelement stützt sich auf den Oberkanten der in den Lagergestellen befindlichen Brennelemente ab. Der Abstand der querliegenden Brennelementes zur Oberkante der aktiven Zone der sich in den Lagergestellen befindlichen Brennelemente beträgt ca. 420 mm. Rechnungen haben bestätigt, daß das querliegende Brennelement und die in den Lagergestellen befindlichen Brennelemente neutronenphysikalisch entkoppelt sind und damit die Unterkritikalität auch beim postulierten Absturz eines Brennelementes sichergestellt ist.

8.1.6 Untersuchung der Absturzgefahr schwerer Lasten über dem Brennelementbecken

Für die im Bereich des Beckenflurs im Leistungsbetrieb und während des Anlagenstillstandes zu verfahrenen Lasten werden in ihren Transportwegen so vorgesehen, daß sie nicht über das Brennelementbecken führen. Dies wird durch Verriegelung der Kransteuerung, sowie durch entsprechende Anweisungen im Betriebshandbuch sichergestellt.

Außerdem wurde zu diesem Zweck speziell für den Brennelement-Transportbehälter ein separates Absetzbecken mit einer Barriere zum Brennelementbecken hin eingeplant. Ein Absturz schwerer Lasten in das Brennelementbecken braucht deshalb nicht betrachtet zu werden.

8.1.7 Ausfall der Eigenbedarfsversorgung

Der Ausfall der betrieblichen Energieversorgung (Eigenbedarfsversorgung) des Kernkraftwerkes führt dazu, daß die Eigenbedarfs-schienen spannungslos werden. Dieser Störfall wird als Notstromfall bezeichnet.

Die Verbraucher des Kernkraftwerks Grohnde werden alternativ

- vom Generator des Kernkraftwerkes
- vom Hauptnetz (Verbundnetz)
- vom Reservenetz

mit elektrischer Energie versorgt.

Daher führt erst der gleichzeitige Ausfall sowohl des Kraftwerkblockes, der Einspeisung aus dem Verbundnetz als auch der Einspeisung aus dem Reservenetz zum Notstromfall. Die Eintrittswahrscheinlichkeit für diese Störfallkombination aus drei Einzeler-eignissen ist aufgrund der vorgesehenen aufwendigen Netzanbin-dung sehr gering.

Beim Eintritt des Notstromfalles wird durch den automatischen Start der Notstromdiesel die Versorgung der sicherheitstechnisch wichtigen Aggregate mit elektrischer Energie wieder hergestellt. Die notstromgesicherten Aggregate des Beckenkühl- und Reinigungs-systems werden, da sie nicht unmittelbar benötigt werden, ent-sprechend den Erfordernissen von Hand wieder zugeschaltet.

Hierdurch ist auch langfristig im Notstromfall die Kühlung des Lagerbeckens sichergestellt.

Die in der DIN 25428 festgelegte Beckenwassertemperatur von 60 °C wird bei diesem Störfall nicht überschritten.

...

8.2 Einwirkungen von außen

Alle Anlagenteile, die für die Abschaltung und die Nachwärmeabfuhr benötigt werden, sind gegen Einwirkungen von außen ausgelegt.

8.2.1 Erdbeben

Obwohl der Standort des Kernkraftwerkes Grohnde entsprechend den Festlegungen der KTA-Regel 2201.1 in der Erdbebenzone "0" liegt, bei der für die am Standort zu betrachtenden Erdbeben ein Ausfall der Anlage sowie wichtiger Teile derselben, des Hauptnetzes (380 kV) sowie des vorhandenen Reservenetzes (110 kV) nicht denkbar ist, legt die Genehmigungspraxis fest, daß im Erdbebenfall der Ausfall der Stromversorgung oder der Anlage zu unterstellen ist. Dementsprechend ist bei einem Erdbeben der Notstromfall zu berücksichtigen. Die Auswirkungen dieses Störfalles auf die Brennelementbeckenkühlung sind in Abschnitt 8.1.7 beschrieben. Die für die Nachwärmeabfuhr aus dem Brennelementbecken benötigten Systeme und Komponenten sind gegen Erdbeben ausgelegt, so daß auch im Erdbebenfall die Kühlung des Lagerbalkens sichergestellt ist.

