



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische
Überprüfung von Anla-
gen zu ausgewählten
Anforderungen und
Ereignissen im Rahmen
von Anträgen zur Rest-
strommengenübertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 1:

„Auswertung der Betriebs-
erfahrung hinsichtlich Trends
meldepflichtiger Ereignisse
und Transienten“

SR 2569



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 1:
„Auswertung der Betriebserfahrung hinsichtlich Trends meldepflichtiger Ereignisse und Transienten“

Februar 2008

Auftrags-Nr.: 820410

ENTWURF

Anmerkung:

Dieser Bericht ist im Auftrag des BMU im Rahmen des Vorhabens SR 2569 erstellt worden. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt werden bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers und der Unterauftragnehmer wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers übereinstimmen.

Vorwort

Im Atomgesetz wurden mit der Änderung vom 26.04.2002 die Reststrommengen für die in Betrieb befindlichen Kernkraftwerksblöcke in Deutschland festgelegt. Über die Zustimmung zur Übertragung von Elektrizitätsmengen entscheidet das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) im Einvernehmen mit dem Bundeskanzleramt und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Im Rahmen der Entscheidungsfindung des BMU über die Anträge auf Übertragung von Elektrizitätsmengen hat das BMU auch eine vergleichende Sicherheitsüberprüfung zwischen einer Anlage, die Strommengen abgibt und derjenigen, welche die Strommengen bekommen soll, vorgesehen. Da in der zur Verfügung stehenden Zeit keine in Prüfungsumfang und -tiefe mit der Durchführung und der sachverständigen Prüfung von Sicherheitsüberprüfungen nach § 19a AtG vergleichbare, umfassende Ermittlung und sicherheitstechnische Bewertung beider Anlagen möglich ist, beauftragte das BMU die GRS, zusammen mit benannten Unterauftragnehmern mit der „Sicherheitstechnischen Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung“ /BMU 06/. Auftragsgegenstand sind punktuelle Untersuchungen einzelner Bewertungsgegenstände, die gemeinsam von BMU, GRS und den Unterauftragnehmern festgelegt wurden. Um dem BMU eine vergleichende Bewertung zu ermöglichen, ob sichergestellt ist, dass die beantragte Übertragung von einer neueren auf eine ältere Anlage nicht zu Lasten der Sicherheit geht, wurden sicherheitstechnisch relevante Bewertungsgegenstände für jede beantragte Übertragung insbesondere unter Beachtung folgender Kriterien ausgewählt:

- die anlagentechnischen Gegebenheiten der antragsgemäß betroffenen abgebenden und empfangenden Anlage beinhalten wesentliche Unterschiede und / oder
- die Bewertungsgegenstände berühren Entwicklungen seit Genehmigungserteilung bezüglich des Standes von Wissenschaft und Technik und
- die Untersuchungen sind in der zur Verfügung stehenden Zeit voraussichtlich durchführbar.

Dabei wird die sicherheitstechnische Fragestellung weitgehend auf die Beherrschbarkeit von zu erwartenden oder im Rahmen der Nachweisführung postulierten Ereignismöglichkeiten bezogen.

Die Durchführung eines nur punktuellen, aber die genannten Auswahlkriterien beachtenden Prüfprogramms ist aus Sicht des Auftraggebers gerechtfertigt, da der Gesetzgeber die Festlegung der konkreten Maßstäbe für die Prüfung, ob die beabsichtigte Übertragung zu Lasten der Sicherheit ginge und deren willkürfreie Anwendung in § 7 Abs. 1b Satz 2 AtG der Exekutive überlassen hat; Art und Umfang der Ermittlung der für seine Sicherheitsbewertung entscheidungserheblichen Tatsachen sind vom BMU im Rahmen seines Verfahrensermessens zu bestimmen.

Das Überprüfungskonzept basiert auf einer Auswertung und Bewertung von Unterlagen, die der Betreiber für die einzelnen Bewertungsgegenstände dem BMU vorlegen soll. Für den Fall, dass keine spezifischen Unterlagen vorgelegt werden, ist auftragsgemäß vorgesehen, alle Dokumente und Informationen, die in den beteiligten Sachverständigenorganisationen für die hier anstehenden Aufgaben zur Verfügung stehen, für diese Überprüfung zu nutzen. Da diese Dokumente und Informationen hinsichtlich ihrer Aktualität und Belastbarkeit sehr unterschiedlich sein können, wird zu jedem Bewertungsgegenstand ein einheitlich klassifizierter Unterlagen- und Quellennachweis vorgelegt. Dabei wird zwischen den folgenden Kategorien unterschieden:

- Kategorie 1: im atomrechtlichen Verfahren geprüfte / begutachtete bzw. vom BMU freigegebene Unterlagen,
- Kategorie 2: Stellungnahmen der RSK bzw. der SSK und
- Kategorie 3: nicht im Sinne von Kategorie 1 geprüfte Unterlagen, die jedoch nach Auffassung der Auftragnehmer Informationen zum Sachverhalt enthalten.

Die vergleichenden Darstellungen zu den einzelnen Bewertungsgegenständen basieren jeweils auf diesen Unterlagen und spiegeln den darin wiedergegebenen Anlagenzustand wieder. Abweichungen zum derzeitigen Anlagenzustand aufgrund zwischenzeitlich durchgeführter Änderungen sind nicht auszuschließen.

Bewertungsmaßstab ist der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik. Dabei sind neben dem Erfüllungsgrad von regulatorischen Sicherheitsanforderungen bezüglich der Beherrschbarkeit von Ereignissen insbesondere auch die anlagenspezifischen Reserven in die Bewertung einzubeziehen. Aufgrund der Begrenzungen in der Bearbei-

tungszeit und im Umfang und Detaillierungsgrad der Unterlagen erfolgt aber keine vollständige Überprüfung sondern eine Fokussierung auf wesentliche grundlegende Sicherheitsanforderungen. Die für die jeweiligen Bewertungsgegenstände spezifischen Bewertungsmerkmale werden in den einzelnen Berichten ausgewiesen. Die Bewertungsmerkmale beziehen sich grundsätzlich entweder unmittelbar auf grundlegende Sicherheitsanforderungen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik oder mittelbar auf anlagentechnisch vergleichbare Sicherheitsfunktionen mit Anforderungen entsprechend des gestaffelten Sicherheitskonzepts. Die Bewertung der Sicherheitsfunktionen erfolgt im Wesentlichen im Hinblick auf deren Wirksamkeit und Qualität.

Auftragsgemäß sollen die Überprüfungen anhand deterministischer Bewertungsweisen erfolgen. Dieser methodische Ansatz kann in einigen Fällen dazu führen, dass bei der vergleichenden Bewertung von komplexen Systemkonstellationen bezüglich der Beherrschbarkeit eines Ereignisses keine eindeutige, abschließende Bewertung möglich ist. Im Rahmen der hier vorgesehenen Bewertungen wären weiterführende probabilistische Bewertungen auch aufgrund fehlender spezifischer Unterlagen in der vorgesehenen Bearbeitungszeit nicht durchführbar und sind daher auftragsgemäß nicht vorgesehen.

Es besteht daher Einvernehmen mit dem BMU darin, dass aufgrund der Begrenzung der Überprüfungsdauer und der Unterlagensituation wesentliche Anforderungen der "Sachverständigengrundsätze für die Bundesaufsicht" /BMU 01/ nicht eingehalten werden können. Die Abweichungen beziehen sich insbesondere auf die Vollständigkeit, Aktualität und Belastbarkeit von Unterlagen bei der Sachverhaltsermittlung sowie die Bewertungsmethoden, die im vorliegenden Fall weitgehend auf ingenieurmäßige Betrachtungsweisen eingeschränkt sind.

Die durchgeführten Sicherheitsvergleiche beinhalten keine aufsichtliche Überprüfung der betroffenen Anlagen. Auftragsgemäß wird zu jedem Bewertungsgegenstand ein separater Ergebnisbericht erstellt. Eine Gesamtbewertung ist nicht beauftragt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale	2
3	Verwendete Unterlagen	5
4	Ergebnisse	6
4.0	Gesamtzahl der Teilereignisse.....	8
4.1	Ereignisse, die in Stufe 1 der INES-Skala eingeordnet wurden.....	10
4.2	Ereignisse mit GVA	11
4.3	Ereignisse mit potentiellen GVA.....	12
4.4	Ereignisse mit Ausfall mehrerer Redundanten.....	14
4.5	Ereignisse mit Ausfall einer Redundanten	15
4.6	Ereignisse mit Anforderung einer Sicherheitseinrichtung.....	16
4.7	Ereignisse mit Fehlanregung einer Sicherheitseinrichtung	17
4.8	Ereignisse mit nicht absperzbaren Primärkühlmittel-Leckagen	18
4.9	Ereignisse mit absperzbaren Primärkühlmittel-Leckagen.....	19
4.10	Ereignisse mit radiologischen Auswirkungen	20
4.11	Ereignisse aufgrund nicht anforderungsgerechter Ausführung	21
4.12	Ereignisse, die eine Alterungsrelevanz aufweisen	22
4.13	Ereignisse, die durch menschliche Fehler verursacht wurden.....	23
4.14	Precursorereignisse	24
4.15	Ereignisse mit Anforderung des Notstromsystems	25
4.16	Transienten mit Auslösung der Reaktorschnellabschaltung	26
4.17	Transienten ohne Auslösung der Reaktorschnellabschaltung	28
4.18	Betriebliches Verschließen von Dampferzeuger-Heizrohren	30
5	Bewertung der Ergebnisse	31
6	Fazit	35

7 **Literatur..... 36**

1 Einleitung

Im vorliegenden Bericht geht es um sicherheitstechnische Vergleiche im Zusammenhang mit dem Antrag der EnBW Kernkraft GmbH vom 21.12.2006 an das BMU auf Übertragung von Elektrizitätsmengen vom Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 2 (GKN-2) auf das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 1 (GKN-1). Dazu wurden von den Auftragnehmern in Abstimmung mit dem BMU 23 Bewertungsgegenstände definiert. Auftragsgemäß erfolgt für jeden Bewertungsgegenstand (BG) eine separate Auswertung.

Nachfolgend wird der Bewertungsgegenstand 1 „Auswertung der Betriebserfahrung hinsichtlich Trends meldepflichtiger Ereignisse und Transienten“ behandelt.

2 **Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale**

Im Rahmen des in diesem Bericht behandelten Bewertungsgegenstands 1 „Auswertung der Betriebserfahrung hinsichtlich Trends meldepflichtiger Ereignisse und Transienten“ wurden bestimmte Klassen von sicherheitsrelevanten Ereignissen untersucht und bezüglich ihrer Häufigkeiten und Häufigkeitsverteilungen sowie ihres Trendverhaltens ausgewertet. Aus Gründen der gleichartigen Auswertung und Darstellung wird in diesem Bericht darüber hinaus auf die Schäden an Dampferzeuger-Heizrohren eingegangen. Diese sind in der Regel betrieblicher Natur und liegen zumeist unterhalb der Meldeschwelle.

Als Betrachtungszeitraum wurde eine Spanne von 15 Jahren gewählt (1992 bis 2006). Einerseits sollte für Zeitreihen- und Trendanalysen ein längerer Zeitraum gewählt werden, andererseits müssen die Ereignisse vergleichbar sein, wobei mit dem Inkrafttreten der geänderten Meldeverordnung /AtSMV 92/ am 14.10.1992 für die gestellte Aufgabe der gewählte Zeitraum hinreichend gut geeignet erscheint. Dabei ist zu erwähnen, dass alle Anlagen seit etwa Mitte 1991 bei den Meldungen diese neue Meldeverordnung zugrunde gelegt haben.

Folgende Klassen von meldepflichtigen Ereignissen wurden untersucht:

1. Ereignisse, die in die Stufe 1 der INES-Skala eingeordnet wurden;
2. Ereignisse mit gemeinsam verursachten Ausfällen (GVA);
3. Ereignisse mit potentiellen GVA;
4. Ereignisse mit Ausfall mehrerer Redundanten;
5. Ereignisse mit Ausfall einer Redundanten;
6. Ereignisse mit Ansprechen einer Sicherheitseinrichtung;
7. Ereignisse mit Fehlanregung einer Sicherheitseinrichtung;
8. Ereignisse mit nicht absperzbaren Primärkühlmittel-Leckagen;
9. Ereignisse mit absperzbaren Primärkühlmittel-Leckagen;

10. Ereignisse mit radiologischen Auswirkungen;
11. Ereignisse aufgrund nicht anforderungsgerechter Ausführung;
12. Ereignisse, die eine Alterungsrelevanz aufweisen;
13. Ereignisse, die durch menschliche Fehler verursacht wurden;
14. Ereignisse, für die eine Precursorbewertung vorliegt;
15. Ereignisse mit Anforderung des Notstromsystems.

Aus der Vielzahl möglicher Transienten (meldepflichtiger und nicht meldepflichtiger) wurden in Anlehnung an die RSK-Empfehlung zum Gestaffelten Sicherheitskonzept /RSK 05/ die folgenden – im Sinne einer hohen Anlagenbelastung (schnelle Temperatur- und Druckänderungen) – bedeutsamen für die Untersuchung ausgewählt:

16. Transienten mit Auslösung der Reaktorschnellabschaltung (RESA);
 - Transienten mit Ausfall der Hauptwärmesenke;
 - Transienten mit Ausfall aller Hauptspeisewasserpumpen (HSWP);
 - Transienten mit Ausfall aller Hauptkühlmittelpumpen (HKMP);
 - Auftreten eines Notstromfalls;
 - andere Transienten mit Auslösung der Reaktorschnellabschaltung;
17. Transienten ohne Auslösung der Reaktorschnellabschaltung;
 - Transienten mit Turbinenschnellabschaltung (TUSA);
 - Transienten mit Lastabwurf auf Eigenbedarf oder auf Nulleistung;
 - Transienten mit Ausfall einer Hauptkühlmittelpumpe;
 - Transienten mit Ausfall einer Hauptspeisewasserpumpe;
 - Leckagen, die ein Abfahren der Anlage erforderlich machen, aber (definitionsgemäß) nicht zum Ansprechen von Sicherheitssystemen führen.

Wie oben erwähnt, wurden auch die im Betrachtungszeitraum aufgetretenen Dampferzeuger-Heizrohrschäden ausgewertet. Hier erfolgte im Sinne einer Trendanalyse die statistische Auswertung der Anzahl der jährlich verschlossenen Dampferzeugerheizrohre. Auf die Gründe bzw. Schadensmechanismen für das Verschließen wurde z. B. im Bericht zum Übereinkommen über nukleare Sicherheit eingegangen /CNS 05/.

3 Verwendete Unterlagen

Die Auswertung der meldepflichtigen Ereignisse stützt sich in erster Linie auf die Meldeunterlagen der Betreiber. Zusätzlich wurden die der GRS vorliegenden, zu einer Reihe von Ereignissen im Auftrag der Länderbehörden von Sachverständigen erstellten Stellungnahmen oder von den Betreibern in Auftrag gegebene Untersuchungen verwendet. Ebenfalls in die Auswertung eingeflossen sind Erkenntnisse der GRS, die z. B. in Weiterleitungsnachrichten oder Precursoranalysen /GRS 01/ niedergelegt wurden.

Die Angaben zu den nicht meldepflichtigen Transienten wurden je nach Verfügbarkeit Berichten der Reaktorsicherheitskommission, Betreiberberichten oder öffentlichen Publikationen entnommen.

Die Angaben zu Ereignissen und Transienten werden nach bestimmten Kriterien in den Datenbanken VERA, EAW, TRANS und KomPass von der GRS codiert und sind damit für eine systematische Auswertung zugänglich.

Die Zahlen zu den verschlossenen Dampferzeugerheizrohren stammen aus einer Statistik der AREVA NP GmbH /AREVA 01/.

4 Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt der Übersichtlichkeit halber strukturiert in Form von Diagrammen und Tabellen. Untersucht wurden die in Abschnitt 2 aufgeführten Klassen von Ereignissen.

Bei der Auswertung der meldepflichtigen Ereignisse, der Transienten und der Dampferzeuger-Heizrohrverschlüßungen wurden folgende Kennzahlen bestimmt:

- die Anzahl der zur jeweils untersuchten Klasse gehörenden Ereignisse im Betrachtungszeitraum von 1992 bis 2006;
- die daraus abgeleitete mittlere Ereignisrate;
- die aus der Zeitreihe der Ereigniszahlen abgeleitete empirische Standardabweichung als Maß für die Streuung der Ereignisraten in den einzelnen betrachteten Jahren;
- die Trendwahrscheinlichkeit, die mit Hilfe eines in der GRS entwickelten Trendanalyseverfahrens /GRS 06/ bestimmt wurde. Der ausgewiesene Wert p_g gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit der die Annahme auf einen günstigen (fallenden) Trend richtig ist. Die ermittelten Zahlenwerte sind in der jedem Abschnitt zugeordneten Tabelle enthalten. Dabei wurden die Zahlenwerte zur besseren Verständlichkeit in nur zwei Klassen eingeteilt, wobei die folgende (verbale) Interpretation angewendet wurde:
 - $100 \% > p_g > 90 \%$ – Es gibt Hinweise auf einen fallenden Trend.
 - $0 \% < p_g < 10 \%$ – Es gibt Hinweise auf einen steigenden Trend.
 - $90 \% > p_g > 10 \%$ – es lassen sich praktisch keine Hinweise auf einen Trend ableiten.

Die Trendrichtung ergibt sich aus der Trendwahrscheinlichkeit – Werte größer 50 % deuten auf einen fallenden Trend hin, Werte kleiner 50 % auf einen steigenden. Die Entscheidung, ab welchen Trendwahrscheinlichkeiten von Hinweisen auf einen Trend (steigend oder fallend) ausgegangen werden muss, ist nicht allgemeingültig festgelegt. Für die hier durchgeführten Betrachtungen wurde als Schwellenwert für einen Trend ein in statistischen Analysen üblicher Bereich ausgewählt.

Es wird darauf hingewiesen, dass für die statistische Auswertung der oben aufgeführten ausgewählten Klassen meldepflichtiger Ereignisse alle Ereignisse mit unabhängiger Fehlerursache zugrunde gelegt wurden. Wurde in einer Ereignismeldung ein komplexer Ablauf beschrieben, für dessen Verständnis z. B. die Beschreibung eines nicht meldepflichtigen Einleiters vorangestellt wurde, so wurde dieser in der Statistik nicht berücksichtigt, auch wenn eine unabhängige Fehlerursache vorlag. Ebenso wurden keine Folgefehler gezählt. Trat jedoch im Ereignisablauf z. B. neben einem Komponentenversagen eine Fehlbedienung auf, so führten diese beiden unabhängigen Ursachen zur Zählung von zwei Teilereignissen, sofern auch beide meldepflichtig waren. Erfahrungsgemäß liegt der Anteil zusätzlich zu berücksichtigender Teilereignisse zwischen 5 % und 10 %.

Weiterhin ist zu beachten, dass eine mehrfache Berücksichtigung von Teilereignissen in einzelnen Ereignisklassen dann auftreten kann, wenn ein Teilereignis die Merkmale mehrerer Ereignisklassen erfüllt. Die dargestellte Anzahl der Ereignisse kann also größer sein als die Anzahl der Ereignismeldungen.

Zu berücksichtigen ist bei der Auswertung der Ergebnisse, dass die Daten für einen Vergleich bestimmten Anforderungen genügen müssen. Anforderungen wie Auswahl des gleichen Betrachtungszeitraumes, Berücksichtigung von Stillstandszeiten bei der Ermittlung von Kennzahlen für bestimmte Ereignisklassen und vollständige und gleichartige Codierung der einzelnen Ereignisse sind gut zu gewährleisten.

Am Ende des Abschnitts 5 „Bewertung der Ergebnisse“ wurden die wichtigsten Kennzahlen für jede Ereignisklasse übersichtlich in Form einer Tabelle zusammengestellt.

Es ist zu beachten, dass bei der hier im Rahmen des Bewertungsgegenstandes 1 vorgenommenen Zusammenstellung von verschiedenen Ereignissen keine Wichtung der sicherheitstechnischen Bedeutung dieser Ereignisse untereinander und innerhalb der betrachteten Klassen erfolgte.

Im Folgenden wird zuerst eine Darstellung der zeitlichen Verteilung der jährlichen Ereignisraten der meldepflichtigen Ereignisse gegeben sowie eine Darstellung der Anzahl von Ereignissen in den untersuchten Ereignisklassen. Im folgenden Abschnitt werden die Ereignisklassen gemäß Abschnitt 2 einzeln dargestellt.

4.0 Gesamtzahl der Teilereignisse

In der folgenden Abbildung sind die in beiden Anlagen im Betrachtungszeitraum aufgetretenen Teilereignisse als Zeitreihe dargestellt. Wie in Abschnitt 4 erläutert, werden unter Teilereignissen alle Ereignisse mit unabhängiger Ursache verstanden. Die Zahl der Teilereignisse weicht geringfügig von der Zahl gemeldeter Ereignisse ab.

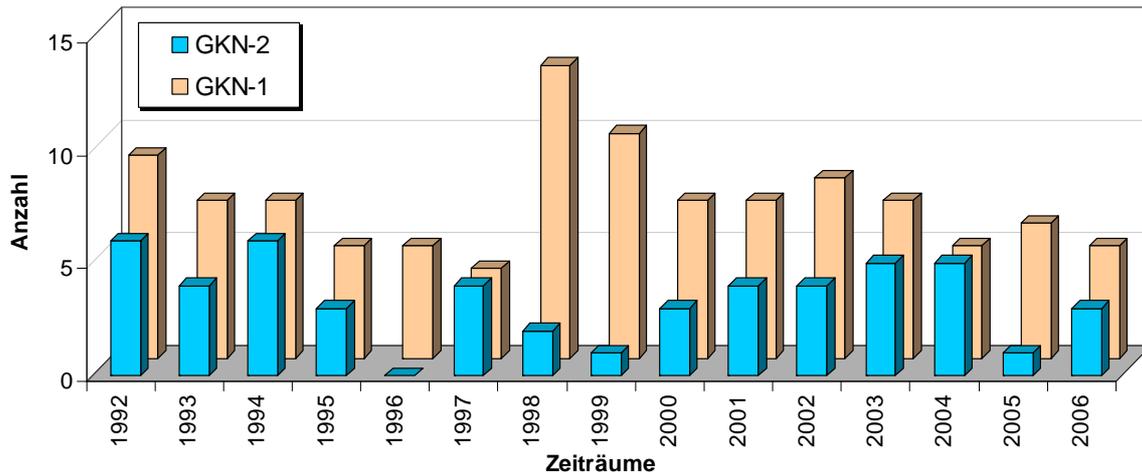


Abb. 4.0a: Häufigkeitsverteilung der Teilereignisse

Merkmal	GKN-2	GKN-1
Ereignisanzahl	51	105
jährliche Ereignisrate	3,4	7,0
empirische Standardabw.	1,7	2,3
Wahrscheinlichkeit p_g für einen fallenden Trend	72 %, d. h. keine Trendhinweise	74 %, d. h. keine Trendhinweise

Die Gesamtereignishäufigkeiten in den betrachteten Ereignisklassen sind für beide Anlagen in der folgenden Abbildung dargestellt.

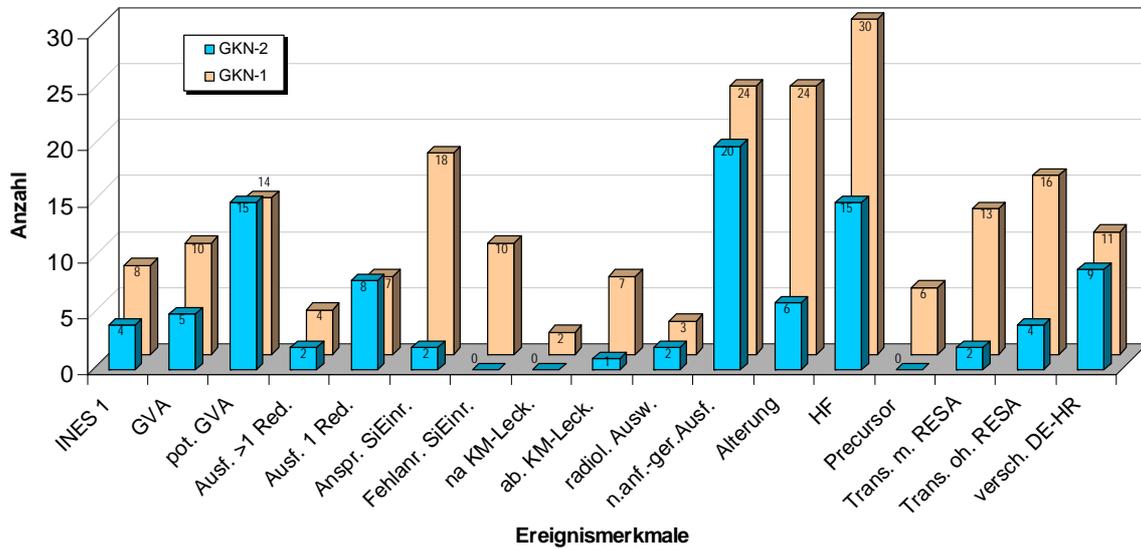


Abb. 4.0b: Verteilung der Ereignisse auf die einzelnen Ereignisklassen

4.1 Ereignisse, die in Stufe 1 der INES-Skala eingeordnet wurden

Im Betrachtungszeitraum sind in der Anlage GKN-1 acht und in der Anlage GKN-2 vier Ereignisse aufgetreten, die aufgrund ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung in die Stufe 1 der siebenstufigen INES-Skala eingeordnet wurden.

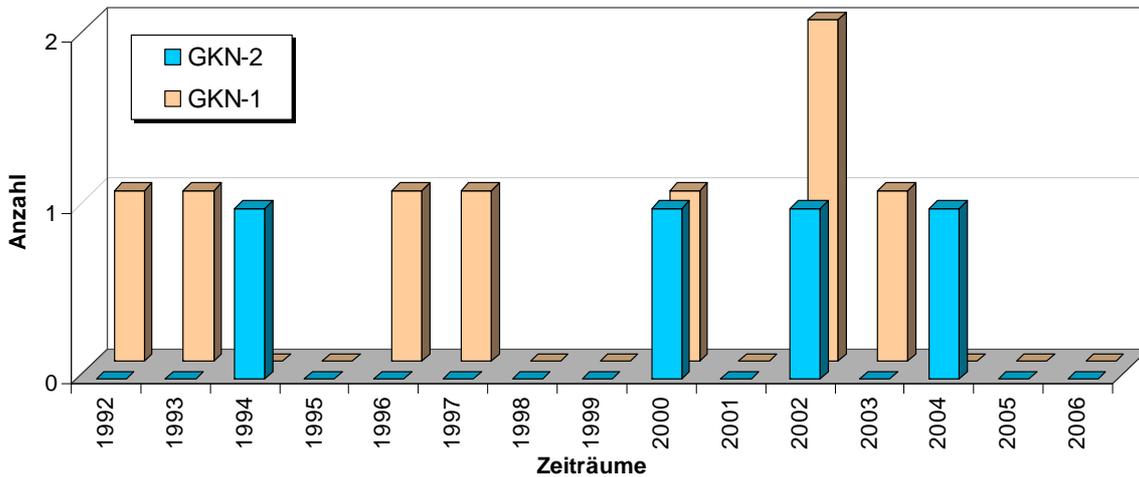


Abb. 4.1: Häufigkeitsverteilung der in Stufe 1 der INES-Skala eingeordneten Ereignisse

Merkmal	GKN-2	GKN-1
Ereignisanzahl	4	8
jährliche Ereignisrate	0,27	0,53
empirische Standardabw.	0,44	0,62
Wahrscheinlichkeit p_g für einen fallenden Trend	39 %, d. h. keine Trendhinweise	74 %, d. h. keine Trendhinweise

4.2 Ereignisse mit GVA

Betrachtet werden Ereignisse mit gemeinsam verursachten Ausfällen (GVA), wobei darunter Ereignisse verstanden werden, bei denen wenigstens zwei Komponenten einer Komponentengruppe mit gleicher Funktion gleichzeitig aufgrund der gleichen Ursache funktionsunfähig waren. Dazu zählen auch Ereignisse, bei denen der Ausfall zu unterschiedlichen Zeiten aufgetreten ist bzw. festgestellt wurde, sich die Zeiträume zwischen der letzten erfolgreichen Prüfung respektive Anforderung und dem festgestellten Ausfallzeitpunkt jedoch überlappen, so dass für den Überlappungszeitraum eine gleichzeitige Nichtverfügbarkeit anzunehmen ist.

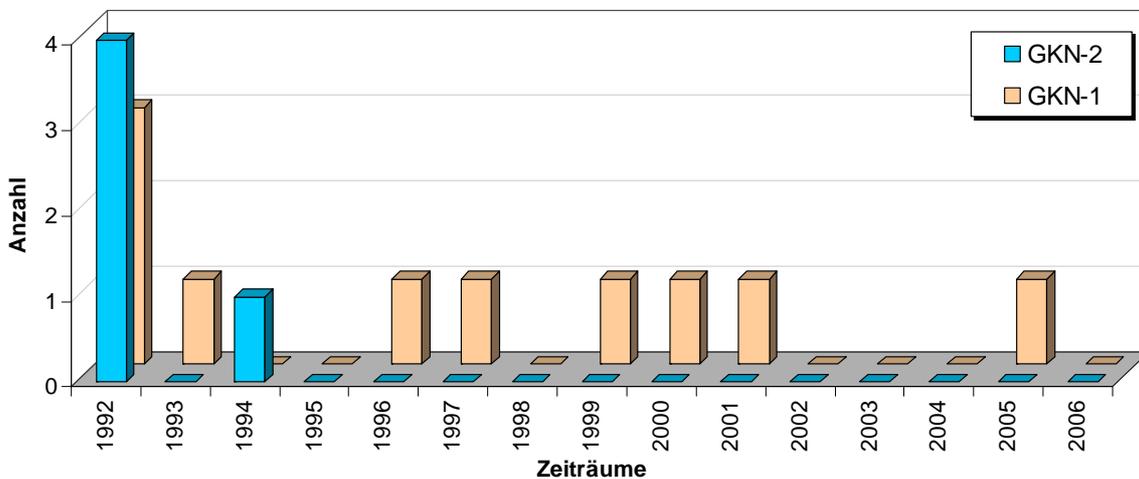


Abb. 4.2: Häufigkeitsverteilung der Ereignisse mit GVA

Merkmal	GKN-2	GKN-1
Ereignisanzahl	5	10
jährliche Ereignisrate	0,33	0,67
empirische Standardabw.	1,01	0,79
Wahrscheinlichkeit p_g für einen fallenden Trend	88 %, d. h. keine Trendhinweise	87 %, d. h. keine Trendhinweise

4.3 Ereignisse mit potentiellen GVA

In diesem Abschnitt werden Ereignisse mit potentiellen GVA betrachtet. Darunter werden drei Gruppen von Ereignissen mit Ausfällen, Fehlern oder Befunden aufgrund der gleichen Ursache verstanden:

1. Ereignisse, bei denen zwischen den zu unterschiedlichen Zeiten festgestellten Ausfällen wenigstens ein erfolgreicher Nachweis der Funktionstüchtigkeit der betroffenen Komponente vorlag. In diesem Fall lag zu keinem Zeitpunkt ein gleichzeitiger Ausfall vor, die zeitliche Nähe der Ausfälle erhöht aber die Wahrscheinlichkeit eines gleichzeitigen Auftretens. Deshalb erfolgt hier eine Berücksichtigung als potentieller GVA. Mit größerem zeitlichem Abstand zwischen zwei Ausfällen aufgrund gemeinsamer Ursache verringert sich die Relevanz als potentieller GVA.
2. Ereignisse, bei denen eine Komponente funktionsunfähig war und gleichzeitig bei wenigstens einer weiteren Komponente mit der gleichen Funktion ein Befund aufgrund der gleichen Ursache festgestellt wurde;
3. Ereignisse, bei denen wenigstens 2 Komponenten mit gleicher Funktion gleichzeitig einen Befund an einem funktionsrelevanten Bauteil hatten, wobei anzunehmen ist, dass der Befund bei weiterem Schadensfortschritt zu einem Funktionsausfall führt.

Potentielle GVA sind letztlich gemeinsam verursachte Ausfälle mit abgeschwächten Anforderungen an die Gleichzeitigkeit und/oder die Schwere der funktionellen Beeinträchtigung der Komponenten. Aufgrund der Komplexität des Betrachtungsgegenstandes kann die Einordnung als GVA-Ereignis mit nicht immer objektivierbaren Einschätzungen verbunden sein.

Durch detaillierte Auswertungen können die GVA-Ereignisse differenziert bewertet werden. Solche Auswertungen erfolgen in der GRS im Rahmen anderer Aufträge zu ausgewählten Anlagen (Probabilistische Sicherheitsanalysen), im Ergebnis derer quantitative Aussagen zu Versagens- oder Schadenwahrscheinlichkeiten gemacht werden können. Im Rahmen dieses Auftrages wurden keine derartigen Auswertungen für die betrachteten Anlagen durchgeführt.

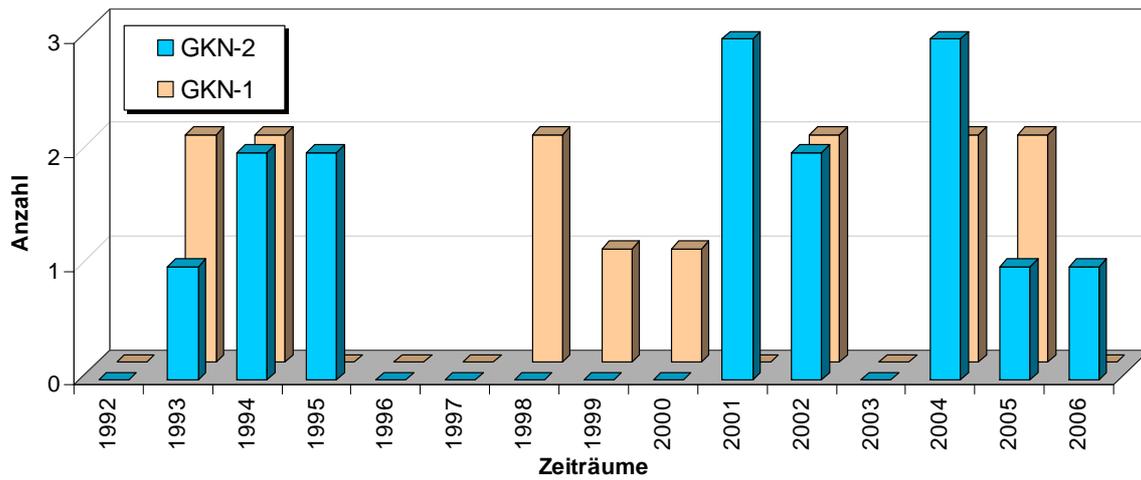


Abb. 4.3: Häufigkeitsverteilung der Ereignisse mit potentielltem GVA

Merkmal	GKN-2	GKN-1
Ereignisanzahl	15	14
jährliche Ereignisrate	1,0	0,93
empirische Standardabw.	1,1	0,93
Wahrscheinlichkeit p_g für fallenden Trend	20 %, d. h. keine Trendhinweise	37 %, d. h. keine Trendhinweise

4.4 Ereignisse mit Ausfall mehrerer Redundanten

Dieses Merkmal gilt hier als erfüllt, wenn mindestens zwei redundant vorhandene Sicherheitsteileinrichtungen oder Komponenten im Sicherheitssystem als ausgefallen zu betrachten sind. Bei dieser Ereignisklasse ergibt sich eine große Schnittmenge (nach unseren Erfahrungen für alle Anlagen über 50 %) mit GVA-Ereignissen. Bei diesen beiden Anlagen sind alle hier betrachteten Ereignisse auch GVA-Ereignisse.

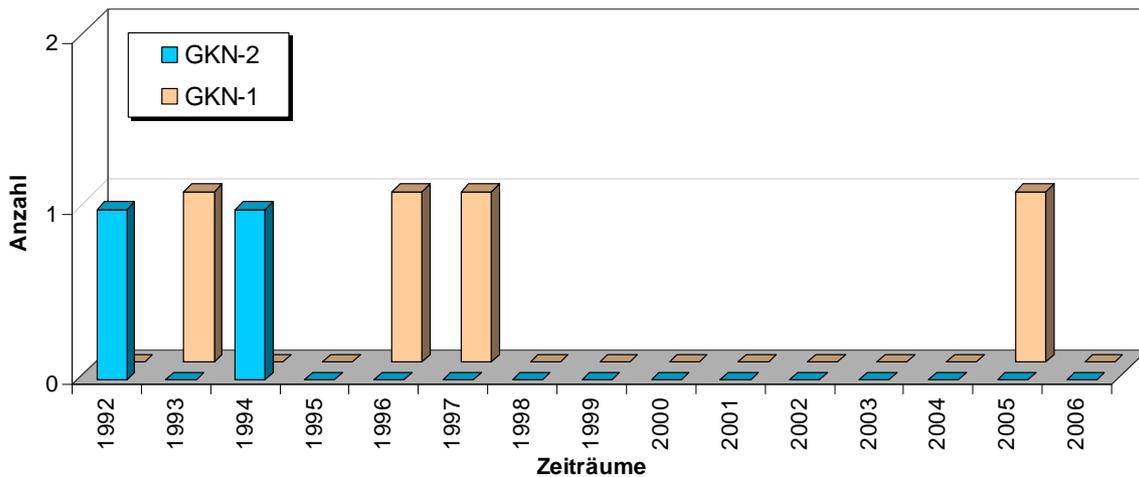


Abb. 4.4: Häufigkeitsverteilung der Ereignisse mit Ausfall mehrerer Redundanten

Merkmal	GKN-2	GKN-1
Ereignisanzahl	2	4
jährliche Ereignisrate	0,13	0,27
empirische Standardabw.	0,34	0,44
Wahrscheinlichkeit p_g für fallenden Trend	80 %, d. h. keine Trendhinweise	64 %, d. h. keine Trendhinweise

4.5 Ereignisse mit Ausfall einer Redundanten

Dieses Kriterium ähnelt dem vorigen, wobei hier nur der Ausfall einer redundant vorhandenen Sicherheitsteileinrichtung oder Komponente im Sicherheitssystem erforderlich ist. Mehr als die Hälfte der hier betrachteten Ereignisse ereigneten sich bei einer prüfungsbedingten Anforderung.

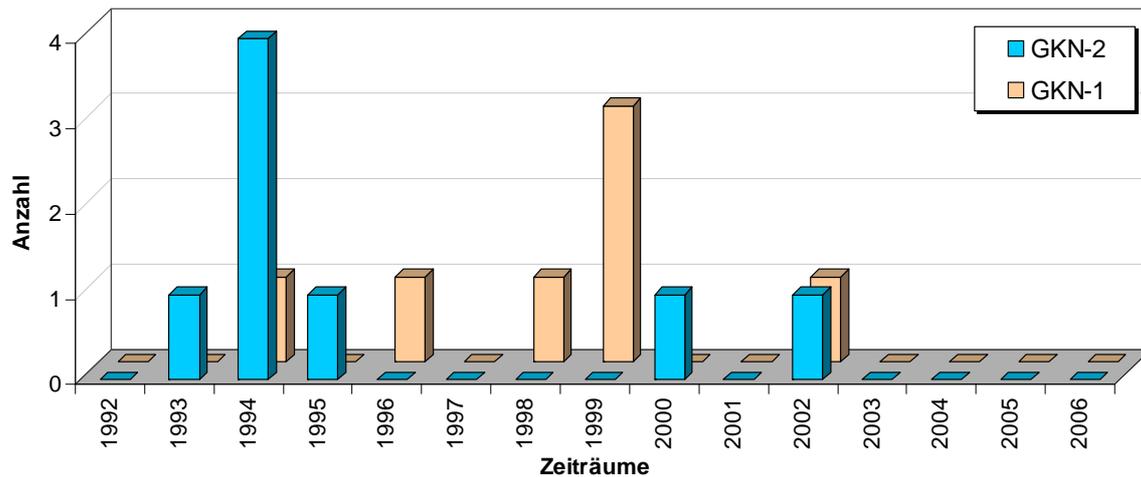


Abb. 4.5: Häufigkeitsverteilung der Ereignisse mit Ausfall einer Redundanten

Merkmal	GKN-2	GKN-1
Ereignisanzahl	8	7
jährliche Ereignisrate	0,53	0,47
empirische Standardabw.	1,02	0,81
Wahrscheinlichkeit p_g für fallenden Trend	87 %, d. h. keine Trendhinweise	66 %, d. h. keine Trendhinweise

4.6 Ereignisse mit Anforderung einer Sicherheitseinrichtung

In dieser Kategorie wurden Ereignisse erfasst, bei denen es zu einer berechtigten Anforderung einer Sicherheitseinrichtung kam. Verursacht werden diese Ereignisse meist durch Fehler bei der Instandhaltung oder Ausfälle in der E- und Leittechnik.

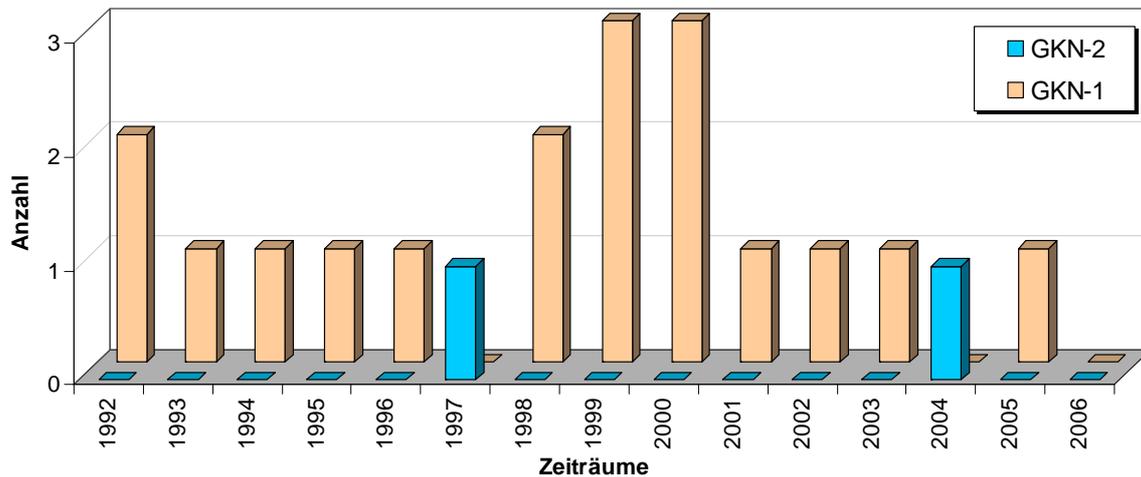


Abb. 4.6: Häufigkeitsverteilung der Ereignisse mit Ansprechen einer Sicherheitseinrichtung

Merkmal	GKN-2	GKN-1
Ereignisanzahl	2	18
jährliche Ereignisrate	0,13	1,2
empirische Standardabw.	0,34	0,91
Wahrscheinlichkeit p_g für fallenden Trend	42 %, d. h. keine Trendhinweise	84 %, d. h. keine Trendhinweise

4.7 Ereignisse mit Fehlanregung einer Sicherheitseinrichtung

Im Unterschied zu den Ereignissen mit Anforderung einer Sicherheitseinrichtung war in diesen Fällen der Betrieb der Sicherheitseinrichtung nicht erforderlich. Auch bei diesen Ereignissen lag die Ursache hauptsächlich bei Fehlern bei der Instandhaltung oder bei Ausfällen in der E- und Leittechnik.

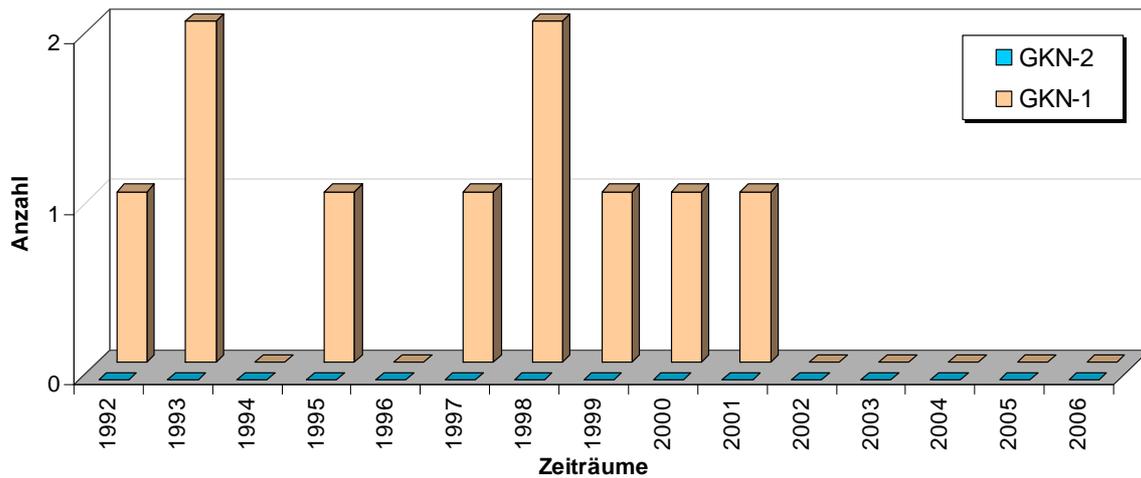


Abb. 4.7: Häufigkeitsverteilung der Ereignisse mit Fehlanregung einer Sicherheitseinrichtung

Merkmal	GKN-2	GKN-1
Ereignisanzahl	0	10
jährliche Ereignisrate	0	0,67
empirische Standardabw.	0	0,70
Wahrscheinlichkeit p_g für fallenden Trend	–	94 %, d. h. Hinweise auf fallenden Trend

4.8 Ereignisse mit nicht absperrbaren Primärkühlmittel-Leckagen

In diesem Abschnitt sind die zum Reaktor hin nicht absperrbaren Primärkühlmittel-Leckagen an der druckführenden Umschließung aufgeführt. Betroffen waren zwei Restentleierungsleitungen am Dampferzeuger DN 10 sowie eine Messleitung DN 15 an der Hauptkühlmittelleitung mit Kleinstleckagen durch herstellungsbedingte Poren bzw. Bindefehler im Schweißnahtbereich, die bei visuellen Kontrollen aufgrund von Borsäureablagerungen entdeckt wurden, bei Betrieb der Anlage jedoch messtechnisch nicht detektierbar waren. Lecks an der druckführenden Umschließung, die ein Eingreifen des Sicherheitssystems zur Folge gehabt hätten, wurden im Betrachtungszeitraum nicht registriert. Die sicherheitstechnische Bedeutung beider Ereignisse war gering. Es ist davon auszugehen, dass die bei einem unterstellten Abriss der betroffenen Kleinleitungen auftretende Leckrate vom Volumenregelsystem überspeist werden kann.

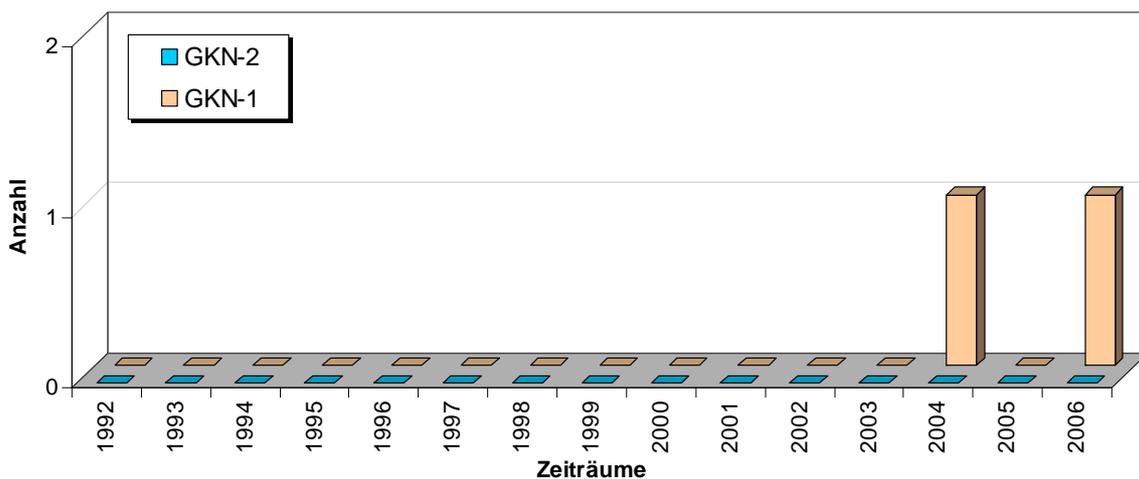


Abb. 4.8: Häufigkeitsverteilung der Ereignisse mit nicht absperrbaren Primärkühlmittel-Leckagen

Merkmal	GKN-2	GKN-1
Ereignisanzahl	0	2
jährliche Ereignisrate	0	0,13
empirische Standardabw.	0	0,34
Wahrscheinlichkeit p_g für fallenden Trend	–	20 %, d. h. keine Trendhinweise

4.9 Ereignisse mit absperrbaren Primärkühlmittel-Leckagen

Im Unterschied zu Abschnitt 4.8 sind hier nur absperrbare Primärkühlmittel-Leckagen aufgeführt, deren sicherheitstechnische Bedeutung deutlich geringer ist. Erfasst wurden dabei auch Leckagen durch undichte Armaturen sowie zwischen der druckführenden Umschließung und angrenzenden Systemen wie z. B. Heizrohrecks.

Die wichtigsten Ursachen sind betriebsbedingt (Korrosion und Verschleiß) sowie eine nicht anforderungsgerechte Auslegung.

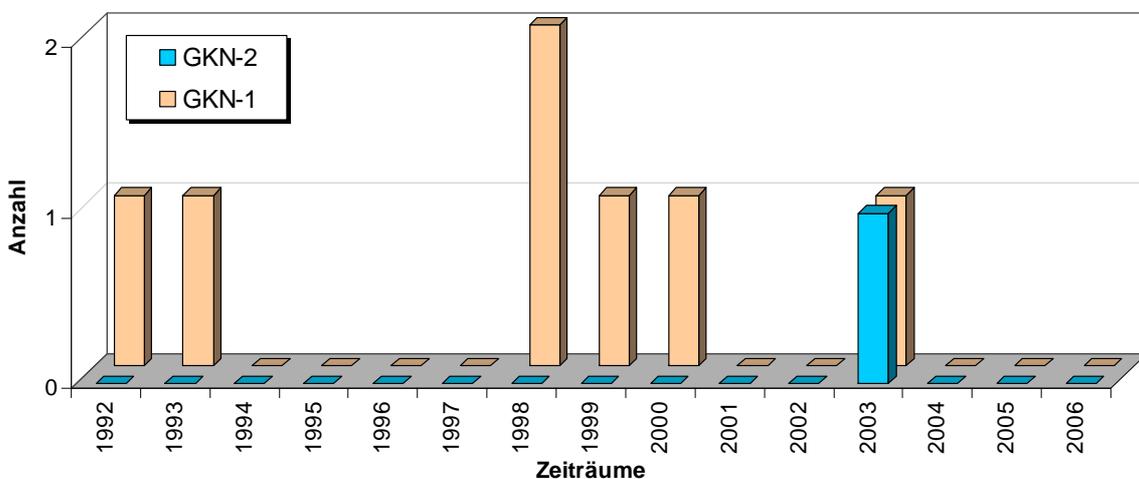


Abb. 4.9: Häufigkeitsverteilung der Ereignisse mit absperrbaren Primärkühlmittel-Leckagen

Merkmal	GKN-2	GKN-1
Ereignisanzahl	1	7
jährliche Ereignisrate	0,067	0,47
empirische Standardabw.	0,25	0,62
Wahrscheinlichkeit p_g für fallenden Trend	40 %, d. h. keine Trendhinweise	77 %, d. h. keine Trendhinweise

4.10 Ereignisse mit radiologischen Auswirkungen

Radiologische Auswirkungen werden in der Regel durch Leckagen verursacht. Die häufigsten Auswirkungen sind Freisetzungen radioaktiver Stoffe in die Anlage und Kontaminationen.

In der Anlage GKN-2 kam es durch technische Mängel und unzureichende Überwachungsmaßnahmen zu einer geringen Aktivitätsfreisetzung aufgrund eines unvollständig montierten Rückschlagventils. Beim anderen Ereignis handelt es sich um einen durch Erosionskorrosion bedingten Defekt eines Reduzierstückes, der zu einer geringfügigen Kontamination durch austretendes Verdampferkonzentrat führte.

Bei dem Ereignis in der Anlage GKN-1 handelt es sich um einen Brennelementscha-den mit ungeklärter Ursache, bei dem 18 Pellets freigelegt wurden. Da der Schaden nach der ersten Standzeit auftrat und der defekte Brennstab in einer extremen Außenposition stand, kam es nur zu einer geringen Primärkreisaktivität, die keine Gegenmaßnahmen erforderlich machte.

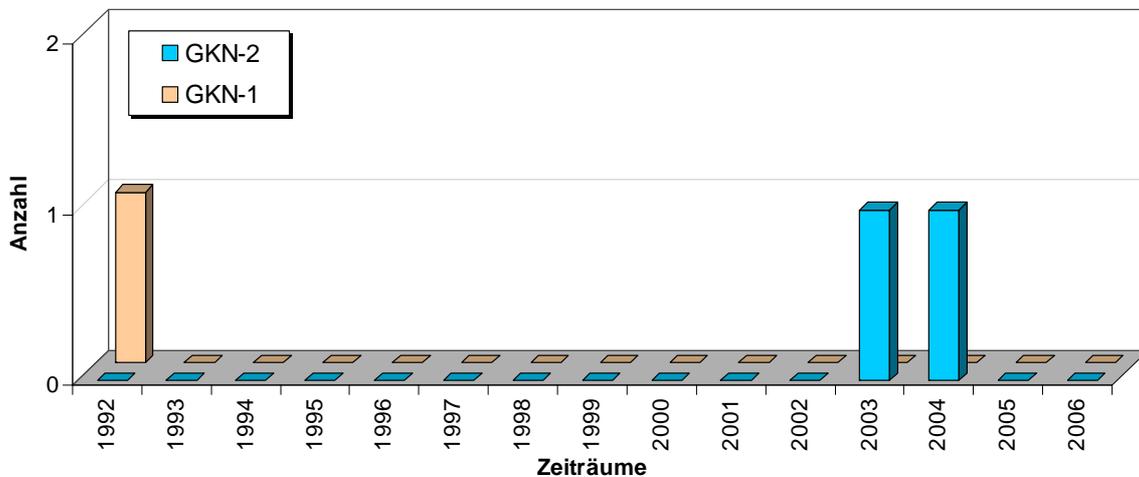


Abb. 4.10: Häufigkeitsverteilung der Ereignisse mit radiologischen Auswirkungen

Merkmal	GKN-2	GKN-1
Ereignisanzahl	2	1
jährliche Ereignisrate	0,13	0,067
empirische Standardabw.	0,34	0,25
Wahrscheinlichkeit p_g für fallenden Trend	27 %, d. h. keine Trendhinweise	68 %, d. h. keine Trendhinweise

4.11 Ereignisse aufgrund nicht anforderungsgerechter Ausführung

Hierunter sind Ereignisse zu verstehen, deren Ursachen in Auslegung, Fertigung, Errichtung, Transport und Lagerung der Anlage bzw. ihrer Teile liegen. Jeweils etwa die Hälfte der Ereignisse wurde durch Auslegungs- oder Fertigungsfehler verursacht. Fehler bei Errichtung, Transport und Lagerung spielten praktisch keine Rolle.

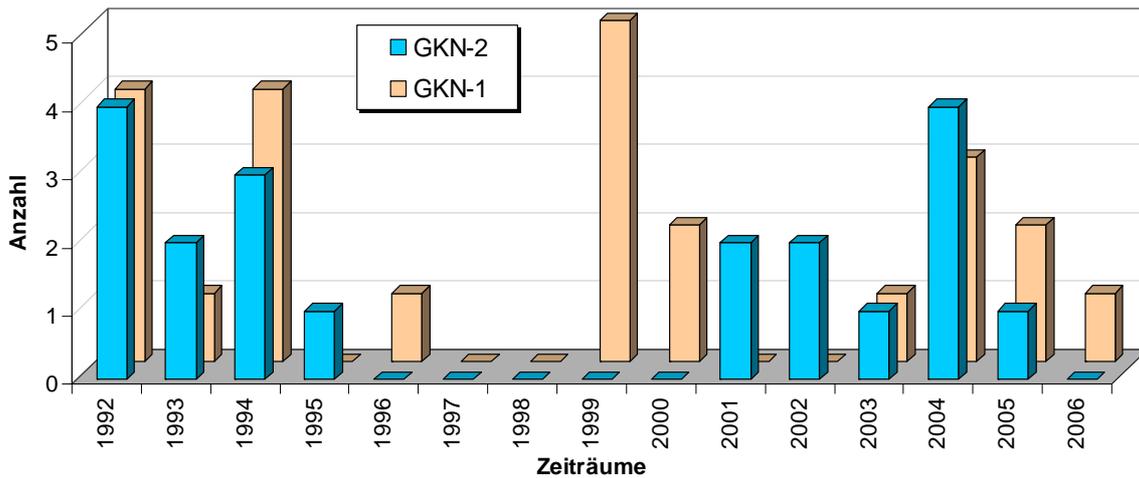


Abb. 4.11: Häufigkeitsverteilung der Ereignisse aufgrund nicht anforderungsgerechter Ausführung

Merkmal	GKN-2	GKN-1
Ereignisanzahl	20	24
jährliche Ereignisrate	1,3	1,6
empirische Standardabw.	1,4	1,6
Wahrscheinlichkeit p_g für fallenden Trend	81 %, d. h. keine Trendhinweise	65 %, d. h. keine Trendhinweise

4.12 Ereignisse, die eine Alterungsrelevanz aufweisen

Unter Alterungsphänomenen werden Schadensmechanismen verstanden, die nach längerer Betriebszeit bzw. nach einer größeren Anzahl von Beanspruchungen zu Befunden oder Ausfällen führen.

Bei den betrachteten Ereignissen liegt in der Mehrzahl der Fälle unerwartetes Werkstoffverhalten vor. Betroffen waren etwa doppelt so viele maschinentechnische Einrichtungen wie elektro- und leittechnische Einrichtungen.

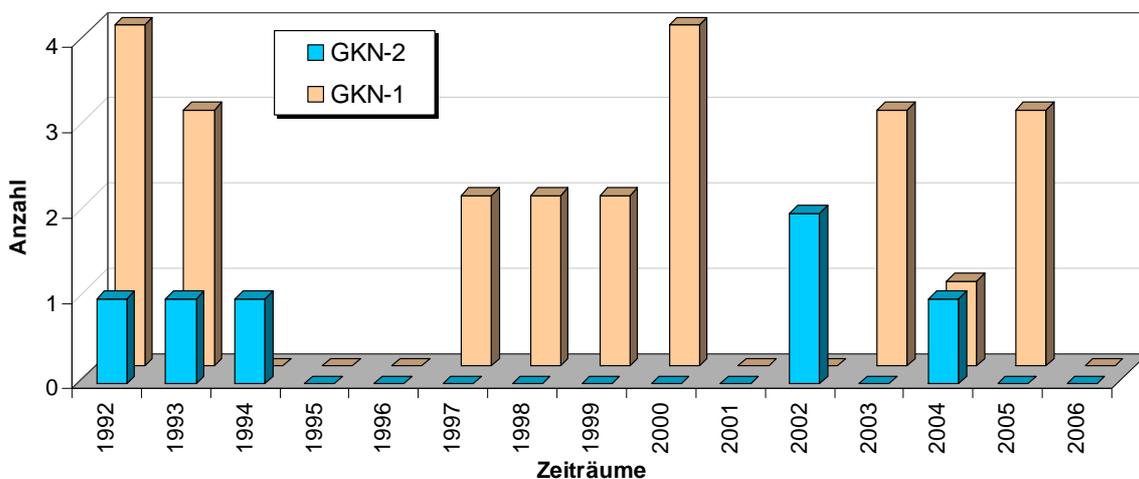


Abb. 4.12: Häufigkeitsverteilung der Ereignisse mit Alterungsrelevanz

Merkmal	GKN-2	GKN-1
Ereignisanzahl	6	24
jährliche Ereignisrate	0,40	1,6
Empirische Standardabw.	0,61	1,5
Wahrscheinlichkeit p_g für fallenden Trend	76 %, d. h. keine Trendhinweise	66 %, d. h. keine Trendhinweise

4.13 Ereignisse, die durch menschliche Fehler verursacht wurden

Als menschliche Fehler werden hier nur solche betrachtet, die im Zusammenhang mit dem Betrieb der Anlage stehen (z. B. Fehler bei der Durchführung von Maßnahmen oder die Verletzung von Vorschriften). In Abschnitt 4.11 aufgeführte Ereignisse aufgrund nicht anforderungsgerechter Ausführung, die letztlich auch auf menschliche Fehler zurückgeführt werden können, fallen nicht in diese Ereignisklasse. Bei den betrachteten Ereignissen entfällt der größte Teil auf fehlerhafte oder unterlassene Maßnahmen und ereignete sich bei Instandhaltungsmaßnahmen.

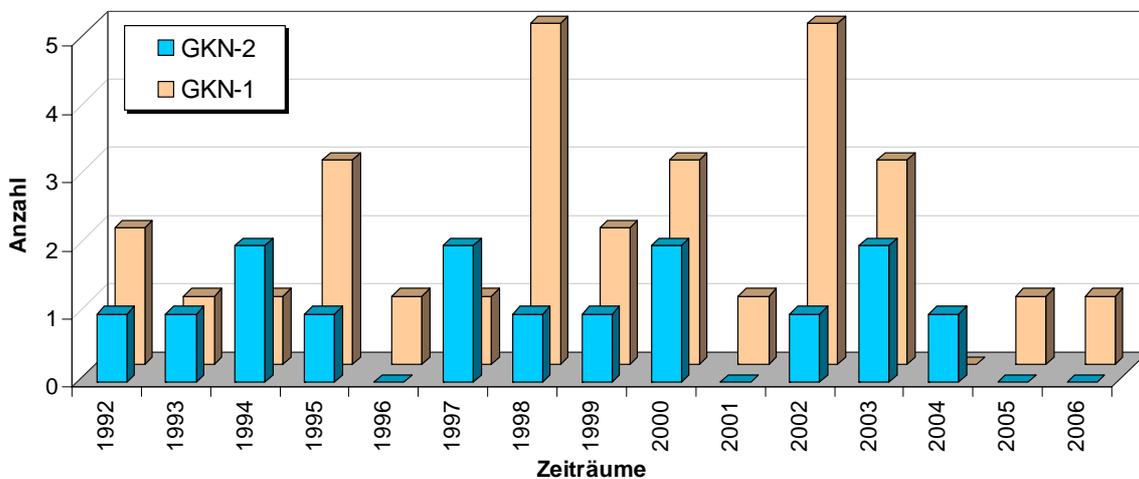


Abb. 4.13: Häufigkeitsverteilung der durch menschliche Fehler verursachten Ereignisse

Merkmal	GKN-2	GKN-1
Ereignisanzahl	15	30
jährliche Ereignisrate	1,0	2,0
empirische Standardabw.	0,73	1,5
Wahrscheinlichkeit p_g für fallenden Trend	82 %, d. h. keine Trendhinweise	60 %, d. h. keine Trendhinweise

4.14 Precursorereignisse

Precursorbewertungen wurden durch die GRS im Betrachtungszeitraum bisher nur für die Jahre 1993 und 1994 sowie 1997 bis 2001 durchgeführt /GRS 01/. Die Analyse der Ereignisse erfolgt zur Reduzierung des Aufwandes in mehreren Schritten. Als Precursor eingestuft werden alle Ereignisse, für die innerhalb des Betrachtungszeitraums von einem Jahr die bedingte Wahrscheinlichkeit von Gefährdungszuständen, bei denen die Kernkühlung wegen Ausfalls der auslegungsgemäß dafür vorhandenen Systeme gefährdet ist, mindestens 1% des von der IAEA empfohlenen Orientierungswertes von 10^{-4} pro Reaktorjahr, d. h. 10^{-6} pro Reaktorjahr beträgt.

Von den insgesamt 73 in diesem Zeitraum für GKN-1 und GKN-2 gemeldeten Ereignissen wurden 6 Ereignisse der Anlage GKN-1 als Precursor eingestuft – bei vier Ereignissen wurde jeweils eine Gefährdungswahrscheinlichkeit von nicht mehr als 10^{-4} , bei zwei weiteren von nicht mehr als 10^{-5} bestimmt.

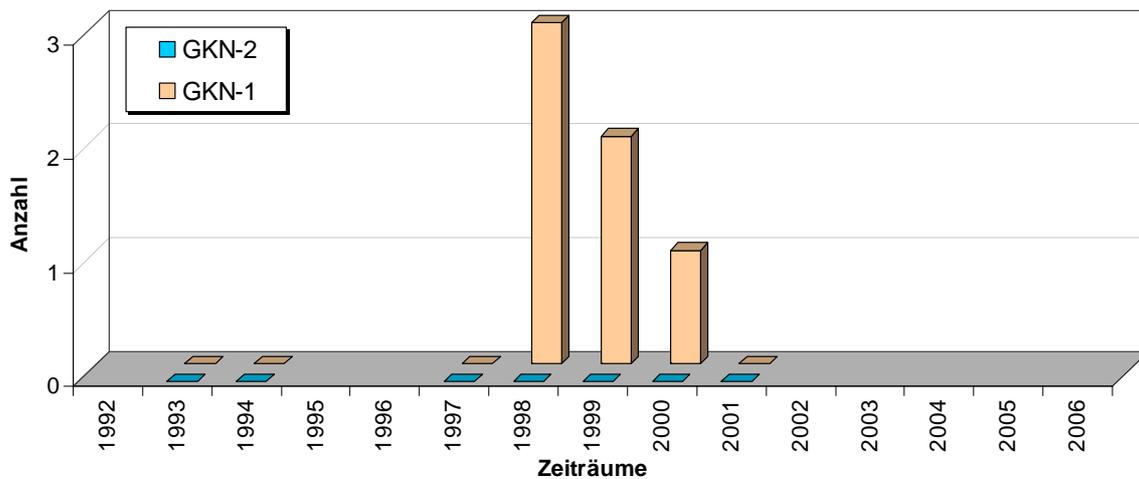


Abb. 4.14: Häufigkeitsverteilung der Precursorereignisse

Merkmal	GKN-2	GKN-1
Ereignisanzahl	0	6
jährliche Ereignisrate	0	0,86
empirische Standardabw.	0	1,1
Wahrscheinlichkeit p_g für fallenden Trend	–	23 %, d. h. keine Trendhinweise

4.15 Ereignisse mit Anforderung des Notstromsystems

Als Ereignisse mit Anforderung des Notstromsystems wurden gemeldete Ereignisse betrachtet, bei denen die Stromversorgung sicherheitstechnisch wichtiger Verbraucher nicht mehr durch betriebliche Systeme gewährleistet wurde und es dadurch zu einer Anforderung von Notstromaggregaten kam. Es wurden auch Ereignisse berücksichtigt, bei denen nur eine Redundante betroffen war.

Im Betrachtungszeitraum traten in der Anlage GKN-1 15 derartige Fälle auf, davon drei im Leistungsbetrieb. Im gleichen Zeitraum wurden in der Anlage GKN-2 drei Ereignisse mit Anforderung des Notstromsystems beobachtet, zwei davon im Leistungsbetrieb.

Es konnte keine Häufung bestimmter Ursachen festgestellt werden.

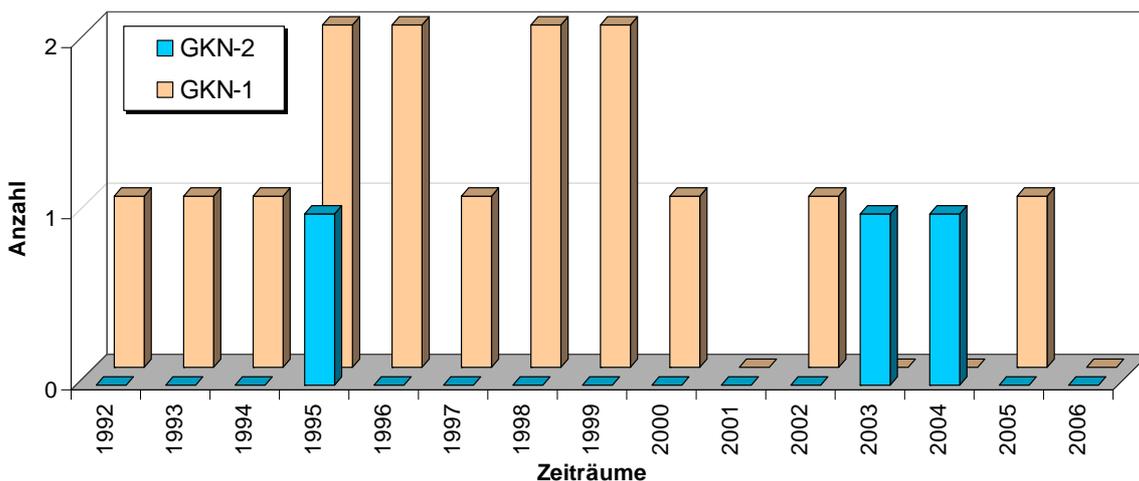


Abb. 4.15: Häufigkeitsverteilung der Ereignisse mit Anforderung des Notstromsystems

Merkmal	GKN-2	GKN-1
Ereignisanzahl	3	15
jährliche Ereignisrate	0,20	1,0
empirische Standardabw.	0,40	0,73
Wahrscheinlichkeit p_g für fallenden Trend	36 %, d. h. keine Trendhinweise	94 %, d. h. Hinweise auf fallenden Trend

4.16 Transienten mit Auslösung der Reaktorschnellabschaltung

In dieser Ereignisklasse wurden die unter Abschnitt 2, Punkt 16 aufgezählten Transienten berücksichtigt. Bei der Ermittlung der Ereignisrate und der statistischen Kenngrößen wurden die Stillstandszeiten der Anlagen berücksichtigt.

Bei der Anlage GKN-2 handelt es sich um einen Ausfall der Hauptwärmesenke (HWS) sowie um ein fehlerhaftes Ansprechen einer Begrenzung, in der Anlage GKN-1 um vier Ereignisse mit Ausfall der HWS, zwei Ereignisse mit Ausfall aller HKMP sowie sieben Reaktorschnellabschaltungen aus anderen Gründen.

Folgende Ereignisse wurden für die beiden Anlagen ermittelt:

Transienten mit Auslösung der RESA	GKN-2	GKN-1
Ausfall Hauptwärmesenke	1	4
Ausfall aller Hauptkühlmittelpumpen	–	2
Ausfall aller Hauptspeisewasserpumpen	–	–
Notstromfall	–	–
Sonstige	1	7
Summe	2	13

Die Auswertung der Kennzahlen erfolgt aufgrund der geringen Anzahl an Ereignissen für die Gesamtzahl der Transienten dieser Kategorie.

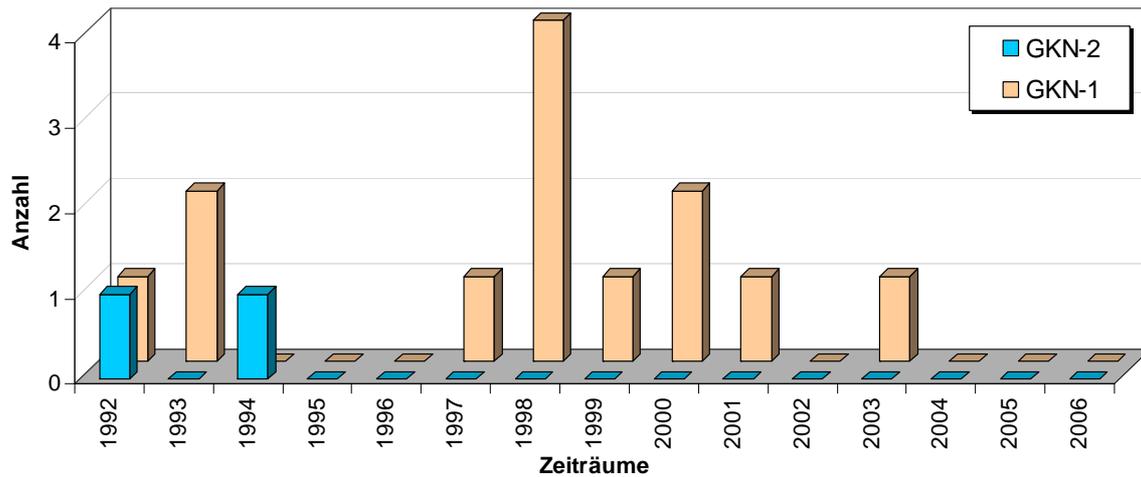


Abb. 4.16: Häufigkeitsverteilung der Transienten mit Auslösung der Reaktorschnellabschaltung

Merkmal	GKN-2	GKN-1
Ereignisanzahl	2	13
jährliche Ereignisrate	0,14	0,94
empirische Standardabw.	0,35	1,1
Wahrscheinlichkeit p_g für fallenden Trend	80 %, d. h. keine Trendhinweise	86 %, d. h. keine Trendhinweise

4.17 Transienten ohne Auslösung der Reaktorschnellabschaltung

In dieser Ereignisklasse werden die unter Abschnitt 2, Punkt 17 aufgezählten Transienten mit Leistungsabfall bzw. Abfahren berücksichtigt. Wie bei den Transienten mit Reaktorschnellabschaltung wurden bei der Bestimmung der Kennwerte die Stillstandszeiten der Anlagen berücksichtigt.

Folgende Ereignisse wurden für die beiden Anlagen ermittelt:

Transienten ohne Auslösung der RESA	GKN-2	GKN-1
Turbinenschnellabschaltung	–	14
Lastabwurf auf Eigenbedarf oder Nulllast	3	2
Ausfall einer Hauptkühlmittelpumpe	1	1
Ausfall einer Hauptspeisewasserpumpe	–	–
Leckagen (kein Ansprechen von Sicherheitssystemen)	–	–
Summe	4	17

Die Auswertung der Kennzahlen erfolgte wie bei den Transienten mit Auslösung der Reaktorschnellabschaltung (Abschnitt 4.16) aufgrund der geringen Anzahl an Ereignissen für die Gesamtzahl der Transienten dieser Kategorie.

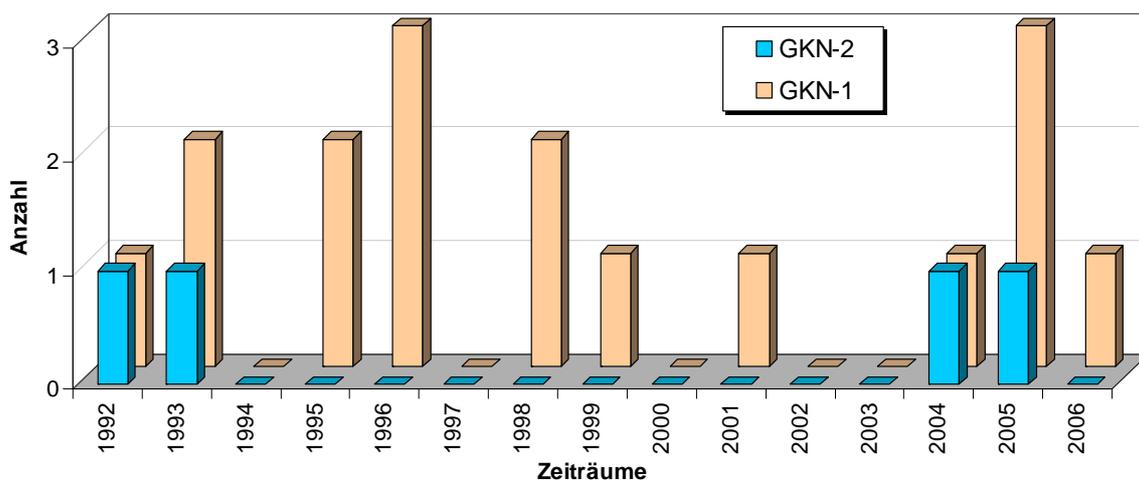


Abb. 4.17: Häufigkeitsverteilung der Transienten ohne Auslösung der Reaktorschnellabschaltung

Merkmal	GKN-2	GKN-1
Ereignisanzahl	4	17
jährliche Ereignisrate	0,28	1,2
empirische Standardabw.	0,45	1,1
Wahrscheinlichkeit p_g für fallenden Trend	57 %, d. h. keine Trendhinweise	68 %, d. h. keine Trendhinweise

4.18 Betriebliches Verschließen von Dampferzeuger-Heizrohren

Das Verschließen von Dampferzeuger-Heizrohren aufgrund von Befunden ist ein betrieblicher Vorgang und damit nicht meldepflichtig. Die Meldepflicht greift erst mit Unterschreiten der so genannten rechnerischen Wandstärke. Praktisch werden DE-Heizrohre aber bereits verschlossen, sobald 40 – 50 % Wandschwächung erreicht werden, also noch weit vor Erreichen der rechnerischen Wandstärke von 30 %.

Im Betrachtungszeitraum wurden in der Anlage GKN-1 insgesamt 11 DE-Heizrohre verschlossen, in GKN-2 dagegen 9.

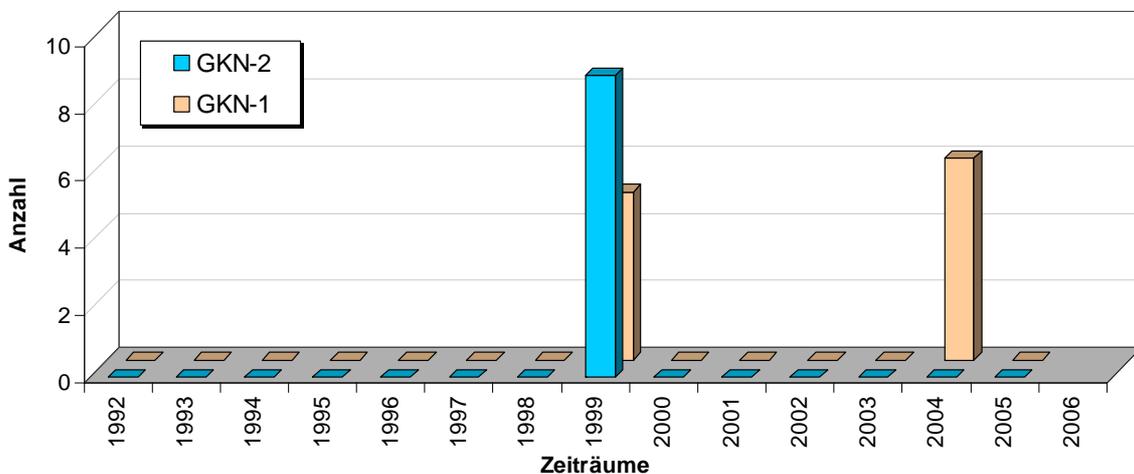


Abb. 4.18: Häufigkeitsverteilung betrieblich verschlossener Dampferzeuger-Heizrohre

Merkmal	GKN-2	GKN-1
Anzahl verschlossener DE-Heizrohre	9	11
jährliche Ereignisrate	0,64	0,79
empirische Standardabw.	2,3	1,9
Wahrscheinlichkeit p_g für fallenden Trend	48 %, d. h. keine Trendhinweise	21 %, d. h. keine Trendhinweise

5 Bewertung der Ergebnisse

Alle untersuchten meldepflichtigen Ereignisse und Transienten sind durch die Auslegung der Anlagen abgedeckt. Um die Ergebnisse bewerten zu können, müssen daher geeignete Bewertungsmaßstäbe gefunden werden. Mit den folgenden Bewertungsmaßstäben können u. E. vergleichende Aussagen zum Sicherheitsstatus beider Anlagen abgeleitet werden.

1. Bewertungsmerkmale mit quantitativen Aussagen oder einem definierten Maßstab für die sicherheitstechnische Bedeutung. Zu dieser Gruppe zählen die Ereignisse mit einer Einstufung in die Stufe 1 der siebenstufigen INES-Skala, Transienten (Lastfälle) und Ereignisse, für die eine Precursoranalyse erstellt wurde. Bei Ereignissen, die einem solchen Bewertungsmerkmal zugeordnet werden können (im folgenden Bewertungsklasse 1 genannt), kann eine Bewertung direkt anhand der damit verbundenen quantitativen Angaben erfolgen.
2. Bewertungsmerkmale mit nicht quantifizierbarer sicherheitstechnischer Bedeutung. Ereignisse mit diesen Merkmalen bilden die restlichen untersuchten hinsichtlich der sicherheitstechnischen Bedeutung inhomogenen Ereignisklassen. Bei diesen Ereignissen (im folgenden Bewertungsklasse 2 genannt) ist u. E. bei der Bewertung ein differenzierter Ansatz zu wählen, der im Folgenden dargestellt wird.

Priorität bei der vergleichenden Bewertung hat die Ereignisrate. Angaben zum Trend könnten grundsätzlich ergänzend herangezogen werden. Im vorliegenden Anlagenvergleich wurden jedoch – wie unten dargestellt – keine relevanten Trends gefunden.

Zur Bewertungsklasse 1:

Acht Ereignisse der Anlage GKN-1 sowie vier Ereignisse der Anlage GKN-2 wurden als Störungen in die Stufe 1 der siebenstufigen INES-Skala eingestuft. Alle anderen betrachteten Ereignisse wurden in die Stufe 0 eingeordnet. Mit Hilfe des bereits erwähnten Trendanalyseverfahrens /GRS 06/ folgt mit einer statistischen Sicherheit von ca. 88 %, dass in der Anlage GKN-1 im Vergleich zur Anlage GKN-2 mehr Ereignisse mit einer Einstufung in die INES-Stufe 1 auftreten. Unter Zugrundelegung eines bei statistischen Auswertungen üblicherweise benutzten Signifikanzniveaus von 95 % ist diese Aussage jedoch nicht statistisch gesichert.

Im Betrachtungszeitraum sind in der Anlage GKN-1 im Vergleich zur Anlage GKN-2 sechseinhalbmal mehr Transienten mit Auslösung der Reaktorschnellabschaltung und mehr als viermal so viele ohne RESA-Auslösung aufgetreten. Dabei ist statistisch gesichert (mit 99,9 % bzw. 99,7 %), dass in der Anlage GKN-1 mehr Transienten mit bzw. ohne Auslösung der RESA auftreten als in der Anlage GKN-2.

Die Anwendung des quantitativen Bewertungsmaßstabs aus den Precursoranalysen auf die Ereignisse von sieben ausgewerteten Jahrgängen zeigt, dass es in der Anlage GKN-1 sechs so genannte Precursorereignisse gab, in der Anlage GKN-2 keines. Mit einer statistischen Sicherheit von 99,7% treten in der Anlage GKN-1 Precursorereignisse häufiger auf als in GKN-2.

Zur Bewertungsklasse 2:

Bei Auswertung der ermittelten Kennzahlen der restlichen 14 untersuchten Ereignisklassen ist festzustellen, dass die mittleren jährlichen Ereignisraten in elf Fällen für die Anlage GKN-1 über denen für die Anlage GKN-2 liegen – im Mittel, um den Faktor zwei.

Für sechs der elf günstigeren Ereignisklassen für die Anlage GKN-2 ist diese Aussage mit einer Wahrscheinlichkeit von > 95 % statistisch gesichert. Für die anderen fünf Ereignisklassen ist dies nicht der Fall.

In drei Ereignisklassen liegen die mittleren jährlichen Ereignisraten der Anlage GKN-2 leicht über denen der Anlage GKN-1. Die Signifikanz dieser Aussage ist statistisch nicht gesichert.

Ein Vergleich der Anzahl verschlossener DE-Heizrohre liefert für beide Anlagen ähnlich geringe Werte.

Hinweise auf einen Trend (fallend) konnten mit einer statistischen Sicherheit von jeweils 94 % für „Ereignisse mit Fehlanregung einer Sicherheitseinrichtung“ (Ereignisklasse 7) sowie für „Ereignisse mit Anforderung des Notstromsystems“ (Ereignisklasse 15) in der Anlage GKN-1 ermittelt werden. Da GKN-2 in der Ereignisklasse 7 keine Ereignisse hat und in der Ereignisklasse 15 um den Faktor fünf weniger, ergeben sich daraus jedoch keine relevanten Unterschiede.

In den übrigen Ereignisklassen war für beide Anlagen kein hinreichend statistisch abgesicherter Trend feststellbar.

Bei der Bewertung dieser Ergebnisse zur Ereignisklasse 2 ist zu berücksichtigen, dass es auch Einflussgrößen gibt, die die Vergleichbarkeit der Ergebnisse beeinträchtigen können, aber von den Auftragnehmern weder in der Stärke noch in der Richtung ihrer Wirkung bewertet werden können. Dazu zählt z. B. eine Änderung des Meldeverhaltens über den Betrachtungszeitraum aufgrund anlagenspezifischer Ereignisse. Diese Einflussgrößen („Störgrößen“) sind nach Einschätzung der Auftragnehmer allerdings nicht so stark, dass die o. g. Anlagenunterschiede hinsichtlich der ausgewerteten Merkmale hierdurch erklärt werden könnten.

Ursächlich für die Anlagenunterschiede sind daher zu einem erheblichen, von den Auftragnehmern aber nicht quantifizierbaren Anteil technische und ggf. auch administrative Einflussgrößen, für die aber keine direkt auswertbaren Merkmale in den Ereignismeldungen vorhanden sind. Zu diesen Einflussgrößen, die durch die Anlagentechnik oder die Betriebsführung der Anlagen bedingt sind und die sich über den Betrachtungszeitraum in der Regel wenig ändern, zählen z. B.

- die unterschiedliche Qualität der Auslegung und Herstellung der Anlagen, die durch den Erfahrungs- und Erkenntniszuwachs wegen der fast 13 Jahre späteren Fertigstellung von GKN-2 bedingt ist;
- die Besonderheiten von GKN-1 (3-Loop-Konzept, Bahnstromturbine).

Zusammenfassend kann daher festgestellt werden, dass bei den meisten Ereignisklassen deutlich höhere Ereignisraten für die Anlage GKN-1 im Vergleich zur Anlage GKN-2 ermittelt wurden. Diese Ergebnisse weisen eine überwiegend hohe statistische Sicherheit auf. Nach Einschätzung der Auftragnehmer ändern sich diese Ergebnisse auch bei Berücksichtigung der oben aufgeführten „Störgrößen“ nicht wesentlich.

Einen Überblick über die Ergebnisse gibt die folgende Tabelle.

