

Bundesanzeiger

Herausgegeben vom Bundesminister der Justiz

Seite 1 v. 7

Jahrgang 42

Ausgegeben am Sonnabend, dem 28. April 1990

Nummer 81

Empfehlung der Reaktor-Sicherheitskommission auf ihrer 250. Sitzung am 24. Januar 1990

Empfehlung zum Sicherheitskonzept einer Hochtemperatur-Modul-Kraftwerksanlage Inhaltsübersicht

- 1 Einleitung
- 2 Nukleares Wärmeerzeugungssystem
 - 2.1 Primärsystem
 - 2.2 Brennelement
 - 2.3 Abschaltvorrichtungen und Reaktorregelung
 - 2.4 Reaktorschutzsystem
 - 2.5 Elektrische Energieversorgung
 - 2.6 Nachwärmeabfuhrsystem
 - 2.7 Aktivitätseinschluß
 - 2.8 Notsteuerstelle
- 3 Auslegung und Qualitätssicherung der druckführenden metallischen Komponenten des Primärsystems und des Sekundärkreislaufs
- 3.1 Primärkreislauf
- 3.2 Lagerung des Reaktor-druckbehälters und des Dampferzeugers
- 3.3 Sekundärkreislauf
- 4 Auslegung der Gebäude
- 5 Beherrschung von Auslegungsstörfällen und auslegungsüberschreitenden Ereignisabläufen
- 5.1 Auslegungsstörfälle
- 5.2 Auslegungsüberschreitende Ereignisabläufe
- 5.3 Einwirkungen von außen
- 6 Strahlensexposition des Personals
- 7 Zusammenfassung

1 Einleitung

Das HTR-Modul-Kraftwerkskonzept der Projektgemeinschaft Siemens AG - Interatom GmbH ist dadurch gekennzeichnet, daß standardisierte nukleare Wärmeerzeugungseinheiten von 200 Mj/s thermischer Leistung zu Kraftwerken zusammengesetzt werden können. Die HTR-Modul-Kraftwerksanlage ist zur kombinierten Erzeugung von elektrischer Energie und Prozederdampf oder Fernwärme geeignet.

Die RSK hat aus Anlaß einer im Land Niedersachsen beantragten Genehmigung nach § 7a AtG zur Erteilung eines Standortunabhängigen Konzeptvorbescheides für eine HTR-Modul-Kraftwerksanlage die für einen Konzeptvorbescheid relevanten bisher üblichen Standorteigenschaften zugrundegelegt, werden. Die Prüfung davon abweichender Standorte, z. B. an Industriestandorten oder in Ballungsgebieten, bleibt einer Beratung in einem Verfahren nach Vorliegen eines Antrags für einen konkreten Standort vorbehalten. Das Genehmigungsverfahren wurde wei-tergeführt. Die RSK hat bei ihren Beratungen das Gutachten des TÜV Hannover (Entwurf, Stand 8/89) berücksichtigt. Spätere Ergänzungen sind bei den weiteren Beratungen der RSK erfolgt. Der BMU hat die RSK gebeten, eine Empfehlung zum Sicherheitskonzept abzugeben. Die RSK stellt fest, daß diese Empfehlung eine spätere Beratung und Empirierung im Rahmen eines Genehmigungsverfahrens für ein konkretes Projekt nicht ersetzt.

2 Nukleares Wärmeerzeugungssystem

2.1 Primärsystem

Die HTR-Modul-Kraftwerksanlage besteht aus 2 nuklearen 2-Kreis-Dampferzeugungssystemen von je 200 Mj/s thermischer Leistung. Die beiden Moduleinheiten befinden sich in einem gemeinsamen Reaktor Gebäude.

Die Systemelemente des nuklearen Wärmeerzeugungssystems zur Erzeugung von Hochtemperatur-Frischdampf bzw. Prozederdampf sind:

- Der Reaktor in einem Stahl-druckbehälter, Kühlung des Cores durch Helium von oben nach unten strömend, sphärische Brennelemente mit 15 Durchläufen durch das Core, Abschaltvorrichtungen im Reflektor mit 6 Abschaltstäben zur Heißabschaltung und Regelung und 18 Kleinkugel-Absorbersysteme zur Langzeitabschaltung.

- der Dampferzeuger mit Aufwärtsverdampfung in einem separaten Stahl-druckbehälter,
- das Gebläse zur Umwälzung des Heliums, am Dampferzeuger-gebläse angeflanscht,
- der Verbindungsdruckbehälter mit koaxialer Heißgas/Kaltgasführung

Der Reaktor-druckbehälter und der Dampferzeuger je einer Einheit befinden sich in einer unterteilten Stahlbetonzelle.

Die Hauptdaten des nuklearen Wärmeerzeugungssystems des HTR-Modul mit Dampferzeuger sind:

Thermische Leistung	Mj/s	200
Mittlere Leistungsdichte des Reaktor-kerns	Mj/s · m ³	3,0
Heliumdurchsatz, primär	kg/s	85
Primärkreisdruck	bar	80
Eintrittstemperatur Reaktor	°C	ca. 250
Austrittstemperatur Reaktor	°C	700
Frischdampfdruck	bar	190
Frischdampftemperatur	°C	530
Dampfmenge	kg/s	77
Speisewassertemperatur	°C	ca. 170

Reaktor-druckbehälter, Verbindungsdruckbehälter und Dampferzeuger-druckbehälter sind hinsichtlich ihrer Abmessungen, Wandstärken, Abstützungen sowie Betriebs- und Auslegungsdaten (p, T) mit den Komponenten moderner Leichtwasserreaktoren vergleichbar. Eine Ausnahme bildet der Frischdampfreaktor am Dampferzeuger, da der Frischdampfzustand dem von Hochtemperaturreaktoren bzw. konventionellen Dampfkraftwerken entspricht.

2.2 Brennelement

Das der Auslegung des HTR-Moduls zugrunde gelegte kugelförmige Brennelement entspricht dem im Projekt „Hochtemperaturreaktor-Brennstoff-Kreislauf (HDK)“ entwickelten Element. Es hat einen Durchmesser von 6 cm. Die innere Kugelzone von 3 cm Durchmesser enthält den Brennstoff (7 g niedrig angereicherter Uran (LEU) pro Brennelement, Anreicherungs 8,0 +/- 0,5%) in Form beschichteter Brennstoffteilchen. Die 5 mm dicke äußere Kugelzone ist brennstofffrei. Der UO₂-Brennstoff in Form sphärischer Teilchen von 500 µm Durchmesser ist von einer sog. TRI-SO-Beschichtung (Pyrokohlenstoff und Siliziumcarbid) umschlossen. Diese beschichteten Brennstoffteilchen mit einem äußeren Durchmesser von 920 µm sind in dem auf Basis einer Graphitmatrix gepreßten Brennelement eingebettet.