8.2.2 Flugzeugabsturz und Explosionsdruckwelle

Als Folge eines Flugzeugabsturzes oder einer Explosionsdruckwelle können durch eine Zerstörung des ungeschützten Bereichs, z. B. des Schaltanlagegebäudes, sowohl die Eigenbedarfsversorgung als auch die Notstromdiesel ausfallen. In diesem Fall werden automatisch die gegen Einwirkung von außen geschützten Notspeisediesel gestartet.

Hinsichtlich des weiteren Störfallablaufs und der Störfallbeherrschung sowie der einzuleitenden Maßnahmen muß zwischen zwei möglichen Betriebszuständen der Reaktoranlage unterschieden werden:

Leistungsbetrieb

Durch den möglichen Ausfall sowohl der Eigenbedarfsversorgung als auch der Notstromdiesel wird die Kühlung des Brennelementbeckens zunächst unterbrochen. Die Notnachkühlkette, über die in diesem Fall die Wärme aus dem Brennelementbecken abgeführt wird, wird nun von dem Notspeisediesel mit elektrischer Energie versorgt. Hierzu wird eine zu diesem Zeitpunkt nicht mehr benötigte Notspeisepumpe abgekoppelt, um die erforderliche elektrische Energie zur Verfügung zu stellen. Da sich die Temperatur des Brennelementbeckenswassers nur sehr langsam mit einer Aufheizrate von ca. 2,9 K/h erwärmt und die zulässige Temperatur erst nach ca. 15 h erreicht wird, steht für diesen Vorgang genügend Zeit zur Verfügung. Nachdem die Beckenkühlung über eine Notnachkühlkette wieder in Betrieb genommen worden ist, werden im Brennelementbecken wieder die für den Normalbetrieb zulässigen Temperaturen erreicht.

Die Notnachkühlkette besteht aus den passiven Komponenten (Rohrleitungen, Kühler) der normalen Nachkühlkette und als aktive Komponente aus zusätzlichen leistungskleineren Pumpen, die auf die Beherrschung der äußeren Einwirkungen abgestimmt sind.

...

Stillstand der Anlage zum Brennelementwechsel

Nach dem Abfahren der Anlage zum Brennelementwechsel werden die im Stillstand nicht erforderlichen Notspeisepumpen von den Notspeisedieseln getrennt. Damit wird die für die Notnachkühlkette benötigte Leistung sofort verfügbar und die beiden Notnachkühlstränge können bei Bedarf zugeschaltet werden. Hierzu ist im Gegensatz zum Normalbetrieb die Notsteuerstelle im Notspeisegebäude besetzt, von dem aus die erforderlichen und vorbereiteten Maßnahmen ausgelöst werden können. Von den beiden dann verfügbaren Notnachkühlsträngen genügt ein Nachkühlstrang zur Kühlung der im Reaktordruckbehälter befindlichen Brennelemente, der zweite steht zur Kühlung des Brennelementbeckens zur Verfügung. Die sich im Brennelementbecken einstellenden Temperaturen liegen unterhalb der in DIN 25428 festgelegten Werte.

In der kurzen Zeitspanne bis zum Ziehen des Schützes zwischen Reaktor- und Brennelementbecken, in der der Reaktorkern und die eingelagerten Brennelemente getrennt gekühlt werden, hat die Kühlung des sich im Reaktordruckbehälter befindlichen Reaktorkerns Vorrang. Wenn wiederum unterstellt wird, daß von den beiden vorgesehenen Notnachkühlsträngen nur einer verfügbar ist, dann bleibt das Brennelementbecken zunächst ohne Kühlung.

In dieser Zeit hat das Beckenwasser eine so geringe Aufheizzeit, daß mehr als 30 h Zeit zum Ziehen des Schützes zur Verfügung stehen, ohne daß eine unzulässige Beckenwassertemperatur erreicht wird. Nachdem das Reaktorbecken und das Brennelementbecken verbunden sind, kann ein Notnachkühlstrang die Wärme des Reaktorkerns und der Brennelemente im Brennelementbecken unter zulässigen Bedingungen abführen.

Bei ausgeladenem Reaktorkern können beide Notnachkühlstränge zur Kühlung des Brennelementbeckens herangezogen werden.

Unterstellt man, daß nur einer der beiden vorgesehenen Notnachkühlstränge verfügbar ist, so wird sich bei vollbelegtem Lagerbecken unter Berücksichtigung des ausgeladenen und sich im Lagerbecken befindlichen Reaktorkerns eine mittlere Temperatur im Lagerbecken von ca. 60 °C einstellen.