Anlage Ereignisklasse	jährliche Ereignisrate		Trendhinweis	
	GKN-2	GKN-1	GKN-2	GKN-1
Alle Teilereignisse von 1992 bis 2006	3,40	7,00	kein	kein
Ereignisse mit Einstufung INES 1	0,27	0,53	kein	kein
Gemeinsam verursachte Ausfälle (GVA)	0,33	0,67	kein	kein
Potentielle GVA	1,00	0,93	kein	kein
Ausfälle von mehr als einer Redundanten	0,13	0,27	kein	kein
Ausfälle einer Redundanten	0,53	0,47	kein	kein
Ansprechen von Sicherheitseinrichtungen	0,13	1,20	kein	kein
Fehlanregung v. Sicherheitseinrichtungen	0	0,67	-	fallend
PKM-Leckagen nicht absperrbar	0	0,13	-	kein
PKM-Leckagen absperrbar	0,07	0,47	kein	kein
Ereignisse mit radiolog. Auswirkungen	0,13	0,07	kein	kein
E. mit nicht anford.-gerechter Ausführung	1,33	1,60	kein	kein
Ereignisse mit Alterungsrelevanz	0,40	1,60	kein	kein
Ereignisse aufgrund menschlicher Fehler	1,00	2,00	kein	kein
Precursorereignisse	0	0,86	-	kein
E. mit Anforderung des Notstromsystems	0,20	1,0	kein	fallend
Transienten mit RESA-Auslösung	0,14	0,94	kein	kein
Transienten ohne RESA-Auslösung	0,28	1,23	kein	kein
Verschließen von DE-Heizrohren	0,64	0,79	kein	kein
Farbliche bzw. typografische Codierung:	höhere Ereignisrate als bei anderer Anlage		steigender Trend	
	niedrigere Ereignisrate als bei anderer Anlage		fallender Trend	
	Fett: statistisch signifikanter Unterschied			

6 Fazit

Die ermittelten Ereignisraten zeigen, dass die Anlage GKN-2 hinsichtlich der ausgewerteten meldepflichtigen Ereignisse und Transienten insgesamt die günstigeren Eigenschaften aufweist.

7 Literatur

- /AREVA 01/ AREVA NP GmbH, Arenz
Operating Experience with Alloy 800 Tubed Steam Generators in
SIEMENS/KWU-PWR-Plants
Erlangen, 23.01.2001
- /AtSMV 92/ Verordnung über den kerntechnischen Sicherheitsbeauftragten und über
die Meldung von Störfällen und sonstigen Ereignissen (Atomrechtliche
Sicherheitsbeauftragten- und Meldeverordnung - AtSMV)
vom 14. Oktober 1992
- /BMU 01/ Grundsätze der Tätigkeit von Sachverständigen im Auftrag der Bundes-
aufsicht über die Ausführung des Atomgesetzes im Hinblick auf Atom-
kraftwerke, Forschungsreaktoren und sonstige Reaktoren (Sachverstän-
digen-Grundsätze der Bundesaufsicht über Atomkraftwerke)
Stand: Juli 2001
- /BMU 06/ SR 2569 „Sicherheitstechnische Überprüfung von Anlagen zu ausge-
wählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur
Reststrommengenübertragung“
05.12.2006
- /CNS 05/ Übereinkommen über nukleare Sicherheit; Bericht der Regierung der
Bundesrepublik Deutschland für die Dritte Überprüfungstagung im April
2005
- /GRS 01/ S. Babst, G. Gänßmantel, H. Hörtner, T. Riekert, R. Stück
Precursoranalysen: Probabilistische Bewertung von gemeldeten Ereig-
nissen aus den Jahren 1993, 1994, 1997, 1998, 1999, 2000 und 2001
- /GRS 06/ Peschke J., Stiller J. C.
Entwicklung und Erprobung von Trenderkennungs- und detaillierten
Trendanalyseverfahren zur frühzeitigen Erkennung und Analyse von
Trends im zeitlichen Verlauf von Betriebsdaten
GRS-A-3307, Januar 2006

/RSK 05/ Reaktorsicherheitskommission
RSK-Empfehlung – Gestaffeltes Sicherheitskonzept
08.09.2005 (386. Sitzung)



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische
Überprüfung von Anla-
gen zu ausgewählten
Anforderungen und
Ereignissen im Rahmen
von Anträgen zur Rest-
strommengenübertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 2:

„Trends in den radiologischen
Belastungen des Personals“

SR 2569



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 2:
„Trends in den radiologischen Belastungen des Personals“

Februar 2008

Auftrags-Nr.: 820410

Anmerkung:

Dieser Bericht ist im Auftrag des BMU im Rahmen des Vorhabens SR 2569 erstellt worden. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt werden bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers und der Unterauftragnehmer wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers übereinstimmen.

Vorwort

Im Atomgesetz wurden mit der Änderung vom 26.04.2002 die Reststrommengen für die in Betrieb befindlichen Kernkraftwerksblöcke in Deutschland festgelegt. Über die Zustimmung zur Übertragung von Elektrizitätsmengen entscheidet das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) im Einvernehmen mit dem Bundeskanzleramt und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Im Rahmen der Entscheidungsfindung des BMU über die Anträge auf Übertragung von Elektrizitätsmengen hat das BMU auch eine vergleichende Sicherheitsüberprüfung zwischen einer Anlage, die Strommengen abgibt und derjenigen, welche die Strommengen bekommen soll, vorgesehen. Da in der zur Verfügung stehenden Zeit keine in Prüfumfang und -tiefe mit der Durchführung und der sachverständigen Prüfung von Sicherheitsüberprüfungen nach § 19a AtG vergleichbare, umfassende Ermittlung und sicherheitstechnische Bewertung beider Anlagen möglich ist, beauftragte das BMU die GRS, zusammen mit benannten Unterauftragnehmern mit der „Sicherheitstechnischen Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung“ /BMU 06/. Auftragsgegenstand sind punktuelle Untersuchungen einzelner Bewertungsgegenstände, die gemeinsam von BMU, GRS und den Unterauftragnehmern festgelegt wurden. Um dem BMU eine vergleichende Bewertung zu ermöglichen, ob sichergestellt ist, dass die beantragte Übertragung von einer neueren auf eine ältere Anlage nicht zu Lasten der Sicherheit geht, wurden sicherheitstechnisch relevante Bewertungsgegenstände für jede beantragte Übertragung insbesondere unter Beachtung folgender Kriterien ausgewählt:

- die anlagentechnischen Gegebenheiten der antragsgemäß betroffenen abgebenden und empfangenden Anlage beinhalten wesentliche Unterschiede und / oder
- die Bewertungsgegenstände berühren Entwicklungen seit Genehmigungserteilung bezüglich des Standes von Wissenschaft und Technik und
- die Untersuchungen sind in der zur Verfügung stehenden Zeit voraussichtlich durchführbar.

Dabei wird die sicherheitstechnische Fragestellung weitgehend auf die Beherrschbarkeit von zu erwartenden oder im Rahmen der Nachweisführung postulierten Ereignismöglichkeiten bezogen.

Die Durchführung eines nur punktuellen, aber die genannten Auswahlkriterien beachtenden Prüfprogramms ist aus Sicht des Auftraggebers gerechtfertigt, da der Gesetzgeber die Festlegung der konkreten Maßstäbe für die Prüfung, ob die beabsichtigte Übertragung zu Lasten der Sicherheit ginge und deren willkürfreie Anwendung in § 7 Abs. 1b Satz 2 AtG der Exekutive überlassen hat; Art und Umfang der Ermittlung der für seine Sicherheitsbewertung entscheidungserheblichen Tatsachen sind vom BMU im Rahmen seines Verfahrensermessens zu bestimmen.

Das Überprüfungskonzept basiert auf einer Auswertung und Bewertung von Unterlagen, die der Betreiber für die einzelnen Bewertungsgegenstände dem BMU vorlegen soll. Für den Fall, dass keine spezifischen Unterlagen vorgelegt werden, ist auftragsgemäß vorgesehen, alle Dokumente und Informationen, die in den beteiligten Sachverständigenorganisationen für die hier anstehenden Aufgaben zur Verfügung stehen, für diese Überprüfung zu nutzen. Da diese Dokumente und Informationen hinsichtlich ihrer Aktualität und Belastbarkeit sehr unterschiedlich sein können, wird zu jedem Bewertungsgegenstand ein einheitlich klassifizierter Unterlagen- und Quellennachweis vorgelegt. Dabei wird zwischen den folgenden Kategorien unterschieden:

- Kategorie 1: im atomrechtlichen Verfahren geprüfte / begutachtete bzw. vom BMU freigegebene Unterlagen,
- Kategorie 2: Stellungnahmen der RSK bzw. der SSK und
- Kategorie 3: nicht im Sinne von Kategorie 1 geprüfte Unterlagen, die jedoch nach Auffassung der Auftragnehmer Informationen zum Sachverhalt enthalten.

Die vergleichenden Darstellungen zu den einzelnen Bewertungsgegenständen basieren jeweils auf diesen Unterlagen und spiegeln den darin wiedergegebenen Anlagenzustand wieder. Abweichungen zum derzeitigen Anlagenzustand aufgrund zwischenzeitlich durchgeführter Änderungen sind nicht auszuschließen.

Bewertungsmaßstab ist der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik. Dabei sind neben dem Erfüllungsgrad von regulatorischen Sicherheitsanforderungen bezüglich der Beherrschbarkeit von Ereignissen insbesondere auch die anlagenspezifischen Reserven in die Bewertung einzubeziehen. Aufgrund der Begrenzungen in der Bearbei-

tungszeit und im Umfang und Detaillierungsgrad der Unterlagen erfolgt aber keine vollständige Überprüfung sondern eine Fokussierung auf wesentliche grundlegende Sicherheitsanforderungen. Die für die jeweiligen Bewertungsgegenstände spezifischen Bewertungsmerkmale werden in den einzelnen Berichten ausgewiesen. Die Bewertungsmerkmale beziehen sich grundsätzlich entweder unmittelbar auf grundlegende Sicherheitsanforderungen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik oder mittelbar auf anlagentechnisch vergleichbare Sicherheitsfunktionen mit Anforderungen entsprechend des gestaffelten Sicherheitskonzepts. Die Bewertung der Sicherheitsfunktionen erfolgt im Wesentlichen im Hinblick auf deren Wirksamkeit und Qualität.

Auftragsgemäß sollen die Überprüfungen anhand deterministischer Bewertungsweisen erfolgen. Dieser methodische Ansatz kann in einigen Fällen dazu führen, dass bei der vergleichenden Bewertung von komplexen Systemkonstellationen bezüglich der Beherrschbarkeit eines Ereignisses keine eindeutige, abschließende Bewertung möglich ist. Im Rahmen der hier vorgesehenen Bewertungen wären weiterführende probabilistische Bewertungen auch aufgrund fehlender spezifischer Unterlagen in der vorgesehenen Bearbeitungszeit nicht durchführbar und sind daher auftragsgemäß nicht vorgesehen.

Es besteht daher Einvernehmen mit dem BMU darin, dass aufgrund der Begrenzung der Überprüfungsdauer und der Unterlagensituation wesentliche Anforderungen der "Sachverständigengrundsätze für die Bundesaufsicht" /BMU 01/ nicht eingehalten werden können. Die Abweichungen beziehen sich insbesondere auf die Vollständigkeit, Aktualität und Belastbarkeit von Unterlagen bei der Sachverhaltsermittlung sowie die Bewertungsmethoden, die im vorliegenden Fall weitgehend auf ingenieurmäßige Betrachtungsweisen eingeschränkt sind.

Die durchgeführten Sicherheitsvergleiche beinhalten keine aufsichtliche Überprüfung der betroffenen Anlagen. Auftragsgemäß wird zu jedem Bewertungsgegenstand ein separater Ergebnisbericht erstellt. Eine Gesamtbewertung ist nicht beauftragt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale.....	2
3	Verwendete Unterlagen	3
4	Anlagenvergleich	4
4.1	Sachstand GKN-1	4
4.1.1	Einordnung und Charakterisierung der Anlage	4
4.1.2	Kollektivdosisverlauf.....	5
4.1.3	Einschätzung des Arbeitsumfangs	7
4.1.4	Radiologische Arbeitsbedingungen.....	9
4.1.5	Personenbezogene Exposition	15
4.2	Sachstand GKN-2	20
4.2.1	Einordnung und Charakterisierung der Anlage	20
4.2.2	Kollektivdosisverlauf.....	20
4.2.3	Einschätzung des Arbeitsumfangs	21
4.2.4	Radiologische Arbeitsbedingungen.....	24
4.2.5	Personenbezogene Exposition	27
5	Bewertung.....	33
5.1	Bewertungsmerkmale	33
5.1.1	Kollektivdosen des Eigen- und Fremdpersonals	33
5.1.2	Mittlere Personendosen sowie Personendosisverteilungen des Eigen- und Fremdpersonals	34
5.2	Hintergrund/Ursachen	36
5.2.1	Vergleichbarkeit der beiden Blöcke aus radiologischer Sicht.....	36
5.2.2	Arbeitsumfang	37
5.2.3	Radiologische Arbeitsbedingungen.....	37
5.3	Fazit	37

6 **Literatur..... 38**

1 Einleitung

Im vorliegenden Bericht geht es um sicherheitstechnische Vergleiche im Zusammenhang mit dem Antrag der EnBW Kernkraft GmbH vom 21.12.2006 an das BMU auf Übertragung von Elektrizitätsmengen vom Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 2 (GKN-2) auf das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 1 (GKN-1). Dazu wurden von den Auftragnehmern in Abstimmung mit dem BMU 23 Bewertungsgegenstände definiert. Auftragsgemäß erfolgt für jeden Bewertungsgegenstand (BG) eine separate Auswertung.

Nachfolgend wird der Bewertungsgegenstand 2 „Trends in den radiologischen Belastungen des Personals“ behandelt.

2 Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale

Der vorliegende Bericht bewertet die Trends der Strahlenexposition des Personals in den beiden Anlagen während des Betriebes und der Revision. Hierzu werden die Zeitreihen der Expositionsdaten in beiden Anlagen untersucht. Von Bedeutung sind diese Untersuchungen insbesondere zur Bewertung der Umsetzung und angemessenen Ausfüllung des ALARA-Konzeptes im Strahlenschutz entsprechend § 6 StrlSchV bei der Planung und Durchführung von Maßnahmen in der Anlage.

Als Bewertungsmerkmale werden die folgenden primären und sekundären Expositionsdaten des Personals herangezogen:

- Kollektivdosen des Eigen- und Fremdpersonals,
- mittlere Personendosen sowie Personendosisverteilungen des Eigen- und Fremdpersonals.

Zur detaillierten Betrachtung werden auch die Randbedingungen genannt und diskutiert, die zu diesen Expositionsdaten geführt oder beigetragen haben. Hierzu gehören neben der radiologischen Situation in der Anlage, die sich primär aus der ursprünglichen Anlagenauslegung ergibt und insbesondere durch die Dosisleistung beschrieben werden kann, der Umfang und die Art der durchgeführten Arbeiten, die den Personaleinsatz und die zur Durchführung der Arbeiten erforderliche Aufenthaltsdauer im Kontrollbereich bestimmen. Als übergreifende Randbedingung steht für den Personaleinsatz neben der Zahl der eingesetzten Personen speziell die Aufenthaltsdauer (Mannstunden im Kontrollbereich) zur Verfügung.

3 Verwendete Unterlagen

Als Daten für diesen Bewertungsgegenstand werden die in der RADAN-Datenbank der GRS zusammengefassten Daten zur Strahlenexposition des Personals zugrunde gelegt. Diese Daten werden jährlich von den Betreibern elektronisch als Beitrag zu dem internationalen ISOE-System (ISOE: Information System on Occupational Exposure) bereitgestellt und sind weitgehend deckungsgleich mit dem radiologischen Teil der Betriebsberichte für die RSK, d. h. ein Ausdruck der an das ISOE-System übermittelten Daten wird als Beitrag in den Betriebsbericht übernommen. Daten der RADAN-Datenbank vor dieser Vereinbarung beruhen auf einer parallelen Datenerfassung der EU und der GRS mit einem dem ISOE vergleichbaren Datenumfang und einer vergleichbaren Qualität.

4 Anlagenvergleich

4.1 Sachstand GKN-1

4.1.1 Einordnung und Charakterisierung der Anlage

Die Anlage GKN-1 ist ein von Siemens-KWU gelieferter 3-Loop-Druckwasserreaktor mit einer Nennleistung von 840 MWe, dessen radiologische Auslegung der des ersten Druckwasserreaktors der 4-Loop Siemens-KWU-Anlagen der Leistungsklasse 1300 MW entspricht. Er ist bezüglich der Auslegung in die 2. Generation der DWR einzuordnen. Die Anlage wurde am 1.5.1976 erstmals kritisch und am 1.12.1976 kommerziell übergeben.

Zum Zeitpunkt der Planung der Anlage lagen noch keine einschlägigen Erfahrungen des Strahlenschutzes bezüglich der Bedeutung von Spalt- und Aktivierungsprodukten für die Exposition des Personals bei Betrieb und Revision vor, diese wurden erst durch die Auswertung von Betriebserfahrungen im Betrieb des Kernkraftwerkes Stade (KKS) im Laufe der 70er Jahre erarbeitet und flossen entsprechend später in die Auslegung von Kernkraftwerken (KKW) und in das Regelwerk ein (IWRS I Juli 1978, KTA 1301.1 1984). Aufgrund der seinerzeit nicht absehbaren Auswirkungen auf die künftige radiologische Situation in der Anlage wurde bei der Materialwahl auf übliche, an den Aufgaben und system- und sicherheitstechnischen Anforderungen und Auslegungsbedingungen orientierten Materialien mit üblichen, aber aus heutiger Sicht radiologisch ungünstigen Legierungsanteilen, zurückgegriffen. Diese Anteile von korrodier- und insbesondere aktivierbaren Materialien führen als Korrosions- und Aktivierungsprodukte im späteren Betrieb zur Ablagerung von z. T. intensiv strahlenden Isotopen auf den inneren Oberflächen von Kühlmittel benetzten Rohrleitungen und Komponenten, die zu hohen Dosisleistungen an diesen Bereichen führen und im praktischen Strahlenschutz angemessene Maßnahmen zur Reduzierung und Optimierung der Exposition des Personals bei Tätigkeiten in der Anlage erfordern.

GKN-1 wies somit ursprünglich, wie die im gleichen Zeitraum ausgelegten Anlagen, auslegungsbedingt ungünstige radiologische Ausgangsbedingungen auf, die auch bei konsequentem Einsatz von Strahlenschutzmaßnahmen zu einem Ansteigen der Kollektivdosen in der Anlage führten (siehe Abb. 4.1-1). Zur gezielten Reduzierung der Dosisleistung in der Anlage wurden schrittweise Materialien, die zur Bildung von langlebigen gamma-strahlenden Aktivierungsprodukten führen, so weit wie möglich ausgetauscht.

Hierzu gehören insbesondere Stellite und Materialien mit hohen Kobaltanteilen in den Kerneinbauten, Armaturen und Brennelementen sowie darüber hinaus auch Antimonhaltige kühlmitelbenetzte Lager in den Hauptkühlmittelpumpen, die zu einem Antimon-Eintrag in das Kühlmittel und hohen Dosisleistungen durch die Aktivierungsprodukte geführt hatten. Weiterhin wurde eine Reihe von Maßnahmen ergriffen, um die Exposition bei Durchführung von Tätigkeiten zu reduzieren. Hierzu gehören z. B. Umrüstungen an den Hauptkühlmittelpumpen (HKMP) zur Reduzierung der Dosis bei Wiederkehrenden Prüfungen oder die frühzeitige Nutzung von Dekontaminationsmaßnahmen an Behältern.

4.1.2 Kollektivdosisverlauf

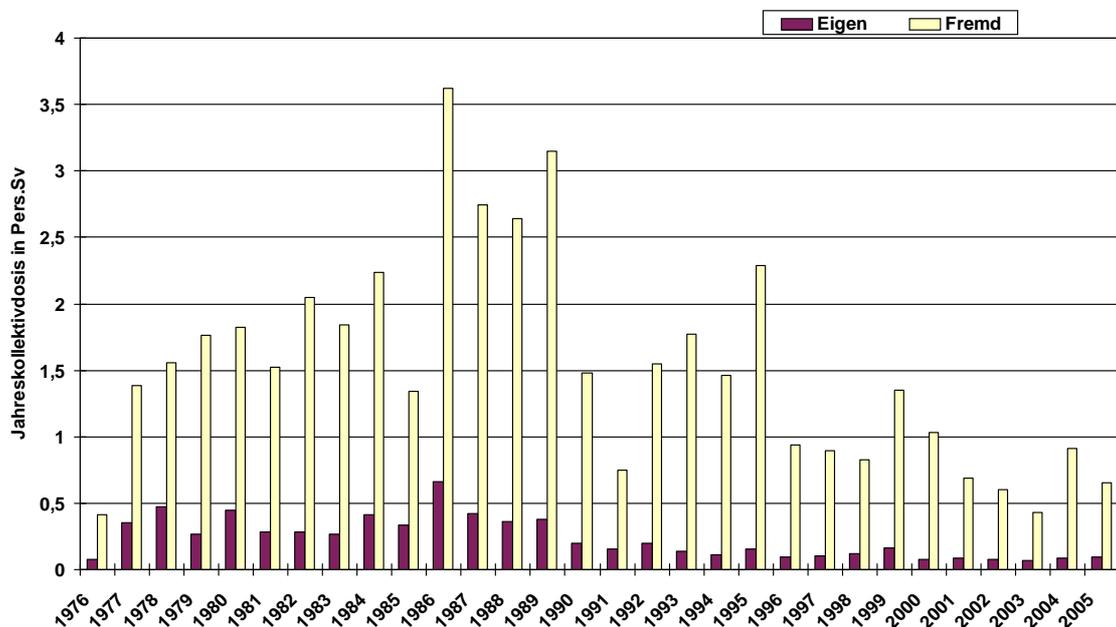


Abb. 4.1-1 Jahreskollektivdosis der Anlage GKN-1 von 1976 bis 2005

Die Daten des Kollektivdosisverlaufs von GKN-1 zeigen für den dokumentierten Zeitraum folgende wesentliche Informationen:

- Die Kollektivdosis steigt trotz z. T. sinkender Revisionsdauern bis 1984 fast linear an. Z. T. ist dieser Anstieg auf den Aufbau der Aktivierungsprodukte zurückzuführen. Der niedrige Kollektivdosiswert in 1985 ist auf eine sehr kurze Revision zurückzuführen.

- In den 4 Jahren 1986 bis 1989 liegen die Kollektivdosen für GKN-1 in ihrem höchsten Bereich zwischen etwa 3 Pers.Sv und 4,3 Pers.Sv. Dieser Zeitraum korreliert mit längeren Revisionsdauern zwischen 78 Tagen und 140 Tagen, in denen umfangreiche Arbeiten in höheren Dosisleistungsfeldern durchgeführt wurden. Hierzu gehörten in den Revisionen dieses Zeitraums umfangreiche Prüfungen der Kernumfassungsschrauben, Austausch von Niederhalterfedern im Kerngerüst, US-Prüfungen und Umbauarbeiten am Reaktordruckbehälter (RDB) (Einbau von Führungsrohren für Füllstandsüberwachung), Arbeiten am TH-System und Ultraschall-Prüfungen von Brennelement (BE)-Zentrierstiften. Dabei ist festzustellen, dass die Kollektivdosen in diesem Zeitraum im Vergleich zu Anlagen der gleichen Generation deutlich niedriger liegen.
- In den folgenden Jahren fallen die Kollektivdosen deutlich unter die Werte der Vorjahre und liegen für die während Betrieb und Revision akkumulierten Kollektivdosen bis 1995 in der Regel unter 2 Pers.Sv und in den nachfolgenden Jahren bis auf zwei Ausnahmen unter 1 Pers.Sv.
- Die beiden Ausnahmen von den vorstehen beschriebenen Trends (1995 mit 2,44 Pers.Sv und 1999 mit 1,5 Pers.Sv) sind für 1995 auf verschiedene Prüfungen sowie insbesondere auf Nachrüstungen in den Systemen TA/TF/TH zurückzuführen; in 1999 wurde neben der Revision mit BE-Wechsel ein zweiter BE-Wechsel zur Optimierung des Brennstoffeinsatzes durchgeführt, der zu einer höheren Kollektivdosis führte.
- Die Kollektivdosis fällt revisionsbedingt zum größten Teil beim Fremdpersonal an. Über die Betriebszeit der Anlage liegt der Anteil des Eigenpersonals an der Gesamtkollektivdosis bis auf wenige Ausnahmen in einem Band zwischen etwa 10 % bis 15 %. Der hohe Anteil des Fremdpersonals ist konzeptionsbedingt und gilt für alle Kernkraftwerke in Deutschland, da nur mit Fremdpersonal der umfassende Arbeitsaufwand innerhalb der zur Verfügung stehenden Revisionszeit abzuwickeln ist. Hinzu kommt, dass es sich bei einem nennenswerten Teil des Personals um hochqualifizierte Spezialisten handelt, die von der Anlage nicht vorgehalten werden.
- Im Vergleich zu den Kollektivdosen der anfänglichen Jahre konnte die Kollektivdosis für den Betrieb der Anlage auf weniger als die Hälfte reduziert werden.

4.1.3 Einschätzung des Arbeitsumfangs

Die Jahreskollektivdosis ist im Zusammenhang mit dem im jeweiligen Jahr angefallenen Arbeitsumfang zu sehen. Als orientierende Größen stehen die Revisions- und Stillstandszeiten sowie die Information über die Aufenthaltszeit von Personal im Kontrollbereich (Mann-Stunden im Kontrollbereich) zur Verfügung. Aus Abb. 4.1-2 gehen die Daten der Revisionsdauern und Stillstände hervor. Es werden hierbei Trends hinsichtlich der Entwicklung der Revisionsdauern erkennbar, aus denen hervorgeht, in welchen Jahren längere Revisionen mit wahrscheinlich größerem Umfang durchgeführt wurden. Es wird deutlich, dass nach den einzelnen Jahren zu Beginn des Betriebs (Großrevision 1979, beschriebene umfangreiche Revisionen 1986-1989) die Revisionsdauern reduziert wurden. Insbesondere in den letzten Jahren weisen die Revisionen vergleichsweise niedrige und stabile Revisionsdauern von häufig unter 25 Tagen auf. Die Abbildung zeigt, dass längere ungeplante Stillstände in GKN-1 nicht aufgetreten sind; es wurden nur einzelne kurze Stillstände dokumentiert.

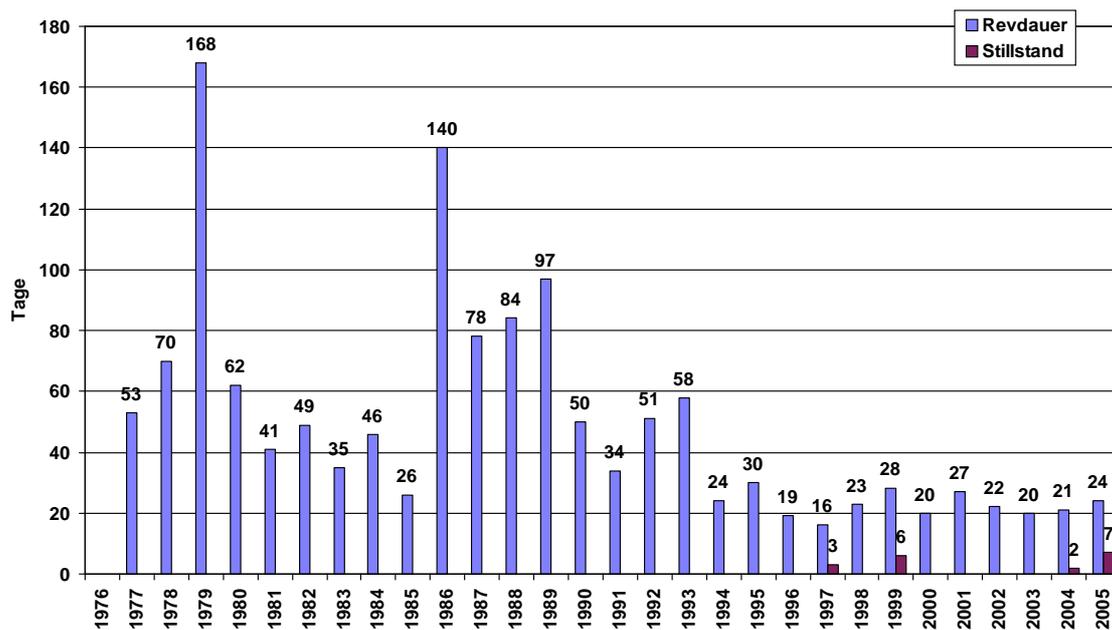


Abb. 4.1-2 Revisionsdauer und Stillstandsdauer in GKN-1

Da die Ausfüllung der jeweiligen Revisions- und Stillstandstage eine große Bandbreite umfassen kann, wird als weitere Bewertungsgröße für den Tätigkeitsumfang der Aufenthalt von Personal im Kontrollbereich (KB) benutzt (siehe Abb. 4.1-3). Daten für die Mannstunden im Kontrollbereich liegen seit Anfang der 90er Jahre vor.

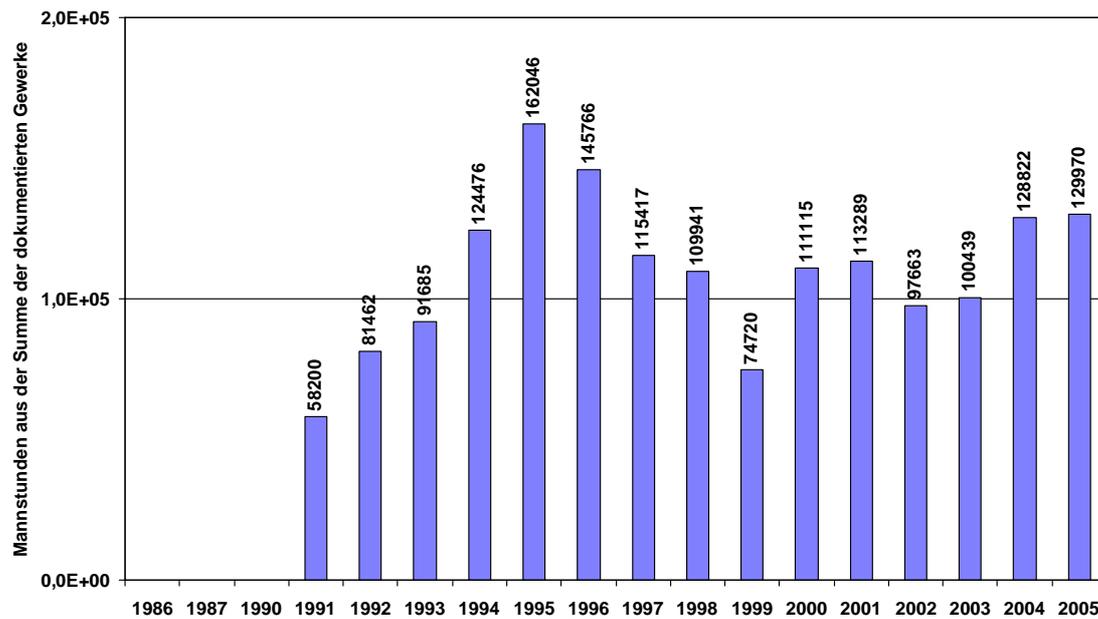


Abb. 4.1-3 Aufenthaltsdauer des Personals (Mannstunden) im KB von GKN-1
Für die Jahre 1991 bis 1993 sowie für 1999 berücksichtigen die angegebenen Mannstunden nicht die Gesamtaufenthaltsdauer im Kontrollbereich sondern nur den Aufenthalt für die wichtigen radiologisch relevanten Tätigkeiten.

Auch bei der Bewertung der Aufenthaltsdauer im Kontrollbereich (Abb. 4.1-3) werden gewisse Annahmen unterstellt, da sie nicht nur die reine Arbeitszeit im Kontrollbereich vor Ort abdeckt, sondern neben der Arbeitszeit vor Ort auch Wegezeiten sowie Warte- und Rüstzeiten enthält. Zudem deckt in diesem Fall die Aufenthaltsdauer alle durchgeführten Tätigkeiten vom Rundgang bis zu dosisintensiven Tätigkeiten ab. Die Erfahrung zeigt aber, dass im Mittel das Verhältnis zwischen Zeiten „vor Ort“ und den anderen Beiträgen etwa vergleichbar ist und somit diese gemittelten Daten als Orientierung bezüglich des Arbeitsaufwandes angesehen werden können. In Verbindung mit der Kollektivdosis kann eine mittlere tätigkeitsbezogene Dosisleistung abgeleitet werden, die – unter den gleichen Randbedingungen und Annahmen wie vorstehend beschrieben – als Maß für die mittlere radiologische Situation in der Anlage gewertet werden kann (siehe hierzu Abb. 4.1-4). Bei zeitlich und bezüglich der Tätigkeiten höher aufgelösten Betrachtungen können diese mittleren tätigkeitsbezogenen Dosisleistungen auch als Maß für die Bewertung der radiologischen Situation bei Einzeltätigkeiten oder Tätigkeitsgruppen herangezogen werden. Bezüglich der Daten der Mannstunden ist darauf hinzuweisen, dass für die Jahre 1991 bis 1993 sowie für 1999 die angegebenen Mannstunden nur den Aufenthalt für die wichtigen radiologisch relevanten Tätigkeiten berücksichtigen, während die Daten der anderen Jahre den gesamten Umfang der Aufenthalte von Personal abdecken. Aus Abb. 4.1-3 lässt sich ableiten:

- Die für Tätigkeiten dokumentierte Aufenthaltsdauer im Kontrollbereich ist von 1991 (erster verfügbarer Datensatz) bis 1995 deutlich angestiegen; bis 1993 ist dieser Anstieg – trotz der Einschränkung der Daten auf dosisrelevante Tätigkeiten - konsistent mit dem Anstieg der Revisionsdauern. Ab 1994 steigt die Zahl der Mannstunden wegen der vollständigen Abdeckung des Aufenthalts deutlich an; dabei sinken die Revisionsdauern trotz hoher Zahl der Mannstunden auf niedrige Werte. Hintergrund ist der Einsatz mehrerer Schichten in der Revision, wodurch die Revisionsdauern reduziert werden konnten.
- Für die Jahre ab 1997 zeigt sich ein relativ stabiler Personaleinsatz entsprechend dem Tätigkeitsumfang zwischen rund 100.000 Mannstunden und ca. 130.000 Mannstunden. Dabei ist das Jahr 1999 wegen der auf radiologisch relevante Tätigkeiten eingeschränkten Dokumentation nicht zu berücksichtigen.

4.1.4 Radiologische Arbeitsbedingungen

Abb. 4.1-4 verdeutlicht für GKN-1 die über alle Tätigkeiten und Kontrollbereichsaufenthalte jedes Jahres errechnete mittlere tätigkeitsbezogene Dosisleistung eines Jahres. Bei der Wertung der mittleren tätigkeitsbezogenen Dosisleistungen sind die vorstehend angesprochenen Unterschiede in der Abdeckung der Mannstunden zu berücksichtigen: es ist zu erwarten, dass für die Jahre, in denen die Angabe der Mannstunden nur auf die zur Gesamtdosis beitragenden radiologisch relevanten Tätigkeiten beschränkt ist, entsprechend höhere mittlere Dosisleistungen ermittelt werden als bei Zugrundelegen der Gesamtstundenzahl (Aus Gründen der Datenkonsistenz werden die Daten aus dem Jahr 1999 nicht betrachtet).

Aus der Abbildung wird deutlich, dass

- Wie erwartet für die Jahre 1991 bis 1993 sowie den Abschnitt 1994/1995 höhere mittlere Dosisleistungen im Bereich zwischen 12,7 $\mu\text{Sv/h}$ und 21,4 $\mu\text{Sv/h}$ registriert werden, wobei in diesem Zeitraum einerseits Tätigkeiten in Bereichen mit höheren Dosisleistungen durchgeführt wurden, andererseits aber die Mittelwerte für den Zeitraum 1991 bis 1993 zusätzlich aus den oben beschriebenen Gründen erhöht sind.
- In den Jahren ab 1996 liegen die mittleren tätigkeitsbezogenen Dosisleistungen zwischen etwa 5 $\mu\text{Sv/h}$ und 9,9 $\mu\text{Sv/h}$, wobei sich unter Berücksichtigung der revisionsbedingten Schwankungen insbesondere in den letzten Jahren noch ein leicht sinkender Trend abzeichnet und auch in Jahren mit dosisintensiven Tätigkei-

ten (2001: US-Prüfung Reaktordruckbehälter (RDB) und Hauptkühlmittelleitungen, Druckprobe Primärkreis; 2002: Leckratenprüfung Sicherheitsbehälter, Wirbelstromprüfung 2 Dampferzeuger, Reinigung aller Dampferzeuger (DE); 2005: US Prüfung RDB, Prüfung Kernbehälter/Kernumfassung, Kabeltragkonstruktionen im Sumpf des Reaktor Gebäudes) niedrige mittlere tätigkeitsbezogene Dosisleistungen erreicht werden.

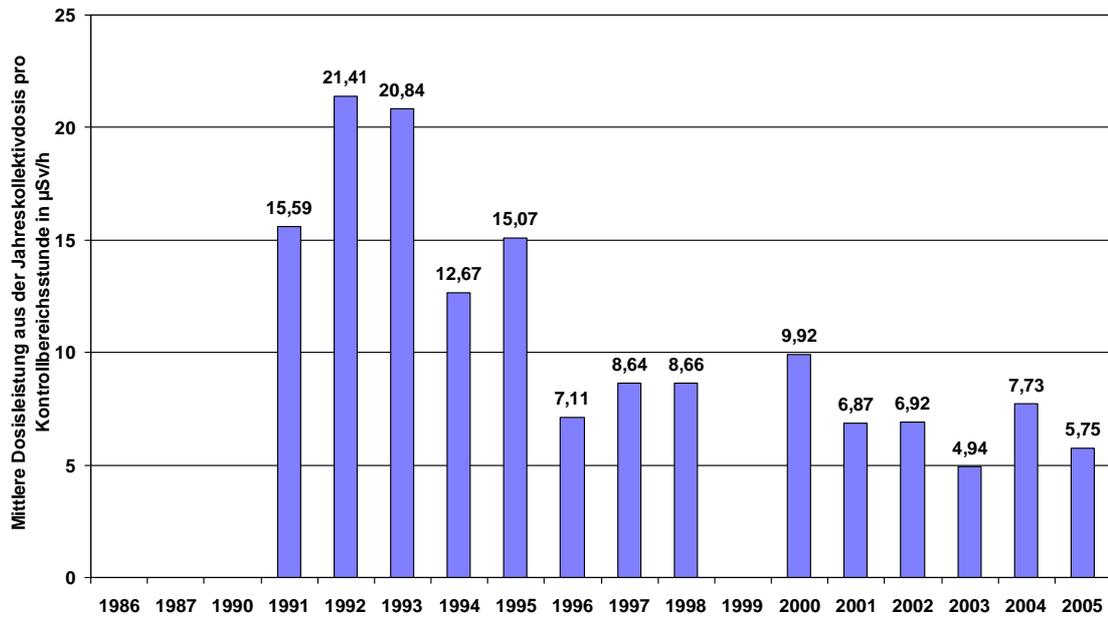


Abb. 4.1-4 Mittlere tätigkeitsbezogene Dosisleistung in GKN-1 bezogen auf alle Tätigkeiten und den Aufenthalt des Personals im Kontrollbereich während des jeweiligen Jahres
Aus Gründen der Datenkonsistenz werden die Daten aus dem Jahr 1999 nicht betrachtet.

Während die Daten der mittleren tätigkeitsbezogenen Dosisleistung aus Abb. 4.1-4 eine über die Arbeitsbedingungen gemittelte Situation charakterisieren, geben Messwerte der Dosisleistung an ausgewählten Positionen „vor Ort“ in der Anlage einen Eindruck zum Ursprung dieser Daten. Ausgewählt als Vergleichspositionen liegen hier die Daten aus der Mitte der Wasserkammer der Dampferzeuger (heiße/kalte Seite) sowie die Dosisleistungen an den Hauptkühlmittelleitungen in der Nähe des Reaktordruckbehälters vor. Unterschieden sind hier die Messwerte an der „heißen“ Seite (Ausgang des RDB und Eingang des Dampferzeugers) und der „kalten“ Seite (Ausgang des Dampferzeugers und Eingang des RDB). Die Daten sind in den Abbildungen Abb. 4.1-5 (Dampferzeuger „heiße“ Seite), Abb. 4.1-6 (Dampferzeuger kalte Seite) dokumentiert. In Abb. 4.1-7 sind die Daten zu einem Gesamt-Mittelwert zusammengefasst, d. h. der Mittelwert aller Daten der „heißen“ und „kalten“ Seite der Kühlmittelleitungen für das jeweilige Jahr dargestellt.

Aus den Abbildungen lässt sich für die Trends der Messwerte in den beiden Bereichen ablesen:

- Für die Dampferzeuger sind im dokumentierten Zeitraum auf der „heißen“ Seite überwiegend Messwerte um 70 mSv/h zu verzeichnen, wobei einzelne Messwerte einzelner Dampferzeuger auch höher liegen (siehe 1993, 2002). Auf der „kalten“ Seite liegen die gemessenen Dosisleistungen in einem Band zwischen 120 mSv/h und 70 mSv/h.
- Ergänzend ist darauf hinzuweisen, dass GKN-1 zur Reduktion der Dosisleistung in 2002 eine Dekontamination/Reinigung aller Dampferzeuger durchführte und seit August 2005 abgereichertes Zink in das Kühlmittel einspeist, um die Dosisleistung durch die Verdrängung von Co 60 aus den Oberflächen weiter zu senken (siehe auch Aktivitätskonzentration im Kühlmittel, Abb. 4.1-8). Vergleichs-Messwerte hierzu liegen uns nicht vor.

Bei der Interpretation der Darstellungen ist zu berücksichtigen, dass

- nur Daten vorliegen, wenn Dampferzeuger während der Revision geöffnet wurden; dies begründet die scheinbar „fehlenden“ Messwerte in Abb. 4.1-6 für einzelne Primärkreislaufschleifen (Loopleitungen).
- die Messwerte von Jahr zu Jahr und von Dampferzeuger zu Dampferzeuger in einem gewissen Umfang schwanken, so dass auch nennenswerte Ausreißer aus dem langfristigen Trend der Messwerte wie z. B. für 2002 möglich sind.

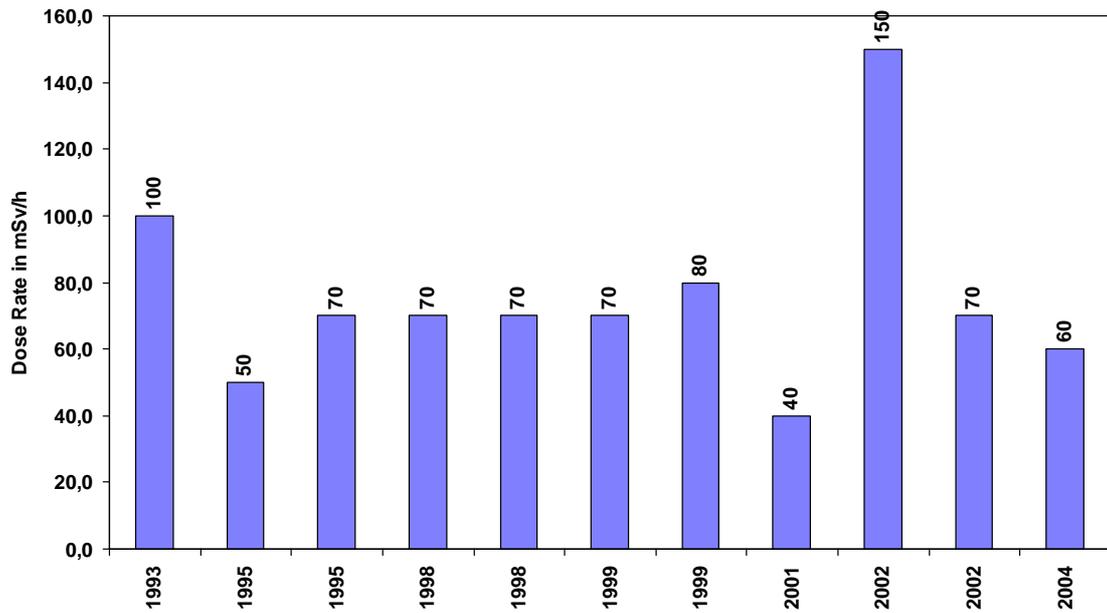


Abb. 4.1-5 Dosisleistung in der Dampferzeuger-Wasserkammer von GKN-1, „heiße Seite“

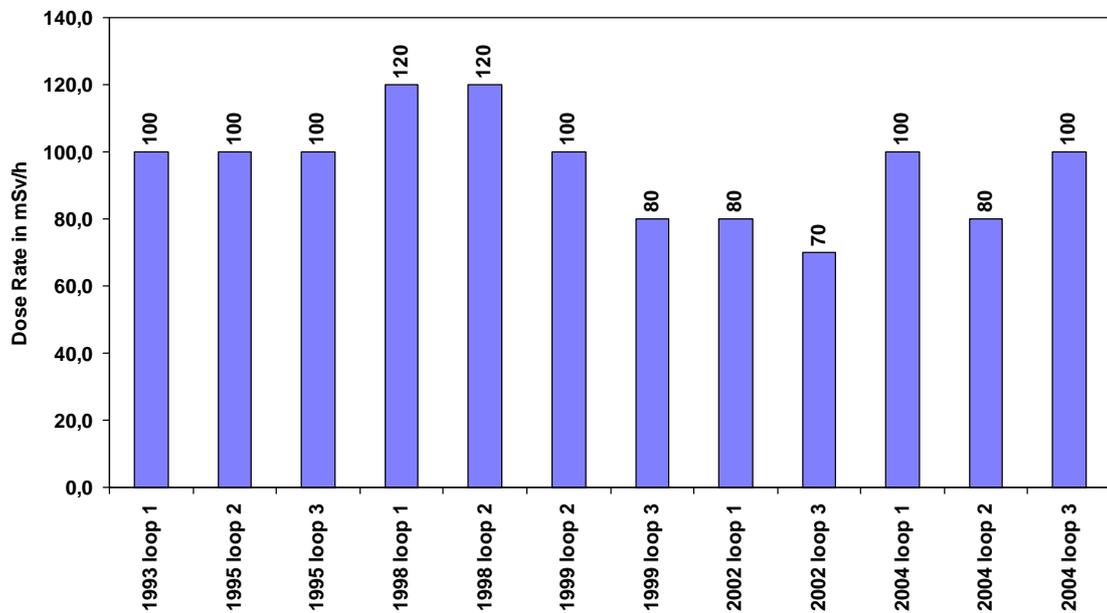


Abb. 4.1-6 Dosisleistung in der Dampferzeuger-Wasserkammer von GKN-1, „kalte Seite“

Für die über die Daten der heißen und kalten Seite gemittelten Daten der mittleren Dosisleistungswerte an den Hauptkühlmittelleitungen werden in Abb. 4.1-7 Werte in einem Band zwischen 0,91 mSv/h und 1,6 mSv/h dokumentiert.

Auch für die Messwerte an den Hauptkühlmittelleitungen wären für eine genauere Bewertung weitere Randbedingungen zu beachten; so ist es relevant, ob bei den Messungen die Leitungen gefüllt oder entleert waren und ob die Messwerte bei demontierter Wärmeisolierung im Kontakt mit der Leitung oder im Abstand von der Leitung an der Oberfläche der Isolierung genommen werden. So ist z. B. der Unterschied zwischen 2004 und 2005 zum Teil darauf zurückzuführen, dass bei den Messungen in 2004 2 von 3 Loops nicht mit Wasser gefüllt waren.

Hintergrund für die niedrigen Dosisleistungen sind die bereits frühzeitig durchgeführten Maßnahmen zur Dosisleistungsreduzierung durch Austausch von Kobalt- und Antimonhaltigen Materialien. Die 2005 eingeführte Einspeisung von abgereichertem Zink in das Primärkühlmittel, mit dem das in die Materialoberflächen eingelagerte Co 60, das den wesentlichen Teil der Dosisleistung der Aktivierungsprodukte verursacht, durch Austausch mobilisiert werden soll, zielt auf eine weitere Reduzierung der Dosisleistung.

Weitere dosisleistungsreduzierende Maßnahmen werden gezielt komponenten- und systembezogen in den in der Revision beteiligten Bereichen entsprechend der gängigen Strahlenschutzpraxis durchgeführt.

Aufgrund des frühzeitigen Austauschs von Kobalt haltigen Materialien in der Anlage werden damit für eine Anlage dieser Generation sehr niedrige Dosisleistungen im Bereich des Primärkreises und der Dampferzeuger erreicht.

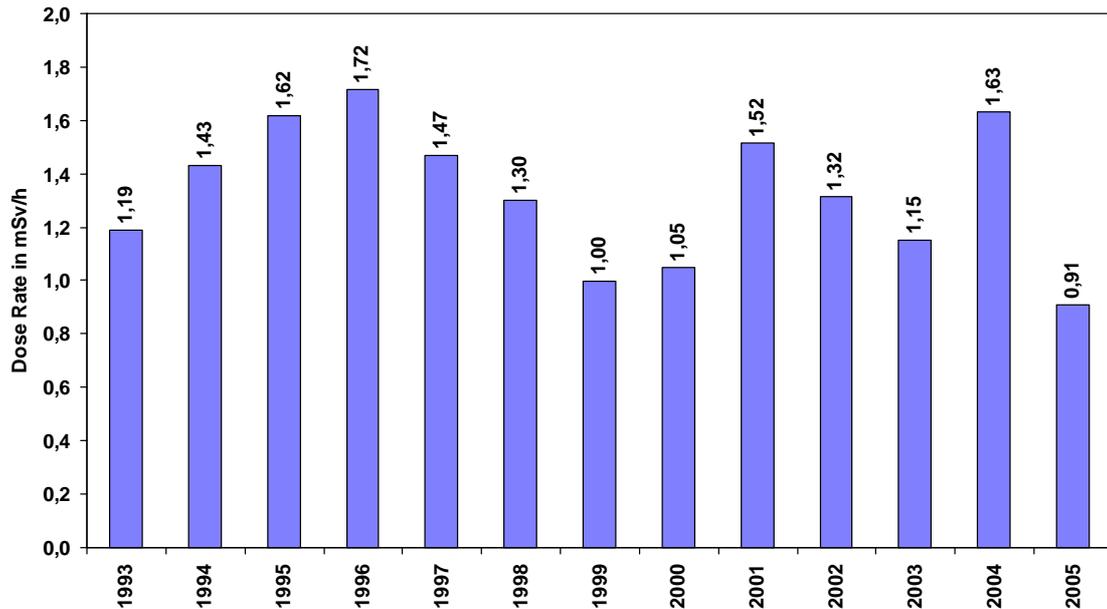


Abb. 4.1-7 Mittlere Dosisleistung an den Hauptkühlmittelleitungen, jeweils Mittelwert über alle Messungen (heiße/kalte Seite) eines Jahres in GKN-1

Die Ausgangssituation und die Verläufe der Aktivitätskonzentration im Primärkühlmittel der Anlage, die im Wesentlichen durch die Auslegung, die Konstruktionsmaterialien und z. T. durch die Fahrweise (Kühlmittelchemie) bestimmt ist, kann der Abb. 4.1-8 entnommen werden; es zeigt sich, dass nach höheren Konzentrationen an Antimon 124 (Quelle: insbesondere Lager der HKMP) die Konzentrationen im Zeitraum 1990/1991 deutlich zurückgingen und die Co 60 (Stellite, Materialien mit höheren Legierungsanteilen von Kobalt) und Co 58 (Nickel-Legierungen, insbesondere DE-Heizrohre) Konzentrationen nach dem anfänglichen Anstieg sich seit etwa 1997 auf Werte um bzw. unter $1\text{E}6\text{ Bq/m}^3$ eingestellt haben, wenn man von den in der Revision ansteigenden Werten absieht. Der Anstieg der Konzentration von Kobalt im Kühlmittel in 2005 wird durch die Zink-Einspeisung hervorgerufen und verdeutlicht, dass Kobalt aus den Oberflächen gelöst wird, wodurch die Ausfilterung des Co 60 ermöglicht. Zu berücksichtigen ist dabei, dass die Dosisleistung an Arbeitsplätzen insbesondere durch die Konzentration des Co 60 an bzw. in den inneren Oberflächen der Komponenten und nicht durch die Konzentration des Co 60 im Kühlmittel hervorgerufen wird.

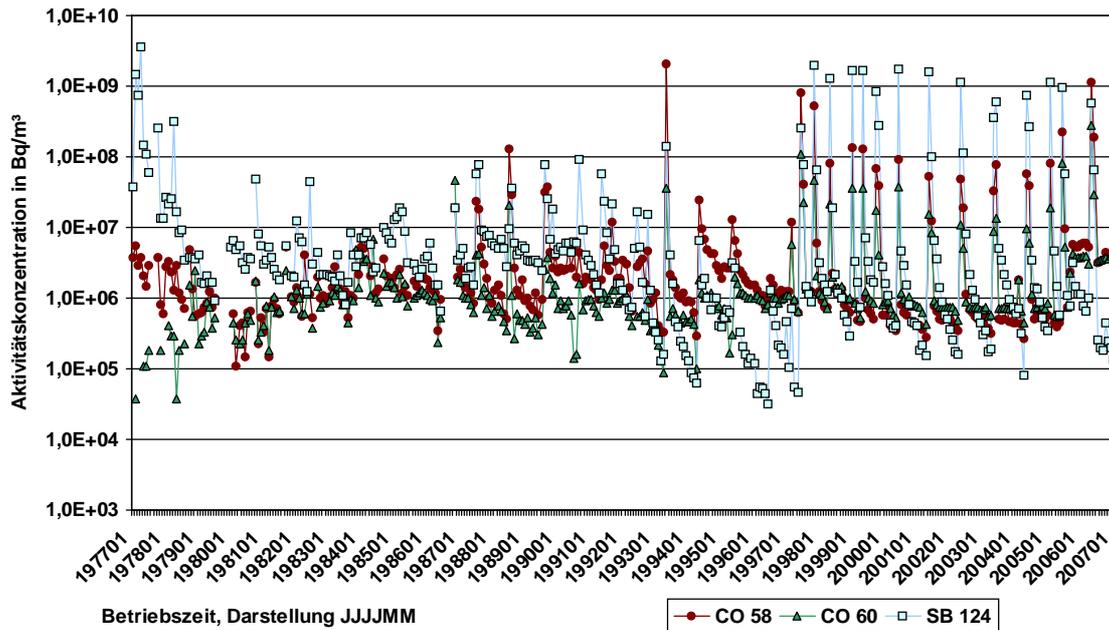


Abb. 4.1-8 Monatsmittelwerte der Aktivitätskonzentration in Bq/m³ radiologisch wichtiger Aktivierungsprodukte im Primärkühlmittel in GKN-1 (Beginn der Daten: Jan. 1977, Ende der Daten : Dez 2006)

4.1.5 Personenbezogene Exposition

Die Abb. 4.1-9 verdeutlicht den Personaleinsatz im Kontrollbereich von GKN-1. Die Zahl des eingesetzten Eigenpersonals beträgt nach einem langsamen Anstieg bis 1988 in den letzten Jahren mit kleineren Schwankungen langfristig etwa 400 Personen. Diese Zahl liegt deshalb relativ hoch, weil wegen der zweiten sich am Standort befindlichen Anlage GKN-2 eine größere Zahl von Personen als Eigenpersonal am Standort eingestellt ist und im Rahmen des jeweiligen Aufgabenbereichs auch im Kontrollbereich beider Anlagen tätig wird. Der Anstieg zwischen 1983 und 1988 resultiert zum Teil auch aus der Ausbildung des Eigenpersonals für den Block II; der Rückgang nach 1988 dokumentiert den Übergang auf den zweiten Block.

Zu berücksichtigen ist bei der Betrachtung der Personalzahlen im Kontrollbereich, dass Personen auch dann gezählt werden, wenn sie nur einen einzelnen kurzen Besuch im Kontrollbereich durchgeführt haben.

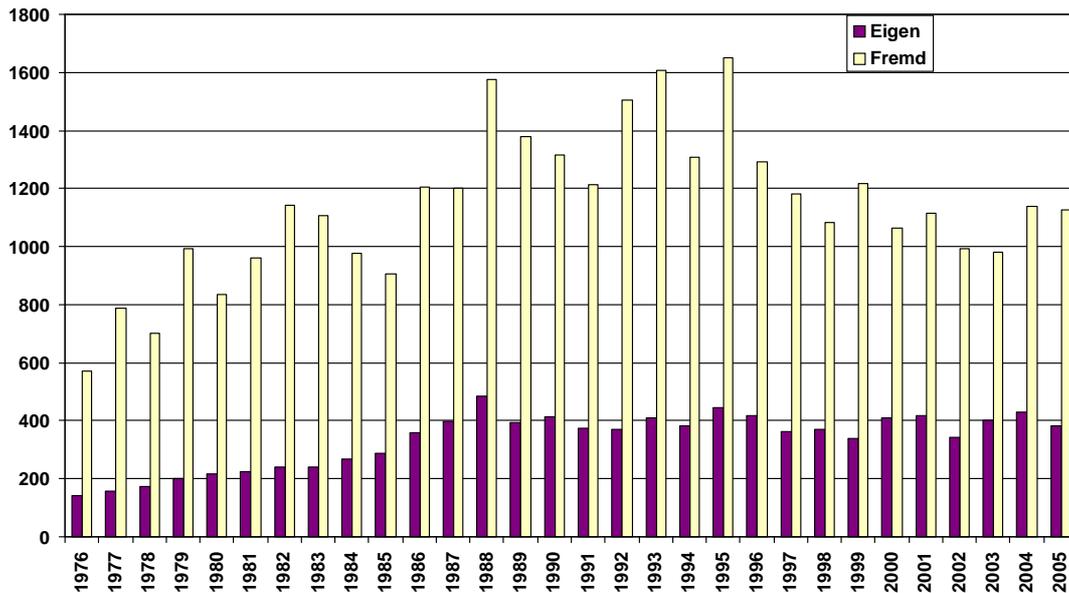


Abb. 4.1-9 Zahl der im Kontrollbereich eingesetzten Personen, aufgeschlüsselt nach Eigen- und Fremdpersonal, GKN-1

Unbenommen des langfristigen Trends im Einsatz von Fremdpersonal mit einem Anstieg bis Mitte der 90er Jahre und einem Absinken auf Werte im Bereich von 1000 bis 1200 Personen in den letzten Jahren schwankt der Einsatz des Fremdpersonals entsprechend dem Arbeitsumfang in der Anlage.

Hinweis:

Es ist darauf hinzuweisen, dass im Gegensatz zum Eigenpersonal nur ein kleiner Teil des Fremdpersonals im Rahmen von Verträgen das ganze Jahr am Standort eingesetzt wird. Der wesentliche Teil ist nur für einen begrenzten Zeitraum zur Durchführung eines bestimmten Gewerkes am Standort und kann darüber hinaus auch in weiteren Anlagen eingesetzt werden.

Dies hat insofern Auswirkungen auf die Personendosis, als die für die jeweilige Anlage angegebene Personendosis nicht die Jahresdosis (Individualdosis) des Fremdpersonals wiedergibt, sondern nur den anlagenspezifischen Anteil. Dies ist allerdings bei der hier angestrebten Gegenüberstellung nicht relevant, weil hier (nur) die in der jeweiligen Anlage aufgenommene Dosis diskutiert wird.

Aus Kollektivdosis und eingesetzter Personenzahl können orientierend mittlere Personendosen des Personals für das Eigen- und Fremdpersonal (anlagenbezogener Anteil) berechnet werden. Diese Daten sind in den Abb. 4.1-10 und Abb. 4.1-11 dargestellt, wobei unterschieden wird zwischen der Gesamtzahl des Personals im Kontrollbereich (Abb. 4.1-10) und der Gruppe der Personen, die im Kontrollbereich eine Exposition von

mindestens 1 μSv (gemessen mit betrieblichen Digitaldosimetern) erhalten haben (Abb. 4.1-11).

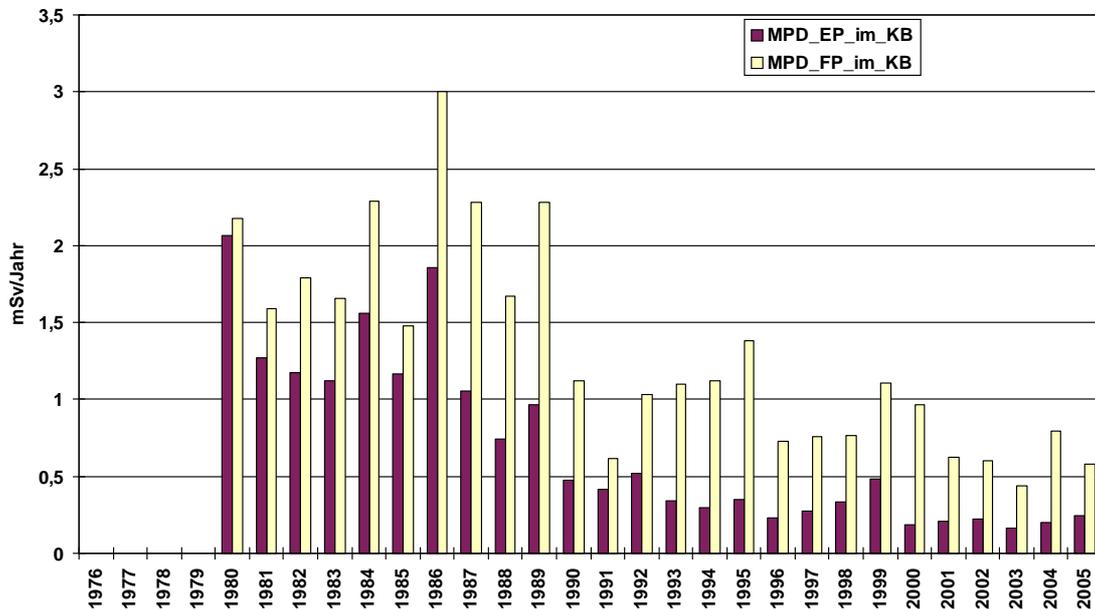


Abb. 4.1-10 Mittlere Personendosis des Eigen- und Fremdpersonals im Kontrollbereich von GKN-1
Personengruppe: Personen im Kontrollbereich

Die Daten zeigen, dass für die Gruppe aller Personen im Kontrollbereich die mittleren Personendosen des Eigenpersonals sich nach anfänglichen Werten zwischen 1 mSv/a und 2 mSv/a in den letzten Jahren auf Werte deutlich unter 0,5 mSv/Jahr sowie ab 2000 auf Werte zwischen 0,2 mSv/a und 0,3 mSv/a reduziert haben.

Beim Fremdpersonal liegen die mittleren Personendosen dieser Gruppe anfänglich zwischen 2 mSv und 3 mSv für den Zeitraum der Tätigkeit in dem Block. Die Personendosen reduzieren sich in den 90er Jahren auf Werte von in der Regel unter 1 mSv und sind in den letzten Jahren deutlich unter 1 mSv auf Dosen in den Bereich von 0,6 mSv gesunken.

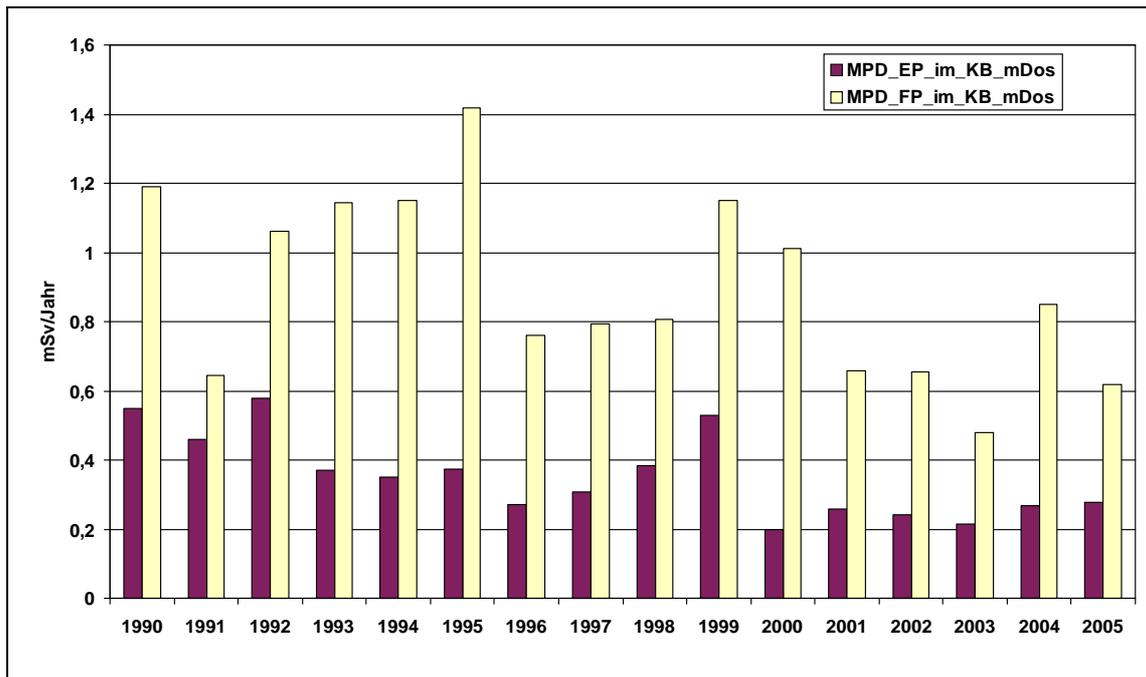


Abb. 4.1-11 Mittlere Personendosis des Eigen- und Fremdpersonals im Kontrollbereich von GKN-1.
 Personengruppe: Personen im Kontrollbereich mit Exposition $\geq 1 \mu\text{Sv}$
 Daten nur für den Zeitraum 1990 bis 2005 verfügbar

Bei Besuchen im Kontrollbereich erfährt eine größere Zahl von Personen – insbesondere Personen, die nur kurz tätig oder in Bereichen mit niedriger Dosisleistung tätig werden – keine Exposition. Bei Bezug auf die Gesamtzahl aller Personen wird die mittlere Personendosis damit reduziert. Aus diesem Grund wird zum Vergleich die mittlere Personendosis der kleineren Gruppe der Personen mit Exposition ausgewiesen. Die mittlere Personendosis dieser Gruppe wird erwartungsgemäß höher sein als die mittlere Personendosis aller Personen. Abb. 4.1-11 bestätigt dies. Die mittleren Personendosen steigen beim Eigenpersonal um ca. 0,01 mSv bis max. 0,07 mSv entsprechend einem Anteil zwischen 6 % und 30 % an. Bei Fremdpersonal ist der absolute Anstieg etwa 0,03 bis 0,07 mSv entsprechend einem relativen Anwachsen zwischen 2 % und 7 % bezogen auf die mittlere Personendosis des Personals im Kontrollbereich.

Die Auflösung der Exposition des Personals in einzelne Dosisintervalle sind für Eigen- und Fremdpersonal den Abb. 4.1-12 und Abb. 4.1-13 zu entnehmen. Trotz der wechselnden Intervallaufteilung wird deutlich, dass langfristig die Besetzungen höherer Dosisintervalle reduziert bzw. ganz vermieden wurden. So sind für das Eigenpersonal in den letzten Jahren nach 1999 Personendosen über 5 mSv nicht mehr aufgetreten. Für das Fremdpersonal reduzieren sich die Besetzungen des Intervalls 5 bis 10 mSv lang-

fristig auf Werte um 1 %, Dosen zwischen 10 mSv und 15 mSv sind nach 1990 deutlich auf Besetzungen um 0,1 % zurückgegangen und treten somit nur noch in Einzelfällen auf.

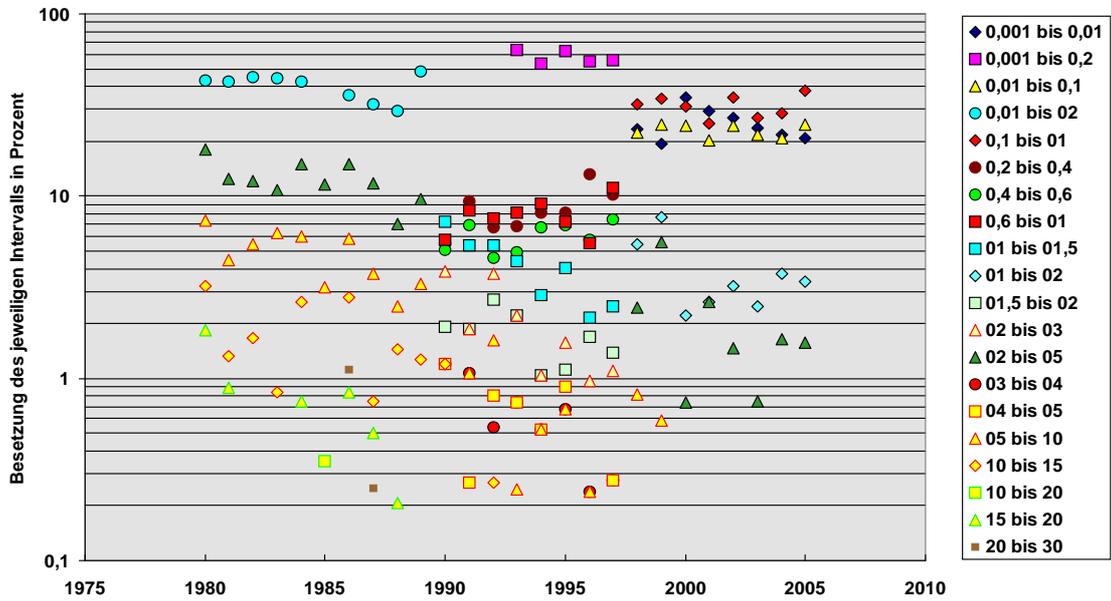


Abb. 4.1-12 Personendosisverteilung in GKN-1, Eigenpersonal
 Dosisangaben der Intervalle in mSv
 Bitte in 1990 und 1997 wechselnde Intervallaufteilung beachten

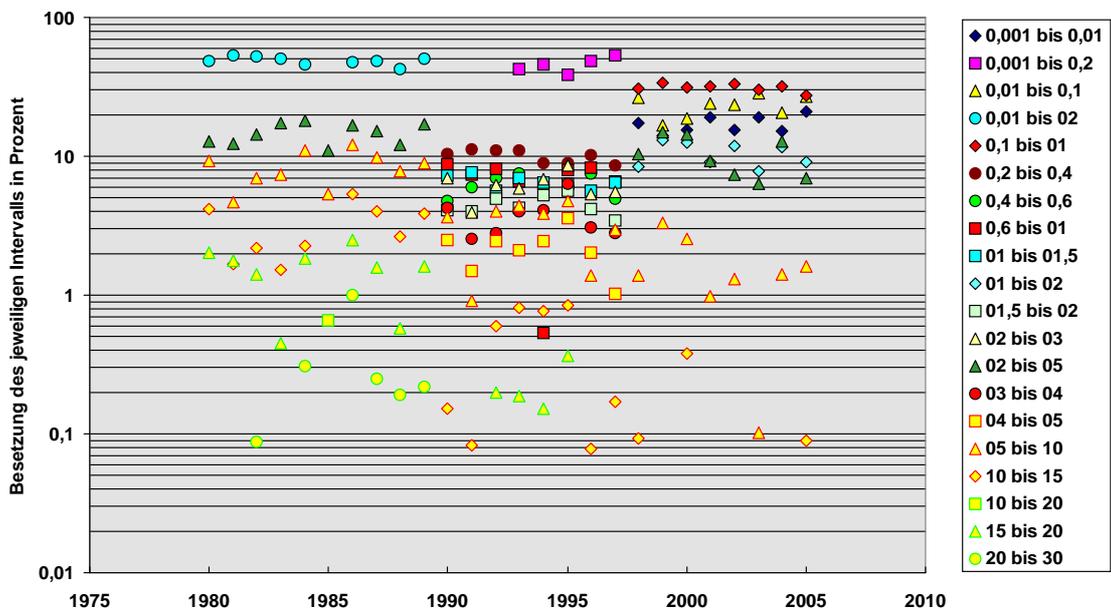


Abb. 4.1-13 Personendosisverteilung in GKN-1, Fremdpersonal,
 Dosisbeitrag nur aus GKN-1
 Dosisangaben der Intervalle in mSv
 Bitte in 1990 und 1997 wechselnde Intervallaufteilung beachten

4.2 Sachstand GKN-2

4.2.1 Einordnung und Charakterisierung der Anlage

Die Anlage GKN-2 gehört als letzter in Betrieb gegangener DWR (1. Kritikalität 1.12.1988, kommerzielle Übergabe 1.4.1989) der 4-Loop-Anlagen der Leistungsklasse 1300 MWe zur 4. Generation der deutschen DWR und zu den drei Konvoi-Anlagen.

Im Gegensatz zur Anlage GKN-1 lagen bei der Auslegung aus dem Betrieb der bisherigen Anlagen alle aus radiologischer Sicht wichtigen Betriebserfahrungen vor; darüber hinaus lagen bei der Planung und Auslegung der Anlagen Anforderungen an die Auslegung von Kernkraftwerken unter Strahlenschutz Gesichtspunkten in der einschlägigen Richtlinie und der entsprechenden technischen Fachregel (IWRS I , KTA 1301.1) vor. Die Umsetzung von IWRS I und KTA 1301.1, in denen die seinerzeit vorhandenen einschlägigen Kenntnisse und Erfahrungen des Einflusses der Anlagenauslegung auf die radiologischen Randbedingungen während des Anlagenbetriebs berücksichtigt wurden, stellt in GKN-2 sicher, dass in GKN-2 im Vergleich zu älteren Anlagen günstige radiologischen Randbedingungen vorliegen.

4.2.2 Kollektivdosisverlauf

Der Kollektivdosisverlauf in GKN-2 ist in Abb. 4.2-1 aufgetragen. Aufgrund der in allen Bereichen durch die Auslegung der Anlage optimierten radiologischen Randbedingungen kann die Anlage mit Kollektivdosen im Bereich zwischen 0,15 Pers.Sv und ca. 0,3 Pers.Sv pro Jahr betrieben werden. Erkennbar wird in der Verteilung die (weitere) Reduzierung der Kollektivdosis, die neben der Auslegung durch die Erfahrungen im betrieblichen Strahlenschutz und im Anlagenbetrieb erreicht werden konnten, sowie der langfristige sinkende Trend zu Werten um 0,15 Pers.Sv pro Jahr. Ausnahmen mit höheren Kollektivdosen wegen der umfangreicheren Revisionsarbeiten oder unvorhergesehener Reparaturen bilden die Jahre 1997 (u. a. Druckprobe und US-Prüfung des RDB, Wiederkehrende Prüfung (WKP) Primärkreis, WKP Dampferzeuger, Wartung und Inspektion Hauptkühlmittelpumpen (HKMP) sowie 2002 (Reparatur des Wärmeschutzrohres an einem Einspeisestutzen des Not- und Nachkühlsystems) und 2004 (längere Revision).

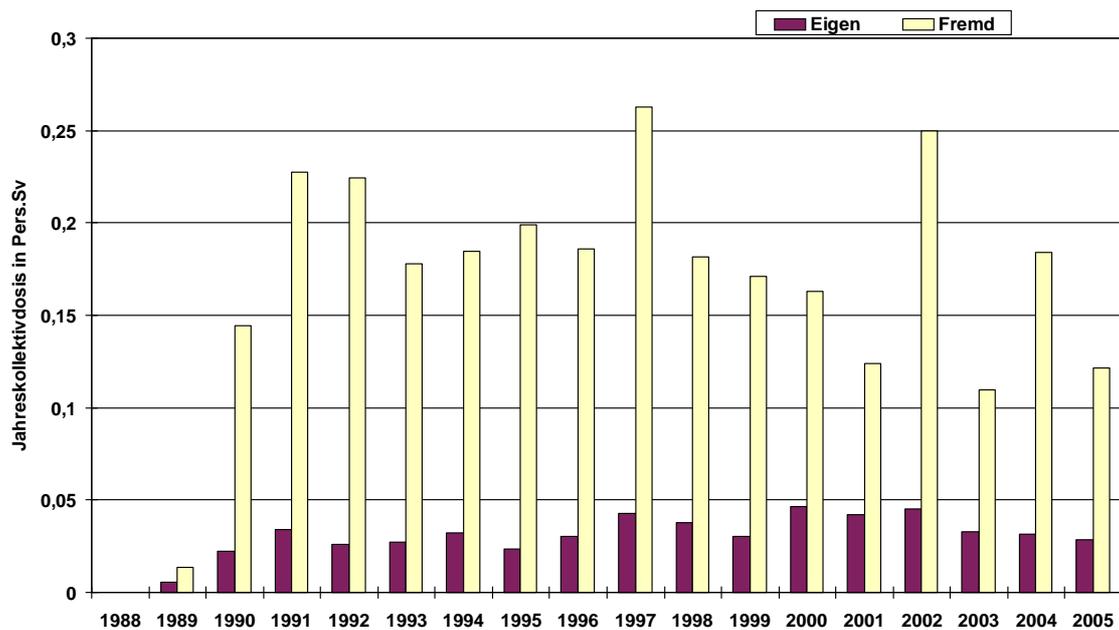


Abb. 4.2-1 Jahreskollektivdosis der Anlage GKN-2 von 1989 bis 2005

4.2.3 Einschätzung des Arbeitsumfangs

Entsprechend der Darstellung für die Anlage GKN-1 werden die Revisionsdauern sowie die Aufenthaltsdauer des Personals im Kontrollbereich diskutiert.

Abb. 4.2-2 zeigt die Revisionsdauer von GKN-2, die von anfänglichen 33 bzw. 34 Tagen (1990/1991) auf Zeiten von in der Regel unter 22 Tage mit einer Bandbreite zwischen 11 Tagen (Kurzrevision mit BE-Wechsel; Stillstand unabhängig von der Revision zur Reparatur einer Kleinstleckage) und 22 Tagen seit 1994 gesenkt wurde. Hiervon weichen einzelne Revisionen wegen des besonderen Umfangs nach oben ab (siehe 1997, 2002, 2004 und Begründung in Abschnitt 4.2.2). Dies deutet auf eine konsequente Revisionsplanung zur Umsetzung der durchzuführenden Maßnahmen im Prüf- und Instandsetzungsprogramm hin. Hinzu kommt, dass Tätigkeiten zur Vor- und Nachbereitung der Durchführung von Tätigkeiten, wie sie in älteren Anlagen aufgrund des radiologischen Basiszustandes ggf. trotz bereits getroffener dosisleistungsreduzierender Maßnahmen (siehe Diskussion für GKN-1) noch erforderlich sind, in GKN-2 nicht durchgeführt werden müssen und somit den erforderlichen Arbeitsumfang reduzieren.

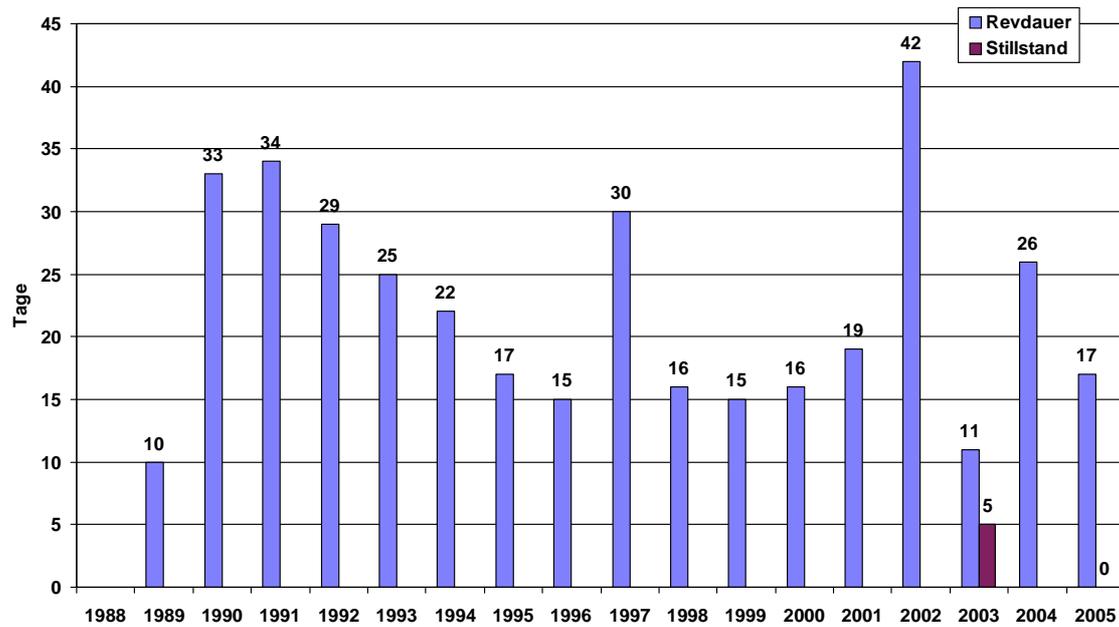


Abb. 4.2-2 Revisionsdauer und Stillstandsdauer in GKN-2

Für die in Abb. 4.2-3 dargestellten verfügbaren Daten der Aufenthaltsdauer des Personals im Kontrollbereich gelten vergleichbare Einschränkungen wie bei GKN-1: auch hier dokumentieren die Daten 1991 bis 1993 nur den Arbeitsaufwand für die radiologisch relevanten Tätigkeiten. Die weiteren Daten der folgenden Jahre liegen mit wenigen Ausnahmen bei Werten zwischen 100.000 Mannstunden und 110.000 Mannstunden und entsprechen damit im Niveau etwa den für GKN-1 nach 1997 dokumentierten Werten oder liegen geringfügig niedriger (z.B. 2004/2005). Der höhere Aufwand in 1997 resultiert aus dem bereits im Zusammenhang mit den Revisionsdauern diskutierten Aufwand der umfangreichen Revision.

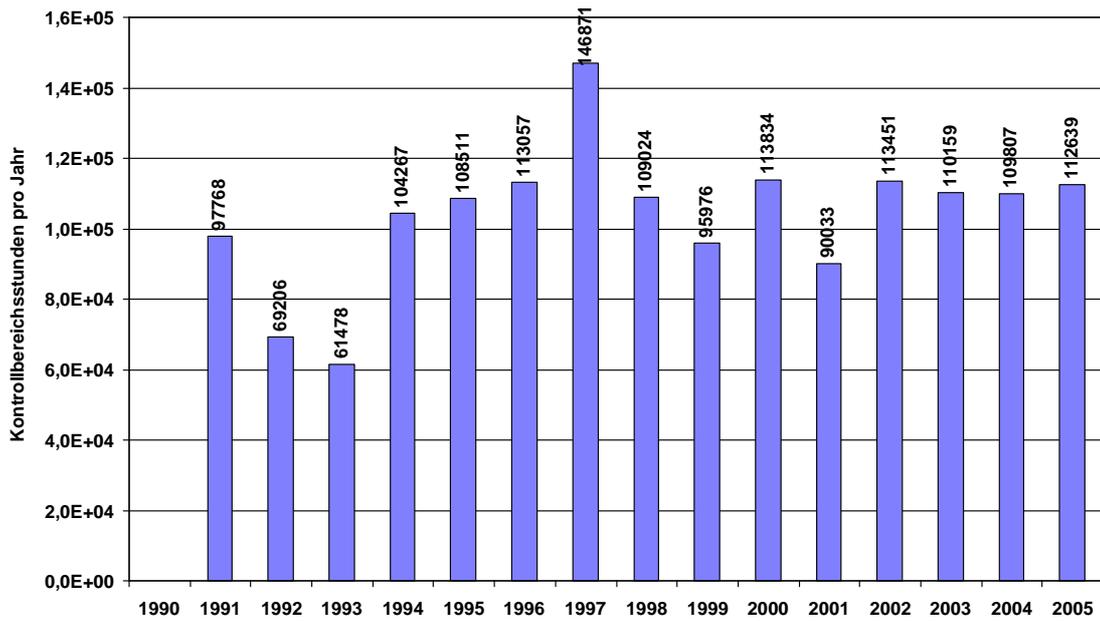


Abb. 4.2-3 Aufenthaltsdauer des Personals (Mann-Stunden) im Kontrollbereich von GKN-2

Für die Jahre 1991 bis 1993 berücksichtigen die angegebenen Mannstunden nicht die Gesamtaufenthaltsdauer im Kontrollbereich sondern nur den Aufenthalt für die wichtigen radiologisch relevanten Tätigkeiten.

4.2.4 Radiologische Arbeitsbedingungen

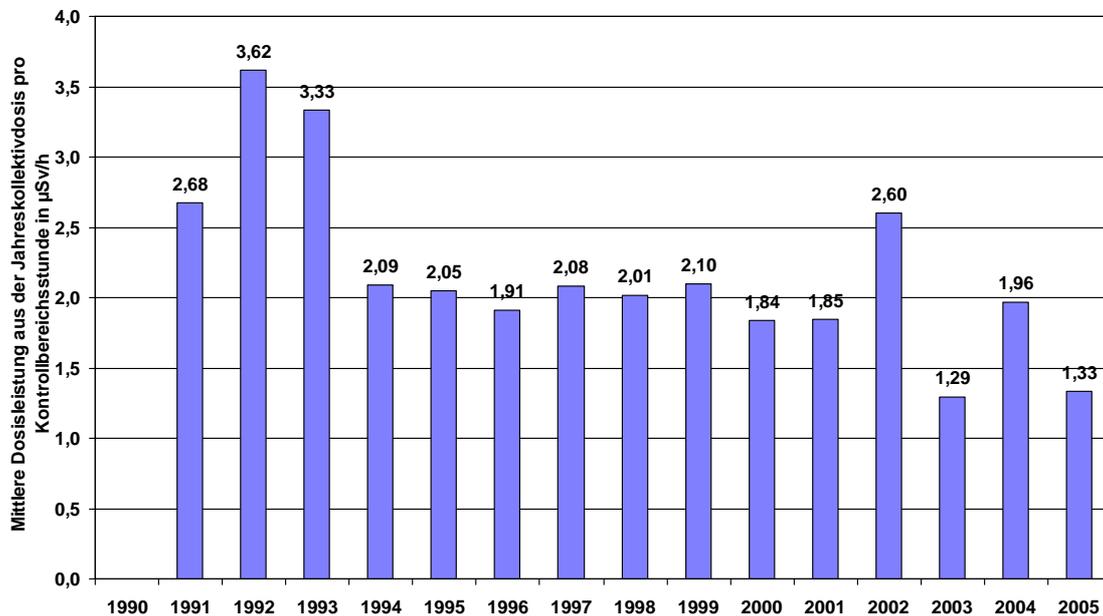


Abb. 4.2-4 Mittlere tätigkeitsbezogene Dosisleistung in GKN-2 bezogen auf alle Tätigkeiten und den Aufenthalt des Personals im Kontrollbereich während eines Jahres

Die radiologische Situation in GKN-2 wird aufgrund der niedrigen Kollektivdosis durch einen niedrigen Wert der berechneten mittleren tätigkeitsbezogenen Dosisleistung um etwa 2 µSv/h charakterisiert, wobei aufgrund der Randbedingungen der Mannstunden zwischen 1991 und 1993 höhere Werte berechnet werden, weil die angegebenen Zeiten im Wesentlichen nur die radiologisch relevanten Tätigkeiten umfassen. Der Wert in 2002 liegt höher, weil hier die Arbeiten zur Reparatur des Wärmeschutzrohres als Tätigkeit in für GKN-2 höheren Dosisleistungsfeldern beitrugen. In den Jahren 2003 und 2005 wurden in den Revisionen weniger dosisrelevante Tätigkeiten durchgeführt, so dass bei den reduzierten Kollektivdosen aber etwa gleich bleibenden Mannstunden die mittlere tätigkeitsbezogene Dosisleistung niedriger ist.