Die Spaltproduktfreisetzung aus diesen Brennelementen ist beim vorgelegten Konzept sehr gering. Dies wurde durch zahlreiche Bestrahlungsversuche und ergänzende Ausheiztests an bestrahlten Brennelementen nachgewiesen. Aus diesen Experimenten lassen sich folgende Freisetzungsmechanismen temperaturgestuft ableiten:

- bis ca. 1200° C Freisetzung allein aus

	Auslegungswerte (Anteile)
· herstellungsbedingtem Partikelbruch	6 · 10 ⁻⁵
· bestrahlungsbedingtem Partikelbruch	1 · 10 ⁻⁴ (bei mittl. Abbrand des Modulcores)
	2 · 10 ⁻⁴ (bei Zielabbrand eines Brennelementes)

Der Auslegungswert für den herstellungsbedingten Partikelbruch berücksichtigt auch den Urangehalt der Graphitmatrix (Natururan, herstellungsbedingte Kontamination). Dieser Urangehalt wird auf einen Anteil von 7 · 10⁻⁷ am Gesamtinventar an Uran-235 des Brennelementes begrenzt.

- Oberhalb ca. 1200° C

- Einsetzender, noch sehr geringer Transport der metallischen Spaltprodukte aus intakten Partikeln.

- Oberhalb des Bereiches von 1600° C - 1650° C

- Einsetzende Spaltprodukt-Korrosion der SiC-Schicht

Nach Ansicht der RSK ist die sicherheitstechnische Auslegung des HTR-Modul geprägt durch die geringe Aktivitätsfreisetzung aus den Brennelementen während des bestimmungsgemäßen Betriebes und bei Störfällen.

Der Hersteller hat die Auslegung des Reaktors durch die Wahl der niedrigen Leistung und Leistungsdichte sowie einer günstigen Coregeometrie konservativ auf eine Begrenzung der maximalen Brennstofftemperatur auf 1620° C abgestimmt. Während des Normalbetriebs erreichen die Brennelemente nur eine Maximaltemperatur von ca. 850° C.

Die RSK geht auf Grund von Analysen des Instituts für Nukleare Sicherheitsforschung (ISF) der KFA Jülich davon aus, daß bei Störfällen und sogar bei Unfällen nur bei wenigen Prozent der Brennelemente eine Temperatur von 1500° C für eine Zeit von wenigen Tagen überschritten wird, wobei der Auslegungswert von 1620° C nicht erreicht wird. Quellthermanalysen des ISF zeigen, daß nur eine geringe Jodmenge in den Primärkreis freigesetzt wird, die fast ausschließlich aus dem bereits zu Störfallbeginn außerhalb intakter Partikeln vorhandenen Inventar stammt; da ein effektiver Transportmechanismus in die Umgebung fehlt, verbleibt das Jod weitgehend im Primärkreis. Aus Partikeln diffundiertes Cäsium und Strontium wird nahezu vollständig am Coregraphit zurückgehalten.

2.3 Abschalteneinrichtungen und Reaktorregelung

Zur Reaktorregelung und zur Heißabschaltung des Kerns dienen 6 Reflektorstäbe, deren Ausführung im wesentlichen der THTR-Konstruktion entspricht. Bei Heißabschaltung wird die elektrische Versorgung des Reflektorstromtriebwerks unterbrochen, wodurch der Stab unter Schwerkraft in seine tiefste Stellung (1 m unter Kernmitte) einfällt.

Das Kleinkugel-Absorbersystem (KLAK-System) stellt die Kaltabschaltung des Kerns sicher. Die 16 KLAK-Behälter sind oberhalb des thermischen Deckenschildes angeordnet. Zur Auslösung wird die Versorgung eines Haltemagneten unterbrochen, wodurch sich der Behälterverschluss unter Schwerkraft öffnet und die Kleinkugel-Absorber frei in Reflektorbohrungen einfallen. Als Behälterverschluss dient ein sogenannter Stauverschluss, der, ohne Kugelbruch zu erzeugen, auch die Eingabe von Teilmengen ermöglicht.

Mittels einer pneumatischen Fördereinrichtung können die Absorber dosiert wieder in die Vorratsbehälter zurückgeführt werden, in denen Meßeinrichtungen den Füllstand kontrollieren. Schaltelemente und Fördereinrichtungen sind außerhalb des Reaktordruckbehälters angeordnet und auch bei Reaktorbetrieb zugänglich.

Der Reaktorkern ist für einen uneingeschränkten Lastwechselbetrieb zwischen 100% und 50% Nennleistung ausgelegt. Der dafür erforderliche Reaktivitätsbedarf beträgt 1,2% Δk . Der Gleichgewichtsreaktor hat eine maximale Überschussreaktivität von 7,8% Δk in kaltem unverfälschtem Zustand. Die Abschalteneinrichtungen (Reflektorstäbe und KLAK-System) gewährleisten unter Berücksichtigung eines Einzelfehlers eine Abschaltreaktivität von mindestens 10,9% Δk . Der Gesamttemperaturkoeffizient der Reaktivität ist immer negativ.

Bei Schnellabschaltung fallen alle Reflektorstäbe in ihre tiefste Position im Seitenreflektor, und der primär- und sekundärseitige Massenstrom wird durch Abschaltung des Gebäudes und Schließen aller sekundärseitigen Absperrarmaturen unterbrochen.

Die RSK ist der Ansicht, daß die für den HTR-Modul vorgesehenen Abschalteneinrichtungen, die Reaktorregelung und das Reaktorschutzsystem (s. 2.4) grundsätzlich in der Lage sind, die sicherheitstechnischen Aufgaben zu erfüllen.

Die zur Heißabschaltung dienenden Reflektorstäbe haben bei Ausfall eines Stabes eine minimale Wirksamkeit von 2,9% Δk . Dieser Reaktivitätsbeitrag reicht aus, den Reaktor selbst im ungünstigsten Reaktivitätsstörfall (Staubausfahren, Wassereinbruch) sicher unterkritisch zu machen.

Durch die Schnellabschaltung wird der Reaktor in einen heiß unterkritischen Zustand gebracht, der größere thermische Beanspruchungen an den Komponenten verhindert und im übrigen ein schnelles Wiederanfahren ermöglicht.

Zur Langzeitabschaltung ist die Betätigung des Kleinkugel-Absorbersystems (KLAK) vorgesehen. Eine Langzeitabschaltung aus Sicherheitsgründen ist frühestens nach einigen Tagen erforderlich. Die Auslösung des KLAK-Systems nach dem Ruhestromprinzip stellt eine sehr zuverlässige Einrichtung dar.

Die RSK stellt fest, daß die Wirksamkeit der Reflektorstäbe und des KLAK-Systems ausreicht, den Reaktor sicher in einen unterkritischen Zustand zu überführen und darin zu halten. Ein zusätzlicher inhärentes Merkmal des HTR-Moduls ist es, daß der Reaktor bei unterstelltem Ausfall der Abschalteneinrichtungen allein durch die Gebühsabschaltung von selbst zunächst unterkritisch wird. Langfristig stellt sich ein niedriges Leistungsniveau von 0,5% der Anfangsleistung ein, bei dem sich der Reaktor bei einem gegenüber dem bestimmungsgemäßen Betrieb höheren Temperaturniveau der Brennelemente, aber weit unter 1600° C stabilisiert.

