

DER "EUROPEAN PRESSURIZED WATER REACTOR" (EPR) UND SEIN SICHERHEITSKONZEPT

U. Krugmann

Framatome ANP GmbH, Erlangen

1. Zusammenfassung

Es wird ein Überblick über die Entwicklung des EPR gegeben. Die der Entwicklung des EPR zugrunde liegenden Ziele werden aufgeführt. Wesentliche Anlagendaten werden zusammen mit den entsprechenden Vergleichsdaten der Referenzanlagen N4 und Konvoi zusammengestellt.

Das Sicherheitskonzept des EPR ist wesentlich geprägt durch die Genehmigungsanforderungen an die Reaktoren der nächsten Generation. Die Entwicklung dieser Genehmigungsanforderungen wird aufgezeigt und wesentliche Merkmale der Genehmigungsanforderungen an Reaktoren der nächsten Generation werden dargestellt.

Es werden wesentliche Elemente des Sicherheitskonzeptes des EPR im präventiven und mitigativen Bereich dargestellt.

2. Zeitliche Entwicklung des EPR

Die Anfänge der Entwicklung des EPR gehen zurück in das Jahr 1989, als die Siemens AG und die FRAMATOME S.A. die Tochter Nuclear Power International (NPI) zur gemeinsamen Entwicklung eines Druckwasserreaktors (DWR) der nächsten Reaktorgeneration gründeten.

Zunächst wurden bis 1991 die wesentlichen Konzepteigenschaften des so genannten "Common Products" zwischen Siemens und Framatome festgelegt.

Seit 1991 wurden die französischen und deutschen Kernkraftwerksbetreiber (EDF, RWE, PreussenElektra, Bayernwerk, EnBW, ...) in die Konzeptfindung integriert.

Von 1995 bis 1997 wurde der Basic Design des EPR gemeinsam von EDF, den deutschen Kernkraftwerksbetreibern sowie den Herstellern Framatome und Siemens durchgeführt. Seit 1997 wurde in mehreren Anlagen-Optimierungsphasen im Betreiberauftrag der Basis Design des EPR fortgeführt.

Am 18.12.2003 wurde von Teollisuuden Voima Oy (TVO) der Auftrag zur Errichtung eines ersten EPR in Olkiluoto/Finnland erteilt.

3. Entwicklungsziele des EPR

Die maßgeblichen Entwicklungsziele des EPR waren:

- Wettbewerbsfähigkeit im Vergleich zu Kohle und Gas
- Genehmigungsfähigkeit für eine zukünftige Anlage in Deutschland und Frankreich.

Insbesondere auf das zweite Entwicklungsziel wird im Weiteren noch näher eingegangen, so dass an dieser Stelle nur der Aspekt der Wettbewerbsfähigkeit ausgeführt werden soll.

Type of plants	N4	EPR OL3	KONVOI
Core thermal power (MWth)	4250	4300	3850
Electrical output (MWe)	1475	≈ 1600	1365
Number of loops	4	4	4
N° of fuel assemblies	205	241	193
Type of fuel assemblies	17x17	17x17	18x18
Active length (cm)	427	427	390
Total F.A. length (cm)	480	480	483
Rod linear heat rate (W/cm)	179	155	167
N° of control rods	73	89	61
Total flowrate (kg/s)	19420	22245	18800
Vessel outlet temp. (°C)	330	328.1	326
Vessel inlet temp. (°C)	292	295.5	292
S.G.: heat exch. Surface (m ²)	7308	7960	5400
Steam Pressure (bar)	73	78	64.5

Abb. 1: Wesentliche Anlagendaten

Es ist ein bekanntes Phänomen, dass mit steigender Blockgröße die spezifischen Anlagenkosten zurückgehen. Dies hat in der Vergangenheit zu Blockgrößen von 1400 bis 1500 MWe geführt. Der EPR reiht sich in diese Tradition ein und sieht eine Blockgröße von 1600 bis 1800 MWe vor. Aufbauend auf den französischen Erfahrungen mit Anlagenserien ist zur Reduzierung der „First of a Kind“-Kosten eine Standardisierung des EPR vorgesehen.