Hintergrund für diesen niedrigen Wert ist insbesondere die aufgrund der konsequenten Vermeidung entsprechender Materialien in den Konstruktionsmaterialien der Anlage gegebene niedrige Konzentration von Aktivierungsprodukten. Die Abb. 4.2-5 und Abb. 4.2-6 belegen dies mit den Hintergrunddaten der Dosisleistung in den Wasserkammern der Dampferzeuger, die langfristig bei Messwerten zwischen 8 mSv/h und 12 mSv/h („heiße“ Seite“) und 6,5 mSv/h und 12 mSv/h („kalte“ Seite) liegen. Auch hier liegen nur

Messwerte für die Dampferzeuger vor, die während der Revision für Prüfungen geöffnet wurden.

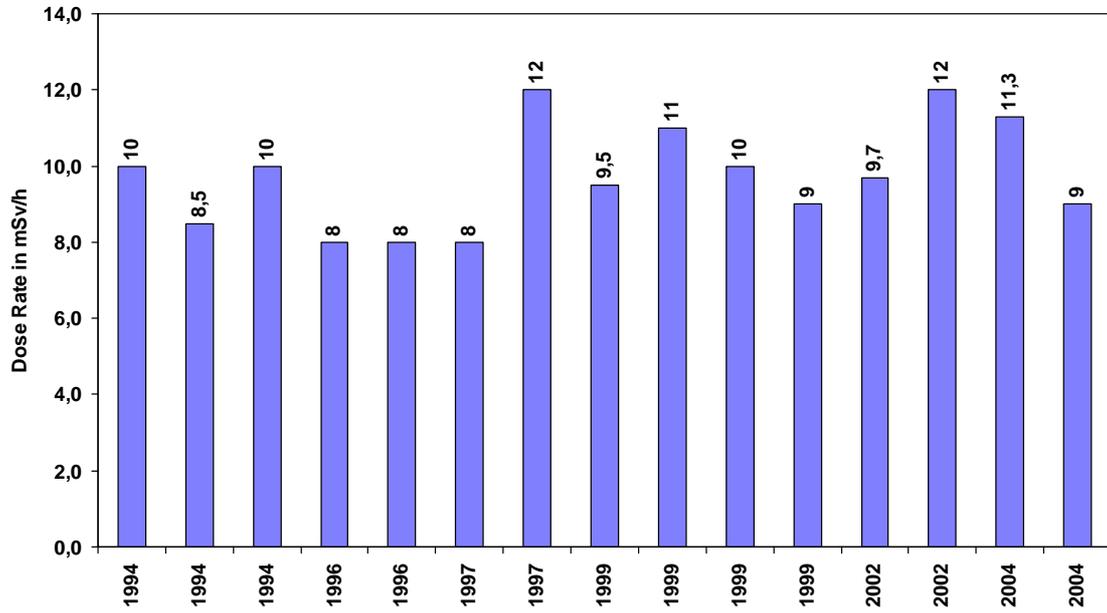


Abb. 4.2-5 Dosisleistung in der Dampferzeuger-Wasserkammer von GKN-2, „heiße Seite“

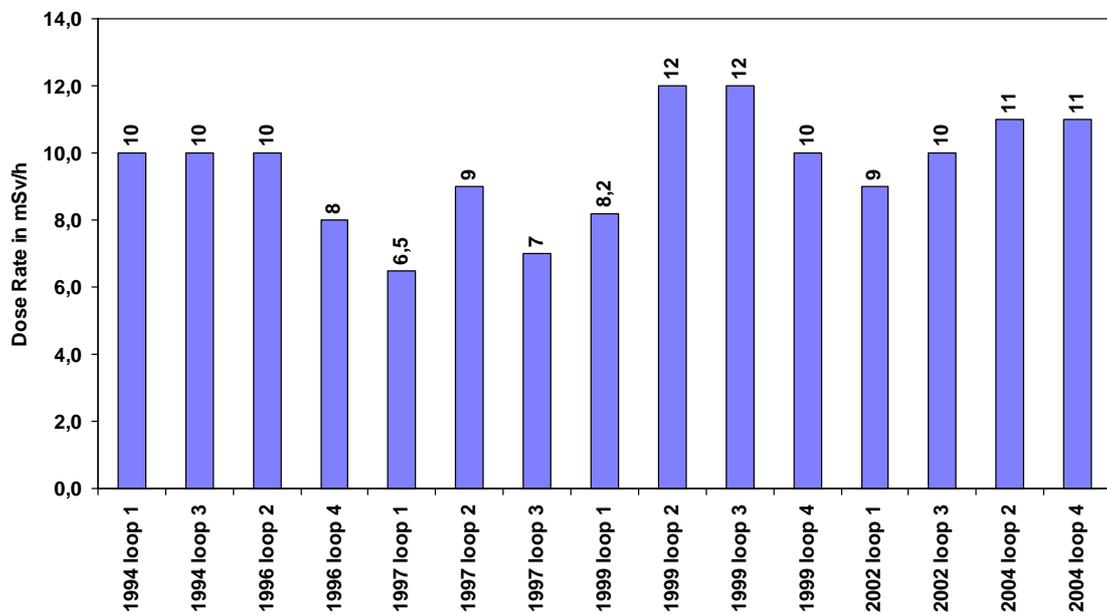


Abb. 4.2-6 Dosisleistung in der Dampferzeuger-Wasserkammer von GKN-2, „kalte Seite“

Abb. 4.2-7 zeigt die entsprechenden Dosisleistungsmesswerte für die Messungen an den Hauptkühlmittelleitungen. Die Dosisleistung liegt in der Regel im Bereich zwischen 0,1 mSv/h und 0,13 mSv/h. Die höheren Messwerte der Dosisleistung in den Jahren 1996, 2004 und 2005 sind darauf zurückzuführen, dass die Leitungen zum Zeitpunkt der Messung nicht (2004) bzw. nur zu 50 % (1996, 2005) mit Wasser gefüllt waren.

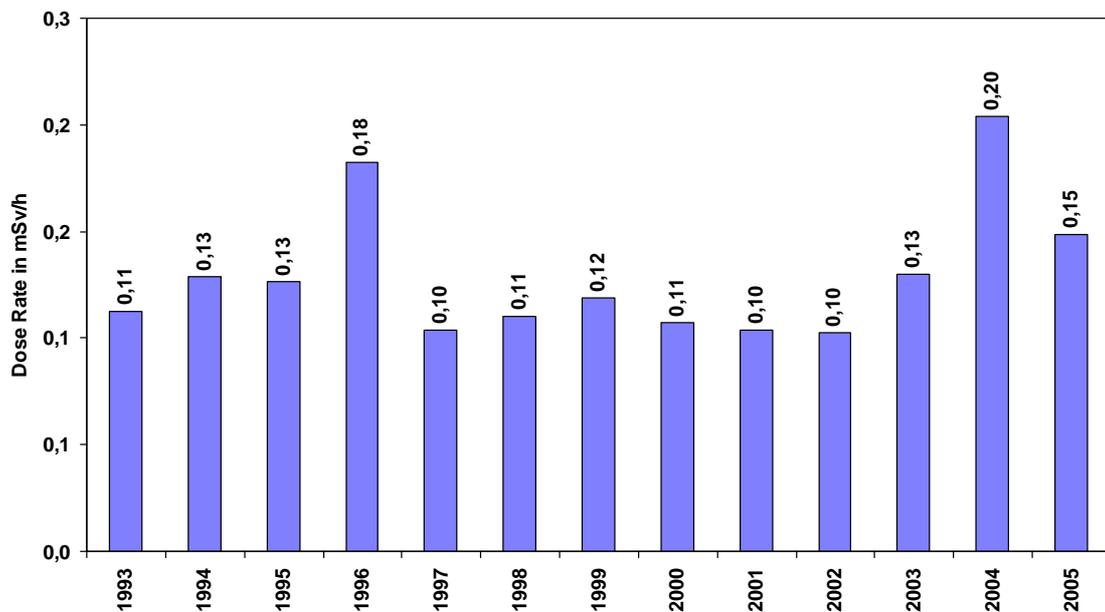


Abb. 4.2-7 Mittlere Dosisleistung an den Hauptkühlmittelleitungen, jeweils Mittelwert über alle Messungen (heiße/kalte Seite) eines Jahres in GKN-2

Die Auslegung der Anlage führt zu mittleren Aktivitätskonzentrationen radiologisch wichtiger Aktivierungsprodukte im Primärkühlmittel in der Höhe von $5E5$ Bq/m³ für Co 60, $1E5$ Bq/m³ für Sb 124 und etwa $1E6$ Bq/m³ für Co 58.

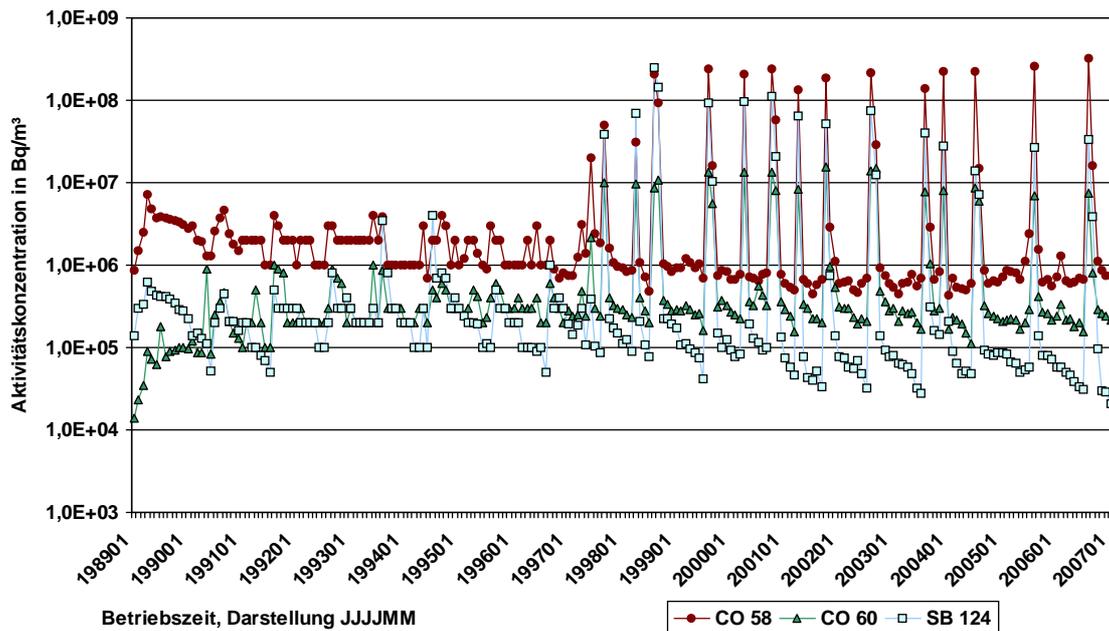


Abb. 4.2-8 Monatsmittelwerte der Aktivitätskonzentration in Bq/m³ radiologisch wichtiger Aktivierungsprodukte im Primärkühlmittel in GKN-2 (Beginn der Daten: Jan. 1990, Ende der Daten : Dez 2006)

4.2.5 Personenbezogene Exposition

Die Zahl des im Kontrollbereich eingesetzten Personals (siehe Abb. 4.2-9) variiert beim Eigenpersonal zwischen etwa 370 und 450 Personen. Für das Fremdpersonal werden Personaleinsätze zwischen rund 950 Personen und 1360 Personen registriert. Dabei ist ab 1998 ein Rückgang des Einsatzes von Fremdpersonal zu beobachten, der sich erst verspätet dem Rückgang der Revisionsdauern anpasst (siehe Abb. 4.2-2) und der Kollektivdosis nur tendenziell, aber wegen der stärkeren Änderungen der kleinen Kollektivdosen deren Verlauf nicht proportional folgt, was zu stärkeren Änderungen der mittleren Personendosen auf einem sehr niedrigen Niveau führt (siehe Abb. 4.2-11).

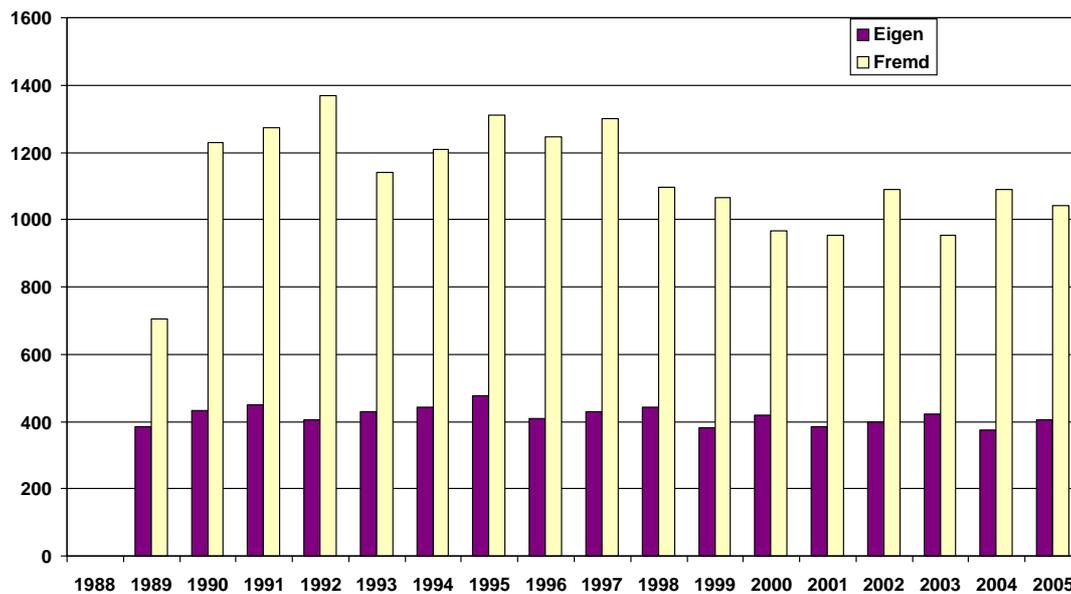


Abb. 4.2-9 Zahl der im Kontrollbereich von GKN-2 eingesetzten Personen, aufgeschlüsselt nach Eigen- und Fremdpersonal

Die niedrigen Kollektivdosen sowohl des Eigen- als auch des Fremdpersonals führen in Verbindung mit der Zahl der eingesetzten Personen zu ausgesprochen niedrigen mittleren Personendosen, die wie angesprochen, wegen ihrer niedrigen absoluten Größe ausgesprochen sensibel auf die jeweiligen Änderungen von Kollektivdosis und Personaleinsatz reagieren.

Wie Abb. 4.2-10 für das im Kontrollbereich eingesetzte Personal ausweist, liegen die mittleren Personendosen des Eigenpersonals mit wenigen Ausnahmen unter 0,1 mSv/Jahr mit einer Bandbreite der Daten zwischen etwa 0,05 mSv/Jahr und knapp 0,115 mSv/Jahr. Dabei ist wegen der im Zeitraum 1997 bis 2002 zwischenzeitlich geringfügig gestiegenen Kollektivdosis des Eigenpersonals bei relativ gleich bleibender Personenzahl ein entsprechender Anstieg in der mittleren Personendosis im gleichen Zeitraum zu identifizieren, der jedoch in den letzten Jahren wieder rückläufig war. Für das Fremdpersonal liegen die mittleren Personendosen dieser Gruppe etwa im Bereich zwischen 0,12 mSv/Jahr und 0,23 mSv/Jahr. Dabei verläuft der Trend der mittleren Personendosis sehr ähnlich zur Kollektivdosis des Fremdpersonals.

Reduziert man die Bezugsgruppe für die Berechnung der mittleren Personendosen auf die Personen im Kontrollbereich mit einer Exposition $\geq 1\mu\text{Sv}$, steigen die mittleren Personendosen erwartungsgemäß an und liegen für das Eigenpersonal in einem Band

zwischen 0,07 mSv/Jahr und 0,15 mSv/Jahr, für das Fremdpersonal zwischen etwa 0,13 mSv/Jahr und 0,25 mSv/Jahr mit der Mehrzahl der Werte um etwa 0,16 mSv/Jahr. (siehe Abb. 4.2-11).

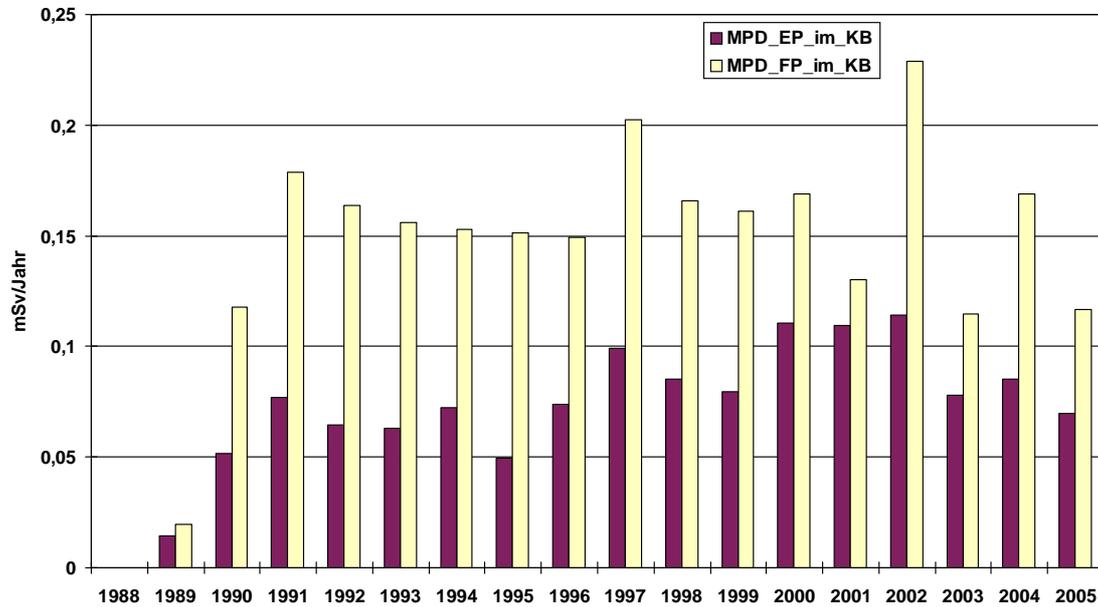


Abb. 4.2-10 Mittlere Personendosis des Eigen- und Fremdpersonals im Kontrollbereich von GKN-2
Personengruppe: Personen im Kontrollbereich

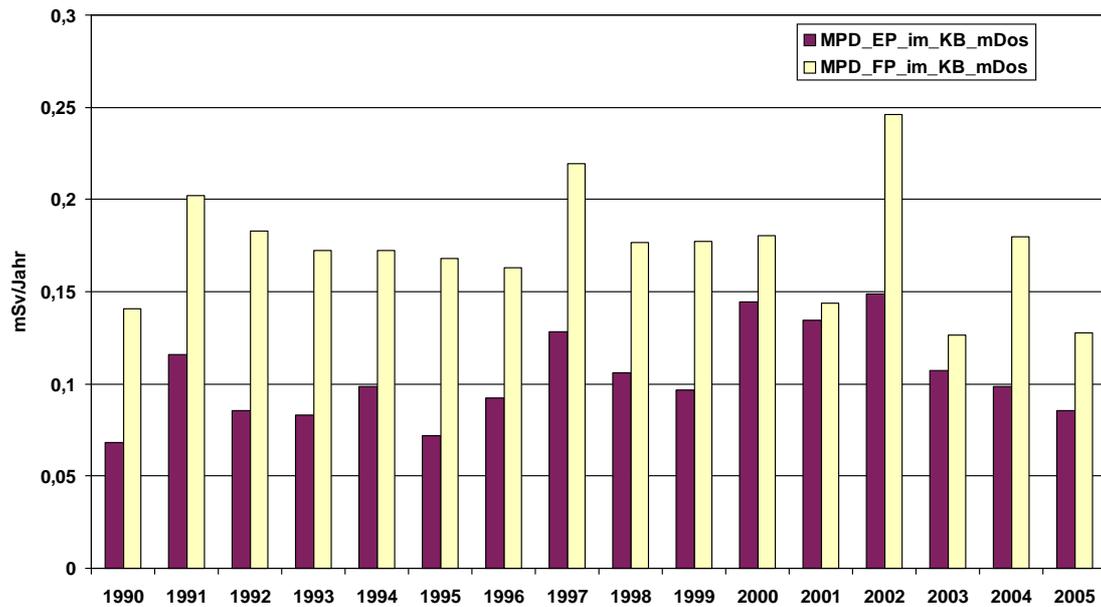


Abb. 4.2-11 Mittlere Personendosis des Eigen- und Fremdpersonals im Kontrollbereich von GKN-2.
Personengruppe: Personen im Kontrollbereich mit Exposition $\geq 1 \mu\text{Sv}$

Die Abb. 4.2-12 bzw. Abb. 4.2-13 zeigen die Dosisintervallaufteilungen des Eigen- bzw. Fremdpersonals in GKN-2. Es wird für beide Personengruppen deutlich, dass der Großteil des Personals in GKN-2 nur sehr niedrige Expositionen erhält.

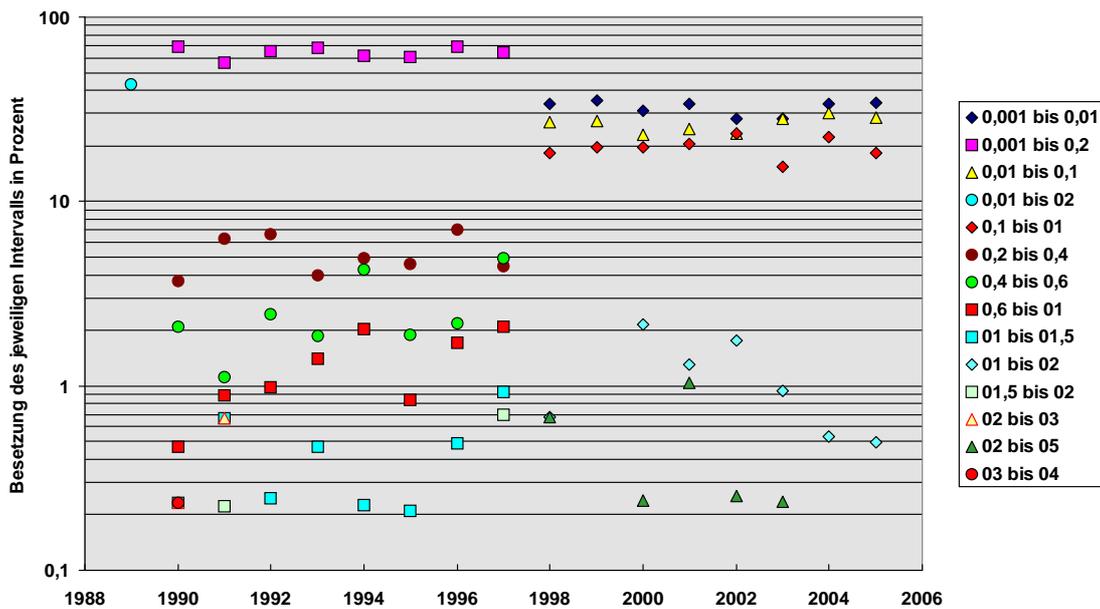


Abb. 4.2-12 Personendosisverteilung in GKN-2, Eigenpersonal
 Dosisangaben der Intervalle in mSv
 Bitte in 1990 sowie 1998 wechselnde Intervallaufteilung beachten

Bis 1998 weist Abb. 4.2-12 aus, dass Personendosen über 1,5 mSv/Jahr nur mit sehr kleinen Anteilen und in wenigen Jahren (1991, 1997) aufgetreten sind. Dieser Nachweis ist für den Zeitraum ab 1998 wegen der groben Wahl der Intervalle nicht mehr möglich. Es zeigt sich zwar, dass die Besetzung des Intervalls bis 2 mSv absinkt, die engere Eingrenzung der Personendosen über 1 mSv, die für einzelne Personen aufgetreten sind, ist allerdings nicht möglich.

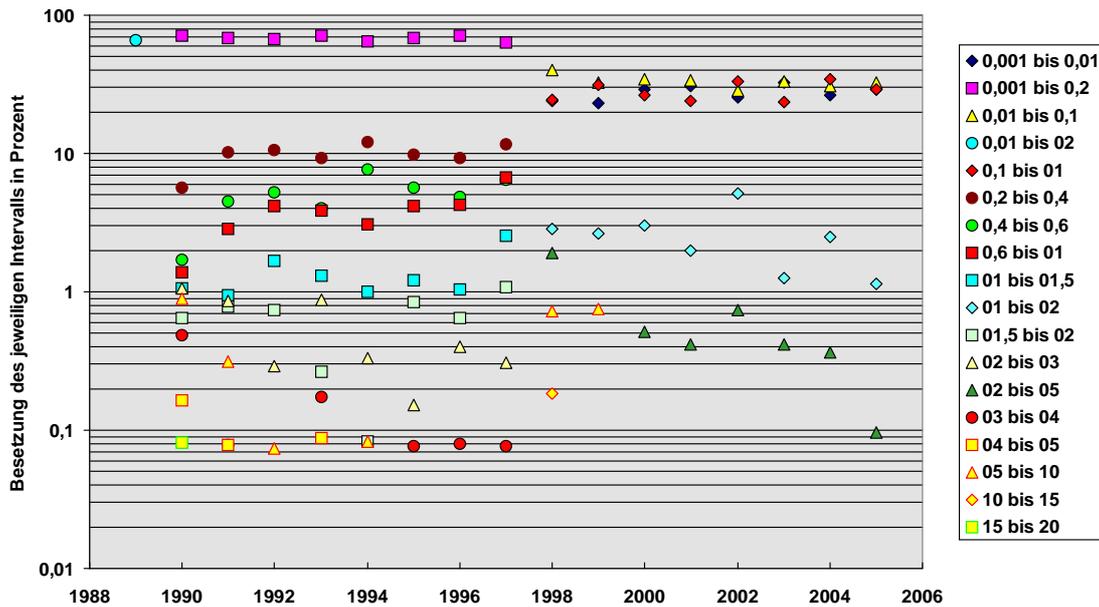


Abb. 4.2-13 Personendosisverteilung in GKN-2, Fremdpersonal
 Dosisangaben der Intervalle in mSv
 Bitte in 1990 sowie 1998 wechselnde Intervallaufteilung beachten

Für das Fremdpersonal liegen die Personendosen geringfügig höher; es zeigt sich, dass in frühen Jahren sowie 1998 und 1999 Personendosen zwischen 5 und 10 mSv in Einzelfällen auch in GKN-2 aufgetreten sind. In den letzten Jahren seit 2000 sinken die Besetzungen der „höheren“ Intervalle über 1 mSv tendenziell ab. Allerdings erlaubt auch hier die Intervallaufteilung nicht die genauere obere Abgrenzung der Dosen im Intervall 2 mSv bis 5 mSv pro Jahr.

5 Bewertung

5.1 Bewertungsmerkmale

5.1.1 Kollektivdosen des Eigen- und Fremdpersonals

Als Vergleichszeitraum für die Daten der Bewertungsmerkmale werden die Jahre 2000 bis 2005 herangezogen. Die Gesamt-Kollektivdosen der Anlage GKN-1 lagen in diesem Zeitraum in einer Bandbreite zwischen 1,10 Pers.Sv (2000) und 0,50 Pers.Sv (2003) mit einem Mittelwert von ca. 0,8 Pers.Sv. Die Daten der Kollektivdosen des Eigenpersonals weisen eine Bandbreite zwischen 0,07 Pers.Sv und 0,09 Pers.Sv (Mittelwert 0,08 Pers.Sv). Die Kollektivdosen des Fremdpersonals liegen im Vergleichszeitraum zwischen 0,43 Pers.Sv und 1,03 Pers.Sv bei einem Mittelwert von 0,72 Pers.Sv.

Für die Anlage GKN-2 liegen die Gesamt-Kollektivdosen in dem zugrunde gelegten Zeitraum in einer Bandbreite zwischen 0,30 Pers.Sv (2002) und 0,14 Pers.Sv (2003) mit einem Mittelwert von 0,20 Pers.Sv. Für das Eigenpersonal liegen die Kollektivdosen zwischen 0,03 Pers.Sv und 0,05 Pers.Sv mit einem Mittelwert von 0,04 Pers.Sv; beim Fremdpersonal ergibt sich ein Intervall zwischen 0,11 Pers.Sv und 0,25 Pers.Sv (Mittelwert 0,16 Pers.Sv).

Der direkte Vergleich der Kollektivdosen zeigt, dass der Mittelwert der Gesamt-Kollektivdosis von GKN-1 um etwa einen Faktor 4 über dem von GKN-2 liegt. Für die Personengruppen verschiebt sich dieses Verhältnis; beim Eigenpersonal liegen die Kollektivdosen von GKN-1 nur etwa einen Faktor 2 höher, für das Fremdpersonal steigt der Faktor geringfügig auf 4,5.

Bei einem Blick auf die Betriebszeiten der beiden Anlagen wird deutlich, dass GKN-2 aufgrund der Auslegung langfristig auf dem vergleichbar niedrigen Kollektivdosisniveau betrieben werden konnte, während die Anlage GKN-1 die ungünstigen radiologischen Bedingungen der ursprünglichen Auslegung, die zu höheren Kollektivdosen führten, durch umfangreiche Umrüstungs- und Austausch-Maßnahmen verbessert hat und so zwar über dem Kollektivdosisniveau von GKN-2 liegt, aber im Vergleich zu Anlagen mit ähnlicher Betriebsdauer unter ALARA- und Optimierungsgesichtspunkten ein sehr gutes Strahlenschutzniveau erreicht hat und bestrebt ist, dies z. B. durch Zink-Einspeisung weiter zu verbessern.

5.1.2 Mittlere Personendosen sowie Personendosisverteilungen des Eigen- und Fremdpersonals

Aufgrund der im Vergleich zu GKN-2 höheren Kollektivdosen in Verbindung mit dem mit GKN-2 vergleichbaren Personaleinsatz des Eigen und Fremdpersonals liegen auch die mittleren Personendosen in GKN-1 über den entsprechenden Werten des Personals in GKN-2. Für GKN-1 liegen im Zeitraum von 2000 bis 2005 die mittleren Personendosen für das Eigenpersonal, das den Kontrollbereich betreten hat, zwischen 0,16 mSv und 0,24 mSv pro Jahr; der Mittelwert über diesen Zeitraum liegt bei 0,2 mSv pro Jahr. Die entsprechenden Werte für das Fremdpersonal von GKN-1 bewegen sich zwischen 0,44 mSv und 0,97 mSv pro Jahr mit einem Mittelwert von 0,67 mSv.

Für die Anlage GKN-2 werden für das Eigenpersonal im Kontrollbereich mittlere Expositionen zwischen 0,07 mSv und 0,11 mSv (Mittelwert: 0,10 mSv) pro Jahr erreicht. Beim Fremdpersonal führt die Exposition im Kontrollbereich von GKN-2 zu mittleren Expositionen zwischen 0,12 mSv und 0,23 mSv (Mittelwert über den Zeitraum 2000-2005: 0,16 mSv) pro Jahr.

Der zahlenmäßige Vergleich dieser Daten zeigt, dass sich die für die Kollektivdosen des Eigen- und Fremdpersonals identifizierten Verhältnisse wegen der jeweils ähnlichen Personenzahlen bei dem Vergleich der Mittelwerte der Personendosen in etwa wiederfinden: für das Eigenpersonals liegen die Mittelwerte von GKN-1 ca. einen Faktor 2, für das Fremdpersonal etwa einen Faktor 4,3 über denen von GKN-2.

Bewertet man bei den mittleren Personendosen nur die Zahl der Personen, die eine Dosis > 0 (mindestens 1 μ Sv) erhalten haben, ergeben sich wegen der geringeren Zahl der Personen zwar höhere mittlere Personendosen – bei beiden Anlagen jeweils für das Eigenpersonal um ca. 20 %, für das Fremdpersonal ca. 5 % - 8 % höher – die angesprochenen Verhältnisse der Daten von GKN-1 und GKN-2 ändern sich dem entsprechend nicht.

Wie bei dem langfristigen Vergleich der Kollektivdosen zeigen die mittleren Personendosen in GKN-2 langfristig etwa ähnliche Werte, während die Daten für GKN-1 die langfristig sinkende Tendenz durch die Verbesserungen dokumentiert, mit denen die für 2000 bis 2005 beschriebenen Werte erreicht wurden.

Die Verteilungen der jährlichen Personendosen aus den Kontrollbereichen von GKN-1 bzw. GKN-2 schlüsseln die diskutierten mittleren Personendosen weiter auf. Die Daten machen deutlich, dass in GKN-1 für die jährliche Exposition des Eigenpersonals in den letzten Jahren die Besetzung des Dosisintervalls zwischen 2 mSv und 5 mSv unter 3 % (11 Personen) lag und Expositionen oberhalb 5 mSv nicht aufgetreten sind. Für das Fremdpersonal traten Expositionen im Kontrollbereich von GKN-1 über 15 mSv nicht mehr auf; das Intervall 10 mSv bis 15 mSv wurde zu weniger als 1 % des Fremdpersonals (4 Personen), das darunter liegende Intervall von 5 mSv bis 10 mSv zu weniger als 3 % (27 Personen) besetzt. Für den größten Teil des Eigenpersonals (95 % bis 97 %) und ca. 70 % bis 80 % des Fremdpersonals werden Dosen von 1 mSv pro Jahr in GKN-1 in den Jahren 2000 bis 2005 nicht überschritten.

Für GKN-2 liegen die Verteilungen, wie entsprechend der mittleren Personendosis zu erwarten, bei gleicher Intervallaufteilung bei niedrigeren Besetzungen der Intervalle. So werden in den Jahren 2000 bis 2005 Dosen über 5 mSv bei Eigen- und Fremdpersonal nicht überschritten; das Intervall 2 mSv bis 5 mSv ist beim Eigen- und Fremdpersonal nur zu Bruchteilen eines Prozent besetzt (4 Personen Eigen-, 8 Personen Fremdpersonal). Für das Eigenpersonal werden im betrachteten Vergleichszeitraum für 97 % bis 99 % des Personals im Kontrollbereich Dosen von 1 mSv nicht überschritten; bei Fremdpersonals liegt der entsprechende Anteil für die Exposition in GKN-2 zwischen 94 % und 99 %. Allerdings zeigt der Rückblick auf frühere Jahre, dass auch in GKN-2 in einzelnen Jahren Dosen im Intervall zwischen 5 mSv und 10 mSv für wenige Personen und zwischen 10 mSv und 15 mSv für einzelne Personen des Fremdpersonals zu verzeichnen sind, wenn spezielle Tätigkeiten dies erforderten.

Der Vergleich der Datensätze zeigt, dass entsprechend den Kollektivdosisdaten und den mittleren Daten der Exposition des Personals die Verteilungen für GKN-1 höhere Personendosen ausweisen, wobei allerdings beim Eigenpersonal der Anteil der Expositionen unter 1 mSv pro Jahr in beiden Anlagen etwa gleich groß ist und die Unterschiede sich durch die kleinen Besetzungszahlen in den Intervallen über 1 mSv in GKN-1 äußern. Für das Fremdpersonal verlagert sich die Verteilung der Personendosen in GKN-1 im Vergleich zu GKN-2 zu höheren Intervallen, da Tätigkeiten mit höherer Kollektivdosis in GKN-1 durch eine dem Personaleinsatz in GKN-2 vergleichbare Anzahl von Personen abgewickelt werden. In der Folge sind die in GKN-2 nicht oder nur gering besetzten Intervalle 1 mSv – 2 mSv sowie 2 mSv – 5 mSv in GKN-1 zu jeweils ca. 10 % und darüber liegende zu ca. 1 % und weniger (siehe Daten oben) besetzt.

5.2 Hintergrund/Ursachen

5.2.1 Vergleichbarkeit der beiden Blöcke aus radiologischer Sicht

Aus der Einordnung und Charakterisierung der Anlagen GKN-1 und GKN-2 geht hervor, dass die beiden KKW Anlagen mit ursprünglich sehr unterschiedlichen Auslegungen hinsichtlich der radiologischen Randbedingungen darstellen.

Zum Zeitpunkt der Auslegung der Anlage GKN-1 lagen keine einschlägigen Erfahrungen bezüglich der Anforderungen an eine gute Auslegung unter radiologischen Gesichtspunkten vor; diese Erfahrungen mussten erst durch den Betrieb der vor GKN-1 in Betrieb gegangenen Anlagen KWO, KKS sowie im Betrieb von KWB-A gewonnen werden und haben in der Folgezeit zu einem entsprechenden Erfahrungsschatz und einem diesbezüglichen Regelwerk (IWRS I, KTA 1301.1) geführt, nach denen spätere Anlagen, insbesondere die Konvoi-Anlagen KKI-2, KKE und GKN-2 ausgelegt wurden. Dem entsprechend wurden in der Planung und Auslegungen von GKN-2 alle zwischenzeitlich gewonnenen diesbezüglichen Erfahrungen zur Reduktion der Exposition des Personals während Betrieb und Revision umgesetzt. Primäres Ziel war dabei die Reduktion der Dosisleistung durch Optimierung der Materialeigenschaften (Vermeidung von Korrosionsprodukten) sowie durch Verbesserung der Abschirmung und räumlichen Anordnung. In beiden Bereichen wurden unabhängig voneinander Maßnahmen zur konsequenten Dosisleistungsreduzierung umgesetzt, so dass in den so ausgelegten Konvoi-Anlagen ein extrem niedriges Dosisleistungsniveau erreicht wurde, das in der Folge zu niedrigen Strahlenexpositionen des Personals führt.

Dem gegenüber wurden in der Anlage GKN-1 entsprechende dosisleistungsreduzierende Maßnahmen gezielt implementiert. Hierzu wurden spezielle Programme geplant und umgesetzt, um Quellen für erhöhte Dosisleistungen (z.B. Kobalt, Antimon) durch Austausch zu vermeiden bzw. zu reduzieren. Hinzu kamen weitere technische Verbesserungen zur Reduzierung der Exposition bei Prüfungen und eine konsequente Strahlenschutzplanung durch engagiertes Personal. Die Austauschprogramme haben dazu geführt, dass die Anlage inzwischen mit deutlich reduzierten Kollektivdosen gefahren werden kann. Allerdings haben diese Programme während der Umrüstung zu höheren Kollektivdosen beigetragen.

5.2.2 Arbeitsumfang

Der Arbeitsumfang in GKN-1 liegt – gemessen am Personaleinsatz und an der Aufenthaltsdauer des Personals im Kontrollbereich – unter Berücksichtigung von revisionsbedingten Schwankungen seit 1997 bis 2003 in einer mit den Daten des Blocks II vergleichbaren Bandbreite in einem Bereich zwischen etwa 100.000 Mannstunden und 130.000 Mannstunden. Daraus ergibt sich, dass die im Vergleich zu GKN-2 höheren Kollektivdosen in GKN-1 im Wesentlichen nicht durch unterschiedliche Arbeitsumfänge sondern durch die auslegungsbedingt höheren Dosisleistungen hervorgerufen werden.

5.2.3 Radiologische Arbeitsbedingungen

Der Vergleich der Messwerte der Dosisleistung an ausgewählten Punkten der Anlage macht deutlich, dass die Situation in GKN-1 bezüglich der Dosisleistung ungünstiger ist als in GKN-2. Dort liegen die gemessenen Dosisleistungen um einen Faktor 7 bis 10 (DE-Wasserkammer) und ca. 10 (Hauptkühlmittelleitungen) über denen in GKN-2.

Aufgrund der speziellen Lage der Messorte sowie der weiteren in GKN-1 implementierten Maßnahmen wirken sich diese Verhältnisse nicht in gleichem Maße in den mittleren tätigkeitsbezogenen Dosisleistungen aus. Die mittleren tätigkeitsbezogenen Dosisleistungen liegen nur um einen Faktor von 3 bis 4 über denen in GKN-2.

5.3 Fazit

Bei GKN-1 liegen die Kollektivdosen und mittleren Personendosen des Eigen- und Fremdpersonals aufgrund der ungünstigeren radiologischen Auslegung der Anlage – trotz umfangreicher Nach- und Umrüstungsmaßnahmen zur radiologische Verbesserung – bei ähnlichem Arbeitsumfang in Strahlenfeldern auf einem höheren Niveau als in GKN-2.

6 Literatur

- /BMU 01/ Grundsätze der Tätigkeit von Sachverständigen im Auftrag der Bundesaufsicht über die Ausführung des Atomgesetzes im Hinblick auf Atomkraftwerke, Forschungsreaktoren und sonstige Reaktoren (Sachverständigen-Grundsätze der Bundesaufsicht über Atomkraftwerke), Stand: Juli 2001
- /BMU 06/ SR 2569 „Sicherheitstechnische Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung“, 05.12.2006



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische
Überprüfung von Anla-
gen zu ausgewählten
Anforderungen und
Ereignissen im Rahmen
von Anträgen zur Rest-
strommengenübertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 3:

„Nachweis des Bruchaus-
schlusses für die Druckfüh-
rende Umschließung“

SR 2569



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2
Bewertungsgegenstand 3:
„Nachweis des Bruchausschlusses für die Druckführende Umschließung“

Februar 2008
Auftrags-Nr.: 820410

Anmerkung:

Dieser Bericht ist im Auftrag des BMU im Rahmen des Vorhabens SR 2569 erstellt worden. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt werden bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers und der Unterauftragnehmer wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers übereinstimmen.

Vorwort

Im Atomgesetz wurden mit der Änderung vom 26.04.2002 die Reststrommengen für die in Betrieb befindlichen Kernkraftwerksblöcke in Deutschland festgelegt. Über die Zustimmung zur Übertragung von Elektrizitätsmengen entscheidet das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) im Einvernehmen mit dem Bundeskanzleramt und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Im Rahmen der Entscheidungsfindung des BMU über die Anträge auf Übertragung von Elektrizitätsmengen hat das BMU auch eine vergleichende Sicherheitsüberprüfung zwischen einer Anlage, die Strommengen abgibt und derjenigen, welche die Strommengen bekommen soll, vorgesehen. Da in der zur Verfügung stehenden Zeit keine in Prüfungsumfang und -tiefe mit der Durchführung und der sachverständigen Prüfung von Sicherheitsüberprüfungen nach § 19a AtG vergleichbare, umfassende Ermittlung und sicherheitstechnische Bewertung beider Anlagen möglich ist, beauftragte das BMU die GRS, zusammen mit benannten Unterauftragnehmern mit der „Sicherheitstechnischen Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung“ /BMU 06/. Auftragsgegenstand sind punktuelle Untersuchungen einzelner Bewertungsgegenstände, die gemeinsam von BMU, GRS und den Unterauftragnehmern festgelegt wurden. Um dem BMU eine vergleichende Bewertung zu ermöglichen, ob sichergestellt ist, dass die beantragte Übertragung von einer neueren auf eine ältere Anlage nicht zu Lasten der Sicherheit geht, wurden sicherheitstechnisch relevante Bewertungsgegenstände für jede beantragte Übertragung insbesondere unter Beachtung folgender Kriterien ausgewählt:

- die anlagentechnischen Gegebenheiten der antragsgemäß betroffenen abgebenden und empfangenden Anlage beinhalten wesentliche Unterschiede und / oder
- die Bewertungsgegenstände berühren Entwicklungen seit Genehmigungserteilung bezüglich des Standes von Wissenschaft und Technik und
- die Untersuchungen sind in der zur Verfügung stehenden Zeit voraussichtlich durchführbar.

Dabei wird die sicherheitstechnische Fragestellung weitgehend auf die Beherrschbarkeit von zu erwartenden oder im Rahmen der Nachweisführung postulierten Ereignismöglichkeiten bezogen.

Die Durchführung eines nur punktuellen, aber die genannten Auswahlkriterien beachtenden Prüfprogramms ist aus Sicht des Auftraggebers gerechtfertigt, da der Gesetzgeber die Festlegung der konkreten Maßstäbe für die Prüfung, ob die beabsichtigte Übertragung zu Lasten der Sicherheit ginge und deren willkürfreie Anwendung in § 7 Abs. 1b Satz 2 AtG der Exekutive überlassen hat; Art und Umfang der Ermittlung der für seine Sicherheitsbewertung entscheidungserheblichen Tatsachen sind vom BMU im Rahmen seines Verfahrensermessens zu bestimmen.

Das Überprüfungskonzept basiert auf einer Auswertung und Bewertung von Unterlagen, die der Betreiber für die einzelnen Bewertungsgegenstände dem BMU vorlegen soll. Für den Fall, dass keine spezifischen Unterlagen vorgelegt werden, ist auftragsgemäß vorgesehen, alle Dokumente und Informationen, die in den beteiligten Sachverständigenorganisationen für die hier anstehenden Aufgaben zur Verfügung stehen, für diese Überprüfung zu nutzen. Da diese Dokumente und Informationen hinsichtlich ihrer Aktualität und Belastbarkeit sehr unterschiedlich sein können, wird zu jedem Bewertungsgegenstand ein einheitlich klassifizierter Unterlagen- und Quellennachweis vorgelegt. Dabei wird zwischen den folgenden Kategorien unterschieden:

- Kategorie 1: im atomrechtlichen Verfahren geprüfte / begutachtete bzw. vom BMU freigegebene Unterlagen,
- Kategorie 2: Stellungnahmen der RSK bzw. der SSK und
- Kategorie 3: nicht im Sinne von Kategorie 1 geprüfte Unterlagen, die jedoch nach Auffassung der Auftragnehmer Informationen zum Sachverhalt enthalten.

Die vergleichenden Darstellungen zu den einzelnen Bewertungsgegenständen basieren jeweils auf diesen Unterlagen und spiegeln den darin wiedergegebenen Anlagenzustand wieder. Abweichungen zum derzeitigen Anlagenzustand aufgrund zwischenzeitlich durchgeführter Änderungen sind nicht auszuschließen.

Bewertungsmaßstab ist der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik. Dabei sind neben dem Erfüllungsgrad von regulatorischen Sicherheitsanforderungen bezüglich der Beherrschbarkeit von Ereignissen insbesondere auch die anlagenspezifischen Reserven in die Bewertung einzubeziehen. Aufgrund der Begrenzungen in der Bearbei-

tungszeit und im Umfang und Detaillierungsgrad der Unterlagen erfolgt aber keine vollständige Überprüfung sondern eine Fokussierung auf wesentliche grundlegende Sicherheitsanforderungen. Die für die jeweiligen Bewertungsgegenstände spezifischen Bewertungsmerkmale werden in den einzelnen Berichten ausgewiesen. Die Bewertungsmerkmale beziehen sich grundsätzlich entweder unmittelbar auf grundlegende Sicherheitsanforderungen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik oder mittelbar auf anlagentechnisch vergleichbare Sicherheitsfunktionen mit Anforderungen entsprechend des gestaffelten Sicherheitskonzepts. Die Bewertung der Sicherheitsfunktionen erfolgt im Wesentlichen im Hinblick auf deren Wirksamkeit und Qualität.

Auftragsgemäß sollen die Überprüfungen anhand deterministischer Bewertungsweisen erfolgen. Dieser methodische Ansatz kann in einigen Fällen dazu führen, dass bei der vergleichenden Bewertung von komplexen Systemkonstellationen bezüglich der Beherrschbarkeit eines Ereignisses keine eindeutige, abschließende Bewertung möglich ist. Im Rahmen der hier vorgesehenen Bewertungen wären weiterführende probabilistische Bewertungen auch aufgrund fehlender spezifischer Unterlagen in der vorgesehenen Bearbeitungszeit nicht durchführbar und sind daher auftragsgemäß nicht vorgesehen.

Es besteht daher Einvernehmen mit dem BMU darin, dass aufgrund der Begrenzung der Überprüfungsdauer und der Unterlagensituation wesentliche Anforderungen der "Sachverständigengrundsätze für die Bundesaufsicht" /BMU 01/ nicht eingehalten werden können. Die Abweichungen beziehen sich insbesondere auf die Vollständigkeit, Aktualität und Belastbarkeit von Unterlagen bei der Sachverhaltsermittlung sowie die Bewertungsmethoden, die im vorliegenden Fall weitgehend auf ingenieurmäßige Betrachtungsweisen eingeschränkt sind.

Die durchgeführten Sicherheitsvergleiche beinhalten keine aufsichtliche Überprüfung der betroffenen Anlagen. Auftragsgemäß wird zu jedem Bewertungsgegenstand ein separater Ergebnisbericht erstellt. Eine Gesamtbewertung ist nicht beauftragt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale	2
2.1	Beschreibung, Zielsetzung und Nachweis des Bruchausschlusses.....	2
2.1.1	Beschreibung	2
2.1.2	Zielsetzung und Konsequenz	2
2.1.3	Vorgehensweise beim Nachweis	3
2.2	Bewertungsmerkmale	5
3	Verwendete Unterlagen	6
4	Anlagenvergleich	7
5	Bewertung	13
5.1	Relevante Unterschiede.....	14
5.1.1	Anwendungsbereich Bruchausschluss (Merkmal 1)	14
5.2	Auslegung für die Hauptkühlmittelleitung (HKL) (Merkmal 2.1.2)	14
5.2.1	Unterschiedlich spezifizierter Werkstoff der HKL (Merkmal 2.2)	15
5.2.2	Unterschiedliche Ausführung der Schweißnähte der HKL (Merkmal 2.2)	15
5.2.3	Unterschiedliche Ausführung der Bögen (Merkmal 2.3)	15
5.2.4	Unterschiedliche Betriebserfahrung (Merkmal 3.3)	15
5.3	Bewertungsmaßstäbe	16
5.4	Bewertung der relevanten Unterschiede.....	17
5.4.1	Anwendungsbereich Bruchausschluss (Merkmal 1)	17
5.4.2	Auslegung für die Hauptkühlmittelleitung (HKL) (Merkmal 2.1.2)	18
5.4.3	Unterschiedlich spezifizierter Werkstoff der HKL (Merkmal 2.2)	18
5.4.4	Unterschiedliche Ausführung der Schweißnähte der HKL (Merkmal 2.2)	19
5.4.5	Unterschiedliche Ausführung der Bögen (Merkmal 2.3)	19
5.4.6	Unterschiedliche Betriebserfahrung (Merkmal 3.3)	20
5.5	Fazit	21
6	Literatur	22

1 Einleitung

Im vorliegenden Bericht geht es um sicherheitstechnische Vergleiche im Zusammenhang mit dem Antrag der EnBW Kernkraft GmbH vom 21.12.2006 an das BMU auf Übertragung von Elektrizitätsmengen vom Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 2 (GKN-2) auf das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 1 (GKN-1). Dazu wurden von den Auftragnehmern in Abstimmung mit dem BMU 23 Bewertungsgegenstände definiert. Auftragsgemäß erfolgt für jeden Bewertungsgegenstand (BG) eine separate Auswertung.

Nachfolgend wird der Bewertungsgegenstand 3 „Nachweis des Bruchausschlusses für die Druckführende Umschließung“ behandelt.

2 Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale

2.1 Beschreibung, Zielsetzung und Nachweis des Bruchausschlusses

2.1.1 Beschreibung

Mit dem Begriff „Bruchausschluss“ wird das Postulat bezeichnet, dass das katastrophale Versagen einer Rohrleitung, d.h. deren Bruch infolge des Überschreitens kritischer Risslängen, über die gesamte Betriebsdauer ausgeschlossen werden kann. In deutschen Anlagen sind dann nach RSK-Leitlinie /RSK 96/ für diese Rohrleitungen nur unterkritische Risse mit einer maximalen Leckfläche von $0,1 F$ (F = innerer Querschnitt der betroffenen Rohrleitung) zu unterstellen. Dies setzt einerseits eine hohe Fertigungsqualität voraus, die ein herstellungsbedingtes katastrophales Versagen ausschließt (Basissicherheit) und erfordert andererseits eine ausreichende Vorsorge gegen betriebs- oder störfallbedingte Einwirkungen, die zu einem solchen katastrophalen Versagen führen könnten. Die Wirksamkeit dieser Vorsorge ist durch geeignete Prüf- und Überwachungsmaßnahmen zu überprüfen.

2.1.2 Zielsetzung und Konsequenz

Wenn der Nachweis des Bruchausschlusses positiv geführt worden ist, werden für diese Rohrleitung für Störfallbetrachtungen nur noch unterkritische Risse, deren Länge bruchmechanisch ermittelt werden kann, postuliert. Daher kann die Größe der für Störfallbetrachtungen zu postulierenden Lecks auf Werte deutlich unterhalb $2F$ (= Leckfläche entsprechend dem doppelten inneren Querschnitt $2F$ der betroffenen Rohrleitung) eingeschränkt werden. Dabei wird eine Leckgröße von $0,1F$ als abdeckend für Leckflächen von bruchmechanisch ermittelten unterkritischen Risslängen angesehen. Diese eingeschränkte Leckannahme kann dann für die Ermittlung der Auswirkungen der dynamischen Kräfte des Lecks/Bruches (Druckwelle, Strahl- und Reaktionskräfte) herangezogen werden.

Für die Auslegung der Sicherheitssysteme (Notkühlung, Sicherheitsbehälter, elektrische und leittechnische Einrichtungen) wird allerdings auch an diesen Rohrleitungen gemäß geltendem Regelwerk ein Leckquerschnitt von $2F$ unterstellt. Analog wird für

die Auslegung der Abstützung der Großkomponenten eine statische Ersatzkraft von $2pF$ (p = Betriebsdruck, F = Querschnitt des größten Stützens) angenommen.

2.1.3 Vorgehensweise beim Nachweis

Die für den Bruchausschluss zu führenden Nachweise sind bisher im deutschen Regelwerk nicht festgeschrieben. Ausgehend von der bisherigen deutschen Praxis wurde das so genannte Basissicherheits-Konzept nach /KUS 84/ zum Bruchausschluss-Konzept verallgemeinert und von verschiedenen Institutionen unter Berücksichtigung der internationalen Praxis weiter entwickelt /BIE 01/, /GRS 04/, /ROO 01/, /VdT 05/, /VGB 07/. Die verschiedenen Konzepte unterscheiden sich durch unterschiedliche Gewichtung der bruchmechanischen Nachweise und der Leckdetektion sowie der dabei einzuhaltenden Sicherheitsfaktoren. Die Definition des Begriffes Basissicherheits-Konzept im Sinne der RSK-Leitlinien /RSK 96/ wurde beibehalten.

Das deterministische Bruchausschluss-Konzept entsprechend der Konzeption der GRS besteht aus den beiden Hauptelementen

- Basissicherheits-Konzept
- Leck-vor-Bruch-Nachweis.

Dabei umfasst das Basissicherheits-Konzept folgende Aspekte:

- Berücksichtigung aller maßgeblichen Belastungen,
- Herstellung der Komponenten in hoher Qualität und
- betriebliche Überwachung und wiederkehrende Prüfungen der Komponenten zur Absicherung des Konzeptes.

Die letzten beiden Punkte des Basissicherheits-Konzeptes lassen sich nach /RSK 96/ etwas detaillierter beschreiben:

- Hochwertige Werkstoffeigenschaften mit dem Hauptaugenmerk auf die chemische Zusammensetzung, die Bruch-Zähigkeit, die Verarbeitbarkeit und die Prüfbarkeit;
- Konservative Begrenzung der Spannungen und Verringerung der Spitzenspannungen; dies beinhaltet sowohl einen ausreichenden Sicherheitsabstand der auftretenden gegen die ertragbaren Belastungen als auch eine Bevorzugung von Aus-

legungs- und Konstruktionsaspekten zur Verringerung von Spannungskonzentrationen in Schweißnähten;

- Abgesicherte Anwendung optimierter Herstellungs- und Prüftechnologien mit Bevorzugung bestimmter Halbzeuge (geschmiedete Ringe für Behälter, nahtlose Rohre und Bögen mit geraden Anschuhenden) sowie engen Toleranzen zur Erzielung eines geringen Versatzes im Schweißnahtbereich;
- Möglichkeit vorhandene Fehlstellen aufzufinden und zu bewerten;
- Betriebliche Überwachung wichtiger Betriebsdaten (z.B. Druck, Temperatur, Wasserchemie), einzelner Komponenten und des Systems sowie vorbeugende Maßnahmen zur Steigerung der Verfügbarkeit der Komponenten durch deren planmäßige Instandhaltung und wiederkehrende Prüfungen.

Entsprechend diesen Vorgaben der RSK-Leitlinien sind die einzelnen Anforderungen an die Druckführende Umschließung in KTA-Regeln der Serie KTA 3201 festgelegt.

Der Leck-vor-Bruch Nachweis, d.h. der Ausschluss des plötzlichen Versagens der druckführenden Umschließung, basiert auf der Stabilität von postulierten Rissen auch unter ungünstigen Randbedingungen. Dazu ist nachzuweisen, dass ein postulierter Anriss während der gesamten Lebensdauer der Anlage nur wenig wächst, so dass er die Wand nicht durchdringt und einen großen Abstand zu kritischen Rissgrößen behält. In einem weiteren Schritt wird ein wanddurchdringender Riss postuliert. Dieser Riss muss einerseits so groß gewählt werden, dass die durch ihn unter Betriebsbeanspruchungen entstehende Leckage innerhalb kurzer Zeit erkannt wird, so dass die Anlage abgefahren werden kann. Andererseits muss der Riss so klein sein, dass er auch unter den maximal anzunehmenden Störfalllasten einen ausreichenden Abstand zu der kritischen Risslänge behält, um ein rechtzeitiges Abfahren auch in diesen Fällen zu gewährleisten.

Diese Grundanforderungen und der Nachweisweg für das Leck-vor-Bruch-Verhalten wurden auch bei der Aktualisierung des Kerntechnischen Regelwerks /KTR 06/ in Modul 4 „Sicherheitsanforderungen für Kernkraftwerke: Anforderungen an die Ausführung der Druckführenden Umschließung, der drucktragenden Wandung der Äußeren Systeme sowie des Sicherheitseinschlusses“ festgelegt. Hinsichtlich einiger Konkretisierungen wird der Standard Review Plan der US NRC, Kapitel 3.6.3 /NRC 87/ herangezogen.

2.2 Bewertungsmerkmale

Aus dem in Abschnitt 2.3.1 beschriebenen Nachweisweg lassen sich folgende Bewertungsmerkmale ableiten:

1. Anwendungsbereich Bruchausschluss

2. Nachweis der gefertigten Qualität für Rohrleitungen

2.1 Auslegung

2.1.1 Belastungen

2.1.2 Dimensionierung

2.1.3 Spannungsanalysen

2.1.4 Ermüdungsanalysen

2.2 Werkstofftechnische Gegebenheiten

2.3 Konstruktive Gegebenheiten

2.4 Fertigung

3. Absicherung der Qualität im Betrieb für Rohrleitungen

3.1 Konzept der Wiederkehrenden Prüfungen (WKP-Konzept)

3.2 Überwachungs-Konzept

3.3 Relevante Betriebserfahrung

4. Leck-vor-Bruch-Nachweis

4.1 Getroffene Lastannahmen

4.2 Rechnerische Nachweise

4.2.1 Ermüdung

4.2.2 Kritische Rissgrößen

4.2.3 Leckraten

4.3 Nachweis der ausreichenden Empfindlichkeit der Leckdetektion

3 **Verwendete Unterlagen**

Die folgenden Unterlagen wurden für den Anlagenvergleich verwendet:

- Kategorie 1

/SIE 01/ Siemens:

PSÜ-Sicherheitsstatusanalyse (SSA) für die Konvoi Kernkraftwerke:
Isar 2 (KKI 2), Emsland (KKE), Neckar Block 2 (GKN II),
Kap. 2: Sicherheitsstatusanalyse, Dez. 1998/Juli 2001

/TÜV 97/ TÜV Energie und Systemtechnik GmbH Baden-Württemberg,
Unternehmensgruppe TÜV Süddeutschland:

Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar, Block I:
Gutachterliche Stellungnahme zur periodischen Sicherheitsüberprüfung
(PSÜ), September 1997, erstellt im Auftrag des Ministeriums für Umwelt
und Verkehr – Baden-Württemberg

/TÜV 01/ TÜV Arbeitsgemeinschaft Konvoi:

Konvoi-Anlagen, Gemeinschaftskraftwerk Neckar, Block II (GKN II),
Kernkraftwerk Emsland (KKE), Kernkraftwerk Isar 2 (KKI 2):
Gutachten zur Sicherheitsstatusanalyse, September 2001

/Zeich-86/ DWR 1300: KKI-2, KKE, GKN-2, LOOP 20 (Hauptkühlmitteleitung mit Vo-
lumenausgleichsleitung), geprüft 23.04.1986

- Kategorie 3

/Zeich-72/ GKN-1: Hauptkühlsystem YA10 und YA30, 26.09.1972, Maße Revision
10.05.1975

4 Anlagenvergleich

Nachfolgend werden die im Abschnitt 2.2 aufgelisteten Bewertungsmerkmale für die betrachteten Anlagen GKN-2 und GKN-1 gegenübergestellt.

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Ergebnis / Kommentar
1. Geltungsbereich			
Anwendungsbereich Bruchausschluss	Hauptkühlmittelleitung (HKL), Volumenausgleichsleitung (VAL), Anschlussleitungen des Nachkühlsystems (TH) bis zur ersten Absperrarmatur, Zusatzboriersystem /SIE 01/.	HKL, VAL, Anschlussleitungen des Nachkühlsystems (TH) und des Volumenregelsystems (TA) bis zur ersten Absperrarmatur sowie die Druckhalter-Sprühleitungen /TÜV 97/	Die Anwendungsbereiche sind in GKN-1 und -2 unterschiedlich und gehen in verschiedener Weise über die HKL, VAL und TH-Anschlussleitungen hinaus.
2. Nachweis der gefertigten Qualität für Rohrleitungen			
2.1 Auslegung			
2.1.1 Belastungen	Die vom Betreiber vorgelegten, aktualisierten Belastungsvorgaben für das nukleare Dampferzeugungssystem werden vom Gutachter bestätigt /TÜV 01/.	Hierzu liegen uns keine Unterlagen vor.	Aufgrund der vorliegenden Unterlagen kein direkter Vergleich möglich.
2.1.2 Dimensionierung	Auslegung nach der Konvoispezifikation, die auf der KTA Regeln 3201.2 und den RSK Leitlinien basiert /TÜV 01/. Die Abmessungen der HKL für die Konvoi-Anlagen sind: Innendurchmesser: 750 mm Wanddicke: 52 mm.	Für die Auslegung galt zusätzlich zu den konventionellen Vorschriften der ASME- Boiler and Pressure Vessel Code Section III für nukleare Behälter /TÜV 97/ Die Abmessungen der HKL sind nach /Zeichnung/: Innendurchmesser: 750 mm Wanddicke: 42 mm.	Aus dem Vergleich der Abmessungen ergibt sich ein in GKN-1 um etwa 20% höheres Membranspannungsniveau.

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Ergebnis / Kommentar
	<p>Eine Nachbewertung der austenitischen Rohrleitungen aufgrund einer Änderung der Begrenzung des S_m-Wertes ergab, dass die Reduzierung der zulässigen Werte durch die Konservativitäten in der Auslegung und die real vorhandenen Werkstoffkennwerte abgedeckt ist /TÜV 01/.</p>	<p>Über eine Nachbewertung für austenitische Rohrleitungen liegen uns keine Informationen vor</p>	<p>Für die austenitischen Rohrleitungen wurden die Spannungsvergleichswerte (S_m-Werte) in KTA 3201.2 (Fassungen von 1980 und 1984) in gleicher Art gebildet wie bereits vorher im konventionellen Regelwerk für Druckbehälter (AD). Erst in der Fassung von 1990 ergibt sich durch die Einführung eines zusätzlichen Kriteriums ($R_{p1,0T/1,5}$) für die hier eingesetzten Werkstoffe eine Reduktion des S_m-Wertes von etwa 6%, die eine Nachbewertung für alle Anlagen nach sich zog.</p> <p>Für GKN-I liegen uns keine Informationen über eine Nachbewertung vor. Eine vergleichende Bewertung der beiden Anlagen ist daher nicht möglich.</p>
2.1.3 Spannungsanalysen	<p>Auslegung nach der Konvoispezifikation, die auf der KTA Regel 3201.2 und der RSK Leitlinien basiert /TÜV 01/.</p>	<p>Für die Auslegung galt zusätzlich zu den konventionellen Vorschriften der ASME-Boiler and Pressure Vessel Code Section III für nukleare Behälter. Die bei der Errichtung erstellten Auslegungsberechnungen zeigen, dass die Anforderungen der KTA 3201.2 eingehalten sind. Die Verifizierung der Festigkeitsberechnungen und Span-</p>	<p>Die uns vorliegenden Unterlagen reichen für eine Bewertung nicht aus: Es liegen für beide Anlagen nur summarische aussagender Gutachter von unterschiedlicher Art vor. Ein direkter Vergleich ist daher nicht möglich.</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Ergebnis / Kommentar
		nungsanalysen erfolgte durch betriebliche Messungen /TÜV 97/	
2.1.4 Ermüdungsanalysen	Auslegung nach der Konvoispezifikation, die auf der KTA Regeln 3201.2 und den RSK Leitlinien basiert /TÜV 01/. Über Ermüdungsberechnungen und speziell deren Aktualisierungen liegen uns keine Informationen vor.	Für die Auslegung galt zusätzlich zu den konventionellen Vorschriften der ASME-Boiler and Pressure Vessel Code Section III für nukleare Behälter. Die bei der Errichtung erstellten Auslegungsberechnungen zeigen, dass die Anforderungen der KTA 3201.2 eingehalten sind. Der Einfluss der Ermüdung wird im Rahmen des Ermüdungshandbuches auf der Grundlage der Auflage 5.5 der 2. TGG verfolgt. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass die Sicherheit der Anlage nicht beeinträchtigt ist /TÜV 97/	Die uns vorliegenden Unterlagen reichen für eine Bewertung nicht aus: Es liegen für beide Anlagen nur summarische Aussagen der Gutachter von unterschiedlicher Art vor. Ein direkter Vergleich ist daher nicht möglich.
2.2 Werkstofftechnische Gegebenheiten	Werkstoffe nach der Konvoispezifikation, die auf der KTA Regel 3201.1 und den RSK Leitlinien basiert /TÜV 01/, d.h.: • HKL: Rohre, Rohrbogen und Rohrleitungsumformstücke >DN 50: 20 MnMoNi 5 5 plattiert mit 1.4551. Schweißen der Verbindungsnahte mit Gegenschweißung von innen.	Folgende Werkstoffe wurden eingesetzt: • HKL: Rohre, Bögen, Stutzen >DN 50: 20 MnMoNi 5 5, plattiert mit 1.4550. Die Werkstoffe sind nach Spezifikationen hergestellt worden, die noch nicht den heutigen Anforderungen an Analyseeinschränkungen und an die	Es wurden grundsätzlich gleiche Werkstoffe für die HKL, VAL und Nachkühlleitungen eingesetzt. Die seinerzeit für GKN-1 herangezogenen Spezifikationen erfüllen jedoch nicht vollständig die Anforderungen der KTA 3201.1, die für GKN-2 herangezogen wurde.

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Ergebnis / Kommentar
	<p>Stutzen \leq DN 50: 1.4550</p> <ul style="list-style-type: none"> VAL und Nachkühlleitungen: Rohre und Bögen: 1.4550 	<p>erhöhte Kerbschlagarbeit nach KTA 3201.1 entsprechen. Wie jedoch aus den Ergebnissen der Abnahmeprüfungen hervorgeht, werden die jetzigen Anforderungen „sinngemäß erfüllt“ /TÜV 97/.</p> <p>Schweißen der Verbindungsnahte ausschließlich von außen in „Cardo-Technik“.</p> <ul style="list-style-type: none"> VAL und Nachkühlleitungen: Rohre und Bögen: 1.4550 	<p>Unterschiedliche Ausführung der Schweißnähte für ferritische Rohrleitungen (HKL).</p>
2.3 Konstruktive Gegebenheiten	<p>Konstruktion nach der Konvoispezifikation, die auf der KTA Regeln 3201 und den RSK Leitlinien basiert /TÜV 01/, d.h.</p> <p>Hauptbestandteile der Rohrleitungen (einschließlich Bögen, größerer Stutzen) aus nahtlosen Erzeugnisformen, Formstücke mit integrierten Stutzen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> HKL: Nahtlose Geradrohre, Bögen aus Halbschalen; Stutzen größer 50 mm sind aufgesetzt /TÜV 97/. 	<p>In GKN-1 sind mit Längsnähten aus Halbschalen zusammengeschnittene Bögen eingesetzt. Die Anzahl der Schweißnähte (Längs- und Umfangsnähte) ist gegenüber GKN-2 deutlich höher. Dies erfordert einen erhöhten Prüfumfang (siehe Merkmal 3.1).</p>
2.4 Fertigung	<p>Fertigung nach der Konvoispezifikation, die auf der KTA Regeln 3201.3 und den RSK Leitlinien basiert /TÜV 01/.</p>	<p>Für die Verarbeitung und die Herstellungsprüfungen waren die konventionellen Regeln die Grundlage. Sie erfüllen mit den vorhandenen zusätzlichen Festlegungen sinngemäß die KTA 3201.3 /TÜV 97/</p>	<p>Aufgrund fehlender Unterlagen ist kein Vergleich möglich.</p>
3. Absicherung der Qualität im Betrieb für Rohrleitungen			
3.1 WKP-Konzept	<p>Die wiederkehrenden Prüfungen werden nach KTA 3201.4 durchgeführt.</p>	<p>Der Umfang der wiederkehrenden zerstörungsfreien Prüfungen wurde über die Anforderungen der KTA 3201.4 hinaus erweitert /TÜV 97/</p>	<p>GKN-1 hat aufgrund der konstruktiven Ausführung mehr Schweißnähte als die Konvoi-Anlagen. Dies führt auch zu einem entsprechend erhöhten</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Ergebnis / Kommentar
			Prüfumfang. Daher ergibt sich aus dem unterschiedlichen Prüfumfang kein relevanter Unterschied.
3.2 Überwachungskonzept	Vorgehen der betrieblichen Überwachung gemäß KTA 3201.4. Gemäß /TÜV 01/ wurde ein Ermüdungsüberwachungssystem nachgerüstet.	Vorgehen der betrieblichen Überwachung gemäß KTA 3201.4 /TÜV 97/.	Über die installierten Systeme liegen uns in den uns vorliegenden Unterlagen keine detaillierten Informationen vor. Ein Vergleich ist daher nicht möglich.
3.3 Relevante Betriebserfahrung	Materialabtrag an Plattierung und austenitischem Vorschuhende aufgrund eines losen Wärmeschutzrohres im Einspeisestutzen des Not- und Nachkühlsystems /WLN 03/.	2 T-Stücke des Volumenregelsystems (TA) mit identifizierten hohen Beanspruchungen wurden vorbeugend ausgetauscht. Bei Nachuntersuchungen wurden ermüdungsbedingte Anrisse gefunden /ME 98/.	Unter „betriebsbedingten Schäden“ werden Schäden verstanden, die im Betrieb neu entstanden sind oder herstellungsbedingte Ungängen, die im Betrieb gewachsen sind. Es wurden unterschiedliche betriebsbedingte Schäden in beiden Anlagen gefunden.
4. Leck-vor-Bruch-Nachweis			
4.1 Getroffene Lastannahmen	Aufgrund der Auslegungsgrundsätze der Konvoi-Anlagen und der Basissicherheit der Komponenten der DfU wird für die Belastung der RDB-Einbauten eine Leckgröße von 0,1F unterstellt /TÜV 97/.	Die im Zuge der Erfüllung der Auflage 5.29 der 2. TBG vorgelegten Nachweise ergaben, dass ... lediglich 0,1 F Rundrisse zu unterstellen sind. Dies wurde vom Gutachter bestätigt /TÜV 97/. Das größte zu unterstellende Leck ist das mittlere Primärkreisleck, was dem Abriss der Volumenausgleichsleitung (0,1 F-Leck) entspricht /SIE 01/.	In den uns vorliegenden Unterlagen befinden sich keine Informationen zur Vorgehensweise für den Leck-vor-Bruch-Nachweis. Die Leckpostulate sind in beiden Anlagen gleich. Daraus ergibt sich kein erkennbarer Unterschied zwischen den Anlagen.
4.2 Rechnerische Nachweise	Keine Angaben	Die im Zuge der Erfüllung der Auflage 5.29 der 2. TBG vorgelegten Nach-	Es liegt lediglich für eine Anlage eine summarische Aussage vor. Daher ist

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Ergebnis / Kommentar
		weise ergaben, dass die Druckführende Umschließung die Qualitätsmerkmale erfüllt, dass überkritische Längsrisse auszuschließen sind und lediglich 0,1 F Rundrisse zu unterstellen sind. Dies wurde vom Gutachter bestätigt /TÜV 97/.	kein Vergleich möglich.
4.2.1 Ermüdung	Keine Angaben	Keine Angaben	In den uns vorliegenden Unterlagen befinden sich für beide Anlagen keine Informationen zur Vorgehensweise für den Ermüdungsnachweis im Rahmen des Leck-vor-Bruch-Nachweises. Ein Vergleich ist daher nicht möglich.
4.2.2 Kritische Rissgrößen	Keine Angaben	Keine Angaben	In den uns vorliegenden Unterlagen befinden sich für beide Anlagen keine Informationen zur Vorgehensweise für die Bestimmung der kritischen Rissgrößen. Ein Vergleich ist daher nicht möglich.
4.2.3 Leckraten	Keine Angaben	Keine Angaben	In den uns vorliegenden Unterlagen befinden sich für beide Anlagen keine Informationen zur Vorgehensweise für die Leckratenbestimmung. Ein Vergleich ist daher nicht möglich.
4.3 Nachweis der ausreichenden Empfindlichkeit der Leckdetektion	Keine Angaben	Keine Angaben	In den uns vorliegenden Unterlagen befinden sich für beide Anlagen keine Angaben zur Empfindlichkeit der Leckdetektion. Ein Vergleich ist daher nicht möglich.

5 Bewertung

In den uns vorliegenden Unterlagen zu den PSÜ der Blöcke I und II des Gemeinschaftskernkraftwerkes Neckar werden die Ergebnisse des Nachweises des Bruchausschlusses summarisch wiedergegeben. So führen die von der Landesbehörde beauftragten Sachverständigen bspw. für GKN-1 aus (siehe /TÜV 97/, Seite 57f):

„Für die Anlage GKN I wurden in der Vergangenheit bei verschiedenen Gelegenheiten (Auflagenprüfung, Änderungsverfahren) Bewertungen des in der Anlage realisierten Qualitätsstandes durchgeführt, auch und gerade im Hinblick auf die Erfüllung der für den Bruchausschluß der DFU bzw. Äußeren Systeme erforderlichen Qualitätsanforderungen.

Folgende wesentlichen Vorgänge sind hier zu nennen:

- DFU, Auflage 5.29: In der Auflage 5.29, 2. TBG wurde der Nachweis des Ausschlusses überkritischer Längsrisse gefordert. Die im Zuge der Erfüllung dieser Auflage vorgelegten und vom Gutachter geprüften Nachweise ergaben, dass in der Anlage GKN I eine derartige Qualität der Hauptkühlmittelleitung realisiert ist, dass sowohl überkritische Längsrisse auszuschließen sind als auch nur noch 0,1 A-Rundrisse zu unterstellen sind. Als Bruchannahmen für die DFU im Rahmen der PSÜ sind demzufolge zu unterstellen:
 - Lecks $\leq 0,1$ A der Hauptkühlmittelleitung, Volumenausgleichsleitung und DH-Sprühleitungen
 - ...“

Die Aussage der von der Landesbehörde beauftragten Sachverständigen, dass „sowohl überkritische Längsrisse auszuschließen sind als auch nur noch 0,1 A-Rundrisse zu unterstellen sind“, ist aus wissenschaftlich-technischer Sicht äquivalent zu dem in **Abschnitt 2.1.1** definierten Postulat „Bruchausschluss“. Da diese Aussage auch die Prüfung aller notwendigen Kriterien voraussetzt, bestätigen die Sachverständigen damit, dass alle dafür relevanten Nachweise erbracht worden sind. Diese Nachweise werden jedoch im Einzelnen in /TÜV 97/ nicht dargelegt. Es bleibt offen und kann von uns anhand der vorliegenden Unterlagen nicht bewertet werden, inwieweit damit auch die verfahrensbezogenen Anforderungen an die Nachweisführung zum „Bruchabschluss“ entsprechend dem heutigen Stand erfüllt werden.

Darüber hinaus werden in den uns vorliegenden Unterlagen zu den PSÜ der Blöcke I und II des Gemeinschaftskernkraftwerkes Neckar /TÜV 97/, /SIE 01/ Aussagen zur Auslegung und Qualität der Rohrleitungen der druckführenden Umschließung getrof-

fen. Damit werden zwar wesentliche Voraussetzungen für einen Nachweis des Bruchausschlusses angesprochen, der Nachweis des Bruchausschlusses selbst, d.h. insbesondere der Nachweis des Leck-vor-Bruch-Verhaltens der Rohrleitungen, wird in diesen Unterlagen jedoch nur am Rande behandelt und kann von uns auf dieser Grundlage nicht bewertet werden. Der von uns vorgenommene Anlagenvergleich beschränkt sich deshalb im Wesentlichen auf die Auslegung und Qualität der Komponenten.

5.1 Relevante Unterschiede

5.1.1 Anwendungsbereich Bruchausschluss (Merkmal 1)

Der Anwendungsbereich innerhalb der Druckführenden Umschließung (DfU) umfasst in beiden Blöcken die Hauptkühlmittelleitung (HKL), die Volumenausgleichsleitung (VAL), sowie die Anschlussleitungen des Nachkühlsystems an die HKL bis zur ersten Absperrarmatur. Zusätzlich wird in den beiden Anlagen nach den uns vorliegenden Unterlagen noch für folgende Rohrleitungen innerhalb der DfU Bruchausschluss unterstellt:

- in GKN-1 für die Anschlussleitungen des Volumenregelsystems an die HKL bis zur ersten Absperrarmatur und die Druckhalter-Sprühleitungen,
- in GKN-2 das Zusatzboriersystem (hier wird von uns vermutet, dass es sich um die Zuleitungen des Zusatzboriersystems bis zur ersten Absperrarmatur handelt; GKN-1 hat kein Zusatzboriersystem).

5.2 Auslegung für die Hauptkühlmittelleitung (HKL) (Merkmal 2.1.2)

Aus den unterschiedlichen Wanddicken der HKL in beiden Blöcken bei gleichem Durchmesser und etwa gleichem Betriebsdruck ergibt sich für GKN-1 eine um etwa 20% höhere Membranspannung aus reinem Innendruck als für GKN-2. Dies lässt sich damit erklären, dass die HKL von GKN-1 nach konventionellem Regelwerk ausgelegt worden ist und diejenige von GKN-2 nach KTA 3201.2, da der nach konventionellem Regelwerk für Druckbehälter (AD-Merkblatt S3) gebildete Spannungsvergleichswert für den hier eingesetzten Werkstoff gegenüber dem Spannungsvergleichswert nach KTA 3201.2 entsprechend höher ist. Daraus ergibt sich für diesen Lastfall nach AD-Merkblatt S3 auch ein entsprechend höheres zulässiges Spannungsniveau als nach KTA 3201.2.

5.2.1 Unterschiedlich spezifizierter Werkstoff der HKL (Merkmal 2.2)

Sowohl bei GKN-1 als auch bei GKN-2 wurde die HKL aus einem Werkstoff mit der Bezeichnung 20 MnMoNi 5 5 gefertigt. Zur Zeit der Herstellung der HKL für GKN-1 war dieser Werkstoff jedoch noch nicht in KTA spezifiziert. Daraus erklärt sich, dass die seinerzeit vom Hersteller herangezogene Spezifikation für diesen Werkstoff nicht in allen Punkten die später aufgestellten Anforderungen der KTA 3201.1 erfüllt.

5.2.2 Unterschiedliche Ausführung der Schweißnähte der HKL (Merkmal 2.2)

Die Schweißnähte der HKL der Konvoi-Anlagen sind nach dem Ausfügen der Schweißnahtwurzel von innen gegengeschweißt und plattiert. Die Schweißnähte der HKL von GKN-1 sind nur von außen geschweißt, wobei die Plattierung von beiden Enden verbunden wird und anschließend Zwischenlagen aus Reineisen (sogenannte Cardolagen) gelegt werden, um eine Aufmischung der austenitischen Plattierung mit den ferritischen Fülllagen zu vermeiden.

5.2.3 Unterschiedliche Ausführung der Bögen (Merkmal 2.3)

Die Rohrbögen der HKL sind in den Konvoi-Anlagen aus nahtlosen Schmiedestücken gefertigt. Dagegen wurden für diese Bögen in GKN-1 Bleche in Halbschalen gepresst und mit Längsnähten zusammengeschweißt.

5.2.4 Unterschiedliche Betriebserfahrung (Merkmal 3.3)

Es gab zwei betriebsbedingte Schäden im Anwendungsbereich des Bruchauschlusses der Druckführenden Umschließung der Blöcke 1 und 2 der Anlage GKN:

- In GKN-1 von innen ausgehende Anrisse an 2 von 3 ausgetauschten T-Stücken des Volumenregelsystems (TA) /ME 98/.
- In GKN-2 Materialabtrag durch ein loses Wärmeschutzrohr in der Einspeiseleitung des Not- und Nachkühlsystems /WLN 03/.

5.3 Bewertungsmaßstäbe

Bewertungsmerkmal	Ziele und Kriterien
1. Geltungsbereich	
Anwendungsbereich Bruchausschluss	Sollte entsprechend /RSK 96/ nicht über die Hauptkühlmittelleitung und Anschlussleitungen >DN200 hinaus ausgedehnt werden.
2. Nachweis der gefertigten Qualität für Rohrleitungen	
2.1 Auslegung	
2.1.1 Belastungen	Das Lastkollektiv sollte für den bestimmungsgemäßen Betrieb und Störfälle spezifiziert sein und die maximal möglichen Belastungen einschließlich den Häufigkeiten für ihr Auftreten abdecken.
2.1.2 Dimensionierung	Abstand zu den zulässigen Spannungsgrenzen nach KTA 3201.2, Kap. 6.
2.1.3 Spannungsanalysen	Abstand zu den zulässigen Spannungsgrenzen nach KTA 3201.2, Kap. 7 oder 8 für alle Beanspruchungsstufen.
2.1.4 Ermüdungsanalysen	Sicherheit gegen Ermüdungsschäden für die gesamte Betriebszeit (gemäß Ermüdungsanalysen nach KTA 3201.2, Kap. 7.8).
2.2 Werkstofftechnische Gegebenheiten	Es sind für Rohrleitungen der DfU qualifizierte Werkstoffe einzusetzen. Als solche gelten <ul style="list-style-type: none"> • die ferritischen Werkstoffe 20 MnMoNi 5 5 (1.6310) und 22 NiMoCr 3 7 (1.6751) • sowie die austenitischen Werkstoffe X 6 CrNiTi 18 10 S (1.4541) und X 6 CrNiNb 18 10 S (1.4550). Für diese Werkstoffe ist die Einhaltung der Spezifikationen nachzuweisen. Für 22 NiMoCr 3 7 existieren eine Siemens-Spezifikation und VdTÜV Werkstoffblätter, die anderen Werkstoffe sind in KTA 3201.1 spezifiziert.
2.3 Konstruktive Gegebenheiten	Es sollen nahtlose Rohre, Bögen und Schmiedestücke für Stutzen eingesetzt werden; plattierte Rohrleitungen sollen von innen gegengeschweißt werden; Schweißnähte sollen außerhalb von Spannungsüberhöhungen liegen.
2.4 Fertigung	Hersteller und Verfahren sind zu qualifizieren, die Qualität der Rohrleitungen durch qualitätssichernde Maßnahmen zu gewährleisten.
3. Absicherung der Qualität im Betrieb für Rohrleitungen	
3.1 WKP-Konzept	Art, Umfang und Durchführung der wiederkehrenden Prüfungen im Vergleich zu KTA 3201.4.
3.2 Überwachungs-Konzept	Vorgehen der betrieblichen Überwachung im Vergleich zu KTA 3201.4.
3.3 Relevante Betriebserfahrung	Keine betriebsbedingten Schäden

Bewertungsmerkmal	Ziele und Kriterien
4. Leck-vor-Bruch-Nachweis	
4.1 Getroffene Lastannahmen	Es sind abdeckende Lastannahmen zu treffen. Vorgehensweise bei der Ermüdungsanalyse (postulierte Ausgangsrissgröße, zulässiges Risswachstum). Sicherheitsabstände gegen kritische Rissgrößen und Leckerkennung.
4.2 Rechnerische Nachweise	
4.2.1 Ermüdung	
4.2.2 Kritische Rissgrößen	
4.2.3 Leckraten	
4.3 Nachweis der ausreichenden Empfindlichkeit der Leckdetektion	

Für die Bewertung kompensatorischer Maßnahmen bei Abweichungen von der basis-sicheren Ausführung wird das Positionspapier des RSK-Ausschusses Druckführende Komponenten und Werkstoffe zum Thema „Bruchausschluss für Rohrleitungen“ /DKW 06/ mit herangezogen.

5.4 Bewertung der relevanten Unterschiede

5.4.1 Anwendungsbereich Bruchausschluss (Merkmal 1)

Die Anwendung des Bruchausschlusses geht in beiden Anlagen über den in den RSK Leitlinien vorgesehenen Umfang (HKL und große Anschlussleitungen DN > 200) hinaus. In beiden Anlagen wird Bruchausschluss auch auf kleinere Anschlussleitungen an die HKL (Volumenregelsystem in GKN-1, Zusatzboriersystem in GKN-2) bis zur ersten Absperrarmatur angewandt. Außerdem wird in GKN-1 noch Bruchausschluss für die Druckhalter-Sprühleitungen in Anspruch genommen. Bei diesen Systemen handelt es sich nach unseren Kenntnissen um Rohrleitungen der Durchmesser DN50 bis DN80.