2.4 Reaktorschutzsystem

Jede Moduleinheit besitzt ihr eigenes, nur ihr zugeordnetes Reaktorschutzsystem. Eine Rückkopplung bzw. Bedarfsanforderung derer Moduleinheiten ist damit ausgeschlossen. Die Autonomie des Reaktorschutzsystems beginnt auf der Meßwertfassungsebene und bleibt bis zur Ansteuerung der aktiven Sicherheitseinrichtungen erhalten. Bei Störfällen wird nur die betroffene Moduleinheit abgeschaltet und nur an dieser werden evtl. weitere erforderliche Schutzaktionen eingeleitet. Störfälle, die sich auf beide Moduleinheiten auswirken, werden von jedem Reaktorschutzsystem separat erkannt.

Die zur Überwachung erforderlichen Prozessvariablen lassen sich auf 8 Meßgrößen zurückführen:

- Neutronenfluß
 - Reaktoreintrittstemperatur
 - Reaktoreintrittstemperatur
 - Feuchte im Primärsystem
 - Druck im Primärsystem
 - Druck im Sekundärsystem
 - Massendurchsatz im Primärsystem
 - Speisewasserdurchsatz
- Die Meßwertfassung und der übrige Analogteil des Reaktorschutzsystems ist grundsätzlich dreifach redundant aufgebaut. Im anschließenden Logikteil erfolgt die logische Wertung der aus den Meßgrößen abgeleiteten Anregekriterien und die Bildung der Auslösesignale zur Ansteuerung der Schutzaktionen:
- Einfall der Reflektorstäbe
 - Abschalten des Primärkreislaufgebläses
 - Abschalten des Dampferzeugers
 - Dampferzeugerentlastung (bei Feuchtdetektion)
 - Primärkreisabschluß (bei Druckentlastung)

Die Ansteuerung erfolgt nach dem Ruhestromprinzip. Das gesamte Reaktorschutzsystem ist „fail safe“ ausgelegt. Die erforderlichen Stellenergien sind an den steuernden Komponenten gespeichert. Nach der Auslösung hat der Reaktorschutz keine Funktion mehr zu erfüllen.

Die RSK erwartet auch für die Realisierung des Reaktorschutzsystems für den HTR-Modul keine prinzipiellen Schwierigkeiten, da es einerseits ganz nach dem „fail safe“-Prinzip aufgebaut ist und sich andererseits die gesamte Meßwertaufbereitung und logische Verknüpfung der Sicherheitsvariablen auf die bei LWR-Anlagen bewährte Technik des nach den RSK-Leitlinien geforderten Reaktorschutzsystems stützt.

2.5 Elektrische Energieversorgung

Die gemeinsame Eigenbedarfsanlage der HTR-Modul-Kraftwerksanlage mit 2 Moduleinheiten ist zweisträngig aufgebaut. Sie kann von einem Blockgenerator oder aus dem Netz versorgt werden. Die Anbindung an das Netz erfolgt über einen Hauptneuzanschluß und einen Reserveneuzanschluß. Durch die Zuordnung der Moduleinheiten zu den Eigenbedarfsanlagen wird sichergestellt, daß der Ausfall einer Schiene nur zum Ausfall einer Moduleinheit führen kann.

Sicherheitstechnisch wichtige Verbraucher sind an das für beide Moduleinheiten gemeinsame zweisträngige Notstromsystem angeschlossen. Jeder Notstromstrang verfügt über eine eigene, selbstnotstromerzeugungsanlage und kann die Mindestversorgung für beide Module gewährleisten.

Die Gleichspannungversorgung erfolgt pro Strang aus einem Gleichrichter mit parallelschalteter 220-V-Batterie und nachgeschalteten Gleichspannungswandlern zur Versorgung der 24-V-Verbraucher.

Die 220-V-Batterien sind für eine zweistündige Entladung bemessen. Bei einer Unterschreitung der zulässigen Spannung werden alle 24-V-Verbraucher (betriebliche und sicherheitsrelevante Leitertechnik) automatisch abgeschaltet und damit auch die Schutzfunktionen ausgelöst.

Für die Notsteuerstelle ist eine einsträngige Energieversorgung mit einer eigenen 24-V-Batterie vorhanden. Diese Batterie ist für eine Entladungszeit von 15 Stunden ausgelegt.

Das Notstromsystem wird nach dem derzeitigen Planungsstand nicht durchgehend als Sicherheitssystem qualifiziert. Dies entspricht dem Sicherheitskonzept der Gesamtanlage, das einen Totalausfall der elektrischen Energieversorgung – und damit auch der Kühlung – für eine Dauer von bis zu 15 Stunden ohne Überschreitung von Auslegungswerten zuläßt.

Die RSK hat keine Bedenken gegen das Konzept der elektrischen Energieversorgung. Sie geht dabei davon aus, daß durch entsprechende Auslegung und qualitätssichernde Maßnahmen Ausfälle dauern über 15 Stunden vermieden werden. Bei einem Ausfall der betrieblichen und sicherheitsrelevanten Leitertechnik kann die Anlage von der Notsteuerstelle ausreichend überwacht werden.

2.6 Nachwärmeabfuhrsystem

Im bestimmungsgemäßen Betrieb und bei Störfällen wird der Wasser/Dampf-Kreislauf auch zur Nachwärmeabfuhr eingesetzt. Steht dieser nicht zur Verfügung, erfolgt beim HTR-Modul die Nachwärmeabfuhr über Wärmeleitung, Wärmestrahlung sowie über Naturkonvektion passiv an die außerhalb des Reaktor-druckbehälters angeordneten Flächenkühler. Eine maximale Brennelementtemperatur von 1620° C wird sowohl bei allen Störfallereignissen mit auslegungsgemäßer Nachwärmeabfuhr als auch bei zusätzlichem Ausfall der Nachwärmeabfuhr über die Flächenkühler nicht überschritten. Die Einhaltung dieses maximalen Brennelementtemperatur ist ein inhärentes Sicherheitsmerkmal dieses Reaktorkonzepts.

Der Flächenkühler umgibt den Reaktordruckbehälter in der Reaktorzelle im Bereich des Kerns in einem Abstand von ca. 1,5 m. Er ist vor der Betonwand der Zelle installiert. Der Flächenkühler dient dem Schutz der Betonstrukturen vor unzulässig hohen Temperaturen. Daneben stellt er im Normalbetrieb die Wärmesenke für die aus dem Reaktor gelangende Verlustwärme dar. Bei Nichtverfügbarkeit des Hauptkühlsystems begrenzt der Flächenkühler die Temperaturen der Reaktorstrukturen, insbesondere des Reaktordruckbehälters, auf die Auslegungstemperaturen.

Der Flächenkühler jeder Moduleinheit ist dreisträngig ausgebaut, wobei die Redundanz dadurch erreicht wird, daß jeweils drei nebeneinander liegende Kühlrohre je einem separaten Kühlkreislauf zugeordnet sind. Zwei Stränge des Flächenkühlers werden über das zweisträngige notstromgesicherte Zwischenkühlwassersystem gespeist, der dritte Strang vom betrieblichen Zwischenkühlsystem. Zur Versorgung der Flächenkühler mit Kühlwasser nach Flugzeugabsturz und Explosionsdruckwelle sind im Reaktorgebäude Schlauchanschlüsse für eine externe Einspeisung in das gesicherte Zwischenkühlsystem vorgesehen.