Hohe Anlagenverfügbarkeit (ca. 93 %) soll durch Minimierung der Stillstandszeiten erreicht werden.

Selbstverständlich müssen Betreiberanforderungen hinsichtlich betrieblicher Flexibilität (Lastfolgebetrieb, Brennelementeinsatz) berücksichtigt werden.

Die Auslegungslbensdauer des EPR wurde auf 60 Jahre festgelegt, eine Zeit, die bei Lebensdauererweiterungen bei bestehenden Anlagen schon erreicht wird.

All diese Forderungen sollen im Wesentlichen dadurch erreicht werden, dass der EPR auf bewährter Technologie aufbaut und eine evolutionäre Weiterentwicklung der erfolgreichen Reaktorlinien N4 und Konvoi darstellt. Diese evolutionäre Weiterentwicklung auf der Basis von N4 und Konvoi spiegelt sich in den wesentlichen Anlagendaten (vgl. Abb. 1) wieder.

Einen Überblick über die wesentlichen verfahrenstechnischen Systeme des EPR gibt Abb. 2, einen Überblick über die Gebäudeanordnung des EPR Abb. 3.

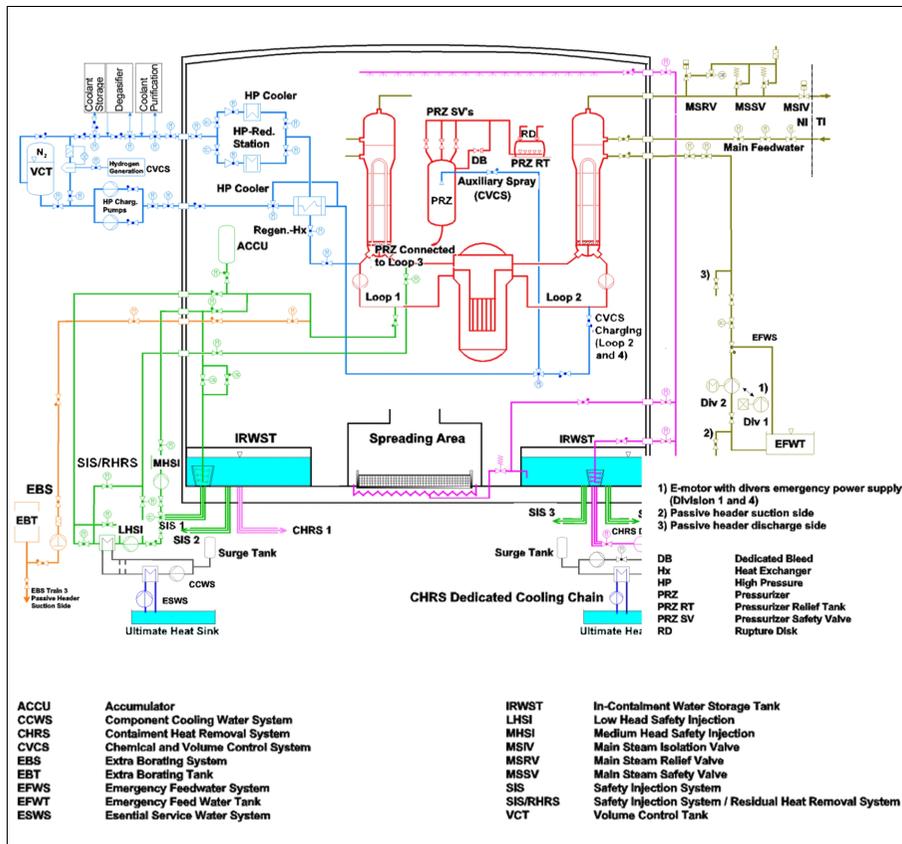


Abb. 2: Fluidsysteme des EPR

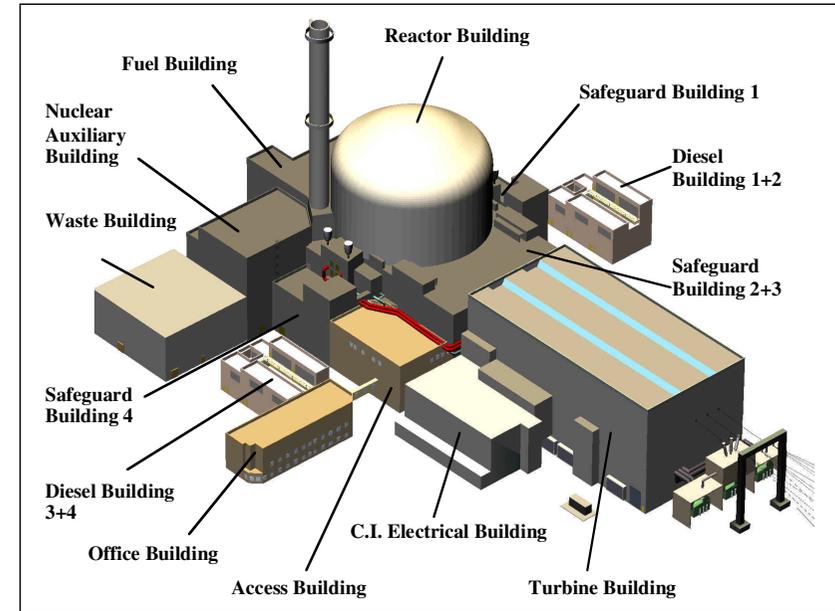


Abb. 3: Gebäudeanordnung des EPR

3. Genehmigungsanforderungen an die nächste Reaktorgeneration

Die Entwicklung des EPR wurde begleitet von einer Bewertung des Anlagenkonzeptes durch die deutschen und französischen Genehmigungsbehörden BMU und DSIN, deren Beratergremien Groupe Permanent Réacteur (GPR) und Reaktorsicherheitskommission (RSK), sowie deren Expertenorganisationen Institute de Protection et de Sureté Nucleaire (IPSN) und Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS).