Dieser ausgedehnte Anwendungsbereich wird in den uns vorliegenden Unterlagen weder begründet noch werden die Nachweise über dessen Zulässigkeit im Einzelnen dargelegt. Da bei der Anwendung des Bruchausschlusses auf diese Rohrleitungen Vor- und Nachteile gegenüber der Auslegung gegen 2F-Brüche abzuwägen sind, lässt sich ohne detaillierte Analysen, die den Rahmen der hier durchgeführten Untersuchungen überschreiten würden, kein sicherheitstechnischer Vor- oder Nachteil dieser Anwendungen ableiten.

5.4.2 Auslegung für die Hauptkühlmittelleitung (HKL) (Merkmal 2.1.2)

In dem Positionspapier /DKW 06/ wird als „unverzichtbare“ Bedingung für den Nachweis von Bruchausschluss ein „niedriges Membranspannungsniveau“ gefordert. Diese Bedingung wird von uns für die Konvoi-Anlagen für die Hauptkühlmittelleitung (HKL) auf der Basis der vorliegenden Hauptabmessungen als gegeben angesehen /Zeich-86/. Auch für GKN-1 wird vom Gutachter bescheinigt, dass die nach KTA 3201.2 zulässigen Spannungen eingehalten werden. Dennoch liegt in der HKL des GKN-1 ein um etwa 20% höheres Spannungsniveau durch Innendruckbelastung vor /Zeich-72/.

Ein höheres Spannungsniveau schlägt sich beim Leck-vor-Bruch Nachweis in kleineren kritischen Risslängen nieder und erfordert damit eine höhere Empfindlichkeit der geforderten Leckerkennung von unterkritischen Durchrissen. Außerdem sind die Sicherheitsmargen sowohl gegenüber erhöhten Belastungen als auch unzulässigen Fehlern geringer. Daher liegt in dem unterschiedlichen Spannungsniveau der HKL ein qualitativer Unterschied, der auch durch kompensatorische Maßnahmen, wie eine verstärkte Überwachung der Belastungen und umfangreiche zerstörungsfreie Prüfungen, unseres Erachtens nicht vollständig ausgeglichen werden kann.

5.4.3 Unterschiedlich spezifizierter Werkstoff der HKL (Merkmal 2.2)

Der Werkstoff 20 MnMoNi 5 5 wurde im Laufe der 70iger Jahre im Hinblick auf geringere Verarbeitungsempfindlichkeit und höhere Zähigkeit hin optimiert. Diese Optimierungen sind jedoch im Wesentlichen für dickwandige Behälter relevant. In KTA 3201.1 sind nur die Anforderungen an den optimierten Werkstoff 20 MnMoNi 5 5 spezifiziert. Entsprechend erfüllt die in GKN-1 herangezogene Spezifikation, die üblicherweise einzuhaltende Mindest- bzw. Grenzwerte vorgibt, nicht alle entsprechenden Anforderungen der KTA 3201.1. In /TÜV 97/ wird jedoch bestätigt, dass die Ist-Werte der Abnahmeprüfungen die Anforderungen der KTA 3201.1 sinngemäß erfüllen.

Abweichungen der in GKN-1 geprüften Werte betreffen nach /TÜV 97/ Analyseneinschränkungen und die Hochlage der Kerbschlagarbeit. Eine geringere Kerbschlagarbeit (Zähigkeit) schlägt sich beim Leck-vor-Bruch Nachweis in kleineren kritischen Risslängen nieder und stellt damit höhere Anforderungen an die Leckerkennung von unterkritischen Durchrissen, die für den Nachweis gefordert wird. Außerdem sind dann

die Sicherheitsmargen gegenüber unzulässigen Fehlern und erhöhten Belastungen kleiner.

Insgesamt kann auf der Basis der Aussagen der Gutachter davon ausgegangen werden, dass für GKN-1 ungünstigere Verhältnisse hinsichtlich der Zähigkeit vorliegen. Konkrete Daten für die hier betrachteten Rohrleitungen beider Anlagen sowie die seinerzeit für GKN-1 herangezogene Spezifikation liegen uns jedoch nicht vor, so dass ein konkreter Vergleich nicht möglich ist.

5.4.4 Unterschiedliche Ausführung der Schweißnähte der HKL (Merkmal 2.2)

Bei Schweißung von Rohrleitungen treten generell Schweißfehler im Wurzelbereich mit größerer Wahrscheinlichkeit auf. Bei der in den Konvoi-Anlagen praktizierten Technik mit Ausfugen dieses Bereiches und Gegenschweißen von innen wird diese potentielle Fehlerquelle eliminiert, was die Fertigungssicherheit erhöht. Mit den im GKN-1 eingesetzten Cardolagen wird ein zusätzlicher Werkstoffbereich mit anderem Gefüge und anderen mechanischen Eigenschaften in die Wurzel eingebracht, was bei den zerstörungsfreien Prüfungen und den Leck-vor-Bruch-Nachweisen zu berücksichtigen ist und in beiden Fällen den Aufwand erhöht. Wenn jedoch die vollständige Prüfbarkeit der Schweißnaht gegeben ist und die Fehlerfreiheit der Schweißverbindung durch zerstörungsfreie Prüfung nachgewiesen wird, werden Schweißnähte mit Cardolagen nicht als qualitätsmindernd angesehen.

Inwieweit und ggf. mit welchem Ergebnis die zerstörungsfreien Prüfungen dieser Schweißnähte durchgeführt worden ist, geht aus den uns vorliegenden Unterlagen nicht hervor. Eine Bewertung ist daher nicht möglich.

5.4.5 Unterschiedliche Ausführung der Bögen (Merkmal 2.3)

Die Ausführung von Bögen in GKN-1 aus Halbschalen mit Längsnähten weicht von den Vorgaben der basissicheren Ausführung ab, die nahtlose Bögen vorsieht. Um bei bestehenden Anlagen dennoch die Voraussetzungen für den Bruchausschluss zu erfüllen, werden in /DKW 06/ als Ersatzmaßnahmen die Nachweise verlangt, dass die Schweißnähte mindestens die Qualität des Grundwerkstoffs haben und technisch fehlerfrei sind. Darüber hinaus sind die Längsnähte beim Leck-vor-Bruch-Nachweis zu berücksichtigen.

Für die Längsnähte der HKL im GKN-1 liegen uns keine Informationen über die Nachweise einer dem Grundwerkstoff gleichwertigen Qualität und ihrer Fehlerfreiheit vor. Eine Bewertung ist daher nicht möglich.

5.4.6 Unterschiedliche Betriebserfahrung (Merkmal 3.3)

Es gab zwei betriebsbedingte Schäden im Anwendungsbereich des Bruchausschlusses der Druckführenden Umschließung der Blöcke 1 und 2 der Anlage GKN:

In GKN-1 sind Teile des Volumenregelsystems (TA) ausgetauscht worden. Im Rahmen eines Nachuntersuchungsprogramms wurden an 2 von 3 ausgetauschten T-Stücken von innen ausgehende Anrisse gefunden, die auf Ermüdung zurückgeführt wurden /ME 98, TÜV 98/. Als Ursache gelten Temperaturwechsel durch ungünstige Rohrleitungsführung und undichte Rückschlagklappen nahe den betroffenen beiden T-Stücken, die jeweils eine kalte in eine heiße TA-Einspeiseleitung einbinden. Die Temperaturwechsel waren bereits durch betriebsbegleitende Überwachungsmaßnahmen erkannt worden. Da die betroffenen Rohrleitungsbereiche ausgetauscht worden sind und dabei sowohl die Rohrleitungsführung als auch die betriebliche Überwachung optimiert wurde, wird diese Schädigung nicht als Nachteil für die Anlage GKN-1 gegenüber GKN-2 angesehen.

In GKN-2 ist ein „Sekundärschaden“ aufgrund eines gelösten Einbauteiles (Wärmeschutzrohr) in der Einspeiseleitung des Not- und Nachkühlsystems aufgetreten /WLN 03/. Dabei wurde durch Reibung des losen Wärmeschutzrohres an der druckführenden Wandung des Stutzens an eng begrenzten Stellen im Bereich des Vorschuhendes als auch in der Plattierung des Stutzens Material abgetragen. Die Druckführende Umschließung war jedoch nicht unzulässig geschwächt. Die beschädigten Bereiche wurden ausgeschliffen, um eine prüfbare Geometrie zu gewährleisten und in das Programm für die Wiederkehrenden Prüfungen aufgenommen. Die Ursache lag in einem Herstellungsfehler des Einbauteiles. Eine Überprüfung der anderen Wärmeschutzrohre in Stutzen der HKL ergab keine weiteren Befunde.

Es handelt sich hier um einen Einzelfehler, der nicht auf einen Qualitätsmangel der Druckführende Umschließung zurückzuführen ist. Die Integrität der Druckführenden Umschließung ist durch die Beschädigung nicht infrage gestellt und wird an dieser Stel-

le gezielt überwacht. Es wird daher aus diesem Ereignis keine Beeinträchtigung des Bruchausschlusses für die Anlage GKN-2 abgeleitet.

5.5 Fazit

Durch die technische Entwicklung der Fertigungstechnologie ergeben sich Unterschiede hinsichtlich der Ausführung der druckführenden Umschließung beider Blöcke des Gemeinschaftskernkraftwerkes Neckar, die jedoch im Hinblick auf den Nachweis des Bruchausschlusses durch zusätzlichen Prüf- und Nachweisaufwand weitgehend kompensiert werden können. Inwieweit die in GKN-1 bestehenden diesbezüglichen Unterschiede kompensiert worden sind, kann anhand der uns vorliegenden Unterlagen nicht bewertet werden. Unabhängig davon liegen jedoch qualitative Unterschiede in der Zähigkeit des Werkstoffs und in der unterschiedlichen Auslegung der Rohrleitungen vor, die in GKN-1 zu einem höheren Spannungsniveau in der Hauptkühlmitteleitung und damit deutlich geringeren kritischen Risslängen führen. Daraus ergeben sich für GKN-1 auch für den Bruchausschluss generell geringere Sicherheitsmargen.

6 Literatur

- /BIE 01/ Bieniussa, K. W.: Introduction in the German Break Preclusion Concept and Required Leak Postulates; IAEA Workshop on "Application of the Leak-Before-Break Concept", May 14-17, 2001, Ljubljana / Slovenia
- /BMU 01/ Grundsätze der Tätigkeit von Sachverständigen im Auftrag der Bundesaufsicht über die Ausführung des Atomgesetzes im Hinblick auf Atomkraftwerke, Forschungsreaktoren und sonstige Reaktoren (Sachverständigen-Grundsätze der Bundesaufsicht über Atomkraftwerke), Stand: Juli 2001
- /BMU 06/ SR 2569 „Sicherheitstechnische Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung“, 05.12.2006
- /DKW 06/ Untersuchungsvorhaben SR 2360 des BMU „Zentrale Untersuchung und Auswertung von Herstellungsfehlern und Betriebsschäden im Hinblick auf druckführende Anlagenteile von Kernkraftwerken“
Schwerpunktthema: Bruchausschluss für Rohrleitungen
Positionspapier des RSK-Ausschusses Druckführende Komponenten und Werkstoffe, Anlage 1 zum Protokoll der 67. Sitzung, 11.10.2006
- /GRS 04/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS):
Basis for GRS Assessments for the Assessment of the Application of Break Preclusion Concept to the NPP FIN5 Design and Questions Connected with Break Assumptions; GRS October 2004
- /KTR 06/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Öko-Institut e.V., Physikerbüro Bremen:
Aktualisierung des Kerntechnischen Regelwerks, Module 1 – 11, Revision B, Entwurf Stand: September 2006, BMU-Vorhaben SR 2475
- /KUS 84/ Kußmaul, K.: German Basis Safety Concept Rules out Possibility of Catastrophic Failure; Nuclear Engineering International 12 (1984), pp.41/46

- /ME 98/ Meldung eines meldepflichtigen Ereignisses:
Anlage: GKN-1; Ereignisdatum: 02.09.1998
Rissbefunde an T-Stücken des Volumenregelsystems
Schreiben des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg
vom 29.9.1995
- /NRC 87/ NUREG-0800, Standard Review Plan:
Section 3.6.3, Leak-Before-Break Evaluation Procedures; Rev. 0, Oct. 1987
U.S. Nuclear Regulatory Commission
- /ROO 01/ E. Roos, K.-H. Herter, F. Otremba, K.-J. Metzner:
General Concept for the Integrity of Pressurized Components
Transactions of SMIRT 16, Washington D.C., August 2001, Paper no. 1725
- /RSK 96/ RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren:
Ursprungsfassung (3. Ausgabe vom 14. Oktober 1981) mit Änderungen
vom 15.11.1996 mit den Anhängen:
1. Auflistung der Systeme und Komponenten, auf die die „Rahmenspezifikation Basissicherheit von druckführenden Komponenten“ anzuwenden ist (06.09.1979)
2. Rahmenspezifikation „Basissicherheit von druckführenden Komponenten“ (06.09.1979)
- /TÜV 98/ TÜV Energie und Systeme:
Stellungnahme, GKN I: Meldepflichtiges Ereignis M08/98
Rissbefunde an T-Stücken des Volumenregelsystems
Filderstadt, 1998-10-07.
- /VdT 05/ Verband der Technischen Überwachungsvereine (VdTÜV):
Bruchmechanische Nachweise zur Absicherung eingeschränkter Lecknahmen bei Rohrleitungen (Bruchausschluss),
Bericht Nr. 62 der TÜV-Leitstelle Kerntechnik beim VdTÜV,
Berlin, 21.12.2005

- /VGB 07/ H. Hoffmann, U. Ilg, G. König, W. Mayinger, G. Nagel, D. Schümann, M. Widera: Das Integritätskonzept für Rohrleitungen sowie Leck- und Bruchpostulate in deutschen Kernkraftwerken
VGB Powertech 87, 7/2007, S. 78-91
- /WLN 03/ Weiterleitungsnachricht zu meldepflichtigen Ereignissen in Kernkraftwerken der Bundesrepublik Deutschland (WLN 2003/05)
„Abriss eines Wärmeschutzrohres am Stutzen des nuklearen Nachwärmefuhrsystems“ im Kernkraftwerk GKN-2, entdeckt am 24.08.2002, GRS Köln, 25.03.2003



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische
Überprüfung von Anla-
gen zu ausgewählten
Anforderungen und
Ereignissen im Rahmen
von Anträgen zur Rest-
strommengenübertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 4:

„Fehlöffnen einer Umleit-
station“

SR 2569



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 4:
„Fehlöffnen einer Umleitstation“

Februar 2008
Auftrags-Nr.: 820410

Anmerkung:

Dieser Bericht ist im Auftrag des BMU im Rahmen des Vorhabens SR 2569 erstellt worden. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt werden bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers und der Unterauftragnehmer wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers übereinstimmen.

Vorwort

Im Atomgesetz wurden mit der Änderung vom 26.04.2002 die Reststrommengen für die in Betrieb befindlichen Kernkraftwerksblöcke in Deutschland festgelegt. Über die Zustimmung zur Übertragung von Elektrizitätsmengen entscheidet das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) im Einvernehmen mit dem Bundeskanzleramt und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Im Rahmen der Entscheidungsfindung des BMU über die Anträge auf Übertragung von Elektrizitätsmengen hat das BMU auch eine vergleichende Sicherheitsüberprüfung zwischen einer Anlage, die Strommengen abgibt und derjenigen, welche die Strommengen bekommen soll, vorgesehen. Da in der zur Verfügung stehenden Zeit keine in Prüfungsumfang und -tiefe mit der Durchführung und der sachverständigen Prüfung von Sicherheitsüberprüfungen nach § 19a AtG vergleichbare, umfassende Ermittlung und sicherheitstechnische Bewertung beider Anlagen möglich ist, beauftragte das BMU die GRS, zusammen mit benannten Unterauftragnehmern mit der „Sicherheitstechnischen Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung“ /BMU 06/. Auftragsgegenstand sind punktuelle Untersuchungen einzelner Bewertungsgegenstände, die gemeinsam von BMU, GRS und den Unterauftragnehmern festgelegt wurden. Um dem BMU eine vergleichende Bewertung zu ermöglichen, ob sichergestellt ist, dass die beantragte Übertragung von einer neueren auf eine ältere Anlage nicht zu Lasten der Sicherheit geht, wurden sicherheitstechnisch relevante Bewertungsgegenstände für jede beantragte Übertragung insbesondere unter Beachtung folgender Kriterien ausgewählt:

- die anlagentechnischen Gegebenheiten der antragsgemäß betroffenen abgebenden und empfangenden Anlage beinhalten wesentliche Unterschiede und / oder
- die Bewertungsgegenstände berühren Entwicklungen seit Genehmigungserteilung bezüglich des Standes von Wissenschaft und Technik und
- die Untersuchungen sind in der zur Verfügung stehenden Zeit voraussichtlich durchführbar.

Dabei wird die sicherheitstechnische Fragestellung weitgehend auf die Beherrschbarkeit von zu erwartenden oder im Rahmen der Nachweisführung postulierten Ereignismöglichkeiten bezogen.

Die Durchführung eines nur punktuellen, aber die genannten Auswahlkriterien beachtenden Prüfprogramms ist aus Sicht des Auftraggebers gerechtfertigt, da der Gesetzgeber die Festlegung der konkreten Maßstäbe für die Prüfung, ob die beabsichtigte Übertragung zu Lasten der Sicherheit ginge und deren willkürfreie Anwendung in § 7 Abs. 1b Satz 2 AtG der Exekutive überlassen hat; Art und Umfang der Ermittlung der für seine Sicherheitsbewertung entscheidungserheblichen Tatsachen sind vom BMU im Rahmen seines Verfahrensermessens zu bestimmen.

Das Überprüfungskonzept basiert auf einer Auswertung und Bewertung von Unterlagen, die der Betreiber für die einzelnen Bewertungsgegenstände dem BMU vorlegen soll. Für den Fall, dass keine spezifischen Unterlagen vorgelegt werden, ist auftragsgemäß vorgesehen, alle Dokumente und Informationen, die in den beteiligten Sachverständigenorganisationen für die hier anstehenden Aufgaben zur Verfügung stehen, für diese Überprüfung zu nutzen. Da diese Dokumente und Informationen hinsichtlich ihrer Aktualität und Belastbarkeit sehr unterschiedlich sein können, wird zu jedem Bewertungsgegenstand ein einheitlich klassifizierter Unterlagen- und Quellennachweis vorgelegt. Dabei wird zwischen den folgenden Kategorien unterschieden:

- Kategorie 1: im atomrechtlichen Verfahren geprüfte / begutachtete bzw. vom BMU freigegebene Unterlagen,
- Kategorie 2: Stellungnahmen der RSK bzw. der SSK und
- Kategorie 3: nicht im Sinne von Kategorie 1 geprüfte Unterlagen, die jedoch nach Auffassung der Auftragnehmer Informationen zum Sachverhalt enthalten.

Die vergleichenden Darstellungen zu den einzelnen Bewertungsgegenständen basieren jeweils auf diesen Unterlagen und spiegeln den darin wiedergegebenen Anlagenzustand wieder. Abweichungen zum derzeitigen Anlagenzustand aufgrund zwischenzeitlich durchgeführter Änderungen sind nicht auszuschließen.

Bewertungsmaßstab ist der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik. Dabei sind neben dem Erfüllungsgrad von regulatorischen Sicherheitsanforderungen bezüglich der Beherrschbarkeit von Ereignissen insbesondere auch die anlagenspezifischen Reserven in die Bewertung einzubeziehen. Aufgrund der Begrenzungen in der Bearbei-

tungszeit und im Umfang und Detaillierungsgrad der Unterlagen erfolgt aber keine vollständige Überprüfung sondern eine Fokussierung auf wesentliche grundlegende Sicherheitsanforderungen. Die für die jeweiligen Bewertungsgegenstände spezifischen Bewertungsmerkmale werden in den einzelnen Berichten ausgewiesen. Die Bewertungsmerkmale beziehen sich grundsätzlich entweder unmittelbar auf grundlegende Sicherheitsanforderungen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik oder mittelbar auf anlagentechnisch vergleichbare Sicherheitsfunktionen mit Anforderungen entsprechend des gestaffelten Sicherheitskonzepts. Die Bewertung der Sicherheitsfunktionen erfolgt im Wesentlichen im Hinblick auf deren Wirksamkeit und Qualität.

Auftragsgemäß sollen die Überprüfungen anhand deterministischer Bewertungsweisen erfolgen. Dieser methodische Ansatz kann in einigen Fällen dazu führen, dass bei der vergleichenden Bewertung von komplexen Systemkonstellationen bezüglich der Beherrschbarkeit eines Ereignisses keine eindeutige, abschließende Bewertung möglich ist. Im Rahmen der hier vorgesehenen Bewertungen wären weiterführende probabilistische Bewertungen auch aufgrund fehlender spezifischer Unterlagen in der vorgesehenen Bearbeitungszeit nicht durchführbar und sind daher auftragsgemäß nicht vorgesehen.

Es besteht daher Einvernehmen mit dem BMU darin, dass aufgrund der Begrenzung der Überprüfungsdauer und der Unterlagensituation wesentliche Anforderungen der "Sachverständigengrundsätze für die Bundesaufsicht" /BMU 01/ nicht eingehalten werden können. Die Abweichungen beziehen sich insbesondere auf die Vollständigkeit, Aktualität und Belastbarkeit von Unterlagen bei der Sachverhaltsermittlung sowie die Bewertungsmethoden, die im vorliegenden Fall weitgehend auf ingenieurmäßige Betrachtungsweisen eingeschränkt sind.

Die durchgeführten Sicherheitsvergleiche beinhalten keine aufsichtliche Überprüfung der betroffenen Anlagen. Auftragsgemäß wird zu jedem Bewertungsgegenstand ein separater Ergebnisbericht erstellt. Eine Gesamtbewertung ist nicht beauftragt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale.....	2
2.1	Beschreibung des Ereignisablaufes.....	2
2.2	Bewertungsmerkmale	2
3	Verwendete Unterlagen	4
4	Anlagenvergleich	5
5	Bewertung.....	8
5.1	Relevante Unterschiede.....	8
5.2	Bewertung der relevanten Unterschiede.....	8
5.3	Fazit	9
6	Literatur.....	10

1 Einleitung

Im vorliegenden Bericht geht es um sicherheitstechnische Vergleiche im Zusammenhang mit dem Antrag der EnBW Kernkraft GmbH vom 21.12.2006 an das BMU auf Übertragung von Elektrizitätsmengen vom Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 2 (GKN-2) auf das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 1 (GKN-1). Dazu wurden von den Auftragnehmern in Abstimmung mit dem BMU 23 Bewertungsgegenstände definiert. Auftragsgemäß erfolgt für jeden Bewertungsgegenstand (BG) eine separate Auswertung.

Nachfolgend wird der Bewertungsgegenstand 4 „Fehlöffnen einer Umleitstation“ behandelt. Dies wird als Ereignis der Sicherheitsebene 2 eingestuft. Die sekundärseitige Wärmeabfuhr in der Sicherheitsebene 3 wird im Bewertungsgegenstand 8 „Ausfall betriebliche Speisewasserversorgung“ bewertet.

2 **Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale**

2.1 **Beschreibung des Ereignisablaufes**

Beim Ereignis „Fehlöffnen einer Umleitstation“ wird das fehlerhafte Öffnen von einem Ventil der Frischdampfumleitstation (FDU) unterstellt. Infolge dieses Fehlöffnens wird durch die Erhöhung des Dampfmassenstromes dem Primärkreis Wärme entzogen. Das führt zu einem Absinken von Frischdampf (FD)-Druck, Kühlmittel (KM)-Temperatur, Druckhalter (DH)-Füllstand und KM-Druck. Durch den Druckabfall im FD-Sammler werden durch die FD-Minimaldruckregelung die Turbinenstellventile ange-drosselt, was zu einer Abnahme der Generatorleistung führt. Das Absinken der KM-Temperatur führt in Verbindung mit dem durch die KM-Temperaturregelung verursach-ten Ausfahren der Steuerstäbe zu einer Erhöhung der Reaktorleistung. Diese wird bei Überschreiten von $103 \% P_{th}$ über die Leistungsbegrenzung L-RELEB durch Einfahrbe-fehl wieder reduziert. Die Reaktorleistung soll sich bei auslegungsgemäßem Ablauf des Ereignisses in GKN-2 auf ca. 101 % und die Generatorleistung auf ca. 85 % einstellen /BHB G2/. In GKN-1 wird die Reaktorleistung auf $< 100\%$ geregelt, die Generatorleis-tung ist um 18% (bei Fehlöffnen eines FDU-Ventils der Drehstromturbine) bzw. 14% (bei Fehlöffnen eines FDU-Ventils der Bahnstromturbine) /BHB G1/ niedriger. Die Leis-tungsdifferenz wird über die fehloffene FDU abgeführt.

2.2 **Bewertungsmerkmale**

Für die vergleichende Bewertung wurden die folgenden Bewertungsmerkmale heran-gezogen:

1. Zur Ereignisbeherrschung erforderliche Maßnahmen und Einrichtungen der Si-cherheitsebene 2
2. Abstand zu den gemäß Regelwerk auf Sicherheitsebene 2 geforderten Nachweis-kriterien für die Brennstäbe (Nachweisziel uneingeschränkte Weiterverwendbar-keit):
 - $T_{\text{Brennstoff}} < T_{\text{schmelz}}$;
 - kein kritischer Siedezustand am Hüllrohr

3. Abstand zu dem gemäß Regelwerk auf Sicherheitsebene 2 geforderten Nachweiskriterium hinsichtlich Integrität des Primärkreises
 - Druck im Primärkreis < Ansprechdruck der DH-Sicherheitsventile
4. Zusätzliche Maßnahmen und Einrichtungen der Sicherheitsebene 2, die noch zur Verfügung stehen, aber zur Ereignisbeherrschung nicht erforderlich sind

3 **Verwendete Unterlagen**

Für den Anlagenvergleich wurden die folgenden Unterlagen herangezogen:

- Kategorie 1

/PSÜ 01/ Siemens AG

PSÜ-Sicherheitsstatusanalyse für die Konvoi Kernkraftwerke
(Stand Juli 2001)

/TÜV 01/ TÜV Arbeitsgemeinschaft Konvoi

Konvoianlagen: Gutachten zur Sicherheitsstatusanalyse
(September 2001)

/TÜV 97/ TÜV - Energie und Systeme

Gutachtliche Stellungnahme zur Periodischen Sicherheitsanalyse (PSÜ) für
GKN-1
September 1997

/BHB G1/ Betriebshandbuch GKN-1, Stand 26.03.2007

/BHB G2/ Betriebshandbuch GKN-2, Stand 26.03.2007

4 Anlagenvergleich

Bewertungsgegenstand 4: „Fehlöffnen einer Umleitstation“		
GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
Bewertungsmerkmal 1: Zur Ereignisbeherrschung erforderliche Maßnahmen und Einrichtungen der Sicherheitsebene 2		
Leistungsreduzierung/Abschaltung <ul style="list-style-type: none"> – Nach Fehlöffnen erfolgt Leistungsreduzierung für Reaktor und Generator über betriebliche Regeleinrichtungen (L-RELEB) 	Leistungsreduzierung/Abschaltung <ul style="list-style-type: none"> – Nach Fehlöffnen erfolgt Leistungsreduzierung für Reaktor und Generator über betriebliche Regeleinrichtungen (L-RELEB) 	Kein relevanter Unterschied
Maßnahmen im Sekundärkreislauf <ul style="list-style-type: none"> – Kapazität eines FDU-Ventils 15% $P_{th, Nenn}$ – Drosseln der Turbinenstellventile durch FD-Minimaldruckregelung – Dampferzeugerbespeisung mit 2v3 Hauptspeisewasserpumpen 	Maßnahmen im Sekundärkreislauf <ul style="list-style-type: none"> – Kapazität eines FDU-Ventils 19,6% $P_{th, Nenn}$ – Drosseln der Turbinenstellventile durch FD-Minimaldruckregelung – Dampferzeugerbespeisung mit 2v3 Hauptspeisewasserpumpen 	Kapazitätsunterschied für das Drosseln der Turbinenstellventile kein relevanter Unterschied Kein relevanter Unterschied
Angeforderte Regelungen/Begrenzungen <ul style="list-style-type: none"> – FD-Minimaldruckregelung – KM-Temperaturregelung – L-RELEB 	Angeforderte Regelungen/Begrenzungen <ul style="list-style-type: none"> – FD-Minimaldruckregelung – KM-Temperaturregelung – L-RELEB 	Kein relevanter Unterschied

Bewertungsmerkmal 2: Abstand zu den Nachweiskriterien für die Brennstäbe		
Nachweiskriterien werden eingehalten, aber es werden keine Angaben zum Abstand gemacht. /TÜV 01/	Nachweiskriterien werden eingehalten, aber es werden keine Angaben zum Abstand gemacht. /TÜV 97/	Keine vergleichende Bewertung möglich
Bewertungsmerkmal 3: Druck im Primärkreis < Ansprechdruck der DH-Sicherheitsventile		
Nachweiskriterium wird eingehalten, aber es wird keine Angabe zum Abstand gemacht. /TÜV 01/	Nachweiskriterium wird eingehalten, aber es wird keine Angabe zum Abstand gemacht. /TÜV 97/	Keine vergleichende Bewertung möglich
Bewertungsmerkmal 4: Zusätzliche Systeme der Sicherheitsebene 2, die noch zur Verfügung stehen, aber zur Ereignisbeherrschung nicht erforderlich sind		
Leistungsreduzierung/Abschaltung – Stabeinwurf über das Kriterium: Differenz zwischen Generator und Reaktorleistung >30% UND P _{th} >45%	Leistungsreduzierung/Abschaltung – Stabeinwurf über das Kriterium: Differenz zwischen Generator und Reaktorleistung >25% UND P _{th} >50%	Kein relevanter Unterschied
RESA-Anregung – P _{th} >108%	RESA-Anregung – P _{th} >108%	Kein relevanter Unterschied.
Sekundärseitige Wärmeabfuhr nach RESA – Bei RESA Anregung erfolgt Sekundärkreisabschluss – Zum Teilabfahren durch das Reaktorschutzsystem auf 75 bar _i über FD-Abblaseregelventile nach Überschreiten von FD-Druck 85 bar _i stehen zusätzlich 3 v 4 FD Abblaseregelventile zur Verfügung	Sekundärseitige Wärmeabfuhr nach RESA – Bei RESA Anregung erfolgt Sekundärkreisabschluss – Zum Teilabfahren durch das Reaktorschutzsystem auf 75 bar _i über FD-Abblaseregelventile nach Überschreiten von FD-Druck 85 bar _i stehen zusätzlich 2 v 3 FD Abblaseregelventile zur Verfügung	Relevante Unterschiede: In GKN-2 sind im Unterschied zu GKN-1 3 anstatt 2 Abblaseregelventile als Reserve vorhanden, von denen jeweils eins für das Teilabfahren benötigt wird.

(4 x 100% Kapazität für Teilabfahren)	(3 x 100% Kapazität für Teilabfahren)	
<ul style="list-style-type: none"> – Zusätzlich steht zur Bespeisung der Dampferzeuger nach RESA-Anregung zur Verfügung: <ul style="list-style-type: none"> – 2 v 3 Hauptspeisewasserpumpe (3 x 100% Kapazität) oder – 2 v 2 An- und Abfahrpumpen (2 x 100% Kapazität) 	<ul style="list-style-type: none"> – Zusätzlich steht zur Bespeisung der Dampferzeuger nach RESA-Anregung zur Verfügung: <ul style="list-style-type: none"> – 2 v 3 Hauptspeisewasserpumpen (3 x 100% Kapazität) oder – 3 v 3 An- und Abfahrpumpen (3 x 100% Kapazität) 	<p>Für die Dampferzeugerbespeisung nach RESA-Anregung hat GKN-1 eine Redundanz (1 An- und Abfahrpumpe) mehr zur Verfügung.</p>

5 Bewertung

5.1 Relevante Unterschiede

Hinsichtlich des Bewertungsgegenstandes „Fehlöffnen einer Umleitstation“ bestehen u. E. die folgenden relevanten Unterschiede:

Zu Merkmal 4: Zusätzliche Maßnahmen und Einrichtungen der Sicherheitsebene 2, die noch zur Verfügung stehen, aber zur Ereignisbeherrschung nicht erforderlich sind:

Bezüglich der sekundärseitigen Wärmeabfuhr (Frischdampf-Abblasekapazitäten) sind in GKN-2 im Unterschied zu GKN-1 zusätzlich 3 anstatt 2 Abblaseregelventile vorhanden, von denen jeweils eins für das Teilabfahren bis auf 75 bar_ü benötigt wird, somit eine Redundanz mehr.

Für die Dampferzeugerbespeisung nach RESA-Anregung hat GKN-1 zusätzlich zu den Hauptspeisewasserpumpen 3 An- und Abfahrpumpen, GKN-2 hat zusätzlich 2 An- und Abfahrpumpen, von denen jeweils eine Pumpe ausreichend ist. Somit hat hier GKN-1 eine Redundanz mehr.

5.2 Bewertung der relevanten Unterschiede

Zu Merkmal 4: Zusätzliche Maßnahmen und Einrichtungen der Sicherheitsebene 2, die noch zur Verfügung stehen, aber zur Ereignisbeherrschung nicht erforderlich sind:

Die Reserven zur Wärmeabfuhr aus dem Dampferzeuger über Teilabfahren sind in GKN-2 (3 x 100 % Abblaseregelventile) größer als in GKN-1 (2 x 100 % Abblaseregelventile).

Die Reserven zur Bespeisung der Dampferzeuger nach RESA-Anregung über die An- und Abfahrpumpen sind dagegen in GKN-1 größer (3 An- und Abfahrpumpen) als in GKN-2 (2 An- und Abfahrpumpen).

5.3 Fazit

Die Anlage GKN-2 hat bei den Reserven zur Wärmeabfuhr über die Dampferzeuger bei den FD-Abblaseregelventilen eine Redundanz mehr als GKN-1. Dagegen hat GKN-1 bei den Reserven zur Dampferzeugerbespeisung eine Redundanz mehr bei den An- und Abfahrpumpen als GKN-2.

Es ergibt sich daraus kein eindeutiger Vorteil für eine der beiden Anlagen.

6 Literatur

- /BMU 01/ Grundsätze der Tätigkeit von Sachverständigen im Auftrag der Bundesaufsicht über die Ausführung des Atomgesetzes im Hinblick auf Atomkraftwerke, Forschungsreaktoren und sonstige Reaktoren (Sachverständigen-Grundsätze der Bundesaufsicht über Atomkraftwerke), Stand: Juli 2001
- /BMU 06/ SR 2569 „Sicherheitstechnische Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung“, 05.12.2006



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische
Überprüfung von Anla-
gen zu ausgewählten
Anforderungen und
Ereignissen im Rahmen
von Anträgen zur Rest-
strommengenübertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 5:

„Turbinenschnellschluss ohne
Öffnen der Umleitstation“

SR 2569



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 5:
„Turbinenschnellschluss ohne Öffnen der Umleitstation“

Februar 2008

Auftrags-Nr.: 820410

Anmerkung:

Dieser Bericht ist im Auftrag des BMU im Rahmen des Vorhabens SR 2569 erstellt worden. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt werden bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers und der Unterauftragnehmer wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers übereinstimmen.

Vorwort

Im Atomgesetz wurden mit der Änderung vom 26.04.2002 die Reststrommengen für die in Betrieb befindlichen Kernkraftwerksblöcke in Deutschland festgelegt. Über die Zustimmung zur Übertragung von Elektrizitätsmengen entscheidet das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) im Einvernehmen mit dem Bundeskanzleramt und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Im Rahmen der Entscheidungsfindung des BMU über die Anträge auf Übertragung von Elektrizitätsmengen hat das BMU auch eine vergleichende Sicherheitsüberprüfung zwischen einer Anlage, die Strommengen abgibt und derjenigen, welche die Strommengen bekommen soll, vorgesehen. Da in der zur Verfügung stehenden Zeit keine in Prüfungsumfang und -tiefe mit der Durchführung und der sachverständigen Prüfung von Sicherheitsüberprüfungen nach § 19a AtG vergleichbare, umfassende Ermittlung und sicherheitstechnische Bewertung beider Anlagen möglich ist, beauftragte das BMU die GRS, zusammen mit benannten Unterauftragnehmern mit der „Sicherheitstechnischen Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung“ /BMU 06/. Auftragsgegenstand sind punktuelle Untersuchungen einzelner Bewertungsgegenstände, die gemeinsam von BMU, GRS und den Unterauftragnehmern festgelegt wurden. Um dem BMU eine vergleichende Bewertung zu ermöglichen, ob sichergestellt ist, dass die beantragte Übertragung von einer neueren auf eine ältere Anlage nicht zu Lasten der Sicherheit geht, wurden sicherheitstechnisch relevante Bewertungsgegenstände für jede beantragte Übertragung insbesondere unter Beachtung folgender Kriterien ausgewählt:

- die anlagentechnischen Gegebenheiten der antragsgemäß betroffenen abgebenden und empfangenden Anlage beinhalten wesentliche Unterschiede und / oder
- die Bewertungsgegenstände berühren Entwicklungen seit Genehmigungserteilung bezüglich des Standes von Wissenschaft und Technik und
- die Untersuchungen sind in der zur Verfügung stehenden Zeit voraussichtlich durchführbar.

Dabei wird die sicherheitstechnische Fragestellung weitgehend auf die Beherrschbarkeit von zu erwartenden oder im Rahmen der Nachweisführung postulierten Ereignismöglichkeiten bezogen.

Die Durchführung eines nur punktuellen, aber die genannten Auswahlkriterien beachtenden Prüfprogramms ist aus Sicht des Auftraggebers gerechtfertigt, da der Gesetzgeber die Festlegung der konkreten Maßstäbe für die Prüfung, ob die beabsichtigte Übertragung zu Lasten der Sicherheit ginge und deren willkürfreie Anwendung in § 7 Abs. 1b Satz 2 AtG der Exekutive überlassen hat; Art und Umfang der Ermittlung der für seine Sicherheitsbewertung entscheidungserheblichen Tatsachen sind vom BMU im Rahmen seines Verfahrensermessens zu bestimmen.

Das Überprüfungskonzept basiert auf einer Auswertung und Bewertung von Unterlagen, die der Betreiber für die einzelnen Bewertungsgegenstände dem BMU vorlegen soll. Für den Fall, dass keine spezifischen Unterlagen vorgelegt werden, ist auftragsgemäß vorgesehen, alle Dokumente und Informationen, die in den beteiligten Sachverständigenorganisationen für die hier anstehenden Aufgaben zur Verfügung stehen, für diese Überprüfung zu nutzen. Da diese Dokumente und Informationen hinsichtlich ihrer Aktualität und Belastbarkeit sehr unterschiedlich sein können, wird zu jedem Bewertungsgegenstand ein einheitlich klassifizierter Unterlagen- und Quellennachweis vorgelegt. Dabei wird zwischen den folgenden Kategorien unterschieden:

- Kategorie 1: im atomrechtlichen Verfahren geprüfte / begutachtete bzw. vom BMU freigegebene Unterlagen,
- Kategorie 2: Stellungnahmen der RSK bzw. der SSK und
- Kategorie 3: nicht im Sinne von Kategorie 1 geprüfte Unterlagen, die jedoch nach Auffassung der Auftragnehmer Informationen zum Sachverhalt enthalten.

Die vergleichenden Darstellungen zu den einzelnen Bewertungsgegenständen basieren jeweils auf diesen Unterlagen und spiegeln den darin wiedergegebenen Anlagenzustand wieder. Abweichungen zum derzeitigen Anlagenzustand aufgrund zwischenzeitlich durchgeführter Änderungen sind nicht auszuschließen.

Bewertungsmaßstab ist der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik. Dabei sind neben dem Erfüllungsgrad von regulatorischen Sicherheitsanforderungen bezüglich der Beherrschbarkeit von Ereignissen insbesondere auch die anlagenspezifischen Reserven in die Bewertung einzubeziehen. Aufgrund der Begrenzungen in der Bearbei-

tungszeit und im Umfang und Detaillierungsgrad der Unterlagen erfolgt aber keine vollständige Überprüfung sondern eine Fokussierung auf wesentliche grundlegende Sicherheitsanforderungen. Die für die jeweiligen Bewertungsgegenstände spezifischen Bewertungsmerkmale werden in den einzelnen Berichten ausgewiesen. Die Bewertungsmerkmale beziehen sich grundsätzlich entweder unmittelbar auf grundlegende Sicherheitsanforderungen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik oder mittelbar auf anlagentechnisch vergleichbare Sicherheitsfunktionen mit Anforderungen entsprechend des gestaffelten Sicherheitskonzepts. Die Bewertung der Sicherheitsfunktionen erfolgt im Wesentlichen im Hinblick auf deren Wirksamkeit und Qualität.

Auftragsgemäß sollen die Überprüfungen anhand deterministischer Bewertungsweisen erfolgen. Dieser methodische Ansatz kann in einigen Fällen dazu führen, dass bei der vergleichenden Bewertung von komplexen Systemkonstellationen bezüglich der Beherrschbarkeit eines Ereignisses keine eindeutige, abschließende Bewertung möglich ist. Im Rahmen der hier vorgesehenen Bewertungen wären weiterführende probabilistische Bewertungen auch aufgrund fehlender spezifischer Unterlagen in der vorgesehenen Bearbeitungszeit nicht durchführbar und sind daher auftragsgemäß nicht vorgesehen.

Es besteht daher Einvernehmen mit dem BMU darin, dass aufgrund der Begrenzung der Überprüfungsdauer und der Unterlagensituation wesentliche Anforderungen der "Sachverständigengrundsätze für die Bundesaufsicht" /BMU 01/ nicht eingehalten werden können. Die Abweichungen beziehen sich insbesondere auf die Vollständigkeit, Aktualität und Belastbarkeit von Unterlagen bei der Sachverhaltsermittlung sowie die Bewertungsmethoden, die im vorliegenden Fall weitgehend auf ingenieurmäßige Betrachtungsweisen eingeschränkt sind.

Die durchgeführten Sicherheitsvergleiche beinhalten keine aufsichtliche Überprüfung der betroffenen Anlagen. Auftragsgemäß wird zu jedem Bewertungsgegenstand ein separater Ergebnisbericht erstellt. Eine Gesamtbewertung ist nicht beauftragt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale.....	2
2.1	Beschreibung des Ereignisablaufes.....	2
2.2	Bewertungsmerkmale	3
3	Verwendete Unterlagen	4
4	Anlagenvergleich	5
5	Bewertung.....	10
5.1	Relevante Unterschiede.....	10
5.2	Bewertung der relevanten Unterschiede.....	11
5.3	Fazit	11
6	Literatur.....	12

1 Einleitung

Im vorliegenden Bericht geht es um sicherheitstechnische Vergleiche im Zusammenhang mit dem Antrag der EnBW Kernkraft GmbH vom 21.12.2006 an das BMU auf Übertragung von Elektrizitätsmengen vom Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 2 (GKN-2) auf das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 1 (GKN-1). Dazu wurden von den Auftragnehmern in Abstimmung mit dem BMU 23 Bewertungsgegenstände definiert. Auftragsgemäß erfolgt für jeden Bewertungsgegenstand (BG) eine separate Auswertung.

Nachfolgend wird der Bewertungsgegenstand 5 „Turbinenschnellschluss ohne Öffnen der Umleitstation“ behandelt. Dies wird als Ereignis der Sicherheitsebene 2 eingestuft. Die Reserven zur sekundärseitigen Wärmeabfuhr in der Sicherheitsebene 3 werden im Bewertungsgegenstand 8 „Ausfall betriebliche Speisewasserversorgung“ bewertet.

2 Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale

2.1 Beschreibung des Ereignisablaufes

Nachfolgend wird der Ereignisablauf für den Bewertungsgegenstand „Turbinenschnellschluss (TUSA) mit Ausfall der Frischdampfumleitstation (FDU)“ beschrieben. Die Anlage GKN-1 hat im Unterschied zu GKN-2 zwei Turbinen mit zugehöriger FDU, nämlich eine mit Drehstrom- und eine mit Wechselstromgenerator (Bahnstrom). Diese werden normalerweise parallel betrieben, wobei aber wegen der Frischdampf-Minimaldruck-Regelung nur eine FDU vorgewählt ist. Für die folgende Bewertung wird, wie in der PSÜ für GKN-1 /PSÜ 96/, angenommen, dass durch die TUSA beide Turbosätze abgeschaltet werden und die FDU der Drehstromturbine vorgewählt ist. Nach Auslösung der TUSA erfolgt über den Rückleistungsschutz das Öffnen des Generatorschalters. Durch die Leistungsbegrenzungseinrichtung Stabeinwurf wird die Reaktorleistung auf ca. 40 % abgesenkt. Die bei diesem Bewertungsgegenstand unterstellte Ereignisrandbedingung „Nichtöffnen der Frischdampfumleitstation (FDU)“ führt zu einem schnellen Druckanstieg sowohl primär- als auch sekundärseitig. Bei Erreichen der Grenzwerte Druck in Frischdampf (FD)-Leitung > 85 bar_ü (GKN-2) bzw. Druck in Speisewasser (Spw)-Leitung > 83 bar_ü (GKN-1) wird Reaktorschnellabschaltung (RESA) ausgelöst. Gleichzeitig mit der RESA wird in beiden Anlagen Teilabfahren über die FD-Abblasestation ausgelöst. Wegen der relativ langen Öffnungszeit der FD-Abblaseregelventile kommt es zu einem „Drucküberschwinger“ und alle 100%-FD-Sicherheitsventile in GKN-2 und alle 8%-Sicherheitsventile in GKN-1 öffnen kurzzeitig. Der abgeblasene Frischdampf muss durch Nachspeisen der Dampferzeuger ergänzt werden. Im Primärkreis kommt es vor Anregung des Teilabfahrens zu einem Druckanstieg der durch die KM-Druckregelung mit Druckhalter (DH)-Sprühen begrenzt wird. Gemäß den Ereignisablaufanalysen tritt in GKN-1 ein kurzzeitiges Öffnen des DH-Abblaseregelventils ein, in GKN-2 wird ein kurzzeitiges Öffnen eines DH-Abblaseregelventils nur bei Zusatzausfällen (Ausfall Steuerstabeinwurf oder Ausfall 1. RESA-Kriterium) erwartet. Nach Start des Teilabfahrens sinkt der Druck im Primärkreis entsprechend des Wärmeübertrags an die Sekundärseite. In der Anlage GKN-1 besteht zudem die Möglichkeit, bei Verfügbarkeit der FDU für die Bahnstromturbine, die Nachzerfallsleistung über diese abzuführen. Hierfür sind Handmaßnahmen erforderlich.

2.2 Bewertungsmerkmale

Für die vergleichende Bewertung wurden die folgenden Bewertungsmerkmale herangezogen:

1. Zur Ereignisbeherrschung erforderliche Maßnahmen und Einrichtungen der Sicherheitsebene 2
2. Abstand zu den gemäß Regelwerk auf Sicherheitsebene 2 geforderten Nachweiskriterien für die Brennstäbe (Nachweisziel uneingeschränkte Weiterverwendbarkeit):
 - $T_{\text{Brennstoff}} < T_{\text{schmelz}}$;
 - kein kritischer Siedezustand am Hüllrohr
3. Abstand zu dem gemäß Regelwerk auf Sicherheitsebene 2 geforderten Nachweiskriterium hinsichtlich Integrität des Primärkreises
 - Druck im Primärkreis < Ansprechdruck der DH-Sicherheitsventile
4. Zusätzliche Maßnahmen und Einrichtungen, die noch zur Verfügung stehen, aber zur Ereignisbeherrschung nicht erforderlich sind

3 **Verwendete Unterlagen**

Für den Anlagenvergleich wurden die folgenden Unterlagen herangezogen:

- Kategorie 1

/PSÜ 01/ Siemens AG

PSÜ-Sicherheitsstatusanalyse für die Konvoi Kernkraftwerke
(Stand Juli 2001)

/PSÜ 96/ Siemens AG

Sicherheitsstatusanalyse für das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar
Block 1
Band 1 von 3
August 1996

/TÜV 01/ TÜV Arbeitsgemeinschaft Konvoi

Konvoianlagen: Gutachten zur Sicherheitsstatusanalyse
(September 2001)

/TÜV 97/ TÜV - Energie und Systeme

Gutachtliche Stellungnahme zur Periodischen Sicherheitsanalyse (PSÜ) für
GKN-1
September 1997

/BHB G1/ Betriebshandbuch GKN-1, Stand 26.03.2007

/BHB G2/ Betriebshandbuch GKN-2, Stand 26.03.2007

4 Anlagenvergleich

Bewertungsgegenstand 5: „Turbinenschnellschluss ohne Öffnen der Umleitstation“		
GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
Bewertungsmerkmal 1: Zur Ereignisbeherrschung erforderliche Maßnahmen und Einrichtungen der Sicherheitsebene 2		
Leistungsreduzierung/Abschaltung <ul style="list-style-type: none"> – Stabeinwurf über das Kriterium: Differenz zwischen Generator und Reaktorleistung >30% UND $P_{th} >45\%$ – Weitere Leistungsabsenkung durch Kühlmitteltemperaturregelung (Anpassung der Reaktorleistung an die Kapazität der FDU) – RESA-Anregung <ul style="list-style-type: none"> – Druck in FD-Leitung > 85 bar_ü 	Leistungsreduzierung/Abschaltung <ul style="list-style-type: none"> – Stabeinwurf über das Kriterium: Differenz zwischen Generator und Reaktorleistung >25% UND $P_{th} >50\%$ – Weitere Leistungsabsenkung durch Kühlmitteltemperaturregelung (Anpassung der Reaktorleistung an die Kapazität der FDU) – RESA-Anregung <ul style="list-style-type: none"> – Druck in SPW-Leitung > 83 bar_ü 	Kein relevanter Unterschied
Auswirkung im Primärkreis <ul style="list-style-type: none"> – Wegen der gestörten Wärmeabfuhr steigen Temperatur und Druck im Kühlmittel und der Füllstand im Druckhalter – Durch die Kühlmitteldruck-Regelung und -Begrenzung wird Druckhaltersprühen ausgelöst (Kreislaufsprühen evtl. auch Hilfssprühen) 	Auswirkung im Primärkreis <ul style="list-style-type: none"> – Wegen der gestörten Wärmeabfuhr steigen Temperatur und Druck im Kühlmittel und der Füllstand im Druckhalter – Durch die Kühlmitteldruck-Regelung und -Begrenzung wird Druckhaltersprühen ausgelöst (Kreislaufsprühen evtl. auch Hilfssprühen) 	

Bewertungsgegenstand 5: „Turbinenschnellschluss ohne Öffnen der Umleitstation“		
GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<ul style="list-style-type: none"> – Kein Öffnen des Druckhalterabblaseventils (nur bei zusätzlichem Ausfall: Stabeinwurf oder 1. RESA-Anregung werden die Bedingungen für ein kurzzeitiges Öffnen erreicht /TÜV 01/) 	<ul style="list-style-type: none"> – Kurzzeitiges Öffnen des Druckhalterabblaseventils über das Kriterium : Druck im Primärkreis > 165 bar_ü /PSÜ 01/ 	<p>Relevanter Unterschied:</p> <p>In GKN-1 wird kurzzeitiges Öffnen des DH-Abblaseventils berechnet.</p> <p>In GKN-2 wird kein kurzzeitiges Öffnen des DH-Abblaseventils berechnet.</p>
<p>Sekundärseitige Wärmeabfuhr</p> <ul style="list-style-type: none"> – Auslösung Teilabfahren auf 74 bar_ü über Reaktorschutzgrenzwert: FD-Druck > 85 bar_ü. Dabei werden 1 v 4 FD-Abblaseregelventile benötigt (4 x 100% Kapazität für Teilabfahren). 	<p>Sekundärseitige Wärmeabfuhr</p> <ul style="list-style-type: none"> – Auslösung Teilabfahren auf 74 bar_ü über Reaktorschutzgrenzwert: FD-Druck > 83 bar_ü. Dabei werden 1 v 3 FD-Abblaseregelventile benötigt (3 x 100% Kapazität für Teilabfahren). 	<p>Hier kein relevanter Unterschied:</p> <p>GKN-1 besitzt 3 FD-Abblaseregelventile. Für das Bewertungsmerkmal 1 ist die geringere Anzahl von FD-Abblaseventilen kein relevanter Unterschied (siehe daher unter Bewertungsmerkmal 4)</p>
<ul style="list-style-type: none"> – Druckbegrenzung über FD-Sicherheitsventile mit 1 v 4 x 100%-FD-Sicherheitsventilen über Grenzwert: FD-Druck > 87,3 bar_ü (4 x 100% Kapazität für Druckbegrenzung vor Teilabfahren) 	<ul style="list-style-type: none"> – Druckbegrenzung über FD-Sicherheitsventile mit 1 v 3 x 8%-FD-Sicherheitsventilen über Grenzwert: FD-Druck > 85 bar_ü (3 x 100% für Druckbegrenzung vor Teilabfahren) 	<p>Hier kein relevanter Unterschied:</p> <p>Die unterschiedlichen Abblasekapazitäten der angeforderten Sicherheitsventile von GKN-2 und GKN-1 wirken sich nur auf deren Öffnungsdauer aus und sind für die Bewertung unerheblich (siehe aber unter Bewertungsmerkmal 4).</p>
<ul style="list-style-type: none"> – Bespeisung der Dampferzeuger über Hauptspeisewasserpumpen mit 1 v 3 Hauptspeisewasserpumpen (3 x 100% Kapazität bei Abfuhr der Nachzerfallsleistung) 	<ul style="list-style-type: none"> – Bespeisung der Dampferzeuger über Hauptspeisewasserpumpen mit 1 v 3 Hauptspeisewasserpumpen (3 x 100% Kapazität bei Abfuhr der Nachzerfallsleistung) 	<p>Kein relevanter Unterschied</p>

Bewertungsgegenstand 5: „Turbinenschnellschluss ohne Öffnen der Umleitstation“		
GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
Bewertungsmerkmal 2: Abstand zu den Nachweiskriterien für die Brennstäbe		
Nachweiskriterien werden eingehalten, aber es werden keine Angaben zum Abstand gemacht. /TÜV 01/	Nachweiskriterien werden eingehalten, aber es werden keine Angaben zum Abstand gemacht. /TÜV 97/	Keine vergleichende Bewertung möglich
Bewertungsmerkmal 3: Druck im Primärkreis < Ansprechdruck der DH-Sicherheitsventile		
Nachweiskriterium wird eingehalten, aber es wird keine Angabe zum Abstand gemacht. /TÜV 01/	Nachweiskriterium wird eingehalten, aber es wird keine Angabe zum Abstand gemacht. /TÜV 97/	Keine vergleichende Bewertung möglich
Bewertungsmerkmal 4: Zusätzliche Maßnahmen und Einrichtungen, die noch zur Verfügung stehen, aber zur Ereignisbeherrschung nicht erforderlich sind		
<ul style="list-style-type: none"> – Diversitäre Kriterien für RESA: <ul style="list-style-type: none"> – Druck im PKL > 166 bar_ü oder – Füllstand im Druckhalter > 9,5 m 	<ul style="list-style-type: none"> – Diversitäre Kriterien für RESA: <ul style="list-style-type: none"> – Druck im PKL > 163 bar_ü oder – Füllstand im Druckhalter > 8,55 m 	Kein relevanter Unterschied

Bewertungsgegenstand 5: „Turbinenschnellschluss ohne Öffnen der Umleitstation“		
GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<p>Sekundärseitige Wärmeabfuhr</p> <ul style="list-style-type: none"> – Zusätzlich zu o. g. 1 v 4 FD- Abblaseregelventil stehen mit gleicher Kapazität 3 FD-Abblaseregelventile zur Verfügung (3 x 100% Kapazität bei Teilabfahren) 	<p>Sekundärseitige Wärmeabfuhr</p> <ul style="list-style-type: none"> – Zusätzlich zu o. g. 1 v 3 FD- Abblaseregelventil stehen mit gleicher Kapazität 2 FD-Abblaseregelventile zur Verfügung (2 x 100% Kapazität bei Teilabfahren) – 2 FDU-Ventile der Bahnstromturbine nach Handmaßnahme gemäß BHB (2 x 100% Kapazität bei Abfuhr der Nachzerfallsleistung, 50 K/h Abfahren mit 2v2 Ventilen der Bahnstrom-FDU möglich) 	<p>Relevanter Unterschied:</p> <p>Im Bereich der Einrichtungen des anormalen Betriebs stehen zur sekundärseitigen Wärmeabfuhr in GKN-2 weitere 3 Redundanzen zur Verfügung, in GKN-1 2 Redundanzen</p> <p>In GKN-1 stehen nach Handmaßnahmen zusätzlich 2 Redundanzen zur Wärmeabfuhr über die FDU der Bahnstromturbine zur Verfügung.</p>
<ul style="list-style-type: none"> – Druckbegrenzung über FD-Sicherheitsventile: Zusätzlich zu o. g. 1 v 4 FD-Sicherheitsventil stehen mit gleicher Kapazität 3 x 100% FD-Sicherheitsventile zur Verfügung (3 x 100% Kapazität für Druckbegrenzung vor Teilabfahren) 	<ul style="list-style-type: none"> – Druckbegrenzung über FD-Sicherheitsventile: Zusätzlich zu o. g. 1 v 3 8%-FD-Sicherheitsventil stehen mit gleicher Kapazität 2 x 8% FD- Sicherheitsventile zur Verfügung (2 x 100% Kapazität für Druckbegrenzung vor Teilabfahren) – Bei Ausfall der Druckbegrenzung der Dampferzeuger und Frischdampfabgabe über die 3 x 8 % FD-Sicherheitsventile stehen 3 x 100 % FD-Sicherheitsventile zur Verfügung 	<p>Relevanter Unterschied:</p> <p>Zur Druckbegrenzung vor Teilabfahren hat GKN-2 eine Redundanz mehr als Reserve.</p> <p>In GKN-1 stehen 3 weitere Sicherheitsventile (100%) zur Verfügung.</p>
<p>Dampferzeugerbespeisung</p> <ul style="list-style-type: none"> – Zusätzlich zur o .g. 1 v 3 Hauptspeisewasserpumpe stehen mit gleicher Kapazität 2 Hauptspeisewasserpumpen zur Verfügung. 	<p>Dampferzeugerbespeisung</p> <ul style="list-style-type: none"> – Zusätzlich zur o .g. 1 v 3 Hauptspeisewasserpumpe stehen mit gleicher Kapazität 2 Hauptspeisewasserpumpen zur Verfügung. 	

Bewertungsgegenstand 5: „Turbinenschnellschluss ohne Öffnen der Umleitstation“		
GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<p>(2 x 100% Kapazität bei Abfuhr der Nachzerfallsleistung)</p> <p>Zusätzlich stehen zur Verfügung:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 2 An- und Abfahrpumpen (2 x 100% Kapazität bei Abfuhr der Nachzerfallsleistung, 2 x 50% Kapazität bei 100 K/h Teilabfahren) 	<p>(2 x 100% Kapazität bei Abfuhr der Nachzerfallsleistung)</p> <p>Zusätzlich stehen zur Verfügung:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 3 An- und Abfahrpumpen (3 x 100% Kapazität bei Abfuhr der Nachzerfallsleistung, 3 x 50% Kapazität bei 100 K/h Teilabfahren) 	<p>Relevanter Unterschied:</p> <p>Für die Dampferzeugerbespeisung (bei Nachwärmeabfuhr) hat GKN-1 eine Redundanz An-/Abfahrpumpen mehr zur Verfügung.</p>

5 Bewertung

5.1 Relevante Unterschiede

Hinsichtlich des Bewertungsgegenstandes „Turbinenschnellschluss ohne Öffnen der Umleitstation“ bestehen u. E. die folgenden relevanten Unterschiede:

Zu Merkmal 1: Zur Ereignisbeherrschung erforderliche Maßnahmen und Einrichtungen der Sicherheitsebene 2

Bevor die sekundärseitige Wärmeabfuhr den Druck im Primärkreis reduziert, wird in GKN-1 ein kurzzeitiges Öffnen des Druckhalter (DH)-Abblaseventils berechnet.

In GKN-2 findet ein kurzzeitiges Öffnen des DH-Abblaseventils nur bei Zusatzausfällen statt.

Zu Merkmal 4: Zusätzliche Maßnahmen und Einrichtungen, die noch zur Verfügung stehen, aber zur Ereignisbeherrschung nicht benötigt werden.

Für das Teilabfahren steht in GKN-2 eine Redundanz mehr in den Frischdampf (FD)-Abblaseregelventilen zur Verfügung. In GKN-1 besteht die Möglichkeit, mit einer Handmaßnahme die Wärmeabfuhr über die Frischdampfumleitstation (FDU) der Bahnstromturbine im Kreislaufbetrieb durchzuführen.

Zur Dampferzeuger-Druckbegrenzung stehen in GKN-2 zusätzlich 3 Sicherheitsventile zur Verfügung. In GKN-1 stehen zusätzlich 5 druckgestaffelte Sicherheitsventile zur Verfügung.

Für die Dampferzeugerbespeisung hat GKN-1 im Unterschied zu GKN-2 eine Redundanz (An- und Abfahrpumpe) zur Abfuhr der Nachzerfallsleistung mehr zur Verfügung.

5.2 Bewertung der relevanten Unterschiede

Zu Merkmal 1: Zur Ereignisbeherrschung erforderliche Maßnahmen und Einrichtungen der Sicherheitsebene 2

In GKN-1 werden Bedingungen für das Ansprechen eines Druckhalter-Abblaseventils erreicht, in GKN-2 nur bei zusätzlich unterstellten Ausfällen. GKN-2 ist dadurch im Vorteil.

Zu Merkmal 4: Zusätzliche Systeme und Einrichtungen, die noch zur Verfügung stehen, aber zur Ereignisbeherrschung nicht erforderlich sind.

Die Reserven zur Wärmeabfuhr aus dem Dampferzeuger über Teilabfahren (FD-Abblaseregelventile) sind in GKN-2 um eine Redundanz größer als in GKN-1. Dagegen hat GKN-1 die Möglichkeit, durch Handmaßnahmen langfristig Wärme an die FDU der Bahnstromturbine abzugeben. Die Möglichkeit in GKN-1, Wärme im Kreislaufbetrieb über die FDU abführen zu können überwiegt u. E. sicherheitstechnisch den Vorteil der größeren Anzahl der FD-Abblaseregelventile in GKN-2, was somit hinsichtlich der Wärmeabfuhr zu einem Vorteil in GKN-1 führt.

Zur Dampferzeuger-Druckbegrenzung stehen in GKN-2 zusätzlich 3 Sicherheitsventile zur Verfügung. In GKN-1 stehen 5 druckgestaffelte Sicherheitsventile zur Verfügung. Dies führt zu Vorteilen in GKN-1.

Die Reserven zur Bespeisung der Dampferzeuger für die Nachwärmeabfuhr über eine An- und Abfahrpumpe sind in GKN-1 größer (3 An- und Abfahrpumpen) als in GKN-2 (2 An- und Abfahrpumpen). Der höhere Redundanzgrad bei der Dampferzeugerbespeisung führt zu Vorteilen in GKN-1.

5.3 Fazit

Die Anlage GKN-1 hat Vorteile in den systemtechnischen Reserven zur Beherrschung des Ereignisses „Turbinenschnellschluss ohne Öffnen der Umleitstation“. Diese Vorteile überwiegen den Nachteil des Erreichens der Ansprechbedingungen eines absperbaren Druckhalter-Abblaseventils in GKN-1.

6 Literatur

- /BMU 01/ Grundsätze der Tätigkeit von Sachverständigen im Auftrag der Bundesaufsicht über die Ausführung des Atomgesetzes im Hinblick auf Atomkraftwerke, Forschungsreaktoren und sonstige Reaktoren (Sachverständigen-Grundsätze der Bundesaufsicht über Atomkraftwerke), Stand: Juli 2001
- /BMU 06/ SR 2569 „Sicherheitstechnische Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung“, 05.12.2006



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische
Überprüfung von Anla-
gen zu ausgewählten
Anforderungen und
Ereignissen im Rahmen
von Anträgen zur Rest-
strommengenübertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 6:

„Fehlerhafte Einspeisung aus
einem System, das Deionat
oder minderboriertes Kühlmit-
tel führt“

SR 2569



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 6:
„Fehlerhafte Einspeisung aus einem System, das Deionat oder minderboriertes Kühlmittel führt“

Februar 2008
Auftrags-Nr.: 820410

Anmerkung:

Dieser Bericht ist im Auftrag des BMU im Rahmen des Vorhabens SR 2569 erstellt worden. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt werden bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers und der Unterauftragnehmer wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers übereinstimmen.

Vorwort

Im Atomgesetz wurden mit der Änderung vom 26.04.2002 die Reststrommengen für die in Betrieb befindlichen Kernkraftwerksblöcke in Deutschland festgelegt. Über die Zustimmung zur Übertragung von Elektrizitätsmengen entscheidet das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) im Einvernehmen mit dem Bundeskanzleramt und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Im Rahmen der Entscheidungsfindung des BMU über die Anträge auf Übertragung von Elektrizitätsmengen hat das BMU auch eine vergleichende Sicherheitsüberprüfung zwischen einer Anlage, die Strommengen abgibt und derjenigen, welche die Strommengen bekommen soll, vorgesehen. Da in der zur Verfügung stehenden Zeit keine in Prüfungsumfang und -tiefe mit der Durchführung und der sachverständigen Prüfung von Sicherheitsüberprüfungen nach § 19a AtG vergleichbare, umfassende Ermittlung und sicherheitstechnische Bewertung beider Anlagen möglich ist, beauftragte das BMU die GRS, zusammen mit benannten Unterauftragnehmern mit der „Sicherheitstechnischen Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung“ /BMU 06/. Auftragsgegenstand sind punktuelle Untersuchungen einzelner Bewertungsgegenstände, die gemeinsam von BMU, GRS und den Unterauftragnehmern festgelegt wurden. Um dem BMU eine vergleichende Bewertung zu ermöglichen, ob sichergestellt ist, dass die beantragte Übertragung von einer neueren auf eine ältere Anlage nicht zu Lasten der Sicherheit geht, wurden sicherheitstechnisch relevante Bewertungsgegenstände für jede beantragte Übertragung insbesondere unter Beachtung folgender Kriterien ausgewählt:

- die anlagentechnischen Gegebenheiten der antragsgemäß betroffenen abgebenden und empfangenden Anlage beinhalten wesentliche Unterschiede und / oder
- die Bewertungsgegenstände berühren Entwicklungen seit Genehmigungserteilung bezüglich des Standes von Wissenschaft und Technik und
- die Untersuchungen sind in der zur Verfügung stehenden Zeit voraussichtlich durchführbar.

Dabei wird die sicherheitstechnische Fragestellung weitgehend auf die Beherrschbarkeit von zu erwartenden oder im Rahmen der Nachweisführung postulierten Ereignismöglichkeiten bezogen.

Die Durchführung eines nur punktuellen, aber die genannten Auswahlkriterien beachtenden Prüfprogramms ist aus Sicht des Auftraggebers gerechtfertigt, da der Gesetzgeber die Festlegung der konkreten Maßstäbe für die Prüfung, ob die beabsichtigte Übertragung zu Lasten der Sicherheit ginge und deren willkürfreie Anwendung in § 7 Abs. 1b Satz 2 AtG der Exekutive überlassen hat; Art und Umfang der Ermittlung der für seine Sicherheitsbewertung entscheidungserheblichen Tatsachen sind vom BMU im Rahmen seines Verfahrensermessens zu bestimmen.

Das Überprüfungskonzept basiert auf einer Auswertung und Bewertung von Unterlagen, die der Betreiber für die einzelnen Bewertungsgegenstände dem BMU vorlegen soll. Für den Fall, dass keine spezifischen Unterlagen vorgelegt werden, ist auftragsgemäß vorgesehen, alle Dokumente und Informationen, die in den beteiligten Sachverständigenorganisationen für die hier anstehenden Aufgaben zur Verfügung stehen, für diese Überprüfung zu nutzen. Da diese Dokumente und Informationen hinsichtlich ihrer Aktualität und Belastbarkeit sehr unterschiedlich sein können, wird zu jedem Bewertungsgegenstand ein einheitlich klassifizierter Unterlagen- und Quellennachweis vorgelegt. Dabei wird zwischen den folgenden Kategorien unterschieden:

- Kategorie 1: im atomrechtlichen Verfahren geprüfte / begutachtete bzw. vom BMU freigegebene Unterlagen,
- Kategorie 2: Stellungnahmen der RSK bzw. der SSK und
- Kategorie 3: nicht im Sinne von Kategorie 1 geprüfte Unterlagen, die jedoch nach Auffassung der Auftragnehmer Informationen zum Sachverhalt enthalten.

Die vergleichenden Darstellungen zu den einzelnen Bewertungsgegenständen basieren jeweils auf diesen Unterlagen und spiegeln den darin wiedergegebenen Anlagenzustand wieder. Abweichungen zum derzeitigen Anlagenzustand aufgrund zwischenzeitlich durchgeführter Änderungen sind nicht auszuschließen.

Bewertungsmaßstab ist der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik. Dabei sind neben dem Erfüllungsgrad von regulatorischen Sicherheitsanforderungen bezüglich der Beherrschbarkeit von Ereignissen insbesondere auch die anlagenspezifischen Reserven in die Bewertung einzubeziehen. Aufgrund der Begrenzungen in der Bearbei-

tungszeit und im Umfang und Detaillierungsgrad der Unterlagen erfolgt aber keine vollständige Überprüfung sondern eine Fokussierung auf wesentliche grundlegende Sicherheitsanforderungen. Die für die jeweiligen Bewertungsgegenstände spezifischen Bewertungsmerkmale werden in den einzelnen Berichten ausgewiesen. Die Bewertungsmerkmale beziehen sich grundsätzlich entweder unmittelbar auf grundlegende Sicherheitsanforderungen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik oder mittelbar auf anlagentechnisch vergleichbare Sicherheitsfunktionen mit Anforderungen entsprechend des gestaffelten Sicherheitskonzepts. Die Bewertung der Sicherheitsfunktionen erfolgt im Wesentlichen im Hinblick auf deren Wirksamkeit und Qualität.

Auftragsgemäß sollen die Überprüfungen anhand deterministischer Bewertungsweisen erfolgen. Dieser methodische Ansatz kann in einigen Fällen dazu führen, dass bei der vergleichenden Bewertung von komplexen Systemkonstellationen bezüglich der Beherrschbarkeit eines Ereignisses keine eindeutige, abschließende Bewertung möglich ist. Im Rahmen der hier vorgesehenen Bewertungen wären weiterführende probabilistische Bewertungen auch aufgrund fehlender spezifischer Unterlagen in der vorgesehenen Bearbeitungszeit nicht durchführbar und sind daher auftragsgemäß nicht vorgesehen.

Es besteht daher Einvernehmen mit dem BMU darin, dass aufgrund der Begrenzung der Überprüfungsdauer und der Unterlagensituation wesentliche Anforderungen der "Sachverständigengrundsätze für die Bundesaufsicht" /BMU 01/ nicht eingehalten werden können. Die Abweichungen beziehen sich insbesondere auf die Vollständigkeit, Aktualität und Belastbarkeit von Unterlagen bei der Sachverhaltsermittlung sowie die Bewertungsmethoden, die im vorliegenden Fall weitgehend auf ingenieurmäßige Betrachtungsweisen eingeschränkt sind.

Die durchgeführten Sicherheitsvergleiche beinhalten keine aufsichtliche Überprüfung der betroffenen Anlagen. Auftragsgemäß wird zu jedem Bewertungsgegenstand ein separater Ergebnisbericht erstellt. Eine Gesamtbewertung ist nicht beauftragt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale.....	2
2.1	Ereignisablauf	2
2.1.1	Homogene Deborierung	3
2.1.2	Heterogene Deborierung	4
2.2	Bewertungsmerkmale	5
3	Verwendete Unterlagen	7
4	Anlagenvergleich	7
5	Bewertung.....	17
5.1	Relevante Unterschiede.....	17
5.2	Bewertung der Unterschiede.....	17
5.3	Fazit	18
6	Literatur.....	20

1 Einleitung

Im vorliegenden Bericht geht es um sicherheitstechnische Vergleiche im Zusammenhang mit dem Antrag der EnBW Kernkraft GmbH vom 21.12.2006 an das BMU auf Übertragung von Elektrizitätsmengen vom Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 2 (GKN-2) auf das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 1 (GKN-1). Dazu wurden von den Auftragnehmern in Abstimmung mit dem BMU 23 Bewertungsgegenstände definiert. Auftragsgemäß erfolgt für jeden Bewertungsgegenstand (BG) eine separate Auswertung.

Nachfolgend wird der Bewertungsgegenstand 6 „Fehlerhafte Einspeisung aus einem System, das Deionat oder minderboriertes Kühlmittel führt“ (Externe Deborierung; homogen und heterogen) behandelt. Dies ist je nach den unterstellten Randbedingungen ein Ereignis der Sicherheitsebene 2 bzw. 3.

2 **Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale**

2.1 **Ereignisablauf**

Sicherheitstechnische Bedeutung: Fälschliche Deionateinspeisungen in den Reaktorkühlkreislauf (RKL) führen zu einer Verringerung der Borkonzentration des Primärkühlmittels und damit zu einer Erhöhung der Reaktivität. Der damit ggf. verbundene Leistungsanstieg kann bei Versagen der Vorkehrungen zur Verhinderung bzw. Erkennung solcher Deionateinspeisungen zu Kernschäden führen.

Durch fälschliche Deionateinspeisungen sind homogene oder heterogene Deborierungen des Kühlmittels im RKL möglich. Zu einer homogenen Deborierung kommt es, wenn das eingespeiste Deionat durch laufende Hauptkühlmittelpumpen oder Nachkühlpumpen mit dem Primärkühlmittel vermischt wird. Die Borkonzentration im RKL verringert sich dann gleichmäßig und kontinuierlich. Eine heterogene Deborierung des Primärkühlmittels tritt ein, wenn Deionat in bestimmte nicht durchströmte Rohrleitungsabschnitte des Reaktorkühlkreislaufes oder anschließender Rohrleitungen eingespeist wird und sich dort ansammelt. Solche Bereiche sind beispielsweise der Pumpenbogen einer Hauptkühlmittelleitung oder eine Nachkühlleitung. Ein solcher Deionatpfropfen kann dann durch Einschalten der entsprechenden Hauptkühlmittelpumpe bzw. der Nachkühlpumpe mobilisiert und in den Reaktorkern eingetragen werden.

Eine Vielzahl von Szenarien kann im Nichtleistungsbetrieb zum Eintrag von Deionat oder minderboriertem Kühlmittel in den RKL führen. In /GRS 03/ wurden systematisch die Möglichkeiten für einen Deionateintrag in den RKL während des Nichtleistungsbetriebs untersucht. Aus der Vielzahl der in /GRS 03/ untersuchten Szenarien sollen im Rahmen dieses Anlagenvergleiches nur die dominierenden Szenarien betrachtet werden. Das sind für den Nichtleistungsbetrieb aus unserer Sicht solche Deborierungsszenarien, die eines der folgenden Kriterien erfüllen:

- Der Ereignisablauf führt zum Eintrag großer ($> 10 \text{ m}^3$) Deionatmengen in den Reaktorkühlkreislauf.

Zu diesem Kriterium werden die fälschliche Deionateinspeisung in den RKL beim Wiederauffüllen nach $\frac{3}{4}$ -Loop-Betrieb (Fall 2), die Deionateinspeisung in den RKL über den Abblasebehälter (Fall 3) und das fälschliche Befüllen von Flutbehältern mit Deionat (Fall 4) betrachtet.

- Der Ereignisablauf lieferte in /GRS 03/ einen dominierenden Beitrag zur Gesamthäufigkeit von „Schadenszuständen der Deborierung“.
Zu diesem Kriterium wird das Auffüllen einer Nachkühlleitung mit Deionat aus dem Sperrwassersystem über eine undichte Gleitringdichtung einer Nachkühlpumpe betrachtet (Fall 5).

Für den Leistungsbetrieb ist aus unserer Sicht das folgende Deborierungsszenarium zu untersuchen: Fälschliche Deionateinspeisung in den RKL aus dem Volumenregelsystem bei Leistungsbetrieb (Fall 1). Dieser Ereignisablauf ist entsprechend „Merkpostenaufstellung ... für einen Standardsicherheitsbericht ...“ im Sicherheitsbericht zu behandeln.

Im Folgenden werden die fünf ausgewählten Deborierungsszenarien kurz beschrieben.

2.1.1 Homogene Deborierung

1. Fälschliche Deionateinspeisung in den Reaktorkühlkreislauf aus dem Volumenregelsystem bei Leistungsbetrieb:
Fehler im Volumenregelsystem (bzw. im Borsäure- und Deionateinspeisesystem) können zur Einspeisung von Deionat in den RKL führen. Die Verdünnung der Borkonzentration führt zum Anstieg der Reaktorleistung. Der Leistungsregler fährt daraufhin die Steuerelementbänke in den Reaktorkern ein, bis die Steuerstab-Einfahrbegrenzungen (STAFAB) ansprechen. Diese führen zu einer Sperre der Deionateinspeisung und zu einer Borsäureeinspeisung über das Volumenregelsystem. Sind diese Maßnahmen ohne Erfolg, steigt die Reaktorleistung bis zum Ansprechen der Reaktorleistungsbegrenzung (L-RELEB), die ebenfalls zur Sperre der Deionateinspeisung und zur Borsäureeinspeisung führt. In GKN-2 wird zusätzlich eine Borsäureeinspeisung mit dem Zusatzboriersystem angeregt. Ein weiterer Leistungsanstieg würde in beiden Anlagen zur Reaktorschnellabschaltung (RESA) führen.
2. Fälschliche Deionateinspeisung in den Reaktorkühlkreislauf aus dem Volumenregelsystem beim Wiederauffüllen des PKL nach $\frac{3}{4}$ -Loop-Betrieb:
Nachdem der RKL nach dem Brennelement (BE)-Wechsel wieder druckdicht verschlossen wurde, wird er vom $\frac{3}{4}$ -Loop-Niveau aus mit dem Volumenregelsystem wieder aufgefüllt. Bei der Befüllung wird durch die Überwachung der Einspeisekonzentration (EIKO) in der Steuerstab-Einfahrbegrenzung (STAFAB) sichergestellt,

dass aus dem Borsäure-/ Deionateinspeisesystem Borsäure mit der Konzentration C-Brennelementwechsel (C-BW) eingespeist wird. Bei einem Fehler in der EIKO kann es im ungünstigen Fall zu einer reinen Deionateinspeisung und damit zu einer Abnahme der Borkonzentration im RKL kommen.

Bei $\frac{3}{4}$ -Loop-Betrieb befinden sich beispielsweise in GKN-2 noch ca. 210 m³ Kühlmittel mit der Borkonzentration C-BW im RKL und es müssen weitere ca. 190 m³ bis zu einem Druckhalter-Füllstand von > 4 m eingespeist werden.

Um eine mögliche Deborierung zu verhindern werden entsprechende Vorkehrungen getroffen. Während des Wiederauffüllens sind aus dem RKL kontinuierlich Proben zu entnehmen. Dazu wird das Borsäuremessgerät zu einem der laufenden Nachkühlstränge durchgeschaltet. Eine fehlerhafte Deionateinspeisung kann so erkannt werden. Zusätzlich ist während des Auffüllvorganges die Impulsbereichsanzeige (Neutronenflussmessung) zu beobachten. Bei einem Anstieg der Impulsrate ist die Kühlmittleinspeisung zu unterbrechen und die Ursache dafür festzustellen. Als weitere Vorkehrung ist entsprechend Betriebshandbuch (BHB) eine Handmessung der Einspeiseborkonzentration durchzuführen. Dazu wird eine Probe aus dem Einspeisestrang des Volumenregelsystems entnommen.

3. Deionateinspeisung in den Reaktorkühlkreislauf über den Abblasebehälter im Nichtleistungsbetrieb:

Durch ein Versagen der Füllstandsregelung des Abblasebehälters kann es zu einer kontinuierlichen Einspeisung von Deionat aus dem Deionatsystem in den Abblasebehälter kommen. Bei einem vollständigen Auffüllen des Abblasebehälters kann im Nichtleistungsbetrieb (druckloser RKL) das Deionat rückwärts durch die Abblaseleitung des Druckhalter-Sicherheitsventils strömen, den Ventilteller anheben und über das Sicherheitsventil in den Druckhalter strömen. Von dort würde das Deionat in den RKL gelangen und diesen kontinuierlich deborieren.

Das Problem kann durch die Füllstands- und Drucküberwachung des Abblasebehälters erkannt werden. Ferner ist die Deborierung durch einen Anstieg der Impulsrate (Neutronenflussmessung) erkennbar.

2.1.2 Heterogene Deborierung

Folgende Szenarien für eine heterogene Deborierung werden betrachtet:

4. Fälschliches Befüllen von Flutbehältern mit Deionat:

Im Zuge einer Neubefüllung eines Flutbehälters oder einer Nachfüllung könnte die-

ser durch Fehler im Borsäure- und Deionateinspeisesystem fälschlich mit Deionat befüllt werden.

Für den BE-Wechsel werden nach dem Abnehmen des Reaktordruckbehälter (RDB)-Deckels 2 Flutbehälter in den Flutraum eingespeist, um das Niveau im Flutraum mit dem des BE-Lagerbeckens anzugleichen. Das Inventar eines fälschlich mit Deionat befüllten Flutbehälters würde dabei in den Kern eingespeist werden.

Um solche Fehlbefüllungen zu verhindern ist nach der Befüllung der befüllte Behälter umzuwälzen und die Borsäurekonzentration ist zu bestimmen. Ferner ist alle drei Monate im Rahmen einer wiederkehrenden Prüfung (WKP) die Borsäurekonzentration in den Flutbehältern zu bestimmen.

5. Auffüllen einer Nachkühlleitung mit Deionat aus dem Sperrwassersystem über eine undichte Gleitringdichtung einer Nachkühlpumpe im Nichtleistungsbetrieb:

Durch eine undichte Gleitringdichtung einer Nachkühlpumpe kann während des Anlagenstillstandes (Revision) Deionat aus der Sperrwasserversorgung in die Nachkühlpumpe gelangen. Dies könnte zur Ausbildung eines Deionatpfropfens in der entsprechenden Nachkühlleitung führen. Bei Inbetriebnahme des betreffenden Nachkühlstranges würde dieser Deionatpfropfen in den Kern transportiert werden. Undichte Gleitringdichtungen an Nachkühlpumpen sind durch die Meldung „Sperrwasserdruck tief“ erkennbar.

2.2 Bewertungsmerkmale

Die von der GRS im Auftrag des BMU durchgeführten Untersuchungen zum Nichtleistungsbetrieb der Anlagen GKN-2 /GRS 03/ und KWB-B /GRS 96/ zeigten u. a., dass folgende Randbedingungen einen entscheidenden Einfluss auf die zu erwartenden Eintrittshäufigkeiten von Schadenszuständen bei Ereignisabläufen mit Primärkühlmitteledeborierung haben:

- Vorkehrungen, die den Deionateintrag in den RKL oder angeschlossene Systeme verhindern sollen (z. B. Sicherung von Armaturen des Deionatsystems)
- Möglichkeiten zur Erkennung einer fälschlichen Deionateinspeisung in den RKL oder angeschlossene Systeme
- Vorkehrungen zur Verhinderung von Auswirkungen einer fälschlichen Deionateinspeisung bzw. zur Begrenzung der Auswirkungen

Aus den Erkenntnissen der Untersuchungen zum Nichtleistungsbetrieb einer DWR-Anlage /GRS 03/ wurden die folgenden Bewertungsmerkmale abgeleitet.

Merkmal 1: Maßnahmen und Einrichtungen zur Verhinderung eines fälschlichen Deionateintrags in den RKL oder angeschlossene Systeme

Dieses Merkmal wird aufgeteilt in:

1a: Vorkehrungen zur Verhinderung von fälschlichen Deionateinspeisungen in den RKL oder angeschlossene Systeme

1b: Vorgehensweise bei der Befüllung des RKL bzw. sicherheitstechnisch wichtiger Behälter (Personalhandlungen, Überwachungsaufgaben des Personals)

Merkmal 2: Maßnahmen und Einrichtungen zur Beherrschung von fälschlichen Deionateinspeisungen in den RKL oder angeschlossene Systeme

Dieses Merkmal wird aufgeteilt in:

2a: Maßnahmen und Einrichtungen zur Erkennung von fälschlichen Deionateinspeisungen

2b: Systemfunktionen zur Beherrschung des Ereignisablaufs

Diese Merkmale sind nicht immer vollständig auf jeden der 5 Fälle anwendbar. In den Fällen 1 und 5 wird ein Einzelfehler unterstellt, der zu einer Deionateinspeisung führt. In diesen Fällen wird nur das Merkmal 2 „Maßnahmen und Einrichtungen zur Beherrschung von fälschlichen Deionateinspeisungen“ betrachtet. In den Fällen 2 bis 5 sind keine Systemfunktionen zur Beherrschung des Ereignisablaufs vorgesehen, d.h., Merkmal 2b ist nicht anwendbar. In diesen Fällen kann die Deionateinspeisung durch Prüfungen oder Meldungen erkannt werden (Merkmal 2a).

3 Verwendete Unterlagen

Für den Anlagenvergleich wurden die folgenden Unterlagen der Kategorie 1 herangezogen:

- Kategorie 1

/BHB G1/ Betriebshandbuch GKN-1, Stand 26.03.2007

/BHB G2/ Betriebshandbuch GKN-2, Stand 26.03.2007

4 Anlagenvergleich

Nachfolgend werden die im Abschnitt 2.2 aufgelisteten Bewertungsmerkmale für die betrachteten Anlagen GKN-2 und GKN-1 gegenübergestellt.