Die RSK ist der Ansicht, daß die wärmetechnische Auslegung des Flächenkühlsystems ausreichend ist. Die RSK geht davon aus, daß das Flächenkühlsystem mit seinem dreisträngigen Aufbau und der schaltungsmaßig einfachen Ausführung ausreichend zuverlässig ausgebildet werden kann, um die Wärmeabfuhr bei Störfällen sicherzustellen.

2.7 Aktivitätseinschluß

Das HTR-Modulkonzept verzichtet auf einen gasdichten Sicherheitseinschluß. Es beruht darauf, daß der zuverlässige Einschluß der radioaktiven Spaltprodukte in den Brennelementen so gewährleistet ist, daß die Umgebungsbelastungen bei allen Störfällen unterhalb zulässiger Grenzwerte bleiben.

Der Auslegungsdruck des Primärkreises und der Ansprechdruck des Druckentlastungssystems wurden so gewählt, daß der durch Ausfall der Hauptwärmenke resultierende Druckanstieg nicht zum Ansprechen des Druckentlastungssystems führt. Erst ein großer Wassereinbruch führt langfristig zum Ansprechen des Druckentlastungssystems, wenn sowohl die Druckregelung als auch der Wasserabscheider in der Gasreinigungsanlage versagen. Das Druckentlastungssystem besteht aus zwei parallel angeordneten Strängen mit Abblaseventilen, die auf gestaffelte Ansprechdrücke eingesteilt werden. Zur Begrenzung der an die

Umgebung abgegebenen Spaltprodukte sowie zur Minimierung der Heliumverluste wird bei Absinken des Drucks auf einen Wert unter 60 bar das Druckentlastungssystem wieder geschlossen.

Das Reaktorgebäude stellt kein klassisches Volldruck-Containment dar, sondern dient bei Störfällen der gezielten Aktivitätsführung. Die Modul-Kraftwerksanlage besitzt daher einen Druckentlastungskanal, der aus der für beide Moduleinheiten gemeinsamen Reaktorhalle in den Kamin einmündet. Die Primärräume einer Moduleinheit sind außerdem untereinander durch Öffnungen verbunden, um einen möglichst raschen Druckausgleich zu erreichen. Nach Erreichen des Ausgleichsdrucks von 1 bar schließen die Druckentlastungsklappen selbstständig und eine gezielte Luftführung im Gebäude wird wieder hergestellt. Die Entlastungskanäle sind außerdem mit je einer fernbedienbar schließenden Klappe versehen.

Die Räume im Reaktorgebäude sind luftungstechnisch zur gezielten Abgabe radioaktiver Spaltprodukte ausgelegt. Primärkreisleckagen bis zu einer Leckgröße von 2 cm³ (beim Abriß einer Meßleitung DN 10 oder dem Ansprechen des kleinen Sicherheitsventils des Druckentlastungssystems) können vom Lüftungssystem aufgefangen und gefillert werden.

Die RSK hat keine sicherheitstechnischen Bedenken gegen das Konzept des Aktivitätseinschlusses. Dieses ist geeignet, die Einhaltung der Vorschriften der Strahlenschutzverordnung für den bestimmungsgemäßen Betrieb und für Auslegungsfälle zu gewährleisten.

2.8 Notsteuerstelle

Für die 2 Moduleinheiten ist eine Notsteuerstelle vorgesehen. Sie wird für folgende Fälle benötigt:

- Ausfall der Warte
- langfristiger Eigenbedarfsausfall und Ausfall der Notstrom-diesel
- Explosionsdruckwelle
- Flugzeugabsturz

Die Notsteuerstelle ist mit folgenden Einrichtungen ausgestattet:

- Störfallinstrumentierung
- Auslösung des Abschaltsystems KLAK
- Kommunikationseinrichtungen

Die Notsteuerstelle hat eine Notstrombatterie für 15 Stunden und einen Anschluß zur Notspeisung von elektrischer Energie nach 15 Stunden. Die Notsteuerstelle ist einsträngig aufgebaut. Dies ist nach Ansicht des Antragstellers ausreichend in Verbindung mit der „fail safe“-Ausführung der Reaktorschutzfunktionen und des Abschaltsystems KLAK. In den oben genannten Fällen ist die Nachwärmeabfuhr durch eine externe Bespeisung über Schlauchanschlüsse gewährleistet.

Die RSK hat die Ausführung der Notsteuerstelle beraten. Sie ist der Ansicht, daß für die vorgesehene Aufgabenstellung der Notsteuerstelle, die beim HTR-Modul lediglich Überwachungsfunktionen und die von Hand auszulösende Langzeitabschaltung (KLAK-System) in „fail safe“-Ausführung vorsieht, eine einsträngige Ausführung ausreichend ist. Auf der Grundlage des derzeitigen Planungsstandes ist nicht erkennbar, daß weitere Steuerungsfunktionen erforderlich werden könnten.

3 Auslegung und Qualitätssicherung der druckführenden metallischen Komponenten des Primärsystems und des Sekundärkreislaufs

3.1 Auslegung und Qualitätssicherung des Primärkreislaufs

Die Druckbehältereinheit besteht aus dem Reaktor- und dem Dampferzeuger-Druckbehälter sowie dem Verbindungsdruckbehälter. Die zylindrischen Teile der Behälter sind aus geschmiedeten Ringen hergestellt, die durch Schweifnähte miteinander verbunden sind. Der Reaktordruckbehälter ist durch einen Behälterdeckel verschlossen, der nach Demontage den vollen Behälterquerschnitt freigibt.

Für die Schmiedeteile der Druckbehälter ist der Werkstoff 20 MnMoNi 55 vorgesehen. Dieser auch für die Herstellung von Reaktordruckbehältern, Dampferzeugern und Rohrleitungen von Leichtwasserreaktoren verwendete Stahl zeichnet sich insbesondere durch seine hohe Zähigkeit und durch die Schweißbarkeit bei der Fertigung aus. Die Erfahrungen im Leichtwasserreaktorbau zeigen, daß die Schweifnähte mit Hilfe von Ultraschall sicher prüfbar sind.

Durch die Heißgasführung im Reaktordruckbehälter (Einschluß des Reaktorkerns in einem Kernbehälter), Verbindungsdruckbehälter und Dampferzeugerdruckbehälter und die Maßnahmen zur Wärmedämmung zwischen der Heißgas- und der Kaltgasseite wird nach Ansicht des Antragstellers sichergestellt, daß die Druckbehälterwände nicht mit Heißgas beaufschlagt werden können. Unter dieser Voraussetzung können die Auslegungsmarknale von LWK-Druckbehältern auf die des HTR-Moduls übertragen werden. Zwischen Kernbehälter und Reaktordruckbehälter besteht eine lose aufgelagerte Schriebeverbindung. Leckagen zwischen der Kaltgasseite und der Heißgasseite sind durch die Druckverhältnisse vom Kaltgas zum Heißgas gerichtet. Die Spezifikation und Auslegung der Druckbehältereinheit basieren auf dem anerkannten Sicherheitskonzept für Leichtwasserreaktoren. Aufgrund der vergleichbaren technischen Basis wird für die Druckbehältereinheit des HTR-Moduls das Konzept der Basisicherheit erfüllt und durch wiederkehrende Prüfungen abgesichert. Der Frischdampfstrom gehört bis zum Anschluß der Frischdampfleitung zur Druckbehältereinheit. Er wird ebenfalls so ausgelegt, daß ein Bruchausschluß angesetzt werden kann.

