



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische
Überprüfung von Anlag-
en zu ausgewählten
Anforderungen und Er-
eignissen im Rahmen
von Anträgen zur Rest-
strommengenübertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 13:

„Großes Leck an der druck-
führenden Umschließung
(Leckquerschnitt = 0,1 F)“

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 13:
„Großes Leck an der druckführenden Umschließung (Leckquerschnitt = 0,1 F)“

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
2.1	Randbedingungen und sicherheitstechnische Bedeutung des Ereignisablaufs.....	2
2.2	Beschreibung des Ereignisablaufs.....	3
2.3	Bewertungsmerkmale	5
3	Verwendete Unterlagen	7
4	Anlagenvergleich	9
5	Darstellung und Bewertung der relevanten Unterschiede.....	35
5.1	Darstellung relevanter Unterschiede.....	35
5.2	Bewertung relevanter Unterschiede.....	36
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 13 „Großes Leck an der druckführenden Umschließung (Leckquerschnitt = 0,1 F)“ behandelt. Dies wird als Ereignis der Sicherheitsebene 3 eingestuft.

2 Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale

2.1 Randbedingungen und sicherheitstechnische Bedeutung des Ereignisablaufs

Randbedingungen

Bei diesem Ereignis wird ein plötzlich auftretendes Leck der Größe 0,1 F entsprechend ca. 440 cm² an der druckführenden Umschließung postuliert.

Das „große Leck“ wird charakterisiert durch die Tatsache, dass der Kühlmitteldruck sehr schnell unter den Einspeisedruck der Niederdruck-Einspeisepumpen (ND-Pumpen) abfällt und dass die Sekundärseite zur Nachwärmeabfuhr nicht benötigt wird.

Bei beiden Anlagen wird beim Nachweis der Beherrschung des großen Lecks ein überlagerter Notstromfall angenommen.

Sicherheitstechnische Bedeutung

Vorrangig für die Beherrschung eines großen Lecks in der Hauptkühlmitteleitung (HKL) ist die Sicherstellung der Kernflutung durch die Druckspeicher und der Kühlmittelergänzung durch die Niederdruck-Einspeisung (ND-Einspeisung), die Nachwärmeabfuhr aus dem Reaktor über das Not- und Nachkühlsystem, das nukleare Zwischen- und Nebenkühlwassersystem sowie der Gebäudeabschluss. Die Hochdruck-Sicherheitseinspeisung ist aufgrund des schnellen Druckabfalls dagegen zur Störfallbeherrschung nicht notwendig. Bei Versagen oder Unwirksamkeit der notwendigen Systeme kann die entstehende Nachwärme nicht abgeführt werden. Es kann dann zu einem Überhitzen des Reaktorkerns mit unzulässiger Freisetzung von Aktivität in die Umgebung kommen.

Die Schilderung des Ereignisablaufs wird nachfolgend für GKN-1 und GKN-2 gemeinsam ausgeführt, wobei sich nur geringe Unterschiede im grundsätzlichen Störfallablauf ergeben.

2.2 Beschreibung des Ereignisablaufs

Der folgende Ereignisablauf ergibt sich für GKN-1 gemäß /BHB GKN-1/, für GKN-2 gemäß /BHB GKN-2/. Auf anlagenspezifische Unterschiede wird im Einzelnen hingewiesen. Die thermische Leistung von GKN-1 beträgt bei Volllast $2497 \text{ MW}_{\text{th}}$, bei GKN-2 dagegen $3850 \text{ MW}_{\text{th}}$, d. h. die thermische Leistung von GKN-2 ist um einen Faktor 1,54 größer als diejenige von GKN-1.

Das „große Leck“ (hier 0,1 F-Leck mit einer Querschnittsfläche entsprechend ca. 440 cm^2) ist darüber charakterisiert, dass der Kühlmitteldruck (KMD) innerhalb von 200 s unter 10 bar abfällt.

Über eines der Kriterien „Differenzdruck Anlagen- oder Betriebsräume/Atmosphäre $> 30 \text{ mbar}$ “ oder „KMD $< 135 \text{ bar}$ (GKN-2: 132 bar) und Reaktorleistung $> 12 \%$ “ oder „DNB¹ $< 1,18$ “ oder „Druckhalter-Füllstand $< 2,85 \text{ m}$ (GKN-2: $2,28 \text{ m}$) und KMD $< 145 \text{ bar}$ “ werden Rektorschnellabschaltung/Turbinenschnellabschaltung (RESA und TUSA) ausgelöst.

Sofern die Spannung auf den 6 kV-Notstromschienen $< 4,8 \text{ kV}$ (GKN-2: Spannung auf den 10 kV-Notstromschienen $< 8,4 \text{ kV}$) oder die Frequenz $< 47,2 \text{ Hz}$ beträgt, wird der Start der zugehörigen Notstromdiesel ausgelöst und die Notstromverbraucher werden zunächst ab- und danach gestaffelt wieder zugeschaltet.

Über die Kriterien „KMD $< 132 \text{ bar}$ “ und „Druckdifferenz Reaktorsicherheitsbehälter (SHB)/Atmosphäre $> 30 \text{ mbar}$ “ wird das sekundärseitige Abfahren der Anlage mit 100 K/h eingeleitet. Das sekundärseitige Abfahren wird jedoch nicht zur direkten Wärmeabfuhr benötigt. Es stellt die Abfuhr der in den Dampferzeugern gespeicherten Wärme sicher.

Nach dem Anstehen von 2 v 3 der Notkühlkriterien („KMD $< 110 \text{ bar}$ “, „Druckdifferenz Anlagen- oder Betriebsräume gegen Atmosphäre $> 30 \text{ mbar}$ “, „Druckhalter Füllstand $< 2,85 \text{ m}$ (GKN-2: $2,28 \text{ m}$)“) erfolgt das Durchschalten des Einspeisewegs von den Flutbehältern und Druckspeichern zum Reaktorkühlkreislauf (RKL), das Zuschalten der Hochdruck-Sicherheitseinspeisepumpen (HD-Pumpen), das Abschalten der Haupt-

kühlmittelpumpen (HKMP), die Aktivierung der Nachkühlketten zur Kühlung der sicherheitstechnisch wichtigen Pumpen, der Gebäudeabschluss der verschiedenen Systeme sowie der Start der Boreinspeisung durch das Volumenregelsystem (GKN-2: Zuschalten Zusatzboriersystem statt Volumenregelsystem).

Bei einem 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 KMD < 10 bar werden zusätzlich zu den bereits laufenden HD-Pumpen die Nachkühlpumpen des nuklearen Not- und Nachkühlsystems (ND-Pumpen) zur Sicherstellung der Füllstandshaltung im RDB zugeschaltet. Die ND-Pumpen saugen aus den Flutbehältern an und speisen das Wasser in den RKL, wo ein Teil davon die im Kern erzeugte Nachzerfallsleistung sowie die Speicherwärme der RKL-Komponenten aufnimmt und über das Leck in den Sumpf des SHB fließt. Ein Teil gelangt direkt über das Leck in den Sumpf und kühlt dadurch das Sumpfwasser ab.

Über die Sumpfsignale, die durch das Kriterium „Flutbehälter-Füllstand < 0,80 m (GKN-2: 0,5 m)“ in den einzelnen Teilsystemen anstehen, werden die ND-Pumpen saugseitig nach ca. 20 min auf den Sumpf des SHB umgeschaltet und die HD-Pumpen abgesteuert. Weiterhin wird die Boreinspeisung über das Volumenregel- bzw. das Zusatzboriersystem abgesteuert. Das von den Pumpen angesaugte Sumpfwasser wird in den Nachwärmekühlern abgekühlt, um eine unterkühlte Ausströmung aus dem Leck langfristig sicherzustellen und den Sumpf abzukühlen. Diese Schaltung, bei der die Nachkühlpumpen aus dem Sumpf des SHB ansaugen und die Nachzerfallsleistung und Speicherwärme über die nukleare Nachkühlkette (Not- und Nachkühlsystem, Zwischenkühl-, Nebenkühlwassersystem) abgeführt werden, bleibt langfristig erhalten.

¹ „departure from nucleate boiling“, Filmsiedeabstand

Insgesamt stellt sich ein Überdruck im SHB kleiner 2,5 bar (GKN-2: 2,7 bar) ein. Langfristig muss die Wasserstoffkonzentration im SHB überwacht werden. Außerdem sind der Unterdruck im SHB und der Betrieb des Leckabsaugesystems zu kontrollieren und die Beckenkühlung sicherzustellen. Bei GKN-1 sind spätestens zwei Stunden nach Störfalleintritt Maßnahmen zur Wasserstoffdurchmischung und ggf. -begrenzung einzuleiten (Handmaßnahmen im Schaltanlagegebäude).

2.3 Bewertungsmerkmale

Als Bewertungsmerkmale für den Anlagenvergleich werden gewählt:

- Merkmal 1: Zur Ereignisbeherrschung erforderliche Maßnahmen oder Einrichtungen.
- Merkmal 2: Abstand zu geforderten Nachweiskriterien.
- Merkmal 3: Vorhandensein weiterer zur Störfallbeherrschung nicht erforderlicher aber geeigneter Maßnahmen oder Einrichtungen.

Zudem wird beim Bewertungsgegenstand „Großes Leck innerhalb des Sicherheitsbehälters (Leckquerschnitt = 0,1 F bzw. Fläche der Volumenausgleichsleitung)“ folgender für die Ereignisbeherrschung relevanter Störfallaspekt als gesondertes Bewertungsmerkmal in Anhang 1 diskutiert:

- Merkmal 4: Sicherstellung der Kernkühlung bei Kühlmittelverluststörfällen mit Freisetzung von Isoliermaterial (siehe **Anhang 1**)

In Bezug zu Merkmal 1 wird diskutiert, wie die Störfallbeherrschung durch die dafür vorgesehenen Einrichtungen erfolgt und welche Unterschiede in der Auslegung dieser Einrichtungen vorhanden sind. Wesentlich zur Störfallbeherrschung sind dabei

- die Druckspeicher,
- die ND-Einspeisung aus den Flutbecken bzw. Flutbehältern,
- die ND-Einspeisung aus dem Sumpf,
- die Nachkühlung (Zwischen- und Nebenkühlwassersysteme) und

- der Gebäudeabschluss.

Zur Bewertung von Merkmal 2 werden vorliegende Analyseergebnisse in Hinblick auf die Einhaltung der gemäß Regelwerk geltenden Nachweiskriterien verglichen.

Für Merkmal 3 wird verglichen, welche weiteren, bei Merkmal 1 nicht betrachteten Maßnahmen oder Einrichtungen zur Störfallbeherrschung zur Verfügung stehen.

Bei dem Vergleich der Maßnahmen und Einrichtungen (Merkmal 1 und 3) werden insbesondere folgende Aspekte betrachtet:

- Auslegung und Dimensionierung der zur Störfallbeherrschung benötigten Systeme,
- Anzahl erforderlicher sowie Anzahl verfügbarer Redundanzen,
- räumliche Trennung und Schottung der Redundanzen,
- Maßnahmen zur Vermeidung redundanzübergreifender Ausfälle (Diversität etc.),
- Automatisierungsgrad der Abläufe.