Tabelle 4.1: Zu Fall 1: Fälschliche Deionateinspeisung in den Reaktorkühlkreislauf aus dem Volumenregelsystem bei Leistungsbetrieb

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
Merkmal 2: Maßnahmen und Einrichtungen zur Beherrschung von fälschlichen Deionateinspeisungen			
<p>2b: Systemfunktionen zur Beherrschung des Ereignisablaufs</p>	<p>Steuerstabfahrbegrenzung (STAFAB) 3 gestaffelte Grenzwerte (GW) entsprechend Eintauchtiefe der L- und der D-Bank: GW35 (für L-Bank) /GW30 (D-Bank): Deionatregelventile zu, Deionatpumpen aus, RMA-Meldung JTE 72 EX 030 XR30 „Begr Deionateinspeisesperre angespr“ GW20: Borsäureeinspeisung aus dem Borsäureeinspeisesystem KBC, Start einer zweiten HD-Förderpumpe, RMA-Meldung JTE 72 EX 020 XR24 „Begr Borsäureeinspeisen angespr“ GW10: Borieren mit dem Zusatzboriersystem, RMA-Meldung JTE 75 EX 001 XR71 „Begr Zus-Bors-Sys Pumpe Ein angespr“ Reaktorleistungsbegrenzung (L-RELEB) gestaffelte Grenzwerte je nach Reaktorleistung RMA-Meldung JTE 91 EX 110 XR99 „RELEB-L angespr“: GW12 (>1,5%), GW13 (>2,5%), GW14 (>3%) führen zum Einfahren der D-Bank GW14 (>3%) und GW15 (>4,5%) führen zum Einfahren der L-Bank GW18 (>8%) Borieren mit dem Zusatzboriersystem Reaktorschnellabschaltung thermische Reaktorleistung > 112%, mittlere Kühlmitteltemperatur > 318°C, u. a.</p>	<p>Steuerstabeinfahrbegrenzung (STEB) 2 gestaffelte (leistungsabhängige) Grenzwerte entsprechend Eintauchtiefe der L- und der D-Bank: L-V-STEB (YT L-BANK STEB 2V4), D-V-STEB: (YT D-BANK VSTEB 2V4) KMA-Meldungen YT91/C542XU13/35, Sperren der Deionateinspeisung wenn zulässige Borkonzentration unterschritten. L-STEB (YT L-BANK STEB 2V4) Deionatsperre, D-STEB: (YT D-BANK STEB 2V4) Borsäureeinspeisung aus dem Borsäureeinspeisesystem TB, Start einer zweiten HD-Förderpumpe, Leistungsabsenkung, KMA-Meldungen YT91/C542XU12/36, Gesamtleistungsbegrenzung (L-RELEB) KMA-Meldung YT92C542XU25 „L-RELEB (2v4)“, Lastabsenkung, Aktivierung der EIKO (Sperren der Deionateinspeisung wenn zulässige Borkonzentration unterschritten) Reaktorschnellabschaltung thermische Reaktorleistung > 112%, mittlere Kühlmitteltemperatur > 316°C, u. a.</p>	<p>In beiden Anlagen ist ein konzeptionell gleichwertiges System für die Steuerstabfahrbegrenzung und die Reaktorleistungsbegrenzung vorhanden, welches gestaffelte Maßnahmen zur Begrenzung der Folgen einer unkontrollierten Deionateinspeisung vornimmt.</p> <p>Im Unterschied zu Anlage GKN-1 ist in GKN-2 ein Zusatzboriersystem vorhanden, welches automatisch bei Erreichen von Grenzwerten der STAFAB und der RELEB einspeist.</p> <p>Bezüglich der Anregung einer Reaktorschnellabschaltung besteht kein relevanter Unterschied.</p>

Tabelle 4.2: Zu Fall 2: Fälschliche Deionateinspeisung in den Reaktorkühlkreislauf beim Wiederauffüllen des RKL nach ¾-Loop-Betrieb

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
Merkmal 1: Maßnahmen und Einrichtungen zur Verhinderung eines fälschlichen Deionateintrags			
1b: Vorgehensweise bei der Befüllung des RKL bzw. sicherheitstechnisch wichtiger Behälter	<p>Der RKL wird über die DH-Hilfssprühleitung gefüllt. Das Kühlmittel wird zunächst aus dem Volumenausgleichsbehälter entnommen. Anschließend erfolgt automatisch Kühlmittelergänzung aus dem KBC-System (Borsäureeinspeisung).</p> <p>Das Füllen des RKL wird durch die Einspeisekonzentrationsüberwachung (EIKO) in der STAFAB und D-Bank-Regelung überwacht, so dass das Chemikalieneinspeisesystem KBC/KBD mit der Einspeisekonzentration „C-BW“ (C ohne HKMP) einspeist. BHB T2, Kap. 3.1.1, Abs. 5</p> <p>Die EIKO ist entsprechend BHB T2, Kap. 3.1.5, Abs. 5 beim Wiederauffüllen in Betrieb zu halten.</p>	<p>Der RKL wird mit dem Borsäure- und Deionateinspeisesystem TB gefüllt. BHB T2, Kap. 3.1.1</p> <p>Vor dem Wiederauffüllen ist die Einspeisekonzentrationsüberwachung (EIKO) in Betrieb zu nehmen, BHB T2, Kap. 2.1.1, Seite 38. Der Sollwert für die Mischungskonzentration bei der Kühlmittelergänzung wird automatisch im Zustand „unterkritisch kalt“ auf C-BW festgelegt. Bei Unterschreiten der zulässigen Borsäurekonzentration während eines Einspeisevorgangs erfolgt eine Deionatsperre. (Systembeschreibung TB)</p>	<p>In beiden Anlagen lässt die Einspeisekonzentrationsüberwachung (EIKO) beim Wiederauffüllen nur die Borkonzentration C-BW zu.</p> <p>Es ist kein sicherheitstechnisch relevanter Unterschied ableitbar.</p>

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
Merkmal 2: Maßnahmen und Einrichtungen zur Beherrschung von fälschlichen Deionateinspeisungen			
<p>2a: Maßnahmen und Einrichtungen zur Erkennung von fälschlichen Deionateinspeisungen</p>	<p>Das Borsäuremessgerät KUA 15 CQ 001 wird auf die KBA-Einspeisung (Volumenregelsystem) durchgeschaltet, BHB T2, Kap. 3.1.1, Abs. 5.</p> <p>Die eingespeiste Borkonzentration ist anhand des Massenstroms der Borsäure- und der Deionateinspeisung abzuschätzen, BHB T2, Kap. 3.1.1, Abs. 5.</p> <p>Die Impulsbereichsanzeige (Neutronenflussmessung) ist zu beobachten. Die Impulsrate darf nicht ansteigen. Bei einem Anstieg ist die Kühlmiteinspeisung zu unterbrechen und Ursache festzustellen, BHB T2, Kap. 3.1.1, Abs. 5.</p> <p>Während des Befüllens sind Handmessungen der eingespeisten Borsäurekonzentration vorzunehmen. Die 1. Probe 5 min nach Beginn des Füllens und dann weiter alle 30 min eine Probe, BHB T2, Kap. 3.1.1, Abs. 5.</p>	<p>Das Borsäuremessgerät ist auf einen laufenden Nachkühlstrang aufgeschaltet, die Borsäurekonzentration wird kontinuierlich gemessen. BHB T2, Kap. 2.1.1, Abs. 43.</p> <p>Zur Überwachung der Einspeisekonzentration (COMBO-Messung) beim Wiederauffüllen sind die Messstellen 0TA40 A916/917, 0TA45 A916/917; 0TA50 A916/917 als ständige PRA-Anzeige auf einen Monitor zu legen und zu kontrollieren. Bei Unterschreitung von Grenzwerten erfolgt eine Meldung auf der Warte.</p> <p>Während des Füllens ist die Impulsbereichsanzeige zu beachten. Die Impulsrate darf nicht ansteigen. BHB T2, Kap. 3.1.1, Seite 8.</p> <p>Während des Füllens ist eine Handmessung der Borkonzentration zur Kontrolle des Borsäuremessgeräts vorzunehmen BHB T2, Kap. 3.1.1, Seite 8.</p>	<p>Keine relevanten Unterschiede.</p>

Tabelle 4.3: Zu Fall 3: Deionateinspeisung in den Reaktorkühlkreislauf über den Abblasebehälter

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
Merkmal 1: Maßnahmen und Einrichtungen zur Verhinderung eines fälschlichen Deionateintrags			
1a: Vorkehrungen zur Verhinderung von fälschlichen Deionateinspeisungen in den RKL oder angeschlossene Systeme	Die Motorarmatur JEG10 AA206 (Deionateinspeisung in den Abblasebehälter) ist während des Anlagenstillstandes nicht geschlossen zu halten. (Nicht in Deionatsicherungsliste BHB T2, Kap. 3.2.4, Abs. 4/120 enthalten)	Die Deionat-Einspeisearmatur 0UD44 S002 für den Druckhalter-Abblasebehälter ist beim Abfahren bei Erreichen einer RKL-Temperatur von 50°C zu schließen und zu sichern, BHB T2, Kap. 2.2, Seite 145.	In der Anlage GKN-1 ist die Deionat-Einspeisearmatur in den Druckhalter-Abblasebehälter im Zustand unterkritisch kalt zu schließen, in GKN-2 nicht.
Merkmal 2: Maßnahmen und Einrichtungen zur Beherrschung von fälschlichen Deionateinspeisungen			
2a: Maßnahmen und Einrichtungen zur Erkennung von fälschlichen Deionateinspeisungen	Bei einem Abblasebehälter-Füllstand > 3,2 m öffnet automatisch das Ablassventil KTA06 AA407 Bei einem Abblasebehälter-Füllstand > 3,4 m erscheint die KMA-Meldung „Abblasebehälter L hoch“. Bei einem Abblasebehälter-Druck > 1 bar erscheint die Rechnermeldung „Abblasebehälter P hoch 1“, BHB T4, Kap. 1.4, Abs. 9	Bei einem Abblasebehälter-Füllstand > 2,67 m öffnet automatisch die Entwässerungsarmatur 0TY06 S001. BHB T2, Kap. 3.1.2 Bei einem Abblasebehälter-Füllstand > 2,67 m die KMA-Meldung „YP Abblasetank“. Bei einem Abblasebehälter-Druck > 1,2 bar erscheint die Rechnermeldung „Druck Abblasebehälter hoch“, BHB T4, Kap. 1.2	Die Überwachung der Abblasebehälter ist in beiden Anlagen gleichwertig.

Tabelle 4.4: Zu Fall 4: Fälschliches Befüllen von Flutbehältern mit Deionat

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
Merkmal 1: Maßnahmen und Einrichtungen zur Verhinderung eines fälschlichen Deionateintrags			
<p>1b: Vorgehensweise bei der Befüllung des RKL bzw. sicherheitstechnisch wichtiger Behälter</p> <p>Personalhandlungen, Überwachungsaufgaben des Personals</p>	<p>Vorgehen entsprechend Prozedur BHB T4, Kap. 2.4, Abs. 9. Das Mischungsverhältnis Deionat-/Borsäure wird nach den Vorgaben des Teilbereiches Chemie von Hand eingestellt.</p> <p>Während der Befüllung wird zur Überwachung des eingestellten Mischungsverhältnisses durch den Teilbereich Chemie über die Probenarmatur KBC10AA601 eine Probe entnommen und ausgewertet.</p> <p>Unmittelbar nach jeder Füllstandsergänzung ist der Inhalt des jeweiligen Flutbeckens umzuwälzen und dann durch den Teilbereich Chemie eine Probe zu ziehen (Überwachung der erforderlichen Borsäurekonzentration gemäß BHB Teil 4-2.17). Alternativ kann eine vorausgehende Umwälzung dann entfallen, wenn eine Höhenstands-Probenahme erfolgt. Dabei ist in Abständen von 2 m jeweils eine Probe zu ziehen um so mögliche Inhomogenitäten zu erfassen.</p>	<p>Vorgehen entsprechend Prozedur BHB T2, Kap. 3.2.7, Seite 148. Das Mischungsverhältnis Borsäure/Deionat ist gemäß BHB T2, Kap. 3.2.2 - Diagramm Bor-Deionateinspeisemengen einzustellen.</p> <p>Während der Befüllung ist das Durchflussverhältnis Borsäure/Deionat und die Borsäurekonzentrationsmessstelle TH50 A001 zu überwachen.</p> <p>Nach dem Füllen eines Flutbehälters ist die Umwälzung 2h in Betrieb zu lassen und eine Probenahme des Flutbehälterinventars beim Teilbereich UC zu veranlassen. BHB T2, Kap. 3.2.7, Seite 151</p>	<p>In GKN-2 wird bereits während der Befüllung die Borkonzentration durch eine Probe bestimmt.</p> <p>GKN-1 verfügt über eine Borsäurekonzentrationsmessstelle im Einspeisestrang.</p> <p>Dies stellt keinen wesentlichen Unterschied dar, da die Messung der Borsäurekonzentration nach der Befüllung der Flutbehälter gleichwertig ist.</p>

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
Merkmal 2: Maßnahmen und Einrichtungen zur Beherrschung von fälschlichen Deionateinspeisungen			
2a: Maßnahmen und Einrichtungen zur Erkennung von fälschlichen Deionateinspeisungen Wiederkehrende Prüfung	Entsprechend BHB T4, Kap. 2.17, Abs. 9 ist die Borkonzentration und der Bor-10-Anteil zu überprüfen: - nach jeder Neubefüllung oder Nachspeisung - nach jedem BE-Wechsel - ¼-jährlich nach mindestens 3 Stunden Umwälzung.	Entsprechend BHB T2, Kap. 3.2.14, Abs. 3.4.2 ist die Borkonzentration zu überprüfen: - nach jeder Neubefüllung oder Nachspeisung - nach jedem BE-Wechsel - monatlich (WKP) nach mindestens 2 Stunden Umwälzung. Der Bor-10-Anteil zu überprüfen: - nach jeder Neubefüllung oder Nachspeisung - nach jedem BE-Wechsel - ¼-jährlich nach mindestens 2 Stunden Umwälzung.	Die Überwachung der Borkonzentration ist in den beiden Anlagen gleichwertig.

Tabelle 4.5: Zu Fall 5: Auffüllen einer Nachkühlleitung mit Deionat über eine undichte Gleitringdichtung einer Nachkühlpumpe

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
Merkmal 2: Maßnahmen und Einrichtungen zur Beherrschung von fälschlichen Deionateinspeisungen			
2a: Maßnahmen und Einrichtungen zur Erkennung von fälschlichen Deionateinspeisungen Wartenmeldungen	Überwachung des Sperrwasserdrucks der Nachkühlpumpen: KMA/RMA-Meldung JNA10EG001 „Hi Sperrw Dr-Erh-Pp (JNA10CP007) P tief“, BHB T5, Kap. JNA, Abs. 3, Hinweis auf Gleitringdichtungsleckage an der Nachkühlpumpe	Überwachung des Sperrwasserdrucks der Nachkühlpumpen: KMA-Meldung „TH SPERRWASSER“ (Laufzeitüberwachung der Sperrwasserpumpe), PRA-Meldung 0TH10U204 „Druck Sperrwasser zu tief“, Maßnahmen: Dichtheit des Sperrwassersystems der Nachkühlpumpe überprüfen. BHB T4, Kap. 2.7	In beiden Anlagen kann diese mögliche Deborierung durch eine Meldung über den niedrigen Sperrwasserdruck erkannt werden. In GKN-1 wird neben dem Sperrwasserdruck auch die Laufzeit der Sperrwasserpumpen überwacht. Damit ist in GKN-1 eine zusätzliche Erkennungsmöglichkeit für eine undichte Gleitringdichtung gegeben.

Zusammenfassung des Anlagenvergleichs

Die folgende Zusammenfassung des Anlagenvergleichs gliedert sich nach den in Abschnitt 2.1 aufgelisteten Fällen.

1. Fälschliche Deionateinspeisung in den Reaktorkühlkreislauf aus dem Volumenregelsystem bei Leistungsbetrieb:

In beiden Anlagen ist ein Begrenzungssystem vorhanden, welches gestaffelte Maßnahmen zur Begrenzung der Folgen einer unkontrollierten Deionateinspeisung vornimmt. In beiden Anlagen wird dabei u. a. zunächst die Deionateinspeisung gesperrt und über das Volumenregelsystem Borsäure eingespeist.

Im Unterschied zur Anlage GKN-1 gibt es in GKN-2 zusätzlich zur Boreinspeisung über das Volumenregelsystem ein Zusatzboriersystem, welches automatisch bei Erreichen von Grenzwerten der Steuerstafabfahrbegrenzung oder der Reaktorleistungsbegrenzung (L-RELEB) Borsäure einspeist.
2. Fälschliche Deionateinspeisung in den Reaktorkühlkreislauf aus dem Volumenregelsystem beim Wiederauffüllen des PKL nach $\frac{3}{4}$ -Loop-Betrieb:

In beiden Anlagen ist eine Einspeisekonzentrationsüberwachung vorhanden. Diese lässt beim Wiederauffüllen nur die Borkonzentration „C-BW“ zu. Ein sicherheitstechnisch relevanter Unterschied ist hier nicht erkennbar.

Während der Auffüllphase sind die Erkennungsmöglichkeiten für eine Einspeisung von minderboriertem Kühlmittel in den RKL in den beiden Anlagen gleichwertig.
3. Deionateinspeisung in den Reaktorkühlkreislauf über den Abblasebehälter:

In der Anlage GKN-1 ist die Deonat-Einspeisearmatur in den Druckhalter-Abblasebehälter im Zustand unterkritisch kalt zu schließen, in GKN-2 nicht.

Die Überwachung der Abblasebehälter ist in beiden Anlagen gleichwertig.
4. Fälschliches Befüllen von Flutbehältern mit Deionat:

In beiden Anlagen werden bei der Befüllung von Flutbehältern Vorkehrungen gegen Bespeisung mit falscher Borkonzentration getroffen. Ein sicherheitstechnisch relevanter Unterschied ist hier nicht erkennbar.

In beiden Anlagen wird die Borsäurekonzentration in den Flutbehälter wiederkeh-

rend geprüft. Häufigkeit und Umfang der wiederkehrenden Prüfungen sind in beiden Anlagen gleichwertig.

5. Auffüllen einer Nachkühlleitung mit Deionat aus dem Sperrwassersystem über eine undichte Gleitringdichtung einer Nachkühlpumpe:

In beiden Anlagen kann diese mögliche Deborierung durch eine Meldung über den niedrigen Sperrwasserdruck erkannt werden. In GKN-1 wird zusätzlich zum Sperrwasserdruck auch die Laufzeit der Sperrwasserpumpen überwacht. Damit ist in GKN-1 eine zusätzliche Erkennungsmöglichkeit für eine undichte Gleitringdichtung gegeben.

5 Bewertung

5.1 Relevante Unterschiede

Die Vorkehrungen gegen externe Deborierungen bzw. die Möglichkeiten zur Erkennung von Kühlmitteldeborierungen sind in beiden Anlagen im Wesentlichen gleichwertig. Sicherheitstechnisch relevante Unterschiede bestehen in folgenden Punkten:

Zu **Merkmal 1**: Maßnahmen und Einrichtungen zur Verhinderung eines fälschlichen Deionateintrags in den RKL

- Fall 3: In der Anlage GKN-1 ist die Deionat-Einspeisearmatur in den Druckhalter-Abblasebehälter im Zustand unterkritisch kalt zu schließen, in GKN-2 nicht. In GKN-1 ist daher eine zusätzliche Vorkehrung zur Verhinderung einer möglichen Deborierung des Reaktorkühlkreislaufs über den Abblasebehälter vorhanden.

Zu **Merkmal 2**: Maßnahmen und Einrichtungen zur Beherrschung von fälschlichen Deionateinspeisungen in den RKL

- Fall 1: Die Anlage GKN-2 verfügt zusätzlich zur Boreinspeisung über das Volumenregelsystem über ein viersträngiges Zusatzboriersystem, welches im Leistungsbetrieb automatisch durch Begrenzungseinrichtungen zur Boreinspeisung angefordert wird.
- Fall 5: In GKN-1 wird zusätzlich zum Sperrwasserdruck auch die Laufzeit der Sperrwasserpumpen überwacht. Damit ist in GKN-1 eine zusätzliche Erkennungsmöglichkeit für eine undichte Gleitringdichtung gegeben.

5.2 Bewertung der Unterschiede

Entsprechend den in Abschnitt 2.2 festgelegten Vergleichsmerkmalen sind folgende Bewertungsmaßstäbe bzw. Bewertungskriterien für die Bewertung der relevanten Unterschiede heranzuziehen:

1. Redundanz und Diversität der Maßnahmen und Einrichtungen zur Verhinderung eines fälschlichen Deionateintrags in den RKL

2. Redundanz und Diversität der Maßnahmen und Einrichtungen zur Beherrschung von fälschlichen Deionateinspeisungen in den RKL

Zu **Merkmal 1**: Maßnahmen und Einrichtungen zur Verhinderung eines fälschlichen Deionateintrags in den RKL

Durch das Schließen der Deionat-Einspeisearmatur in den Druckhalter-Abblasebehälter im Zustand unterkritisch kalt besteht in GKN-1 eine zusätzliche Vorkehrung gegen einen Deionateintrag während des Anlagestillstandes. Für das Szenarium eines Deionateintrags in den RKL über den Abblasebehälter (Fall 3) ist die Situation in der Anlage GKN-1 daher günstiger einzuschätzen als in GKN-2.

Zu **Merkmal 2**: Maßnahmen und Einrichtungen zur Beherrschung von fälschlichen Deionateinspeisungen in den RKL

Die Anlage GKN-2 verfügt über ein viersträngiges Zusatzboriersystem, welches im Leistungsbetrieb automatisch durch Begrenzungseinrichtungen zur Boreinspeisung angefordert wird und dadurch fälschlichen Deionateinspeisungen entgegenwirkt. Für das Szenarium einer Deionateinspeisung in den RKL aus dem Volumenregelsystem bei Leistungsbetrieb (Fall 1) ist die Situation in der Anlage GKN-2 daher als günstiger einzuschätzen.

In GKN-1 wird zusätzlich zum Sperrwasserdruck auch die Laufzeit der Sperrwasserpumpen überwacht. Damit ist in GKN-1 eine zusätzliche Erkennungsmöglichkeit für eine undichte Gleitringdichtung gegeben. Für das Szenarium einer Deionateinspeisung in den RKL als Folge einer undichten Gleitringdichtung einer Nachkühlpumpe (Fall 5) ist die Situation in der Anlage GKN-1 als günstiger einzuschätzen.

5.3 Fazit

Die Anlage GKN-1 weist in 2 Deborierungsszenarien des Nichtleistungsbetriebs Vorteile (zusätzliche Erkennungsmöglichkeit für eine undichte Gleitringdichtung, zusätzliche Vorkehrung gegen einen Deionateintrag in den Druckhalter-Abblasebehälter) gegenüber der Anlage GKN-2 auf.

In der Anlage GKN-2 ist die Situation bei einer Deborierung im Leistungsbetrieb günstiger, da GKN-2 über ein viersträngiges Zusatzboriersystem verfügt, welches im Leis-

tungsbetrieb automatisch durch Begrenzungseinrichtungen zur Boreinspeisung angefordert wird und dadurch fälschlichen Deionateinspeisungen entgegenwirkt.

6 Literatur

- /BMU 01/ Grundsätze der Tätigkeit von Sachverständigen im Auftrag der Bundesaufsicht über die Ausführung des Atomgesetzes im Hinblick auf Atomkraftwerke, Forschungsreaktoren und sonstige Reaktoren (Sachverständigen-Grundsätze der Bundesaufsicht über Atomkraftwerke), Stand: Juli 2001
- /BMU 06/ SR 2569 „Sicherheitstechnische Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung“, 05.12.2006
- /GRS 95/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH: Reaktivitätsverhalten lokaler Entborierungsvorgänge im Reaktorkern und Berechnung ausgewählter Transienten. GRS-A-2305, April 1995
- /GRS 03/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH: Sicherheits-technische Bedeutung von Zuständen bei Nicht-Leistungsbetrieb eines DWR. GRS-A-3114, Mai 2003



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische
Überprüfung von Anla-
gen zu ausgewählten
Anforderungen und
Ereignissen im Rahmen
von Anträgen zur Rest-
strommengenübertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 7:

„Notstromfall kürzer als zwei
Stunden“

SR 2569



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 7:
„Notstromfall kürzer als zwei
Stunden“

Februar 2008
Auftrags-Nr.: 820410

Anmerkung:

Dieser Bericht ist im Auftrag des BMU im Rahmen des Vorhabens SR 2569 erstellt worden. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt werden bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers und der Unterauftragnehmer wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers übereinstimmen.

Vorwort

Im Atomgesetz wurden mit der Änderung vom 26.04.2002 die Reststrommengen für die in Betrieb befindlichen Kernkraftwerksblöcke in Deutschland festgelegt. Über die Zustimmung zur Übertragung von Elektrizitätsmengen entscheidet das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) im Einvernehmen mit dem Bundeskanzleramt und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Im Rahmen der Entscheidungsfindung des BMU über die Anträge auf Übertragung von Elektrizitätsmengen hat das BMU auch eine vergleichende Sicherheitsüberprüfung zwischen einer Anlage, die Strommengen abgibt und derjenigen, welche die Strommengen bekommen soll, vorgesehen. Da in der zur Verfügung stehenden Zeit keine in Prüfungsumfang und -tiefe mit der Durchführung und der sachverständigen Prüfung von Sicherheitsüberprüfungen nach § 19a AtG vergleichbare, umfassende Ermittlung und sicherheitstechnische Bewertung beider Anlagen möglich ist, beauftragte das BMU die GRS, zusammen mit benannten Unterauftragnehmern mit der „Sicherheitstechnischen Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung“ /BMU 06/. Auftragsgegenstand sind punktuelle Untersuchungen einzelner Bewertungsgegenstände, die gemeinsam von BMU, GRS und den Unterauftragnehmern festgelegt wurden. Um dem BMU eine vergleichende Bewertung zu ermöglichen, ob sichergestellt ist, dass die beantragte Übertragung von einer neueren auf eine ältere Anlage nicht zu Lasten der Sicherheit geht, wurden sicherheitstechnisch relevante Bewertungsgegenstände für jede beantragte Übertragung insbesondere unter Beachtung folgender Kriterien ausgewählt:

- die anlagentechnischen Gegebenheiten der antragsgemäß betroffenen abgebenden und empfangenden Anlage beinhalten wesentliche Unterschiede und / oder
- die Bewertungsgegenstände berühren Entwicklungen seit Genehmigungserteilung bezüglich des Standes von Wissenschaft und Technik und
- die Untersuchungen sind in der zur Verfügung stehenden Zeit voraussichtlich durchführbar.

Dabei wird die sicherheitstechnische Fragestellung weitgehend auf die Beherrschbarkeit von zu erwartenden oder im Rahmen der Nachweisführung postulierten Ereignismöglichkeiten bezogen.

Die Durchführung eines nur punktuellen, aber die genannten Auswahlkriterien beachtenden Prüfprogramms ist aus Sicht des Auftraggebers gerechtfertigt, da der Gesetzgeber die Festlegung der konkreten Maßstäbe für die Prüfung, ob die beabsichtigte Übertragung zu Lasten der Sicherheit ginge und deren willkürfreie Anwendung in § 7 Abs. 1b Satz 2 AtG der Exekutive überlassen hat; Art und Umfang der Ermittlung der für seine Sicherheitsbewertung entscheidungserheblichen Tatsachen sind vom BMU im Rahmen seines Verfahrensermessens zu bestimmen.

Das Überprüfungskonzept basiert auf einer Auswertung und Bewertung von Unterlagen, die der Betreiber für die einzelnen Bewertungsgegenstände dem BMU vorlegen soll. Für den Fall, dass keine spezifischen Unterlagen vorgelegt werden, ist auftragsgemäß vorgesehen, alle Dokumente und Informationen, die in den beteiligten Sachverständigenorganisationen für die hier anstehenden Aufgaben zur Verfügung stehen, für diese Überprüfung zu nutzen. Da diese Dokumente und Informationen hinsichtlich ihrer Aktualität und Belastbarkeit sehr unterschiedlich sein können, wird zu jedem Bewertungsgegenstand ein einheitlich klassifizierter Unterlagen- und Quellennachweis vorgelegt. Dabei wird zwischen den folgenden Kategorien unterschieden:

- Kategorie 1: im atomrechtlichen Verfahren geprüfte / begutachtete bzw. vom BMU freigegebene Unterlagen,
- Kategorie 2: Stellungnahmen der RSK bzw. der SSK und
- Kategorie 3: nicht im Sinne von Kategorie 1 geprüfte Unterlagen, die jedoch nach Auffassung der Auftragnehmer Informationen zum Sachverhalt enthalten.

Die vergleichenden Darstellungen zu den einzelnen Bewertungsgegenständen basieren jeweils auf diesen Unterlagen und spiegeln den darin wiedergegebenen Anlagenzustand wieder. Abweichungen zum derzeitigen Anlagenzustand aufgrund zwischenzeitlich durchgeführter Änderungen sind nicht auszuschließen.

Bewertungsmaßstab ist der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik. Dabei sind neben dem Erfüllungsgrad von regulatorischen Sicherheitsanforderungen bezüglich der Beherrschbarkeit von Ereignissen insbesondere auch die anlagenspezifischen Reserven in die Bewertung einzubeziehen. Aufgrund der Begrenzungen in der Bearbei-

tungszeit und im Umfang und Detaillierungsgrad der Unterlagen erfolgt aber keine vollständige Überprüfung sondern eine Fokussierung auf wesentliche grundlegende Sicherheitsanforderungen. Die für die jeweiligen Bewertungsgegenstände spezifischen Bewertungsmerkmale werden in den einzelnen Berichten ausgewiesen. Die Bewertungsmerkmale beziehen sich grundsätzlich entweder unmittelbar auf grundlegende Sicherheitsanforderungen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik oder mittelbar auf anlagentechnisch vergleichbare Sicherheitsfunktionen mit Anforderungen entsprechend des gestaffelten Sicherheitskonzepts. Die Bewertung der Sicherheitsfunktionen erfolgt im Wesentlichen im Hinblick auf deren Wirksamkeit und Qualität.

Auftragsgemäß sollen die Überprüfungen anhand deterministischer Bewertungsweisen erfolgen. Dieser methodische Ansatz kann in einigen Fällen dazu führen, dass bei der vergleichenden Bewertung von komplexen Systemkonstellationen bezüglich der Beherrschbarkeit eines Ereignisses keine eindeutige, abschließende Bewertung möglich ist. Im Rahmen der hier vorgesehenen Bewertungen wären weiterführende probabilistische Bewertungen auch aufgrund fehlender spezifischer Unterlagen in der vorgesehenen Bearbeitungszeit nicht durchführbar und sind daher auftragsgemäß nicht vorgesehen.

Es besteht daher Einvernehmen mit dem BMU darin, dass aufgrund der Begrenzung der Überprüfungsdauer und der Unterlagensituation wesentliche Anforderungen der "Sachverständigengrundsätze für die Bundesaufsicht" /BMU 01/ nicht eingehalten werden können. Die Abweichungen beziehen sich insbesondere auf die Vollständigkeit, Aktualität und Belastbarkeit von Unterlagen bei der Sachverhaltsermittlung sowie die Bewertungsmethoden, die im vorliegenden Fall weitgehend auf ingenieurmäßige Betrachtungsweisen eingeschränkt sind.

Die durchgeführten Sicherheitsvergleiche beinhalten keine aufsichtliche Überprüfung der betroffenen Anlagen. Auftragsgemäß wird zu jedem Bewertungsgegenstand ein separater Ergebnisbericht erstellt. Eine Gesamtbewertung ist nicht beauftragt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale	2
2.1	Bewertungsgegenstand	2
2.1.1	Aufbau der elektrischen Energieversorgung in GKN-1	3
2.1.2	Aufbau der elektrischen Energieversorgung in GKN-2	6
2.2	Bewertungsmerkmale	7
2.2.1	Bewertungsmerkmal 1: Aufbau und Erfüllung grundlegender Anforderungen der elektrischen Energieversorgung	8
2.2.2	Bewertungsmerkmal 2: Art und Umfang der vorgelagerten Maßnahmen zur Vermeidung eines Notstromfalls	9
2.2.3	Bewertungsmerkmal 3: Beherrschung des Notstromfalls	9
2.2.4	Bewertungsmerkmal 4: Beherrschung des Ausfalls aller Notstromdieselaggregate	9
2.2.5	Bewertungsmerkmal 5: Beherrschung des station blackout	10
3	Verwendete Unterlagen	11
4	Anlagenvergleich und Bewertung	13
4.1	Bewertungsmerkmal 1: Aufbau und Erfüllung grundlegender Anforderungen der elektrischen Energieversorgung.....	13
4.1.1	Energieversorgung in GKN-1	13
4.1.2	Energieversorgung in GKN-2	14
4.1.3	Bewertung	14
4.2	Bewertungsmerkmal 2: Art und Umfang der vorgelagerten Maßnahmen zur Vermeidung eines Notstromfalls	15
4.2.1	Ereignis „Ausfall des Hauptnetzes“	15
4.2.2	Ereignis „Ausfall der Blockeinspeisung“	16
4.3	Bewertungsmerkmal 3: Beherrschung des Notstromfalls	17
4.3.1	Ereignisablauf Notstromfall in GKN-1	18
4.3.2	Ereignisablauf Notstromfall in GKN-2	18
4.3.3	Bewertung	19

4.4	Bewertungsmerkmal 4: Beherrschung des Ausfalls aller Notstromdieselaggregate	19
4.4.1	Ereignisablauf „Ausfall aller Notstromdieselaggregate auf den 6-kV- Notstromschienen bei Spannungslosigkeit auf den 6-kV- Notstromschienen“ in GKN-1	20
4.4.2	Ereignisablauf „Ausfall aller Notstromdieselaggregate auf den 10-kV- Notstromschienen bei Spannungslosigkeit auf den 10-kV- Notstromschienen“ in GKN-2	21
4.4.3	Bewertung	22
4.5	Bewertungsmerkmal 5: Beherrschung des Ereignisses station blackout..	22
4.5.1	Ereignisablauf station blackout in GKN-1	23
4.5.2	Ereignisablauf station blackout in GKN-2	24
4.5.3	Bewertung	25
5	Gesamtbewertung.....	26
6	Fazit	27
7	Literatur.....	28

1 Einleitung

Im vorliegenden Bericht geht es um sicherheitstechnische Vergleiche im Zusammenhang mit dem Antrag der EnBW Kernkraft GmbH vom 21.12.2006 an das BMU auf Übertragung von Elektrizitätsmengen vom Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 2 (GKN-2) auf das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 1 (GKN-1). Dazu wurden von den Auftragnehmern in Abstimmung mit dem BMU 23 Bewertungsgegenstände definiert. Auftragsgemäß erfolgt für jeden Bewertungsgegenstand (BG) eine separate Auswertung.

Nachfolgend wird der Bewertungsgegenstand 7 „Notstromfall kürzer als zwei Stunden“ behandelt. Dies ist ein Ereignis der Sicherheitsebene 2. Aufgrund der schutzzielübergreifenden Bedeutung der Stromversorgung werden darüber hinaus auch Maßnahmen und Einrichtungen betrachtet, die den Sicherheitsebenen 1, 3 und 4 zugeordnet werden.

2 Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale

2.1 Bewertungsgegenstand

Entsprechend der Aufgabenstellung sollen die anlagenspezifischen Unterschiede zwischen den Anlagen GKN-1 und GKN-2 bei der Beherrschung des Ereignisses der Sicherheitsebene 2 „Notstromfall kürzer als zwei Stunden“ ermittelt werden. Anschließend sollen die anlagenspezifischen Unterschiede einer Bewertung hinsichtlich ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung unterzogen werden.

Bei einem Notstromfall kommt es aufgrund einer Störung außerhalb oder innerhalb des Kraftwerkgeländes zum Ausfall der Eigenbedarfsversorgung. Dazu müssen im Vorfeld der Lastabwurf auf Eigenbedarf und die Reservenetzumschaltung als Maßnahmen zur Vermeidung eines Notstromfalls fehlgeschlagen sein. Durch den Ausfall der Eigenbedarfsversorgung werden auch die unterlagerten Schienen der Notstromversorgung, von denen die sicherheitstechnisch wichtigen elektrischen Verbraucher gespeist werden, spannungslos. Für diesen Fall sind die sogenannten Notstromdieselaggregate vorhanden, um eine Versorgung der sicherheitstechnisch wichtigen elektrischen Verbraucher zu gewährleisten. Insofern führen die Einrichtungen der Notstromversorgung eine schutzzielübergreifende Systemfunktion aus, die zur Sicherstellung der Funktionsfähigkeit von sicherheitstechnisch wichtigen Systemfunktionen dient.

Im Folgenden wird der Aufbau der elektrischen Energieversorgung in GKN-1 und in GKN-2 dargestellt. Unterschiede in der Gliederung der Darstellung beruhen vor allem auf der in GKN-1 im Gegensatz zu GKN-2 vorhandenen Doppeleinspeisung einzelner Stränge. Auf die in GKN-1 (Turbosatz) und GKN-2 (Umformer) vorhandenen Einrichtungen zur Erzeugung von Bahnstrom wird nicht näher eingegangen, da diese keine Bedeutung für die sicherheitstechnisch wichtige elektrische Energieversorgung des jeweiligen Kraftwerks haben.

Da in den einzelnen Unterlagen die gleichen Sachverhalte mit unterschiedlichen Begriffen belegt werden, wird in dieser Ausarbeitung zum Zweck einer einheitlichen Darstellung durchgehend der Begriff Schiene (z. B. 10-kV-Notstromschiene) an Stelle der ebenfalls üblichen Begriffe Verteilung und Schaltanlage (z. B. 10-kV-Notstromverteilung, 10-kV-Notstromschaltanlage) verwendet. Ebenso wird durchgehend von 380-V-Schienen anstatt von 0,4-kV-Schienen gesprochen.

2.1.1 Aufbau der elektrischen Energieversorgung in GKN-1

Aus den Unterlagen, die für diese Ausarbeitung herangezogen wurden, finden sich für GKN-1 unterschiedliche Angaben hinsichtlich des Aufbaus der elektrischen Energieversorgung. Dies resultiert aus Änderungsmaßnahmen wie beispielsweise der Nachrüstung von 660-V-Notstromschienen. Die folgende Darstellung des Aufbaus der elektrischen Energieversorgung in GKN-1 wurde überwiegend aus dem elektrischen Übersichtsschaltplan /1/ abgeleitet.

Die elektrische Energieversorgung in GKN-1 ist in die Eigenbedarfs- und Notstromversorgung unterteilt. Die sicherheitstechnisch wichtigen elektrischen Verbraucher sind der Notstromversorgung zugeordnet. Die Notstromversorgung ist viersträngig aufgebaut /2/, /3/.

Im bestimmungsgemäßen Betrieb speisen die beiden Eigenbedarfstransformatoren je eine 10-kV-Eigenbedarfsschiene und je eine 6-kV-Eigenbedarfsschiene. Den 6-kV-Eigenbedarfsschienen sind die weiteren Schienen der Eigenbedarfs- und Notstromversorgung untergeordnet. Zur Stromversorgung werden die folgenden Einrichtungen benutzt /3/, /4/, /5/:

- Die zwei 10-kV- und die zwei 6-kV-Eigenbedarfsschienen werden vom Blockgenerator oder aus dem 220-kV-Verbundnetz über die Eigenbedarfstransformatoren versorgt.
- Neben dem 220-kV-Hauptnetzanschluss ist eine Einspeisemöglichkeit über den Reservenetztransformator vorhanden. Damit können ebenfalls die zwei 10-kV-Eigenbedarfsschienen und die zwei 6-kV-Schienen versorgt werden. Die Einspeisung erfolgt über Freileitung zum Kraftwerk Walheim aus dem 110-kV-Reservenetz. Parallel zur Freileitung führt eine erdverlegte 110-kV-Kabelverbindung zum Kraftwerk Walheim.

- Alternativ zum 110-kV-Reservenetz kann die Versorgung über den Reserve-
netztransformator durch die schwarzstartfähige Gasturbine im Kraftwerk Wal-
heim erfolgen (Gasturbine Walheim)¹.
- Eine weitere Möglichkeit der Versorgung über den Reservenetztransformator
besteht über die 110-kV-Querkupplung zu GKN-2.
- Neben diesen Versorgungsmöglichkeiten kann ein 20-kV-Netzanschluss über ei-
nen Transformator und eine der beiden 6-kV-Eigenbedarfsschienen auf zwei
Stränge der Notstromversorgung durchgeschaltet werden (vierte Netzeinspeisung).

Jeder der beiden 6-kV-Eigenbedarfsschienen sind zwei der insgesamt vier Stränge der Notstromversorgung zugeordnet. Jeder Strang der Notstromversorgung verfügt über ein fest zugeordnetes Notstromdieselaggregat und zwei gekoppelte 6-kV-Notstromschienen. Darüber hinaus befindet sich in einem separaten Gebäude² ein Reserve-Notstromdieselaggregat, das z. B. im Instandhaltungsfall auf den jeweils betroffenen Strang aufgeschaltet werden kann. Den beiden gekoppelten 6-kV-Notstromschienen sind eine 660-V-Notstromschiene und zwei 380-V-Notstromschienen direkt unterlagert. Die 660-V-Notstromschiene und eine der zwei 380-V-Notstromschienen befinden sich im Notstromdieselgebäude, die zweite 380-V-Notstromschiene im Schaltanlagegebäude /2/, /3/, /1/.

Zusätzlich sind im Notstromdieselgebäude zwei doppeltbespeisbare 660-V- und zwei doppeltbespeisbare 380-V-Notstromschienen vorhanden, die von den 660-V- bzw. 380-V-Notstromschienen der Stränge 1 oder 3 bzw. 2 oder 4 gespeist werden können.

¹ Unter Schwarzstartfähigkeit versteht man die Fähigkeit eines Kraftwerkblocks, unabhängig vom Stromnetz vom abgeschalteten Zustand ausgehend hochzufahren und einen Teil des Stromnetzes mit elektrischer Energie zu versorgen, die zum Anfahren nicht schwarzstartfähiger Blöcke dienen kann.

² Der separate Aufstellungsort des Reserve-Notstromdieselaggregats hat auf das in diesem Bewertungsgegenstand behandelte Ereignis „Notstromfall kürzer als zwei Stunden“ keinen Einfluss und ist daher an dieser Stelle für die Bewertung nicht relevant. Eine Bewertung der räumlichen Anordnung erfolgt in Bewertungsgegenständen mit Ereignissen, für die der separate Aufstellungsort von Bedeutung ist (z. B. EVA-Ereignisse).

Von den beiden doppeltbespeisbaren 380-V-Notstromschienen wird eine dritte doppeltbespeisbare 380-V-Notstromschiene gespeist /1/.

Die 380-V-Notstromschienen der Stränge 1 und 3 sowie 2 und 4 im Schaltanlagegebäude sind kuppelbar. Von den 380-V-Notstromschienen der Stränge 2 und 3 im Schaltanlagegebäude wird eine weitere doppeltbespeisbare 380-V-Notstromschiene gespeist /2/, /3/, /1/.

Für die unterbrechungslose Gleichspannungsversorgung sind in der Notstromversorgung sechs 220-V-Gleichspannungsanlagen und sechs ± 24 -V-Gleichspannungsanlagen vorhanden. Je vier 220-V- und ± 24 -V-Gleichspannungsanlagen befinden sich im Notstromdieselgebäude, je zwei im Schaltanlagegebäude /2/, /3/, /1/.

Eine 220-V- und eine ± 24 -V-Gleichspannungsanlage im Notstromdieselgebäude werden über Gleichrichter von den 380-V-Notstromschienen der Strängen 1 und 3 im Notstromdieselgebäude versorgt, die andere 220-V- und die andere ± 24 -V-Gleichspannungsanlage von den Strängen 2 und 4. Die weiteren zwei 220-V- und zwei ± 24 -V-Gleichspannungsanlagen im Notstromdieselgebäude sind den doppeltbespeisbaren 380-V-Notstromschienen (Strang 1 und 3 bzw. 2 und 4) zugeordnet und werden über Gleichrichter von diesen versorgt /2/, /3/, /1/.

Eine der beiden 220-V- und eine der beiden ± 24 -V-Gleichspannungsanlagen im Schaltanlagegebäude werden über Gleichrichter von den 380-V-Notstromschienen der Strängen 1 und 3 im Schaltanlagegebäude versorgt, die zweite 220-V- und die zweite ± 24 -V-Gleichspannungsanlage von den Strängen 2 und 4 /2/, /3/, /1/.

In jeder 220-V- und ± 24 -V-Gleichspannungsanlage sind entsprechende Batterieanlagen zur Versorgung der Gleichspannungsanlage bei Spannungsausfall oder Störung der Gleichrichter vorhanden /2/, /3/, /1/.

Die unterbrechungslose Wechselspannungsversorgung erfolgt über zwei gesicherte 380-V-Schienen. Die gesicherten 380-V-Schienen werden mittels Wechselrichter gespeist, die jeweils an eine der zwei 220-V-Gleichspannungsschienen im Schaltanlagegebäude angeschlossen sind. Beim Ausfall eines Wechselrichters besteht eine Versorgungsmöglichkeit der betroffenen gesicherten 380-V-Schiene über die 380-V-Notstromschiene des Strangs 2 bzw. 3 im Schaltanlagegebäude. Außerdem ist ein

Reserve-Wechselrichter vorhanden, der jede der beiden gesicherten 380-V-Schienen versorgen kann /2/, /3/, /1/.

2.1.2 Aufbau der elektrischen Energieversorgung in GKN-2

Die elektrische Energieversorgung in GKN-2 ist in die Eigenbedarfs- und Notstromversorgung unterteilt. Die sicherheitstechnisch wichtigen elektrischen Verbraucher sind der Notstromversorgung zugeordnet. Eigenbedarfs- und Notstromversorgung sind viersträngig aufgebaut. Die Notstromversorgung ist in die Notstromerzeugungsanlage 1 und das Notstromnetz 1 sowie die Notstromerzeugungsanlage 2 und das Notstromnetz 2 untergliedert /6/, /7/.

Im bestimmungsgemäßen Betrieb speisen die beiden Eigenbedarfstransformatoren je zwei der vier übergeordneten 10-kV-Eigenbedarfsschienen. Den übergeordneten 10-kV-Eigenbedarfsschienen sind die weiteren Schienen der Eigenbedarfs- und Notstromversorgung untergeordnet. Zur Stromversorgung werden die folgenden Einrichtungen benutzt /6/, /7/:

- Die vier 10-kV-Eigenbedarfsschienen werden vom Blockgenerator oder aus dem 380-kV-Verbundnetz über die Eigenbedarfstransformatoren versorgt.
- Neben dem 380-kV-Hauptnetzanschluss ist eine Einspeisemöglichkeit über den Reservenetztransformator vorhanden. Damit können ebenfalls die vier übergeordneten 10-kV-Eigenbedarfsschienen versorgt werden. Die Einspeisung erfolgt über Freileitung zum Kraftwerk Walheim aus dem 110-kV-Reservenetz. Parallel zur Freileitung führt eine erdverlegte 110-kV-Kabelverbindung zum Kraftwerk Walheim (dritte Netzeinspeisung).
 - Alternativ zum 110-kV-Reservenetz kann die Versorgung über den Reservenetztransformator durch die schwarzstartfähige Gasturbine im Kraftwerk Walheim erfolgen (Gasturbine Walheim).
 - Eine weitere Möglichkeit der Versorgung über den Reservenetztransformator besteht über die 110-kV-Querkupplung zu GKN-1.
- Neben diesen Versorgungsmöglichkeiten kann ein 20-kV-Netzanschluss über entsprechende Transformatoren auf die 380-V-Notstromschienen des Notstromnetzes 2 zugeschaltet werden (vierte Netzeinspeisung).

Den vier 10-kV-Eigenbedarfsschienen sind die vier redundanten 10-kV-Notstromschienen des Notstromnetzes 1 strangweise zugeordnet. Jeder Strang der Notstromversorgung verfügt über ein fest zugeordnetes Notstromdieselaggregat und eine 10-kV-Notstromschiene (Notstromerzeugungsanlage 1). Der 10-kV-Notstromschiene sind die 660-V und 380/220-V-Notstromschienen des Notstromnetzes 1 sowie die 380/220-V-Notstromschienen des Notstromnetzes 2 unterlagert. Die Schienen sind den jeweiligen Strängen fest zugeordnet /6/, /7/.

Für die unterbrechungslose Gleichspannungsversorgung sind in der Notstromversorgung vier 220-V-Gleichspannungsanlagen und vier ± 24 -V-Gleichspannungsanlagen im Notstromnetz 1 sowie vier ± 24 -V-Gleichspannungsanlagen im Notstromnetz 2 vorhanden. Die 220-V-Gleichspannungsanlagen bzw. die ± 24 -V-Gleichspannungsanlagen im Notstromnetz 1 sind strangweise den 660-V-Notstromschienen bzw. den 380-V-Notstromschienen im Notstromnetz 1 zugeordnet und werden über Gleichrichter von diesen versorgt. Die ± 24 -V-Gleichspannungsanlagen im Notstromnetz 2 sind strangweise den 380-V-Notstromschienen im Notstromnetz 2 zugeordnet und werden über Gleichrichter von diesen versorgt. In jeder 220-V- und ± 24 -V-Gleichspannungsanlage sind entsprechende Batterieanlagen zur Versorgung der Gleichspannungsanlage bei Spannungsausfall oder Störung der Gleichrichter vorhanden /6/, /7/.

Die unterbrechungslose Wechselspannungsversorgung erfolgt über vier gesicherte 380-V-Schienen. Die gesicherten 380-V-Schienen werden mittels rotierenden Umformern gespeist, die jeweils an die 220-V-Gleichspannungsschiene des zugehörigen Stranges angeschlossen sind. Beim Ausfall eines Umformers besteht eine Versorgungsmöglichkeit der gesicherten 380-V-Schiene über die strangzugehörige 380-V-Notstromschiene. Außerdem ist eine Reserveanlage mit rotierendem Umformer vorhanden, die jede der vier gesicherten 380-V-Schienen versorgen kann. /6/, /7/, /8/, /9/.

Jede der vier 380/220-V-Notstromschienen im Notstromnetz 2 verfügt über einen fest zugeordneten Notspeisediesel mit mechanisch angekuppelter Notspeisepumpe zur Speisung der Dampferzeuger (Notstromerzeugungsanlage 2) /6/.

2.2 Bewertungsmerkmale

Zur Identifizierung und Bewertung anlagenspezifischer Unterschiede werden folgende Bewertungsmerkmale betrachtet.

2.2.1 Bewertungsmerkmal 1: Aufbau und Erfüllung grundlegender Anforderungen der elektrischen Energieversorgung

Hierbei wird untersucht, inwieweit die Einrichtungen zur elektrischen Energieversorgung in GKN-1 und in GKN-2 hinsichtlich Aufbau und den im Folgenden angeführten grundlegenden Anforderungen gemäß KTA-Regel 3701 /KTA 99/ und den spätestens mit dem Protokoll zur 218. Sitzung der Reaktorsicherheitskommission dokumentierten Empfehlungen der Reaktorsicherheitskommission /RSK 88/ entsprechen. Danach werden an die Einrichtungen zur elektrischen Energieversorgung folgende grundlegende Anforderungen gestellt:

- Ein Blockgenerator sowie ein Haupt- und Reservenetzanschluss zur Versorgung der Eigenbedarfsanlage. Zur Erhöhung der Zuverlässigkeit sind Haupt- und Reservenetzanschluss an unterschiedlichen Spannungsebenen anzubinden. (Einrichtungen der Sicherheitsebene 1 und 2)
- Um die Anforderungshäufigkeit der Notstromerzeugungsanlagen zu minimieren sind als vorgelagerte automatische Maßnahmen der Lastabwurf auf Eigenbedarf und eine Umschaltung auf das Reservenetz vorzusehen. (Maßnahmen der Sicherheitsebene 2)
- Es sind Notstromanlagen zur Versorgung der Notstromverbraucher bei Unverfügbarkeit der Eigenbedarfsanlagen, deren Inbetriebnahme und Zuschaltung im Anforderungsfall automatisch erfolgen, vorzusehen. (Einrichtungen der Sicherheitsebenen 2 und 3)
- Es ist mindestens eine weitere Einspeisemöglichkeit über ein erdverlegtes Kabel vorzusehen sowie die Vorhaltung von Energiespeichern zur Sicherstellung der Gleichstromversorgung über mindestens zwei Stunden erforderlich, um den Ausfall der elektrischen Energieversorgung einschließlich der Notstromerzeugungsanlagen (station blackout) zu beherrschen. (Einrichtungen der Sicherheitsebene 4)

2.2.2 Bewertungsmerkmal 2: Art und Umfang der vorgelagerten Maßnahmen zur Vermeidung eines Notstromfalls

Als Ergänzung zum Bewertungsmerkmal 1, in dem nur das Vorhandensein der vorgelagerten Maßnahmen Lastabwurf auf Eigenbedarf und Reservenetzumschaltung überprüft wird, werden in diesem Bewertungsmerkmal Art und Umfang der in beiden Anlagen vorhandenen vorgelagerten Maßnahmen zur Vermeidung eines Notstromfalls bei einer Störung des Hauptnetzes bzw. beim Ausfall der Blockeinspeisung (Ereignisse der Sicherheitsebene 2) betrachtet. Die Betrachtung erfolgt ausgehend vom ungestörten Leistungsbetrieb der Anlage.

2.2.3 Bewertungsmerkmal 3: Beherrschung des Notstromfalls

Die Aufgabe der Notstromversorgung ist die Sicherstellung der elektrischen Energieversorgung der sicherheitstechnisch wichtigen elektrischen Verbraucher. Wird diese Aufgabe auf den Sicherheitsebenen 1 und 2 durch die dafür vorgesehenen Einrichtungen (Blockgenerator, Haupt-/Reservenetz) nicht mehr erfüllt, werden die Notstromdieselaggregate angefordert. In diesem Bewertungsmerkmal werden Art und Umfang der Maßnahmen zur Beherrschung eines Notstromfalls kürzer als zwei Stunden betrachtet (Ereignis der Sicherheitsebene 2). Die Betrachtung erfolgt ausgehend vom ungestörten Leistungsbetrieb der Anlage.

2.2.4 Bewertungsmerkmal 4: Beherrschung des Ausfalls aller Notstromdieselaggregate

Wird die Notstromversorgung durch die Notstromdieselaggregate bei Spannungslosigkeit auf den 6-kV-Notstromschienen (GKN-1) bzw. 10-kV-Notstromschienen (GKN-2) aufgrund eines postulierten Ausfalls aller Notstromdieselaggregate auf den 10-kV- bzw. 6-kV-Notstromschienen (Ereignis der Sicherheitsebene 4) nicht mehr sichergestellt, kann dies die Verletzung von Schutzzielen zur Folge haben. Deshalb werden von uns zur Auslotung der anlagenspezifisch vorhandenen Reserven im Rahmen dieses Bewertungsmerkmals die Reserven und Ersatzmaßnahmen beim Ausfall aller Notstromdieselaggregate auf den 10-kV- bzw. 6-kV-Notstromschienen analysiert.

2.2.5 Bewertungsmerkmal 5: Beherrschung des station blackout

Ebenso wird als weiteres Bewertungsmerkmal das postulierte Ereignis der Sicherheits-ebene 4 station blackout betrachtet, um die anlagenspezifischen Unterschiede bei der Beherrschung des station blackout zu analysieren. Beim station blackout sind definitionsgemäß alle nicht batterieversorgten Schienen des jeweils betrachteten Blockes für bis zu zwei Stunden ausgefallen.

3 **Verwendete Unterlagen**

Die folgenden Unterlagen wurden für den Anlagenvergleich verwendet:

- Kategorie 1

- /1/ GKN I, Elektrischer Übersichtschaltplan, Zeichnungs-NR. 501 723-V 223-0V-9501, Stand: 08.01.2007

- /2/ Siemens, Sicherheitstatusanalyse für das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block I, Kapitel 2.5.1.16 „Notstromversorgung“, Bericht Nr. KWU ND54/96/035, August 1996

- /3/ GKN I, Periodische Sicherheitsüberprüfung, Anlagenbeschreibung GKN I - 1994, Kapitel 2.13 „Elektrotechnische Anlage“, Stand 02/96

- /4/ GKN I, Notfallhandbuch Teil 2 Kapitel 9.1.1 „Wiederherstellen der 110-kV-Versorgung durch 110-kV-Einspeisung von der Gasturbine Walheim“, Stand: Index 07/94

- /5/ GKN I, Notfallhandbuch Teil 2 Kapitel 9.3.2 „EB-Versorgung aus 20-kV-Netz über BT31“, Stand: Index 07/94

- /6/ GKN II, Periodische Sicherheitsüberprüfung 1989 – 1998; Kapitel 2.5.1.16 „Stromversorgung“, Bericht-Nr. KWU NDS4/97/001, 1998/2001

- /7/ TÜV Arbeitsgemeinschaft Konvoi, Konvoi-Anlagen, Gutachten zur Sicherheitsstatusanalyse, Kapitel 5.4.12 „Elektrische Energieversorgung“, PSÜ Konvoi 09/2001, September 2001

- /8/ GKN II, Betriebshandbuch Teil 4 Kapitel 9.9 „Umformerverteilung *BRA-BRE* - Umformer (rotierend) *BRT*“, Stand: Index f

- /9/ GKN II, Betriebshandbuch Teil 4 Kapitel 9.10 „Umformer (statisch), Wechselrichter *BRU*“, Stand: Index c

- /10/ GKN I, Betriebshandbuch Teil 2 Kapitel 2.3.1 „Lastabwurf auf Eigenbedarf“, Stand: Index a

- /11/ GKN I, Betriebshandbuch Teil 2 Kapitel 2.3.9 „Ausfall der Blockeinspeisung“, Stand: Index b
- /12/ GKN II, Betriebshandbuch Teil 2 Kapitel 4.1 „Lastabwurf auf Eigenbedarf“, Stand: Index d1/3
- /13/ GKN II, Betriebshandbuch Teil 2 Kapitel 4.3 „Ausfall der Blockeinspeisung“, Stand: Index b1/3
- /14/ GKN I, Betriebshandbuch Teil 2 Kapitel 2.3.3 „Ausfall der Eigenbedarfsversorgung (Notstrom)“ [sic], Stand: Index a
- /15/ GKN II, Betriebshandbuch Teil 2 Kapitel 4.4 „Notstromfall“, Stand: Index e1/2/3/4/5
- /16/ GKN II, Betriebshandbuch Teil 4 Kapitel 10.2 „Dieselmotoren-/Generatoranlage 2 *XJ/XK*“, Stand: Index b1/2
- /17/ GKN I, Notfallhandbuch Teil 2 Kapitel 9.1.1 „Wiederherstellung der 110-kV-Versorgung durch 110-kV-Einspeisung aus Block II“, Stand: Index 07/94
- /18/ GKN I, Betriebshandbuch Teil 2 Kapitel 3.7.7 „6 kV-Notstromanlagen“, Stand: Index i
- /20/ TÜV Arbeitsgemeinschaft Konvoi; Konvoi Anlagen, Gutachten zur Sicherheitsstatusanalyse, Kapitel 5.3.4.1 „Station Blackout“, PSÜ-Konvoi 09/2001, September 2001
- /21/ GKN II, Notfallhandbuch Teil 2 Kapitel 4 „Ersatz-Stromversorgung“, Stand: Index a

4 Anlagenvergleich und Bewertung

4.1 Bewertungsmerkmal 1: Aufbau und Erfüllung grundlegender Anforderungen der elektrischen Energieversorgung

4.1.1 Energieversorgung in GKN-1

In GKN-1 erfolgt im Normalfall die Versorgung der übergeordneten 10-kV- und 6-kV-Eigenbedarfsschienen und der unterlagerten Eigenbedarfs- und Notstromschienen über den Blockgenerator. Der Hauptnetzanschluss bindet die Anlage in das 220-kV-Verbundnetz ein. Daneben ist in GKN-1 ein 110-kV-Reservenetzanschluss vorhanden, über den im Bedarfsfall eine Einspeisung vom 110-kV-Reservenetz über den Reservenetztransformator auf die übergeordneten 10-kV- und 6-kV-Eigenbedarfsschienen erfolgt. Die Leistung des Reservenetzanschlusses ist so ausgelegt, dass darüber das Abfahren unter Erhaltung der Hauptwärmesenke möglich ist /3/, /11/.

Zur Umschaltung auf das 110-kV-Reservenetz bzw. zum Lastabwurf auf Eigenbedarf sind in GKN-1 entsprechende Automaten vorhanden /10/, /11/.

Im Notstromfall werden die vier aufgeschalteten Notstromdieselaggregate jeweils über das Kriterium Unterspannung bzw. Unterfrequenz auf der zugeordneten 6-kV-Notstromschiene automatisch gestartet und zugeschaltet. Zur Versorgung der erforderlichen sicherheitstechnisch wichtigen Verbraucher sind zwei Notstromdieselaggregate ausreichend (vorhandene Einrichtungen: 4x50%) /3/.

Über die erdverlegte Kabelverbindung zum Kraftwerk Walheim ist eine Einspeisemöglichkeit über den Reservenetztransformator gegeben. Damit ist das Abfahren der Anlage unter Erhalt der Hauptwärmesenke möglich. Die Batteriekapazität der Gleichspannungsanlagen in der Notstromversorgung ist für eine Entladezeit von mindestens zwei Stunden ausgelegt /5/, /1/, /3/, /11/.

4.1.2 Energieversorgung in GKN-2

In GKN-2 erfolgt im Normalfall die Versorgung der übergeordneten 10-kV-Eigenbedarfsschienen und der unterlagerten Eigenbedarfs- und Notstromschienen über den Blockgenerator. Der Hauptnetzanschluss bindet die Anlage in das 380-kV-Verbundnetz ein. Daneben ist in GKN-2 ein 110-kV-Reservenetzanschluss vorhanden, über den im Bedarfsfall über den Reservetransformator eine Einspeisung vom 110-kV-Reservenetz auf die übergeordneten 10-kV-Eigenbedarfsschienen erfolgt. Dieser ist so dimensioniert, dass darüber das Abfahren der Anlage unter Erhaltung der Hauptwärmesenke möglich ist /6/.

Zur Umschaltung auf das 110-kV-Reservenetz bzw. zum Lastabwurf auf Eigenbedarf sind in GKN-2 entsprechende Automaten vorhanden /6/, /12/, /13/.

Im Notstromfall werden die Notstromdiesel jeweils über das Kriterium Unterspannung bzw. Unterfrequenz auf der zugeordneten 10-kV-Notstromschiene automatisch gestartet und zugeschaltet. Zur Versorgung der erforderlichen sicherheitstechnisch wichtigen Verbraucher sind zwei Notstromdieselaggregate ausreichend (vorhandene Einrichtungen: 4x50%) /6/, /7/.

Über die erdverlegte Kabelverbindung zum Kraftwerk Walheim ist eine Einspeisemöglichkeit über den Reservenetztransformator gegeben (dritte Netzeinspeisung). Damit ist das Abfahren der Anlage unter Erhalt der Hauptwärmesenke möglich. Die Batteriekapazität der Gleichspannungsanlagen in der Notstromversorgung ist für eine Entladezeit von mindestens zwei Stunden ausgelegt /6/, /7/.

4.1.3 Bewertung

Beide Anlagen erfüllen die RSK-Empfehlungen und die KTA-Regel 3701 hinsichtlich der grundlegenden Einspeisemöglichkeiten und Automaten. Hinsichtlich des Aufbaus und der Erfüllung grundlegender Anforderungen an die elektrische Energieversorgung ergeben sich keine relevanten Unterschiede zwischen GKN-1 und GKN-2.

4.2 Bewertungsmerkmal 2: Art und Umfang der vorgelagerten Maßnahmen zur Vermeidung eines Notstromfalls

Zur Vermeidung eines Notstromfalls bei den postulierten Ereignissen „Ausfall des Hauptnetzes“ und „Ausfall der Blockeinspeisung“ sind in beiden Anlagen als automatische Maßnahmen der Lastabwurf auf Eigenbedarf bzw. eine Umschaltung auf das Reservenetz vorgesehen. Zur Ermittlung der anlagenspezifischen Unterschiede bezüglich Art und Umfang dieser vorgelagerten Maßnahmen werden in diesem Abschnitt ausgehend vom Ereignis „Ausfall des Hauptnetzes“ bzw. „Ausfall der Blockeinspeisung“ die jeweiligen Ereignisabläufe gegenübergestellt und anschließend bewertet.

4.2.1 Ereignis „Ausfall des Hauptnetzes“

Bei dem postulierten Ereignis „Ausfall des Hauptnetzes“ wird unterstellt, dass das Hauptnetz nicht mehr zur Verfügung steht (Ereignis der Sicherheitsebene 2).

4.2.1.1 Ereignisablauf „Ausfall des Hauptnetzes“ in GKN-1

Durch den Ausfall des Hauptnetzes wird automatisch eine Leistungsreduzierung, der sogenannte Lastabwurf auf Eigenbedarf, vorgenommen. Die Versorgung der übergeordneten 10-kV- und 6-kV-Eigenbedarfsschienen, und damit auch die Versorgung der unterlagerten Eigenbedarfs- und Notstromschienen, erfolgt während des gesamten Ereignisverlaufs über den Blockgenerator /10/.

4.2.1.2 Ereignisablauf „Ausfall des Hauptnetzes“ in GKN-2

Durch den Ausfall des Hauptnetzes wird automatisch eine Leistungsreduzierung, der sogenannte Lastabwurf auf Eigenbedarf, vorgenommen. Die Versorgung der übergeordneten 10-kV-Eigenbedarfsschienen, und damit auch die Versorgung der unterlagerten Eigenbedarfs- und Notstromschienen, erfolgt während des gesamten Ereignisverlaufs über den Blockgenerator /12/.

4.2.1.3 Bewertung

In beiden Anlagen wird beim Ausfall des Hauptnetzes automatisch ein Lastabwurf auf Eigenbedarf durchgeführt. Aus den der Bewertung zu Grunde liegenden Unterlagen ergeben sich keine anlagenspezifischen Unterschiede. Gegebenenfalls vorhandene anlagenspezifische Unterschiede könnten nur durch eine detaillierte Analyse weiterer Unterlagen (z. B. Funktionsschaltpläne, Abzweigkennblätter) ermittelt werden.

4.2.2 Ereignis „Ausfall der Blockeinspeisung“

Beim Ausfall der Blockeinspeisung sind Hauptnetz und Blockgenerator nicht mehr verfügbar (Ereignis der Sicherheitsebene 2).

4.2.2.1 Ereignisablauf „Ausfall der Blockeinspeisung“ in GKN-1

Durch den Ausfall der Blockeinspeisung wird automatisch eine Umschaltung der 10-kV- und 6-kV-Eigenbedarfsschienen auf die Einspeisung vom 110-kV-Reservenetz durchgeführt. In Abhängigkeit der Phasenlage erfolgt die Umschaltung auf das Reservenetz in Kurz- oder Langzeit. Erfolgt die Umschaltung in Kurzzeit, werden automatisch Turbinenschnellabschaltung, eine Leistungsreduzierung und die Abschaltung bestimmter Verbraucher durchgeführt /11/.

Wird die Umschaltung in Langzeit durchgeführt, wird automatisch Turbinenschnellabschaltung ausgelöst und die 10-kV-, 6-kV- und 380-V-Verbraucher werden abgeschaltet. Nach der Umschaltung erfolgt eine automatische, gestaffelte Wiedereinspeisung ausgewählter Verbraucher. Der Spannungsabfall auf den Eigenbedarfsschienen bis zur Durchführung der Langzeitumschaltung hat den Drehzahlabfall der Hauptkühlmittelpumpen zur Folge, wodurch über das Kriterium „Drehzahl Hauptkühlmittelpumpen < 94%“ die Reaktorschnellabschaltung durch das Reaktorschutzsystem ausgelöst wird /11/.

4.2.2.2 Ereignisablauf „Ausfall der Blockeinspeisung“ in GKN-2

Durch den Ausfall der Blockeinspeisung wird automatisch eine Umschaltung der 10-kV-Eigenbedarfsschienen auf die Einspeisung vom 110-kV-Reservenetz durchgeführt. In Abhängigkeit der Phasenlage erfolgt die Umschaltung auf das Reservenetz in Kurz-

oder Langzeit. Erfolgt die Umschaltung in Kurzzeit, werden automatisch Turbinenschnellabschaltung, eine Leistungsreduzierung und die Abschaltung bestimmter Verbraucher durchgeführt /13/.

Wird die Umschaltung in Langzeit durchgeführt, wird automatisch Turbinenschnellabschaltung ausgelöst und die 10-kV-, 660-V- und 380-V-Verbraucher mit Ausnahme der Hauptkondensat- und Steuerflüssigkeitspumpen werden abgeschaltet. Nach der Umschaltung erfolgt eine automatische, gestaffelte Wiederschaltung. Der Spannungsabfall auf den Eigenbedarfsschienen bis zur Durchführung der Langzeitumschaltung hat den Drehzahlabfall der Hauptkühlmittelpumpen zur Folge, wodurch über das Kriterium „Drehzahl Hauptkühlmittelpumpen < MIN“ die Reaktorschnellabschaltung durch das Reaktorschutzsystem ausgelöst wird /13/.

4.2.2.3 Bewertung

In beiden Anlagen erfolgt beim Ausfall der Blockeinspeisung eine automatische Umschaltung auf den Reservenetzanschluss. Die Umschaltung wird dabei in Abhängigkeit der Phasenlage als Kurz- bzw. Langzeitumschaltung ausgeführt. Ebenso erfolgt die Ab- und Wiederschaltung ausgewählter Verbraucher in beiden Anlagen über entsprechende Automaten. Hieraus ergeben sich keine Unterschiede. Gegebenenfalls vorhandene anlagenspezifische Unterschiede könnten nur durch eine detaillierte Analyse weiterer Unterlagen (z. B. Funktionsschaltpläne, Abzweigkennblätter) ermittelt werden.

4.3 Bewertungsmerkmal 3: Beherrschung des Notstromfalls

Zur Beherrschung des postulierten Ereignisses „Notstromfall“ sind in beiden Anlagen die Notstromdieselaggregate auf den 6-kV-Notstromschienen (GKN-1) bzw. 10-kV-Notstromschienen (GKN-2) vorhanden. Werden die Notstromdieselaggregate aufgrund der Spannungslosigkeit auf den 10-kV- bzw. 6-kV-Notstromschienen angefordert, befindet sich die Anlage im Notstromfall.

Ein Notstromfall könnte beispielsweise durch eine Turbinenschnellabschaltung bei gleichzeitig fehlgeschlagener Reservenetzumschaltung eintreten.

4.3.1 Ereignisablauf Notstromfall in GKN-1

In GKN-1 werden im Notstromfall, d. h. bei Spannungslosigkeit auf den 6-kV-Notstromschienen, über Unterspannung bzw. Unterfrequenz auf den 6-kV-Notstromschienen vom Reaktorschutz automatisch die 6-kV-Verbraucher der Notstromschienen abgeschaltet, die 6-kV-Notstromschienen ober- und unterspannungsseitig abgetrennt und die aufgeschalteten Notstromdieselaggregate gestartet. Über betriebliche Automaten erfolgt die Zuschaltfreigabe und Zuschaltung der Notstromverbraucher gemäß Zuschaltprogramm /14/.

Für den Instandhaltungsfall oder beim Ausfall eines Notstromdieselaggregats im Anforderungsfall steht das Reserve-Notstromdieselaggregat zur Verfügung. Im Instandhaltungsfall kann das Reserve-Notstromdieselaggregat die Funktion des in der Instandhaltung befindlichen Notstromdieselaggregats übernehmen und startet dann im Notstromfall automatisch. Nach Ausfall eines Notstromdieselaggregats im Anforderungsfall kann das Reserve-Notstromdieselaggregat gemäß Betriebshandbuch von Hand auf die betroffene Notstromschiene aufgeschaltet werden und startet dann automatisch /18/.

4.3.2 Ereignisablauf Notstromfall in GKN-2

In GKN-2 werden im Notstromfall, d. h. bei Spannungslosigkeit auf den 10-kV-Notstromschienen, über Unterspannung bzw. Unterfrequenz auf den 10-kV-Notstromschienen vom Reaktorschutz automatisch alle Verbraucher von den 10-kV-, 660-V- und 380-V-Notstromschienen abgeschaltet, die 10-kV-Notstromschienen ober- und unterspannungsseitig abgetrennt und die Notstromdieselaggregate gestartet und zugeschaltet. Nach dem Anlaufen der Notstromdieselaggregate werden die gesicherten Neben- und Zwischenkühlwasserpumpen vom Reaktorschutz automatisch zugeschaltet. Die weiteren Notstromverbraucher werden über ein Belastungsprogramm gestaffelt freigegeben und über betriebliche Automaten (Unterspannungsüberwachung oder Untergruppensteuerung) zugeschaltet, soweit sie vor Ereigniseintritt in Betrieb waren bzw. im Ereignisverlauf angefordert werden /15/.

Für den Instandhaltungsfall oder beim Ausfall eines Notstromdieselaggregats im Anforderungsfall steht der jeweilige Notspeisediesel des Notstromnetzes 2 mit mechanisch angekuppelter Notspeisepumpe zur Verfügung und startet dann automatisch. Dieser versorgt die dem Notstromnetz 2 zugeordneten Verbraucher. Dadurch ist auch

bei Nichtverfügbarkeit von Notstromdieselaggregaten der Betrieb des Zusatzboriersystems, des Notspeisesystems und der Lüftung des Notspeisegebäudes sichergestellt. Nach Abkupplung der Notspeisepumpen in zwei Strängen kann außerdem die Brennelementbeckenkühlung, das Notzwischenkühlsystem und das Notnebenkühlsystem für die gesicherten Anlagenteile betrieben werden (Notnachkühlkette) /16/.

4.3.3 Bewertung

In beiden Anlagen erfolgt im Notstromfall eine automatische Abschaltung der von den 6-kV-Notstromschienen (GKN-1) bzw. 10-kV-Notstromschienen (GKN-2) versorgten Verbraucher, sowie eine ober- und unterspannungsseitige Abtrennung der 6-kV-Notstromschienen bzw. 10-kV-Notstromschienen. Aus den der Bewertung zu Grunde liegenden Unterlagen ergeben sich Unterschiede hinsichtlich der automatischen Wiedereinschaltung der Notstromverbraucher nach dem automatischen Start der Notstromdieselaggregate. Diese erfolgt in GKN-1 über betriebliche Automaten und in GKN-2 teilweise durch den Reaktorschutz. Eine Bewertung dieser anlagenspezifischen Unterschiede hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Beherrschung des Notstromfalls ist nur durch eine detaillierte Untersuchung der Zuverlässigkeit der Zuschaltautomaten möglich.

Bei Nichtverfügbarkeit von Notstromdieselaggregaten steht in GKN-1 ein Reserve-Notstromdieselaggregat zur Verfügung, mit dem die Verbraucher eines Strangs der Notstromversorgung versorgt werden können. In GKN-2 stehen vier Notspeisediesele zur Verfügung, mit denen die dem Notstromnetz 2 zugeordneten Verbraucher versorgt bzw. die Notspeisepumpen mechanisch angetrieben werden können. Damit bestehen zwischen den beiden Anlagen Unterschiede in der Art der Zuschaltung und der Verfügbarkeit der verfahrenstechnischen Systeme. Eine Abwägung dieser Unterschiede ist im Rahmen dieser Untersuchung nicht möglich.

4.4 Bewertungsmerkmal 4: Beherrschung des Ausfalls aller Notstromdieselaggregate

Durch das postulierte Ereignis „Ausfall aller Notstromdieselaggregate“ auf den 6-kV-Notstromschienen (GKN-1) bzw. 10-kV-Notstromschienen (GKN-2) bei Spannungslosigkeit auf den 6-kV- bzw. 10-kV-Notstromschienen erfolgt im Notstromfall, d. h. bei Unterspannung bzw. Unterfrequenz auf den 6-kV- bzw. 10-kV-Notstromschienen, auf-

grund unterstellter Ausfälle keine Zuschaltung der Notstromdieselaggregate (Ereignis der Sicherheitsebene 4). Damit bleiben die 6-kV-Notstromschienen (GKN-1) bzw. 10-kV-Notstromschienen (GKN-2) nach Ereigniseintritt spannungslos.

Ein solches Ereignis könnte beispielsweise durch eine übergreifende Einwirkung von außen oder einen gemeinsam verursachten Ausfall verursacht werden.

4.4.1 Ereignisablauf „Ausfall aller Notstromdieselaggregate auf den 6-kV-Notstromschienen bei Spannungslosigkeit auf den 6-kV-Notstromschienen“ in GKN-1

Durch den Ausfall der Notstromdieselaggregate im Anforderungsfall sind nach Ereigniseintritt in der Notstromversorgung alle Schienen bis auf die gesicherten 380-V-Schienen und die Gleichstromschienen spannungslos.

In dem vorliegenden Anlagenzustand kann je nach Verfügbarkeit bzw. wahlweise gemäß dem Notfallhandbuch durch Handmaßnahmen die Energieversorgung über das

- Durchschalten der 20-kV-Netzeinspeisung
- Aufschalten der Gasturbine Walheim über den Reservenetztransformator
- Durchschalten der 110-kV-Querverbindung zu GKN-2 über den Reservenetztransformator

wiederhergestellt werden. /4/, /17/, /5/.

Bei der 110-kV-Einspeisung von der Gasturbine Walheim bestehen keine Einschränkungen hinsichtlich der Zuschaltung von Verbraucher der Eigenbedarfs- und Notstromanlage, somit sind grundsätzlich alle Eigenbedarfs- und Notstromverbraucher verfügbar. Die 110-kV-Querverbindung von GKN-2 zu GKN-1 erfolgt von den 10-kV-Eigenbedarfsschienen in GKN-2 über die Reservenetztransformatoren von GKN-2 und GKN-1 auf die 6-kV-Eigenbedarfsschienen von GKN-1. Gemäß dem Notfallhandbuch ist bei der Einspeisung durch die 110-kV-Querverbindung von GKN-2 bei der Zuschaltung von elektrischen Verbrauchern die zulässige Spannung der für die Querverbindung vorgesehenen 10-kV-Eigenbedarfsschienen in GKN-2 zu berücksichtigen. Über die 20-kV-Netzeinspeisung können zwei Notstromdieselaggregate ersetzt werden /4/, /17/, /5/.

Ist das Reserve-Notstromdieselaggregat nicht von dem postulierten Ereignis betroffen, kann dieses gemäß Betriebshandbuch von Hand auf einen der vier Stränge der Notstromversorgung aufgeschaltet werden /18/.

Explizite Vorgaben, bei welchen Kriterien die oben angeführten Maßnahmen einzuleiten sind und welche Versorgungsmöglichkeit bevorzugt zuzuschalten ist, sind im Notfallhandbuch /4/, /17/, 5 nicht enthalten.

4.4.2 Ereignisablauf „Ausfall aller Notstromdieselaggregate auf den 10-kV-Notstromschienen bei Spannungslosigkeit auf den 10-kV-Notstromschienen“ in GKN-2

Durch den Ausfall der Notstromdieselaggregate im Anforderungsfall sind nach Ereigniseintritt im Notstromnetz 1 nur die gesicherten 380-V-Schienen sowie die 220-V- und ± 24 -V-Gleichstromschienen verfügbar.

Auf den 380/220-V-Notstromschienen des Notstromnetzes 2 stehen nach Ereigniseintritt aufgrund der Spannungslosigkeit im Notstromnetz 1 weiterhin die Notstromkriterien Unterspannung bzw. Unterfrequenz an. Dadurch werden vom Reaktorschutz automatisch die elektrischen Verbraucher der 380/220-V-Notstromschienen im Notstromnetz 2 abgeschaltet, die 380/220-V-Notstromschienen ober- und unterspannungsseitig abgetrennt und die Notspeisediesel gestartet und zugeschaltet. Nach dem Anlaufen der Notspeisediesel werden die Verbraucher über ein Belastungsprogramm gestaffelt freigegeben und zugeschaltet, wenn die jeweiligen Verbraucher vor Ereigniseintritt zugeschaltet waren oder während des Ereignisablaufs angefordert werden /6/.

Somit übernimmt beim Ausfall der Versorgung einer 380/220-V-Notstromverteilung im Notstromnetz 2 der zugehörige Notspeisediesel ersatzweise die Stromversorgung für den betroffenen Strang des Notstromnetzes 2. Dadurch ist der Betrieb des Zusatzboilersystems, des Notspeisesystems und der Lüftung des Notspeisegebäudes sichergestellt. Nach Abkupplung der Notspeisepumpen in zwei Strängen kann außerdem die Brennelementbeckenkühlung, das Notzwischenkühlsystem und das Notnebenkühlsystem für die gesicherten Anlagenteile betrieben werden (Notnachkühlkette) /6/, /16/.

Außerdem stehen gemäß dem Kapitel „Ersatz-Stromversorgung“ des Notfallhandbuchs grundsätzlich die folgenden zusätzlichen Maßnahmen zur Wiederherstellung der elektrischen Energieversorgung zur Verfügung /19/:

- Aufschalten der Gasturbine Walheim über den Reservenetztransformator
- Durchschalten der 110-kV-Querverbindung zu GKN-1 über den Reservenetztransformator.

4.4.3 Bewertung

In beiden Anlagen sind Einrichtungen und Maßnahmen zur Beherrschung des postulierten Ereignisses „Ausfall aller Notstromdieselaggregate im Anforderungsfall“ vorhanden.

In GKN-1 steht ein Reserve-Notstromdieselaggregat zur Verfügung, sofern dieses nicht von dem postulierten Ereignis betroffen ist. Mit diesem können mindestens die Verbraucher eines Strangs auf der 6-kV-Ebene versorgt werden. In GKN-2 stehen, sofern diese nicht von dem postulierten Ereignis betroffen sind, vier Notspeisediesel zur Verfügung. Mit den Notspeisedieseln können die dem Notstromnetz 2 zugeordneten Verbraucher versorgt bzw. die Notspeisepumpen mechanisch angetrieben werden können. Darüber hinaus stehen in beiden Anlagen weitere Maßnahmen und Einrichtungen zur Beherrschung des Ausfalls aller Notstromdieselaggregate zur Verfügung. Damit steht je nach überlagertem Ereignisablauf und den verfügbaren bzw. gewählten Maßnahmen und Einrichtungen zur Ereignisbeherrschung ein unterschiedliches Spektrum verfahrenstechnischer Systeme zur Verfügung.

Damit bestehen zwischen den beiden Anlagen Unterschiede in der Art der Zuschaltung und der Verfügbarkeit der verfahrenstechnischen Systeme. Eine Abwägung dieser Unterschiede ist im Rahmen dieser Untersuchung nicht möglich.

4.5 Bewertungsmerkmal 5: Beherrschung des Ereignisses station blackout

Beim postulierten Ereignis station blackout sind definitionsgemäß alle nicht batterieversorgten Schienen des jeweils betrachteten Blockes für bis zu zwei Stunden ausgefallen (Ereignis der Sicherheitsebene 4). Dazu müssen im Vorfeld der Lastabwurf auf Eigenbedarf und die Reservenetzumschaltung als Maßnahmen zur Vermeidung eines Notstromfalls fehlgeschlagen sein. Außerdem müssen alle vier Notstromdieselaggregate auf den 6-kV-Notstromschienen (GKN-1) bzw. 10-kV-Notstromschienen (GKN-2) aus-

gefallen sein. Zusätzlich sind in GKN-1 das Reserve-Notstromdieselaggregat, in GKN-2 alle vier Notspeisediesels (Notstromerzeugungsanlage 2) nicht verfügbar.

Da eine detaillierte Behandlung des station blackouts in der Sicherheitsstatusanalyse zu GKN-1 nicht erfolgt, beruhen die folgenden Angaben zu GKN-1 auf den im Notfallhandbuch beschriebenen Maßnahmen zur Sicherung der Energieversorgung. Insbesondere fehlen für GKN-1 klare Angaben hinsichtlich der zur Wiederherstellung der Energieversorgung verfügbaren Zeit. Der im Notfallhandbuch angegebene Zeitbedarf für die Durchführung der beschriebenen Maßnahmen ist allerdings kleiner als zwei Stunden und die Gleichstromversorgung ist für mindestens zwei Stunden sichergestellt.

4.5.1 Ereignisablauf station blackout in GKN-1

Nach Ereigniseintritt sind in der Eigenbedarfs- und Notstromversorgung alle Schienen bis auf die gesicherten 380-V-Schienen und die Gleichstromschienen spannungslos. Damit bleiben die Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen für das Reaktorschutzsystem funktionsfähig, die Dampferzeugerbespeisung ist ausgefallen /1/.

Gemäß dem Notfallhandbuch ist beim postulierten Ereignis station blackout je nach Verfügbarkeit bzw. wahlweise eine der folgenden Maßnahmen zur Wiederherstellung der elektrischen Energieversorgung durchzuführen:

- Aufschalten der Gasturbine Walheim über den Reservenetztransformator /4/
- Durchschalten der 110-kV-Querverbindung zu GKN-2 über den Reservenetztransformator /17/
- Durchschalten der 20-kV-Netzeinspeisung auf zwei Stränge der Notstromversorgung über eine 6-kV-Eigenbedarfsschiene /5/.

Bei der 110-kV-Einspeisung von der Gasturbine Walheim bestehen keine Einschränkungen hinsichtlich der Zuschaltung von Verbraucher der Eigenbedarfs- und Notstromanlage, somit sind grundsätzlich alle Eigenbedarfs- und Notstromverbraucher verfügbar. Die 110-kV-Querverbindung von GKN-2 zu GKN-1 erfolgt von den 10-kV-Eigenbedarfsschienen in GKN-2 über die Reservenetztransformatoren von GKN-2 und GKN-1 auf die 6-kV-Eigenbedarfsschienen von GKN-1. Gemäß dem Notfallhandbuch ist bei

der Einspeisung durch die 110-kV-Querverbindung von GKN-2 bei der Zuschaltung von elektrischen Verbrauchern die zulässige Spannung der für die Querverbindung vorgesehenen 10-kV-Eigenbedarfsschienen in GKN-2 zu berücksichtigen. Über die 20-kV-Netzeinspeisung können zwei Notstromdieselaggregate ersetzt werden /4/, /17/, /5/.

Explizite Vorgaben, bei welchen Kriterien die oben angeführten Maßnahmen einzuleiten sind und welche Versorgungsmöglichkeit bevorzugt zuzuschalten ist, sind im Notfallhandbuch /4/, /17/, /5/ nicht enthalten.

4.5.2 Ereignisablauf station blackout in GKN-2

Nach Ereigniseintritt sind mit Ausnahme der gesicherten 380-V-Schienen und der Gleichstromschienen alle Schienen der Eigenbedarfs- und Notstromversorgung spannungslos. Damit bleiben die Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen für das Reaktorschutzsystem funktionsfähig, die Dampferzeugerbespeisung ist ausgefallen /20/.

Gemäß dem Kapitel „Ersatz-Stromversorgung“ des Notfallhandbuchs ist beim postulierten Ereignis station blackout je nach Verfügbarkeit eine der folgenden Maßnahmen zur Wiederherstellung der elektrischen Energieversorgung durchzuführen /21/:

- Aufschalten der Gasturbine Walheim über den Reservenetztransformator
- Durchschalten der 110-kV-Querverbindung zu GKN-1 über den Reservenetztransformator
- Durchschalten der 20-kV-Netzeinspeisung auf die 380-V-Schienen im Notstromnetz 2 über entsprechende Transformatoren.