Von 1993 bis 2000 erfolgte diese Design-begleitende Bewertung, von 1998 an ohne weitere Mitwirkung von BMU und RSK, allerdings unter weiterer Einbindung ehemaliger RSK-Mitglieder und der GRS.

Im November 2000 wurden die vielfältigen Beratungsergebnisse in den „Technical Guidelines for Future PWRs“ zusammengefasst /1/.

Eine detaillierte Darstellung dieser Technical Guidelines würde den Rahmen dieses Vortrages sprengen. Daher soll nur auf die grundlegenden und wesentlichen Prinzipien hingewiesen werden:

1. GPR und RSK bestätigen den evolutionären Ansatz des EPR: Es sollen Betriebserfahrungen aus laufenden Anlagen genutzt und auf den "Lessons Learned" aus dem Betrieb der Anlagen aufgebaut werden.
2. Es sollen innovative Elemente auf der Basis der Sicherheitsforschung der letzten ca. 15 Jahre in das Anlagenkonzept einbezogen werden. Dies betrifft insbesondere die Forschung auf dem Gebiet der schweren Störfälle, die in den Jahren nach dem Tschernobyl-Desaster einen Schwerpunkt der Sicherheitsforschung darstellte.
3. Die Sicherheit soll auf allen Ebenen des "Defense in Depth"-Konzeptes verbessert werden. Dieses Konzept stellt die Grundlage für das Sicherheitskonzept moderner westlicher Leichtwasserreaktoren dar, siehe auch Abb. 4.