3 Verwendete Unterlagen

Es wurden die folgenden, bei den Sachverständigenorganisationen verfügbaren Unterlagen der Kategorie 1 herangezogen:

/BHB GKN-1/	GKN-1 Betriebshandbuch, Stand 26.03.2007
/SSA GKN-1/	Siemens Sicherheitsstatusanalyse für das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block I, Stand August 1996, Bd. 1 von 3
/PSÜ GKN-1/	TÜV Energie und Systemtechnik GmbH, Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block I, Gutachtliche Stellungnahme zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ), Stand September 1997
/BHB GKN-2/	GKN-2 Betriebshandbuch, Stand 26.03.2007
/SSA GKN-2/	Siemens AG PSÜ-Sicherheitsstatusanalyse (SSA) für die Konvoi Kernkraftwerke Isar 2 (KKI 2), Emsland (KKE) und Neckar Block 2 (GKN II), Band 1 bis 3, Dez. 1998/Juli 2001
/PSÜ GKN-2/	TÜV-Arbeitsgemeinschaft Konvoi: Konvoi-Anlagen – Gutachten zur Sicherheitsstatusanalyse. September 2001
/TH GKN-1/	GKN-1 Systembeschreibung TH-System, Stand 29.08.2006
/TF GKN-1/	GKN-1 Systembeschreibung TF-System, Stand 09.06.2005
/VE GKN-1/	GKN-1 Systembeschreibung VE-System, Stand 14.06.2005

- /JN GKN-2/ GKN-2
Systembeschreibung Nukleares Nachwärmeabfuhrsystem JN, BE-
Beckenkühlsystem FAK, Stand 19.12.2005
- /KAA GKN-2/ GKN-2
Systembeschreibung Sicherheitskomponentenkühlsystem KAA,
Stand 20.01.1995
- /PE GKN-2/ GKN-2
Systembeschreibung Nebenkühlwassersystem für gesicherte Anlage
PE, Stand 03.04.2003
- /GKN-1 97/ GKN-1
Überprüfung der im Rahmen der Periodischen Sicherheitsüberprü-
fung der Anlage GKN 1 vorgelegten Notkühlanalysen. Zusammenfas-
sung der Ergebnisse für die vorgelegten Analysen zum kaltseitigen
50 cm², 100 cm², 150 cm², 200 cm², 250 cm², 442 cm² und zum heiß-
seitigen 50 cm² Leck. Stellungnahme des TÜV Energie und Systeme,
04.11.1997

4 Anlagenvergleich

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

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
Merkmal 1: Zur Ereignisbeherrschung erforderliche Maßnahmen oder Einrichtungen.			
Not- und Nachkühlsystem Anzahl erforderlicher Stränge	4 unabhängige Stränge, die den vier Kreisläufen des Reaktor-kühlsystems zugeordnet sind, gemeinsame Einspeiseleitung für HD-, ND- und Druckspeichereinspeisung innerhalb des Sicherheitsbehälters /JN GKN-2/.	3 unabhängige Einspeisestränge, gemeinsame Einspeiseleitung für HD-, ND- und Druckspeichereinspeisung innerhalb des Sicherheitsbehälters Ein zusätzlicher Strang (TH40/TH45), der abhängig von den Druckverhältnissen in den drei Einspeisesträngen (TH10/20/30) in die drei Einspeisestränge einspeist oder im Instandhaltungsfall fest auf einen Strang aufgeschaltet wird. Die Anbindungen des zusätzlichen Stranges an die drei Not- und Nachkühlstränge erfolgt über eigene Rohrleitungen im Ringraum und binden jeweils vor dem Nachwärmekühler in die drei Not- und Nachwärmekreisläufe ein.	In GKN-1 ist das Not- und Nachkühlsystem dreisträngig ausgeführt, in GKN-2 viersträngig. In GKN-1 ist ein zusätzlicher Strang vorhanden, der auf alle drei Einspeisestränge einspeisen kann. Daraus ergibt sich für dieses Bewertungsmerkmal kein relevanter Unterschied.