Bei der 110-kV-Einspeisung von der Gasturbine Walheim bestehen keine Einschränkungen hinsichtlich der Zuschaltung von Verbraucher der Eigenbedarfs- und Notstromanlage, somit sind grundsätzlich alle Eigenbedarfs- und Notstromverbraucher verfügbar. Die 110-kV-Querverbindung von GKN-1 zu GKN-2 erfolgt von einer 6-kV-Eigenbedarfsschiene in GKN-1 über die Reservenetztransformatoren von GKN-1 und GKN-2 auf die 10-kV-Eigenbedarfsschienen von GKN-2. Gemäß dem Notfallhandbuch ist bei der Einspeisung durch die 110-kV-Querverbindung von GKN-1 bei der Zuschaltung von elektrischen Verbrauchern die zulässige Leistungsaufnahme des Eigenbedarfs-

transformators von GKN-1 zu berücksichtigen. Über die 20-kV-Netzeinspeisung können die elektrischen Verbraucher des Notstromnetzes 2 versorgt werden /21/.

4.5.3 Bewertung

In beiden Anlagen sind Maßnahmen und Einrichtungen zur Beherrschung des Ereignisses station blackout vorhanden. Die Wiederherstellung der Energieversorgung erfolgt in beiden Anlagen in Abhängigkeit des Ereignisablaufs und der verfügbaren Einspeisemöglichkeiten über die Gasturbine Walheim, die 110-kV-Querverbindung zum Nachbarblock oder die Durchschaltung der 20-kV-Netzeinspeisung. Hieraus ergeben sich keine Unterschiede.

Im Folgenden wird für beide Anlagen keine Bewertung der Handmaßnahmen, die zur Wiederherstellung der Energieversorgung notwendig sind, vorgenommen. Hierzu sind umfassende Analysen notwendig, die den Rahmen dieses Vorhabens sprengen. Ebenso kann für beide Anlagen der Ablauf nicht bewertet werden, der sich verfahrenstechnisch für den Zeitraum zwischen Ereigniseintritt und Wiederherstellung der Energieversorgung einstellt. Hierzu sind anlagenspezifische verfahrenstechnische und thermohydraulische Analysen notwendig, die den Rahmen dieses Vorhabens überschreiten.

Das Spektrum der verfügbaren und benötigten Verbraucher nach Wiederherstellung der Energieversorgung ist vom jeweiligen Ereignisablauf und der verfügbaren bzw. gewählten Einspeisemöglichkeit abhängig. Zur Ermittlung möglicher anlagenspezifischer Unterschiede und deren Auswirkungen auf die Ereignisbeherrschung wäre eine vertiefte Ereignisablaufanalyse erforderlich, die den Rahmen dieses Vorhabens überschreiten würde.

5 Gesamtbewertung

Die grundlegenden Anforderungen an die elektrischen Einrichtungen eines Kernkraftwerkes nach dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik wurden aus der KTA-Regel 3701 /KTA 99/ und den spätestens mit dem Protokoll zur 218. Sitzung der Reaktorsicherheitskommission dokumentierten Empfehlungen der Reaktorsicherheitskommission /RSK 88/ entnommen. Neben dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik wurden als weitere Bewertungsmerkmale die anlagenspezifisch vorhandenen vorgelagerten Maßnahmen zur Vermeidung eines Notstromfalls sowie die anlagenspezifischen Unterschiede bei der Beherrschung ausgewählter Ereignisse verwendet. Die Identifizierung und Bewertung anlagenspezifischer Unterschiede und Reserven erfolgte anhand der in Kapitel 2 aufgeführten Bewertungsmerkmale.

Hinsichtlich des Aufbaus und der Erfüllung grundlegender Anforderungen an die elektrische Energieversorgung ergeben sich keine relevanten anlagenspezifischen Unterschiede.

Aus der Bewertung der vorhandenen Maßnahmen und Einrichtungen zur Vermeidung eines Notstromfalls beim Ausfall des Hauptnetzes bzw. beim Ausfall der Blockeinspeisung ergeben sich keine anlagenspezifischen Unterschiede.

Wesentliche anlagenspezifische Unterschiede sind in GKN-1 das Reserve-Notstromdieselaggregat und in GKN-2 das Notstromnetz 2 mit den zugehörigen Notspeisedieseln. In GKN-1 können die Verbraucher eines Strangs der Notstromversorgung durch das Reserve-Notstromdieselaggregat versorgt werden, in GKN-2 stehen vier Notspeisedieseln zur Verfügung, mit denen die dem Notstromnetz 2 zugeordneten elektrischen Verbraucher versorgt bzw. die Notspeisepumpen direkt mechanisch angetrieben werden können. Daraus resultieren bei der Beherrschung des Notstromfalls mit gleichzeitiger Nichtverfügbarkeit von Notstromdieselaggregaten anlagenspezifische Unterschiede in der Art der Zuschaltung und der Verfügbarkeit der verfahrenstechnischen Systeme.

Bei der Beherrschung des postulierten Ereignisses „Ausfall aller Notstromdieselaggregate im Anforderungsfall“ wurden anlagenspezifische Unterschiede bezüglich der Art der Zuschaltung und der Verfügbarkeit der verfahrenstechnischen Systeme festgestellt.

Eine Bewertung der im Rahmen der Untersuchung zu den einzelnen Bewertungsmerkmalen festgestellten anlagenspezifischen Unterschiede der vorgesehenen Maß-

nahmen sowie der verfahrens- und elektrotechnischen Einrichtungen und Reserven hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das Sicherheitsniveau der jeweiligen Anlage ist aus unserer Sicht im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht möglich.

6 Fazit

Wesentliche anlagenspezifische Unterschiede sind in GKN-1 das Reserve-Notstromdieselaggregat und in GKN-2 das Notstromnetz 2 mit den zugehörigen Notspeisedieseln. Eine Bewertung der festgestellten anlagenspezifischen Unterschiede, der vorgesehenen Maßnahmen sowie der verfahrens- und elektrotechnischen Einrichtungen und Reserven hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das Sicherheitsniveau der jeweiligen Anlage ist im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht möglich. Für eine vertiefte sicherheitstechnische Bewertung wären umfassende Ereignisablaufanalysen unter Einbeziehung der verfahrenstechnischen Systeme sowie Zuverlässigkeitsbetrachtungen der technischen Einrichtungen und menschlichen Handlungen erforderlich.

7 Literatur

- /BMU 01/ Grundsätze der Tätigkeit von Sachverständigen im Auftrag der Bundesaufsicht über die Ausführung des Atomgesetzes im Hinblick auf Atomkraftwerke, Forschungsreaktoren und sonstige Reaktoren (Sachverständigen-Grundsätze der Bundesaufsicht über Atomkraftwerke), Stand: Juli 2001
- /BMU 06/ SR 2569 „Sicherheitstechnische Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung“, 05.12.2006
- /KTA 99/ KTA-Regel 3701, Übergeordnete Anforderungen an die elektrische Energieversorgung in Kernkraftwerken, Fassung 6/99
- /RSK 88/ Protokoll zur 238. Sitzung der Reaktorsicherheitskommission am 23.11.1988



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische
Überprüfung von Nach-
weisen zu ausgewählten
Anforderungen und
Ereignissen im Rahmen
von Anträgen zur Rest-
strommengenübertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 8:

„Ausfall der betrieblichen
Speisewasserversorgung“

SR 2569



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische Über-
prüfung von Nachweisen zu
ausgewählten Anforderungen
und Ereignissen im Rahmen von
Anträgen zur Reststrommengen-
übertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 8:
„Ausfall der betrieblichen
Speisewasserversorgung“

Februar 2008
Auftrags-Nr.: 820410

Anmerkung:

Dieser Bericht ist im Auftrag des
BMU im Rahmen des Vorhabens
SR 2569 erstellt worden. Der Auf-
traggeber behält sich alle Rechte
vor. Insbesondere darf dieser Be-
richt nur mit seiner Zustimmung zi-
tiert, ganz oder teilweise vervielfäl-
tigt werden bzw. Dritten zugänglich
gemacht werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und
Meinung des Auftragnehmers und
der Unterauftragnehmer wieder und
muss nicht mit der Meinung des
Auftraggebers übereinstimmen.

Vorwort

Im Atomgesetz wurden mit der Änderung vom 26.04.2002 die Reststrommengen für die in Betrieb befindlichen Kernkraftwerksblöcke in Deutschland festgelegt. Über die Zustimmung zur Übertragung von Elektrizitätsmengen entscheidet das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) im Einvernehmen mit dem Bundeskanzleramt und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Im Rahmen der Entscheidungsfindung des BMU über die Anträge auf Übertragung von Elektrizitätsmengen hat das BMU auch eine vergleichende Sicherheitsüberprüfung zwischen einer Anlage, die Strommengen abgibt und derjenigen, welche die Strommengen bekommen soll, vorgesehen. Da in der zur Verfügung stehenden Zeit keine in Prüfungsumfang und -tiefe mit der Durchführung und der sachverständigen Prüfung von Sicherheitsüberprüfungen nach § 19a AtG vergleichbare, umfassende Ermittlung und sicherheitstechnische Bewertung beider Anlagen möglich ist, beauftragte das BMU die GRS, zusammen mit benannten Unterauftragnehmern mit der „Sicherheitstechnischen Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung“ /BMU 06/. Auftragsgegenstand sind punktuelle Untersuchungen einzelner Bewertungsgegenstände, die gemeinsam von BMU, GRS und den Unterauftragnehmern festgelegt wurden. Um dem BMU eine vergleichende Bewertung zu ermöglichen, ob sichergestellt ist, dass die beantragte Übertragung von einer neueren auf eine ältere Anlage nicht zu Lasten der Sicherheit geht, wurden sicherheitstechnisch relevante Bewertungsgegenstände für jede beantragte Übertragung insbesondere unter Beachtung folgender Kriterien ausgewählt:

- die anlagentechnischen Gegebenheiten der antragsgemäß betroffenen abgebenden und empfangenden Anlage beinhalten wesentliche Unterschiede und / oder
- die Bewertungsgegenstände berühren Entwicklungen seit Genehmigungserteilung bezüglich des Standes von Wissenschaft und Technik und
- die Untersuchungen sind in der zur Verfügung stehenden Zeit voraussichtlich durchführbar.

Dabei wird die sicherheitstechnische Fragestellung weitgehend auf die Beherrschbarkeit von zu erwartenden oder im Rahmen der Nachweisführung postulierten Ereignismöglichkeiten bezogen.

Die Durchführung eines nur punktuellen, aber die genannten Auswahlkriterien beachtenden Prüfprogramms ist aus Sicht des Auftraggebers gerechtfertigt, da der Gesetzgeber die Festlegung der konkreten Maßstäbe für die Prüfung, ob die beabsichtigte Übertragung zu Lasten der Sicherheit ginge und deren willkürfreie Anwendung in § 7 Abs. 1b Satz 2 AtG der Exekutive überlassen hat; Art und Umfang der Ermittlung der für seine Sicherheitsbewertung entscheidungserheblichen Tatsachen sind vom BMU im Rahmen seines Verfahrensermessens zu bestimmen.

Das Überprüfungskonzept basiert auf einer Auswertung und Bewertung von Unterlagen, die der Betreiber für die einzelnen Bewertungsgegenstände dem BMU vorlegen soll. Für den Fall, dass keine spezifischen Unterlagen vorgelegt werden, ist auftragsgemäß vorgesehen, alle Dokumente und Informationen, die in den beteiligten Sachverständigenorganisationen für die hier anstehenden Aufgaben zur Verfügung stehen, für diese Überprüfung zu nutzen. Da diese Dokumente und Informationen hinsichtlich ihrer Aktualität und Belastbarkeit sehr unterschiedlich sein können, wird zu jedem Bewertungsgegenstand ein einheitlich klassifizierter Unterlagen- und Quellennachweis vorgelegt. Dabei wird zwischen den folgenden Kategorien unterschieden:

- Kategorie 1: im atomrechtlichen Verfahren geprüfte / begutachtete bzw. vom BMU freigegebene Unterlagen,
- Kategorie 2: Stellungnahmen der RSK bzw. der SSK und
- Kategorie 3: nicht im Sinne von Kategorie 1 geprüfte Unterlagen, die jedoch nach Auffassung der Auftragnehmer Informationen zum Sachverhalt enthalten.

Die vergleichenden Darstellungen zu den einzelnen Bewertungsgegenständen basieren jeweils auf diesen Unterlagen und spiegeln den darin wiedergegebenen Anlagenzustand wieder. Abweichungen zum derzeitigen Anlagenzustand aufgrund zwischenzeitlich durchgeführter Änderungen sind nicht auszuschließen.

Bewertungsmaßstab ist der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik. Dabei sind neben dem Erfüllungsgrad von regulatorischen Sicherheitsanforderungen bezüglich der Beherrschbarkeit von Ereignissen insbesondere auch die anlagenspezifischen Reserven in die Bewertung einzubeziehen. Aufgrund der Begrenzungen in der Bearbei-

tungszeit und im Umfang und Detaillierungsgrad der Unterlagen erfolgt aber keine vollständige Überprüfung sondern eine Fokussierung auf wesentliche grundlegende Sicherheitsanforderungen. Die für die jeweiligen Bewertungsgegenstände spezifischen Bewertungsmerkmale werden in den einzelnen Berichten ausgewiesen. Die Bewertungsmerkmale beziehen sich grundsätzlich entweder unmittelbar auf grundlegende Sicherheitsanforderungen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik oder mittelbar auf anlagentechnisch vergleichbare Sicherheitsfunktionen mit Anforderungen entsprechend des gestaffelten Sicherheitskonzepts. Die Bewertung der Sicherheitsfunktionen erfolgt im Wesentlichen im Hinblick auf deren Wirksamkeit und Qualität.

Auftragsgemäß sollen die Überprüfungen anhand deterministischer Bewertungsweisen erfolgen. Dieser methodische Ansatz kann in einigen Fällen dazu führen, dass bei der vergleichenden Bewertung von komplexen Systemkonstellationen bezüglich der Beherrschbarkeit eines Ereignisses keine eindeutige, abschließende Bewertung möglich ist. Im Rahmen der hier vorgesehenen Bewertungen wären weiterführende probabilistische Bewertungen auch aufgrund fehlender spezifischer Unterlagen in der vorgesehenen Bearbeitungszeit nicht durchführbar und sind daher auftragsgemäß nicht vorgesehen.

Es besteht daher Einvernehmen mit dem BMU darin, dass aufgrund der Begrenzung der Überprüfungsdauer und der Unterlagensituation wesentliche Anforderungen der "Sachverständigengrundsätze für die Bundesaufsicht" /BMU 01/ nicht eingehalten werden können. Die Abweichungen beziehen sich insbesondere auf die Vollständigkeit, Aktualität und Belastbarkeit von Unterlagen bei der Sachverhaltsermittlung sowie die Bewertungsmethoden, die im vorliegenden Fall weitgehend auf ingenieurmäßige Betrachtungsweisen eingeschränkt sind.

Die durchgeführten Sicherheitsvergleiche beinhalten keine aufsichtliche Überprüfung der betroffenen Anlagen. Auftragsgemäß wird zu jedem Bewertungsgegenstand ein separater Ergebnisbericht erstellt. Eine Gesamtbewertung ist nicht beauftragt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale.....	2
2.1	Beschreibung des Ereignisablaufes	2
2.1.1	Ereignisablauf in GKN-1/ GKN-2	2
2.2	Bewertungsmerkmale	5
3	Verwendete Unterlagen	7
4	Anlagenvergleich	8
5	Darstellung und Bewertung relevanter Unterschiede	24
5.1	Darstellung relevanter Unterschiede	24
5.2	Bewertung der relevanten Unterschiede	26
5.3	Fazit	28
6	Literatur.....	29

1 Einleitung

Im vorliegenden Bericht geht es um sicherheitstechnische Vergleiche im Zusammenhang mit dem Antrag der EnBW Kernkraft GmbH vom 21.12.2006 an das BMU auf Übertragung von Elektrizitätsmengen vom Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 2 (GKN-2) auf das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 1 (GKN-1). Dazu wurden von den Auftragnehmern in Abstimmung mit dem BMU 23 Bewertungsgegenstände definiert. Auftragsgemäß erfolgt für jeden Bewertungsgegenstand (BG) eine separate Auswertung.

Nachfolgend wird der Bewertungsgegenstand 8 „Ausfall der betrieblichen Speisewasserversorgung“ behandelt. Dies wird als Ereignis der Sicherheitsebene 3 eingestuft.

2 Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale

2.1 Beschreibung des Ereignisablaufes

Randbedingungen

Beim Ereignis „Ausfall der betrieblichen Speisewasserversorgung“ wird unterstellt, dass sowohl die Hauptspeisewasserpumpen als auch weitere betriebliche Bespeisungen (GKN-1, GKN-2: Ausfall An- und Abfahrssystem) nicht verfügbar sind. Zusätzlich wird der Notstromfall überlagert.

Sicherheitstechnische Bedeutung

Vorrangig für die Beherrschung des Ausfalls der betrieblichen Speisewasserversorgung ist die Sicherstellung der Nachwärmeabfuhr aus dem Reaktor über den sekundären Wasser-Dampf-Kreislauf. Gelingt dies nicht, kann es längerfristig zu einer Aufheizung des Reaktorkerns und Integritätsverlust der Brennelemente kommen.

2.1.1 Ereignisablauf in GKN-1/ GKN-2

Ohne Überlagerung mit dem Notstromfall

Bei einem Ausfall der betrieblichen Hauptspeisewasserversorgung einschließlich der dritten Ersatzhauptspeisewasserpumpe fallen aufgrund der fehlenden Speisewasserzufuhr zunächst die Füllstände in den Dampferzeugern (DE) ab, der Frischdampfdruck und die sekundärseitige Temperatur steigen an und als Folge des schlechteren Wärmetransports auch die primärseitige Kühlmitteltemperatur, der Druckhalter-Füllstand und der Kühlmitteldruck.

Sinkt in GKN-1 der Speisewasserdurchsatz bei einer thermischen Reaktorleistung > ca. 40 % länger als ca. 2 s unter ca. 10 %, dann wird der Ausfall beider laufenden Hauptspeisepumpen unterstellt. Zur Reduktion der Reaktorleistung bis auf etwa 40 % werden paarweise Steuerstäbe eingeworfen. Die Summenleistung von Drehstrom- und Bahnstrom-Generator wird auf ca. 35 % der Nennleistung begrenzt. Wenn die Reservepumpe nach einer Wartezeit von ca. 10 s nicht bestimmungsgemäß fördert, wird die Reaktorleistung durch den gleichzeitigen Einwurf aller Steuerstäbe auf Nulllast redu-

ziert. Gleichzeitig wird die Schnellabschaltung beider Turbinen (TUSA) ausgelöst. Aufgrund der thermischen Reaktorleistung von $> 12\%$ bei einem Neutronenfluss von $< 3\%$ erfolgt Reaktorschnellabschaltung (RESA) /1/.

In GKN-2 wird wegen der im Vergleich zur Reaktorleistung zu niedrigen Bespeisung die Speise-Reaktorleistungsbegrenzung (Speise-RELEB) angeregt und Stabeinwurf ausgelöst. Durch den Stabeinwurf wird die Reaktorleistung zunächst auf 55% und durch Einwurf weiterer Stabpaare bis zum Einwurf aller Steuerstäbe über die Begrenzung (STEW-RESA) reduziert. Infolge des Ansprechens des Signals DE-Füllstand $< 9\text{ m}$ wird bei Ausfall aller Hauptspeisewasserpumpen RESA und TUSA ausgelöst.

Da die Generatorleistung schneller als die Reaktorleistung reduziert wird, kommt es zum Anstieg des FD-Drucks. Bei Überschreiten des Maximaldrucksollwertes von 79 bar (ü) erfolgt die Umleitung in die Frischdampfumleitstation (FDU).

Nach dem Lastabwurf beider Turbosätze (Bahnstrom und Drehstrom) in GKN-1 leitet die FD-Umleitstation der Drehstromturbine die durch die Stabeinwurfschaltung (STEW-LAW) reduzierte noch verbleibende Überschussdampfmenge in den Drehstrom-Kondensator ab und begrenzt den Frischdampfdruck auf 79 bar . Die FD-Umleiteinrichtung des Bahnstromgenerators wird dabei nicht benötigt. /4/.

Die ersatzweise DE-Bespeisung ist zunächst durch die An- und Abfahrpumpen vorgesehen (Anschaltkriterium bei der Erkennung des Ausfalls aller Hauptspeisewasserpumpen bzw. bei Unterschreiten eines DE-Füllstands von 9 m). Da diese bei dem hier unterstellten Ereignisablauf definitionsgemäß ebenso wie die Hauptspeisewasserpumpen ausgefallen sind, werden bei Unterschreiten eines Füllstandes von 5 m in einem der Dampferzeuger strangweise die vier Notspeisespeisepumpen gestartet und zugeschaltet.

In GKN-1 fördert jeweils eine Notspeisepumpe zu einem fest zugeordneten Dampferzeuger, eine vierte Pumpe kann wahlweise auf jeden der drei DE aufgeschaltet werden bzw. speist über Rückschlagklappen in die drei Notspeisestränge. In GKN-2 fördert jeder Strang getrennt auf den zugeordneten Dampferzeuger, kann jedoch manuell auf jeden anderen Dampferzeuger umgeschaltet werden.

Sobald der Dampferzeugerfüllstand in GKN-1 die 5 m wieder überschreitet, wird das Notspeisesignal abgesteuert, der Soll-Istwert-Angleich aufgehoben und die Füllstands-

regelung vom aktuellen Istwert aus freigegeben. Dadurch erfolgt eine Anhebung des Füllstands mit 3 m/h bis zum Sollwert von 9 m. Nach dem Erreichen von ca. 9 m Füllstand wird die erforderliche Einspeiserate von der abzuführenden Nachzerfallsleistung bestimmt. Eine unzulässige Unterkühlung des Primärkühlmittels infolge der Dampferzeugernotbespeisung soll dadurch ausgeschlossen werden.

Durch den Reaktorschutz wird das Teilabfahren in den Zustand „unterkritisch heiß“ über die Umleitregelventile mit 100 K/h von 84 bar_{abs} (GKN-1) bzw. 86 bar_{abs} (GKN-2) bis zu einem FD-Druck von ca. 75 bar_{abs} eingeleitet. Der Frischdampf wird dabei über die FDU abgeführt. Die Einspeisemenge der Notspeisewassersysteme wird in Abhängigkeit von der Höhe des Wasserstandes im zugeordneten Dampferzeuger geregelt. Durch das Schließen der Regelventile über die DE-Füllstandsregelung bzw. den betrieblichen Überspeisungsschutz wird einer Überspeisung des Dampferzeugers bei Füllstandsanstieg entgegengewirkt. Der Überspeisungsschutz wird durch die Anregung des Reaktorschutzsignals „Absperrsignal Notspeisesystem“ bei einem Dampferzeugerfüllstand von > 13,0 m (GKN-1) bzw. 13,5 m (GKN-2) aktiviert /2/, /5/.

Die Anlage kann durch die Notbespeisung im Zustand „unterkritisch heiß“ gehalten werden. Die Deionatmengen sind mit 820 m³ (GKN-1) bzw. 1440 m³ (GKN-2) für ein Halten der Anlage über ca. 10 h konzipiert. Spätestens bei Erreichen des Mindestdeionatvorrats von ≤ 300 m³ (GKN-1) bzw. 800 m³ (GKN-2) muss die Anlage jedoch manuell mit 50 K/h auf Nachkühlbedingungen abgefahren und die Wärmeabfuhr über das nukleare Nachkühlsystem eingeleitet werden /1/,/7/,/5/.

Überlagerung mit dem Notstromfall

Im Notstromfall fallen wesentliche betriebliche Systeme aus, die vorgelagert zu Sicherheitssystemen Aufgaben zu bestimmten Sicherheitsfunktionen wahrnehmen. Bei Ausfall (Notstromfall) der Hauptkondensat- und Hauptkühlwasserpumpen werden zum Schutz des Turbinenkondensators die FD-Umleitstationen (FDU) automatisch (höherwertige betriebliche Leittechnik) gesperrt. Die Wärmeabfuhr wird stattdessen durch die FD-Abblasestation (FDA) mit den Frischdampf-Abblaseregelventilen (FD-ARV) sichergestellt, die auch im Notstromfall unterbrechungslos versorgt werden. Der Frischdampf wird über Dach abgeführt.

Nach TUSA und Verriegelung der Frischdampfumleitung steigt der Druck auf der Sekundärseite rasch auf 84 bar_{abs} (GKN-1) bzw. 86 bar_{abs} (GKN-2). Die Abblaseabsperr-

ventile werden bei diesem Druck automatisch vom Reaktorschutz geöffnet und der Frischdampfdruck automatisch mit 100 K/h auf 75 bar_{abs} in den Zustand „unterkritisch heiß“ teilabgefahren.

Bei einem stärkeren Druckanstieg sprechen in GKN-1 bei 86 bar_{abs} die dort zusätzlich vorhandenen 8 %- Frischdampfsicherheitsventile (8 % FD-SIV) an und in GKN-2 bei einem Druckanstieg auf über 88,3 bar_{abs} die 100 %-Sicherheitsventile. Beim Erreichen des Kriteriums Füllstand DE < 5 m kommt es zur Zuschaltung des Notspeisesystems /3/.

Nach dem Teilabfahren auf 75 bar_{abs} kann die Anlage manuell mit den Abblaseregelventilen abgefahren werden. Nach Erreichen des entsprechenden Druckes wird die Übernahme der Energieabfuhr durch das Nachkühlssystem manuell eingeleitet. Der gewünschte Abfahrgradient (in diesem Fall ca. 50 K/h) kann den FD-Abblasestationen vorgegeben werden.

Die Deionatreserven können im Notstromfall nicht betrieblich ergänzt werden. Aus diesem Grund legt der Deionatmindestvorrat von 300 m³ (GKN-1) bzw. 800 m³ (GKN-2) den Zeitpunkt des spätesten Abfahrbeginns fest, um mit den vorhandenen Deionatvorräten in den gesicherten Nachkühlbetrieb „unterkritisch kalt“ zu gelangen. /4/, /8/.

2.2 Bewertungsmerkmale

Für die vergleichende Bewertung werden die folgenden Bewertungsmerkmale herangezogen:

1. Zur Ereignisbeherrschung erforderliche Maßnahmen und Einrichtungen der Sicherheitsebene 3
 - a) ohne Überlagerung des Notstromfalls,
 - b) mit Überlagerung des Notstromfalls.
2. Abstand zu den gemäß Regelwerk auf Sicherheitsebene 3 geforderten Nachweiskriterien für die Brennstäbe.
3. Auslegung des Notspeisesystems gegen Einwirkungen von innen (EVI) und von außen (EVA).

4. Zusätzliche zur Verfügung stehende Maßnahmen und Einrichtungen.

3 **Verwendete Unterlagen**

Die folgenden Unterlagen wurden für den Anlagenvergleich verwendet:

- Kategorie 1

- /1/ GKN-1: Betriebshandbuch Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar, Block I, Stand 13.06.2006
- /2/ GKN-1: Gutachtliche Stellungnahme zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ), Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar, Block I, TÜV Energie und Systeme, September 97
- /3/ GKN-1: Sicherheitsstatusanalyse für das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block I, Band 1 von 3 August, SIEMENS 1996
- /4/ GKN-1: Systembeschreibungen, Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar, Block I, Stand 26.03.07
- /5/ GKN-2: Betriebshandbuch Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar, Block II, Stand 13.06.2006
- /6/ GKN-2: Periodische Sicherheitsüberprüfung 1989 – 1998, Kapitel 2, Sicherheitsstatusanalyse, PSÜ-Sicherheitsstatusanalyse (SSA) für die Konvoi Kernkraftwerke: Isar 2 (KKI 2), Emsland (KKE), Neckar Block 2 (GKN II), Dez. 1998/ Juni 2001, Siemens AG • Bereich Energieerzeugung (KWU) – NDS4
- /7/ GKN-2: Konvoi-Anlagen Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar, Block II (GKN II), Kernkraftwerk Emsland (KKE), Kernkraftwerk Isar 2 (KKI 2); Gutachten zur Sicherheitsstatusanalyse, TÜV Arge-Konvoi, September 2001
- /8/ GKN-2: Systembeschreibungen, Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar, Block II, Stand 26.03.07

4 Anlagenvergleich

Die Gliederung der Tabelle erfolgt anhand der in Kapitel 2 beschriebenen Bewertungsmerkmale.

	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
Bewertungsmerkmal 1: Zur Ereignisbeherrschung erforderliche Maßnahmen und Einrichtungen der Sicherheitsebene 3			
1a) ohne Überlagerung des Notstromfalls			
Notspeisepumpen	<p>Vier Notspeisepumpen zur Bespeisung von vier Dampferzeugern</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zwei Pumpen sind zum 100 K/h-Abfahren bei Ausfall Hauptspeisewasser erforderlich. - 4 x 50 % Notspeisepumpen vorhanden - Auslegungsfördermenge jeweils 36,11 kg/s (100 bar), entsprechend einer Notspeisewassermenge von insgesamt 144,44 kg/s - alle Pumpen baugleich, die jeweils mit Dieselmotor und mit E-Motor angetrieben werden können. - Automatisch werden zuerst die Dieselmotoren zugeschaltet. Alternativ ist bei Ausfall der Dieselmotoren die manuelle Zuschaltung von Elektroantrieben als alternati- 	<p>Vier Notspeisepumpen zur Bespeisung von drei Dampferzeugern</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zwei Pumpen sind zum 100 K/h-Abfahren bei Ausfall Hauptspeisewasser erforderlich. - 4 x 50 % Notspeisepumpen vorhanden - Fördermenge jeweils 20,8 kg/s (97,6 bar), entsprechend einem Notspeisewassermenge von 83,2 kg/s (Auf die Leistung von GKN-2 bezogen beträgt die Einspeisemenge 128 kg/s) <p>Alle Pumpen baugleich, mit E-Motor (von der Notstromschiene versorgt) angetrieben.</p>	<p>Die Fördermenge der Notspeisepumpen von GKN-2 liegt 13 % höher als die der Notspeisepumpen von GKN-1 (bezogen auf die Leistung von GKN-2 und einem Druck von 100 bar in GKN-2 und 97,6 bar in GKN-1 Da bei niedrigeren Drücken die Förderleistung der Notspeisepumpen von GKN-1 größer ist als in GKN-2 lässt sich daraus kein relevanter Unterschied ableiten.</p> <p>GKN-1 verfügt über vier baugleiche Notspeisepumpen, die in drei Dampferzeugerstränge einspeisen, GKN-2 über vier baugleiche Notspeisepumpen, die in vier DE-Einspeisestränge einspeisen.</p> <p>In GKN-1 sind für alle Pumpen gleichartige Elektro-Antriebe (1 Antrieb je Pumpe) vorhanden. In GKN-2 besitzen alle vier Pumpen je zwei diversitäre Antriebe bei verfügbarer Eigenbedarfsversor-</p>

	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	ver Antrieb der Notspeisepumpe bei vorhandener Eigenbedarfsversorgung möglich		gung.
Notspeisestränge	<p>Alle vier Stränge sind getrennt und autark ausgeführt, können bei Bedarf jedoch manuell auf jeden Dampferzeuger aufgeschaltet werden, ebenso wie die Deionatbecken.</p> <p>Gemäß Schutzziel-BHB gilt für die Dampferzeugerbespeisung in GKN-2, dass zur Abfuhr der Nachzerfallswärme eine Notspeisepumpe und ein Dampferzeuger ausreichend sind. Zum Abfahren der Anlage mit 100 K/h werden zwei Notspeisepumpen benötigt. Das Abfahren der Anlage ist auch mit nur einer Notspeisepumpe sichergestellt, wenn der Abfahrgradient so eingestellt wird, dass der Füllstand der bespeisten DE möglichst im Regelbereich bleibt, mindestens aber > 5 m ist /5/.</p>	<p>Das Notspeisesystem ist von den Deionatbecken bis zu den Deionatpumpen viersträngig aufgebaut. Die Bespeisung der Dampferzeuger erfolgt danach nur noch dreisträngig. Drei Deionatpumpen fördern strangweise zu den jeweils fest zugeordneten Dampferzeugern. Der vierte Notspeisestrang fördert entweder über Rückschlagklappen auf jeden Dampferzeuger oder voreingestellt auf einen der drei Dampferzeuger.</p> <p>Gemäß Schutzziel-BHB „Kernkühlung“ gilt für die Dampferzeugerbespeisung in GKN-1 das Kriterium „Füllstand in mindestens 2 wärmeabführenden Dampferzeugern > 5 m“ /1/.</p>	<p>In GKN-1 kann die 4. Notspeisepumpe ersatzweise alle DE mit eigenem Deionat bespeisen, in GKN-2 können alle Notspeisepumpen ebenso wie die Deionatbecken ersatzweise andere DE mit bespeisen.</p> <p>In GKN-1 sind nach Schutzziel-BHB zur Sicherstellung der Wärmeabfuhr 2 v 3 Dampferzeuger erforderlich, in GKN-2 1 v 4 Dampferzeuger. Wegen der Vergleichbaren Kapazitäten der Bespeisung und der Wärmeabfuhr der einzelnen Dampferzeuger ist aus dieser unterschiedlichen Anforderung im Schutzziel-BHB kein relevanter Unterschied abzuleiten.</p>
Notspeisearmaturen	<p>Die vier getrennten Einspeisestränge zu den vier Dampferzeugern sind jeweils durch zwei im Anforderungsfall zu öffnende Armaturen abgeriegelt.</p> <p>Jede der vier Dampferzeugernotspeiseleitungen verfügt über einen motorbetriebenen Notspeiseabsperr-</p>	<p>Die drei getrennten Einspeisestränge zu den drei Dampferzeugern sind jeweils durch zwei im Anforderungsfall zu öffnende Armaturen abgeriegelt.</p> <p>Jede der drei Dampferzeugernotspeiseleitungen verfügt über einen motorbetriebenen Notspeiseabsperrschie-</p>	<p>GKN-1 verfügt gegenüber GKN-2 über einen Strang weniger und damit insbesondere bei Berücksichtigung von Ausfällen im Bereich der Einspeiseleitungen und zu betätigenden Notspeisearmaturen über eine Redundanz weniger als GKN-2 zur Sicherstellung der Dampferzeugerbespeisung.</p>

	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	schieber und ein motorbetriebenes Notspeiseregelventil, das den Notspeisedurchfluss nach dem Füllstand im Dampferzeuger regelt.	ber und ein motorbetriebenes Notspeiseregelventil, das den Notspeisedurchfluss nach dem Füllstand im Dampferzeuger regelt.	
Deionatmengen	<p>4 x 360 m³ Notspeisewasserbecken vorhanden . Strangweise getrennte Deionatbecken für Notspeisepumpen, im Bedarfsfall auf jede andere Notspeisepumpe manuell umschaltbar. 2 Notspeisebecken sind zur Wärmeabfuhr erforderlich.</p> <p>Temperatur ca. 26°C 1440 m³ gesicherter Vorrat</p>	<p>Vier Notspeisebecken mit jeweils 205 m³ Inhalt vorhanden. (Dies entspricht bezogen auf die Leistung von GKN-2 316 m³.) 2 Notspeisebecken sind zur Wärmeabfuhr erforderlich.</p> <p>Temperatur ca. 40°C 820 m³ gesicherter Vorrat</p>	<p>Die in GKN-2 für eine Wärmeabfuhr im Ereignisfall zur Verfügung stehenden kurzfristig verfügbaren Deionatvorräte sind bei Berücksichtigung der anlagenbezogenen thermischen Reaktorleistung ca. 13 % größer dimensioniert als in GKN-1.</p> <p>Die Unterschiede im Inventar der Notspeisebecken stellen bei diesem Ereignis keinen relevanten Unterschied dar.</p>
Frischdampfumleitung	<p>Bei TUSA wird die reduzierte Überschusddampfmenge aus den DE automatisch zur Frischdampfumleitstation des Drehstromturbosatzes geleitet (4 Frischdampfumleitungen vorhanden).</p> <p>Über die Umleitventile kann eine Dampftrate entsprechend 45 % der Vollastrate bei einem FD-Druck vor den Ventilen von 63,5 bar_{abs} mit n-1 Ventilen abgeführt werden.</p>	<p>Bei TUSA wird die reduzierte Überschusddampfmenge aus den DE automatisch zur voreingestellten Umleitstation des Drehstromturbosatzes (3 Frischdampfumleitungen vorhanden) geleitet.</p> <p>Über die Umleitventile kann eine Dampftrate entsprechend 45 % der Vollastrate bei einem FD-Druck vor den Ventilen von ca. 79 bar_{abs} mit n-1 Ventilen abgeführt werden.</p>	

	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>Drehstrom-FDU:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nachwärmeabfuhr 1 v 4 Ventilen der FDU-Station • 100 K/h-Abfahren mit 3 v 4 Ventilen der FDU bis < 6 bar • 50 K/h-Abfahren mit 2 v 4 Ventilen der FDU bis < 6 bar /6/ <p>erforderlich</p> <p>Mit kleineren Abkühlgradienten ist die Abfuhr der Nachzerfalls- und Speicherwärmer mit 3 FD-Umleitstationen auch bis ca. 0,3 bar Unterdruck möglich /5/.</p>	<p>Drehstrom-FDU:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nachwärmeabfuhr 1 v 3 Ventilen der FDU-Station • 100 K/h-Abfahren mit 3 v 3 Ventilen der FDU bis < 6 bar • 50 K/h-Abfahren mit 2 v 3 Ventilen der FDU bis < 6 bar <p>erforderlich</p>	<p>Beide Anlagen benötigen 3 Ventile der Drehstrom-FDU zum 100K/h Abfahren</p> <p>Keine relevanten Unterschiede</p>
Dampferzeugerüberspeisungsschutz	<p>Dampferzeugerüberspeisungsschutz durch eine Füllstandsregelung pro Dampferzeuger in der Notspeiseleitung. Bei DE-Füllstand > 13,5 m ein „Zu-Befehl“ für Notspeiseregelventil und -Absperrschieber</p> <p>Der Überspeisungsschutz der einzelnen DE ist einzelfehlerfest aufgebaut und gegen redundanzübergreifende Auswirkungen von Störfällen geschützt. Die Auswirkungen werden</p>	<p>Dampferzeugerüberspeisungsschutz durch eine Füllstandsregelung pro Dampferzeuger in der Notspeiseleitung, deren Notspeiseregelventil bei DE-Füllstand > 13 m den Befehl „Schutz zu“ erhält.</p> <p>Bei Störungen in der betrieblichen Füllstandsregelung und -begrenzung eines DE ist eine DE-Überspeisung möglich. Auswirkungen einer DE-Überspeisung sind beherrscht durch</p>	<p>Der Überspeisungsschutz ist in GKN-2 im Gegensatz zu GKN-1 einzelfehlerfest aufgebaut.</p> <p>Die Frischdampfarmaturen in GKN-2 können bei Sättigungsbedingungen Wasser „abblasen“. Auch bei einer DE-Überspeisung ist eine sekundärseitige Wärmeabfuhr über den betroffenen DE noch gewährleistet.</p> <p>In GKN-1 wird der Ausfall eines FD-Stranges unterstellt.</p>

	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>dann aus folgenden Gründen beherrscht /6/:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die FD-Armaturen des betroffenen DE können auch Wasser "abblasen". • Eine eventuell erforderliche sekundärseitige Wärmeabfuhr ist nach RESA auch dann gewährleistet, wenn Wasser bei Sättigungsbedingungen über die FD-Armaturen abgegeben wird. • Die Lasten in der FDL, die durch Überspeisung und eventuell durch Öffnen und Schließen der mit Speisewasser beaufschlagten FD-Armaturen verursacht werden, werden von den FDL und den Kompaktarmaturenblöcken abgetragen (M). Die Belastungen liegen hierbei in der gleichen Größenordnung wie bei FD-Leitungsbruch infolge Erdbeben, für den der Lastabtrag nachgewiesen ist /6/. 	<p>/3/:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eine eventuell erforderliche sekundärseitige Wärmeabfuhr ist nach RESA auch dann gewährleistet, wenn ein FD-Strang infolge Überspeisung nicht verfügbar ist. • Der Überspeisungsschutz der einzelnen DE ist gegen redundanzübergreifende Auswirkungen von Störfällen geschützt. • Die Lasten in der Frischdampfleitung (FDL), die durch Überspeisung und eventuell durch Öffnen und Schließen der mit Speisewasser beaufschlagten FD-Armaturen verursacht werden, werden von der FDL abgetragen /3/. 	
Redundanztrennung	<p>Durchgängige Redundanztrennung des Notspeisesystems.</p> <p>- 4 x 50 % autarke Notspeisewas-</p>	<p>Durchgängige Redundanztrennung des Notspeisesystems:</p> <p>- 4 x 50 % autarke Notspeisebecken</p>	GKN-2 verfügt über vier durchgängig getrennte Stränge der Notbespeisung, die manuell umschaltbar auf andere

	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>serbehälter (je 360 m³).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vier autarke und räumlich getrennte Notspeisescheiben voneinander unabhängig und je einem Dampferzeuger zugeordnet, können bei Bedarf nach manueller Schaltung aber jeden Dampferzeugerstrang beliefern - Durchgängig getrennte Leitungen und Stützen für Haupt- und Notspeisewasser (Notzulaufstützen) je Dampferzeuger. 	<p>(je 205 m³).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die drei den Dampferzeugern zugeordneten Notspeisestränge sind bis zur Einbindung in die Hauptspeisewasserleitung im SHB räumlich und verfahrenstechnisch getrennt ausgeführt. Der Reservestrang fördert in Abhängigkeit der Druckverhältnisse in den drei Notspeiseleitungen in die Notspeiseleitungen. - Speist in der Armaturenkammer in die Hauptspeisewasserleitungen, nutzt Einspeisestützen (1 Stützen je Dampferzeuger) mit RL-System. - Der vierte Notspeisestrang verfügt nicht über motorbetriebenen Notspeiseabsperrschieber und Notspeiseregulventil, da er keinen eigenen Einspeisestrang besitzt. 	<p>Stränge sind.</p> <p>Bei GKN-1 bespeist der vierte Notspeisestrang im Regelfall alle 3 DE mit.</p> <p>Für dieses Bewertungsmerkmal bestehen keine relevanten Unterschiede.</p>
Vermaschung mit anderen Systemen	Die vier autark und redundant den Dampferzeugern zugeordneten Scheiben des Notspeisesystems sind nicht mit anderen Systemen unmittelbar verknüpft.	Die drei autark und redundant den Dampferzeugern zugeordneten Scheiben des Notspeisesystems sind nicht unmittelbar mit anderen Systemen verknüpft. Nur die Einspeiseleitungen zu den Dampferzeugern werden gemeinsam mit Haupt- und An- und Abfahrssystem genutzt.	<p>Das Notspeisesystem in GKN-2 ist weitgehend unvermascht.</p> <p>In GKN-1 besteht eine Vermaschung bei den gemeinsam mit dem Hauptspeise- und dem An- und Abfahrssystem genutzten Einspeiseleitungen und -stützen.</p> <p>Für dieses Bewertungsmerkmal bestehen keine relevanten Unterschiede.</p>

	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
Bewertungsmerkmal 1: Zur Ereignisbeherrschung erforderliche Maßnahmen und Einrichtungen der Sicherheitsebene 3			
1b) mit Überlagerung des Notstromfalls			
Notstromversorgung	Das Notspeisewassersystem ist gegen den Notstromfall ausgelegt. Nach dem Ausfall der elektrischen Eigenbedarfsversorgung fällt die Frischdampfumleitstation (FDU), auf Grund des Ausfalls der Hauptkondensatpumpen aus.	Das Notspeisewassersystem ist gegen den Notstromfall ausgelegt. Nach dem Ausfall der elektrischen Eigenbedarfsversorgung fällt die Frischdampfumleitstation (FDU) aufgrund des Ausfalls der Hauptkondensatpumpen aus.	Keine relevanten Unterschiede.
Frischdampfabblase- regelventile (100 K/h-Teilabfahren)	4 x 100 % Abblaseregelventile ausgelegt für insgesamt 2056 kg/s Dampf bei 86 bar _{abs} . Zum 100 K/h Abfahren bis in den Nachkühlbetrieb ist 1 v 4 Abblasesträngen erforderlich./8/ Zum 100 K/h Abfahren bis ca. 5 bar _{abs} , ist 1 v 4 Abblasesträngen erforderlich./8/ (ab 13 bar _{abs} geringerer Gradient) /5/	3 x 100 % Abblaseregelventile ausgelegt für insgesamt 1260 kg/s Dampf bei 84 bar _{abs} .,(dies entspricht auf die Leistung von GKN-2 bezogen 1940 kg/s), Stellzeit Abblaseregelventil 216 s. Zur 100 K/h Wärmeabfuhr bis 20 bar _{abs} FD-Druck ist 1 v 3 Abblasesträngen erforderlich./4/ Zum 100 K/h Abfahren sind 2 v 3 Abblasesträngen und gegebenenfalls die 8 %-Sicherheitsventile erforderlich bzw. ausreichend bis 6 bar./1//3/. Zur 100 K/h Wärmeabfuhr bis FD-Druck 6 bar _{abs} sind 3 v 3 FD-ARV	In beiden Anlagen ist zunächst das Teilabfahren durch den Reaktorschutz mit 100 K/h bis 75 bar _{abs} vorgesehen. - Das 100 K/h-Abfahren ist in GKN-2 mit 1 v 4 Abblaseregelventilen bis 13 bar _{abs} möglich. - GKN-1 benötigt 1 v 3 Abblaseregelventilen für das 100 K/h Abfahren bis 20 bar _{abs} /3/. Keine relevanten Unterschiede.

	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
		ausreichend./1/ (unterschiedliche Aussagen zur Anzahl erforderlicher FD-ARV im niedrigen Druckbereich)	
Druckbegrenzung	Druckbegrenzung bis zum Wirksamwerden der Abblaseregulierung durch 1 v 4 x 100%-Sicherheitsventilen im Druckbereich 88,3 bis 83 bar _{abs} ausreichend zur Nachwärmeabfuhr und absperbar	Druckbegrenzung bis zum Wirksamwerden der Abblaseregulierung durch 1 v 3 x 8 %-Sicherheitsventilen im Druckbereich 86 bis 77 bar _{abs} ausreichend zur Nachwärmeabfuhr und absperbar/4/	In GKN-1 ist für die Druckbegrenzung ein vorgelagertes 8 %-FD-SIV vorhanden, in GKN-2 ein 100%-FD-Sicherheitsventil. Dies stellt für dieses Bewertungsmerkmal keinen relevanten Unterschied dar.
Deionatvorrat	Im Notstromfall verfügt das Notspeisesystem über 1440 m ³ gesicherte Deionatvorräte. Die Temperatur wird auf ca. 26°C gehalten. Ab 800 m ³ muss die Anlage abgefahren werden	Im Notstromfall verfügt das Notspeisesystem über 820 m ³ gesicherte Deionatvorräte. Die Temperatur wird auf ca. 40°C gehalten. Ab 300 m ³ muss die Anlage abgefahren werden	Das Notspeisewassersystem von GKN-2 verfügt im Notstromfall in Relation zu Reaktorleistung über 13 % größere Deionatmengen als GKN-1. Die zum Abfahren der Anlage in Relation zu Reaktorleistung zur Verfügung stehende Mindestmenge ist bei GKN-2 ca. 73 % höher als bei GKN-1. Die Unterschiede im Inventar der Notspeisebecken stellen bei diesem Ereignis keinen relevanten Unterschied dar.
Notspeisepumpen	Alle vier Notspeisepumpen sind dieselbetrieben und funktionsfähig. Sonstige Auslegung wie unter 2a be-	Alle vier Notspeisepumpen sind notstromangetrieben und funktionsfähig. Sonstige Auslegung wie unter 2a be-	Keine relevanten Unterschiede

	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	schrieben	schrieben	
Bewertungsmerkmal 2: Abstand zu den gemäß Regelwerk auf Sicherheitsebene 3 geforderten Nachweiskriterien für die Brennstäbe			
	Keine Unterlagen verfügbar	Keine Unterlagen verfügbar	Kein Vergleich möglich.
Bewertungsmerkmal 3: Auslegung des Notspeisesystems gegen EVI und EVA			
Schutz gegen EVI	Das Notspeisesystem in GKN-2 ist gegen die gemäß Regelwerk zu unterstellenden EVI ausgelegt.	<p>Der Schutz gegen über anlageninterner Überflutung sowie anlageninternen Brand ist durch die Anlagenkonzeptionierung gewährleistet. Der Ausfall eines der vier Teilsysteme beeinflusst die anderen Teilsysteme nicht.</p> <p>Durch die räumliche Trennung der Notspeiseteilsysteme in vier separate Scheiben (ZX0101/0102/0103/ 0104) wird der Schutz vor gegenseitiger Beeinflussung gewährleistet. Die Pumpen-Aufstellungsräume sind mit wasserdichten Türen versehen, so dass die Funktion der Pumpen auch bei Auslaufen eines Deionatbeckens nicht beeinträchtigt wird.</p> <p>Die FD- Stränge sind mit ihren Steuerleitungen und -ventilen gegen Folgeschäden (Brüche von Leitungen innerhalb Armaturenkommer) durch räumliche Trennung geschützt.</p> <p>Nach der FD- Abschlussarmatur be-</p>	Keine relevanten Unterschiede.

	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
		sitzt jede FD- Leitung bis zum Austritt aus der Armaturenkammer ein Doppelrohr, um Auswirkungen von Lecks oder Brüchen in diesem Bereich auf die Armaturenkammer auszuschließen.	
Schutz gegen EVA	Das Notspeisesystem ist gegen EVA ausgelegt. Nachgewiesen sind die Beherrschung des Störfalls Erdbeben sowie die Vorkehrungen gegen sehr seltene Ereignisse (Sicherheitsebene 4a: Druckwelle, Flugzeugabsturz)	<p>Der Schutz gegen Erdbeben, Überflutung durch Hochwasser ist für das Notspeisegebäude gewährleistet.</p> <p>Das Notspeisegebäude ist gegen die Belastungen sämtlicher Einwirkungen von außen (FLAB, Explosion, Erdbeben, Trümmerlasten) ausgelegt. Dies wird einerseits durch die Bauweise und Dimensionierung des Gebäudes, andererseits durch die geschützte Gebäudeanordnung erreicht.</p> <p>Die drei Notspeiserohrleitungen sind in drei räumlich voneinander getrennten Betonkanälen vor EVA geschützt verlegt, von denen aus sie in das Reaktorgebäude führen und innerhalb des SHB in die Speisewasserdruckrohrleitungen kurz vor den Dampferzeugern einbinden.</p> <p>Die Armaturenkammern sind am Reaktorgebäude angebaut und gegen EVA ausgelegt, um auch in diesem Lastfall die Nachwärmeabfuhr sicherzustellen.</p>	Keine relevanten Unterschiede.

	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>Um bei Störfällen infolge Einwirkungen von außen bei Erschöpfung der Deionatvorräte Wasser ergänzen zu können, hat die Verbindungsleitung eine B-Rohr-Schlauchanschlussmöglichkeit (LAR02), welche von jedem der beiden Gebäudezugänge ohne Schwierigkeiten zu erreichen ist. Darüber hinaus ist an jedem Deionatbecken noch ein B-Rohr-Schlauchanschluss vorhanden (LAR10 AA004). Über diese Anschlüsse kann z. B. eine Verbindung zum Feuerlöschnetz, Rohwassernetz, Nebenkühlwasser, Brunnenwasser oder Fluss hergestellt oder auch Wasser aus Tankwagen eingefüllt werden.</p>	<p>Zusätzlich besitzt jedes Deionatbecken einen A-Rohr-Schlauchanschluss, über welchen eine Verbindung zu weiteren Wasserquellen wie z. B. Feuerlöschnetz, Rohwassernetz, Nebenkühlwasser, Brunnenwasser oder Fluss hergestellt werden kann. Diese Anschlussmöglichkeit ist dann relevant, wenn nach Störfällen von außen (EVA) die hierfür vorgesehenen Deionatvorräte erschöpft sein sollten (nach 10 h).</p>	
Räumliche Trennung und Schottung der Redundanzen (Verfahrenstechnik)	<p>Durchgängige räumliche Trennung und Abschottung aller vier Stränge des Notspeisesystems.</p> <p>Alle Teilsysteme sind bis einschließlich druckseitiger Verbindungsleitung im Notspeisegebäude in separaten Räumen angeordnet. Die Notspeisestränge sind druckseitig in räumlich voneinander getrennten, EVA-geschützten Betonkanälen verlegt. Auch die Rohrleitungsabschnitte im Ringraum mit Notspeiseregelventil</p>	<p>Durchgängige räumliche Trennung und Abschottung aller vier Stränge des Notspeisesystems im Notspeisegebäude und aller drei Stränge außerhalb des Notspeisegebäudes bis zu den Hauptspeiseleitungen im Reaktorsicherheitsbehälter.</p> <p>Alle Teilsysteme sind bis einschließlich druckseitiger Verbindungsleitung im Notspeisegebäude und in den Armaturenkammern in separaten Räumen angeordnet./3/</p>	<p>Die fehlende verfahrenstechnische Trennung zwischen dem Ersatznotspeisestrang und den drei anderen Notspeisesträngen verhindert in GKN-1 auch die räumliche Trennung und Abschottung des vierten Strangs ab der Einspeisestelle im Notspeisegebäude.</p> <p>In GKN-2 sind die vier Notspeisestränge räumlich getrennt.</p> <p>Damit ergibt sich für dieses Bewertungsmerkmal ein relevanter Unterschied.</p>

	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	und -absperrschieber und in den DE-Räumen sind getrennt geführt.	Jeder Frischdampfstrang mit zugehörigem Speisewasser-Strang befindet sich in einer eigenen Kammer, so dass eine gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Stränge vermieden wird. Die Armaturenkammern sind direkt am Reaktorgebäude angebaut und gegen Belastungen aus EVA ausgelegt, um die kontrollierte Wärmeabfuhr auch in diesem Fall sicherzustellen. Jeder Frischdampfstrang sowie alle sicherheitstechnisch erforderlichen Steuerrohrleitungen und -ventile sind gegen mögliche Folgeschäden (Bruch der Speisewasserrohrleitung bzw. einer FD-Rohrleitung in der Armaturenkammer) durch räumliche Trennung geschützt, um die Absperr- wie auch Druckentlastungsfunktion für die intakten Stränge sicherzustellen.	
Räumliche Trennung und Abschottung (Leittechnik)	Die Wirkdruckleitungen, Kabel und Messumformer der Messinstrumentierung der Dampferzeugerfüllstandsüberwachung sind auf räumlich getrennten Kabeltrassen verlegt und unvermascht den vier Einspeisesträngen zugeordnet. Durch die räumliche Trennung der vier Einspeisestränge und durch die Baustruktur	Verbindende Kabelkanäle und Kabelbrücken sind mindestens durch eine feuerbeständige Kabelschottung (F90) abgetrennt und unterteilt. In den genannten Gebäuden einschließlich dem Notspeisegebäude (außer Reaktorgebäude-Ringraum) ist die bauliche Trennung der Gebäude in einzelne Gebäudescheiben ent-	Die räumliche Trennung und Abschottung der Mess- und Leittechnik ist in GKN-2 nachgewiesen. GKN-1 verfügt über eine räumliche Trennung und Abschottung seiner Mess- und Leittechnik mit Ausnahme von Bereichen im Reaktorgebäude-Ringraum und im Schaltanlagegebäude. Es wurden Zusatzmaßnahmen zur

	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>des Armaturenbaus des Reaktor- gebäudes ist eine gegenseitige Beeinflussung der Einspeisestränge ausgeschlossen.</p> <p>Das Notspeisegebäude verfügt über die autarke Steuerung bzw. Leittechnik von Komponenten / Systemen, die unabhängig von Störfällen funktionsfähig sein müssen. Die autarke Steuerung bzw. Leittechnik wird als Teil der zugehörigen Komponente betrachtet und unabhängig von anderen Leittechniksystemen aufgebaut. Dadurch bleiben Einzelfehler auf eine Redundante beschränkt.</p> <p>Darüber hinaus ist die autarke Leittechnik so konzipiert, dass sie die Verfügbarkeit der zu versorgenden Komponenten / Systeme nicht bestimmt.</p>	<p>sprechend der maschinen-, e- und leittechnischen Redundanztrennung gewährleistet.</p> <p>Die Versorgungs- und Leittechnik- kabel von/zum Notstromdieselgebäude verlaufen über 4 räumlich getrennte Kabelkanäle, die auf - 6 m das Reaktor- gebäude und das Notspeisegebäude verbinden und von dort (ebenfalls getrennt) zum Notstromdieselgebäude führen.</p> <p>Aufgrund der in der Regel größeren räumlichen Abstände von redundanten Strängen sowie der beschriebenen zusätzlichen Maßnahmen im Ringraum sind Brände im Ringraum auszuschließen, die mehr als eine Redundante betreffen.</p> <p>Der Logikteil des Reaktorschutzsystems ist in der Redundanz 3 des Schaltanlagegebäudes räumlich konzentriert, siehe Bewertungsgegenstand 15</p>	<p>Vermeidung gegenseitiger Beeinflussungen z. B. durch Brand getroffen.</p> <p>Auf Basis der vorliegenden Unterlagen kann keine Bewertung vorgenommen werden.</p>
Bewertungsmerkmal 4: Zusätzliche zur Verfügung stehende Maßnahmen und Einrichtungen			
Zusätzliche Notspeisepumpen	2 x 50%- Notspeisepumpen	2 x 50%- Notspeisepumpen, davon 1 als Ersatznotspeisepumpe auf die anderen drei Notspeisestränge aufge-	Keine relevanter Unterschied

	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
		schaltet	
Zusätzliche Deionatvorräte	<p>2 x 360 m³ Notspeisebecken</p> <p>Zur Ergänzung der Deionatvorräte sind folgende Möglichkeiten vorhanden :</p> <ul style="list-style-type: none"> • manuell auslösbare Befüllung über die Deionatvorratsbehälter der Deionatversorgung. • Befüllung aus anderen Systemen (z. B. Nebenkühlwassersystem für gesicherte Anlagen oder Stationäres Brandschutzsystem) /8/ 	<p>2 x 205 m³ Notspeisebecken (entsprechend 316 m³)</p> <p>Zur Ergänzung der Deionatvorräte sind mehrere Möglichkeiten vorhanden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • manuell auslösbare Befüllung der Beckens über das Deionatsystem (nur kaltes Wasser verfügbar) • manuell auslösbare Befüllung des Beckens über das Kondensatrückspeisesystem mit heißem Wasser./4/ 	<p>GKN-2 verfügt über 13% größere zusätzliche Deionatvorräte als GKN-1 (bezogen auf die Leistung von GKN-2).</p> <p>Die Unterschiede im Inventar der Notspeisebecken stellen bei diesem Ereignis keinen relevanten Unterschied dar.</p>
Zusätzliche DE-Bespeisungsmöglichkeiten	Im schutzzielorientierten BHB sind weitere Möglichkeiten zur Dampferzeugerbespeisung beschrieben, z.B. über das DE-Abschlammssystem.	Im schutzzielorientierten BHB sind weitere Möglichkeiten zur Dampferzeugerbespeisung beschrieben, z.B. über das DE-Abschlammssystem.	kein relevanter Unterschied
Zusätzliche Aggregate zur Frischdampfumleitung	<p>1 Ventil der Drehstrom-FDU (automatisch)</p> <p>Ein Umleitventil der Drehstromturbine allein reicht jedoch nicht zum 50K/h - Abfahren aus.</p>	<p>Bahnstrom-FDU (manuell)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nachwärmeabfuhr 1 v 2 FDU-Station • 50 K/h-Abfahren mit 2 v 2 FDU Station bis < 8 bar /1/ <p>(Umschaltung von Hand, Abfuhr von 20% der Reaktorleistung). /3/ Kap.2.5.1.10)</p>	<p>Relevanter Unterschied</p> <p>GKN-2 besitzt ein Ventil der Drehstrom-FDU mehr als GKN-1.</p> <p>Zwei Bahnstrom-FDU-Ventile in GKN-1 können auf der Warte von Hand zugeschaltet werden. Mit beiden Ventilen der Bahnstromturbine ist ein Abfahren mit 50 K/h möglich.</p>

	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
Zusätzliche Aggregate zum Abfahren mit 100 K/h	<p>Zusätzlich zu o. g. 1 v 4 FD- Abblaseregelventil stehen mit gleicher Kapazität 3 FD- Abblaseregelventile zur Verfügung</p> <p>4 v 4 100%-Sicherheitsventilen (514 kg/s bei 88,3 bar_{abs}) im Druckbereich 88,3 bis 83 bar_{abs}, absperrbar, alle von Hand ansteuerbar und alle für das Abfahren geeignet. Der Vorgang ist im schutzzielorientierten BHB benannt.</p> <p>Zum Öffnen der Ventile sind Simulationen im Reaktorschutz notwendig.</p>	<p>Zusätzlich zu o. g. 1 v 3 FD- Abblaseregelventil stehen mit gleicher Kapazität 2 FD Abblaseregelventile zur Verfügung</p> <p>Falls nicht ausreichend FD-ARV Ventile zur Verfügung stehen muss das weitere Abfahren von Hand von der Warte aus eingeleitet werden. Es besteht die Möglichkeit, im Druckbereich <20 bar eines der drei 100% FD-Sicherheitsventile zur Unterstützung der Nachwärmeabfuhr von Hand zu öffnen. /4/.</p> <p>3 v 3 100% -Sicherheitsventile (538 kg/s bei 95 bar_{abs}) im Druckbereich von 95 bis 86 bar_{abs}, aber nicht absperrbar,</p> <p>von Hand mittels Freigabe über Schlüsselschalter oberhalb von 20 bar zu öffnen und unterhalb von 20 bar von Notsteuerstelle einzeln bedienbar.</p>	<p>Relevanter Unterschied:</p> <p>In GKN-2 stehen zum Abfahren der Anlage mehr Ventile sowohl bei den Abblaseregelventilen als auch bei den manuell zu öffnenden Sicherheitsventilen zur Verfügung. Die Ansteuerung der Sicherheitsventile in GKN-2 ist aufwendiger, da hierfür Simulationen im Reaktorschutz notwendig werden.</p>
Zusätzliche Maßnahmen zur Druckbegrenzung	3 x 100 % FD-Sicherheitsventile im Druckbereich 88,3 bis 83 bar _{abs}	<p>2 x 8 % FD-Sicherheitsventilen im Druckbereich 86 bar_{abs} bis 77 bar_{abs}</p> <p>3 x 100% FD-Sicherheitsventilen im Druckbereich 95 bis 86 bar_{abs} ausreichend zur Nachwärmeabfuhr, aber nicht absperrbar.</p>	<p>In der Summe verfügt GKN-1 über 5 zusätzliche Sicherheitsventile zur Druckbegrenzung, GKN-2 über 3.</p> <p>Die 100%-Sicherheitsventile in GKN-1 gelangen erst im Druckbereich oberhalb von 95 bar_{abs} zusätzlich zu den 3 x 8 % Sicherheitsventilen zum Einsatz.</p>

	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
		<p>Die PSÜ ergab, dass auch bei Ausfall von zwei Abblaseregelventilen und aller kleinen Sicherheitsventile der Sekundärdruck unterhalb des Ansprechdrucks der großen Sekundärsicherheitsventile bleibt. Die 8 %- Sicherheitsventile wurden aufgrund von Störungen in den ersten Betriebsjahren (Offenbleiben eines 100 % FD- Sicherheitsventils nach Ansprechen) zusätzlich zu den ursprünglich vorhandenen 100%-Sicherheitsventilen als weitere Druckbegrenzungseinrichtung nachgerüstet. Durch dieses absperrbare 1. FD- SiV wird ein Ansprechen der zweiten (großen), nicht absperrbaren SiV bei allen zu betrachtenden Störfällen - außer bei ATWS- Störfällen - vermieden/2/</p>	<p>Da sie nicht absperrbar sind und zu Beginn ihres Betriebs Störanfälligkeit zeigten, wurden sie auf einen hohen Ansprechdruck eingestellt, damit ihre Funktion bei dem betrachteten Ereignis nicht benötigt wird.</p>

5 Darstellung und Bewertung relevanter Unterschiede

5.1 Darstellung relevanter Unterschiede

Bewertungsmerkmal 1: Zur Ereignisbeherrschung erforderliche Maßnahmen und Einrichtungen der Sicherheitsebene 3

1 a) ohne Überlagerung des Notstromfalls

Notspeisepumpen

GKN-1 verfügt über vier baugleiche Notspeisepumpen, die in drei DE-Einspeisestränge einspeisen, GKN-2 über vier baugleiche Notspeisepumpen, die in vier DE-Einspeisestränge einspeisen.

In GKN-1 sind alle Notspeisepumpen mit je einem Elektromotor (4 Antriebe) ausgestattet. In GKN-2 besitzen alle vier Notspeisepumpen je zwei diversitäre Antriebe (8 Antriebe). Bei Ausfällen aufgrund gemeinsamer Ursache aller gleichartigen Antriebe stehen in GKN-1 damit sämtliche Notspeisepumpen nicht mehr zur Verfügung und Maßnahmen aus dem Notfallhandbuch werden erforderlich. In GKN-2 können bei Ausfällen aufgrund gemeinsamer Ursachen zunächst alle vier Notspeisepumpen ausfallen. Es ist jedoch die manuelle Umkupplung aller vier Notspeisepumpen auf den elektrischen Antrieb möglich, falls die Eigenbedarfsversorgung vorhanden ist.

Notspeisestränge

Bei Ausfall einer Notspeisepumpe kann in GKN-1 nur die 4. Notspeisepumpe ersatzweise alle DE mit eigenem Deionat bespeisen.

In GKN-2 können alle Notspeisepumpen ebenso wie die Deionatbecken ersatzweise alle anderen DE mit bespeisen.

Notspeisearmaturen

GKN-1 verfügt gegenüber GKN-2 über einen Noteinspeisestrang weniger und besitzt damit bei Berücksichtigung von Ausfällen im Bereich der Einspeiseleitungen und zu betätigenden Notspeisearmaturen eine Redundanz weniger zur Sicherstellung der Dampferzeugerbespeisung.

Dampferzeugerüberspeisungsschutz

Der Überspeisungsschutz ist in GKN-2 einzelfehlerfest aufgebaut. Zudem können die Frischdampfarmaturen bei Sättigungsbedingungen Wasser „abblasen“, weshalb eine sekundärseitige Wärmeabfuhr über den betroffenen Dampferzeuger auch bei Überspeisung gewährleistet ist. GKN-1 verfügt nach den Ergebnissen der PSÜ nicht über solche Einrichtungen zum Überspeisungsschutz. Daher wird in GKN-1 in der Sicherheitsstatusanalyse eine Überspeisung aufgrund des Ausfalls der Füllstandsregelung unterstellt.

Bewertungsmerkmal 3: Auslegung des Notspeisesystems gegen EVI und EVA

Die fehlende verfahrenstechnische Trennung zwischen dem Ersatznotspeisestrang und den drei anderen Notspeisesträngen verhindert in GKN-1 auch die räumliche Trennung und Abschottung des vierten Strangs ab der Einspeisestelle im Notspeisegebäude. In GKN-2 sind die vier Notspeisestränge räumlich getrennt.

Bewertungsmerkmal 4: Zusätzliche Maßnahmen und Einrichtungen, die noch zur Verfügung stehen, aber zur Ereignisbeherrschung nicht benötigt werdenFrischdampfumleitung

GKN-2 besitzt ein Ventil mehr bei der Drehstrom-FDU als GKN-1. GKN-1 kann bei Störungen der Drehstrom-FDU manuell zwei Bahnstrom-FDU-Ventile auf der Warte zuschalten. Mit beiden Ventilen der Bahnstromturbine ist ein Abfahren mit 50 K/h möglich.

100 K/h Abfahren ohne FDU

In GKN-1 stehen zum 100 K/h-Abfahren zusätzlich 2 FD Abblaseregelventile zur Verfügung. Weiterhin können im Druckbereich > 95 bar 3 v 3 nicht absperrbare 100% -

Sicherheitsventile (538 kg/s bei 95 bar_{abs}) eingesetzt werden. Die Sicherheitsventile sind von Hand mittels Freigabe über Schlüsselschalter oberhalb von 20 bar zu öffnen und unterhalb von 20 bar von der Notsteuerstelle einzeln bedienbar.

GKN-2 verfügt zum 100 K/h-Abfahren zusätzlich über 3 FD-Abblaseregelventile. Des Weiteren können 4 v 4 absperrbare 100 %-Sicherheitsventilen für das Abfahren angesteuert werden, die Maßnahme erfordert Simulationen im Reaktorschutz.

Zusätzliche Druckbegrenzung

In der Summe verfügt GKN-1 über 5 zusätzliche Sicherheitsventile zur Druckbegrenzung, GKN-2 über 3.

Die nicht absperrbaren 100%-Sicherheitsventile in GKN-1 gelangen erst im Druckbereich oberhalb von 95 bar_{abs} zusätzlich nach dem Versagen der 3 x 8 % Sicherheitsventile und der Abblaseregelventile zum Einsatz.

5.2 Bewertung der relevanten Unterschiede

Bewertungsmerkmal 1: Zur Ereignisbeherrschung vorgesehene Maßnahmen und Einrichtungen (Notspeisewassersystem)

a) ohne Überlagerung des Notstromfalls

Notspeisepumpen

Die Antriebe der jeweils Notspeisepumpen sind bei verfügbarer Eigenbedarfsversorgung in GKN-2 diversitär ausgeführt. Hieraus ergibt sich ein Vorteil für GKN-2.

Notspeisestränge

Die Möglichkeit der Zuschaltung einzelner Notspeisesysteme auf alle Dampferzeuger ist in GKN-2 flexibler als in GKN-1, da alle Pumpen und Deionat-Becken beliebig durch Handmaßnahmen jedem Dampferzeuger zugänglich gemacht werden können. In GKN-1 ersetzt der 4. Notspeisestrang aufgrund der hydraulischen Verhältnisse einen der drei anderen Notspeisestränge bei deren Ausfall. Bei Ausfall des 4. Notspeisestrangs in GKN-1 sind keine Verknüpfungen zwischen den Notspeisesystemen und den

Dampferzeugern möglich. Der hydraulisch bedingte unterbrechungsfreie Einsatz des 4. Notspeisestrangs in GKN-1 stellt gegenüber der manuellen Umschaltung in GKN-2 einen Vorteil dar. Aufgrund der vorhandenen Viersträngigkeit und der flexibleren Umschaltmöglichkeiten ergibt sich insgesamt ein Vorteil für GKN-2.

Notspeisearmaturen

Aufgrund der viersträngigen Ausführung des Notspeisesystems in GKN-2 bestehen Vorteile gegenüber der dreisträngigen Auslegung in GKN-1 bei Ausfällen im Bereich der Einspeiseleitungen oder der zu betätigenden Notspeisearmaturen.

Dampferzeugerüberspeisungsschutz

Der Ausfall eines Dampferzeugers infolge Überspeisung wird in GKN-2 durch die vorhandenen Einrichtungen zuverlässiger vermieden. Auch bei Überspeisung ist in GKN-2 eine Wärmeabfuhr über den betroffenen Dampferzeuger möglich. Dies ist als Vorteil für GKN-2 zu beurteilen.

Bewertungsmerkmal 3: Auslegung des Notspeisesystems gegen EVI und EVA

Unter dem Aspekt der Auslegung gegen EVI und EVA ist die vorhandene räumliche und verfahrenstechnische Trennung der Notspeisesysteme in GKN-2 von Vorteil.

Bewertungsmerkmal 4: Zusätzliche zur Verfügung stehende Maßnahmen und Einrichtungen

Frischdampfumleitungen

In GKN-2 ist bei der Drehstrom-FDU ein Ventil mehr vorhanden als in GKN-1. Ein Abfahren mit einem Ventil der Drehstrom FDU ist nicht möglich. Die manuelle Umschaltung auf die Umleitventile der Bahnstromturbine in GKN-1 sind zum Abfahren mit 100K/h nicht vorgesehen, jedoch zum Abfahren mit 50 K/h. Hieraus lässt sich für das Abfahren über die Frischdampfumleitungen ein Vorteil für GKN-1 ableiten.

100 K/h Abfahren ohne FDU

In GKN-2 stehen zum Abfahren der Anlage sowohl bei den Abblaseregelventilen als auch bei den manuell zu öffnenden 100%-Sicherheitsventilen jeweils eine Redundanz mehr zur Verfügung als in GKN-1.

Die Simulationen im Reaktorschutz bei GKN-2 zur Sicherstellung des Abfahrens mit den 100 %-Sicherheitsventilen sind gegenüber dem manuellen Öffnen der Sicherheitsventile in GKN-1 von der Warte aus als Nachteil zu bewerten. Insgesamt ergibt sich aber ein Vorteil für GKN-2.

Druckbegrenzung

GKN-1 verfügt zusätzlich zu dem zur Druckbegrenzung erforderlichen 8 %-Sicherheitsventil über zwei weitere 8 % Sicherheitsventile sowie drei 100 % Sicherheitsventile und hat dadurch eine diversitäre Möglichkeit zur Druckbegrenzung. GKN-2 verfügt zusätzlich zu dem zur Druckbegrenzung erforderlichen 100 %-Sicherheitsventil über drei weitere gleichartige 100 % Sicherheitsventile. Die diversitäre Möglichkeit zur Druckbegrenzung über die 8 % Sicherheitsventile ist ein Vorteil für GKN-1.

5.3 Fazit

Die Vorteile von GKN-2 liegen in den größeren sicherheitstechnischen Reserven bei der Beherrschbarkeit des Ausfalls der betrieblichen Speisewasserversorgung (diversitäre Antriebe der Notspeisepumpen bei Eigenbedarfsversorgung, Viersträngigkeit bei den Notspeisearmaturen und flexiblere Umschaltungsmöglichkeiten der Notspeisekomponenten auf andere Dampferzeuger, besserer Dampferzeugerüberspeisungsschutz, bessere räumliche und verfahrenstechnische Trennung im Hinblick auf EVI und EVA, mehr Redundanzen bei den Abblaseregelventilen und den 100%-Sicherheitsventilen). Diese überwiegen die Vorteile von GKN-1 (einfachere Initiierung des Abfahrens mit den 100%-Sicherheitsventilen, mehr Redundanz zum Abfahren bei der Frischdampfumleitung, mehr Redundanzen bei den Sicherheitsventilen zur Druckbegrenzung).

6 Literatur

- /BMU 01/ Grundsätze der Tätigkeit von Sachverständigen im Auftrag der Bundesaufsicht über die Ausführung des Atomgesetzes im Hinblick auf Atomkraftwerke, Forschungsreaktoren und sonstige Reaktoren (Sachverständigen-Grundsätze der Bundesaufsicht über Atomkraftwerke), Stand: Juli 2001
- /BMU 06/ SR 2569 „Sicherheitstechnische Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung“, 05.12.2006



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische
Überprüfung von Anla-
gen zu ausgewählten
Anforderungen und
Ereignissen im Rahmen
von Anträgen zur Rest-
strommengenübertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 9:

„Leck/Bruch im Frischdampf-/
Speisewassersystem oder
in der Dampferzeugerab-
schlammung innerhalb des
Ringraums“

SR 2569



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 9:
„Leck/Bruch im Frischdampf-/
Speisewassersystem oder in der
Dampferzeugerabschlammung
innerhalb des Ringraums“

Februar 2008

Auftrags-Nr.: 820410

Anmerkung:

Dieser Bericht ist im Auftrag des BMU im Rahmen des Vorhabens SR 2569 erstellt worden. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt werden bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers und der Unterauftragnehmer wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers übereinstimmen.

Vorwort

Im Atomgesetz wurden mit der Änderung vom 26.04.2002 die Reststrommengen für die in Betrieb befindlichen Kernkraftwerksblöcke in Deutschland festgelegt. Über die Zustimmung zur Übertragung von Elektrizitätsmengen entscheidet das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) im Einvernehmen mit dem Bundeskanzleramt und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Im Rahmen der Entscheidungsfindung des BMU über die Anträge auf Übertragung von Elektrizitätsmengen hat das BMU auch eine vergleichende Sicherheitsüberprüfung zwischen einer Anlage, die Strommengen abgibt und derjenigen, welche die Strommengen bekommen soll, vorgesehen. Da in der zur Verfügung stehenden Zeit keine in Prüfungsumfang und -tiefe mit der Durchführung und der sachverständigen Prüfung von Sicherheitsüberprüfungen nach § 19a AtG vergleichbare, umfassende Ermittlung und sicherheitstechnische Bewertung beider Anlagen möglich ist, beauftragte das BMU die GRS, zusammen mit benannten Unterauftragnehmern mit der „Sicherheitstechnischen Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung“ /BMU 06/. Auftragsgegenstand sind punktuelle Untersuchungen einzelner Bewertungsgegenstände, die gemeinsam von BMU, GRS und den Unterauftragnehmern festgelegt wurden. Um dem BMU eine vergleichende Bewertung zu ermöglichen, ob sichergestellt ist, dass die beantragte Übertragung von einer neueren auf eine ältere Anlage nicht zu Lasten der Sicherheit geht, wurden sicherheitstechnisch relevante Bewertungsgegenstände für jede beantragte Übertragung insbesondere unter Beachtung folgender Kriterien ausgewählt:

- die anlagentechnischen Gegebenheiten der antragsgemäß betroffenen abgebenden und empfangenden Anlage beinhalten wesentliche Unterschiede und / oder
- die Bewertungsgegenstände berühren Entwicklungen seit Genehmigungserteilung bezüglich des Standes von Wissenschaft und Technik und
- die Untersuchungen sind in der zur Verfügung stehenden Zeit voraussichtlich durchführbar.

Dabei wird die sicherheitstechnische Fragestellung weitgehend auf die Beherrschbarkeit von zu erwartenden oder im Rahmen der Nachweisführung postulierten Ereignismöglichkeiten bezogen.

Die Durchführung eines nur punktuellen, aber die genannten Auswahlkriterien beachtenden Prüfprogramms ist aus Sicht des Auftraggebers gerechtfertigt, da der Gesetzgeber die Festlegung der konkreten Maßstäbe für die Prüfung, ob die beabsichtigte Übertragung zu Lasten der Sicherheit ginge und deren willkürfreie Anwendung in § 7 Abs. 1b Satz 2 AtG der Exekutive überlassen hat; Art und Umfang der Ermittlung der für seine Sicherheitsbewertung entscheidungserheblichen Tatsachen sind vom BMU im Rahmen seines Verfahrensermessens zu bestimmen.

Das Überprüfungskonzept basiert auf einer Auswertung und Bewertung von Unterlagen, die der Betreiber für die einzelnen Bewertungsgegenstände dem BMU vorlegen soll. Für den Fall, dass keine spezifischen Unterlagen vorgelegt werden, ist auftragsgemäß vorgesehen, alle Dokumente und Informationen, die in den beteiligten Sachverständigenorganisationen für die hier anstehenden Aufgaben zur Verfügung stehen, für diese Überprüfung zu nutzen. Da diese Dokumente und Informationen hinsichtlich ihrer Aktualität und Belastbarkeit sehr unterschiedlich sein können, wird zu jedem Bewertungsgegenstand ein einheitlich klassifizierter Unterlagen- und Quellennachweis vorgelegt. Dabei wird zwischen den folgenden Kategorien unterschieden:

- Kategorie 1: im atomrechtlichen Verfahren geprüfte / begutachtete bzw. vom BMU freigegebene Unterlagen,
- Kategorie 2: Stellungnahmen der RSK bzw. der SSK und
- Kategorie 3: nicht im Sinne von Kategorie 1 geprüfte Unterlagen, die jedoch nach Auffassung der Auftragnehmer Informationen zum Sachverhalt enthalten.

Die vergleichenden Darstellungen zu den einzelnen Bewertungsgegenständen basieren jeweils auf diesen Unterlagen und spiegeln den darin wiedergegebenen Anlagenzustand wieder. Abweichungen zum derzeitigen Anlagenzustand aufgrund zwischenzeitlich durchgeführter Änderungen sind nicht auszuschließen.

Bewertungsmaßstab ist der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik. Dabei sind neben dem Erfüllungsgrad von regulatorischen Sicherheitsanforderungen bezüglich der Beherrschbarkeit von Ereignissen insbesondere auch die anlagenspezifischen Reserven in die Bewertung einzubeziehen. Aufgrund der Begrenzungen in der Bearbei-

tungszeit und im Umfang und Detaillierungsgrad der Unterlagen erfolgt aber keine vollständige Überprüfung sondern eine Fokussierung auf wesentliche grundlegende Sicherheitsanforderungen. Die für die jeweiligen Bewertungsgegenstände spezifischen Bewertungsmerkmale werden in den einzelnen Berichten ausgewiesen. Die Bewertungsmerkmale beziehen sich grundsätzlich entweder unmittelbar auf grundlegende Sicherheitsanforderungen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik oder mittelbar auf anlagentechnisch vergleichbare Sicherheitsfunktionen mit Anforderungen entsprechend des gestaffelten Sicherheitskonzepts. Die Bewertung der Sicherheitsfunktionen erfolgt im Wesentlichen im Hinblick auf deren Wirksamkeit und Qualität.

Auftragsgemäß sollen die Überprüfungen anhand deterministischer Bewertungsweisen erfolgen. Dieser methodische Ansatz kann in einigen Fällen dazu führen, dass bei der vergleichenden Bewertung von komplexen Systemkonstellationen bezüglich der Beherrschbarkeit eines Ereignisses keine eindeutige, abschließende Bewertung möglich ist. Im Rahmen der hier vorgesehenen Bewertungen wären weiterführende probabilistische Bewertungen auch aufgrund fehlender spezifischer Unterlagen in der vorgesehenen Bearbeitungszeit nicht durchführbar und sind daher auftragsgemäß nicht vorgesehen.

Es besteht daher Einvernehmen mit dem BMU darin, dass aufgrund der Begrenzung der Überprüfungsdauer und der Unterlagensituation wesentliche Anforderungen der "Sachverständigengrundsätze für die Bundesaufsicht" /BMU 01/ nicht eingehalten werden können. Die Abweichungen beziehen sich insbesondere auf die Vollständigkeit, Aktualität und Belastbarkeit von Unterlagen bei der Sachverhaltsermittlung sowie die Bewertungsmethoden, die im vorliegenden Fall weitgehend auf ingenieurmäßige Betrachtungsweisen eingeschränkt sind.

Die durchgeführten Sicherheitsvergleiche beinhalten keine aufsichtliche Überprüfung der betroffenen Anlagen. Auftragsgemäß wird zu jedem Bewertungsgegenstand ein separater Ergebnisbericht erstellt. Eine Gesamtbewertung ist nicht beauftragt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale	2
2.1	Beschreibung des Ereignisablaufes	2
2.2	Bewertungsmerkmale	3
3	Verwendete Unterlagen	4
4	Anlagenvergleich	6
5	Bewertung	9
5.1	Relevante Unterschiede	9
5.2	Bewertung der relevanten Unterschiede	9
5.3	Fazit	9
6	Literatur und Quellen	10

1 Einleitung

Im vorliegenden Bericht geht es um sicherheitstechnische Vergleiche im Zusammenhang mit dem Antrag der EnBW Kernkraft GmbH vom 21.12.2006 an das BMU auf Übertragung von Elektrizitätsmengen vom Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 2 (GKN-2) auf das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 1 (GKN-1). Dazu wurden von den Auftragnehmern in Abstimmung mit dem BMU 23 Bewertungsgegenstände definiert. Auftragsgemäß erfolgt für jeden Bewertungsgegenstand (BG) eine separate Auswertung.

Nachfolgend wird der Bewertungsgegenstand 9 „Leck / Bruch im Frischdampf- / Speisewassersystem oder in der Dampferzeugerabschlammung innerhalb des Ringraums“ (Ringraumleck) behandelt.

2 Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale

2.1 Beschreibung des Ereignisablaufes

Lecks oder Brüche innerhalb des Ringraumes an heißgehenden Systemen wie Frischdampf-, Speisewassersystem oder Dampferzeugerabschlämmung haben einen Druck- und Temperaturanstieg sowie Feuchteanfall und Strahlkräfte innerhalb des Ringraumes zur Folge. Dort angeordnete, sicherheitstechnisch wichtige Komponenten wie Messumformer, Impulsleitungen oder Armaturen können aufgrund dieser Einwirkungen versagen und stünden dann zur Störfallbeherrschung nicht mehr zur Verfügung. Darüber hinaus kann es zur Überflutung des Ringraumes kommen.

Nach den Störfall-Leitlinien werden Lecks an den angesprochenen Rohrleitungen dadurch beherrscht, dass die Rohrleitungen mit einem weiteren Rohr (Doppelrohr) zwischen Sicherheitsbehälter und Reaktorgebäude umgeben sind /BMI 83/. Das Doppelrohr für die Frischdampf- und Speisewasserleitungen ist an der Durchführung des Reaktorgebäudes geschlossen und zum Sicherheitsbehälter (SHB) hin offen ausgeführt. Das Doppelrohr für die Dampferzeugerabschlämmung ist üblicherweise zum Hilfsanlagengebäude hin offen. Im Falle des Versagens einer Frischdampf-, Speisewasser- oder Dampferzeugerabschlämmleitung wird das austretende Medium damit in den Sicherheitsbehälter bzw. ins Hilfsanlagengebäude gelenkt. Dort wird das Leck zunächst mittels der Leckerkennungseinrichtungen (z. B. Druckvergleich zwischen den Dampferzeugern, Druck im SHB, Feuchte, Temperatur, Sumpffüllstände) detektiert. Gemäß Betriebshandbuch (BHB) sind bei kleineren Leckagen Handmaßnahmen zu ergreifen. Lecks führen zur Auslösung von Reaktorschutzaktionen. Durch die Auslösung des Sekundärkreisabschlusses wird u. a. die Speisewasserzufuhr unterbrochen, die Frischdampfleitungen werden isoliert und die Dampferzeugerabschlämmleitungen werden abgesperrt. Der betroffene Dampferzeuger dampft im Falle eines größeren Frischdampfleckes ins Innere des Sicherheitsbehälters aus. Im Falle eines Speisewasserlecks wird das Entleeren des Dampferzeugerinventars durch eine Rückschlagarmatur im Inneren des Sicherheitsbehälters verhindert. Die Maßnahmen und Einrichtungen zur Störfallbeherrschung sind in den Betriebshandbüchern detailliert beschrieben. Die Ereignisabläufe sind durch Kühlmittelverluststörfälle bzw. Lecks im Hilfsanlagengebäude abgedeckt. Der Sicherheitsbehälter ist sowohl in GKN-1 als auch in GKN-2 für einen Kühlmittelverluststörfall und das gleichzeitige Ausdampfen/Auslaufen eines Dampferzeugers ausgelegt /2/, /12/.