Tabelle 8.1/1

Aktivitätsfreisetzung bei Absturz eines Brennelementes
(Lüftungsklappen werden erst nach 30 Minuten geschlossen)

Nuklid	freigesetzte Aktivität in	
	Bq	Ci
Kr- 85	4,4 E 9	1,2 E-1
Xe-131 m	3,5 E 9	9,3 E-2
Xe-133 m	1,6 E 10	4,4 E-1
Xe-133	7,6 E 11	2,1 E+1
Xe-135	9,8 E 9	2,6 E-1
Summe Edelgase	7,9 E 11	2,2 E+1
J-131	1,3 E 3	3,6 E-8
J-133	5,9 E 2	1,6 E-8
Summe Jod	1,9 E 3	5,2 E-8

9 Längerfristige Lagerung bestrahlter Brennelemente im Brennelementbecken

Bei der Lagerung bestrahlter Brennelemente in vollentsalztem, boriiertem Wasser bei einer Betriebstemperatur von $\leq 40^\circ\text{C}$ wurden folgende Aspekte berücksichtigt:

- mechanische Festigkeit der Hüllrohre
- Korrosion der Hüllrohre und der Strukturmaterialien
- Aufnahme von Wasserstoff in die Hüllrohre
- Einfluß des Neutronenflusses auf die Materialeigenschaften der Borschächte in den Kompaktgestellen.

Für hochbelastete Brennstäbe tritt unter konservativen Annahmen am Ende der Einsatzzeit ein maximaler Innendruck im Brennstab von ca. 120 bar bei Reaktorbetriebstemperatur auf. Bei einer Lagerbeckentemperatur von weniger als 40°C reduziert sich dieser Druck auf weniger als 60 bar. Bei diesem Druck beträgt die mechanische Beanspruchung im Hüllrohr ca. 40 N/mm^2 . Dieser Wert entspricht bei einer Streckgrenze von ca. 400 N/mm^2 nur etwa 10 % der $\sigma_{0,2}$ Festigkeitsgrenze des unbestrahlten Hüllrohrwerkstoffes.

Unter dem Einfluß der Bestrahlung findet eine geringfügige Verfestigung und damit eine Erhöhung der $\sigma_{0,2}$ Festigkeit statt, so daß die $\sigma_{0,2}$ Grenze des unbestrahlten Materials als konservative Auslegungsgrenze verwendet werden kann. Daraus ist zu ersehen, daß eine Beeinträchtigung der mechanischen Integrität der Brennstäbe bei einer längerfristigen Lagerung ausgeschlossen ist.

Die Korrosionsrate (Oxidation) für Zircaloy-Hüllrohre und die Abhängigkeit dieser Korrosionsrate von der Temperatur sind bekannt. Die bei Betriebstemperatur im Reaktor bei einer mehrjährigen Einsatzzeit an den Zircaloy-Hüllenrohren auftretende Korrosionsschichtdicke ist gegenüber der Hüllrohrwanddicke vernachlässigbar gering.

...

Auch von anderen Korrosionsmechanismen sind keine Schäden zu erwarten. Die Korrosion der Edelstahlstrukturteile der Brennelemente und der Lagergestelle bei den im Brennelementbecken üblichen Wasserqualitäten, auch unter Berücksichtigung der Borkonzentration ist außerordentlich gering. Sie befindet sich im Bereich der Oberflächenrauigkeit der Materialien.

Eine Wasserstoffversprödung der Hüllrohre durch Umlagerung des in den Hüllrohren vorhandenen Wasserstoffes infolge Thermodiffusion kann aufgrund der niedrigen Lagerbeckenwassertemperatur nicht auftreten.

Daher sind die bei der Handhabung, auch nach einer längerfristigen Lagerung bestrahlter Brennelemente auftretenden Belastungen auch unter dem Gesichtspunkt der durch Wasserstoffaufnahme gealterten Hüllrohre problemlos.