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>Nach /BHB GKN-2/, Teil 3-2.4 sind mindestens zwei laufende ND-Pumpen zur Kernkühlung beim großen Leck erforderlich.</p> <p>Zur Einhaltung des Schutzziels Kernkühlung ist nach /BHB GKN-2/, Teil 3-1.3 bei Primärlecks mit ausreichender Wärmeabfuhr über die Leckausströmung ein Nachkühlteilsystem einschließlich der zugehörigen Kühlkette zur Nachwärmeabfuhr aus dem Sumpf über Nachwärmekühler ausreichend (bei Lecks > 100 cm², entspr. ca. 113 cm Leitungsdurchmesser).</p> <p>Im Extremfall kann jedoch auch mit nur einem Strang der Nachkühlkette die Nachwärme so abgeführt werden, dass zu keinem Zeitpunkt die Auslegungstemperaturen von SHB sowie der Nachkühlkette überschritten werden /SSA GKN-2/.</p> <p>Je Nachwärmekühler können auslegungsgemäß maximal ca. 44,5 MW abgeführt werden. Die</p>	<p>2 von 4 ND-Sicherheitspeisesträngen sind für die Ereignisbeherrschung des großen Lecks erforderlich /TH GKN-1/, S. 37</p> <p>Schutzzielorientiert ist als Wirksamkeitsbedingung für den primärseitigen Wärmetransport die Verfügbarkeit von mindestens einem Nachkühlteilsystem im Flut-/Sumpfbetrieb angegeben /BHB GKN-1/, 2-2.5.3-3.</p> <p>Je Nachwärmekühler kann auslegungsgemäß eine Wärmeleis-</p>	<p>Auslegungsgemäß sind nach BHB bei beiden Anlagen zwei Stränge zur Ereignisbeherrschung erforderlich, zur Einhaltung der Kernkühlung (Schutzzielorientiertes BHB) kann die Nachwärme jedoch auch über einen Strang abgeführt werden.</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>Auslegung orientiert sich dabei an der Nachzerfallsleistung von 83 MW. Dieser Wert liegt etwa 1200 s nach Eintritt eines KMV (großes Leck) zu Beginn des Sumpfbetriebs vor /SSA GKN-2/.</p>	<p>tung von ca. 26,2 MW abgeführt werden, bei Betrieb nur eines Stranges sind auch bis ca. 34 MW möglich /SSA GKN-1/. Nach aktueller Systembeschreibung kann zu Beginn des Sumpfbetriebs eine Nachzerfallsleistung von 35,03 MW pro Strang abgeführt werden /TH GKN-1/.</p>	<p>Die in GKN-2 über einen Nachwärmekühler auslegungsgemäß abführbare Wärmemenge ist in Relation zur Reaktorleistung von GKN-1 ca. 10% größer als diejenige in GKN-1.</p> <p>Für GKN-1 ist laut SSA auch eine um ca. 30 % höhere Wärmeleistung eines Nachwärmekühlers bei Betrieb nur eines Strangs möglich. Nach aktuellerer Systembeschreibung ist über einen Strang eine Wärmeleistung von 35,03 MW abführbar.</p> <p>Für GKN-2 kann nach Sicherheitsstatusanalyse und Schutzzielorientiertem BHB ebenfalls mit nur einem Strang der Nachkühlkette die Nachwärme abgeführt werden, es liegen jedoch keine Zahlenangaben zur abführbaren Wärmeleistung unter diesen Bedingungen vor.</p> <p>Hinsichtlich der über einen</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>Das Not- und Nachkühlssystem ist in Bereitschaftstellung zum Primärkreislauf durchgeschaltet und durch zwei Rückschlagventile je Strang gegen den Druck des Reaktorkühlkreislaufes abgesperrt; im Falle Anforderung öffnen die Armaturen selbsttätig, d. h. sie werden durch den Druck des Mediums aufgestoßen, sobald der Gegendruck im Reaktorkühlkreislauf abgesunken ist.</p> <p>Ohne den Bereitschaftszustand für den Störfall zu verlassen, kann über einen von zwei Strängen mit der Beckenkühlpumpe das Brennelementbecken gekühlt werden. Hierzu ist die Verbindungsarmatur an der saugseitigen Verbindungsleitung zwischen der Becken- und der Nachkühlpumpe geschlossen.</p> <p>Die Aufstellung maschinentechnischer Anlagenteile bzw. die</p>	<p>Das Not- und Nachkühlssystem ist in Bereitschaftstellung zum Primärkreislauf durchgeschaltet und durch zwei Rückschlagventile je Strang gegen den Druck des Reaktorkühlkreislaufes abgesperrt; im Falle Anforderung öffnen die Armaturen selbsttätig, d. h. sie werden durch den Druck des Mediums aufgestoßen, sobald der Gegendruck im Reaktorkühlkreislauf abgesunken ist.</p> <p>Ein Teilsystem kann auch betrieblich zur BE-Beckenkühlung durchgeschaltet sein, dieser Strang wird dann durch den Reaktorschutz auf ND-Einspeisung umgestellt.</p> <p>Die Aufstellung maschinentechnischer Anlagenteile bzw. die</p>	<p>Nachwärmekühler abführbaren Leistung ergibt sich damit kein relevanter Unterschied.</p> <p>Wird ein Strang des Nachkühlsystems zur betrieblichen BE-Beckenkühlung verwendet, wird dieser in GKN-1 bei Störfalleintritt durch den Reaktorschutz auf Notkühlung umgeschaltet, in GKN-2 muss die Bereitschaftsstellung für Notkühlung auch bei betrieblichem Einsatz zur BE-Beckenkühlung nicht verlassen werden.</p> <p>Daraus ergibt sich kein relevanter Unterschied.</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>Verlegung von Rohrleitungen des Nuklearen Nachwärmeabfuhrsystems und der nachgeschalteten Systeme der Kühlkette wird entsprechend der Forderung nach räumlicher Trennung der Stränge durchgeführt. Pumpen, wichtige Armaturen sowie die Flutbehälter sind im Ringraum untergebracht /JN GKN-2/.</p> <p>Auslegung des Nachkühlkreislaufes auf 53 bar, 200°C /JN GKN-2/.</p>	<p>Verlegung von Rohrleitungen des Nuklearen Nachkühlsystems sind entsprechend der Forderung nach räumlicher Trennung der Teilsysteme durchgeführt /TH GKN-1/.</p> <p>Der Nachkühlkreislauf ist auf 50 bar bei 200°C ausgelegt /TH GKN-1/.</p>	
<p>Zum Nachweis der Störfallbeherrschung benötigte DS</p>	<p>4 heißseitig und 4 kaltseitig einspeisende DS /JN GKN-2/</p> <p>Bei Primärlecks mit Leckgrößen > 400 cm² sind 5v8 wirksame DS (entsprechend 170 m³) zur Kühlmittelverlustergänzung ausreichend /BHB GKN-2/, Teil 3-1.3.</p> <p>Nach /BHB GKN-2/, Teil 3-2.4. müssen zur Sicherstellung der Kernkühlung mindestens 4 DS (entsprechend 136 m³) eingespeist haben.</p>	<p>3 heißseitig und 3 kaltseitig einspeisende DS /TH GKN-1/</p> <p>Nach /BHB GKN-1/ werden zur Störfallbeherrschung beim großen Leck gemäß Auslegung 4 v 6 DS (entsprechend mind. 152 m³) benötigt.</p> <p>Nach /TH GKN-1/, S. 37 werden beim großen Leck drei wirksame DS (1 kalter und 2 heiße DS), entsprechend 134 m³ Kühlmittel benötigt.</p>	<p>Hinsichtlich der zur Störfallbeherrschung erforderlichen DS liegen für GKN-1 und GKN-2 jeweils unterschiedliche Aussagen vor (GKN-1: wirksam einzuspeisendes Wasservolumen 65, 134 oder 152 m³, GKN-2: 110, 136 oder 170 m³). Die vorhandene Kühlmittelmenge wäre entsprechend um einen Faktor 3,9, 1,9 bzw. 1,65 bei GKN-1 und 2,5, 2,0 bzw. 1,6 bei GKN-2 größer als die erforderliche Menge.</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>Die Druckspeicher sind so ausgelegt, dass sie - unter Mitwirkung der Nachkühlpumpen und Sicherheitseinspeisepumpen – den Reaktordruckbehälter beim Auslegungsstörfall so schnell fluten, dass die zulässigen Temperaturen im Reaktorkern nicht überschritten werden, die Hüllrohrtemperaturen mit fortschreitendem Flutvorgang stetig fallen und bei Unterschreiten der Benetzungstemperatur die Sättigungstemperatur des Wassers erreicht wird. Zur Erfüllung dieser Bedingung ist ein Treibdruck von 25 bar und ein in den Reaktorkern sicher einzuspeisendes Wasservolumen von 110 m³ notwendig /JN GKN-2/.</p> <p>Bei Leckquerschnitten größer ca. 200 cm² fällt, unabhängig vom Leckort, der Primärkreisdruck so schnell unter die Nullförderhöhe der ND-Pumpen, dass selbst ohne Einspeisung des HD-Systems und der Druckspeicher nur durch die ND-Einspeisung der Anstieg der</p>	<p>Nach /TH GKN-1/, S. 31 ist beim Auslegungsstörfall (2F-Bruch) ein anfänglicher Treibdruck in den Druckspeichern von 25 bar und ein in den Reaktorkern sicher einzuspeisendes Wasservolumen von 65 m³ notwendig.</p> <p>Nach /GKN-1 97/ kommt es beim 0,1 F-Leck zu einem Temperaturanstieg des Hüllrohres im Heißstab auf 700°C, der erst durch die Einspeisung der DS wieder abgesenkt wird. Danach werden die Druckspeicher zur Beherrschung des Störfalls benötigt (Randbedingungen: 2 kaltseitige DS, 3 heißseitige DS).</p> <p>Bei Leckquerschnitten größer ca. 180 cm² stellt sich auch für ungünstige Lecklagen ein so schneller Druckabfall ein, dass die ND-Einspeisung allein für eine ausreichende Kernbedeckung genügt. Generell nicht notwendig zur Primärkühlmitteleergänzung sind die passiv bei KM-Druck < 26 bar einspeisenden Druckspeicher /SSA GKN-</p>	<p>Auslegungsgemäß sind nach BHB in GKN-2 6v8 DS, in GKN-1 4v6 DS erforderlich.</p> <p>Nach SSA sind die DS bei beiden Anlagen nicht notwendig.</p> <p>Auf Basis der unterschiedlichen Angaben in den vorliegenden Unterlagen hinsichtlich der benötigten DS-Einspeisung ist daher diesbezüglich keine vergleichende Bewertung möglich.</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	Kerntemperaturen begrenzt und eine ausreichende Kernbedeckung gewährleistet werden kann /SSA GKN-2/.	1/, 2.3.2.1-8.	
Flutbehälter	<p>Vier strangzugeordnete Flutbecken. Verfügbares Wasservolumen pro Becken ca. 450 m³ /JN GKN-2/.</p> <p>Mindest-Borkonzentration c_{bw} /JN GKN-2/.</p> <p>Die Behälter sind drucklos und für eine Temperatur von 50°C ausgelegt /JN GKN-2/.</p>	<p>4 Flutbehälterpaare, räumlich getrennt im Ringraum aufgestellt. Netto-Volumen 4x215 m³, Mindestinhalt 207 m³ /TH GKN-1/.</p> <p>Mindest-Borkonzentration c_{bw} 2020 ppm (B-10 Anteil 30,5 at%) /BHB GKN-1/</p> <p>Die Behälter sind drucklos und für eine Temperatur von 50°C ausgelegt /TH GKN-1/.</p>	In GKN-2 steht in Relation zum wiederaufzufüllenden RDB-Volumen pro Flutbehälter ein um ca. 40 % größeres Inventar zur Verfügung als in GKN-1.
ND-Pumpen	<p>4 Nachkühlpumpen, strangweise zugeordnet /JN GKN-2/.</p> <p>Die Einspeiserate einer ND-Pumpe beträgt bei der Sicherheitseinspeisung ca. 340 l/s, da-</p>	<p>Die Kühlmittleinspeisung ist mit 4 ND-Pumpen möglich.</p> <p>Der vierte Notkühlsystem steht auf Einspeisebereitschaft und wird automatisch durch Reaktorschutzsignale aktiviert /TH GKN-1/</p> <p>Die Einspeiserate einer ND-Pumpe beträgt bei einem KMD von 1 bar ca. 250 kg/s (Sumpf-</p>	<p>Die Einspeiseraten der ND-Pumpen sind auf die Reaktorleistung bezogen gleichwertig. Auslegungsgemäß sind jeweils 2 ND-Pumpen erforderlich.</p> <p>Keine relevanten Unterschiede.</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>von sind 40 l/s Mindestmenge, im Sumpfbetrieb ca. 390 l/s, davon 40 l/s Mindestmenge.</p> <p>Nach der Flutung des Kerns soll die Nachwärme langfristig ohne Verdampfungskühlung abgeführt werden. Der dazu beim Auslegungsstörfall erforderliche Durchsatz durch den Kern beträgt ca. 306 kg/s /JN GKN-2/.</p> <p>Bei Primärlecks mit Leckgrößen > 400 cm² sind 2 verfügbare Nachkühlumpen zur Kühlmittelverlustergänzung ausreichend, wobei auch bei Wirksamkeit (d.h. vollständige Einspeisung in den Kern) von nur 1 Nachkühlpumpe Kernschmelzen vermieden wird /BHB GKN-2/, 3-1.3.</p>	<p>betrieb), bei einem KMD von 9 bar ca. 200 kg/s.</p> <p>Der zur Nachwärmeabfuhr erforderliche Kerndurchsatz beim Flutbetrieb im Auslegungsstörfall beläuft sich auf 190 kg/s /TH GKN-1/.</p> <p>Auslegungsgemäß werden zur Einhaltung des Schutzziels Kernkühlung für die Bereitstellung des Kühlmittelinventars 2 v 4 ND-Pumpen benötigt /BHB GKN-1/, 2-2.5.3-2.</p>	
Zwischenkühlwassersystem	<p>Das Zwischenkühlwassersystem ist wie die gesamte Nachkühlkette viersträngig aufgebaut. Das Zwischenkühlwassersystem ist - mit einigen Abweichungen - für 14 bar und 80°C ausgelegt /KAA GKN-2/.</p> <p>Alle vier Stränge sind in Erdbe-</p>	<p>Entsprechend dem Aufbau des Primärkreises ist das Nukleare Zwischenkühlwassersystem TF dreisträngig aufgebaut /PSÜ GKN-1/.</p> <p>Das TF-System ist in seinem si-</p>	<p>In GKN-2 sind 2v4, in GKN-1 2v3 Strängen des Zwischenkühlwassersystems mit einer laufenden Zwischenkühlpumpe pro Strang zur Nachwärmeabfuhr erforderlich.</p> <p>Gemäß SSA ist ein Strang zur</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>benklasse I eingestuft, also für das Auslegungs- und Sicherheitserdbeben ausgelegt. Die zwei Abfahrkreise werden zusätzlich für Flugzeugabsturz und Explosionsdruckwelle ausgelegt /KAA GKN-2/.</p> <p>In allen vier Strängen wird das Zwischenkühlwasser von einer notstromgesicherten Zwischenkühlpumpe umgewälzt. Massstrom: 500 kg/s /KAA GKN-2/.</p> <p>Der Kühlmittelverluststörfall wird durch zwei beliebige Kühlstränge der Nachkühlkette mit einer laufenden Zwischenkühlpumpe pro Strang beherrscht.</p> <p>Beim Kühlmittelverluststörfall beträgt der Nebenkühlwasserdurchsatz durch jeden Nuklearen Zwischenkühler - wie beim Normalbetrieb – 835 kg/s (Rohrseitig) und 485 kg/s (mantelseitig) /KAA GKN-2/.</p> <p>Im Extremfall kann jedoch auch mit nur einem Strang der Nachkühlkette die Nachwärme so ab-</p>	<p>cherheitstechnisch wichtigen Teil im Ringraum räumlich und redundanzmäßig getrennt aufgebaut /PSÜ GKN-1/.</p> <p>Hinsichtlich der kapazitätsmäßigen Auslegung der Nuklearen Zwischenkühlpumpen (2x100 %-Pumpen je Kühlkreis) reicht eine Pumpe pro Strang zur sicheren Nachwärmeabfuhr aus /PSÜ GKN-1/.</p> <p>Zur Nachwärmeabfuhr sind zwei von vier Nachkühlketten erforderlich /TF GKN-1/.</p> <p>Bei Betrieb einer Nuklearen Zwischenkühlwasserpumpe werden ca. 330 kg/s, bei Parallelbetrieb von zwei Nuklearen Zwischenkühlwasserpumpen bis zu ca. 611 kg/s umgewälzt /TF GKN-1/.</p> <p>Bei Notkühlung (Sumpfbetrieb) ist auch mit nur einem Strang die Nachwärmeabfuhr (ca.</p>	<p>Nachwärmeabfuhr ausreichend.</p> <p>Daraus ergibt sich für dieses Bewertungsmerkmal kein relevanter Unterschied.</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>geführt werden, dass zu keinem Zeitpunkt die Auslegungstemperaturen von SHB sowie der Nachkühlkette überschritten werden /SSA GKN-2/.</p> <p>Die Nachwärmekühler sind in separaten Kammern im Ringraum vertikal aufgestellt. Die Nachwärmekühler sind primärseitig für 53 bar Überdruck, 200°C, sekundärseitig für 14 bar Überdruck, 200°C konzessioniert /JN GKN-2/.</p>	<p>36,6 MW) bei etwas höheren Temperaturen möglich /SSA GKN-1/.</p> <p>Die Nachwärmekühler sind primärseitig für 55 bar, 200°C, sekundärseitig für einen auslegungsgemäßen Kühlwasserdurchsatz von 280 kg/s bei 10 bar, 190°C konzessioniert /TH GKN-1/.</p>	
Nebenkühlwassersystem	<p>4fach redundant aufgebaut, für Bemessungserdbeben/Auslegungserdbeben und eine Berstdruckwelle aus Behälterbersten ausgelegt /PE GKN-2/.</p> <p>Vier gesicherte Nebenkühlwasserpumpen (4x50 %), jede in einem separaten Pumpenhaus untergebracht und vom Notstromnetz 1 versorgt /PE GKN-2/.</p> <p>4 gesicherte Nebenkühlwasserpumpen, Massenstrom 1000 kg/s</p>	<p>Drei Teilsysteme, eine vierte Nukleare Nebenkühlwasserpumpe auf die drei Stränge aufschaltbar. Diese vierte Pumpe wird im Bedarfsfall automatisch (bei Ausfällen) oder manuell (z. B. Instandhaltungsfall) zugeschaltet. Alle Komponenten sind Notstromnetz versorgt. Das VE-System ist - bis auf die Aufschaltung der 4. VE- Pumpe - räumlich und redundanzmäßig getrennt aufgebaut und gegen EVA-Lasten ausgelegt /PSÜ GKN-1/.</p>	<p>In GKN-2 sind 2v4, in GKN-1 sind 2v3 Strängen mit einer laufenden Nebenkühlwasserpumpe pro Strang für die Nachwärmeabfuhr erforderlich.</p> <p>Gemäß SSA ist in beiden Anlagen ein Strang zur Nachwärmeabfuhr ausreichend.</p> <p>Daraus ergibt sich für dieses Bewertungsmerkmal kein relevanter Unterschied.</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>Es werden beim KMV alle vier gesicherten Nebenkühlwasserpumpen vom Reaktorschutz gestartet; zum sicheren Beherrschen des Störfalles sind jedoch zwei Stränge ausreichend /PE GKN-2/.</p>	<p>Im Nebenkühlwassersystem (Strang VE01 bis 03) muss bei Betrieb eines TF-Kreises jeweils der redundanzzugehörige VE-Strang in Betrieb sein /VE GKN-1/.</p> <p>Für den Notkühlfall ist die Funktion von zwei Strängen ausreichend, so dass die VE-Pumpen in Bezug auf die Förderleistung als 4x50 % Aggregate bezeichnet werden können (wobei die eingebrachte Wärmemenge im Sumpfbetrieb bei einem gering höheren Temperaturniveau auch mit nur einem Strang abgeführt werden kann) /PSÜ GKN-1/.</p>	
Gebäudeabschluss	<p>Der automatische Lüftungsabschluss des SHB ist bei KMV-Störfällen kurzfristig notwendig. Die Ansteuerung der jeweiligen redundanten Armaturen erfolgt aus dem Reaktorschutz bei Anstehen der Notkühlkriterien. (Bei normaler Kühlmittelaktivität und praktisch keinen BS-Schäden infolge des Störfalles ist der Lüftungsabschluss allerdings nicht</p>	<p>Zur Verhinderung unzulässig hoher Aktivitätsabgaben an die Umgebung werden die SHB-Durchdringungen des Lüftungssystems automatisch geschlossen /SSA GKN-1/.</p> <p>Die Auslegung der Gebäudeabschlussarmaturen erfolgt mindestens für die Auslegungsbedingungen für den Reaktorsi-</p>	Kein relevanter Unterschied erkennbar.