Für die Bauteile und Komponenten der Druckbehältereinheit werden die Anforderungen der KTA 3201, Teile 1 bis 4 im wesentlichen erfüllt. Spezielle Spannungsanalysen wurden für Flanschverbindungen am Reaktordruckbehälter und am Dampferzeugerdruckbehälter und den Boden-Zylinderanschluß am Reaktordruckbehälter durchgeführt. Dabei wurden die Methoden Stufenkörpermethode und Schalentheorie angewandt. Verstärkungen bei Stützkonstruktionen wurden vorzugsweise an den Druckbehältern vorgenommen.

Zum Zweck wiederkehrender Prüfung müssen Isolierungen entfernt werden. Für die Prüfung selbst werden die entsprechenden Vorkehrungen (z. B. Manipulatorsysteme für Ultraschallprüfungen) von der Leichtwasserreaktortechnik übernommen.

Bezüglich wiederkehrender Prüfungen ist für den Reaktordruckbehälter und den Dampferzeuger-Druckbehälter ein 4-jähriger Prüfungszyklus vorgesehen, wobei die Schweißnähte der Druckbehältereinheit vollvolumetrisch geprüft werden. Wiederholungsdruckprüfungen sind systembedingt nur mit Gas möglich, wobei der Prüfdruck durch die gültige Regel für Gasdruckprüfungen auf das 1,1-fache des Auslegungsdruks beschränkt ist. Die Erstdruckprüfung wird mit Wasser beim 1,3-fachen Auslegungsdruk durchgeführt. Vor Wiederholungsdruckprüfungen wird eine Ultraschall-Wiederholungsprüfung durchgeführt. Stellen, an denen Befunde vorliegen, werden nach der Wiederholungsdruckprüfung erneut einer Ultraschall-Prüfung unterzogen. Am Sekundärkreis werden Wiederholungsdruckprüfungen mit Wasser durchgeführt.

Zur Betriebsüberwachung hinsichtlich der Werkstoffe hat der Antragsteller ausgeführt, daß vorseitende Bestrahlungsproben nicht möglich sind. Statt dessen ist vorgesehen, die Werkstoffveränderungen während der Lebensdauer der Anlage durch Experimente nachzuvollziehen und begleitend die jeweils neueste Literatur in Betracht zu ziehen. Zusätzlich werden dann mitlaufende Bestrahlungsproben eingesetzt und von Zeit zu Zeit untersucht.

Bruchmechanische Untersuchungen wurden durchgeführt, die zeigen, daß ein Bruchausschluß der Druckbehältereinheit angesetzt werden kann. Es wurde außerdem gezeigt, daß das Leckvor-Bruch-Kriterium eingehalten wird.

Die RSK sieht die Übertragung der in den RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren und in der KTA-Regel 3201 festgelegten Grundsätze für die Sicherheit gegen Versagen druckführender Komponenten und die Beschränkung der Annahmen von Leckproben auf den Querschnitt von Anschlußleitungen (DN 65) als gerechtfertigt an. Die Anforderungen des Abschnitts 4.1 der RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren unter Berücksichtigung der Rahmenspezifikation Basisicherheit, der KTA-Regel 3201 und des im Vorbericht zur KTA-Regel 3221 festgehaltenen Grundlagematerials für Einsatztemperaturen oberhalb 400° C können hinsichtlich der Werkstoffe, ihrer Verarbeitung, der konstruktiven Gestaltung, der Spannungsbegrenzung, der Ermüdungssicherheit und der wiederkehrenden Prüfungen im wesentlichen erfüllt werden.

Die Ausbildung des unteren Bodens im Reaktordruckbehälter mit Bodenverstärkungsring und Kalotte entspricht dem unteren Boden im Reaktordruckbehälter von Siedewasserreaktoren mit Pumpenstützen. Daher sind entsprechende Nachweise über die Spannungsbegrenzung zu führen.

Wichtig ist ein rechtzeitiges Erkennen von wesentlichen Überschreitungen der Auslegungstemperatur in einzelnen Bereichen der druckführenden Umschließung. Zum Teil können hierzu die vom Anlagenkonzept her gegebenen Möglichkeiten der Feststellung von Leckagen zwischen den Kreisläufen genutzt werden. Darüber hinaus kann durch betriebliche Messungen eine Kontrolle des durch die Kühlmittelführung bewirkten Wärmeschutzes erfolgen.

3.2 Lagerung des Reaktordruckbehälters und des Dampferzeugers

Die Lagerung des Reaktordruckbehälters und des versetzt angeordneten Dampferzeugerdruckbehälters erfolgt auf 3 Abstützebenen. Auf der unteren Abstützebene ist der Dampferzeugerdruckbehälter, auf der mittleren Ebene beide Behälter und auf der oberen Ebene der Reaktordruckbehälter gelagert, wobei unterschiedliche Konstruktionen in Verbindung mit Gleitlagern und Stoßbremsen zur Anwendung kommen. Kräfte aus Einwirkungen von außen wurden berücksichtigt.

Erfahrungen aus den USA, wo es bei Leichtwasserreaktoren zur Versprödung von Lagern kam, sind dem Antragsteller bekannt. Er schließt eine Versprödung der Stützkonstruktion beim HTR-Modul aus, da die Neutronenfluenz für einen solchen Effekt zu gering sei.

Die RSK hat keine Bedenken gegen die Lagerung des Reaktordruckbehälters und des Dampferzeugers. Sie stellt jedoch fest, daß der zuverlässigen Erhaltung der Funktionsfähigkeit der Behälterauflagerung wegen der starren Verbindung zwischen Reaktordruckbehälter und Dampferzeugerdruckbehälter eine groÙe Bedeutung zukommt. Betriebliche Wartung, Reparaturmöglichkeit und wiederkehrende Prüfung sind daher erforderlich.

3.3 Sekundärkreislauf

Für den Sekundärkreislauf innerhalb des Reaktorgebäudes hat der Antragsteller eine Auslegung gemäß konventionellen Anforderungen mit kerntechnischen Zusatzanforderungen vorgesehend. Die Zusatzanforderungen beziehen sich auf die Sekundärkreisarmaturen, da diese zum Absperren des Dampferzeugers benötigt und vom Reaktorrecht angesteuert werden.

Außerhalb des Reaktorgebäudes wird der Sekundärkreislauf nur nach konventionellen Regeln ausgelegt. Dies wird damit begründet, daß der Sekundärkreislauf keine sicherheitstechnische Bedeutung hat, da die Nachwärme immer über den dreisträngigen Flächenkühler abgeführt werden kann.

Zum Schutz gegen Einwirkungen von Bruchstücken, die beim Versagen von Sekundärkreislaufkomponenten (z. B. Turbine, Behälter) auftreten können, wird der nukleare Teil des Kraftwerkes so angeordnet bzw. ausgelegt, daß keine unzulässigen Einwirkungen auftreten können.

Die wiederkehrenden Prüfungen des Sekundärkreislaufs außerhalb des Reaktorgebäudes werden entsprechend den üblichen konventionellen Anforderungen durchgeführt. Im Reaktorgebäude werden zusätzlich wiederkehrende Prüfungen entsprechend kerntechnischen Anforderungen durchgeführt.