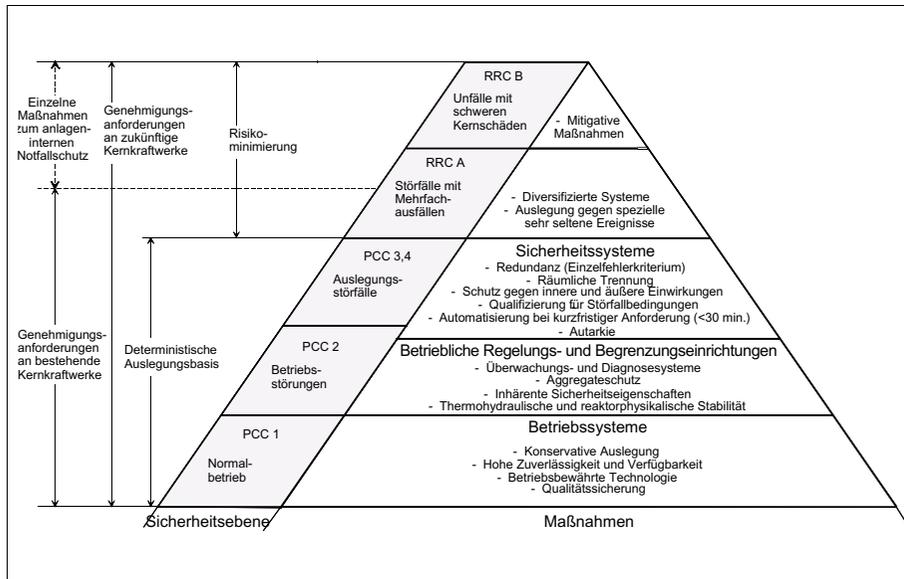


Abb. 4: Verbesserung des "Defense in Depth"-Konzeptes

4. Sicherheitskonzept des EPR

Entsprechend den Empfehlungen von RSK und GPR soll im Folgenden beispielhaft auf wesentliche sicherheitstechnische Verbesserungen des EPR eingegangen werden.

4.1 Verhinderung von schweren Störfällen

Die Sicherheitssysteme des EPR (vgl. Abb. 2) wurden im Vergleich zu existierenden Anlagen weiter vereinfacht. Ein Beispiel hierfür ist die Einführung des innen liegenden Flutbeckens (IRWST), das gleichzeitig bei Leckstörfällen die Sumpffunktion mit übernimmt und somit eine Umschaltung des Sicherheitseinspeisesystems von Flut- auf Sumpfbetrieb unnötig macht.

Die Sicherheitssysteme sind in der Regel 4-fach redundant aufgebaut (1 Strang wird als zufällig ausgefallen angenommen, 1 Strang wird als in Instandhaltung befindlich angenommen, 1 Strang wird als vom Störfall betroffen angenommen, 1 Strang übernimmt 100% Systemfunktion).

Sicherheitssystem	Diversitäres System	
Notspeisesystem und Frischdampfablestation	Primärseitige Druckentlastung über die Sicherheitsventile	+ Bespeisung durch die Mitteldruck-Sicherheitseinspeisung
Mitteldruck-Sicherheitseinspeisung	Schnelle sekundärseitige Druckentlastung	+ Druckspeicher-Einspeisung + Niederdruck-Sicherheitseinspeisung
Nachwärmeabfuhrsystem	geschlossenes Primärsystem: sekundärseitige Wärmeabfuhr	offenes Primärsystem: Mitteldruck-Sicherheitseinspeisung + Ausdampfen ins Containment
Brennelement-Beckenkühlung	Aufheizen und Verdampfen des Beckenwassers + Nachspeisen	
Notstromdiesel-	diversitäre kleine Diesel-	

Abb. 5: Diversifizierung von Systemfunktionen

Zur zusätzlichen Beherrschung von Fehlern aus gemeinsamer Ursache, die nicht völlig auszuschließen sind, werden Sicherheitssysteme weiterhin systematisch diversifiziert (vgl. Abb. 5).