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>notwendig, um die Grenzwerte des § 28 Abs. 3 einzuhalten.) /SSA GKN-2/</p> <p>Die den SHB durchdringenden Rohrleitungen besitzen grundsätzlich zwei Absperrarmaturen, jeweils innen- und außenliegend bzw. beide außerhalb des SHB angeordnet, die dem Gebäudeabschluss zugeordnet sind (bis auf WD-Leitungen). Bei einem KMV-Störfall kann der Gebäudeabschluss, soweit er dem Vermeiden eines Sumpfwasserverlustes dient, kurzfristig günstig und sehr langfristig notwendig sein, wenn man Offenstellung und das Versagen der betrieblichen Absperrung der Leitungen der Reaktorgebäudeentwässerung unterstellt; eine kurzfristige Absperrung dieser Leitungen ist wegen ihres begrenzten Querschnitts nicht notwendig /SSA GKN-2/.</p> <p>Da die Absperrungen über redundante, unterschiedlichen Notstromschienen zugeordnete</p>	<p>cherheitsbehälter, sofern systemseitig nicht höhere Anforderungen gestellt werden. Die Anordnung, Auslegung, Ansteuerung und Energieversorgung der Gebäudeabschlussarmaturen genügt den heutigen Anforderungen und ist geeignet, die Einhaltung der Schutzziele zu gewährleisten /PSÜ GKN-1/.</p> <p>Ein Einzelfehler in einer Scheibe der Energieversorgung wird durch redundante Scheibenzu-</p>	

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	Armaturen erfolgen, ist die GBA-Funktion auch bei unterstelltem Einzelfehler gegeben /SSA GKN-2/.	ordnung der 1. und 2. GBA-Armatur beherrscht /SSA GKN-1/.	
Ringraumabsaugung und Leckageabsaugungssystem	Der Ringraum-Lüftungsabschluß und das Zuschalten der Ringraumabsaugung sind günstig, jedoch zur Einhaltung der Strahlenschutzgrenzwerte nicht erforderlich. Grundsätzlich dienen diese Maßnahmen zur Erhaltung eines Unterdrucks im Ringraum und damit zur Verhinderung der ungefilterten Aktivitätsabgabe aus dem Ringraum, da wegen nicht ganz vermeidbarer SHB-Undichtigkeiten ein gewisser Aktivitätsaustrag aus dem SHB erfolgen kann /SSA GKN-2/ 2.3.2.1.	Um eine Aktivitätsabgabe in den Ringraum zu vermeiden, werden anfallende Leckagen an den SHB-Durchführungen abgesaugt und wieder in den SHB zurückgeführt /BHB GKN-1/. Der Ringraum-Lüftungsabschluß und das Zuschalten der Ringraumabsaugung sind günstig, jedoch zur Einhaltung der Strahlenschutzgrenzwerte nicht erforderlich /SSA GKN-1/.	Kein relevanter Unterschied erkennbar.
Energieversorgung (Notstrom)	Ein mit Beginn des Störfalls unterstellter Notstromfall hat für den Ablauf keine wesentliche Bedeutung, da alle benötigten E- und leittechnischen Einrichtungen an die Notstromversorgung angeschlossen sind /SSA GKN-2/.	Ein mit Beginn des Störfalls unterstellter Notstromfall hat für den Ablauf keine wesentliche Bedeutung, da alle benötigten E- und leittechnischen Einrichtungen an die Notstromversorgung angeschlossen sind /SSA GKN-1/.	Kein relevanter Unterschied erkennbar.

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
Merkmal 2: Abstand zu geforderten Nachweiskriterien			
Beherrschung von Störfallfolgen	<p>Soweit für hochenergetische Systeme Bruchausschluss nachgewiesen ist, sind folgende der genannten Folgewirkungen nicht oder nur begrenzt zu betrachten:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reaktionskräfte - begrenzt entsprechend einem 0,1 F-Leck der betrachteten Rohrleitung, - schlagende Rohrleitungen - begrenzt auf Abriss von Anschlussleitungen, - Strahlkräfte - begrenzt entsprechend einem 0,1 F-Leck der betrachteten Rohrleitung - Sumpfvorstopfung, Differenzdruckbelastungen und alle weiteren o.g. Umgebungsbedingungen der Leckstelle (Druck, Temperatur, Feuchte, Aktivität) begrenzt entsprechend einem 0,1 F-Leck der betrachteten Rohrleitung. <p>Bei dem Versagen einer hoch-</p>	<p>Als Bruchannahmen sind im Rahmen der PSÜ für die DFU aufgrund der zur Erfüllung der Auflage 5.29 der 2. Teilbetriebsgenehmigung erbrachten Nachweise zu unterstellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lecks $\leq 0,1$ F der Hauptkühlmittelleitung, Volumenausgleichsleitung und DH-Sprühleitungen, <p>Auch für die Systeme TA, TH, und RX ergibt sich aufgrund der im Rahmen von Änderungen erbrachten Nachweise als zu unterstellende Leckfläche das 0,1-F-Leck. Dies gilt auch für den Bereich von der Hauptkühlmittelleitung bis zur 1. Absperrarmatur (TA, TH) /PSÜ GKN-1/.</p> <p>Unabhängig von den maximal zu unterstellenden Rissgrößen wird das große Leck an der Hauptkühlmittelleitung weiterhin als auslegungsbestimmend für die Ermittlung des maximalen</p>	Kein relevanter Unterschied erkennbar.

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>energetischen Rohrleitung sind neben der Überflutung zusätzlich weitere, potentiell system- oder redundanzübergreifende Auswirkungen zu betrachten (/SSA GKN-2/ 2.3.4.4):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reaktionskräfte, - schlagende Rohrleitungen, - Strahlkräfte, - Differenzdruckbelastungen - Druckaufbau, - Temperaturaufbau, - Feuchte und beim Kühlmittelverluststörfall zusätzlich Strahlungsbelastung auf Anlagenteile durch austretendes Kühlmittel, - Hauptkühlmittelpumpen-Schwungradversagen - Sumpfstopfung oder Sumpferstörung - Wasserstofffreisetzung in den 	<p>Drucks, der maximalen Temperatur und der maximalen Druckdifferenzen im Sicherheitsbehälter, der Auslegung der Not- und Nachkühlsysteme, der Ermittlung der H₂-Erzeugung und der Ermittlung der maximalen Ringraumtemperatur bei Primärlecks herangezogen /PSÜ GKN-1/.</p>	

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>SHB.</p> <p>Durch die Vermeidung und Eingrenzung von Auswirkungen aus unterkritischen Lecks der Hauptkühlmittelleitung wird sichergestellt, dass die zur Beherrschung des Leckstörfalls erforderlichen Sicherheitsfunktionen gewährleistet bleiben /SSA GKN-2/ 2.3.4.4.</p>	<p>Durch die Vermeidung und Eingrenzung von Auswirkungen aus unterkritischen Lecks der Hauptkühlmittelleitung wird sichergestellt, dass die zur Beherrschung des Leckstörfalls erforderlichen Sicherheitsfunktionen gewährleistet bleiben /SSA GKN-1/.</p>	
<p>Maximale Brennstabhüllrohrtemperaturen</p>	<p>Nach /PSÜ GKN-2/ werden die Anforderungen der RSK-Leitlinien hinsichtlich kühlfähiger Kerngeometrie, maximaler Oxidationstiefe und zulässigen Oxidationsumfangs werden eingehalten. Die Einhaltung des maximalen Schadensumfanges von 10 % wird für jede Kernbelastung neu überprüft. Es wird festgestellt, dass die bei einem großen Leck an der HKL relevanten schutzzielorientierten Anforderungen sowie die präzisierenden Anforderungen der RSK-Leitlinien eingehalten werden.</p>	<p>In der PSÜ wird vom Gutachter bestätigt, dass bei den Störfällen mit mittleren Lecks (bis 0,1 F) keine unzulässigen Temperaturen erreicht werden, dass nach Wiederauffüllung durch die Notkühleinrichtungen (Druckspeicher, ND-Einspeisung) ein ausreichender Füllstand im Kern besteht und dass ausreichend Zeit zur Verfügung steht, von Flutbehältereinspeisung durch Reaktorschutzmaßnahme auf Einspeisung durch Sumpfbetrieb umzuschalten, ohne dass es zu einem Druckanstieg im Primärkreis kommt /PSÜ GKN-1/.</p>	<p>Auf der Basis der vorliegenden Unterlagen ist kein relevanter Unterschied erkennbar.</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
Maximale Hüllrohroxidation und maximale Brennstabschäden bzw. Abstand zu Nachweiskriterium BE-Schäden < 10 %	Nach /PSÜ GKN-2/ werden die Anforderungen der RSK-Leitlinien hinsichtlich kühlfähiger Kerngeometrie, maximaler Oxidationstiefe und zulässigen Oxidationsumfangs eingehalten. Die Einhaltung des maximalen Schadensumfanges von 10 % wird für jede Kernbeladung neu überprüft. Es wird festgestellt, dass die bei einem großen Leck an der HKL relevanten schutzzielorientierten Anforderungen sowie die präzisierenden Anforderungen der RSK-Leitlinien eingehalten werden.	Keine Angaben	In GKN-2 wird bestätigt, dass alle Anforderungen der RSK-LL eingehalten werden. Für GKN-1 liegen in den uns zur Verfügung stehenden Unterlagen keine Aussagen zum Umfang der Hüllrohroxidation und zu Brennstabschäden vor. Damit ist eine vergleichende Bewertung nicht möglich.
Integrität des SHB	Auslegungsüberdruck 5,9 bar Bei einem Leck im Reaktorkühlsystem von 437 cm ² stellt sich nach ca. 4 min ein maximaler Überdruck im SHB kleiner ca. 2,7 bar ein /BHB GKN-2/, Teil 3-1.3, Abschn. 3.4/7.	Auslegungsüberdruck 4,7 bar Bei einem Leck im Reaktorkühlsystem von 437 cm ² stellt sich nach ca. 4 min ein maximaler Überdruck im SHB kleiner 2,5 bar ein /BHB GKN-1/, 2-2.5.3-8.	Bei GKN-1 werden 53 % des Auslegungsüberdrucks im SHB erreicht, bei GKN-2 45 %. Kein relevanter Unterschied.
Wasserstoffbeherrschung	Bei primärseitigen Leckstörfällen kann es weiterhin infolge Radiolyse und eventueller Zirkon-Wasser-Reaktionen zur Bildung	Spätestens zwei Stunden nach Störfalleintritt sind Maßnahmen zur Wasserstoffdurchmischung einzuleiten (Handmaßnahmen	Kein relevanter Unterschied.