Die RSK ist der Meinung, daß die vorgesehene konventionelle Auslegung des Sekundärkreislaufs im Grundsatz akzeptiert werden kann, daß aber für Komponenten mit hohem Energieinhalt höhere Anforderungen zu stellen sind. Bezüglich der wiederkehrenden Prüfungen hält sie eine genaue Darlegung der Durchführbarkeit unter dem Gesichtspunkt der Zugänglichkeit für erforderlich. Unter der Voraussetzung entsprechender Herstellerqualität und betrieblicher Überwachungsmaßnahmen ist es nach Ansicht der RSK gerechtfertigt, unterstellte Dampferzeugerleckagen auf die Größe eines Heizrohrquerschnitts zu begrenzen.

4 Auslegung der Gebäude

Die Auslegung der Gebäude der HTR-Modul-Kraftwerksanlage entspricht dem Sicherheitskonzept der Gesamtanlage. Die Einwirkungen

- Erdbeben
 - chemische Explosion
 - Flugzeugabsturz
- auf den Schutz des Gebäudes werden die Einwirkungen von außen bestimmend. Außer diesen werden die Einwirkungen
- Blitz
 - Wind, Sturm
 - Schnee, Regen, Hagel
 - Hochwasser, Niedrigwasser
 - Gefährliche Gase
- berücksichtigt.

Entsprechend dem Sicherheitskonzept der Anlage ist nur für das Reaktorgebäude eine Auslegung gegen Druckwellen aus chemischen Explosionen und Flugzeugabsturz zusätzlich zur Auslegung gegen die übrigen der vorstehend genannten Einwirkungen von außen vorgesehen.

Die RSK hat keine Bedenken bezüglich der Baubarkeit der Anlage und die Erfüllbarkeit der Anforderungen bezüglich der Auslegung gegen Einwirkungen von außen. Die Anbindung des Reaktorhilfsanlagegebäudes an das Reaktorgebäude sollte nach Ansicht der RSK optimiert werden, insbesondere im Hinblick auf die Grundwasserabdichtung und die Auslegung gegen Erdbeben. Sollen industriennahe Standorte gewählt werden, müßte geprüft werden, ob Lastfälle zu unterstellen sind, die über die bisher unterstellten hinausgehen. Ebenso können die Bemessungsereignisse erst nach Auswahl eines Standortes festgelegt werden. Dies gilt auch für eine Stellungnahme zum Baugrund.

5 Beherrschung von Auslegungsfällen und auslegungsbereitenden Ereignisabläufe

5.1 Auslegungsfälle

Die für die HTR-Modul-Kraftwerksanlage mit Dampferzeuger betrachteten Auslegungsfälle sind so festgelegt, daß sie bezüglich ihres Schadensausmaßes und ihrer Umgebungsbelastung abdeckenden Charakter haben.

Die Auslegungsfälle sind unter den folgenden Kategorien zusammengefaßt:

- Reaktivitätsstörfälle
- Störungen am Hauptwärmeübertragungssystem
- Primärseitige Brüche
- Sekundärseitige Brüche
- Ausfall der Stromversorgung
- Störungen an Hilfs- und Nebenanlagen
- naturbedingte Einwirkungen von außen

Zusätzlich wurden ATWS-Störfälle untersucht.

Das Vorgehen des Antragstellers bezüglich der Störfallanalysen lehnt sich an die Praxis bei Leichtwasserreaktoren an. Er geht von 4 Sicherheitsebenen aus, wobei die beiden ersten Ebenen dem Normalbetrieb und den Betriebsstörungen zugeordnet sind. Die 3. Ebene ist den Störfällen und ihrer Beherrschung und die 4. Ebene der Restrisikominderung bei seltenen Einwirkungen von außen und hypothetischen Ereignisabläufe in der Anlage zugeordnet.

Die Auslegungsfälle werden in Anlehnung an die Störfalleitlinien des BfM für Druckwasserreaktoren eingeteilt.

Zum Reaktorgebäude führt der Antragsteller aus, daß er ein druckfestes Reaktorgebäude aus HTR-spezifischen Gründen nicht für erforderlich hält. Beim Druckentlastungsstörfall ist die Aktivitätsableitung gering, weil die Kühlgasaktivität im bestimmungsgemäßen Betrieb gering ist und bei diesem Störfall die Integrität der Spaltproduktbarriere der Brennelemente erhalten bleibt. Eine relevante Aktivitätsfreisetzung in das Reaktorgebäude könnte erst nach einer physikalisch nicht möglichen unzulässigen Aufheizung des Reaktorkerns erfolgen. Daher genügt nach Ansicht des Antragstellers ein Reaktorgebäude mit gezielter Lüftung („vented confinement“). Er betont, daß bei allen Primärkreisleckagestößen bis hin zum Druckentlastungsstörfall die Planungsrichtwerte des § 28 Abs. 3 StrlSchV auch ohne Filterung eingehalten werden. Zur Minimierung der Ableitung ist eine Filterung des entweichenden Primärgases in der späten Phase eines Druckentlastungsstörfalls vorgesehen. Erst zu diesem Zeitpunkt ist ein langsamer und geringfügiger Anstieg der Primärkreisaktivität infolge Kernaufheizung nach Druckentlastung zu erwarten.

Beim Ausfall des Dampferzeugers wird das Gebläse abgeschaltet. Eine Gefährdung des Dampferzeugers durch heiße Gasströmung ist ausgeschlossen, da die Komponentenanordnung und Gasführung beim HTR-Modul so gestaltet sind, daß eine Naturkonvektion innerhalb des primären Kreislaufsystems, die zu einer Schädigung der metallischen Bereiche führen könnte, verhindert wird.

Zur Frage der Wärmeabfuhr hat der Antragsteller folgende Möglichkeiten genannt:

- bei Funktion des Primärkreislaufgebläses und des Dampferzeugers
- über die Turbine
- über Kühler im An- und Abfahrssystem
- über den Kondensator

- bei Ausfall des Gebläses
- über Flächenkühler (3 x 100%)
- über die Gasreinigungsanlage

Die Gasreinigungsanlage ist 3-strängig ausgelegt, wobei ein Strang mit einem Wasserabscheider ausgestattet ist, der primär zur Entfernung von Feuchte aus dem Primärkreis bei einer Dampferzeugerleckage dient. Dieser Strang kann aber auch zur Nachwärmeabfuhr herangezogen werden.

Die RSK hat keine Bedenken bezüglich der Vollständigkeit und der Beherrschung der Störfälle.

Sie hat auch keine Bedenken gegen das Konzept des Reaktorgebäudes, aus dem bei einem Druckentlastungsstörfall Primärgas bis zum Druckausgleich über den Kamin in die Umgebung abgegeben wird. Sie stellt zum Druckentlastungsstörfall fest, daß eine Filterung des austretenden Primärgases zur Einhaltung der Planungsrichtwerte nach § 28 Abs. 3 StrlSchV nicht erforderlich ist. Für einen begrenzten Einsatzbereich im bestimmungsgemäßen Betrieb und bei kleinen Leckstößen ist eine gefilterte Ableitung vorgesehen.