In-vessel und ex-vessel Schmelze-Wasser-Wechselwirkung wurde eingehend analysiert mit dem Ergebnis, dass ein mögliches Containment-Folgeversagen auszuschließen ist.

Zur Stabilisierung der Schmelze und Verhinderung langfristiger Schmelze-Beton-Wechselwirkung und Fundament-Penetration besitzt der EPR einen Core Catcher (Abb. 7), der durch Wasser vom IRWST gekühlt wird.

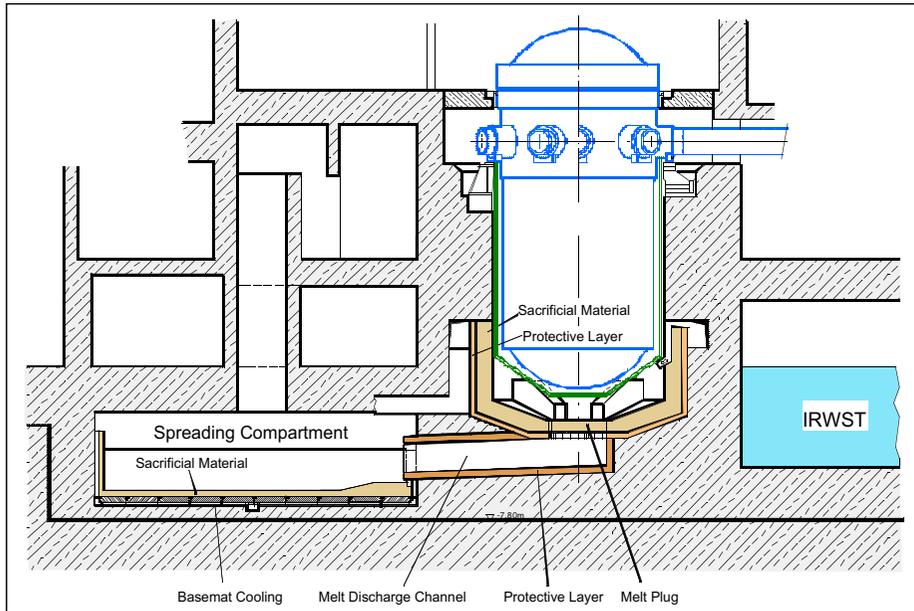


Abb. 7: Schmelzstabilisierung

Die Wärmeabfuhr aus dem Containment erfolgt durch ein Sprühsystem mit externer Rezirkulation und Kühlung, das im Langzeitbereich auch zur einphasigen Kühlung des Core Catchers verwendet werden kann.

Der EPR besitzt ein Doppel-Containment mit Ringraum-Unterdruckhaltung. Das innere Containment hat einen Auslegungsdruck von 5,3 bar und eine Auslegungsleckage von 0,5 Vol %/Tag. Leckagen werden gefiltert über Kamin abgegeben. Hierdurch wird erreicht, dass anlagenexterne Notfallmaßnahmen wie Verbleiben in Häusern, Ausgabe von Jodtabletten, Evakuierung oder Umsiedlung vermieden werden können.

5. Ausblick

Mit dem EPR steht ein Produkt zur Verfügung, das wirtschaftlich und konkurrenzfähig gegenüber fossilen Kraftwerken ist. Dies wird eindrucksvoll durch die finnische Bauteilentscheidung demonstriert, die wesentlich auf kommerziellen Überlegungen basiert. Der EPR hat ein Anlagenkonzept, das die Sicherheits- und Genehmigungsanforderungen an die nächste Anlagengeneration erfüllt. Der EPR ist im Wesentlichen frei von CO₂-Emissionen und kann damit einen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Die nächste Bauteilentscheidung wird für den Herbst dieses Jahres erwartet.

Referenzen

/1/ Technical Guidelines for Future PWRs,
Common Report IPSN/GRS No 82,
November 2000