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>von Wasserstoffgas und - bei dessen exothermer Reaktion mit Luftsauerstoff im SHB - zu einem Druckanstieg im SHB kommen. Mit dem bei den Konvoi-Anlagen realisierten Konzept zur Beherrschung von KMV-Störfällen wird jedoch sichergestellt, dass die in den SHB freigesetzte Wasserstoffmenge so begrenzt ist, dass zusätzlich zu den Maßnahmen für die BE-Kühlung in der Sicherheitsebene 3 keine aktiven Maßnahmen erforderlich sind, um den SHB vor unzulässigen Drücken zu schützen /SSA GKN-2/.</p> <p>Die bei einem 2F-Bruch infolge der Zirkonium-Wasser-Reaktion des Brennelementhüllrohrmaterials entstehende Menge an Wasserstoff kann durch das Wasserstoffdurchmischungs- und -abbausystem unterhalb der Zündgrenze von 4-Vol% gehalten werden /SSA GKN-2/.</p> <p>Nach /PSÜ GKN-2/ ist der Abbau des sich bildenden Wasser-</p>	<p>im Schaltanlagegebäude).</p> <p>Anhand der Temperatur- und Wasserstoff-Messungen ist die Durchmischung der SHB-Atmosphäre durch Naturkonvektion zu überprüfen und ggf. durch weiteres Anheben der SHB-Sumpftemperatur (bis auf ca. 65°C) zu unterstützen. Die Temperatur im SHB-Sumpf ist aber nicht über 65°C anzuheben (Kavitation der Nachkühlpumpen bei > 70°C) /BHB GKN-1/.</p> <p>Einer oder beide Rekombinatoren werden von Hand zugeschaltet, wenn integral im SHB eine Wasserstoff-Konzentration größer 2,5 Vol% besteht /1/.</p>	

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>stoffs sichergestellt. Es wird festgestellt, dass die bei einem großen Leck an der HKL relevanten schutzzielorientierten Anforderungen sowie die präzisierenden Anforderungen der RSK-Leitlinien eingehalten werden.</p>		
<p>Merkmal 3: Vorhandensein weiterer zur Störfallbeherrschung nicht erforderlicher aber geeigneter Maßnahmen oder Einrichtungen</p>			
<p>Not- und Nachkühlsystem</p>	<p>2 weitere Stränge des Not- und Nachkühlsystems</p> <p>2 weitere Nachwärmekühler mit Auslegungsgemäß ca. 44,5 MW</p> <p>Ist die normale Nachkühlkette, z. B. nach Einwirkungen von außen, nicht mehr verfügbar, kann die anfallende Nachwärme über</p>	<p>1 weiterer Strang des Not- und Nachkühlsystems</p> <p>Ein zusätzlicher Strang (TH40/TH45), der abhängig von den Druckverhältnissen in den drei Einspeisesträngen (TH10/20/30) in die drei Einspeisestränge einspeist oder im Instandhaltungsfall fest auf einen Strang aufgeschaltet wird.</p> <p>1 weiterer Nachwärmekühler mit Auslegungsgemäß ca. 26,2 MW</p>	<p>In GKN-2 sind zwei weitere Stränge des Not- und Nachkühlsystems mit jeweils einem Nachkühler vorhanden, in GKN-1 ein weiterer Strang mit einem Nachkühler. In GKN-1 ist ein zusätzlicher Strang ohne eigenen Nachkühler vorhanden, der auf die übrigen drei Stränge aufgeschaltet werden kann.</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	die gegen Einwirkungen von außen gesicherte, zweisträngig aufgebaute Notnachkühlkette abgeführt werden. /JN GKN-2/		
Zusätzliche Pumpen im Not- und Nachkühlsystem	<p>2 ND-Pumpen</p> <p>2 BE-Beckenkühlpumpen parallel zu den Nachkühlpumpen, ausgelegt für 55 bar, 200°C, Förderstrom jeweils 170 l/s (entsprechend ca. 55 % des für die Kernkühlung bei Kühlmittelverluststörfall erforderlichen Kerndurchsatzes), max. mögl. Förderstrom bei 1 bar Gegendruck von 210 kg/s (nach /BHB GKN-2/, Teil 3-1.3).</p> <p>Die zwei Notstandsnachkühlketten sind dem zweiten Notstromsystem zugeordnet (D2) /SSA GKN-2/.</p>	2 ND-Pumpen	GKN-2 verfügt über zwei den ND-Pumpen parallel geschaltete Beckenkühlpumpen, deren Förderleistung sich auf jeweils ca. 55 % des beim KMV erforderlichen Kerndurchsatzes beläuft.
Zusätzlich vorhandene Druckspeicher und Gesamtkapazität Druckspeicher (DS)	<p>Es stehen neben den auslegungsgemäß benötigten DS zwei weitere DS zur Verfügung</p> <p>4 heißseitig und 4 kaltseitig einspeisende Druckspeicher, Inhalt pro DS: 34 m³ Kühlmittel /JN</p>	<p>Es stehen neben den auslegungsgemäß benötigten DS zwei weitere DS zur Verfügung</p> <p>3 heißseitig einspeisende DS, Inhalt pro DS: 50 m³ Kühlmittel</p>	In GKN-2 steht in Relation zum wiederaufzufüllenden RDB-Volumen ca. 25 % weniger Kühlmittel in den DS zur Verfügung als in GKN-1.

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>GKN-2/</p> <p>Gesamtkühlmittel DS: 272 m³ /JN GKN-2/.</p> <p>RDB-Volumen (bei RDB-Füllstand min 3): ca. 110,5 m³ /BHB GKN-2/, 3-1.3</p> <p>Die Behälter sind für 30 bar und 70°C ausgelegt /JN GKN-2/.</p> <p>Mindest-Borkonzentration c_{bw} 2020 ppm (B-10 Anteil 30,5 at%), /BHB GKN-2/</p>	<p>Demgegenüber haben nach /SSA GKN-1/ die heißseitigen DS ein Wasservolumen von 45 m³.</p> <p>3 kaltseitig einspeisende DS, Inhalt pro DS: 34 m³ Kühlmittel /TH GKN-1/</p> <p>Gesamtkühlmittel DS: 237 m³ (bei 45 m³ in den heißseitigen DS)</p> <p>RDB-Volumen (bei RDB-Füllstand min 3): ca. 73 m³ /BHB GKN-1/, 2-2.5.3-2</p> <p>Die Behälter sind für 30 bar und 70°C ausgelegt /TH GKN-1/.</p> <p>Mindest-Borkonzentration c_{bw} 2020 ppm (B-10 Anteil 30,5 at%) /BHB GKN-1/</p>	
Zusätzliche Flutbehälter und vorhandene Gesamtkapazität zur Kühlmittelergänzung	2 Flutbecken, pro Becken ca. 450 m ³	2 Flutbehälterpaare, Mindestinhalt pro Behälterpaar 215 m ³	In den DS und Flutbehältern stehen in GKN-1 insgesamt 1097 m ³ Kühlmittel, in GKN-2 insgesamt 2072 m ³ Kühlmittel zur Verfügung. Dies entspricht in Relation zum wiederaufzu-

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
			füllenden RDB-Volumen insgesamt einem bei GKN-2 um ca. 20% größeren Kühlmittelvorrat in den DS und den Flutbehältern.
Verfügbarkeit Flutbehälterinventar	<p>Nicht eingespeistes Flutbehälterinventar kann weiterhin über verschiedene Pumpen und BE-Beckenüberlauf in den Sumpf gefördert werden /BHB GKN-2/, Teil 3-1.3.</p> <p>Bleiben die Inhalte einzelner Flutbecken nicht genutzt (z. B. Pumpe nicht verfügbar), so kann durch Öffnen der gemeinsamen Ringleitung der Inhalt dieser Becken zumindest teilweise genutzt werden (Zulaufverhältnisse). Es ist jedoch zuvor die Integrität der gemeinsamen Füllleitung zu prüfen /BHB GKN-2/, Teil 3-1.3.</p>	Nicht eingespeistes Flutbehälterinventar kann über die HD-Förder-/Abdrückpumpen und den RKL via Leck oder über die Nachkühlpumpen und den BE-Beckenüberlauf dem Sumpf zugeführt werden /BHB GKN-1/, 2-2.5.3-1	<p>Bei GKN-2 können nach Schutzziel-BHB nicht genutzte Flutbehälterinventare über die gemeinsame Ringleitung direkt zur Kernkühlung zur Verfügung gestellt werden, in GKN-1 wird diese Möglichkeit nicht angesprochen</p> <p>Darüber hinaus existieren In beiden Anlagen weitere Möglichkeiten (über andere Systeme), nicht genutzte Flutbehälterinventare dem Sumpf zuzuführen.</p>
Auffüllen RDB über BE-Becken	Die Nachkühlpumpen in 2 Teilsystemen können auch aus dem BE-Becken verfügbare Kühlmittelinventare (abhängig vom Füllstand BE-Becken) ansaugen.	Über die Nachkühlpumpen kann ein verfügbares Volumen von 90 m ³ aus den BE-Becken (Borkonzentration c_{bw}) mit einem Durchsatz von 100 kg/s zur pri-	Kein relevanter Unterschied erkennbar.

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	Langfristig muss der BE-Beckenfüllstand wieder auf das Ausgangsniveau angehoben werden /BHB GKN-2/, Teil 3-1.3.	<p>märseitigen Kühlmittelergänzung herangezogen werden. Langfristig muss das BE-Becken wieder aufgefüllt werden /BHB GKN-1/, 2-2.5.3-2.</p> <p>Bei abgesteuertem Flutsignal kann durch Ansteuern einer Dreiwegearmatur das BE-Becken zum Sumpf geöffnet werden. Durch die geodätischen Höhendifferenz stehen damit etwa 200 m³ zusätzlicher Wasservorrat (bis auf Höhe des Anschlußstutzens der TH-Saugrohrleitung am BE-Becken) im Sumpf zur Verfügung. Der 3. BE-Beckenkühlstrang ist dann nicht mehr verfügbar. Die BE-Beckenkühlung soll dann durch Überlaufkühlung mit einem von zwei Not- und Nachkühlsträngen erfolgen /TH GKN-1/.</p>	
Zusätzliche Notstromversorgung	Die vier Dieselaggregate der Notstromanlage sind einzeln den Kühlsträngen des Nuklearen Nachwärmeabfuhrsystems zugeordnet /JN GKN-2/.	Die vier Stränge werden Teilsystembezogen von den vier Notstromdieseln versorgt. Ein fünfter, aufschaltbarer Notstromdiesel steht in Reserve /TH GKN-1/.	In GKN-1 steht ein fünfter Notstromdiesel zur Verfügung, der bei Ausfall eines der vier strangzugeordneten Diesel auf den ausgefallenen Strang aufgeschaltet werden kann.