Die RSK hat die Frage behandelt, ob ein Frischdampfleitungsbruch in Kombination mit Heizrohrversagen unterstellt werden muß. Sie ist der Meinung, daß diese Kombination nicht zu unterstellen ist, da die Heizrohre gegen die Belastungen bei einem Frischdampfleitungsbruch ausgelegt sind und bereits kleinste Leckagen detektiert werden.

Die vom Antragsteller vorgenommene sinnigere Übertragung der in den Leitlinien für DWR spezifizierten Auslegungsfälle auf die Verhältnisse des HRT-Modul hat zu einer Auswahl von Auslegungsfällen geführt, die repräsentativ und vollständig sind: probabilistische Analysen des Instituts für Nukleare Sicherheitsforschung (ISF) der KFA Jülich lassen eine Grenze zu hypothetischen Ereignisabläufe bei ca. 10⁻⁶/Reaktorbetriebsjahr erwarten.

5.2 Auslegungsbereitende Ereignisabläufe

Die hypothetischen Ereignisabläufe hat der Antragsteller in einem gesonderten Bericht außerhalb des Sicherheitsberichts behandelt.

Das ISF hat eigene Untersuchungen zu hypothetischen (auslegungsbereitenden) Ereignisabläufen durchgeführt und den Bericht des Antragstellers zum „Verhalten des HTR-Moduls bei hypothetischen Ereignisabläufen“ geprüft. Es faßt die Ergebnisse seiner Überprüfung wie folgt zusammen:

Die vom Antragsteller untersuchten Ereignisketten sind erklärtermaßen exemplarisch ausgewählt für die Problemkreise

- Ausfall aktiver Wärmeabfuhrsysteme, einschließlich des Flächenkühlsystems.
- Reaktivitätszufuhr.
- Versagen von Scram-Aktionen.
- Wassereinträge nach Lecks im Dampferzeuger.
- Luft-einträge nach Lecks am Primärkreis mit Druckentlastung.

sie sind ausgerichtet auf die Möglichkeit von Schadensereignissen, die zu größeren Freisetzen radioaktiver Stoffe führen könnten.

Die Analysen des ISF (im wesentlichen die Aktualisierung des Jüli-Spez-Berichts 260; Zum Störfallverhalten des HTR-Moduls) bestätigen, daß die Ereignisketten entsprechend der Zielsetzung und mit Blick auf die wichtigsten Szenarien und Freisetzungspfade vom Antragsteller richtig ausgewählt sind.

Sie sollten allerdings durch Szenarien nach Dampferzeuger-Leck ergänzt werden, wie

- mögliche Wasser-/Wasserdampfbrüche aus dem zweiten Modul wegen der verbundenen Sekundärkreisläufe
- Freisetzung radioaktiver Stoffe über die Frischdampf- oder Entlastungsleitung in die Umgebung nach Versagen von Absperrorganen.

Zur Frage möglicher Wasser-/Wasserdampfbrüche aus dem Nachbararmodul bei einem Dampferzeuger-Leckstörfall weist der Antragsteller darauf hin, daß eine dampfseitige Absperrung des betroffenen Dampferzeugers durch zwei Armaturen und eine Rückschlagklappe erfolgt.

Ereignisketten mit Dampferzeuger-Leck und Freisetzung radioaktiver Stoffe über die Frischdampf- und Entlastungsleitung nach Versagen von Absperrorganen sind nach Ansicht des ISF wegen relativ großer Freisetzungswerte unter den auslegungsbereitenden Ereignisabläufen risikodominant. Freisetzungswerten mit großen Konsequenzen sind aber auch dafür nicht zu

erwarten, da im wesentlichen nur die auf dem Dampferzeuger abgelagerte Aktivität freigesetzt werden könnte und keine Brennelemente- bzw. Partikelschäden induziert würden.

Die Behandlung der durch die hypothetischen Ereignisketten ausgelösten physikalischen Vorgänge durch den Antragsteller deckt sich mit der durch das ISF; die Ergebnisse sind plausibel und vergleichbar. Das gilt insbesondere für die Behandlung des Ausfalls der Core-Zwangskühlung hinsichtlich maximaler Temperaturen und Spaltproduktückhaltung der Brennelemente, ebenso für die Behandlung möglicher Folgen eines Gebälgsweiterlaufs.

Für den Totalausfall der Kühlsysteme einschließlich des Flächenkühlers ergeben die neueren Rechnungen des ISF, die die Wärmebindung durch Betonwasserverdampfung berücksichtigt, eine maximale Reaktordruckbehälter-Temperatur von ca. 500° C. Diese würde nach ca. 1 Woche erreicht und rund 100° C über der Auslegungstemperatur liegen; eine Gefährdung durch Versagen des Behälters ist dabei nicht gegeben.

Die Aufheizrate ist bei Ausfall des Flächenkühlsystems so gering, daß nach 15 h eine Betontemperatur von 150° C (Auslegungstemperatur) erreicht wird. Weiterhin ist die Möglichkeit vorgesehen, durch eine externe Einspeisung über Schlauchanschlüsse das Flächenkühlsystem mit Kühlwasser zu versorgen, so daß unabhängig vom Zustand der Energieversorgung und des Nebenkühlwassersystems eine Nachwärmeabfuhr möglich ist. Die ISF-Modellierung

a) zum Austrag staubgebundener Aktivität, b) zur Ablagerung auf dem Dampferzeuger abgelagerter Aktivität durch Wasserdampf und

c) zur Freisetzung von Jod aus dem geringem Anteil (Auslegungswert $1,6 \cdot 10^{-4}$) bereits defekter Coated Particles infolge des Einwirkens von Wasserdampf (Brennstoff-Oxidation)

würde zu höheren Freisetzungswerten für Cäsium und Jod führen. Zur Verbesserung des Kenntnisstandes sind Forschungs- und Entwicklungsarbeiten erforderlich.

Zusammenfassend bestätigen die Arbeiten des ISF die wesentlichen Aussagen des Antragstellers zum Verhalten des HTR-Moduls bei auslegungsüberschreitenden Ereignisabläufen. Die genannten Unterschiede stellen das vorgelegte Anlagen- und Sicherheitskonzept nicht in Frage und sind kein Anlaß für Konzeptänderungen.

Die RSK schließt sich der Beurteilung der auslegungsüberschreitenden Ereignisse durch das ISF an und stellt zu den hypothetischen Ereignisabläufen zusammenfassend fest:

- Der Reaktor behält seine Standfestigkeit und Integrität
- Das Reaktorgebäude behält seine Standsicherheit und die Struktur der äußeren Hülle wird nicht zerstört.
- Das Aktivitätsinventar des Reaktors wird nur in einem solchen Maß freigesetzt, daß die Strahlendosis im Bereich der Planungsrichtwerte des § 28 Abs. 3 StriSchV bleibt.

5.3 Einwirkungen von außen

Die Anlage wird gegen folgende Einwirkungen von außen ausgelegt:

- Erdbeben
- Blitz
- Wind, Sturm
- Schnee, Regen, Hagel
- Hochwasser, Niedrigwasser
- Gefährliche Case.