2.2 Bewertungsmerkmale

Lecks bzw. Leckagen im Ringraum mit unzulässigen Folgen für die dort untergebrachten sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen müssen so zuverlässig verhindert werden, dass ein Eintreten eines solchen Ereignisablaufs nicht mehr unterstellt zu werden braucht. Gemäß den Störfall-Leitlinien ist dazu für die Frischdampf-, Speisewasser und Dampferzeugerabschlämmleitungen ein Doppelrohr vorzusehen.

Für die folgende vergleichende Bewertung zwischen GKN-2 und GKN-1 werden folgende Merkmale herangezogen:

- Merkmal 1: Auslegung der Frischdampf-, Speisewasser- und Dampferzeugerabschlämmleitungen im hier betrachteten Bereich
- Merkmal 2: Leckdetektion
- Merkmal 3: Schutz vor redundanzübergreifenden Auswirkungen innerhalb des Ringraumes
- Merkmal 4: Gefertigte Qualität der Doppelrohre und deren Absicherung im Betrieb
- Merkmal 5: Betriebsvorschriften zur Erkennung und Beherrschung des Ereignisses

3 Verwendete Unterlagen

Die folgenden Unterlagen wurden für den Anlagenvergleich verwendet:

- Kategorie 1

- /1/ TÜV Arbeitsgemeinschaft Konvoi; Gutachten zur Sicherheitsstatusanalyse.
September 2001
- /2/ KWU: Sicherheitsstatusanalyse Konvoi, 1998.
- /3/ SIEMENS
Sicherheitsstatusanalyse für das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar
Block I, August 1996
- /4/ TÜV ENERGIE UND SYSTEME
Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block I
Gutachtliche Stellungnahme zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung
(PSÜ), September 1997
- /5/ GKN-1, Dampferzeugerabschlämmung
Schaltplan, Stand 2004
- /7/ GKN-1, Betriebshandbuch, Stand 26.03.2007
- /6/ Kernkraftwerk GKN-2, Betriebshandbuch, Stand 26.03.2007
- /7/ Kernkraftwerk GKN-1, Rohrleitungsschaltplan Frischdampfsystem
501000-V422F-1V-0300, Stand 2002
- /8/ Systembeschreibung Frischdampfsystem GKN-1, Index d, Stand 2002
- /9/ Systemschaltplan Speisewasser GKN-1, Stand 2004
- /10/ Systemschaltplan Dampferzeuger-Abschlämmsystem GKN-2, Stand März
2007

- /11/ TÜV ENERGIE UND SYSTEME
Änderungsanzeige 253/95 (Kategorie B)
Neutrassierung der RZ-Leitung von den Dampferzeugern bis ins Reaktor-
hilfsanlagegebäude
Stellungnahme nach Durchführung der Änderung
Filderstadt, 2003-09-25, FIL-ETB1-03-0109
- /12/ Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar GmbH
GKN I – Änderungsanzeige 253/95 – Fertigmeldung
RZ-Neutrassierung der RZ-Leitung von DE bis RHG“
02.12.2002

4 Anlagenvergleich

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Ergebnis
Merkmal 1: Auslegung der Frischdampf- und Speisewasser- und Dampferzeugerabschlammleitung im hier betrachteten Bereich	<p>Werkstoffe und Qualität Frischdampfleitung /1/: 20MnMoNi 5 5</p> <p>Werkstoffe und Qualität Speisewasserleitungen /1/: 20 MnMoNi 5 5</p> <p>Bruchausschluss für Frischdampfleitungen. Postulierte maximale Leckgröße 0,1 F /2/</p> <p>Bruchausschluss für Speisewasserleitungen. Postulierte maximale Leckgröße 0,1 F /2/</p>	<p>Werkstoffe und Qualität Frischdampfleitung /7/ /8/: 17 MnMoV 6 4 (WB 35),</p> <p>Werkstoffe und Qualität Speisewasserleitungen /9/: 17 MnMoV 6 4 (WB 35)</p> <p>Formal kein Bruchausschlussverfahren für Frischdampfleitung, aber aufgrund einer Integritätsanalyse des Gutachters Annahme einer Leckgröße von 0,1 F innerhalb des Sicherheitsbehälters /3/ /4/</p> <p>Formal kein Bruchausschlussverfahren /4/, aber aufgrund einer Integritätsanalyse des Gutachters Annahme einer Leckgröße von 0,1 F innerhalb des Sicherheits-</p>	<p>In GKN-1 wurden andere Werkstoffe unterschiedlicher Qualität für Frischdampf- und Speisewasserleitungen eingesetzt. 17 MnMoV 6 4 hat ein ungünstigeres Verhältnis von Zähigkeit zu Festigkeit.</p> <p>Für GKN-1 wurde kein Bruchausschlussverfahren für Frischdampf- und Speisewasserleitungen durchgeführt.</p>

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Ergebnis
	<p>Werkstoff und Qualität Abschlämmeleitung /10/: 15 MnNi 6 3 / RSt 35.8 III</p> <p>Für Dampferzeugerabschlamm-system sind aufgrund der entsprechenden Qualitätsvorsorge maximal unterkritische Lecks zu unterstellen; abdeckend wird ein 0,1 F-Leck angesetzt /1/</p>	<p>behälters zulässig.</p> <p>Werkstoff und Qualität Abschlämmeleitung /5/: St 35.8 III</p> <p>Aussagen zu der Leckannahme nach der vollständigen Verlegung innerhalb eines Doppelrohres /11/, /12/ liegen uns nicht vor.</p>	<p>Die für die Abschlämmeleitungen in beiden Anlagen eingesetzten Werkstoffe sind für den hier relevanten Verwendungszweck qualitativ gleichwertig und nach KTA 3211.1 zugelassen. Es bestehen daher keine relevanten Unterschiede.</p> <p>An Hand der vorliegenden Unterlagen ist kein Vergleich möglich.</p>
<p>Merkmal 2: Leckdetektion</p>	<p>Leckageüberwachung innerhalb des Sicherheitsbehälters und im Hilfsanlagegebäude /6/:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Lecküberwachungssystem (LÜS) – Systemparameter – Aktivitätsüberwachung – Brandmeldeeinrichtungen 	<p>Leckageüberwachung innerhalb des Sicherheitsbehälters /4/ /7/:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Lecküberwachungssystem (LÜS) – Systemparameter – Aktivitätsüberwachung – Brandmeldeeinrichtungen 	<p>Kein relevanter Unterschied für Leckagen innerhalb des Sicherheitsbehälters erkennbar.</p> <p>Zu GKN-1 liegen uns keine Aussagen zur Lecküberwachung im Hilfsanlagegebäude vor.</p>

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Ergebnis
	Erkennung von kleinen Leckagen, bevor Reaktorschutzaktionen ausgelöst werden /6/		
Merkmal 3: Schutz vor redundanzübergreifenden Auswirkungen innerhalb des Ringraumes	Doppelrohre als Vorsorgemaßnahme gemäß Störfall-Leitlinie.	Doppelrohre als Vorsorgemaßnahme gemäß Störfall-Leitlinie.	Kein relevanter Unterschied erkennbar.
Merkmal 4: Gefertigte Qualität der Doppelrohre und deren Absicherung	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Auf Grundlage der verfügbaren Unterlagen kein Vergleich möglich.
Merkmal 5: Betriebsvorschriften zur Erkennung und Beherrschung des Ereignisses	Betriebshandbuch Teil 3, Kapitel 3.2 (Titel: Sekundärseitiges kleines Leck innerhalb Sicherheitsbehälter) Automatische und Handmaßnahmen sind im Detail beschrieben.	Betriebshandbuch Teil 2, Kapitel 2.4.4-2 (Titel: Frischdampf- oder Speisewasserleck innerhalb Sicherheitsbehälter) Automatische und Handmaßnahmen sind im Detail beschrieben.	Kein relevanter Unterschied erkennbar

5 Bewertung

5.1 Relevante Unterschiede

Merkmal 1: Auslegung der Frischdampf-, Speisewasser- und Dampferzeugerabschlammleitungen im hier betrachteten Bereich

Die Frischdampf- und Speisewasserleitungen in GKN-1 sind gegenüber denjenigen in GKN-2 aus einem Werkstoff mit geringerer Zähigkeit bei etwa gleicher Festigkeit gefertigt.

In GKN-1 wurde für die Frischdampf- und Speisewasserleitungen kein Bruchabschlussverfahren durchgeführt.

5.2 Bewertung der relevanten Unterschiede

Durch die geringere Zähigkeit des Werkstoffs der Frischdampf- und Speisewasserleitungen in GKN-1 sind die Sicherheitsmargen gegenüber unzulässigen Fehlern bei erhöhten Belastungen kleiner.

Inwieweit sich aus dem für GKN-1 nicht geführten Bruchabschlussverfahren sicherheitsrelevante Unterschiede zu GKN-2 ergeben, kann im Rahmen dieser Untersuchungen nicht bewertet werden.

5.3 Fazit

Beide Anlagen sind hinsichtlich der Vorsorgemaßnahmen (Doppelrohr) gleichwertig, GKN-2 besitzt jedoch aufgrund der günstigeren Werkstoffqualität der Frischdampf- und Speisewasserleitungen höhere Sicherheitsmargen als GKN-1.

6 Literatur und Quellen

- /BMU 01/ Grundsätze der Tätigkeit von Sachverständigen im Auftrag der Bundesaufsicht über die Ausführung des Atomgesetzes im Hinblick auf Atomkraftwerke, Forschungsreaktoren und sonstige Reaktoren (Sachverständigen-Grundsätze der Bundesaufsicht über Atomkraftwerke), Stand: Juli 2001
- /BMU 06/ SR 2569 „Sicherheitstechnische Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung“, 05.12.2006
- /MEE 06/ Meldepflichtige Ereignisse aus den Kernkraftwerken der Bundesrepublik Deutschland
- /BMI 83/ Bekanntmachung der Leitlinien zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktoren gegen Störfälle im Sinne des § 28 Abs. 3 der Strahlenschutzverordnung - Störfall-Leitlinien -, Oktober 1983



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische
Überprüfung von Anla-
gen zu ausgewählten
Anforderungen und
Ereignissen im Rahmen
von Anträgen zur Rest-
strommengenübertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 10:

„Leck / Bruch im Frischdampf-
oder Speisewassersystem
zwischen Ringraum und
erster Absperrarmatur“

SR 2569



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 10:
„Leck / Bruch im Frischdampf-
oder Speisewassersystem
zwischen Ringraum und erster
Absperrarmatur“

Februar 2008

Auftrags-Nr.: 820410

Anmerkung:

Dieser Bericht ist im Auftrag des BMU im Rahmen des Vorhabens SR 2569 erstellt worden. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt werden bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers und der Unterauftragnehmer wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers übereinstimmen.

Vorwort

Im Atomgesetz wurden mit der Änderung vom 26.04.2002 die Reststrommengen für die in Betrieb befindlichen Kernkraftwerksblöcke in Deutschland festgelegt. Über die Zustimmung zur Übertragung von Elektrizitätsmengen entscheidet das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) im Einvernehmen mit dem Bundeskanzleramt und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Im Rahmen der Entscheidungsfindung des BMU über die Anträge auf Übertragung von Elektrizitätsmengen hat das BMU auch eine vergleichende Sicherheitsüberprüfung zwischen einer Anlage, die Strommengen abgibt und derjenigen, welche die Strommengen bekommen soll, vorgesehen. Da in der zur Verfügung stehenden Zeit keine in Prüfungsumfang und -tiefe mit der Durchführung und der sachverständigen Prüfung von Sicherheitsüberprüfungen nach § 19a AtG vergleichbare, umfassende Ermittlung und sicherheitstechnische Bewertung beider Anlagen möglich ist, beauftragte das BMU die GRS, zusammen mit benannten Unterauftragnehmern mit der „Sicherheitstechnischen Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung“ /BMU 06/. Auftragsgegenstand sind punktuelle Untersuchungen einzelner Bewertungsgegenstände, die gemeinsam von BMU, GRS und den Unterauftragnehmern festgelegt wurden. Um dem BMU eine vergleichende Bewertung zu ermöglichen, ob sichergestellt ist, dass die beantragte Übertragung von einer neueren auf eine ältere Anlage nicht zu Lasten der Sicherheit geht, wurden sicherheitstechnisch relevante Bewertungsgegenstände für jede beantragte Übertragung insbesondere unter Beachtung folgender Kriterien ausgewählt:

- die anlagentechnischen Gegebenheiten der antragsgemäß betroffenen abgebenden und empfangenden Anlage beinhalten wesentliche Unterschiede und / oder
- die Bewertungsgegenstände berühren Entwicklungen seit Genehmigungserteilung bezüglich des Standes von Wissenschaft und Technik und
- die Untersuchungen sind in der zur Verfügung stehenden Zeit voraussichtlich durchführbar.

Dabei wird die sicherheitstechnische Fragestellung weitgehend auf die Beherrschbarkeit von zu erwartenden oder im Rahmen der Nachweisführung postulierten Ereignismöglichkeiten bezogen.

Die Durchführung eines nur punktuellen, aber die genannten Auswahlkriterien beachtenden Prüfprogramms ist aus Sicht des Auftraggebers gerechtfertigt, da der Gesetzgeber die Festlegung der konkreten Maßstäbe für die Prüfung, ob die beabsichtigte Übertragung zu Lasten der Sicherheit ginge und deren willkürfreie Anwendung in § 7 Abs. 1b Satz 2 AtG der Exekutive überlassen hat; Art und Umfang der Ermittlung der für seine Sicherheitsbewertung entscheidungserheblichen Tatsachen sind vom BMU im Rahmen seines Verfahrensermessens zu bestimmen.

Das Überprüfungskonzept basiert auf einer Auswertung und Bewertung von Unterlagen, die der Betreiber für die einzelnen Bewertungsgegenstände dem BMU vorlegen soll. Für den Fall, dass keine spezifischen Unterlagen vorgelegt werden, ist auftragsgemäß vorgesehen, alle Dokumente und Informationen, die in den beteiligten Sachverständigenorganisationen für die hier anstehenden Aufgaben zur Verfügung stehen, für diese Überprüfung zu nutzen. Da diese Dokumente und Informationen hinsichtlich ihrer Aktualität und Belastbarkeit sehr unterschiedlich sein können, wird zu jedem Bewertungsgegenstand ein einheitlich klassifizierter Unterlagen- und Quellennachweis vorgelegt. Dabei wird zwischen den folgenden Kategorien unterschieden:

- Kategorie 1: im atomrechtlichen Verfahren geprüfte / begutachtete bzw. vom BMU freigegebene Unterlagen,
- Kategorie 2: Stellungnahmen der RSK bzw. der SSK und
- Kategorie 3: nicht im Sinne von Kategorie 1 geprüfte Unterlagen, die jedoch nach Auffassung der Auftragnehmer Informationen zum Sachverhalt enthalten.

Die vergleichenden Darstellungen zu den einzelnen Bewertungsgegenständen basieren jeweils auf diesen Unterlagen und spiegeln den darin wiedergegebenen Anlagenzustand wieder. Abweichungen zum derzeitigen Anlagenzustand aufgrund zwischenzeitlich durchgeführter Änderungen sind nicht auszuschließen.

Bewertungsmaßstab ist der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik. Dabei sind neben dem Erfüllungsgrad von regulatorischen Sicherheitsanforderungen bezüglich der Beherrschbarkeit von Ereignissen insbesondere auch die anlagenspezifischen Reserven in die Bewertung einzubeziehen. Aufgrund der Begrenzungen in der Bearbei-

tungszeit und im Umfang und Detaillierungsgrad der Unterlagen erfolgt aber keine vollständige Überprüfung sondern eine Fokussierung auf wesentliche grundlegende Sicherheitsanforderungen. Die für die jeweiligen Bewertungsgegenstände spezifischen Bewertungsmerkmale werden in den einzelnen Berichten ausgewiesen. Die Bewertungsmerkmale beziehen sich grundsätzlich entweder unmittelbar auf grundlegende Sicherheitsanforderungen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik oder mittelbar auf anlagentechnisch vergleichbare Sicherheitsfunktionen mit Anforderungen entsprechend des gestaffelten Sicherheitskonzepts. Die Bewertung der Sicherheitsfunktionen erfolgt im Wesentlichen im Hinblick auf deren Wirksamkeit und Qualität.

Auftragsgemäß sollen die Überprüfungen anhand deterministischer Bewertungsweisen erfolgen. Dieser methodische Ansatz kann in einigen Fällen dazu führen, dass bei der vergleichenden Bewertung von komplexen Systemkonstellationen bezüglich der Beherrschbarkeit eines Ereignisses keine eindeutige, abschließende Bewertung möglich ist. Im Rahmen der hier vorgesehenen Bewertungen wären weiterführende probabilistische Bewertungen auch aufgrund fehlender spezifischer Unterlagen in der vorgesehenen Bearbeitungszeit nicht durchführbar und sind daher auftragsgemäß nicht vorgesehen.

Es besteht daher Einvernehmen mit dem BMU darin, dass aufgrund der Begrenzung der Überprüfungsdauer und der Unterlagensituation wesentliche Anforderungen der "Sachverständigengrundsätze für die Bundesaufsicht" /BMU 01/ nicht eingehalten werden können. Die Abweichungen beziehen sich insbesondere auf die Vollständigkeit, Aktualität und Belastbarkeit von Unterlagen bei der Sachverhaltsermittlung sowie die Bewertungsmethoden, die im vorliegenden Fall weitgehend auf ingenieurmäßige Betrachtungsweisen eingeschränkt sind.

Die durchgeführten Sicherheitsvergleiche beinhalten keine aufsichtliche Überprüfung der betroffenen Anlagen. Auftragsgemäß wird zu jedem Bewertungsgegenstand ein separater Ergebnisbericht erstellt. Eine Gesamtbewertung ist nicht beauftragt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale	2
2.1	Beschreibung des Ereignisablaufes	2
2.2	Bewertungsmerkmale	3
3	Verwendete Unterlagen	4
4	Anlagenvergleich GKN-1 und GKN-2	6
5	Bewertung	12
5.1	Relevante Unterschiede	12
5.2	Bewertung der relevanten Unterschiede	13
5.3	Fazit	14
6	Literatur und Quellen	15

1 Einleitung

Im vorliegenden Bericht geht es um sicherheitstechnische Vergleiche im Zusammenhang mit dem Antrag der EnBW Kernkraft GmbH vom 21.12.2006 an das BMU auf Übertragung von Elektrizitätsmengen vom Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 2 (GKN-2) auf das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 1 (GKN-1). Dazu wurden von den Auftragnehmern in Abstimmung mit dem BMU 23 Bewertungsgegenstände definiert. Auftragsgemäß erfolgt für jeden Bewertungsgegenstand (BG) eine separate Auswertung.

Nachfolgend wird der Bewertungsgegenstand 10 „Leck / Bruch im Frischdampf- oder Speisewassersystem zwischen Ringraum und erster Absperrarmatur“ (Leck in der Armaturenkammer) behandelt.

2 Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale

2.1 Beschreibung des Ereignisablaufes

Der betroffene Bereich zwischen Ringraum und erster Absperrarmatur im Frischdampf- oder Speisewassersystem befindet sich in beiden Anlagen innerhalb der Armaturen-kammer. Der Bereich der Leitungen vom Dampferzeuger bis zum Ausgang Reaktorgebäude ist als Doppelrohr ausgeführt. Am Austritt des Doppelrohres schließt die Frischdampfarmaturenstation bzw. das Frischdampfabsperrentil an.

Lecks im Bereich zwischen Ringraum (Ende des Doppelrohres) und erster Absperrung könnten die im Armaturenblock angeordneten Steuerarmaturen einschließlich ihrer Antriebe und leittechnischen Einrichtungen durch Druck, Temperatur, Strahlkräfte und schlagende Kleinleitungen unzulässig beschädigen. Die sicherheitstechnisch wichtigen Funktionen der Frischdampfarmaturen, wie Absperrungen der Frischdampfleitung sowie Druckentlastung und Druckbegrenzung, könnten im Falle externer Steuerleitungen zwischen der Hauptarmatur und den Steuerventilen ganz oder teilweise ausfallen.

Frischdampflecks in diesem Bereich sind zum Dampferzeuger hin nicht absperrbar. Im Falle eines gleichzeitig vorliegenden Dampferzeugerheizrohrschadens kommt es daher zur direkten Aktivitätsfreisetzung in die Umgebung. Lecks oder Leckagen in dem hier betrachteten Bereich müssen rechtzeitig mittels geeigneter Leckdetektionseinrichtungen erkannt werden, damit kurzfristig Handmaßnahmen oder automatische Maßnahmen durchgeführt werden können, u. a. Reaktorschnellabschaltung (RESA) und Absperrung der Speisewasserzufuhr (Sekundärkreisabschluss).

Unzulässige redundanzübergreifende Auswirkungen müssen vermieden werden. Dazu ist eine räumliche Trennung der Frischdampf- und Speisewasserleitungen vorzusehen.

Nach den Störfalleitlinien sind zur Vermeidung des Ereignisses „Kühlmittelverlust aus dem Sekundärkreislauf mit Betriebsleckagen aus dem Primärkreislauf“ Vorsorgemaßnahmen in Form eines „Kompaktarmaturenblockes“ vorzusehen /BMI 83/. Der Kompaktarmaturenblock, wie er in neueren Anlagen eingebaut ist, umfasst den Bereich der Frischdampfarmaturen.

2.2 Bewertungsmerkmale

Der hier behandelte Bewertungsgegenstand ist ein Ereignis, das keine weiteren Störfallanalysen erfordert, wenn die Vorsorgemaßnahmen gemäß den Störfall-Leitlinien /BMI 83/ getroffen sind. Die Vorsorgemaßnahme gemäß den Störfall-Leitlinien ist der „Kompaktarmaturenblock außerhalb des Sicherheitsbehälters“. Die Anlage GKN-1 besitzt keinen Kompaktarmaturenblock. Insofern ist zu untersuchen, inwieweit dort vergleichbare Maßnahmen vorhanden sind. Dazu sind u. E. folgende Merkmale wesentlich:

- Merkmal 1: Auslegung der Frischdampf- und Speisewasserleitungen zwischen Doppelrohr und erster Absperrung
- Merkmal 2: Leckpostulate in der Armaturenkammer
- Merkmal 3: Leckdetektion in der Armaturenkammer
- Merkmal 4: Störfallfestigkeit von Armaturen und leittechnischen Einrichtungen innerhalb der Armaturenkammer
- Merkmal 5: Redundanztrennung von sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen
- Merkmal 6: Überflutungsschutz in der Armaturenkammer

3 **Verwendete Unterlagen**

Die folgenden Unterlagen wurden für den Anlagenvergleich verwendet:

- Kategorie 1

- /1/ Kernkraftwerk GKN-2: Systembeschreibung Speisewasserleitungssystem
LAB. An- und Abfahrssystem LAH, Index: e, 1994
- /2/ SIEMENS, Sicherheitsstatusanalyse für das Gemeinschaftskernkraftwerk
Neckar, Block I, August 1996
- /3/ TÜV Arbeitsgemeinschaft Konvoi: Gutachten zur Sicherheitsstatusanalyse,
September 2001
- /4/ Systembeschreibung Frischdampfsystem GKN-1, Index d,
- /5/ Kernkraftwerk GKN-1, Rohrleitungsschaltplan Frischdampfsystem
501000-V422F-1V-0300
- /6/ TÜV ENERGIE UND SYSTEME: Gutachtliche Stellungnahme zur Periodi-
schen Sicherheitsüberprüfung GKN-1 (PSÜ), September 1997
- /7/ Kernkraftwerk GKN-2 : Betriebshandbuch, Stand 26.03.2007
- /8/ Siemens AG
Probabilistische Sicherheitsanalyse
Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar, Block 1
Kapitel 4.1, 28.06.1994
- /9/ Kernkraftwerk GKN-1: Betriebshandbuch,
Teil 4, Kapitel 6.11, Stand Juli 2005

- Kategorie 3

/10/ RSK Sicherheitsüberprüfung
Anlage zum Protokoll der 2. Sitzung RSK Ad-hoc-Gruppe am 1.11.1987

4 Anlagenvergleich GKN-1 und GKN-2

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Ergebnis
Merkmal 1: Auslegung der Frischdampf- und Speisewasserleitungen zwischen Doppelrohr und erster Absperrung	<p>Frischdampfleitung: Werkstoff: 20 MnMoNi 5 5 /3/</p> <p>Alle vom Kompaktarmaturenblock abgehenden Leitungen sind am Armaturenblock absperrbar. Ausgenommen sind Entwässerungsleitungen DN 25. Alle anderen Anschlussleitungen des Armaturenblocks sind unmittelbar an der Armatur während des Betriebs abgesperrt oder absperrbar.</p> <p>Bruchausschluss der Frischdampfleitung. Kompaktarmaturenblock (FSA-Station) ist unmittelbar an Übergang zum Doppelrohr ange-</p>	<p>Frischdampfleitung und Anschlussleitungen /4/ /5/: Werkstoff: Hauptfrischdampfleitung: 17 MnMoV 64 (WB 35) Zuführungsleitung bis zum Absperrventil vor dem 1. SiV: 15 Mo 3, Zuführungsleitung bis zum 2. SiV: 17 MnMoV 64 (WB 35), Zuführungsleitung bis zum Absperrventil vor Abblasegelventil: 15 NiCuMoNb 5 mod (WB 36 mod), Armaturengehäuse: 20 MnMoNi 5 5 geschmiedet /10/</p> <p>Bruchausschluss der Frischdampfleitung und der Zuführungsleitungen zu den Sicherheits- und Abblaseventilen /6/. Unterstellt</p>	<p>In den beiden Anlagen sind Werkstoffe unterschiedlicher Qualität eingesetzt.</p> <p>GKN-1 hat keinen Kompaktarmaturenblock und weist deshalb frischdampfseitig eine größere Anzahl von Rohrleitungen, Ab-</p>

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Ergebnis
	schweißt. Anschlussleitungen in diesem Bereich entfallen deswegen.	wird ein Leck mit der Fläche der größten Anschlussleitung (DN 50) /6/.	zweigungen und zugehörigen Schweißnähten auf als GKN-2 und besitzt damit eine vergleichsweise größere Anzahl leckrelevanter Stellen.
	<p>Speisewasserleitungen: Werkstoff: 15 MnNi 6 3 (Ausnahme Durchführung: 20 MnMoNi 5 5)</p> <p>Bruchausschluss wurde bei Errichtung nachgewiesen. Deshalb sind hier nur Lecks in kleinen Anschlussleitungen zu betrachten /3/.</p>	<p>Speisewasserleitungen: Werkstoff: 15 NiCuMoNb 5 mod (WB 36 mod) /6/ Gehäuse der Hauptabsperrventile: 20 MnMoNi 5 5</p> <p>Nachweis für maximal zu unterstellende Leckgröße noch nicht abschließend geführt. Gutachter geht aber realistisch davon aus, dass Leckfläche mit dem Querschnitt der größten Anschlussleitung (DN 25) zu unterstellen ist, bis zum Abschluss der Nachweisführung ist jedoch von 0,1 F auszugehen.</p>	<p>In den beiden Anlagen sind unterschiedliche Werkstoffe für die Speisewasserleitung eingesetzt.</p> <p>Auf Basis der vorliegenden Unterlagen ist die Relevanz dieses Unterschieds nicht zu bewerten.</p>
	Ausfall des Überspeisungsschutzes aufgrund räumlicher Anordnung nicht auszuschließen, aber Frischdampfleitung gegen innere Überflutung ausgelegt.	Überspeisung eines Dampferzeugers durch Fehler in Regelung oder Begrenzung nicht auszuschließen, aber Frischdampfleitungen gegen innere Überflutung ausgelegt /2/.	Kein relevanter Unterschied

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Ergebnis
Merkmal 2: Leckpostulate in der Armaturenkammer	<p>Frischdampf /2/ /3/: Abriss einer kleinen Anschlussleitung. Entwässerungsleitungen (DN 25) ist abdeckend. 0,1-F-Leck an einer Anwärmlleitung (DN 100) zwischen Anwärmsperrventil und Anwärmlregelventil (Ventile während des Leistungsbetriebs geschlossen)</p> <p>Speisewasser: Lecks begrenzt auf 0,1 F hinter dem Hauptspeisewasserabsperrschieber in der Armaturenkammer. Annahme 2-F-Leck vor dem Hauptspeisewasserabsperrschieber (DN 450) als abdeckender Lastfall im Bereich der Speisewasserleitungen /3/. Diese Leckstelle liegt außerhalb des für diesen Bewertungsgegenstand relevanten Bereiches und ist lediglich für die Armaturenfunktion und Umgebungsbedingungen von Bedeutung.</p>	<p>Frischdampf /6/: Abriss einer kleinen Anschlussleitung DN 50.</p> <p>Speisewasser: Der Gutachter geht davon aus, dass wegen der qualitätssichernden Maßnahmen ein max. Leck mit der Fläche der größten Anschlussleitung (DN 25) zu unterstellen ist. Für die deterministische Betrachtung der Störfallfolgen ist jedoch bis zum abschließenden Nachweis dieser Bruchannahmen weiterhin von einem 0,1-F-Leck auszugehen (Temperatur- und Druckaufbau) /6/.</p>	<p>Kein relevanter Unterschied in den postulierten Querschnitten für Frischdampf- und Speisewasserleitungen.</p>
Merkmal 3: Leckdetektion innerhalb der Armaturenkammer	<p>Taupunkttemperaturmessung in jedem Kompartiment zur Leckerkennung /7/</p>	<p>Kein spezifisches Leckerkennungssystem innerhalb der Armaturenkammer</p>	<p>In GKN-1 ist kein spezifisches Leckerkennungssystem für kleine Leckagen in der Armaturenkammer vorhanden.</p>

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Ergebnis
	<p>Kleine Leckagen in der Armaturenkammer ohne Ansprechen von Begrenzungen oder Reaktorschutzaktionen: Anweisung in Betriebshandbuch: Bei Ansprechen der Lecküberwachung in der Armaturenkammer ist eine Begehung der Armaturenkammer zur Leckortung vorzunehmen.</p> <p>Bei größeren Leckagen: z.B. Dampferzeuger-Niveau, Dampferzeuger-Druckvergleich, Frischdampf (FD)- Druckabfall, Speisewasserdurchsatzvergleich</p>	<p>Kleine Leckagen in der Armaturenkammer ohne Ansprechen von Begrenzungen oder Reaktorschutzaktionen: Keine Hinweise im Betriebshandbuch</p> <p>Bei größeren Leckagen: z.B. Dampferzeuger-Niveau, Dampferzeuger-Druckvergleich, Frischdampf (FD)- Druckabfall, Speisewasserdurchsatzvergleich</p>	<p>Für die größeren Leckagen kein relevanter Unterschied erkennbar.</p>
<p>Merkmal 4: Störfallfestigkeit von Armaturen und leittechnischen Einrichtungen innerhalb der Armaturenkammer</p>	<p>Druck- und Temperaturbegrenzung durch Öffnungen zur Umgebung /3/</p> <p>Steuerventile und Steuerleitungen der Frischdampfsicherheits- und Absperrarmaturen- (FSA-) Station sind gegen Folgewirkungen aus Frischdampf- oder Speisewasser-Leitungsbruch ausgelegt.</p> <p>Die Qualität der leittechnischen Baugruppen wurde im Rahmen der Errichtung und der Inbetriebnahme überprüft. Die erforderlichen Nach-</p>	<p>Druck- und Temperaturbegrenzung durch Überströmöffnungen zur Umgebung /4/</p> <p>Die Antriebe der Volllast-, Schwachlast- und Hauptabsperrierschieber sind mit störfallfesten Antrieben ausgestattet /2/.</p> <p>Die heutigen Anforderungen an die Störfallfestigkeit elektrischer Komponenten im Armaturenanbau sind nicht vollständig erfüllt /2/.</p>	<p>Auf Basis der vorliegenden Unterlagen ist die Relevanz dieses Unterschieds nicht zu bewerten.</p>

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Ergebnis
	weise (z. B. Typprüfung, Nachweis der mechanischen Festigkeit sowie der Störfallfestigkeit) wurden anlagenspezifisch im Rahmen der Eignungsprüfung überprüft /3/.	Der Gutachter geht aber wegen der geringeren Umgebungsbelastung im Armaturenanbau und der Auslegung/Schutzklasse der Einrichtungen von deren Funktionsfähigkeit im Störfall aus /6/.	
	Funktionsverlust von Speisewasserarmaturen in einem Kompartiment wird unterstellt. Infolge dessen Überflutung einer Frischdampfleitung durch Versagen des Dampferzeuger-Überspeisungsschutzes. Frischdampf-Leitungen sind jedoch gegen Überflutung ausgelegt /12/.	Frischdampf-Leitungen sind gegen Überflutung ausgelegt /2/.	Kein relevanter Unterschied erkennbar.
Merkmal 5: Redundanztrennung von sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen innerhalb der Armaturenkammer	Verlegung der Frischdampf- und Speisewasserleitungen in vier bautechnisch getrennten Kompartiments /1/ /3/.	Verlegung der Frischdampf- und Speisewasserleitungen in drei bautechnisch getrennten Kompartiments /4/.	Kein relevanter Unterschied erkennbar.
Merkmal 6: Überflutungsschutz in der Armaturenkammer	Bauliche Gestaltung und Überströmklappen /3/	Bauliche Gestaltung und Überströmöffnungen /4/	Kein relevanter Unterschied erkennbar.

5 Bewertung

5.1 Relevante Unterschiede

Aus unserer Sicht bestehen folgende sicherheitstechnisch relevante Unterschiede bezüglich Vermeidung und Beherrschung des betrachteten Ereignisablaufes:

Zu Merkmal 1: Auslegung der Frischdampf- und Speisewasserleitungen zwischen Doppelrohr und erster Absperrung

In der Anlage GKN-2 sind die Frischdampfsicherheits- und Absperrarmaturen als Kompakt-Armaturenblock ausgeführt, so dass ein Versagen der Frischdampfleitung in dem hier betrachteten Bereich gemäß den Störfall-Leitlinien ausgeschlossen werden kann. (Als Schnittstelle zur Frischdampfleitung innerhalb des Ringraumes verbleibt jeweils eine Schweißnaht, externe Steuerleitungen entfallen weitgehend.) In GKN-1 sind Einzelarmaturen eingebaut. Deshalb verbleiben konstruktionsbedingt mehr leckrelevante Stellen.

In GKN-1 sind teilweise Werkstoffe eingesetzt, die nicht die hohe Qualität des in GKN-2 eingesetzten Werkstoffs 20 MnMoNi 5 5 erreichen.

- Die spezifizierten Werte des für die Hauptfrischdampfleitung in GKN-1 eingesetzten Werkstoffs 17 MnMoV 6 4 weisen eine relativ niedrige Zähigkeit bei hoher Festigkeit auf. Das Verhältnis Zähigkeit zu Festigkeit ist damit ungünstiger als bei dem in GKN-2 eingesetzten Werkstoff 20 MnMoNi 5 5.
- Der in GKN-1 für die Speisewasserleitung und die Zuführungsleitung zum Absperrventil des Abblaseregelventils eingesetzte Werkstoff 15 NiCuMoNb 5 mod entspricht bereits weitgehend dem heute nach KTA 3211.1 spezifizierten Werkstoff 15 NiCuMoNb 5 S, zeichnet sich jedoch bei ungünstigerer chemischer Zusammensetzung innerhalb der Spezifikation durch eine höhere Verarbeitungsempfindlichkeit aus.

- Der für die Zuführungsleitung bis zum Absperrventil vor dem ersten Sicherheitsventil eingesetzte Werkstoff 15 Mo 3 besitzt generell niedrigere Werte für Festigkeit und Zähigkeit.

Zu Merkmal 3: Leckdetektion innerhalb der Armaturenkammer

In GKN-1 ist kein spezifisches Leckerkennungssystem für kleine Leckagen in der Armaturenkammer vorhanden.

5.2 Bewertung der relevanten Unterschiede

Zu Merkmal 1: Auslegung der Frischdampf- und Speisewasserleitungen zwischen Doppelrohr und erster Absperrung

Die Ausführung als Kompaktarmaturenblock in GKN-2 bietet hinsichtlich der Ereignisvermeidung Vorteile gegenüber den Einzelarmaturen in GKN-1, da damit weniger Rohrleitungen, Abzweigungen und zugehörige Schweißnähte vorhanden sind und somit ein geringeres Potenzial für Lecks und Folgeschäden an Steuerleitungen unterstellt werden kann.

Durch die aufgrund der Spezifikationen zu unterstellende geringere Zähigkeit des Werkstoffs der Frischdampfleitungen in GKN-1 sind die Sicherheitsmargen gegenüber unzulässigen Fehlern bei erhöhten Belastungen kleiner. Dies lässt sich nur teilweise durch erhöhten Aufwand bei den zerstörungsfreien Prüfungen und den Halterungskonstruktionen kompensieren.

Durch die möglicherweise höhere Verarbeitungsempfindlichkeit des Werkstoffs der Speisewasserleitungen könnten im Bereich der Schweißnähte Aufhärtungen und Risse entstanden sein. Diese lassen sich jedoch durch geeignete Qualitätssicherung und zerstörungsfreie Prüfungen ausschließen.

Die Unterschiede zwischen den untersuchten Anlagen hinsichtlich der tatsächlich gefertigten Qualität der Rohrleitungen und ihrer Absicherung im Betrieb durch Wiederkehrende Prüfungen können anhand der verfügbaren Unterlagen nicht bewertet werden.

Die niedrigeren Werte für Festigkeit und Zähigkeit des für die Zuführungsleitung zum ersten Sicherheitsventil eingesetzten Werkstoffs 15 Mo 3 werden schon bei der Auslegung durch die entsprechend höhere Wanddicke kompensiert.

Zu Merkmal 3: Leckdetektion innerhalb der Armaturenkammer

Nur in GKN-2 sind Einrichtungen zur frühzeitigen Erkennung kleiner Leckagen vorhanden. Damit können dort frühzeitig Handmaßnahmen zur Absperrung der Leckagen bzw. zu anderen sicherheitsgerichteten Maßnahmen eingeleitet werden. Dies stellt einen Vorteil für GKN-2 dar.

5.3 Fazit

Die Anlage GKN-1 besitzt keine Kompaktarmaturenblöcke und weist daher im betrachteten Bereich konstruktionsbedingt mehr leckrelevante Stellen auf als die Anlage GKN-2. Aufgrund der zu unterstellenden geringeren Zähigkeit des Werkstoffs der Frischdampfleitung in GKN-1 sind die Sicherheitsmargen gegenüber unzulässigen Fehlern bei erhöhten Belastungen kleiner. In GKN-2 sind zudem Einrichtungen zur frühzeitigen Erkennung kleiner Leckagen in der Armaturenkammer vorhanden. Insgesamt ergibt sich für diesen Bewertungsgegenstand ein Vorteil für GKN-2.

6 Literatur und Quellen

- /BMU 01/ Grundsätze der Tätigkeit von Sachverständigen im Auftrag der Bundesaufsicht über die Ausführung des Atomgesetzes im Hinblick auf Atomkraftwerke, Forschungsreaktoren und sonstige Reaktoren (Sachverständigen-Grundsätze der Bundesaufsicht über Atomkraftwerke), Stand: Juli 2001
- /BMU 06/ SR 2569 „Sicherheitstechnische Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung“, 05.12.2006
- /BMI 83/ Bekanntmachung der Leitlinien zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktoren gegen Störfälle im Sinne des § 28 Abs. 3 der Strahlenschutzverordnung - Störfall-Leitlinien -, Oktober 1983



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische
Überprüfung von Anla-
gen zu ausgewählten
Anforderungen und
Ereignissen im Rahmen
von Anträgen zur Rest-
strommengenübertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 11:

„Fehlerhafter Füllstand bei
Mitte-Loop-Betrieb mit Folge-
ausfall der Nachkühlpumpen“

SR 2569



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 11:
„Fehlerhafter Füllstand bei Mitte-
Loop-Betrieb mit Folgeausfall
der Nachkühlpumpen“

Februar 2008

Auftrags-Nr.: 820410

Anmerkung:

Dieser Bericht ist im Auftrag des BMU im Rahmen des Vorhabens SR 2569 erstellt worden. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt werden bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers und der Unterauftragnehmer wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers übereinstimmen.

Vorwort

Im Atomgesetz wurden mit der Änderung vom 26.04.2002 die Reststrommengen für die in Betrieb befindlichen Kernkraftwerksblöcke in Deutschland festgelegt. Über die Zustimmung zur Übertragung von Elektrizitätsmengen entscheidet das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) im Einvernehmen mit dem Bundeskanzleramt und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Im Rahmen der Entscheidungsfindung des BMU über die Anträge auf Übertragung von Elektrizitätsmengen hat das BMU auch eine vergleichende Sicherheitsüberprüfung zwischen einer Anlage, die Strommengen abgibt und derjenigen, welche die Strommengen bekommen soll, vorgesehen. Da in der zur Verfügung stehenden Zeit keine in Prüfungsumfang und -tiefe mit der Durchführung und der sachverständigen Prüfung von Sicherheitsüberprüfungen nach § 19a AtG vergleichbare, umfassende Ermittlung und sicherheitstechnische Bewertung beider Anlagen möglich ist, beauftragte das BMU die GRS, zusammen mit benannten Unterauftragnehmern mit der „Sicherheitstechnischen Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung“ /BMU 06/. Auftragsgegenstand sind punktuelle Untersuchungen einzelner Bewertungsgegenstände, die gemeinsam von BMU, GRS und den Unterauftragnehmern festgelegt wurden. Um dem BMU eine vergleichende Bewertung zu ermöglichen, ob sichergestellt ist, dass die beantragte Übertragung von einer neueren auf eine ältere Anlage nicht zu Lasten der Sicherheit geht, wurden sicherheitstechnisch relevante Bewertungsgegenstände für jede beantragte Übertragung insbesondere unter Beachtung folgender Kriterien ausgewählt:

- die anlagentechnischen Gegebenheiten der antragsgemäß betroffenen abgebenden und empfangenden Anlage beinhalten wesentliche Unterschiede und / oder
- die Bewertungsgegenstände berühren Entwicklungen seit Genehmigungserteilung bezüglich des Standes von Wissenschaft und Technik und
- die Untersuchungen sind in der zur Verfügung stehenden Zeit voraussichtlich durchführbar.

Dabei wird die sicherheitstechnische Fragestellung weitgehend auf die Beherrschbarkeit von zu erwartenden oder im Rahmen der Nachweisführung postulierten Ereignismöglichkeiten bezogen.

Die Durchführung eines nur punktuellen, aber die genannten Auswahlkriterien beachtenden Prüfprogramms ist aus Sicht des Auftraggebers gerechtfertigt, da der Gesetzgeber die Festlegung der konkreten Maßstäbe für die Prüfung, ob die beabsichtigte Übertragung zu Lasten der Sicherheit ginge und deren willkürfreie Anwendung in § 7 Abs. 1b Satz 2 AtG der Exekutive überlassen hat; Art und Umfang der Ermittlung der für seine Sicherheitsbewertung entscheidungserheblichen Tatsachen sind vom BMU im Rahmen seines Verfahrensermessens zu bestimmen.

Das Überprüfungskonzept basiert auf einer Auswertung und Bewertung von Unterlagen, die der Betreiber für die einzelnen Bewertungsgegenstände dem BMU vorlegen soll. Für den Fall, dass keine spezifischen Unterlagen vorgelegt werden, ist auftragsgemäß vorgesehen, alle Dokumente und Informationen, die in den beteiligten Sachverständigenorganisationen für die hier anstehenden Aufgaben zur Verfügung stehen, für diese Überprüfung zu nutzen. Da diese Dokumente und Informationen hinsichtlich ihrer Aktualität und Belastbarkeit sehr unterschiedlich sein können, wird zu jedem Bewertungsgegenstand ein einheitlich klassifizierter Unterlagen- und Quellennachweis vorgelegt. Dabei wird zwischen den folgenden Kategorien unterschieden:

- Kategorie 1: im atomrechtlichen Verfahren geprüfte / begutachtete bzw. vom BMU freigegebene Unterlagen,
- Kategorie 2: Stellungnahmen der RSK bzw. der SSK und
- Kategorie 3: nicht im Sinne von Kategorie 1 geprüfte Unterlagen, die jedoch nach Auffassung der Auftragnehmer Informationen zum Sachverhalt enthalten.

Die vergleichenden Darstellungen zu den einzelnen Bewertungsgegenständen basieren jeweils auf diesen Unterlagen und spiegeln den darin wiedergegebenen Anlagenzustand wieder. Abweichungen zum derzeitigen Anlagenzustand aufgrund zwischenzeitlich durchgeführter Änderungen sind nicht auszuschließen.

Bewertungsmaßstab ist der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik. Dabei sind neben dem Erfüllungsgrad von regulatorischen Sicherheitsanforderungen bezüglich der Beherrschbarkeit von Ereignissen insbesondere auch die anlagenspezifischen Reserven in die Bewertung einzubeziehen. Aufgrund der Begrenzungen in der Bearbei-

tungszeit und im Umfang und Detaillierungsgrad der Unterlagen erfolgt aber keine vollständige Überprüfung sondern eine Fokussierung auf wesentliche grundlegende Sicherheitsanforderungen. Die für die jeweiligen Bewertungsgegenstände spezifischen Bewertungsmerkmale werden in den einzelnen Berichten ausgewiesen. Die Bewertungsmerkmale beziehen sich grundsätzlich entweder unmittelbar auf grundlegende Sicherheitsanforderungen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik oder mittelbar auf anlagentechnisch vergleichbare Sicherheitsfunktionen mit Anforderungen entsprechend des gestaffelten Sicherheitskonzepts. Die Bewertung der Sicherheitsfunktionen erfolgt im Wesentlichen im Hinblick auf deren Wirksamkeit und Qualität.

Auftragsgemäß sollen die Überprüfungen anhand deterministischer Bewertungsweisen erfolgen. Dieser methodische Ansatz kann in einigen Fällen dazu führen, dass bei der vergleichenden Bewertung von komplexen Systemkonstellationen bezüglich der Beherrschbarkeit eines Ereignisses keine eindeutige, abschließende Bewertung möglich ist. Im Rahmen der hier vorgesehenen Bewertungen wären weiterführende probabilistische Bewertungen auch aufgrund fehlender spezifischer Unterlagen in der vorgesehenen Bearbeitungszeit nicht durchführbar und sind daher auftragsgemäß nicht vorgesehen.

Es besteht daher Einvernehmen mit dem BMU darin, dass aufgrund der Begrenzung der Überprüfungsdauer und der Unterlagensituation wesentliche Anforderungen der "Sachverständigengrundsätze für die Bundesaufsicht" /BMU 01/ nicht eingehalten werden können. Die Abweichungen beziehen sich insbesondere auf die Vollständigkeit, Aktualität und Belastbarkeit von Unterlagen bei der Sachverhaltsermittlung sowie die Bewertungsmethoden, die im vorliegenden Fall weitgehend auf ingenieurmäßige Betrachtungsweisen eingeschränkt sind.

Die durchgeführten Sicherheitsvergleiche beinhalten keine aufsichtliche Überprüfung der betroffenen Anlagen. Auftragsgemäß wird zu jedem Bewertungsgegenstand ein separater Ergebnisbericht erstellt. Eine Gesamtbewertung ist nicht beauftragt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale	2
2.1	Beschreibung des Ereignisablaufs.....	2
2.2	Bewertungsmerkmale	4
3	Verwendete Unterlagen	5
4	Anlagenvergleich	5
5	Bewertung	12
5.1	Relevante Unterschiede.....	12
5.2	Bewertung der relevanten Unterschiede.....	13
5.3	Fazit	14
6	Literatur	15

1 Einleitung

Im vorliegenden Bericht geht es um sicherheitstechnische Vergleiche im Zusammenhang mit dem Antrag der EnBW Kernkraft GmbH vom 21.12.2006 an das BMU auf Übertragung von Elektrizitätsmengen vom Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 2 (GKN-2) auf das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 1 (GKN-1). Dazu wurden von den Auftragnehmern in Abstimmung mit dem BMU 23 Bewertungsgegenstände definiert. Auftragsgemäß erfolgt für jeden Bewertungsgegenstand (BG) eine separate Auswertung.

Nachfolgend wird der Bewertungsgegenstand 11 „Fehlerhafter Füllstand bei Mitte-Loop-Betrieb mit Folgeausfall der Nachkühlpumpen“ behandelt. Dies ist je nach den unterstellten Randbedingungen ein Ereignis der Sicherheitsebene 2 bzw. 3.

2 Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale

2.1 Beschreibung des Ereignisablaufs

Um den Reaktordeckel abnehmen zu können, senkt man bei DWR-Anlagen den Füllstand im Primärkreis, sodass die Hauptkühlmittelleitung bis auf eine Höhe von $\frac{3}{4}$ ihres Durchmessers gefüllt ist (Mitte-Loop-Betrieb). Dabei kann unbeabsichtigt der Füllstand zu tief abgesenkt werden. Spätestens wenn der Füllstand auf Unterkante-Loop abgefallen ist, werden die Nachkühlpumpen Stickstoff ansaugen und es kommt zur Schutzabschaltung der Nachkühlpumpen. Auf der Warte erscheint eine Meldung über die Abschaltung der Nachkühlpumpen. Die Nachwärmeabfuhr über das Nachkühlsystem ist damit ausgefallen.

Sicherheitstechnische Bedeutung des Ereignisablaufes:

Bei abgesenktem Füllstand befindet sich nur noch ca. die Hälfte des Primärkühlmittels im Reaktorkühlkreislauf (RKL). Bei Ausfall aller Nachkühlpumpen heizt sich das verbliebene Kühlmittel schnell auf. Nach ca. 15 – 20 min kommt es zum Sieden. Ist der Primärkreis noch geschlossen, kann es zu einem Druckaufbau kommen, welcher die Wiedereinrichtung des Nachkühlbetriebes mit dem Nachkühlsystem verhindert. Bei offenem Reaktordruckbehälter (RDB) dampft das Primärkühlmittel in den Sicherheitsbehälter aus.

Ein Ausfall der Nachwärmeabfuhr durch ungewollten Füllstandsabfall bei der Absenkung auf $\frac{3}{4}$ -Loop ist zum Beispiel möglich durch:

- Ausfall der Füllstandsmessungen in den Hauptkühlmittelleitungen durch Verstopfung der Wirkdruckleitungen,
- Fehlfunktion der Regelung des Füllstands in den Hauptkühlmittelleitungen (z. B. durch Messwertfehler) über die Niederdruck- (ND) Reduzierstation und Offenbleiben der Absperrarmatur nach der ND-Reduzierstation beim $\frac{3}{4}$ -Loop-Betrieb,
- Ausfall der ND-Reduzierstation und des Absperrventils in der Stellung "AUF" (z. B. durch Ausfall der Energie-Versorgung in zwei Scheiben, Sicherheitsfall).

Beim Ausfall der Nachkühlpumpen schließen die Zweitabsperungen in den Saugleitungen (Rückschlagventile) durch Druckabfall in der Impulsleitung. In modernen Anla-

gen werden nach der Schutzabschaltung der Nachkühlpumpen über das Stillstandsprogramm auch die Absperrarmaturen vor der ND-Reduzierstation automatisch geschlossen. Dadurch ist die Entnahme aus dem RKL beendet. Fallen diese Schließfunktionen aus, hat der Operateur in beiden Anlagen noch die Möglichkeit weitere Armaturen auf dem Weg zur Kühlmittellagerung zu schließen, um den Kühlmittelverlust aus dem RKL zu unterbinden.

Sind die laufenden Nachkühlpumpen ausgefallen, so soll nach BHB der Primärkreis zunächst mit dem in Flutbereitschaft gehaltenen Reservestrang bis auf einen festgelegten Druckhalter-Füllstand aufgefüllt werden. Danach wird der Reservestrang auf Nachkühlfunktion umgeschaltet und das Ereignis ist beherrscht.

Gelingt das Fluten mit dem Reservenachkühlstrang nicht, besteht innerhalb von ca. 2 h die Möglichkeit, einen der schutzabgeschalteten Nachkühlstränge nach Entlüften wieder in Betrieb zu nehmen (Fluten mit dem Nachkühlsystem, dann Nachkühlen). Danach übersteigt der Druck im Primärkreislauf bei geschlossenem RDB die Förderhöhe der Nachkühlpumpen.

Gelingt das Fluten mit dem Nachkühlsystem nicht, kann der RKL mit Druckspeichern wieder aufgefüllt werden, sofern diese zur Verfügung stehen. Zur Nachwärmeabfuhr müsste danach ein ausgefallener Nachkühlstrang entlüftet und für die Nachwärmeabfuhr wieder in Betrieb genommen werden.

Bei Ausfall der primärseitigen Wärmeabfuhr kann die Wärme bei geschlossenem RDB über den in Bereitschaft stehenden Dampferzeuger sekundärseitig abgeführt werden.

Kann die Wärme primär- und sekundärseitig bei geschlossenem RDB nicht abgeführt werden, steigen Druck und Temperatur im Primärkreis bis zum Ansprechgrenzwert des Druckhalter-Abblaseventils an. Das Kühlmittel aus dem RKL würde zunächst in den Abblasebehälter und nach Versagen der Berstscheiben in den SHB ausdampfen. In diesem Fall würde nach ca. 5 h die Kernfreilegung beginnen /GRS 03/.

Wird der Primärkreis nicht aufgefüllt, kommt es bei Funktion des Dampferzeugers zur Deborierung des Primärkühlmittels als Folge des Reflux-Condenser-Betriebs. Die Deborierung kann verhindert werden, wenn innerhalb der ersten 2 h die Einspeisung mit zwei Druckspeichern oder einem Nachkühlstrang aus einem Flutbecken durchgeführt

wird. In diesem Fall würde sich wieder ein Naturumlauf einstellen und angesammeltes Kondensat würde sich mit borhaltigem Kühlmittel vermischen /GRS 03/.

2.2 Bewertungsmerkmale

Die von der GRS im Auftrag des BMU durchgeführten Untersuchungen zum Nichtleistungsbetrieb der Anlagen GKN-2 /GRS 03/ und KWB-B /GRS 96/ zeigten u. a., dass folgende Randbedingungen einen entscheidenden Einfluss auf die zu erwartenden Eintrittshäufigkeiten von Schadenszuständen bei diesem Ereignisablauf haben:

- Aufbau der Füllstandsmessung im Reaktorkühlkreislauf, Zeitpunkt für die Prüfung dieser Messeinrichtung,
- bereitzuhaltende Systemfunktionen zur Beherrschung dieses Ereignisablaufs und
- Vorhandensein von Prozeduren im BHB zur Beherrschung dieses Ereignisablaufs.

Aus den Erkenntnissen der vorangegangenen Untersuchungen /GRS 96, GRS 03/ werden die folgenden Bewertungsmerkmale abgeleitet.

- Merkmal 1: Maßnahmen und Einrichtungen zur Einhaltung eines anforderungsgerechten Füllstandes bei der Füllstandsabsenkung und bei $\frac{3}{4}$ -Loop-Betrieb
- Merkmal 1a: Überwachung des Füllstandes im RKL (Redundanz und Qualität)
- Merkmal 1b: Vorgehensweise bei der Füllstandsabsenkung (Überwachungsaufgaben des Personals, Füllstandsregelung)
- Merkmal 2: Maßnahmen und Einrichtungen zur Beherrschung eines fehlerhaften Füllstandsabfalls
- Merkmal 2a: Maßnahmen und Einrichtungen zur Erkennung eines fehlerhaften Füllstandsabfalls
- Merkmal 2b: Prozeduren zur Beherrschung des Ereignisablaufs
- Merkmal 2c: Systemfunktionen zur Beherrschung des Ereignisablaufs
- Merkmal 2d: Karenzzeiten zur Beherrschung des Ereignisablaufs

3 Verwendete Unterlagen

Der Ereignisablauf „Fehlerhafter Füllstandsabfall bei Mitte-Loop-Betrieb mit Folgeausfall der Nachkühlpumpen“ ist entsprechend dem Stand von Wissenschaft und Technik neu in den Entwurf eines aktualisierten Regelwerkes /KTR 06, E3-13/ aufgenommen worden. Für die betrachteten Anlagen liegen uns zu diesem Ereignisablauf keine ins atomrechtliche Verfahren eingebrachten Nachweise vor.

Die folgenden Unterlagen wurden für den Anlagenvergleich verwendet:

- Kategorie 1

/BHB G2/ Betriebshandbuch GKN-2, Stand 26.03.2007

/BHB G1/ Betriebshandbuch GKN-1, Stand 26.03.2007

/SB YA/ Systembeschreibung YA/YB/YC/YD/YP, GKN-1, Stand 18.11.06

- Kategorie 3

/GKN 00/ Entwurf zum BHB Teil 2, Kapitel 4.13 „Störung der Nachwärmeabfuhr“,
GKN-2, Brief vom 27.07.2000

4 Anlagenvergleich

Nachfolgend werden die im Abschnitt 2.2 aufgelisteten Bewertungsmerkmale für die betrachteten Anlagen GKN-1 und GKN-2 gegenübergestellt.

Tabelle 4.1: Fehlerhafter Füllstandsabfall bei Mitte-Loop-Betrieb mit Folgeausfall der Nachkühlpumpen

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
Merkmal 1: Maßnahmen und Einrichtungen zur Einhaltung eines anforderungsgerechten Füllstandes			
<p>1a: Überwachung des Füllstandes im RKL</p> <p>Redundanz / Diversität</p>	<p>4 Messstellen vorhanden:</p> <p>JEC10CL005, Loop 1 für Regelung JEC10CL006, Loop 1 für Anzeige JEC30CL005, Loop 3 für Regelung JEC30CL006, Loop 3 für Anzeige</p> <p>Alle 4 Messstellen für KMA-Meldung "LHKML tief" und „Schutz-ZU“ der ND-Red. und des Schiebers hinter der ND-Red. (KBA20AA004) bei 0,48 m (2v4 Auswahl)</p> <p>Fällt der Füllstand 15 cm unter Mitte-Loop, dann geben die RDB-Füllstandssonden eine KMA-Meldung aus (L<MIN3).</p>	<p>5 Messstellen vorhanden /SB YA/:</p> <p>1YC10L001, Loop 1, Regelung 0YC10L002, Loop 1, Anzeige, Schreiber, Warte 2YC20L001, Loop 2, Regelung 3YC30L001, Loop 3, Regelung 4YC20L001, Loop 2, Regelung</p> <p>0YC10L002: KMA-Meldung „YC FÜLLSTAND LOOP“ bei 0,33 m</p> <p>Die übrigen 4 Messstellen für RMA-Meldung „Mitte-Loop-Begrenzung 2v4“ (< 0,28 m), Schließbefehl für ND-Red., Zulaufventil der ND-Red. TA35S005 sowie TH-Entnahmemarmaturen TH10/20S010 (2v4 Auswahl)</p> <p>Der Grenzwert MIN3 der RDB- Füllstandssonden befindet sich ca. auf Unterkante Loop und ist daher zur Vermeidung dieses Ereignisablaufs nicht wirksam.</p>	<p>GKN-1: Eine Messung wird auf der Warte angezeigt. Diese deckt den gesamten Füllstandsbereich von DH-Füllstand 3,5 m bis Unterkante Loop ab.</p> <p>GKN-2: Zwei Messungen werden auf der Warte angezeigt. Diese decken den Bereich von Oberkante bis Unterkante Loop ab. Als diversitäre Messeinrichtung stehen bis zum Öffnen des RDB die RDB-Füllstandssonden MIN3, (KMA-Meldung bei einem Loop-Füllstand von ca. 22 cm) zur Verfügung.</p>
<p>Prüfung der RKL-Füllstandsmessung</p>	<p>Vor dem Absenken auf ¾-Loop ist die Prüfung der Loop-Füllstandsmessungen abzuschließen (BHB T2, Kap. 3.2.4, Abs. 4.)</p>	<p>Unmittelbar vor dem Absenken auf ¾-Loop ist die Funktion der Messumformer für die RKL-Füllstandsmessung überprüfen (BHB T2, Kap 2.2, Seite 182).</p>	<p>In beiden Anlagen stehen die RKL-Füllstandsmessungen vor dem Absenken auf ¾-Loop geprüft zur Verfügung.</p>

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
<p>1b: Vorgehensweise bei der Füllstandsabsenkung</p> <p>Personalhandlungen, Überwachungsaufgaben des Personals</p>	<p>Zwischen einem DH-Füllstand von 1,75 m bis zur Oberkante-Loop ist keine kontinuierliche Füllstandsmessung/ Anzeige vorhanden. Es sprechen die RDB Füllstandssonden RDB-Füllstand tief 1 und RDB-Füllstand tief 2 an.</p> <p>Die Kontrolle der Füllstandsabsenkung im RKL erfolgt in diesem Bereich anhand einer Mengenbilanz-Abschätzung. Dazu sind die Füllstände der KBB-Behälter vor sowie während (1/2 stündlich) der Füllstandsabsenkung auf $\frac{3}{4}$-Loop und die zu erwartenden Füllstände in den KBB-Behältern in ein Protokoll einzutragen. (BHB T2, Kap. 3.2.4, Abs. 6)</p> <p>Dauer mit KBA-Pumpen ca. 4 h ohne KBA-Pumpen 2,5 h</p>	<p>Bei einem DH-Füllstand von < 3,5 m ist eine Plausibilitätskontrolle zwischen den Messwerten der RKL-Füllstandsmessung 0YC10 L002 und der DH-Füllstandsmessung durchzuführen (BHB T2, Kap. 2.2, Seite 184). Ferner ist der Füllstandsverlauf anhand der RDB-Füllstandssonden zu überprüfen.</p> <p>Das Absenken des Füllstandes auf Mitte Loop dauert insgesamt ca. 4 Stunden. (BHB T2, Kap. 2.2, Seite 185)</p>	<p>In GKN-1 ist im Gegensatz zu GKN-2 durch die Überschneidung der Füllstandsanzeigen für DH und Loop der Füllstand im RKL zu jeder Zeit bekannt.</p> <p>In GKN-2 muss der Füllstandsverlauf im Bereich ohne Füllstandsmessung durch sekundäre Prozessgrößen (Mengenbilanz) abgeschätzt und protokolliert werden.</p> <p>In beiden Anlagen kann der Füllstandsverlauf beim Absenken auch durch die RDB-Füllstandssonden verfolgt werden (Ansprechen von MIN1 und MIN2).</p>
<p>Füllstandsregelung bei $\frac{3}{4}$-Loop-Betrieb</p>	<p>Nach dem Erreichen des Füllstandssollwertes wird die ND-Reduzierstation vom Handbetrieb auf automatische Einhaltung des Füllstandes in den Hauptkühlmittelleitungen umgeschaltet.</p>	<p>Nach dem Erreichen des Füllstandssollwertes wird die ND-Reduzierstation vom Handbetrieb auf automatische Einhaltung des Füllstandes in den Hauptkühlmittelleitungen umgeschaltet.</p>	<p>In beiden Anlagen wird der Füllstand bei $\frac{3}{4}$-Loop-Betrieb automatisch geregelt.</p>

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
Merkmal 2: Maßnahmen und Einrichtungen zur Beherrschung eines fehlerhaften Füllstandsabfalls			
2a: Maßnahmen und Einrichtungen zur Erkennung eines fehlerhaften Füllstandsabfalls	Fällt der Füllstand auf Unterkante Loop ab, so kommt es über das Kriterium „Durchfluss in der Mindestmengenleitung < 28 kg/s“ zur Schutzabschaltung der Nachkühlpumpen. Auf der Warte erscheint die Schalterfallmeldung (KMA-Meldung) der Nachkühlpumpen.	Fällt der Füllstand auf Unterkante Loop ab, so erhalten die TH-Pumpen einen Schutz-Aus-Befehl wegen Durchsatz < 25 kg/s, KMA-Meldung “TH AUSFALL NACHKÜHL” auf der Warte.	In beiden Anlagen ist das Problem spätestens durch die Meldung über die Abschaltung der Nachkühlpumpen erkennbar.
2b: Prozeduren zur Beherrschung des Ereignisablaufs	Das Vorgehen bei dieser Störung wird im BHB Teil 2, Kap. 4.13 „Füllstandsabfall im Reaktorkühlsystem bei überbrücktem DH-Füllstand“ behandelt. Diese Prozedur befindet sich seit 2000 in Überarbeitung. Ein Entwurf liegt der GRS vor /GKN 00/.	Das Vorgehen bei dieser Störung wird im BHB T2, Kap. 2.4.13 „Störung der Nachwärmeabfuhr“ behandelt.	In beiden Anlagen ist eine Prozedur vorhanden, in welcher das Vorgehen zur Beherrschung dieses Ereignisablaufs vorgeplant wurde.
Wiederinbetriebnahme der abgeschalteten Nachkühlstränge:	Der derzeitige Stand der Prozedur BHB T2, Kap. 4.13, Abs. 2.3 sieht vor, die ausgefallenen Nachkühlstränge so schnell wie möglich wieder in Betrieb zu nehmen. Ein Hinweis auf die durchzuführende Entlüftung für die Wiederinbetriebnahme, ist nicht enthalten. Wie bei der Entlüftung vorzugehen ist, ist im BHB T4, Kap. 1.11 beschrieben. Anmerkung: Der Entwurf des Kapitels BHB T2, Kap. 4.13, Abs. 2.3 „Störung der Nachwärmeabfuhr“ /GKN 00/ enthält diesen Hinweis.	Die Prozedur BHB T2, Kap. 2.4.13 „Störung der Nachwärmeabfuhr“ enthält keine Beschreibung, wie bei der Wiederzuschaltung (Entlüftung) ausgefallener TH-Stränge vorzugehen ist.	In beiden Anlagen sind im aktuellen Stand der BHB-Prozedur zur Beherrschung dieses Ereignisablaufes keine Hinweise zum Entlüften bei der Wiederinbetriebnahme ausgefallener Nachkühlstränge enthalten.

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
<p>2c: Systemfunktionen zur Beherrschung des Ereignisablaufs</p> <p>Leckabspernung</p>	<p>1. Das Rückschlagventil JNA12/32 AA003 in der Saugleitung (Zweitabspernung) schließt bei Auslaufen der Nachkühlpumpe durch Druckabfall in der Impulsleitung.</p> <p>2. Nach Abschalten der Nachkühlpumpe schaltet die UGS in das Programm „Stillstand“. Dadurch werden u. a. Absperrarmaturen vor der ND-Reduzierstation JNA20/30 AA007 geschlossen.</p>	<p>1. Rückschlagventil TH12/22 S003 in der Saugleitung (Zweitabspernung) schließt bei Auslaufen der Nachkühlpumpe durch Druckabfall in der Impulsleitung.</p> <p>2. Durch das Begrenzungssignal „Mitte-Loop-Begrenzung 2v4“ (< 0,28 m), erhalten die TH-Entnahmemarmaturen TH10/20S010 einen Schließ-Befehl.</p>	<p>In beiden Anlagen wird bei Ausfall der Niederdruck-Reduzierstation durch automatisches Schließen von weiteren Armaturen die Kühlmittelentnahme beendet.</p>
<p>Reservenachkühlstrang</p>	<p>Bei Absenken auf ¾-Loop ist ein Nachkühlstrang in Flutbereitschaft zu halten (BHB T2, Kap. 3.1.5, Abs. 3 und Kap.3.2.4, Abs. 3).</p>	<p>Sobald beim Absenken der DH-Füllstand 2,85 m erreicht, ist ein TH-Strang in Notkühlbereitschaft zu halten (BHB T2, Kap. 1.1.2, Seite 11).</p> <p>Bei einem Füllstandsabfall mit Abschaltung der Nachkühlumpen ist mit dem in Flutbereitschaft stehenden Nachkühlstrang zu fluten.</p>	<p>In beiden Anlagen ist ein Nachkühlstrang in Flutbereitschaft zu halten, um den RKL im Falle eines ungewollten Füllstandsabfalls schnell wieder auffüllen zu können.</p>

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
Druckspeicher	<p>6 v 8 Druckspeichern sind verfügbar zu halten. Im Anforderungsfall (Ausfall der Nachkühlpumpen) sind diese gemäß der Schichtanweisung 2-SAW-41 nacheinander einzuspeisen, bis ein Druckhalterfüllstand von ca. 3 m angezeigt wird.</p> <p>Allerdings findet sich im derzeitigen Stand der Prozedur BHB Teil 2, Kap. 4.13 „Füllstandsabfall im Reaktorkühlsystem bei überbrücktem DH-Füllstand“ noch kein Hinweis auf die Druckspeichereinspeisung.</p> <p>Das Inventar der Druckspeicher kann im Rahmen der schutzzielorientierten Störfallbeherrschung in den RKL eingespeist werden, wenn das Schutzziel RDB-Füllstand > MIN3 verletzt ist. (BHB T3, Kap. 1.1, Abs. 2.3 und Kap. 1.3, Abs. 3.2.1).</p>	<p>Entsprechend den Voraussetzungen und Bedingungen zum Stillstand der Anlage sind bei ¾-Loop-Betrieb keine Druckspeicher vorzuhalten (kein Hinweis auf Druckspeicher in BHB T2, Kap. 1.1.2).</p> <p>Das Inventar der Druckspeicher kann, sofern diese verfügbar sind, im Rahmen der schutzzielorientierten Störfallbeherrschung in den RKL eingespeist werden, wenn das Schutzziel RDB-Füllstand > MIN3 verletzt ist. (BHB T2, Kap. 2.5.3-2, Seite 7).</p>	<p>In GKN-1 sind entsprechend den Voraussetzungen und Bedingungen zum Stillstand der Anlage für den ¾-Loop-Betrieb im Gegensatz zu GKN-2 keine Druckspeicher vorzuhalten.</p>

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
Dampferzeuger	Ein Dampferzeuger einschließlich FD-Abblaseregelventil und Notspeisestrang ist bis zum Öffnen des RDB gefüllt verfügbar zu halten (BHB T2, Kap. 3.1.5, Abs. 3).	Ein Dampferzeuger einschließlich FD-Abblaseregelventil und Notspeisestrang ist bis zum Entspannen des RDB-Deckels für die Nachwärmeabfuhr betriebsbereit zu halten (BHB T2, Kap. 1.1.2, Seite 8).	In beiden Anlagen wird ein Dampferzeuger vorgehalten, um bei Ausfall der Nachkühlstränge die Nachwärme aus dem RKL abführen zu können. Um eine Deborierung des Primärkühlmittels zu verhindern ist es erforderlich, den RKL wieder aufzufüllen, damit sich im Primärkreis ein Naturumlauf ausbildet. Hierfür muss Kühlmittel durch Fluten mit einem Nachkühlstrang bzw. mit Druckspeichern ergänzt werden. Eine Bewertung, inwieweit im Hinblick auf die Deborierung bei diesem Ereignisablauf relevante Unterschiede zwischen GKN-1 und GKN-2 vorliegen, ist anhand der uns verfügbaren Unterlagen nicht möglich.
Merkmal 2d: Karenzzeiten zur Beherrschung des Ereignisablaufs	Nach Abschaltung aller Nachkühlpumpen heizt sich das Kühlmittel im RKL mit einer Rate von ca. 4K/min auf, ausgehend vom Kühlmittelinventar bei einem Loop-Füllstand von 0,48 m (Schutz-Zu ND-Red.) BHB T2, Kap. 4.13, Abs. 2.3, Ist der Füllstand bis Unterkante Loop abgefallen, geht die Aufheizung entsprechend schneller.	Die genaue Aufheizrate ist der GRS nicht bekannt. Die Nachzerfallsleistung ist in GKN-1 aufgrund der thermischen Leistung der Anlage geringer. Dafür steht durch den kleineren RDB weniger Kühlmittelinventar zur Verfügung.	Es konnte im Rahmen dieser Untersuchung nicht ermittelt werden, in welcher Anlage längere Karenzzeiten zur Verfügung stehen.

5 Bewertung

5.1 Relevante Unterschiede

Aus unserer Sicht bestehen folgende sicherheitstechnisch relevanten Unterschiede bezüglich der Vermeidung und Beherrschung des betrachteten Ereignisablaufes.

Zu Merkmal 1: Maßnahmen und Einrichtungen zur Einhaltung eines anforderungsgerechten Füllstandes bei der Füllstandsabsenkung und bei $\frac{3}{4}$ -Loop-Betrieb

In GKN-1 wird eine Füllstandsmessung auf der Warte angezeigt. Durch den Aufbau der Füllstandsmessung ist der RDB-Füllstand in dieser Anlage zu jedem Zeitpunkt bekannt. In GKN-2 steht während des Zeitraums der Füllstandsabsenkung zwischen dem DH Füllstand von 1,75 m bis zur Oberkante Loop demgegenüber keine direkte Messung zur Verfügung.

In GKN-2 werden zwei Füllstandsmessungen auf der Warte angezeigt. Ferner stehen als diversitäre Überwachungseinrichtung die RDB-Füllstandssonden (Grenzwert MIN-3, ca. 22 cm im Loop) so lange verfügbar, bis die Kabelbrücke zum RDB-Deckel demontiert wird. In GKN-1 ist in diesem Füllstandsbereich bei geschlossenem RDB keine diversitäre Füllstandsüberwachung wirksam.

Zu Merkmal 2: Maßnahmen und Einrichtungen zur Beherrschung eines fehlerhaften Füllstandsabfalls

(Merkmal 2c: Systemfunktionen zur Beherrschung des Ereignisablaufs)

In der Anlage GKN-1 sind entsprechend der Sicherheitsspezifikation „Voraussetzungen und Bedingungen für den Stillstand der Anlage“ für den Zeitraum der Füllstandsabsenkung und des $\frac{3}{4}$ -Loop-Betriebs keine Druckspeicher vorzuhalten und daher ggf. als redundante Einspeisemöglichkeit nicht verfügbar.

5.2 Bewertung der relevanten Unterschiede

Zu Merkmal 1: Maßnahmen und Einrichtungen zur Einhaltung eines anforderungsgerechten Füllstandes bei der Füllstandsabsenkung und bei $\frac{3}{4}$ -Loop-Betrieb

- Füllstandsüberwachung:

In **GKN-1** wird nur eine Messstelle auf der Warte angezeigt. Die anderen vier Messstellen dienen der Regelung und Verriegelung. Durch den Aufbau der RDB-Füllstandsmessung ist der Füllstand zu jedem Zeitpunkt bekannt. Während der Überschneidung der Messbereiche der DH-Füllstandsmessung und der Messstelle der RDB-Füllstandsmessung, welche auf der Warte angezeigt wird, kann deren Funktion überprüft werden.

In **GKN-2** liegt über einen bestimmten Zeitraum keine direkte Information über den aktuellen Füllstand vor. Der Füllstandsverlauf wird hier über eine Mengenbilanz abgeschätzt. Als diversitäre Messeinrichtung stehen bis zum Öffnen des RDB die RDB-Füllstandssonden (MIN3) zur Verfügung.

Eine Abwägung der genannten technischen Unterschiede bezüglich ihrer Vor- und Nachteile bedürfte weitergehender Analysen, die im Rahmen dieser Untersuchung nicht machbar sind.

Zu Merkmal 2: Maßnahmen und Einrichtungen zur Beherrschung eines fehlerhaften Füllstandsabfalls

- Maßnahmen und Einrichtungen zur Beherrschung des Ereignisablaufs:

In beiden Anlagen steht für das Fluten nach einem Füllstandsabfall ein Reserve-nachkühlstrang in Bereitschaft. Versagt diese Maßnahme, dann ist in beiden Anlagen ein Fluten mit den Druckspeichern im Rahmen der schutzzielorientierten Störfallbehandlung möglich. In der Anlage GKN-2 sind 6 von 8 Druckspeichern für den Zeitraum der Füllstandsabsenkung und des $\frac{3}{4}$ -Loop-Betriebs bereitzuhalten. In der Anlage GKN-1 sind entsprechend den Voraussetzungen und Bedingungen zum Stillstand der Anlage für den $\frac{3}{4}$ -Loop-Betrieb keine Druckspeicher vorzuhalten. Das Fluten (Wiederauffüllen) ist zwingend erforderlich, um den Nachkühlbetrieb wieder einrichten zu können und – falls sich der Nachkühlbetrieb nicht einrichten lässt – eine Deborierung des Primärkühlmittels im Reflux-Condenser-Betrieb (Wärmeabfuhr über einen Dampferzeuger) zu verhindern.

Bezüglich der im BHB vorgeschriebenen Bereitstellung von zusätzlicher System-

technik zur Beherrschung eines fälschlichen Füllstandsabfalls ist die Situation in der Anlage GKN-2 daher als günstiger einzuschätzen als in der Anlage GKN-1.

5.3 Fazit

In der Anlage GKN-2 besteht ein Vorteil aufgrund der im Betriebshandbuch vorgeschriebenen Bereitstellung von zusätzlicher Systemtechnik (Druckspeicher) zur Beherrschung eines fälschlichen Füllstandsabfalls.

6 Literatur

- /BMU 01/ Grundsätze der Tätigkeit von Sachverständigen im Auftrag der Bundesaufsicht über die Ausführung des Atomgesetzes im Hinblick auf Atomkraftwerke, Forschungsreaktoren und sonstige Reaktoren (Sachverständigen-Grundsätze der Bundesaufsicht über Atomkraftwerke), Stand: Juli 2001
- /BMU 06/ SR 2569 „Sicherheitstechnische Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung“, 05.12.2006
- /GRS 03/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH:
Sicherheitstechnische Bedeutung von Zuständen bei Nicht-Leistungsbetrieb eines DWR
GRS-A-3114, Mai 2003
- /GRS 96/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH:
Untersuchung von Ereignisabläufen bei abgeschalteter Anlage
GRS-A-2336, Juni 1996
- /KTR 06/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Öko-Institut e.V., Physikerbüro Bremen:
Aktualisierung des Kerntechnischen Regelwerks, Module 1 – 11, Revision B, Entwurf Stand: September 2006, BMU-Vorhaben SR 2475



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische
Überprüfung von Anla-
gen zu ausgewählten
Anforderungen und
Ereignissen im Rahmen
von Anträgen zur Rest-
strommengenübertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 12:

„Kleines Leck an der druck-
führenden Umschließung
zwischen 20 cm² und 50 cm²“

SR 2569



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 12:
„Kleines Leck an der druckführenden Umschließung zwischen 20 cm² und 50 cm²“

Februar 2008

Auftrags-Nr.: 820410

Anmerkung:

Dieser Bericht ist im Auftrag des BMU im Rahmen des Vorhabens SR 2569 erstellt worden. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt werden bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers und der Unterauftragnehmer wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers übereinstimmen.

Vorwort

Im Atomgesetz wurden mit der Änderung vom 26.04.2002 die Reststrommengen für die in Betrieb befindlichen Kernkraftwerksblöcke in Deutschland festgelegt. Über die Zustimmung zur Übertragung von Elektrizitätsmengen entscheidet das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) im Einvernehmen mit dem Bundeskanzleramt und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Im Rahmen der Entscheidungsfindung des BMU über die Anträge auf Übertragung von Elektrizitätsmengen hat das BMU auch eine vergleichende Sicherheitsüberprüfung zwischen einer Anlage, die Strommengen abgibt und derjenigen, welche die Strommengen bekommen soll, vorgesehen. Da in der zur Verfügung stehenden Zeit keine in Prüfungsumfang und -tiefe mit der Durchführung und der sachverständigen Prüfung von Sicherheitsüberprüfungen nach § 19a AtG vergleichbare, umfassende Ermittlung und sicherheitstechnische Bewertung beider Anlagen möglich ist, beauftragte das BMU die GRS, zusammen mit benannten Unterauftragnehmern mit der „Sicherheitstechnischen Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung“ /BMU 06/. Auftragsgegenstand sind punktuelle Untersuchungen einzelner Bewertungsgegenstände, die gemeinsam von BMU, GRS und den Unterauftragnehmern festgelegt wurden. Um dem BMU eine vergleichende Bewertung zu ermöglichen, ob sichergestellt ist, dass die beantragte Übertragung von einer neueren auf eine ältere Anlage nicht zu Lasten der Sicherheit geht, wurden sicherheitstechnisch relevante Bewertungsgegenstände für jede beantragte Übertragung insbesondere unter Beachtung folgender Kriterien ausgewählt:

- die anlagentechnischen Gegebenheiten der antragsgemäß betroffenen abgebenden und empfangenden Anlage beinhalten wesentliche Unterschiede und / oder
- die Bewertungsgegenstände berühren Entwicklungen seit Genehmigungserteilung bezüglich des Standes von Wissenschaft und Technik und
- die Untersuchungen sind in der zur Verfügung stehenden Zeit voraussichtlich durchführbar.

Dabei wird die sicherheitstechnische Fragestellung weitgehend auf die Beherrschbarkeit von zu erwartenden oder im Rahmen der Nachweisführung postulierten Ereignismöglichkeiten bezogen.

Die Durchführung eines nur punktuellen, aber die genannten Auswahlkriterien beachtenden Prüfprogramms ist aus Sicht des Auftraggebers gerechtfertigt, da der Gesetzgeber die Festlegung der konkreten Maßstäbe für die Prüfung, ob die beabsichtigte Übertragung zu Lasten der Sicherheit ginge und deren willkürfreie Anwendung in § 7 Abs. 1b Satz 2 AtG der Exekutive überlassen hat; Art und Umfang der Ermittlung der für seine Sicherheitsbewertung entscheidungserheblichen Tatsachen sind vom BMU im Rahmen seines Verfahrensermessens zu bestimmen.

Das Überprüfungskonzept basiert auf einer Auswertung und Bewertung von Unterlagen, die der Betreiber für die einzelnen Bewertungsgegenstände dem BMU vorlegen soll. Für den Fall, dass keine spezifischen Unterlagen vorgelegt werden, ist auftragsgemäß vorgesehen, alle Dokumente und Informationen, die in den beteiligten Sachverständigenorganisationen für die hier anstehenden Aufgaben zur Verfügung stehen, für diese Überprüfung zu nutzen. Da diese Dokumente und Informationen hinsichtlich ihrer Aktualität und Belastbarkeit sehr unterschiedlich sein können, wird zu jedem Bewertungsgegenstand ein einheitlich klassifizierter Unterlagen- und Quellennachweis vorgelegt. Dabei wird zwischen den folgenden Kategorien unterschieden:

- Kategorie 1: im atomrechtlichen Verfahren geprüfte / begutachtete bzw. vom BMU freigegebene Unterlagen,
- Kategorie 2: Stellungnahmen der RSK bzw. der SSK und
- Kategorie 3: nicht im Sinne von Kategorie 1 geprüfte Unterlagen, die jedoch nach Auffassung der Auftragnehmer Informationen zum Sachverhalt enthalten.

Die vergleichenden Darstellungen zu den einzelnen Bewertungsgegenständen basieren jeweils auf diesen Unterlagen und spiegeln den darin wiedergegebenen Anlagenzustand wieder. Abweichungen zum derzeitigen Anlagenzustand aufgrund zwischenzeitlich durchgeführter Änderungen sind nicht auszuschließen.

Bewertungsmaßstab ist der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik. Dabei sind neben dem Erfüllungsgrad von regulatorischen Sicherheitsanforderungen bezüglich der Beherrschbarkeit von Ereignissen insbesondere auch die anlagenspezifischen Reserven in die Bewertung einzubeziehen. Aufgrund der Begrenzungen in der Bearbei-

tungszeit und im Umfang und Detaillierungsgrad der Unterlagen erfolgt aber keine vollständige Überprüfung sondern eine Fokussierung auf wesentliche grundlegende Sicherheitsanforderungen. Die für die jeweiligen Bewertungsgegenstände spezifischen Bewertungsmerkmale werden in den einzelnen Berichten ausgewiesen. Die Bewertungsmerkmale beziehen sich grundsätzlich entweder unmittelbar auf grundlegende Sicherheitsanforderungen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik oder mittelbar auf anlagentechnisch vergleichbare Sicherheitsfunktionen mit Anforderungen entsprechend des gestaffelten Sicherheitskonzepts. Die Bewertung der Sicherheitsfunktionen erfolgt im Wesentlichen im Hinblick auf deren Wirksamkeit und Qualität.

Auftragsgemäß sollen die Überprüfungen anhand deterministischer Bewertungsweisen erfolgen. Dieser methodische Ansatz kann in einigen Fällen dazu führen, dass bei der vergleichenden Bewertung von komplexen Systemkonstellationen bezüglich der Beherrschbarkeit eines Ereignisses keine eindeutige, abschließende Bewertung möglich ist. Im Rahmen der hier vorgesehenen Bewertungen wären weiterführende probabilistische Bewertungen auch aufgrund fehlender spezifischer Unterlagen in der vorgesehenen Bearbeitungszeit nicht durchführbar und sind daher auftragsgemäß nicht vorgesehen.

Es besteht daher Einvernehmen mit dem BMU darin, dass aufgrund der Begrenzung der Überprüfungsdauer und der Unterlagensituation wesentliche Anforderungen der "Sachverständigengrundsätze für die Bundesaufsicht" /BMU 01/ nicht eingehalten werden können. Die Abweichungen beziehen sich insbesondere auf die Vollständigkeit, Aktualität und Belastbarkeit von Unterlagen bei der Sachverhaltsermittlung sowie die Bewertungsmethoden, die im vorliegenden Fall weitgehend auf ingenieurmäßige Betrachtungsweisen eingeschränkt sind.

Die durchgeführten Sicherheitsvergleiche beinhalten keine aufsichtliche Überprüfung der betroffenen Anlagen. Auftragsgemäß wird zu jedem Bewertungsgegenstand ein separater Ergebnisbericht erstellt. Eine Gesamtbewertung ist nicht beauftragt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale.....	2
2.1	Beschreibung des Ereignisablaufes.....	2
2.2	Bewertungsmerkmale	4
3	Verwendete Unterlagen	6
4	Anlagenvergleich	7
5	Bewertung.....	16
5.1	Zusammenfassung der relevanten Unterschiede.....	16
5.2	Bewertung der relevanten Unterschiede.....	18
5.3	Fazit	19
6	Literatur.....	20

1 Einleitung

Im vorliegenden Bericht geht es um sicherheitstechnische Vergleiche im Zusammenhang mit dem Antrag der EnBW Kernkraft GmbH vom 21.12.2006 an das BMU auf Übertragung von Elektrizitätsmengen vom Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 2 (GKN-2) auf das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 1 (GKN-1). Dazu wurden von den Auftragnehmern in Abstimmung mit dem BMU 23 Bewertungsgegenstände definiert. Auftragsgemäß erfolgt für jeden Bewertungsgegenstand (BG) eine separate Auswertung.