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>Die zwei Notstandsnachkühlketten sind dem zweiten Notstromsystem zugeordnet (D2) /SSA GKN-2/.</p>		<p>In GKN-2 sind die zur Notstandsnachkühlung vorgesehenen Komponenten, die aufgrund ihrer Kapazität den Ausfall eines Notkühlstrangs kompensieren können, durch das unabhängige zweite Notstromsystem versorgt.</p> <p>Insgesamt ergibt sich hieraus kein bewertungsrelevanter Unterschied.</p>
<p>Zusätzliche Pumpen des Zwischenkühlsystems</p>	<p>2 weitere notstromgesicherte Zwischenkühlpumpen</p> <p>In zwei Strängen (Betriebskreise) ist den notstromgesicherten Zwischenkühlpumpen eine zweite, leistungsgleiche nicht notstromgesicherte Zwischenkühlpumpe parallel geschaltet, auf die beim KMV bei Nichtverfügbarkeit der gesicherten Zwischenkühlpumpe automatisch umgeschaltet wird /KAA GKN-2/.</p> <p>In zwei Strängen des Zwischenkühlsystems ist der notstromgesicherte Zwischenkühlpumpe</p>	<p>4 weitere notstromgesicherte Zwischenkühlpumpen</p> <p>In GKN-1 besteht die Möglichkeit, per Handmaßnahmen über zusätzliche Anschlüsse und Rohwasserpumpen des Brunnenkühlwassersystems die nuklearen Zwischenkühler zu versorgen.</p>	<p>In GKN-2 stehen zwei notstromgesicherte und zwei leistungsgleiche, nicht notstromgesicherte Zwischenkühlpumpen zur Verfügung.</p> <p>Weiterhin stehen in GKN-2 jeweils in zwei Strängen zusätzliche Notstandspumpen zur Verfügung, die vom Notstromnetz 2 versorgt werden. Die zwei Notzwischenkühlpumpen erreichen zusammen den 1,6fachen Durchsatz einer gesicherten Zwischenkühlwasserpumpe.</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>eine leistungskleinere, notstandsgesicherte Notzwischenkühlpumpe parallel geschaltet. Die Notzwischenkühlpumpen werden von Hand von der Notsteuerstelle aus eingeschaltet. Der Massenstrom einer Notzwischenkühlpumpe beträgt 400 kg/s (entsprechend 80 % des Massenstroms einer gesicherten Zwischenkühlpumpe) /KAA GKN-2/,</p>		<p>In GKN-1 stehen vier notstromgesicherte Zwischenkühlpumpen zur Verfügung.</p> <p>Weiterhin besteht in GKN-1 die Möglichkeit, per Handmaßnahmen über zusätzliche Anschlüsse und Rohwasserpumpen des Brunnenkühlwassersystems die nuklearen Zwischenkühler zu versorgen.</p> <p>Insgesamt ergibt sich damit kein relevanter Unterschied.</p>
Zusätzliche Pumpen des Nebenkühlwassersystems	<p>2 Nebenkühlwasserpumpen</p> <p>2 Notnebenkühlwasserpumpen, Massenstrom pro Pumpe (bei NNW) 560 kg/s (entsprechend 56 % des Massenstroms einer gesicherten Nebenkühlwasserpumpe).</p> <p>Die Notnebenkühlwasserpumpen werden über das Notstromnetz 2 durch die Notspeisenotstromgeneratoren versorgt. Hierzu erfolgt vorher eine mechanische Abkopplung der entspre-</p>	2 Nebenkühlwasserpumpen	<p>In GKN-2 stehen in zwei Strängen zusätzliche Notnebenkühlwasserpumpen zur Verfügung, die vom Notstromnetz 2 versorgt werden. Die zwei Notnebenkühlwasserpumpen erreichen zusammen den 1,1fachen Durchsatz einer Nebenkühlwasserpumpe.</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	chenden Notspeisepumpe vom zugeordneten Notspeisediesel. Die Notnebenkühlwasserpumpen werden in der Notsteuerstelle des Notspeisegebäudes von Hand gestartet /PE GKN-2/.		

5 Darstellung und Bewertung der relevanten Unterschiede

5.1 Darstellung relevanter Unterschiede

Zu Merkmal 1: Zur Ereignisbeherrschung erforderliche Maßnahmen oder Einrichtungen.

In GKN-2 steht in Relation zum wiederaufzufüllenden RDB-Volumen pro Flutbehälter ein um ca. 40 % größeres Inventar zur Verfügung als in GKN-1.

Zu Merkmal 3: Vorhandensein weiterer, zur Störfallbeherrschung nicht erforderlicher aber geeigneter Maßnahmen oder Einrichtungen

In GKN-2 sind zwei weitere Stränge des Not- und Nachkühlsystems mit jeweils einem Nachkühler vorhanden, in GKN-1 ein weiterer Strang mit einem Nachkühler. In GKN-1 ist ein zusätzlicher Strang ohne eigenen Nachkühler vorhanden, der auf die übrigen drei Stränge aufgeschaltet werden kann.

GKN-2 verfügt über zwei den ND-Pumpen parallel geschaltete Beckenkühlpumpen, deren Förderleistung sich auf jeweils ca. 55 % des beim KMV erforderlichen Kerndurchsatzes beläuft.

In GKN-2 steht in Relation zum wiederaufzufüllenden RDB-Volumen ca. 25 % weniger Kühlmittel in den DS zur Verfügung als in GKN-1. In den DS und Flutbehältern insgesamt steht in Relation zum wiederaufzufüllenden RDB-Volumen bei GKN-2 ein um ca. 20% größerer Kühlmittelvorrat zur Verfügung als in GKN-1.

Bei GKN-2 können nach Schutzziel-BHB nicht genutzte Flutbehälterinventare über die gemeinsame Ringleitung unmittelbar den Nachkühlpumpen zur Kernkühlung zur Verfügung gestellt werden, in GKN-1 wird diese Möglichkeit nicht angesprochen.

In GKN-2 stehen in zwei Strängen zusätzliche Notnebenkühlwasserpumpen zur Verfügung, die vom Notstromnetz 2 versorgt werden. Die zwei Notnebenkühlwasserpumpen erreichen zusammen den 1,1fachen Durchsatz einer Nebenkühlwasserpumpe.

Zu Merkmal 4: Sicherstellung der Kernkühlung bei Kühlmittelverluststörfällen mit Freisetzung von Isoliermaterial (Detailvergleich siehe Anhang 1)

Im KKW GKN-2 sind je zwei Notkühlsysteme an eine Sumpfansaugkammer angeschlossen. Das KKW GKN-1 besitzt für alle vier Notkühlsysteme 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.

5.2 Bewertung relevanter Unterschiede

Zu Merkmal 1: Zur Ereignisbeherrschung erforderliche Maßnahmen oder Einrichtungen.

Das in Relation zum wiederaufzufüllenden RDB-Volumen größere Flutbehälterinventar bei GKN-2 stellt einen Vorteil gegenüber GKN-1 dar.

Zu Merkmal 3: Vorhandensein weiterer, zur Störfallbeherrschung nicht erforderliche aber geeigneter Maßnahmen oder Einrichtungen.

Die größeren Reserven in der Kapazität der Nachwärmekühler sind als günstig für GKN-2 zu werten.

Das Vorhandensein zusätzlicher Beckenkülpumpen, die für die Notkühlung einsetzbar sind, stellt einen Vorteil für GKN-2 dar.

Der insgesamt in Relation zum wiederaufzufüllenden RDB-Volumen größere Kühlmittelvorrat stellt einen Vorteil für GKN-2 dar.

In GKN-2 sind im Rahmen des Schutzziel-BHB mehr Möglichkeiten (Ringleitung) zur Bereitstellung von nicht genutzten Flutbehälterinventaren vorgesehen als in GKN-1, was daher als Vorteil für GKN-2 zu werten ist.

Das Vorhandensein zusätzlicher Notnebenkühlwasserpumpen stellt einen Vorteil für GKN-2 dar.

Zu Merkmal 4: 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.

5.3 Fazit

Die Vorteile von GKN-2 überwiegen die Vorteile von GKN-1 (GKN-2: insbesondere zwei zusätzliche Beckenkülpumpen, zwei zusätzliche Notnebenkühlwasserpumpen, größeres Notkühlmittelinventar, größere Reserven in der Kapazität der Nachwärmekühler; GKN-1: vollständige Entmaschung der Sumpfansaugkammern).

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 13

Bewertungsgegenstand: „Großes Leck an der druckführenden Umschließung (Leckquerschnitt = 0,1 F)“

Bewertungsmerkmal 4: 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 13 „Großes Leck an der druckführenden Umschließung (Leckquerschnitt = 0,1 F)“ das Bewertungsmerkmal 4 „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
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.



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 14:

„Versagen eines Dampferzeu-
ger-Heizrohres größer als
betrieblich zulässige Lecka-
gen bis maximal 2F“

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 14:
„Versagen eines Dampferzeuger-Heizrohres größer als betrieblich zulässige Leckagen bis maximal 2F“

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
2.2	Bewertungsmerkmale	4
3	Verwendete Unterlagen	6
4	Anlagenvergleich	7
5	Bewertung.....	26
5.1	Relevante Anlagenunterschiede	26
5.2	Bewertung der relevanten Anlagenunterschiede	28
5.3	Fazit	29
6	Literatur.....	30

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 14 „Versagen eines Dampferzeuger-Heizrohres größer als betrieblich zulässige Leckagen bis maximal 2F“ behandelt. Dies ist ein Ereignis der Sicherheitsebene 3.

2 Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale

2.1 Bewertungsgegenstand

Bei Dampferzeuger-Heizrohrbrüchen kommt es zu einem Übergang von Primärkühlmittel aus dem Primär- in den Sekundärkreislauf. Das ausströmende Kühlmittel steht für die Kernkühlung nicht mehr zur Verfügung. Zudem wird durch den Übergang von Primärkühlmittel Aktivität auf die Sekundärseite transportiert, sodass die Barriere „Druckführende Umschließung“ nicht mehr wirksam ist. Damit sind für diesen Fall im Wesentlichen die Sicherstellung der Wärmeabfuhr aus dem Kern und die Minimierung des Aktivitätsaustrages von Bedeutung.

Die Strategie zur Beherrschung dieses Störfalles liegt in einer schnellen primärseitigen Druckentlastung zur Minimierung des Übergangs von Primärkühlmittel, der Vermeidung der Anregung der Notkühlkriterien durch Sicherstellung der Überspeisung des Leckmassenstromes (Leckergänzung) sowie der Isolation des betroffenen Dampferzeugers, wodurch dieser von der Sekundärseite getrennt und dadurch die Barrierenfunktion der druckführenden Umschließung (DfU) wieder hergestellt wird.

Der Störfall umfasst Leckgrößen, die größer als betriebliche Leckagen sind, bis hin zum vollständigen Abriss eines Heizrohres (2F-Bruch). Der 2F-Bruch deckt kleinere Lecks an den Heizrohren hinsichtlich der Auswirkungen und einzuleitenden Maßnahmen zur Störfallbeherrschung ab und wird aus diesem Grunde im weiteren Verlauf dieses Vergleichs behandelt.

Beim dem hier als Referenzfall des Dampferzeuger(DE)-Heizrohrlecks definierten Störfall kommt es zu einem vollständigen Abriss eines Dampferzeuger-Heizrohres (2F-Bruch). Die Erkennung des Störfalles erfolgt auslegungsgemäß über das Ansprechen der Aktivitätsmessungen in den Frischdampf(FD)-Leitungen, die im Wesentlichen das radioaktive Isotop N16 detektieren. Der Referenzfall läuft ohne Notstromfall sowie ohne Anregung der Notkühlkriterien ab. Die sekundärseitige Wärmeabfuhr wird über die Frischdampf-Umleitstation (FDU) sichergestellt.

Im Rahmen der fortschreitenden Untersuchungen zum Dampferzeuger-Heizrohrleck hat sich in der Vergangenheit gezeigt, dass zusätzliche System- bzw. Komponentenausfälle bzw. -störungen aber auch Fehlbedienungen denkbar sind, die die Maßnahmen zur Ereignisbeherrschung bestimmen. Ferner sind spezielle Randbedingungen,

wie z.B. die Überlagerung des Notstromfalles, zu berücksichtigen. Durch derartige Störungen bzw. zusätzliche Randbedingungen beim Ablauf des Referenzfalls kommt es zu Erschwernissen im jeweiligen Ereignisablauf, die Änderungen in den Prozeduren für die Betriebsmannschaft erforderlich machen, die im Betriebshandbuch festgelegt sind. Folgende Varianten des Dampferzeuger-Heizrohrlecks sind demnach von Bedeutung und werden in der vorliegenden Untersuchung berücksichtigt:

- **Variante 1:** DE-Heizrohrleck (Referenzfall mit verfügbarer Frischdampf-Umleitstation (FDU)),
- **Variante 2:** DE-Heizrohrleck mit Notstromfall,
- **Variante 3:** DE-Heizrohrleck mit Erreichen der Notkühlkriterien sowie
- **Variante 4:** DE-Heizrohrleck ohne Anregung des N16-Signals.

Nachfolgend werden für die Störfallvarianten 2 bis 4 die Störfallmerkmale sowie die grundsätzlichen Vorgehensweisen beschrieben, soweit sie für die beiden Anlagen in den dazugehörigen Betriebshandbüchern berücksichtigt sind.