Für das Langzeitverhalten des Borstahls der Neutronenabsorber in den Kompaktlagergestellen wurden folgende Gesichtspunkte untersucht:

- Einfluß der Bestrahlung auf die Materialeigenschaften
- Berücksichtigung der Korrosion bei der physikalischen Auslegung

Durch konservative Berechnungen des Neutronenflusses wurde ein mittlerer Neutronenfluß, bezogen auf den Borstahl, von $2 \times 10^4 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ermittelt. Danach ergibt sich zum Beispiel für eine Zeit von 50 Jahren eine Fluenz im Absorberschacht von $3,20 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$. Änderungen der mechanischen Eigenschaften durch Versprödung sind bei einer derart niedrigen Fluenz ausgeschlossen.

Eine Beeinträchtigung der Reaktivität der Borschächte durch die Abnahme des Borgehaltes infolge der (n, α) -Reaktion mit Bor zu Lithium kann ausgeschlossen werden, da innerhalb eines Zeitraumes

...

von 50 Jahren nur $3,4 \times 10^{-7} \%$ aller vorhandenen Bor-Atome infolge des Neutronenflusses umgewandelt werden. Die Änderung der Borkonzentration von $3,4 \times 10^{-7} \%$ hat keinen meßbaren Einfluß auf die Reaktivität.

Umfangreiche elektrochemische Untersuchungen haben gezeigt, daß Borstahl gute Korrosionseigenschaften hat. Er zeigt keine Anfälligkeit gegen interkristalline Korrosion und Spannungsrißkorrosion.

10 Zusammenfassung

Die Handhabung und Lagerung abgebrannter Brennelemente in Kernkraftwerken ist untrennbar mit dem Betrieb dieser Anlagen verbunden. Die Erhöhung der Lagerkapazität in den Brennelementbecken durch den Einbau von Kompaktgestellen gegenüber Normalgestellen ist eine technisch realisierbare und weltweit bereits ausgeführte Maßnahme.

Bezüglich der Kritikalitätssicherheit bestehen keine entscheidenden Unterschiede zwischen Normal- und Kompaktlagerung. In beiden Fällen werden die in DIN 25428-"Lagerbecken für Brennelementbündel von wassergekühlten Leistungsreaktoren" geforderten Bedingungen eingehalten, so daß der zulässige Wert des Multiplikationsfaktors $k_{\infty} = 0,95$ nicht erreicht wird.

Die zusätzlichen Lasten aus der erhöhten Lagerkapazität werden von dem Gebäude sicher aufgenommen, da es entsprechend dimensioniert wurde.

Die nach DIN 25428 zulässigen Brennelementbeckenwassertemperaturen werden bei der beantragten Kompaktlagerung ohne Änderung der Kühlsysteme eingehalten. Die beantragte Kompaktlagerung hat auf das Brennelementbeckenreinigungssystem keine wesentliche Auswirkung. Die Brennelementbeckenreinigung hat in den bereits vorhandenen Ionenaustauschern eine ausreichende Kapazitätsreserve.

Die Auslegung der Lüftungstechnischen Anlagen wird von dem frisch aus dem Reaktor ausgeladenen Kern bestimmt und ist somit unabhängig von der Anzahl der länger gelagerten Brennelemente.

Das Aktivitätsinventar, daß sich aus einem Gemisch aus kurz- und längerlebigen Isotopen zusammensetzt, klingt relativ schnell ab, so daß die bereits längere Zeit abgelagerten Brennelemente im Vergleich zu den frisch ausgelagerten Brennelementen vergleichsweise geringe Anteile enthalten.

...

Das Aktivitätsinventar erhöht sich daher bei einer Erweiterung der Lagerkapazität auf 768 Positionen nur um 5,9 %.

Die Aktivitätskonzentration des Lagerbeckenwassers ist nach Erfahrungen bei im Betrieb befindlichen Anlagen beim Brennelementwechsel wesentlich höher als während der übrigen Zeit. Für die Aktivität und die Strahlung an der Wasseroberfläche ist der Brennelementwechsel maßgebend, sie sind nahezu unabhängig von der Anzahl der im Brennelementbecken eingelagerten Brennelemente.

Die Handhabung der Brennelemente bei Kompaktlagerung ist identisch der bei Normallagerung. Es werden hierzu die gleichen Geräte verwendet.

Die Auswirkungen der mit der Lagerung von Brennelementen zusammenhängenden Störfälle sind unabhängig von der Lagerkapazität.

Die Lagerung von Brennelementen über längere Zeiträume in Wasser bei 40 °C ist aufgrund theoretischer und experimenteller Untersuchungen gesichert.