Nachfolgend wird der Bewertungsgegenstand 12 „Kleines Leck an der druckführenden Umschließung zwischen 20 cm² und 50 cm²“ behandelt. Dies ist ein Ereignis der Sicherheitsebene 3.

2 **Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale**

2.1 **Beschreibung des Ereignisablaufes**

Bei Auftreten eines kleinen Lecks an der druckführenden Umschließung bei Vollast sinken der Druck im Primärkreis und der Füllstand im Druckhalter. Durch den Druckanstieg im Sicherheitsbehälter (SHB) wird über das Kriterium Differenzdruck SHB/ Atmosphäre > 30 mbar Reaktorschnellabschaltung und Turbinenschnellschluss (RESA/TUSA) ausgelöst.

Unterschreitet der Druck im Primärkreis 132 bar und überschreitet der Druck im SHB 30 mbar wird in GKN-1 und GKN-2 automatisch das Abfahren mit 100 K/h über die Sekundärseite ausgelöst und die Wärme wird über die Frischdampfumleitstation (FDU) bzw. (bei zusätzlich unterstelltem Notstromfall) über Frischdampf (FD)-Abblaseventile abgeführt. Die Dampferzeuger werden nach RESA über die Schwachlastregelventile der Hauptspeisewasserpumpen bzw. bei deren Ausfall über die An- und Abfahrpumpen bespeist.

Unterschreitet nach Anstehen von 30 mbar im SHB der Druck im Primärkreis 109 bar_ü oder fällt der Druckhalter(DH)-Füllstand unter 2,85 m (GKN-1) bzw. 2,28 m (GKN-2) stehen Notkühlkriterien an. Es folgt u. a. Durchschalten und Start der Sicherheitseinspeisepumpen, Durchschalten der Druckspeicher, Zuschalten der Nachkühlkette und Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen und des Volumenregelsystems sowie der Start der Boreinspeisung über das Zusatzboriersystem in GKN-2.

Je nach Leckgröße ist es zielführend, die Sicherheitseinspeisepumpen wieder abzuschalten, damit diese nicht dem Primärkreis ihren Förderdruck aufprägen. Dazu müssen die Notkühlkriterien überbrückt werden.

Bei einem Kühlmitteldruck (KMD) < 26 bar speisen die Druckspeicher in den RKL ein und tragen damit neben den HD-Pumpen zum Fluten des Reaktorkerns bei. Die in den „kalten Strang“ des RKL einspeisenden Druckspeicher werden nach 700 s (GKN-2: 500 s) durch das Reaktorschutzsystem abgesperrt, sind jedoch bei diesem Ereignis zu diesem Zeitpunkt bereits vollständig geleert. Die in den „heißen Strang“ des RKL einspeisenden Druckspeicher werden teilsystembezogen bei einem „Druckspeicher-Füllstand $< 1,0$ m (GKN-2: 1,5 m)“, frühestens aber nach 700 s (GKN-2: 500 s) durch das Reaktorschutzsystem abgesperrt.

Bei einem Kühlmitteldruck $< 9 \text{ bar}_\text{ü}$ werden die Nachkühlpumpen gestartet und speisen in den Primärkreislauf (PKL) ein. Unterschreitet der Füllstand in den Flutbehältern 0,8 m bzw. 0.5 m (in GKN-2) werden die Stränge auf Saugen aus dem Sumpf umgeschaltet. Die Wärme wird zum einen über die Sekundärseite und zum anderen durch das Fördern des angesaugten Sumpfwassers über die Nachwärmekühler an die Nachkühlkette abgeführt. Somit ist ein stabiler Zustand erreicht.

2.2 Bewertungsmerkmale

Für die vergleichende Bewertung sind die folgenden Bewertungsmerkmale heranzuziehen:

1. Zur Ereignisbeherrschung erforderliche Maßnahmen und Einrichtungen
2. Abstand zu den gemäß Regelwerk auf Sicherheitsebene 3 geforderten Nachweiskriterien für die Brennstabintegrität
3. Abstand zu dem gemäß Regelwerk auf Sicherheitsebene 3 geforderten Nachweiskriterium „Druck im SHB < 85% Auslegungsdruck des SHB“
4. Zusätzliche Maßnahmen und Einrichtungen, die noch zur Verfügung stehen, aber zur Ereignisbeherrschung nicht erforderlich sind.

Zudem werden beim Bewertungsgegenstand „Kleines Leck zwischen 20 cm² und 50 cm² innerhalb des Sicherheitsbehälters“ folgende für die Ereignisbeherrschung relevanten Störfallaspekte als gesonderte Bewertungsmerkmale in den Anhängen 1 und 2 diskutiert

5. Sicherstellung der Kernkühlung bei Kühlmittelverluststörfällen mit Freisetzung von Isoliermaterial (siehe Anhang 1)
6. Vermeidung von Rekritikalität bei kleinen Lecks mit Reflux-Condenser-Betrieb (siehe Anhang 2)

Hinweise:

a) Ein Bewertungsmerkmal „Maßnahmen zur Vermeidung von kleinen Lecks“ wird nicht in diesem Bewertungsgegenstand behandelt, da dies im Bewertungsgegenstand 3 „Nachweis des Bruchausschlusses für die druckführende Umschließung“ erfolgt.

b) Ein wesentlicher Unterschied zwischen beiden Anlagen ist die Reaktorleistung (GKN-2: 3850 MW_{th} und GKN-1: 2497 MW_{th} → Faktor 1,54). Dieser Unterschied erfordert bei einigen Bewertungsmerkmalen eine leistungsbezogene Gegenüberstellung, in dem der jeweilige Parameter mit dem o.g. Faktor gewichtet wird.

c) Anordnung und Auslegung der Not- und Nachkühlketten (Not- und Nachkühlsystem, Zwischenkühlwassersystem und Nebenkühlwassersystem): In GKN-2 sind vier getrennte Not- und Nachkühlketten vorhanden. GKN-1 besitzt drei getrennte Not- und

Nachkühlketten, da GKN-1 eine 3-Loop-Anlage ist. Die drei Nachkühlketten in GKN-1 werden durch zusätzliche Einrichtungen so ergänzt, dass auch unter Berücksichtigung eines Einzelfehlers und eines Instandhaltungsfalls zwei Nachkühlketten verfügbar sind, wenn die Nachkühler verfahrenstechnisch intakt sind. Im Not- und Nachkühlsystem und Nebenkühlwassersystem wird dies durch einen zusätzlichen Strang sichergestellt, der über Rückschlagklappen an die drei Not- und Nachkühlketten angebunden ist bzw. auf die in Reparatur stehende Not- und Nachkühlkette geschaltet ist. Im Zwischenkühlsystem sind die Zwischenkühlpumpen einschließlich der Armaturen doppelt vorhanden, so dass auch dort zwei Stränge verfügbar sind.

d) In der PSÜ für GKN-1 wurde anstelle des aktuellen 100 K/h-Abfahrens das 120 K/h-Abfahren bewertet. Im Weiteren wird nur das 100 K/h-Abfahren entsprechend BHB bewertet.

3 **Verwendete Unterlagen**

Die folgenden Unterlagen wurden für den Anlagenvergleich herangezogen:

- Unterlagen der Kategorie 1

/PSÜ 01/ Siemens AG

PSÜ-Sicherheitsstatusanalyse für die Konvoi Kernkraftwerke
(Stand Juni 2001)

/PSÜ 96/ Siemens AG

Sicherheitsstatusanalyse für das Gemeinschaftskraftwerk Neckar Block 1
(Stand August 1996)

/TÜV 01/ TÜV Arbeitsgemeinschaft Konvoi

Konvoianlagen: Gutachten zur Sicherheitsstatusanalyse (September 2001)

/TÜV 97/ TÜV Energie und Systeme:

GKN-1, Gutachterliche Stellungnahme zur periodischen Sicherheitsüberprüfung (September 1997)

/BHB-GKN1/ Betriebshandbuch GKN 1, Stand 26.03.2007

/BHB-GKN2/ Betriebshandbuch GKN-2, Stand 26.03.2007

/NHB-GKN1/ GKN-1: Notfallhandbuch, Stand 6/2002

/NHB-GKN2/ GKN-2: Notfallhandbuch, Stand 4/1997

/TH GKN-1/ GKN-1, Systembeschreibung TH-System, Stand 16.02.2006

/JN GKN-2/ GKN-2, Systembeschreibung Nukleares Nachwärmeabfuhrsystem JN,
BE-Beckenkühlsystem FAK, Stand 21.07.2005

/LBA GKN-2/ GKN-2, Systembeschreibung Frischdampfleitungssystem LBA, Stand
21.07.2005

4 Anlagenvergleich

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
Bewertungsmerkmal 1: Zur Ereignisbeherrschung erforderliche Maßnahmen und Einrichtungen		
Leistungsreduzierung/Abschaltung – RESA/TUSA über den Differenzdruck SHB/Atmosphäre >30 mbar	Leistungsreduzierung/Abschaltung – RESA/TUSA über den Differenzdruck SHB/Atmosphäre >30 mbar	Kein relevanter Unterschied
Maßnahmen im Sekundärkreislauf – Durch den Druckabfall im PKL wird bei Unterschreiten von 131 bar _ü (zusätzlich zum Differenzdruck SHB/Atmosphäre >30 mbar) das 100 K/h-Abfahren über die FDU über Reaktorschutzsignale ausgelöst (/PSÜ 01/, Kap. 2.3.2.1.2.1)	Maßnahmen im Sekundärkreislauf – Durch den Druckabfall im PKL wird bei Unterschreiten von 131 bar _ü (zusätzlich zum Differenzdruck SHB/Atmosphäre >30 mbar) das 100 K/h-Abfahren über die FDU über Reaktorschutzsignale ausgelöst (/BHB GKN-1/, Kap. 2.5.3-4)	Kein relevanter Unterschied
Benötigte Einrichtungen für die Frischdampfabgabe für das 100 K/h-Abfahren: Ohne zusätzlichen Notstromfall	Benötigte Einrichtungen für die Frischdampfabgabe für das 100 K/h-Abfahren: Ohne zusätzlichen Notstromfall	
– Mindestens 3v4 FDU Stellventile (Kapazität: 4 x 15 % P _{th,Nenn} bei 63,5 bar _ü), (/PSÜ 01/, Kap. 2.5.1.10)	– 3v3 FDU-Stellventile (Kapazität: 3 x 19,6 % P _{th,Nenn} bei 61,3 bar _ü), Zum Abfahren mit 100 K/h sind nur die Umleitventile der Drehstromturbine vorgesehen, die Umleitventile der Bahnstromturbine reichen zum Abfahren nicht aus (/PSÜ 97/ Kap.2.5.1.10)	Zum 100 K/h-Abfahren über die FDU sind in GKN-2 3v4 FDU Stellventile nötig, in GKN-1 3v3 Stellventile. Für Merkmal 1 kein relevanter Unterschied

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<p>Benötigte Einrichtungen für die Frischdampfabgabe beim 100 K/h-Abfahren: Mit zusätzlichem Notstromfall</p> <ul style="list-style-type: none"> – Mindestens 1v4 Abblaseregelventile (bis 150°C Kühlmitteltemperatur), Kapazität: 4 x 514 kg/s bei 85 bar_ü (34,7 kg/s bei 6 bar_ü), (/PSÜ 01/, Kap. 2.5.1.10) – Nach BHB ab 12 bar geringerer Abfahrgradient, ein minimaler Druck von 4 bar erreichbar mit 1 v 4 Abblaseregelventilen – In PSÜ auch Aussage, dass 2 v 4 zum Abfahren bis 120°C notwendig sind (5.4, S. 168) 	<p>Benötigte Einrichtungen für die Frischdampfabgabe beim 100 K/h-Abfahren: Mit zusätzlichem Notstromfall</p> <ul style="list-style-type: none"> – 1v3 FD-Abblaseregelventile bis 19 bar_ü – 2v3 FD-Abblaseregelventile bis 6 bar_ü, Kapazität: 3 x 420 kg/s bei 83 bar_ü, (/PSÜ 97/, Kap. 2.5.1.10), – 3v3 FD-Abblaseregelventile bis 6 bar_ü, (/BHB-GKN1/, Kap. 2.5.3-4) 	<p>Zum 100 K/h-Abfahren über die FD-Abblasestation auf 6 bar sind in GKN-2 laut PSÜ 2v4 FD-Abblaseregelventile nötig, in GKN-1 2v3 Abblaseregelventile laut PSÜ für das 120 K/h Abfahren. (Aufgrund der u. g. Kapazitäten der Abblaseventile von GKN-1 erscheinen die Angaben in der PSÜ für den Anlagenvergleich belastbarer. Die gesamte Abblasekapazität in GKN-2 beträgt 2056 kg/s bei 85 bar_ü Die gesamte Abblasekapazität in GKN-1 beträgt auf die Reaktorleistung von GKN-2 bezogen 1940 kg/s bei 83 bar_ü. Insgesamt ergibt sich kein relevanter Unterschied.</p>
<p>Dampferzeugerbespeisung beim 100 K/h Abfahren</p>	<p>Dampferzeugerbespeisung beim 100 K/h Abfahren</p>	
<p>Benötigte Einrichtungen für die Dampferzeugerbespeisung beim 100 K/h-Abfahren: Ohne zusätzlichen Notstromfall</p>	<p>Benötigte Einrichtungen für die Dampferzeugerbespeisung beim 100 K/h-Abfahren: Ohne zusätzlichen Notstromfall</p>	
<ul style="list-style-type: none"> – Mindestens 1v3 Hauptspeisewasserpumpen in Schwachlast, Kapazität 1130 kg/s, über das Schwachlastventil 170 kg/s, (/PSÜ 01/, Kap. 2.5.1.8) 	<ul style="list-style-type: none"> – Mindestens 1v3 Hauptspeisewasserpumpen in Schwachlast, Kapazität 440 kg/s bei 85 bar_ü, über das Schwachlastventil 140 kg/s, (/PSÜ 97/, Kap. 2.5.1.8) 	<p>Kein relevanter Unterschied</p>
<p>Benötigte Einrichtungen für die Dampferzeugerbespeisung beim 100 K/h-Abfahren: Mit zusätzlichem Notstromfall</p>	<p>Benötigte Einrichtungen für die Dampferzeugerbespeisung beim 100 K/h-Abfahren: Mit zusätzlichem Notstromfall</p>	
<ul style="list-style-type: none"> – 2v2 An-/Abfahrpumpen (automatisch über 	<ul style="list-style-type: none"> – 2v3 An-/Abfahrpumpen (automatisch über 	<p>In GKN-2 werden 2v2 An- und Abfahrpumpen</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
DE-Füllstand < 9 m), Kapazität 42 kg/s bei 93 bar _ü , (/PSÜ 01/, Kap. 2.5.1.8)	DE-Füllstand < 9 m), Kapazität 20,8 kg/s bei 87,2 bar _ü , (/PSÜ 01/, Kap. 2.5.1.8)	zum Abfahren mit 100 K/h benötigt, in GKN-1 2v3. Es ergibt sich kein relevanter Unterschied.
Maßnahmen im Primärkreislauf	Maßnahmen im Primärkreislauf	
<p>Bei DH-Füllstand < 2,28 m oder Druck < 109 bar_ü und Anstehen von 30 mbar SHB-Druckdifferenz stehen die Notkühlkriterien an.</p> <p>Gleichzeitig erfolgt Primärkreis- und SHB-Abschluss. Die HD-Einspeisung mit 4 Sicherheitseinspeisepumpen wird gestartet und die Druckspeicher werden durchgeschaltet (/PSÜ 01/, Kap. 2.3.2.1.2.1)</p>	<p>Bei DH-Füllstand < 2,85 m (RDB-Füllstand < 6,84 m) oder Druck < 109 bar_ü und Anstehen von 30 mbar SHB-Druckdifferenz stehen die Notkühlkriterien an.</p> <p>Gleichzeitig erfolgt Primärkreis- und SHB-Abschluss. Die HD-Einspeisung mit 4 Sicherheitseinspeisepumpen wird gestartet und die Druckspeicher werden durchgeschaltet (/PSÜ 97/, Kap. 2.3.2.1.2.1)</p>	Keine relevanten Unterschiede
<p><u>Zur Leckergänzung während des 100 K/h-Abfahrens werden benötigt:</u> 1v4 Sicherheitseinspeisepumpen 1v4 ND-Einspeisepumpen (Flutbetrieb) 1v4 Flutbecken (je ca. 450 m³ Wasserinventar)</p> <p>Die Sicherheitseinspeisepumpen und ND-Einspeisepumpen (Flutbetrieb) müssen mit dem verfügbaren Flutbehälter verbunden sein.</p> <p>Bei Unterschreiten von 0,5 m im Flutbecken werden die Saugstränge zu den HD-Pumpen abgesperrt und die 3-Wege-Ventile in den Saugsträngen der ND-Pumpen auf Sumpfansaugung umgeschaltet.</p>	<p><u>Zur Leckergänzung während des 100 K/h-Abfahrens werden benötigt:</u> 1v4 Sicherheitseinspeisepumpen 1v4 ND-Einspeisepumpen (Flutbetrieb) 1v4 Flutbehälter (je 215 m³ Wasserinventar /BHB-GKN1/)</p> <p>Die Sicherheitseinspeisepumpen und ND-Einspeisepumpen (Flutbetrieb) müssen mit dem verfügbaren Flutbehälter verbunden sein.</p> <p>Bei Unterschreiten von 0,8 m im Flutbehälter werden die Saugstränge zu den HD-Pumpen abgesperrt und die 3-Wege-Ventile in den Saugsträngen der ND-Pumpen auf Sumpfansaugung umgeschaltet.</p>	<p>Kein relevanter Unterschied Kein relevanter Unterschied Die Flutbehälterinventare in GKN-2 sind auch unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Volumina der Primärkreise größer als in GKN-1. Für das 100 K/h-Abfahren kein relevanter Unterschied</p> <p>Kein relevanter Unterschied</p> <p>Der höhere Füllstandgrenzwert im Flutbehälter zur Umschaltung auf Sumpfansaugung in GKN-1 im Vergleich zu GKN-2 führt zu einer geringeren Nutzung des Flutbehälterinventars. Relevant ist aber die verfügbare Gesamtmenge.</p> <p>bzgl. der notwendigen Flutbehälterkapazitäten bei Berücksichtigung von Totvolumina s. Bewertungsgegenstand 22</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
1v4 ND-Einspeisepumpen (Sumpfbetrieb) (/PSÜ 01/, Kap. 2.5.1.4)	1v4 ND-Einspeisepumpen (Sumpfbetrieb) (/PSÜ 97/, Kap. 2.5.1.4)	Kein relevanter Unterschied.
Primärseitige Wärmeabfuhr	Primärseitige Wärmeabfuhr	
<p>Zur Nachkühlung werden mindestens 1v4 Nachkühlketten benötigt.</p> <p>Die Nachkühlketten müssen mit den verfügbaren ND-Einspeisepumpen (Sumpfbetrieb) verbunden sein (/PSÜ 01/, Kap. 2.5.1.5, 2.5.1.6).</p>	<p>Zur Nachkühlung werden mindestens 1v3 Nachkühlketten benötigt.</p> <p>Die Nachkühlketten müssen mit den verfügbaren ND-Einspeisepumpen (Sumpfbetrieb) verbunden sein. (/PSÜ 97/, Kap. 2.5.1.5/2, 2.5.1.6)</p> <p>Aufgrund der Anordnung und Auslegung der redundanten Stränge des nuklearen Zwischenkühlwassersystems (TF) und Nebenkühlwassersystems (VE) ist in GKN-1 gewährleistet, dass durch Störfallfolgenwirkungen bei KMV im RSB kein Strang unverfügbar wird, und auch unter Berücksichtigung von Einzelfehler in einer Pumpe oder Armatur sowie Strangausfall durch Instandhaltung kurzfristig eine Mindestverfügbarkeit von 2 von 3 Strängen erhalten bleibt. (/PSÜ 97/, Kap. 2.5.1.5, 2.5.1.6)</p>	<p>In GKN-2 kann für jedes Notkühlsystem die Nachwärme über eine eigene Nachkühlkette abgeführt werden.</p> <p>In GKN-1 sind nur für die drei Notkühlsysteme TH10/20/30 eigene Nachkühlketten vorhanden.</p> <p>Für Merkmal 1 kein relevanter Unterschied</p>
Bewertungsmerkmal 2: Abstand zu den gemäß Regelwerk auf Sicherheitsebene 3 geforderten Nachweiskriterien für die Brennstabintegrität		
Die zulässigen Hüllrohrtemperaturen (<1200 °C) werden auch unter konservativen Randbedingungen eingehalten (/TÜV 01/, Kap. 5.3.1.1.1.3).	Bei den unterstellten Randbedingungen: standardisierte Randbedingungen für Notkühlanalysen, $P_{th} = 106\%$, Nachzerfallsleistung nach DIN 25463 +2 sigma erreicht die maximale Hüllrohrtemperatur beim 50 cm ² -Leck 495 °C. (/TÜV 97/, Kap. 4.2.2.1.1.1)	kein Vergleich möglich, da zu GKN-2 keine konkreteren Angaben vorliegen

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
Bewertungsmerkmal 3: Abstand zu dem gemäß Regelwerk auf Sicherheitsebene 3 geforderten Nachweiskriterium Druck im SHB < 85% Auslegungsdruck des SHB		
Siehe schutzzielorientiertes BHB, $P_{\max} < 2 \text{ bar}$ (Auslegungsdruck: 5,9 bar _ü)	Siehe schutzzielorientiertes BHB, $P_{\max} < 2 \text{ bar}$ (Auslegungsdruck: 4,7 bar _ü)	Für das Ereignis kein relevanter Unterschied
Bewertungsmerkmal 4: Zusätzliche Maßnahmen und Einrichtungen, die noch zur Verfügung stehen, aber zur Ereignisbeherrschung nicht erforderlich sind		
Leistungsreduzierung/Abschaltung <ul style="list-style-type: none"> – RESA-Anregekriterien: • Füllstand DH < 2,28 m • Druck PKL < 131 bar_ü UND $P_{\text{th}} > 12\%$ • DNB < 1,18 	Leistungsreduzierung/Abschaltung <ul style="list-style-type: none"> – RESA-Anregekriterien: • Füllstand DH < 2,85 m UND Druck PKL < 143 bar_ü • Druck PKL < 134 bar_ü UND $P_{\text{th}} > 12\%$ • DNB < 1,18 	Kein relevanter Unterschied
Ohne zusätzlichen Notstromfall	Ohne zusätzlichen Notstromfall	
Maßnahmen im Sekundärkreislauf	Maßnahmen im Sekundärkreislauf	
Zusätzliche Einrichtungen für die Frischdampfabgabe beim 100 K/h-Abfahren:	Zusätzliche Einrichtungen für die Frischdampfabgabe beim 100 K/h-Abfahren:	
<ul style="list-style-type: none"> – 1 FDU-Ventil (Der Ausfall eines FDU-Ventils kann kompensiert werden), (/PSÜ 01/, Kap. 2.5.1.10.1) – 4 FD-Abblaseregelventile 1 Ventil ist ausreichend zum Abfahren bis 150 °C KMT, Kapazität: je 514 kg/s bei 85 bar_ü, 34,7 kg/s bei 6 bar_ü, (/PSÜ 01/, Kap. 2.5.1.10) – Nach BHB ab 12 bar geringerer Abfahrgra- 	<ul style="list-style-type: none"> – kein FDU-Ventil, da alle 3 Umleitventile der Drehstromturbine zum 100 K/h Abfahren notwendig sind und die Umleitventile der Bahnstromturbine zum Abfahren nicht vorgesehen sind (/PSÜ 97/, Kap. 2.3.2.1.2.1). – 3 FD-Abblaseregelventile, 2 FD-Abblaseregelventile werden zum 100 K/h Abfahren laut PSÜ benötigt, (/PSÜ 97/, Kap. 2.5.1.10) 	<p>In dem Fall steht im Bereich der Einrichtungen des anomalen Betriebs zum 100 K/h-Abfahren in GKN-2 ein weiteres FDU-Ventil als Reserve zur Verfügung. In GKN-1 werden alle FDU-Ventile zum 100 K/h Abfahren benötigt.</p> <p>In GKN-2 stehen mit den 4 Abblaseregelventilen zwei zusätzliche Redundanzen zur Verfügung. In GKN-1 steht zum 100 K/h Abfahren mit den 3 Abblaseregelventilen eine zusätzliche Redundanz zur Verfügung.</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<p>dient, ein minimaler Druck von 4 bar erreichbar mit 1 v 4 Abblaseregelventilen</p> <ul style="list-style-type: none"> – In PSÜ auch Aussage, dass 2 v 4 zum Abfahren bis 120°C notwendig sind (5.4, S. 168) – 4 x 100% Sicherheitsventile, im gesamten Druckbereich von 116 bar bis 2 bar zum 100 K/h Abfahren einsetzbar, Kapazität: je 514 kg/s bei 87,3 bar_ü, /LBA GKN-2/ – Handmaßnahmen (Simulationen im Reaktorschutz) erforderlich (schutzzielorientiertes BHB, Teil 3, Kap. 1.3, Abschn. 3.2.3, S. 5) 	<ul style="list-style-type: none"> – Öffnung von 3 x 100% Sicherheitsventile von Hand bei einem Druck unter 19 bar_ü von der Notsteuerstelle aus möglich, Kapazität: je 540 kg/s bei 87 bar_ü, (/PSÜ 97/, Kap. 2.5.1.10) – Diese Ventile können mittels Schlüssel-schalter in der Notsteuerstelle auch bei einem Druck > 20 bar geöffnet werden (im NHB beschrieben). 	<p>In GKN-2 stehen vier FD-SIV zusätzlich zur Verfügung. In GKN-1 stehen drei zusätzlich zur Verfügung. In beiden Anlagen werden analog zu den Abblaseregelventilen jeweils zwei FD-SiV zum Abfahren von uns als erforderlich angenommen.</p> <p>In GKN-2 ist die Maßnahme im BHB beschrieben, in GKN-1 im NHB.</p> <p>In GKN-2 erfordert die Maßnahme aufwändigere Prozeduren.</p>
<p>Zusätzliche Einrichtungen für die Dampferzeugerbespeisung beim 100 K/h-Abfahren:</p>	<p>Zusätzliche Einrichtungen für die Dampferzeugerbespeisung beim 100 K/h-Abfahren:</p>	
<ul style="list-style-type: none"> – 2 Hauptspeisewasserpumpen – 2 An-/Abfahrpumpen, notstromgesichert, Start automatisch über DE-Füllstand < 9 m, Kapazität 42 kg/s bei 93 bar_ü, 2 Pumpen werden benötigt, (/PSÜ 01/, Kap. 2.5.1.8) – 4 Notspeisepumpen (RS-Signal über DE-Füllstand < 5 m) mit je einem Notspeisebecken (je 360 m³) für 100 K/h-Abfahren und NWA für 10 h (können über Diesel oder über E-Motor angetrieben werden), 2 Pumpen notwendig, (/PSÜ 01/, Kap. 2.5.1.9) 	<ul style="list-style-type: none"> – 2 Hauptspeisewasserpumpen – 3 An-/Abfahrpumpen, notstromgesichert, (automatisch über DE-Füllstand < 9 m, Kapazität 20,8 kg/s bei 87,2 bar_ü, für das Abfahren werden 2v3 An- und Abfahrpumpen benötigt (/PSÜ 01/, Kap. 2.5.1.8) – 4 Notspeisepumpen (RS-Signal über DE-Füllstand < 5 m) mit je einem Notspeisebecken (je 205 m³, entspricht auf die Reaktorleistung von GKN-2 bezogen 316 m³) für 100 K/h-Abfahren und NWA für 10 h (werden über E-Motor angetrieben, notstromgesichert), drei Notspeisepumpen speisen di- 	<p>Kein relevanter Unterschied bzgl. der Hauptspeisewasserpumpen</p> <p>In GKN-2 werden beide An- und Abfahrpumpen zum Abfahren mit 100 K/h benötigt. In GKN-1 werden 2v3 An- und Abfahrpumpen benötigt.</p> <p>In GKN-2 können die Notspeisepumpen bei verfügbarem Eigenbedarf diversitär über E-Motor angetrieben werden. In GKN-1 werden Notspeisepumpen mit Elektromotor angetrieben.</p> <p>Die Unterschiede im Inventar der Notspeisebe-</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
	rekt in die SPW-Leitungen, die vierte wird über Rückschlagklappen mit den anderen drei Notspeisewassersystemen verbunden, 2 Pumpen werden benötigt, (/PSÜ 97/, Kap. 2.5.1.9)	cken stellen bei diesem Ereignis keinen relevanten Unterschied dar.
Mit zusätzlichem Notstromfall	Mit zusätzlichem Notstromfall	
Zusätzliche Einrichtungen für die Frischdampfabgabe beim 100 K/h-Abfahren:	Zusätzliche Einrichtungen für die Frischdampfabgabe beim 100 K/h-Abfahren:	
<ul style="list-style-type: none"> – 2 FD-Abblaseregelventile 1 Ventil ist ausreichend zum Abfahren bis 150 °C KMT, Kapazität: je 514 kg/s bei 85 bar_ü, 34,7 kg/s bei 6 bar_ü, (/PSÜ 01/, Kap. 2.5.1.10) – Nach BHB ab 12 bar geringerer Abfahrgradient, ein minimaler Druck von 4 bar erreichbar mit 1 v 4 Abblaseregelventilen – In PSÜ auch Aussage, dass 2 v 4 zum Abfahren bis 120°C notwendig sind (5.4, S. 168) – 4 x 100% Sicherheitsventile, im gesamten Druckbereich von 116 bar bis 2 bar zum 100 K/h Abfahren einsetzbar, Kapazität: je 514 kg/s bei 87,3 bar_ü, /LBA GKN-2/ – Handmaßnahmen (Simulationen im Reaktorschutz) erforderlich (schutzzielorientiertes BHB, Teil 3, Kap. 1.3, Abschn. 3.2.3, S. 5) 	<ul style="list-style-type: none"> – 1 FD-Abblaseregelventil, 2 FD-Abblaseregelventile werden zum 100 K/h Abfahren laut PSÜ benötigt, (/PSÜ 97/, Kap. 2.5.1.10) – Öffnung von 3 x 100% Sicherheitsventile von Hand bei einem Druck unter 19 bar_ü von der Notsteuerstelle aus möglich, Kapazität: je 540 kg/s bei 87 bar_ü, (/PSÜ 97/, Kap. 2.5.1.10) – Diese Ventile können mittels Schlüsselschalter in der Notsteuerstelle auch bei einem Druck > 20 bar geöffnet werden (im NHB beschrieben). 	<p>In GKN-2 steht mit 2 Abblaseregelventilen eine zusätzliche Redundanz zur Verfügung. In GKN-1 steht zur Unterstützung des 100 K/h Abfahrens ein Abblaseregelventil zusätzlich zur Verfügung.</p> <p>In GKN-2 stehen vier FD-SIV zusätzlich zur Verfügung. In GKN-1 stehen drei zusätzlich zur Verfügung. In beiden Anlagen werden analog zu den Abblaseregelventilen jeweils zwei FD-SIV zum Abfahren von uns als erforderlich angenommen.</p> <p>In GKN-2 ist die Maßnahme im BHB beschrieben, in GKN-1 im NHB. In GKN-2 erfordert die Maßnahme aufwändigere Prozeduren.</p>
Zusätzliche Einrichtungen für die Dampferzeugerbespeisung beim 100 K/h-Abfahren:	Zusätzliche Einrichtungen für die Dampferzeugerbespeisung beim 100 K/h-Abfahren:	
4 Notspeisepumpen (RS-Signal über DE-	4 Notspeisepumpen (RS-Signal über DE-	Kein relevanter Unterschied

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<p>Füllstand < 5 m) mit je einem Deionatbecken (je 360 m³) für 100 K/h-Abfahren und NWA für 10 h (Im Notstromfall ist nur Dieselantrieb möglich), 2 Pumpen werden benötigt, (/PSÜ 01/, Kap. 2.5.1.8)</p>	<p>Füllstand < 5 m) mit je einem Deionatbecken (je 205 m³, entspricht auf die Reaktorleistung von GKN-2 bezogen 316 m³) für 100 K/h-Abfahren und NWA für 10 h (werden über E-Motor angetrieben werden, notstromgesichert), 2 Pumpen notwendig (/PSÜ 97/, Kap. 2.5.1.9)</p>	
<p>Zusätzliche Einrichtungen für die Kernkühlung</p>	<p>Zusätzliche Einrichtungen für die Kernkühlung</p>	
<ul style="list-style-type: none"> – Zusätzlich zur o .g. 1v4 Sicherheitseinspeisepumpe stehen mit gleicher Kapazität 3 Sicherheitseinspeisepumpen zur Verfügung (/PSÜ 01/, Kap. 2.5.1.4) – 4 Druckspeicher je ca. 34 m³ heißseitig – 4 Druckspeicher je ca. 34 m³ kaltseitig (/PSÜ 01/, Kap. 2.5.1.4) – Zum Flutbetrieb 3 ND-Einspeisepumpen (/PSÜ 01/, Kap. 2.5.1.4) – 3 Flutbecken (je ca. 450 m³ verfügbar), (/PSÜ 01/, Kap. 2.5.1.4) – Zwei Not- und Nachkühlsysteme können Kühlwasser aus dem BE-Becken nutzen. Keine Angaben zur Menge verfügbar /BHB/ – Zum Sumpfbetrieb 3 ND-Einspeisepumpen (/PSÜ 01/, Kap. 2.5.1.4) – HD-ND-Sumpfrückförderung mit 4 Nachkühlsträngen möglich (Mindestwirksamkeit ist nicht nachgewiesen) /BHB GKN-2/ 	<ul style="list-style-type: none"> – Zusätzlich zur o .g. 1v4 Sicherheitseinspeisepumpe stehen mit gleicher Kapazität 3 Sicherheitseinspeisepumpen zur Verfügung (/PSÜ 97/, Kap. 2.5.1.4) – 3 Druckspeicher je 45 m³ heißseitig – 3 Druckspeicher je 34 m³ kaltseitig (/PSÜ 97/, Kap. 2.5.1.4) – Zum Flutbetrieb 3 ND-Einspeisepumpen (/PSÜ 97/, Kap. 2.5.1.4) – 3 Flutbecken (je ca. 215 m³ verfügbar /BHB-GKN1/) – Aus dem BE-Becken können 90 m³ Kühlwasser genutzt werden (/BHB-GKN1/, Kap. 2.5.4-2) – Zum Sumpfbetrieb 3 ND-Einspeisepumpen (/PSÜ 97/, Kap. 2.5.1.4.1) – HD-ND-Sumpfrückförderung mit 3 Nachkühlsträngen möglich (Mindestwirksamkeit ist nicht nachgewiesen) (/PSÜ 97/, Kap. 2.5.1.4 und /NHB-GKN1/, Kap2-2.1) 	<p>Zum Reflux-Condenser-Betrieb bei zwei ausgefallenen HD-Sicherheitseinspeisungen (siehe Anhang 2)</p> <p>Die Druckspeicherinventare in GKN-1 sind unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Volumina der Primärkreise größer als in GKN-2.</p> <p>Kein Unterschied</p> <p>Die Flutbehälterinventare in GKN-2 sind auch unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Volumina der Primärkreise größer als in GKN-1.</p> <p>Die verfügbaren Daten zur Nutzung von Kühlwasser aus dem BE-Becken reichen nicht aus für einen Anlagenvergleich.</p> <p>Zur möglichen Verstopfung der Sumpfsiebe und Beeinträchtigung der Kernkühlung im Sumpfbetrieb siehe Anhang 1</p> <p>Die Sumpfrückführung ist in GKN-2 in 4 Strängen möglich, in GKN-1 in 3 Strängen.</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<p>Primärseitige Wärmeabfuhr 3 Nachkühlketten, (/PSÜ 01/, Kap. 2.5.1.4)</p>	<p>Primärseitige Wärmeabfuhr 2 Nachkühlketten (/PSÜ 97/, Kap. 2.5.1.4) In GKN-1 sind nur für drei Notkühlsysteme (TH10/20/30) eigene Nachkühlketten vorhanden. Aufgrund der Anordnung und Auslegung der redundanten Stränge des nuklearen Zwischenkühlwassersystems (TF) und Nebenkühlwassersystems (VE) ist in GKN-1 gewährleistet, dass durch Störfallfolgewirkungen bei KMV im RSB kein Strang unverfügbar wird, und somit unter Berücksichtigung von Einzelfehler in einer Pumpe oder Armatur sowie Strangausfall durch Instandhaltung kurzfristig eine Mindestverfügbarkeit von 2 von 3 Strängen erhalten bleibt. (/PSÜ 97/, Kap. 2.5.1.5, 2.5.1.6).</p>	<p>Kein relevanter Unterschied soweit die Nachkühler verfahrenstechnisch intakt sind.</p>
<p>Zusätzliche Einrichtungen für die Primärseitige Wärmeabfuhr</p> <ul style="list-style-type: none"> – 2 Notnachkühlketten (jeweils parallelgeschaltete Pumpen zu den Pumpen der Nachkühlketten) – 2 zusätzliche Zwischenkühlkreispumpen, nicht notstromversorgt 	<p>Zusätzliche Einrichtungen für die Primärseitige Wärmeabfuhr</p> <ul style="list-style-type: none"> – Keine zusätzlichen Möglichkeiten – 2 Zwischenkühlpumpen pro Zwischenkühlkreislauf 	<p>In GKN-2 sind zwei Stränge des Not- und Nachkühlsystems zur Notstandsnachkühlung ausgelegt. GKN-2 hat 2 zusätzliche, nicht notstromgesicherte Zwischenkühlkreispumpen. GKN-1 hat in allen 3 Zwischenkühlkreisläufen je zwei Zwischenkühlpumpen</p>

5 Bewertung

5.1 Zusammenfassung der relevanten Unterschiede

Hinsichtlich des Bewertungsgegenstandes „Kleines Leck an der druckführenden Umschließung zwischen 20 cm² und 50 cm²“ wurden die folgenden relevanten Unterschiede erkannt:

Zu Merkmal 4: Zusätzliche Maßnahmen und Einrichtungen, die noch zur Verfügung stehen, aber zur Ereignisbeherrschung nicht erforderlich sind.

- Ohne zusätzlich unterstellten Notstromfall steht im Bereich der Einrichtungen des anomalen Betriebs zum 100 K/h-Abfahren in GKN-2 ein weiteres FDU-Ventil als Reserve zur Verfügung. In GKN-1 werden alle Drehstrom-FDU-Ventile zum 100 K/h-Abfahren benötigt. Die beiden Bahnstrom-FDU-Ventile in GKN-1 können auf der Warte von Hand zugeschaltet werden.
- In GKN-2 stehen mit den 4 Abblaseregelventilen zwei zusätzliche Redundanzen zur Verfügung. In GKN-1 steht zum 100 K/h Abfahren mit den 3 Abblaseregelventilen eine zusätzliche Redundanz sowie ein zusätzliches Ventil zur Verfügung. Wenn nur ein Abblaseregelventil verfügbar ist, kann in GKN-1 jedes der drei 100% Sicherheitsventile bei Drücken unter 19 bar_ü von Hand von der Notsteuerstelle aus geöffnet werden. Damit kann die Anlage soweit abgefahren werden, dass die Kühlmittelergänzung und Nachwärmeabfuhr von den Nachkühlpumpen übernommen werden.
- Mit Schlüsselschaltern kann GKN-1 allein mit den Sicherheitsventilen abgefahren werden (die Maßnahme ist im NHB beschrieben). Damit steht in GKN-1 eine zusätzliche Redundanz zum 100 K/h Abfahren zur Verfügung. In GKN-2 stehen mit den vier FD-SIV zwei zusätzliche Redundanzen zur Verfügung. Diese Maßnahme ist im BHB beschrieben, sie erfordert jedoch aufwändigere Prozeduren (Simulationen im Reaktorschutz).
- Ohne zusätzlich unterstellten Notstromfall steht bei GKN-1 eine zusätzliche An- und Abfahrpumpe zur Verfügung. In GKN-2 können die Notspeisepumpen jeweils direkt über die Notspeisediesel oder bei verfügbarem Eigenbedarf diversitär über E-Motor angetrieben werden. In GKN-1 werden die 4 Notspeisepumpen ausschließlich mit jeweils einem notstromversorgten Elektromotor angetrieben.

- Bei zusätzlich unterstelltem Notstromfall steht mit 2 Abblaseregelventilen zum 100 K/h-Abfahren in GKN-2 eine zusätzliche Redundanz zur Verfügung. Da in GKN-1 nur ein zusätzliches Abblaseregelventil verfügbar ist, muss in diesem Fall eines der drei 100% Sicherheitsventile bei Drücken unter 19 bar_ü von Hand von der Notsteuerstelle aus geöffnet werden. Damit kann die Anlage soweit abgefahren werden, dass die Kühlmittelergänzung und Nachwärmeabfuhr von den Nachkühlpumpen übernommen werden.
- Bei zusätzlich unterstelltem Notstromfall kann GKN-1 mit Schlüsselschaltern von der Notsteuerstelle aus allein mit den Sicherheitsventilen abgefahren werden (die Maßnahme ist im NHB beschrieben). Damit steht in GKN-1 eine zusätzliche Redundanz zum 100 K/h Abfahren zur Verfügung. In GKN-2 stehen mit den vier FD-SIV zwei zusätzliche Redundanzen zur Verfügung. Diese Maßnahme ist im BHB beschrieben, sie erfordert jedoch aufwändigere Prozeduren bei den Simulationen im Reaktorschutz als in GKN-1.
- Das in den Druckspeichern und Flutbehältern insgesamt zur Verfügung stehende Kühlmittelinventar ist in GKN-2 auch unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Volumina der Primärkreise größer als in GKN-1.
- Die HD-ND-Sumpfrückführung ist in GKN-2 in 4 Strängen möglich, in GKN-1 in 3 Strängen.
- GKN-2 hat 2 als Notnachkühlketten ausgelegte Notkühlstränge, außerdem zwei zusätzliche nicht notstromgesicherte Zwischenkühlkreispumpen. GKN-1 hat in den drei Zwischenkühlkreisläufen je zwei notstromgesicherte Zwischenkühlpumpen.

Zu Merkmal 5: Sicherstellung der Kernkühlung bei Kühlmittelverluststörfällen mit Freisetzung von Isoliermaterial (Detailvergleich siehe Anhang 1)

- In GKN-2 sind je zwei Notkühlssysteme an eine Sumpfansaugkammer angeschlossen. GKN-1 besitzt für alle vier Notkühlssysteme eine eigene Sumpfansaugkammer.
- In GKN-2 wird in geringen Mengen mikroporöses Material als Isoliermaterial eingesetzt. Dieses mikroporöse Material erhöht, falls es freigesetzt wird, die Druckverluste über Isoliermaterialablagerungen. Dies kann Freispülmaßnahmen erforderlich machen bzw. früher erforderlich machen. Die nachfolgende Resuspension kann zu einer Erhöhung der Ablagerungen im Kern (Erhöhung der Druckverluste) führen. In GKN-1 wurde durch den Austausch mikroporösen Materials gegen MDK der oben beschriebene Nachteil von mikroporösem Material beseitigt.

Zu Merkmal 6: Vermeidung von Rekritikalität bei kleinen Lecks mit Reflux-Condenser-Betrieb (Detailvergleich siehe Anhang 2)

- In GKN-2 speist das Sicherheitseinspeisesystem voreingestellt auf der heißen Seite ein. In GKN-1 erfolgt die Sicherheitseinspeisung voreingestellt auf der kalten Seite. Aufgrund der relativ geringen Druckdifferenz zwischen dem heißen und dem kalten Strang beim kleinen Leck erfolgt in beiden Kraftwerken keine Umschaltung von der Leckseite zur nicht vom Leck betroffenen Seite.
- Das Verhältnis der Volumina im Ringraum und unterem Plenum zur relevanten Kondensatmenge ist in GKN-1 größer.

5.2 Bewertung der relevanten Unterschiede

Zu Merkmal 4: Zusätzliche Maßnahmen und Einrichtungen, die noch zur Verfügung stehen, aber zur Ereignisbeherrschung nicht erforderlich sind.

- Die Unterschiede in den Umleitstationen ergeben keinen Vorteil für eine der beiden Anlagen.
- Bei Nichtverfügbarkeit der Umleitstationen steht in GKN-2 ein FD-Abblaseventil mehr zur Verfügung. Dies wird in GKN-1 bezogen auf die Abblasekapazität kompensiert durch die Möglichkeit ein FD-Sicherheitsventil von der Notsteuerstelle aus zu öffnen.
- Weiterhin können beide Anlagen allein mit den FD-SIV abgefahren werden. Dafür steht in GKN-2 eine Redundanz mehr zur Verfügung.
- In GKN-1 erfordert das Öffnen der FD-SIV weniger aufwändigere Prozeduren.
- Ohne unterstellten Notstromfall wird die Diversität der Antriebe der Notspeisepumpen in GKN-2 gegenüber der zusätzlichen An- und Abfahrpumpe in GKN-1 als Vorteil eingeschätzt.
- Bei unterstelltem Notstromfall steht in GKN-2 ein FD-Abblaseventil mehr zur Verfügung. Dies wird in GKN-1 bezogen auf die Abblasekapazität kompensiert durch die Möglichkeit ein FD-Sicherheitsventil von der Notsteuerstelle aus zu öffnen.
- Weiterhin kann bei unterstelltem Notstromfall in beiden Anlagen allein mit den FD-SIV abgefahren werden. Dafür steht in GKN-2 eine Redundanz mehr zur Verfügung. In GKN-2 erfordert diese Maßnahme jedoch aufwändigere Prozeduren (Si-

mulationen im Reaktorschutz). Insgesamt besteht diesbezüglich ein Vorteil für GKN-2.

- Bei unterstelltem Notstromfall ist die zusätzliche An- und Abfahrpumpe in GKN-1 ein Vorteil.
- GKN-2 hat bezogen auf das Primärkreisvolumen ein ca. 10% größeres Notkühlwasserinventar. Daraus leitet sich jedoch unter der Voraussetzung des Erreichens des erforderlichen Sumpffüllstandes kein Vorteil ab (s. Bewertungsgegenstand 22).
- Die Tatsache, dass die HD-ND-Sumpfrückführung in GKN-2 in einem Strang mehr möglich ist als in GKN-1 stellt einen Vorteil dar.
- GKN-2 hat zwei Notnackkühlketten zur primärseitigen Wärmeabfuhr. Dies ist ein Vorteil für GKN-2.

Zu Merkmal 5: Sicherstellung der Kernkühlung bei Kühlmittelverluststörfällen mit Freisetzung von Isoliermaterial (siehe Anhang 1)

- Die vollständige Entmaschung der Sumpfansaugkammern in GKN-1 ist vorteilhaft, da die Kühlmittelergänzung bei Maßnahmen zur Verringerung der Druckverluste nicht unterbrochen werden muss. Zusätzlich führt der vollständige Austausch von mikroporösem Dämmstoff mit MDK zu einem Vorteil für GKN-1.

Zu Merkmal 6: Vermeidung von Rekritikalität bei kleinen Lecks mit Reflux-Condenser-Betrieb (siehe Anhang 2)

- Die voreingestellte Sicherheitseinspeisung auf die kalten Stränge und das stärkere Aufborierungspotenzial im Ringraum und im unteren Plenum in GKN-1 ist in Bezug auf Deborierungereignisse bei Störfällen mit kleinem Leck als Vorteil zu bewerten.

5.3 Fazit

Aus den einzelnen Unterschieden lässt sich kein eindeutiger Vorteil für eine der beiden Anlagen ableiten (GKN-1: eine zusätzliche An- und Abfahrpumpe, einfachere Prozeduren zum Öffnen der FD-SIV, vollständige Entmaschung der Sumpfansaugkammern, voreingestellte Sicherheitseinspeisung auf die kalten Stränge und stärkeres Aufborierungspotenzial im Ringraum und im unteren Plenum; GKN-2: eine Redundanz mehr zur sekundärseitigen Wärmeabfuhr, zwei Notnackkühlketten zur primärseitigen Wärmeabfuhr, Diversität der Antriebe der Notspeisepumpen bei verfügbarem Eigenbedarf, eine zusätzliche HD-ND-Sumpfrückführung).

6 Literatur

- /BMU 01/ Grundsätze der Tätigkeit von Sachverständigen im Auftrag der Bundesaufsicht über die Ausführung des Atomgesetzes im Hinblick auf Atomkraftwerke, Forschungsreaktoren und sonstige Reaktoren (Sachverständigen-Grundsätze der Bundesaufsicht über Atomkraftwerke), Stand: Juli 2001
- /BMU 06/ SR 2569 „Sicherheitstechnische Überprüfung von Anlagen zu ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen zur Reststrommengenübertragung“, 05.12.2006

Anhang 1 zu BG 12

Bewertungsgegenstand: „Kleines Leck an der druckführenden Umschließung zwischen 20 cm² und 50 cm²“

Bewertungsmerkmal 5: Sicherstellung der Kernkühlung bei Kühlmittelverluststörfällen mit Freisetzung von Isoliermaterial

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale.....	2
2.1	Beschreibung des Ereignisablaufs.....	2
2.2	Bewertungsmerkmale	3
3	Verwendete Unterlagen	5
4	Anlagenvergleich	7
5	Bewertung.....	11
5.1	Relevante Unterschiede.....	11
5.2	Bewertung der relevanten Unterschiede.....	11
5.3	Fazit	12

1 Einleitung

In der vorliegenden Anlage geht es um sicherheitstechnische Vergleiche im Zusammenhang mit dem Antrag der EnBW Kernkraft GmbH vom 21.12.2006 an das BMU auf Übertragung von Reststrommengen vom Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 2 (GKN-2) auf das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 1 (GKN-1). Dazu wurden von den Auftragnehmern in Abstimmung mit dem BMU 23 Bewertungsgegenstände definiert. Auftragsgemäß erfolgt für jeden Bewertungsgegenstand (BG) eine separate Auswertung.

Nachfolgend wird im Rahmen des Bewertungsgegenstands 12 „Kleines Leck an der druckführenden Umschließung zwischen 20 cm² und 50 cm²“ das Bewertungsmerkmal 5 „Sicherstellung der Kernkühlung bei Kühlmittelverluststörfällen mit Freisetzung von Isoliermaterial“ separat behandelt.

2 Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale

2.1 Beschreibung des Ereignisablaufs

Während eines Kühlmittelverluststörfalls innerhalb des Sicherheitsbehälters treffen Druckwellen und der Bruchstrahl auf Materialien in der Umgebung des Leckortes, wie die thermische Isolierung, Anstriche, Beton, Korrosionsprodukte und Staub. Zusätzlich können Stoffe durch chemische Reaktionen zwischen dem chemisch aktiven Kühlmittel und den Materialien im Sicherheitsbehälter freigesetzt werden.

Durch Transportvorgänge, wie den Mitriss von Isoliermaterial am Dampf-/Wasserstrahl des Bruches und dem Abwaschen von im Sicherheitsbehälter abgelagerten Stoffen wird ein Teil der freigesetzten Stoffe in den Sumpf eingetragen. Anschließend werden beim Betrieb der Notkühlpumpen im Sumpfumwälzbetrieb die im Sumpfwasser schwelenden Stoffe teilweise an den Sumpfsieben abgelagert und teilweise durch das Notkühlsystem in das Primärsystem und den Reaktorkern eingetragen.

Die Ablagerung von Isoliermaterial und anderer freigesetzter bzw. über chemische Reaktion erzeugter Stoffe auf den Sumpfsieben verursacht eine Belegung der Siebe, was zu einer Erhöhung der Druckverluste über die Sumpfsiebe führt. Der Druckverlust über die belegten Sumpfsiebe kann den für den wirksamen Betrieb der Notkühlpumpen erforderlichen Pumpenvordruck (net positive suction head, NPSH) übersteigen, wenn sich entsprechend viel Isoliermaterial abgelagert hat. Der Verlust des Pumpenvordrucks kann zur Folge haben, dass sich die Pumpenleistung verringert und möglicherweise die Pumpe ausfällt. Der Druckverlust über die Sumpfsiebe kann zudem die mechanischen Auslegungsgrenzen der Sumpfsiebe überschreiten und deren Integrität gefährden.

Das Isoliermaterial und andere Stoffe können auch zum Verschleiß und zum Verstopfen von Komponenten im Notkühlsystem führen. Dabei kann die Funktionsfähigkeit der Komponenten so stark eingeschränkt werden, dass sie ihre Funktion nicht mehr auslegungsgemäß erfüllen können.

Isoliermaterial und andere Stoffe können sich auch an den Abstandshaltern im Reaktorkern oder, in Abhängigkeit von der Maschenweite der Sumpfsiebe, auch am IDF-Fuß (Integrated Debris Filter) eines Brennelements ablagern. Dies führt in beiden Fällen zu einer Verringerung des Kühlmittelflusses durch den Kern und damit zu einer

Verschlechterung der Kernkühlung. Im ungünstigsten Fall können durch unzureichende Kernkühlung Kernschäden auftreten.

2.2 Bewertungsmerkmale

Auf Basis der Stellungnahme der RSK vom 22.07.2004 /RSK 04/ werden für die vergleichende Bewertung dieses Bewertungsmerkmals folgende Detailmerkmale herangezogen:

- Merkmal 1: Konfiguration der Sumpfansaugkammern
- Merkmal 2: Siebform
- Merkmal 3: Siebgröße
- Merkmal 4: Maschenweite der Siebe
- Merkmal 5: Eingesetztes Isoliermaterial
- Merkmal 6: Maßnahmen zur Begrenzung der Druckverluste über die Sumpfsiebe

Auf die Freisetzungsraten von Isoliermaterial wird nicht eingegangen, da die Primärkreise von GKN-2 und GKN-1 geometrisch ähnlich sind und in beiden Anlagen Bruchausschluss nachgewiesen ist. Daher sind Freisetzungsraten in einer ähnlichen Größenordnung zu erwarten. Zum Transportverhalten im Sicherheitsbehälter liegen für beide Anlagen keine spezifischen Angaben vor.

Bei der Bewertung zu beachten sind auch folgende Erkenntnisse, die sich aus den neueren Versuchen der Erlanger-Wanne ableiten lassen /ARE 05.1, ARE 05.2, RSK 07/:

- Eine vollständige Belegung der Sumpfsiebe trat in der Erlanger-Wanne bei einer Belegung von 0.1 kg/m^2 (Sumpfsieb mit Gaze belegt) bzw. bei 0.18 kg/m^2 (Sumpfsiebe mit einer Maschenweite von $3 \times 3 \text{ mm}$) auf. Bei gemessenen Transportraten von etwa 25 % im Sumpf /ARE 05.1/ und der postulierten Transportrate im Sicherheitsbehälter von 50 % /RSK 04/ entspricht dies Freisetzungsraten von 16 kg (Gaze) und 29 kg (Sumpfsiebe mit $3 \times 3 \text{ mm}$ Maschenweite) bei einer Sumpfsiebgröße von 20 m^2 . Diese Freisetzungsraten können auch bei kleinen Lecks auftreten.
- Relevante Ablagerungen wurden in den Brennelement-Dummies bei flachen Sieben mit einer Maschenweite von $3 \times 3 \text{ mm}$, den Isoliermaterialien MD2 und MDK

und großen Isoliermaterialmengen nicht gemessen. Bei Sumpfsieben mit 9 x 9 mm Maschenweite wurden ausgeprägte Isoliermaterialablagerungen in den Brennelement-Dummies gemessen. Bei gefalteten Sumpfsieben (Maschenweite 3 x 3 mm) und bei dem Isoliermaterial RTD2 bzw. bei Isoliermaterialmischungen mit RTD2 traten geringe Ablagerungen von Isoliermaterial /ARE 05.1/ auf.

- Die Einlagerung von Korrosionsmaterial (aus verzinkten ferritischen Strukturen) führt zu einer starken Erhöhung der Druckverluste über abgelagerte Isoliermaterialschichten. Die Druckverluste über die Sumpfsiebe können demnach bereits einen Tag nach Störfallbeginn die Auslegungsgrenzen überschreiten /ARE 05.2/.
- Durch Rückspülung der Sumpfsiebe kann die Druckdifferenz über die Sumpfsiebe signifikant verringert werden /ARE 05.1, ARE 05.2/.
- Ein geringer Eintrag von Isoliermaterial in den Sumpf führt zu einer teilweisen Belegung der Sumpfsiebe und einer Belegung mit erhöhtem Druckverlust über den Abstandshaltern. Die Resuspension von Isoliermaterial führte nach teilweisen Freilegen bzw. dem Abfallen der Siebbeläge zu einer Penetration mit anschließender Belegung der Abstandshalter /RSK 07/.

3 **Verwendete Unterlagen**

Es wurden die folgenden Unterlagen verwendet:

- Kategorie 1

/TH-GKN1/ TH-Kernnot- und Nachkühlsystem,
Systembeschreibung GKN-1, 16.2.2006

/JN-GKN2/ Nukleares Nachwärmesystem JN, Beckenkühlsystem FAK,
Systembeschreibung GKN-2, 21.7.2005

/NHB-GKN1/ NHB-GKN-1, Stand 01.07.2005

/NHB-GKN2/ NHB-GKN-2, Stand 28.07.2003

/GL0 04/ Dr. Glöckle, Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Sicherheitstechnische Nachweisführung zur Beherrschung des Kühlmittelverluststörfalls unter Berücksichtigung der Freisetzung von Isoliermaterial, Schreiben des Bundesumweltministeriums, A2: RS I3-14200/20.13 vom 09.01.04, 19. März 2004

/GL0 05/ Dr. Glöckle, Sicherheitstechnische Nachweisführung zur Beherrschung des Kühlmittelverluststörfalls unter Berücksichtigung der Freisetzung von Isoliermaterial, BMU-Schreiben AZ.: RS I 3-14200/20.13 vom 2. März 2005, Umweltministerium Baden-Württemberg, 3-46511.05/10, 18. März 2005

/SCH 07/ Dr. Scheitler, Umweltministerium Baden-Württemberg, Schreiben an das BMU vom 30.08.2007, Az. 33-4651.30/8

- Kategorie 2

/RSK 04/ RSK, Anlage 2 zum Ergebnisprotokoll der 374. Sitzung der Reaktorsicherheitskommission vom 22.07.2004, „Anforderungen an den Nachweis der Notkühlwirksamkeit bei Kühlmittelverluststörfällen mit Freisetzung von Isoliermaterial und anderen Stoffen“, Juli 2004

- Kategorie 3

/ARE 05.1/ U. Waas, Auswertung skaliertes Integralversuche zum Transport- und Druckverlustverhalten von fragmentierten Isoliermaterial im DWR-Sumpf, AREVA, NGPS4/2005/de/01113, Mai 2006

/ARE 05.2/ H. Ludwig, Auswertung experimenteller Untersuchungen zur Entwicklung des Differenzdruckes über die Sumpfsiebe im Nachstörfallbetrieb unter Berücksichtigung von Korrosionseffekten, AREVA, NGPS4/2005/de/01113, Mai 2006

/FANP 03.1/K. Götz, U. Waas, Erläuterung und Bewertung der Änderungsmaßnahmen des Antrages A020/03, „Vergrößerung der Siebflächen im Reaktorgebäude Sumpf“, FANP, NGPS/2003/de/0053, Rev. F. Juni 2003

/GKN 07/ GKN 1 – Technischer Monatsbericht Juni 2007
EnBW Kernkraftwerk GmBH, Kernkraftwerk Neckarwestheim

/RSK 07/ Ad-hoc RSK-AST „Sumpf“, Ergebnisvermerk der 2. Sitzung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe RSK-AST „Sumpfversuche“ vom 20.06.2007, Juni 2007

4 Anlagenvergleich

Notkühlwirksamkeit bei Kühlmittelverluststörfällen mit Freisetzung von Isoliermaterial

GKN-2	GKN-1	Anmerkung der GRS
Merkmal 1: Konfiguration der Sumpfansaugkammern		
2 getrennte Sumpfansaugkammern /JN-GKN2/	Vier getrennte Sumpfansaugkammern /TH-GKN1/	relevanter Unterschied, weitere Erklärung unter 1. (siehe S. 10)
Merkmal 2: Siebform		
weitgehend flach (2 Faltungen mit sehr großem Winkel)	Geteilte Siebe, TH10: Front- und ein Seitensiebe TH20 und TH30: Front- und zwei Seitensiebe TH40: Frontsieb /TH-GKN1/	Kein relevanter Unterschied
Merkmal 3: Siebgröße		
2 x 22 m ² /GLO 04/	Siebgröße: Insgesamt: 29.4 m ² TH10: 7,58 m ² TH20: 6,93 m ² TH30: 6,59 m ² TH40: 8,26 m ² /TH-GKN1/	Der Unterschied in den Siebgrößen führt bei gleichem Isoliermaterialeintrag in den Sumpf zu größeren Druckverlusten über die Sumpfsiebe, Erklärung unter 2. (siehe S. 10)
Merkmal 4: Maschenweite der Siebe		
3 x 3 mm /GLO 05/	In GKN-1 wurden während der letzten Revision (2007) die Feinsiebe mit 8,5 mm Maschenweite durch die Feinsiebe mit 3 mm Maschenweite ersetzt. /GKN 07/, /SCH 07/	Nach Austausch der Feinsiebe in GKN-1 besteht kein relevanter Unterschied zwischen beiden Anlagen.
Merkmal 5: Isoliermaterial		
Einsatz überwiegend von Mineralwolle; RTD ähnliche Mineralwolle wurde durch MDK ersetzt; in geringem Umfang wird mikroporöser Dämmstoff eingesetzt. /GLO 04/, /GLO 05/	Einsatz von Mineralwolle; mikroporöser Dämmstoff wurde durch MDK ersetzt. /GLO 04/, /GLO 05/	Mikroporöser Dämmstoff führt in Verbindung mit Mineralwolle zu höheren Druckverlusten an den Sumpfsieben /ARE 05.1/. Geringe Zumischungen von mikroporösem Dämmstoff können die Druckverluste über die Sumpfsiebe erhöhen, so dass früher Maßnahmen zum Freispülen der Sumpfsiebe erforderlich werden. Danach kann durch Resuspension Isoliermaterial in den Kern eingetragen werden.

Merkmal 6: Maßnahmen zur Begrenzung der Druckverluste über die Sumpfsiebe		
<p>NHB Teil 2 Kapitel 2.2.2, Rückspülung der JN- Sumpfansaugungen /NHB-GKN2/</p>	<p>NHB Teil 2 Kapitel 2.2, Freispülen RSB- Sumpfansaugungen /NHB-GKN1/,</p>	<p>Kein relevanter Unterschied</p>
<p>Erkennung einer Verstopfung der Sumpfsiebe: Pulsierende Fördermenge mit reduzierten Durchsatz der Nachkühlpumpen im Sumpfbetrieb nach einem KMV-Störfall</p>	<p>Erkennung einer Verstopfung der Sumpfsiebe: Pulsierende Fördermenge mit reduzierten Durchsatz der Nachkühlpumpen im Sumpfbetrieb nach einem KMV-Störfall</p>	<p>Kein relevanter Unterschied</p>
<p>Zur Ablösung der Sumpfsiebbeläge sind folgende Maßnahmen vorgesehen: a) Nachkühlpumpen ab- und wieder zuschalten (JNA10/20 oder JNA30/40) b) Falls a) nicht erfolgreich Rückspülung der JN Sumpfansaugungen mit Wasser aus dem BE-Becken (FAK11, FAK41) c) Falls b) nicht erfolgreich Durchsatz von Hand reduzieren (JNA10/20/30/40)</p>	<p>Zur Ablösung der Sumpfsiebbeläge sind folgende Maßnahmen vorgesehen: a) Durchsatz an in Sumpfbetrieb befindlichen Nachkühlsträngen reduzieren (TH10, TH20, TH30) b) Freispülen aus BE-Becken (TH10, TH30) d) Freispülen aus RKL (TH20, TH10, TH30) e) Freispülen aus Flutbehälter (TH40). Das Freispülen ist nur möglich, falls der Füll-</p>	<p>a) Die Durchsatzreduktion kann in GKN-2 an allen vier Redundanzen vorgenommen werden, in GKN-1 nur an drei. b) Durch das Rückspülen aus dem BE-Becken können in GKN-2 alle Sumpfsiebe frei gespült werden. In GKN-1 können nur die Sumpfsiebe der Not- und Nachkühlsysteme TH10 und TH20 frei gespült werden. c) Die Durchsatzreduktion der Not- und Nachkühlsysteme im Sumpfumwälzbetrieb zur Verringerung des Druckverlustes über die Sumpfsiebe ist nur in GKN-2 explizit beschrieben. In GKN-1 ist dies in 3 Strängen ebenso möglich, da dies ein Teil der Maßnahme a) ist d) In GKN-1 ist zusätzlich zu Rückspülung über das Brennelementbecken eine Rückspülung aus dem Reaktorkühlkreislauf vorgesehen. Diese Rückspülmaßnahme gleicht die Einschränkung bei der Rückspülung aus dem Brennelementbecken für das System TH20 aus. Für die Systeme TH10 und TH20 ist dies eine diversitäre Rückspülung. e) Mit dieser Maßnahme kann in GKN-1 das Sumpfsieb des Notkühlstrangs TH40 rückgespült werden. Diese Rückspülmaßnahme gleicht die Einschränkung bei der</p>

<p>Zeitbedarf: Vorbereitungen : keine Simulationen UBA: 4 -5 Min pro Redundanz Simulationen ULB: 8 -9 Min pro Redundanz Freispülen: keine Angaben</p>	<p>stand > 7m und der Druck < 1.1 bar_{abs} ist. Der Füllstand im Flutbehälter kann mit dem TB-System und aus dem BE-Becken angehoben werden. Zeitangaben für diese Maßnahmen liegen nicht vor.</p> <p>Zeitbedarf: Vorbereitungen : 12 Min Freispülen: 6 Min Angaben gelten für alle Maßnahmen außer Freispülen aus Flutbehälter (TH40)</p>	<p>Rückspülung aus dem Brennelementbecken bzw. aus dem Reaktorkühlkreislauf für das System TH40 nur zum Teil aus, da diese Maßnahme erst bei einem geringen SHB-Druck ausgeführt werden kann und ggf. der Füllstand im Flutbehälter angehoben werden muss. Diese Maßnahme kann daher erst viele Stunden nach Beginn des Sumpfumwälzbetriebs eingesetzt werden. Da Versuche der Erlanger-Wanne /ARE05.1, ARE05.2/ gezeigt haben, dass Freispülvorgänge erst nach 1 Tag zwingend erforderlich werden, ist diese Einschränkung von untergeordneter Bedeutung.</p> <p>Der Zeitbedarf für die Ausführung der Notfallmaßnahmen liegt in beiden Anlagen in gleicher Größenordnung. Kein relevanter Unterschied.</p> <p>Die Vor- und Nachteile von GKN-1 und GKN-2 gleichen sich u. E. aus, so dass hinsichtlich Merkmal 6 kein relevanter Unterschied zu erkennen ist.</p>
---	---	---

1. Die Maßnahme zur Reduzierung der Druckdifferenzen über die Sumpfsiebe erfordert nach derzeitigem Kenntnisstand die Unterbrechung der Kühlmittelergänzung aus der betroffenen Sumpfansaugkammer. Für GKN-1 bedeutet dies, dass nur dasjenige Not- und Nachkühlsystem in der Funktion Kühlmittelergänzung unterbrochen werden muss, bei dem der Sumpfsiebelag vom Sumpfsieb abgelöst werden soll. Die Kühlmittelergänzung bleibt für den Kühlkreislauf erhalten, da mindestens noch ein Not- und Nachkühlsystem in Betrieb bleibt. Für GKN-2 bedeutet dies, dass die Kühlmittelergänzung dann vollständig unterbrochen werden müsste, falls nur zwei Not- und Nachkühlsysteme verfügbar sind und diese an die gleiche Sumpfansaugkammer angeschlossen sind. Hinsichtlich der Kernkühlung beim Ereignis „großes Leck“ ist weiterhin zu berücksichtigen, dass ein Strang unter Umständen vollständig ins Leck einspeist. Bei beiden Anlagen muss daher - bei Verfügbarkeit von nur zwei Strängen, von denen einer ins Leck einspeist - die Kernkühlung unterbrochen werden. Sofern drei Stränge zur Kernkühlung zur Verfügung

stehen, muss die Kernkühlung nur unterbrochen werden, wenn in GKN-2 beide Stränge, die nicht ins Leck einspeisen, an dieselbe Sumpfansaugkammer angeschlossen sind.

2. Die Siebgröße hat bei gleichen Eintragsmengen von Isoliermaterial in den Sumpf und gleichen Transportraten im Sumpf Einfluss auf die Druckverluste über die Sumpfsiebe und die Penetration durch die Sumpfsiebe. Die kleineren Sumpfsiebe in GKN-1 führen zu einer schnelleren vollständigen Belegung der Sumpfsiebe (geringere Penetration von Isoliermaterial zu Beginn des Sumpfumwälzbetriebs) und langfristig zu einer stärkeren Belegung (höhere Druckverluste) der Sumpfsiebe. Die stärkere Belegung der Sumpfsiebe macht ggf. gemeinsam mit der Einlagerung von Korrosionsprodukten ein früheres Freispülen der Sumpfsiebe erforderlich. Bei größeren Sumpfsieben wird dies entweder später oder gar nicht erforderlich. Nach dem Freispülen kann durch Resuspension Isoliermaterial in den Kern eingetragen werden und sich dort an den Abstandshaltern ablagern /RSK 07/. Bei größeren Sumpfsieben wird in der Anfangsphase des Sumpfumwälzbetriebs insbesondere beim Eintrag von kleinen Isoliermaterialmengen in den Sumpf Isoliermaterial in den Kern eingetragen /RSK07/. Da die Größe der Sumpfsiebe in den einzelnen Phasen des Sumpfumwälzbetriebs (Beginn des Sumpfumwälzbetriebs, nach dem Freispülen der Sumpfsiebe) sich unterschiedlich auf die Kernbelegung auswirkt und der Einfluss dieser Phasen noch nicht ausreichend quantifizierbar ist, kann der Einfluss der Größe der Sumpfsiebe auf die Sicherstellung der Kernkühlung bei Kühlmittelverluststörfällen mit Freisetzung von Isoliermaterial derzeit nicht bewertet werden.

5 Bewertung

5.1 Relevante Unterschiede

Merkmale 1: Konfiguration der Sumpfansaugkammern

Im KKW GKN-2 sind je zwei Notkühlsysteme an eine Sumpfansaugkammer angeschlossen. Das KKW GKN-1 besitzt für alle vier Notkühlsysteme eine eigene Sumpfansaugkammer.

Merkmale 4: Maschenweite der Siebe

Im KKW GKN-2 beträgt die Maschenweite 3 x 3 mm. Im KKW GKN-1 betrug die Maschenweite zum Zeitpunkt des Antrags zur Strommengenübertragung von GKN-2 auf GKN-1 8,5 x 8,5 mm. In der Revision vom 19.5.2007 wurden die alten Sumpfsiebe in GKN-1 durch Sumpfsieb mit einer Maschenweite von 3 x 3 mm ersetzt.

Merkmale 5: Isoliermaterial

In GKN-2 wird in geringen Mengen mikroporöses Material als Isoliermaterial eingesetzt. Dieses mikroporöse Material erhöht, falls es freigesetzt wird, die Druckverluste über Isoliermaterialablagerungen. Dies kann Freispülmaßnahmen erforderlich machen bzw. früher erforderlich machen. Die nachfolgende Resuspension kann zu einer Erhöhung der Ablagerungen im Kern (Erhöhung der Druckverluste) führen.

In GKN-1 wurde durch den Austausch mikroporösen Materials gegen MDK der oben beschriebene Nachteil von mikroporösem Material beseitigt.

5.2 Bewertung der relevanten Unterschiede

Merkmale 1: Konfiguration der Sumpfansaugkammern

Die beiden Sumpfansaugkammern und die dazugehörigen Sumpfsiebe sind in GKN-2 jeweils zwei Teilsystemen des Not- und Nachkühlsystems zugeordnet. Daher muss für

Maßnahmen zur Verringerung der Druckverluste über die Sumpfsiebe die Kühlmittelergänzung über die beiden an eine Sumpfansaugkammer angeschlossenen Not- und Nachkühlsysteme unterbrochen werden. Für den Fall von nur zwei verfügbaren Notkühlsystemen müsste die Kühlmittelergänzung gänzlich unterbrochen werden.

Die vier Sumpfansaugkammern und dazugehörigen Sumpfsiebe sind in GKN-1 einzelnen Notkühlsystemen zugeordnet. Bei Maßnahmen zur Verringerung der Druckverluste muss daher auch bei nur zwei verfügbaren Notkühlsystemen die Kühlmittelergänzung nicht gänzlich unterbrochen werden. Dies ist als Vorteil für GKN-1 zu bewerten.

Merkmal 4: Maschenweite der Siebe

Nach Ersetzen der alten Sumpfsiebe in GKN-1 mit den neuen Sumpfsieben (Maschenweite 3 x 3 mm) ist kein relevanter Unterschied zwischen GKN-1 und GKN-2 erkennbar.

Merkmal 5: Isoliermaterial

Der vollständige Austausch von mikroporösem Dämmstoff mit MDK führt zu einem Vorteil für GKN-1.

5.3 Fazit

Die vollständige Entmaschung der Sumpfansaugkammern in GKN-1 ist vorteilhaft, da die Kühlmittelergänzung bei Maßnahmen zur Verringerung der Druckverluste nicht unterbrochen werden muss. Zusätzlich führt der vollständige Austausch von mikroporösem Dämmstoff mit MDK zu einem Vorteil für GKN-1.

Anhang 2 zu BG 12

Bewertungsgegenstand: „Kleines Leck an der druckführenden Umschließung zwischen 20 cm² und 50 cm²“

Bewertungsmerkmal 6: Vermeidung von Rekritikalität bei kleinen Lecks mit Reflux-Condenser-Betrieb

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale.....	2
2.1	Beschreibung des Ereignisablaufs.....	2
2.2	Bewertungsmerkmale	2
3	Verwendete Unterlagen	4
4	Anlagenvergleich	5
5	Bewertung.....	8
5.1	Relevante Unterschiede.....	8
5.2	Bewertung der relevanten Unterschiede.....	8
5.3	Fazit	9

1 Einleitung

In der vorliegenden Anlage geht es um sicherheitstechnische Vergleiche im Zusammenhang mit dem Antrag der EnBW Kernkraft GmbH vom 21.12.2006 an das BMU auf Übertragung von Reststrommengen vom Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 2 (GKN-2) auf das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 1 (GKN-1). Dazu wurden von den Auftragnehmern in Abstimmung mit dem BMU 23 Bewertungsgegenstände definiert. Auftragsgemäß erfolgt für jeden Bewertungsgegenstand (BG) eine separate Auswertung.

Nachfolgend wird im Rahmen des Bewertungsgegenstandes 12 „Kleines Leck an der druckführenden Umschließung zwischen 20 cm² und 50 cm²“ das Bewertungsmerkmal 6 „Vermeidung von Rekritikalität bei kleinen Lecks mit Reflux-Condenser-Betrieb“ separat behandelt.

2 Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale

2.1 Beschreibung des Ereignisablaufs

Bei Leckstörfällen mit kleinem Leck an der druckführenden Umschließung fällt das Kühlmittelinventar im Kühlkreislauf so weit ab, dass in einigen, ggf. in allen Kühlkreisläufen der Naturumlauf abreißt. Bei einem kleinen Leck kann die Nachzerfallsleistung nicht vollständig über das Leck abgeführt werden. Der Rest der Nachwärme wird über die Dampferzeuger abgeführt. Der Dampf aus dem Kern kondensiert dabei in den Dampferzeuger U-Rohren. Dieses Kondensat strömt teilweise über den heißen Strang zurück in den Reaktorkern bzw. sammelt sich im Pumpenbogen an. Wenn mit den Nachkühlsystemen das Inventar im Primärkreis wieder ausreichend angehoben wurde, startet der Naturumlauf und transportiert das im Pumpenbogen angesammelte Kondensat über den Ringraum und das untere Plenum zum Kern. Auf dem Weg zum Kern wird das Kondensat aufboriert. Wenn die Borkonzentration im Kern unter die kritische Borkonzentration, d. h. die Borkonzentration, die abhängig vom Anlagenzustand für die Unterkritikalität erforderlich ist, fällt, wird der Reaktor wieder kritisch und die Reaktorleistung steigt an. Kernschäden sind dabei nicht auszuschließen, wenn infolge eines schnellen und starken Abfallens der Borkonzentration eine prompte Kritikalität auftritt oder wenn aufgrund eines zu geringen Kühlmitteldurchsatzes die Reaktorleistung nicht abgeführt werden kann.

2.2 Bewertungsmerkmale

TÜV und GRS haben in Ihrer Stellungnahme vom September 2003 eine Methode vorgestellt /TÜV 03/, mit der die Unterkritikalität bei kleinen Lecks mit Reflux-Condenser-Betrieb aufgezeigt werden kann. GRS und TÜV haben in der Stellungnahme festgestellt, dass die Werte für die kritische Borkonzentration bei Leckstörfällen mit kaltseitigem Leck und kaltseitiger Einspeisung kleiner als 800 ppm und mit heißseitigem Leck und heißseitiger Einspeisung kleiner als 850 ppm sein müssen. Die kritische Borkonzentration im Kern ist für Systemzustände zu bestimmen, die beim Eintritt niedrig borierten Kondensats (erzeugt beim Reflux-Condenser-Betrieb) in den Kern herrschen. Die Methode ist für alle deutschen Druckwasserreaktoren mit U-Rohrdampferzeuger anwendbar, da diese Anlagen ausreichend geometrisch ähnlich sind. Im Aufsichts- und Genehmigungsverfahren werden auf Empfehlung des Länderausschusses für Atom-

kernenergie (41. Sitzung des Fachausschusses Reaktorsicherheit - FARS) diese Werte bei der Nachweisführung zugrunde gelegt.

Die minimale Borkonzentration am Kerneintritt ist von der Menge der während des Reflux-Condenser-Betriebs erzeugten und im kalten Strang angesammelten Kondensatmenge und von der Vermischung dieses Kondensats auf dem Weg vom kalten Strang zum Kern mit dem hoch borierten Kühlmittel im Ringraum und im unteren Plenum abhängig. Daraus werden für die vergleichende Bewertung dieses Bewertungsmerkmals folgende Detailmerkmale abgeleitet:

- Merkmal 1: Reaktorleistung
- Merkmal 2: Einspeiseposition der Sicherheitseinspeisung
- Merkmal 3: Einspeisekapazität
- Merkmal 4: Volumen Primärkreis
- Merkmal 5: Kritische Borkonzentration für Systemzustände, die beim kleinen Leck nach dem Reflux-Condenser-Betrieb herrschen

Die Untersuchung zur Rekritikalität ist bei nur einem verfügbaren Not- und Nachkühlsystem nicht erforderlich, da der Nachweis der Unterkritikalität für diesen auslegungsüberschreitenden Fall nicht zu erbringen ist.

3 **Verwendete Unterlagen**

Es wurden die folgenden Unterlagen verwendet:

- Kategorie 1

/TÜV 01/ TÜV Arbeitsgemeinschaft Konvoi
Konvoianlagen: Gutachten zur Sicherheitsstatusanalyse
(September 2001)

/JDH-GKN2/ Zusatzboriersystem JDH, Systembeschreibung, GKN-2, 8.5.98

/TH-GKN1/ TH-Kernnot- und Nachkühlsystem,
Systembeschreibung GKN-1, 16.2.2006

/JN-GKN2/ Nukleares Nachwärmesystem JN, Beckenkühlsystem FAK,
Systembeschreibung GKN-2, 21.7.2005

- Kategorie 2

/AST 39/ Protokoll der 39. Sitzung des RSK-Ausschusses Anlagen und System-
technik

/TÜV 03/ TÜV/GRS Stellungnahme zur Deborierung bei Reflux-Condenser-
Betrieb, September 2003

- Kategorie 3

/BB-GKN1/ Betriebsbericht zur Information der Reaktorsicherheitskommission
2005

/GRS-GKN1/ Unterlagensatz zum Analysesimulator GKN-1

/GRS-GKN2/ Unterlagensatz zum Analysesimulator GKN-2

4 Anlagenvergleich

Bewertungsmerkmal: Vermeidung von Rekritikalität bei kleinen Lecks mit Reflux-Condenser-Betrieb

Merkmale	GKN-2	GKN-1	Anmerkung
Merkmale 1: Reaktorleistung			
Reaktorleistung	3850 MW /TÜV 01/	2497 MW /BB-GKN1/	Eine höhere Reaktorleistung führt zu einer größeren Nachzerfallsleistung und somit zu einer potenziell größeren Kondensatproduktion (relevant bei heißseitigen Lecks mit heißseitiger Einspeisung). Bewertung der Relevanz erfolgt gemeinsam mit Merkmal 4 (Volumen Primärkreis).
Merkmale 2: Einspeiseposition der Sicherheitseinspeisung			
Voreingestellte Position	heiß /JN-GKN2/	kalt /TH-GKN1/	Bei heißseitiger Sicherheitseinspeisung und heißseitigem Leck bleibt der Naturumlauf in den bespeisten Kühlkreisläufen bestehen. Dies führt zu einer geringeren Aufborierung eines Kondensatpfropfens auf dem Weg zum Kern
Einspeisepositionen in den Kühlkreislauf	Jede der vier Sicherheitseinspeisungssysteme speisen in je einen Kühlkreislauf /JN-GKN2/	Drei der vier Sicherheitseinspeisungssysteme speisen in je einen Kühlkreislauf, das vierte Sicherheitseinspeisungssystem TH40 speist gleichzeitig in alle drei Kühlkreisläufe ein /TH-GKN1/	Bei Genehmigungsrandbedingungen (2 verfügbare Sicherheitseinspeisungssysteme) werden in GKN-2 zwei Kühlkreisläufe nicht bespeist. In GKN-1 ist dann ein Kühlkreislauf nicht bespeist.

Merkmal 3: Einspeisekapazität der Sicherheitseinspeisung			
Sicherheitseinspeisung	62,5 kg/s bei 30 bar /JN-GKN2/	45,5 kg/s bei 30 bar (entspricht auf die Reaktorleistung von GKN-2 bezogen: 70 kg/s) /TH-GKN1/	Eine geringere Einspeiserate bindet vor allem bei Heißeinspeisung weniger Nachzerfallwärme. Dies ermöglicht eine geringfügig höhere Kondensatproduktion. Die Borierung des Kühlmittels im Ringraum und unteren Plenums wird dadurch kaum beeinflusst.
Zusatzboriersystems	4 x 2 kg/s /JDH-GKN2/	keine	Die Einspeisemenge beeinflusst kaum die Borierung des Kühlmittels im Ringraum und unteren Plenum, da die Borkonzentration allein durch die Sicherheitseinspeisung nahezu auf die Borkonzentration der Flutbehälter angehoben wird
Merkmal 4: Volumen Primärkreis			
Volumen Pumpenbogen und Dampferzeugeraustrittsplenum	11,6 m ³ /GRS-GKN2/ Bei heißseitiger Einspeisung sammelt sich das Kondensat nur in den beiden Pumpenbögen der unbespeisten Stränge (2x11,6 m ³)	11,1 m ³ /GRS-GKN1/ Bei kaltseitiger Einspeisung sammelt sich das Kondensat in allen Pumpenbögen (3x11,1 m ³). Für die Deborierung ist jedoch nur das Kondensat des einen unbespeisten Stranges relevant (1x11,1 m ³).	Ein größeres Volumen im Pumpenbogen und im Dampferzeugeraustrittsplenum ermöglicht eine größere Ansammlung von niedrigboriertem Kondensat. Dies ist insbesondere für das kaltseitige Leck mit kaltseitiger Sicherheitseinspeisung von Bedeutung, da bei diesen Lecks die Kondensatproduktion größer ist als das Speichervolumen
Volumen im Ringraum und im unteren Plenum	42,5 m ³ /GRS-GKN2/	34,1 m ³ /GRS-GKN1/	Ein größeres Volumen im Ringraum und im unteren Plenum führt zu einem größeren Aufborierungspotential für einen in den Ringraum eingetragenen Pfropfen von niedrig

			boriertem Wasser. Das Verhältnis der Volumina im Ringraum und unterem Plenum zur relevanten Kondensatmenge ist in GKN-1 größer.
Merkmal 5: Kritische Borkonzentration für Systemzustände, die beim kleinen Leck nach dem Reflux-Condenser-Betrieb herrschen			
Kritische Borkonzentration	—	—	Es ist anzunehmen, dass beide KKW's die empfohlenen Werte /TÜV 03/ (gebilligt auf der 41. FARS-Sitzung) einhalten. Es ist uns nicht bekannt, dass geänderte Kernausslegungen vorhanden sind, die eine höhere Aufborierung erforderlich machen würden. Es ist ebenfalls unbekannt, wie groß die Abstände zu den empfohlenen Werten sind.

5 Bewertung

5.1 Relevante Unterschiede

Zu Merkmal 2:

Im GKN-2 speist das Sicherheitseinspeisesystem voreingestellt auf der heißen Seite ein. Im KKW GKN-1 erfolgt die Sicherheitseinspeisung voreingestellt auf der kalten Seite. Aufgrund der relativ geringen Druckdifferenz zwischen dem heißen und dem kalten Strang beim kleinen Leck erfolgt in beiden Kraftwerken keine Umschaltung von der Leckseite zur nicht vom Leck betroffenen Seite.

Zu Merkmal 4:

Das Verhältnis der Volumina im Ringraum und unterem Plenum zur relevanten Kondensatmenge ist in GKN-1 größer.

5.2 Bewertung der relevanten Unterschiede

Zu Merkmal 2:

Die heißseitige Sicherheitseinspeisung im KKW GKN-2 ist in Bezug auf die Deborierungsproblematik beim kleinen Leck mit Reflux-Condenser-Betrieb ungünstiger einzustufen, da eine geringere Aufborierung auf dem Weg zum Kern zu erwarten ist (siehe neuere ROCOM-Versuche /AST 39/). Bei Einhaltung der Empfehlung des Bund-Länderausschusses auf der 41. Sitzung des FARS ist für GKN-1 ein signifikant größerer Abstand zur kritischen Borkonzentration zu erwarten als für GKN-2.

Zu Merkmal 4:

Das größere Verhältnis der Volumina im Ringraum und unterem Plenum zur relevanten Kondensatmenge führt in GKN-1 zu einer stärkeren Aufborierung.

5.3 Fazit

Die voreingestellte Sicherheitseinspeisung auf die kalten Stränge und das stärkere Aufborierungspotenzial im Ringraum und im unteren Plenum im KKW GKN-1 ist in Bezug auf Deborierungseignisse bei Störfällen mit kleinem Leck als Vorteil zu bewerten.