Das Dampferzeuger-Heizrohrleck in Kombination mit dem Notstromfall bedeutet den zusätzlichen Ausfall der Hauptkühlmittelpumpen und Hauptwärmesenke. Primärseitig erfolgt in diesem Fall die Wärmeabfuhr aus dem Kern über Naturumlauf. Charakteristisch für das Dampferzeugerheizrohrleck unter Notstrombedingungen ist, dass aufgrund des Ausfalls der Hauptkühlmittelpumpen das betriebliche Kreislaufsprühen des Druckhalters nicht zur Verfügung steht. Ferner kann es wegen der fehlenden Bypassströmung am Eintritt in den Reaktordruckbehälter (RDB) in Richtung oberes Plenum zur Ausbildung einer RDB-Deckelblase kommen, die insbesondere zu einer Beeinflussung des Druckhalter(DH)-Füllstandes führt. Auf der Sekundärseite wird der Dampferzeuger über die An- und Abfahrpumpen bespeist. Der entstehende Frischdampf wird über die FD-Druckregelung mittels der Abblaseregelventile der intakten Dampferzeuger an die Umgebung abgegeben. Damit kommt es beim Dampferzeuger-Heizrohrleck unter Notstrombedingungen zu einer Aktivitätsabgabe an die Umgebung solange der defekte Dampferzeuger nicht isoliert ist. Grundsätzlich wird während des Störfallablaufes - sobald es möglich ist - immer versucht, die Eigenbedarfsversorgung (Versorgung aus dem Fremd- bzw. Reservenetz) der Anlage wiederherzustellen.

Die Notkühlkriterien werden beim Dampferzeuger-Heizrohrleck erreicht, wenn der Druckhalter(DH)-Füllstand unter einen anlagenspezifischen Wert, der im Reaktor-

schutzsystem überprüft wird, fällt. Dieser Reaktorschutz-Grenzwert wird erreicht, wenn zusätzliche Störungen im Ereignisablauf auftreten, die z. B. eine zu geringe Lecker-gängung oder eine sekundärseitig bedingte Unterkühlung des Primärkreises auslösen. Die Folgen des Ansprechens der Notkühlkriterien sind insbesondere das Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen (HKMP), das Starten der Sicherheitseinspeisepumpen und der Primärkreisabschluss. Durch die laufenden Sicherheitseinspeisepumpen wird dem Primärkreis deren hoher Druck aufgeprägt, sodass dadurch der Leckmassenstrom zur Sekundärseite hochgehalten wird. Durch den Primärkreisabschluss werden nuklear-technische Hilfssysteme - wie z.B. das Volumenregelsystem - vom Primärkreis ge-trennt. Für den weiteren Störfallablauf wird es durch die vorab dargestellten Folgen notwendig, den Druckhalter wieder über den Reaktorschutzgrenzwert hinaus aufzufül-len, die Notkühlkriterien zurückzusetzen und im Anschluss die Sicherheitseinspeise-pumpen abzuschalten, um eine Druckabsenkung im Primärkreis zu ermöglichen. Kommt es bei dieser Störfallvariante zusätzlich zum Ausfall der FDU, so erfolgt auch hier - durch das Ablasen von FD über Dach - eine Aktivitätsfreisetzung an die Umge-bung.

Bei kleinen Reaktorleistungen (ab ca. < 20% der Nennleistung), beim 3-Loop- (GKN-2) bzw. 2-Loop-Betrieb (GKN-1) oder beim längeren Verweilen im Zustand Nulllast-heiß kann im Falle eines Dampferzeuger-Heizrohrbruches das Ansprechen der Aktivitäts-messstellen der FD-Leitungen (aufgrund geringerer Aktivierung von Sauerstoff und der kurzen Halbwertszeit von N16) ausbleiben. In diesem Fall werden die Maßnahmen zur Störfallbeherrschung erst verzögert durch eine RESA aufgrund der Unterschreitung des minimalen Druckhalterfüllstandes eingeleitet. Aufgrund der ausbleibenden automa-tischen Maßnahmen zur Druckabsenkung im Primärkreis und des damit verbundenen hohen Leckmassenstromes kommt es im weiteren Ereignisablauf immer zum Anspre-chen der Notkühlkriterien.

2.2 Bewertungsmerkmale

Aus den vorab dargestellten Varianten des Dampferzeugerheizrohrlecks und der Er-ignisabläufe leiten sich für den Vergleich der Anlagen GKN-2 und GKN-1 folgende Bewertungsmerkmale ab:

- **Merkmal 1:** Erkennung Dampferzeuger-Heizrohrleck,
- **Merkmal 2:** Abschaltung des Reaktors,

- **Merkmal 3:** Absenkung des Primärkreisdruckes zur Minimierung des Leckmassenstromes sowie Vermeidung der Anregung der Notkühlkriterien,
- **Merkmal 4:** Detektion und Isolation des defekten Dampferzeugers,
- **Merkmal 5:** Minimierung des Deionateintrages von der Sekundär- auf die Primärseite des defekten Dampferzeugers,
- **Merkmal 6:** kumulierte Aktivitätsfreisetzung bei den Störfallvarianten mit FD-Abblasen über Dach sowie
- **Merkmal 7:** thermische und strukturmechanische Belastung des Kerns und Druckhalters.

3 Verwendete Unterlagen

Die folgenden Unterlagen wurden für den Anlagenvergleich verwendet:

- Kategorie 1

- /1/ Sicherheitsstatusanalyse Konvoi, Dezember 1998/Juli 2001,
- /2/ TÜV-Arbeitsgemeinschaft Konvoi: Gutachten zur Sicherheitsstatusanalyse, September 2001,
- /3/ Betriebshandbuch Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 2 (GKN-2), Stand 26.03.2007
- /4/ Sicherheitsstatusanalyse für das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 1, August 1996,
- /5/ Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block1, Gutachtliche Stellungnahme zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ), September 1997,
- /6/ Betriebshandbuch Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 1 (GKN-1), Stand 26.03.2007.
- /7/ Sicherheitsbericht für das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block II (GKN-2), März 1981,
- /8/ Sicherheitsbericht Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar (GKN), Juni 1975,

- Kategorie 3

- /9/ Kraftwerk Union AG: Schulungsunterlagen DWR-Anlagenkurs, 1986,
- /10/ Siemens: Schulungsunterlagen Reaktorschutzkurs (basiert auf GKN-2), Mai 1998.

4 Anlagenvergleich

In der nachfolgenden Tabelle sind diejenigen Teilschritte, wie sie sich aus den jeweiligen Betriebshandbüchern ergeben, für die vier Störfallvarianten dargestellt, aus denen sich signifikante Unterschiede zwischen den beiden Anlagen ergeben. Diese Teilschritte sind in der Tabelle den o. g. Bewertungsmerkmalen zugeordnet, sodass ihre hier dargestellte Reihenfolge nicht mit der Reihenfolge in der Störfallbeherrschung, wie sie im jeweiligen Betriebshandbuch dokumentiert ist, übereinstimmen muss.

Die sich ergebenden relevanten Unterschiede sind in der rechten Spalte „Ergebnisse“ der Tabelle unter der Überschrift „Relevante Unterschiede Bewertungsmerkmal ...“ zusammengefasst. Zur besseren Auffindbarkeit sind diese zusätzlich in den linken Spalten der Tabelle in „**fetter**“ Schrift gekennzeichnet.