Außerdem werden Schutzmaßnahmen zur Minderung des Risikos aus Flugzeugabsturz und Druckwellen aus externen chemischen Explosionen getroffen.

Anlagenteile, die notwendig sind, um bei Störungen in der Anlage durch Erdbeben die Schutzziele

- Abschaltung und langfristige Unterkritikalität,
- Nachwärmeabfuhr,

- Begrenzung der Aktivitätsfreisetzung

sicherzustellen, sind der Erdbebenklasse I zugeordnet und werden gegen Erdbeben ausgelegt.

Das Reaktorgebäude und die sicherheitstechnisch relevanten Anlagenteile innerhalb des Gebäudes werden gegen die Belastungen aus Flugzeugabsturz und Explosionsdruckwellen ausgelegt. Die äußeren Wände und das Dach des Reaktorgebäudes

sind so bemessen, daß ein Vollschutz gegen Flugzeugabsturz erreicht wird. Die Innenstruktur ist entkoppelt von der Außenstruktur und nur über die Fundamentplatte mit der Außenstruktur verbunden. Dadurch wird gewährleistet, daß die am Auftriebsort des Flugzeuges induzierten Erschütterungen nur abgeschwächt auf die Innenstruktur übertragen werden, was zu einer wesentlichen Reduzierung der Eigenantwortspektralen, vor allem im hochfrequenten Bereich, führt.

Die RSK ist der Ansicht, daß die Maßnahmen zum Schutz der Anlage gegen Einwirkungen von außen den zu stellenden Anforderungen entsprechen und ohne Schwierigkeiten realisiert werden können.

6 Strahlensexposition des Personals

Die Betriebserfahrungen mit gasgekühlten Reaktoren haben gezeigt, daß die Vorschriften der Strahlenschutzverordnung bezüglich Strahlensexposition des Personals ohne Schwierigkeiten eingehalten werden können.

In Anbetracht der guten Zugänglichkeit kann nach Ansicht der RSK bei sorgfältiger Planung der Instandhaltungsarbeiten eine niedrige Strahlensexposition des Personals erwartet werden.

7 Zusammenfassung

Das HTR-Modul-Kraftwerkskonzept der Projektgemeinschaft Siemens AG-Interatom GmbH ist dadurch gekennzeichnet, daß mehrere standardisierte nukleare Wärmezeugungseinheiten von 200 Mj/s thermischer Leistung zu Kraftwerken zusammenge-schaltet werden.

Die Begrenzung der Reaktorleistung auf 200 Mj/s und der mittleren Leistungsdichte auf 3 Mj/s · m³ in Verbindung mit der Core-Geometrie wirkt sich insbesondere in folgender Hinsicht vorteilhaft aus:

- Zum einen wird die Brennstofftemperatur in allen Störfällen derart begrenzt, daß die Planungsrichtwerte des § 28 Abs. 3 der StriSchV auch ohne Filterung der ggf. aus dem Reaktorgebäude entweichenden Gase aus Primär- oder Sekundärkreislagen eingehalten werden. Zum anderen können einfache und bereits erprobte Komponenten und Systeme für das HTR-Modul verwendet werden.

- Beim HTR-Modul erfolgt bei einem Ausfall der Hauptwärmen-senke die Nachwärmeabfuhr über Wärmeleitung, Wärme-strahlung sowie über Naturkonvektion passiv an die außerhalb des Reaktorbehälters angeordneten Flächenkühler. Zur Nachwärmeabfuhr ist kein Zwangsumlauf innerhalb des Primärsystems erforderlich. Der Betrieb des Flächenkühlers dient dem Schutz von Anlagenteilen. Eine maximale Brennelementtemperatur von 1620° C wird sowohl bei allen Störfallereignissen mit auslegungsgemäßer Nachwärmeabfuhr als auch bei zusätzlichem Ausfall der Nachwärmeabfuhr über die Flächenkühler nicht überschritten. Die Einhaltung dieser maximalen Brennelementtemperatur ist ein inhärentes Sicherheitsmerkmal dieses Reaktor-konzepts.

Die RSK hat keine sicherheitstechnischen Bedenken gegen das Konzept des Aktivitäts-einschlusses, da dieses auch ohne Gasdichtheit des Reaktorgebäudes prinzipiell geeignet ist, die Einhaltung der Vorschriften der Strahlenschutzverordnung für den bestimmungsgemäßen Betrieb und für Auslegungstörfälle zu gewährleisten.

Die Wirksamkeit der Reflektorstäbe und des KLAK-Systems reicht aus, den Reaktor sicher in einen unterkritischen Zustand zu überführen und darin zu halten. Ein zusätzliches inhärentes Merkmal des HTR-Moduls ist es, daß der Reaktor bei unterteiltem Ausfall der Abschaltvorrichtungen allein durch die Gebälgsabschaltung von selbst zunächst unterkritisch wird. Längerfristige Abschaltung ein, bei dem der Reaktor sich bei einem gegenüber dem bestimmungsgemäßen Betrieb höheren Temperaturniveau der Brennelemente, aber weit unter 1600° C stabilisiert.

Beim Ausfall des Dampferzeugers wird das Gebälge abgeschaltet. Eine Gefährdung des Dampferzeugers durch heiße Gasströmung ist ausgeschlossen, da die Komponenten-anordnung und Gasführung beim HTR-Modul so gestaltet sind, daß eine Naturkonvektion innerhalb des primären Kreislaufsystems, die zu einer Schädigung der metallischen Bereiche führen könnte, verhindert wird.

Die RSK stellt fest, daß die Grundsätze für die Sicherheit gegen Versagen druckführender Komponenten des Primärkreises erfüllt werden können.

Für den Totalausfall der Kühlsysteme einschließlich des Flächenkühlers ergeben die neueren Rechnungen des ISF eine maximale Reaktordruckbehälter-Temperatur von ca. 500° C. Diese würde nach ca. 1 Woche erreicht und rund 100° C über der Auslegungstemperatur liegen; eine Gefährdung durch Versagen des Behälters ist dabei nicht gegeben. Die Arbeiten des ISF bestätigen die wesentlichen Aussagen des Antragstellers zum Verhalten des HTR-Moduls bei auslegungsüberschreitenden Ereignisabläufen.

Die RSK schließt sich der Beurteilung der auslegungsüberschreitenden Ereignisse durch das ISF an und stellt zu den hypothetischen Ereignisabläufen zusammenfassend fest:

- Der Reaktor behält seine Standfestigkeit und Integrität.
- Das Reaktorgebäude behält seine Standsicherheit und die Struktur der äußeren Hülle wird nicht zerstört.
- Das Aktivitätsinventar des Reaktors wird nur in einem solchen Maß freigesetzt, daß die Strahlendosis im Bereich der Planungsrichtwerte des § 28 Abs. 3 StrlSchV bleibt.

Die RSK stellt zusammenfassend fest, daß das Konzept des HTR-Moduls dem Stand von Wissenschaft und Technik entspricht und auch im auslegungsüberschreitenden Bereich sicherheitstechnisch günstige Eigenschaften besitzt. Sie kommt zu der Aussage, daß das Konzept der HTR-Modul-Anlage geeignet ist, die sicherheitstechnischen Genehmigungsvoraussetzungen in der Bundesrepublik Deutschland zu erfüllen.