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
Variante 1: Dampferzeuger-Heizrohrbruch mit 2F (Referenzfall mit sekundärseitiger Wärmeabgabe über FDU und Be- speisung DE über Schwachlastregelventile der Hauptspeisewasserversorgung)		
Bewertungsmerkmal 1: „Erkennung Dampferzeuger-Heizrohrleck“		
<p>Aktivitätsmessstellen (Geiger-Müller-Zähl- rohre) in den 4 FD-Leitungen (je Leitung 3 Messstellen, Ansprechen bei > 40 Impulse/s und 2v3) oder Szintillationszähler in den 4 FD-Leitungen (je Leitung 3 Messstellen, Ansprechen bei > 800 Impulse/s und 2v3)</p> <p>Alternative Erkennungsmöglichkeiten: Aktivitätsmessungen DE-Abschlammung und Kondensatorabsaugung (Edelgasaktivität)</p>	<p>Aktivitätsmessstellen in den 3 FD-Leitungen (je Leitung 3 Messstellen, Ansprechen bei > 20 Impulse/s und 2v3)</p> <p>Alternative Erkennungsmöglichkeiten: Aktivitätsmessungen DE-Abschlammung und Kondensatorabsaugung (Edelgasaktivität)</p>	<p>Relevante Unterschiede Bewertungsmerkmal 1:</p> <p>GKN-2: Eine zusätzliche diversitäre Messeinrich- tung vorhanden.</p> <p>GKN-1: Die FD-Aktivitätsmessstelle spricht bei geringeren Impulsraten an. Anhand der vorlie- genden Unterlagen ist die Relevanz der unter- schiedlichen Impulsraten nicht zu bewerten.</p>
Bewertungsmerkmal 2: „Abschaltung des Reaktors“		
<p>Automatische Maßnahmen:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Durch Reaktorschutz Abfahren über Begrenzung (JR 12) auslösen (durch FD-Aktivität > Max) – Absenken der Reaktor- /Generatorleistung mit 20%/Minute – RESA und TUSA (wenn Reaktorlei- stung > 12% und KMD < 131 bar oder spätestens 300 s nach Auslösen FD- Aktivität > max) 	<p>Automatische Maßnahmen:</p> <ul style="list-style-type: none"> – RESA und mit einer Verzögerung von 2 s TUSA (Drehstrom- und Bahn- strom-Turbosatz) (durch FD-Aktivität > Max) 	<p>Relevante Unterschiede Bewertungsmerkmal 2:</p> <p>GKN-2: Zunächst Abfahren über Begrenzung (Leistungsabsenkung, um die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines Notstromfalls zu verrin- gern) und spätere Reaktorschnellabschaltung (RESA) (spätestens nach 300 s)</p> <p>GKN-1: Sofortige RESA nach Störfallerkennung und Turbinenschnellabschaltung (TUSA) mit 2 s Verzögerung</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<p>Aufborieren des Primärkühlkreislauf (PKL):</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1v2 Borsäuredosierstrang der Borsäure- und Deionateinspeisung speist mit vollem Durchsatz (6 kg/s) ein (Sollwert Borkonzentration auf $> C_{BW}$ eingestellt) - Zusatzboriersystem (8 kg/s) auf Hilfs-sprühung (2200 ppm) bzw. Loopeinspeisung (7000 ppm, bis Leistung auf 20% abgesunken ist (ca. 4 Min. nach Störfallbeginn) und nach dem DH-Sprühen bis Borsäure aus den Borierbehältern eingespeist ist; danach Einspeisung aus Flutbehältern (2200 ppm)). - Bei $KMT_{EIN} < 260^{\circ}C$ muss die Borkonzentration $> C_H$ erreicht sein. Bei $KMT_{EIN} < 200^{\circ}C$ muss die Borkonzentration $> C_{H-K}$ erreicht sein. 	<p>Aufborieren des Primärkühlkreislauf (PKL):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Es ist mit maximaler Boriergeschwindigkeit so früh wie möglich aufzuborieren. Leckageergänzung mit Volumenregelsystem (2 HD-Förderpumpen + Abdrückpumpe, ca. 13,5 kg/s) und Ansaugen aus Flutbehältern (2200 ppm). Nach erfolgtem Druckausgleich zwischen defektem DE und Primärsystem eine TA-Pumpe saugseitig von Flutbehälter auf Volumenausgleichsbehälter umschalten (Einspeiseborkonzentration 7000 ppm). Ziel ist das Erreichen und Halten der Borkonzentration c_{BW}. - Bei Kühlmitteltemperatur (KMT) = 200 °C muss mindestens die Borkonzentration c_{H-K} erreicht sein. 	<p>GKN-2: Der zweite Borsäuredosierstrang steht als Reserve zur Verfügung (nur bei den Störfallvarianten ohne Primärkreisabschluss relevant). Die Unterschiede in den Reserven zur Boreinspeisung sind für dieses Ereignis nicht relevant.</p>
<p>Bewertungsmerkmal 3: „Absenkung des Primärdruckes zur Minimierung des Leckmassenstromes sowie Vermeidung der Anre-gung der Notkühlkriterien“</p>		
<p>Automatische Maßnahmen (Ziel ist das Absprühen des Primärkreisdruckes auf ≤ 89 bar):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ausschalten DH-Heizung - Einschalten Borsäurepumpe - Zuschalten Zusatzboriersystem in der Betriebsart Loop-Einspeisung - Zuschalten der 2. HD-Förderpumpe des Volumenregelsystems (VRS) - Herabsetzen der Sollwerte der DE-Füllstandsregelungen auf 11,2 m 	<p>Automatische Maßnahmen (Ziel ist das Absprühen des Primärkreisdruckes auf ≤ 87 bar):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kreislauf- (3 Leitungen) und Hilfs-sprühung (2 Leitungen) einleiten - Heiße und kalte Hilfsprühleitung Vo-lumenregelsystem (TA) durchschalten - Zuschalten der beiden HD-Förderpumpen sowie der Abdrück-pumpe des TA-Systems (max. 13,5 kg/s) 	<p>Relevante Unterschiede Bewertungsmerkmal 3:</p> <p>GKN-2: 4-strängiges Zusatzboriersystem vorhanden \Rightarrow Sprühen mit Kreislaufsprühen und Hilfs-sprühen mit Zusatzboriersystem u. Volumenregelsystem.</p> <p>GKN-1: Kein Zusatzboriersystem vorhanden \Rightarrow Sprühen mit drei Kreislaufsprühleitungen und zwei Hilfsprühleitungen des Volumenregelsystems.</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<ul style="list-style-type: none"> - Sollwert DH-Füllstandsregelung auf 8 m anheben - In Abhängigkeit des DH- Füllstandsabfalls teilweises Zufahren bzw. Schließen der HD-Reduzierstation - Öffnen der FDU ⇒ Wärmeabfuhr über Turbosatz und FDU. Halten des FD-Drucks auf ca. 79 bar. - Ausschalten KMD-Regelung - Einschalten Kreislaufsprühen - Einschalten Hilfssprühen Volumenregelsystem (6 kg/s) - Einschalten Hilfssprühen Zusatzbo-riersystem aus Flutbecken (8 kg/s) 	<ul style="list-style-type: none"> - Umschaltung der TA-Einspeisung vom Volumenausgleichsbehälter auf Flutbehälter (2200 ppm Borkonzentration) - Umschalten auf Notsperrowasserver-sorgung der Hauptkühlmittelpumpen (HKMP) zur Bereitstellung der vollen Hilfssprühmenge - Sollwert DH-Füllstandsregelung auf 8 m anheben und HD-Reduzierstationen schließen - KMD-Regelung ausschalten ⇒ DH-Heizung aus - Herabsetzen der Sollwerte der DE- Füllstandsregelungen um 1 m - Begrenzung des FD-Druckes durch FDU auf 79 bar 	
Bewertungsmerkmal 4: „Detektion und Isolation des defekten Dampferzeugers“		
<p>Orten des defekten DE mittels:</p> <ul style="list-style-type: none"> - FD-Leitung Aktivität TypA + Typ B - Vergleich DE-Füllstände - Stellung Schwachlastregelventile - Vergleich Hauptspeisewasserdurchsatz - Aktivität DE-Abschlämmung 	<p>Orten des defekten DE mittels:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Schreiber N16-Aktivität - Vergleich DE-Füllstände - Stellung Schwachlastregelventile - Vergleich Hauptspeisewasserdurchsatz - Aktivität DE-Abschlämmung 	<p>Relevante Unterschiede Bewertungsmerkmal 4:</p> <p>Detektion:</p> <p>Sicherheitsrelevante Unterschiede sind nicht erkennbar.</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<p>Isolieren des defekten DE durch manuelles Schließen von:</p> <ul style="list-style-type: none"> - FD-Absperrarmatur - FD-Anwärmventile - Absperrschieber Abfahrleitung - Hauptspeisewasserschieber - Hauptlastregelventil - Absperrschieber vor Speisewasserregelventil - Schwachlastregelventil - Armaturen DE-Abschlämmung - Gebäudeabschluss (GBA)-Armatur <p>Hochsetzen der Füllstandssollwerte der intakten DE von 11,2 m auf 12,2 m</p> <p>Zur Vermeidung der Anregung des Teilabfahrens für den defekten DE ist bei FD-Druck isolierter DE > 82 bar die Druckentlastung über die FD-Anwärmleitung durchzuführen und das Anwärmventil derart einzustellen, dass sich der FD-Druck unter 82 bar einstellt.</p>	<p>Isolieren des defekten DE durch manuelles Schließen von:</p> <ul style="list-style-type: none"> - FD-Absperrarmatur - Notspeisewasserabsperrventil - Hauptspeisewasserschieber - Absperrschieber vor Speisewasserregelventil - Schwachlastregelventil - Armaturen DE-Abschlämmung - Probenahme-Leitung <p>Anwärmleitung bleibt teilweise geöffnet ⇒ FD-Druck im defekten Dampferzeuger mit Anwärmventil auf 80 bar halten (Vermeidung der Auslösung des Teilabfahrens durch FD-Druckanstieg auf 84 bar). Bei Druckanstieg auf 82 bar im defekten Dampferzeuger muss FD-Abschlussarmatur des defekten DE kurzfristig geöffnet werden.</p>	<p>Isolation:</p> <p>GKN-2: Vollständige Isolation des defekten Dampferzeugers. Zur Vermeidung der Teilabfahren-Anregung ist das Öffnen der Anwärmleitung vorgesehen.</p> <p>GKN-1: Anwärmleitung des defekten Dampferzeugers bleibt geöffnet. Darüber wird der FD-Druck im teilweise isolierten, defekten Dampferzeuger per Hand auf ca. 80 bar geregelt.</p>
<p>Bewertungsmerkmal 5: „Minimierung des Deionateintrages von der Sekundär- auf die Primärseite des defekten Dampferzeugers“</p>		
<p>Beim weiteren sekundärseitigen Abfahren mit max. 50 K/h (nach Druckausgleich zwischen defektem DE und Primärsystem) wird parallel der Kühlmitteldruck über das Kreislaufsprühen unter Einhaltung einer Unterkühlung von mindestens 15</p>	<p>Beim weiteren sekundärseitigen Abfahren mit 50 K/h (nach Druckausgleich zwischen defektem DE und Primärsystem) wird parallel der Kühlmitteldruck über das Kreislaufsprühen unter Einhaltung einer Unterkühlung von mindestens 15 bar bis auf</p>	<p>GKN-2: Hinweis zum Angleichen des Primärkreisdruckes an den FD-Druck im isolierten Dampferzeuger im BHB vorhanden.</p> <p>GKN-1: Keine speziellen Handlungsanweisungen für das Angleichen der Drücke im PKL und im iso-</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<p>bar bis auf ca. 31 bar abgesenkt. Dabei wird die Wechselwirkung KMD/FD-Druck isolierter DE stetig beobachtet. Der Übergang von Deionat aus dem isolierten DE in den Primärkreis wird nicht ausgeschlossen bzw. über spezielle Druckangleichmaßnahmen verhindert. Das Zusatzboriersystem soll zur Sicherstellung der Unterkritikalität auf Loopeinspeisung zugeschaltet bleiben.</p>	<p>< 35 bar abgesenkt. Dabei wird unter kontinuierlicher Aufborierung über das Volumenregelsystem der Übergang von Deionat aus dem isolierten DE in den Primärkreis nicht ausgeschlossen bzw. nicht über spezielle Druckangleichmaßnahmen verhindert, sodass kontinuierlich die Borkonzentration im PKL zu beobachten ist. Ist abzusehen, dass bei Unterschreiten von KMT=200 °C die Borkonzentration auf c_{H-K} abnimmt, ist das Abfahren und die KMD-Absenkung solange zu unterbrechen bzw. der Abfahrgradient zu reduzieren, bis das Primärsystem wieder ausreichend aufboriert ist.</p>	<p>lierten Dampferzeuger im BHB vorhanden. Ein begrenzter Deionatübertritt wird bei zwei laufenden Hauptkühlmittelpumpen (HKMP) in Kauf genommen. Als Maßnahme gegen den Deionateintrag wird auf eine ausreichende Borkonzentration kontrolliert und ggf. durch Aussetzen der Druckabsenkung und Warten eine ausreichende Borkonzentration sichergestellt.</p> <p>Anhand der vorliegenden Unterlagen ist die Relevanz der Unterschiede in den Handlungsanweisungen nicht zu bewerten.</p>
Bewertungsmerkmal 6: „Kumulierte Aktivitätsfreisetzung bei den Störfallvarianten mit FD-Abblasen über Dach“		
-	-	Bewertungsmerkmal 6 beim Referenzfall nicht relevant, da hier kein Abblasen über Dach auftritt.
Bewertungsmerkmal 7: „Thermische und strukturmechanische Belastung des Kerns und Druckhalters“		
-	-	Aufgrund fehlender Störfallanalyseergebnisse sind für dieses Merkmal keine Aussagen zu relevanten sicherheitstechnischen Anlagenunterschieden möglich.
Variante 2: Dampferzeuger-Heizrohrbruch mit 2F und Notstromfall (Annahme: Eintritt Notstromfall mit RESA)		
Bewertungsmerkmal 1: „Erkennung Dampferzeuger-Heizrohrleck“		
Zur Erkennung siehe Störfallvariante 1, Bewertungsmerkmal 1.		
Bewertungsmerkmal 2: „Abschaltung des Reaktors“		
Zu den „Automatische Maßnahmen“ siehe Störfallvariante 1; Bewertungsmerkmal 2.		

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<p>Das weitere kontinuierliche Abfahren mit 50K/h auf drucklos, kalt erfolgt nur dann unter Notstrombedingungen, wenn vor Netzurückschaltung der Mindest-Deionatvorrat (800 t) erreicht wird.</p> <p>Während der dadurch bedingten Wartephase wird die Anlage stufenweise um jeweils 2 K abgekühlt. Dabei wird über die Abblasestationen der intakten DE die KMT mit einem Gradienten von 50 K/h abgesenkt. Nach Absinken der Reaktoreintrittstemperatur um 2 K wird die FD-Druckabsenkung gestoppt. Anschließend wird auf die Temperaturabsenkung des RDB-Deckels um 2 K (zu erwartender Abkühlgradient ca. 1-2 K/h) sowie auf die Angleichung des FD-Drucks im isolierten DE an den Primärkreisdruck gewartet. Parallel zur stufenweisen KMT-Absenkung kann die KMD-Absenkung durchgeführt werden, wobei eine Unterkühlung bezüglich der Reaktoraustrittstemperatur von > 5 bar einzuhalten ist.</p> <p>Abkühlstufen werden ca. jede Stunde durchgeführt. Vor dem Abkühlen werden gemäß vorherigem Schritt erneut die Deionatvorräte überprüft.</p> <p>Die Abkühlstufen werden solange wiederholt bis entweder die Netzurückschaltung erfolgt oder die nutzbaren, sekundärseitigen Deionatvorräte in den Notspeisebecken < 800 t werden.</p> <p>Muss die Anlage unter Notstrombedingungen auf drucklos, kalt abgefahren werden, erfolgt</p>	<p>Das weitere kontinuierliche Abfahren mit 50K/h auf drucklos, kalt erfolgt nur dann unter Notstrombedingungen, wenn vor Netzurückschaltung der Mindest-Deionatvorrat (300 t) erreicht wird.</p> <p>Während der dadurch bedingten Wartephase wird die KMT der durch Auskühlung abnehmenden RDB-Deckeltemperatur soweit nachgeführt, dass die Zuschaltbedingungen für die HKMP (Differenz zwischen RDB-Deckeltemperatur und $KMT_{AUS} < 25 \text{ °C}$) stets erhalten bleiben. Dies erfolgt über ein stufenweises sekundärseitiges Abblasen um 5 bar über die Abblaseregulventile der intakten DE, sodass die KMT_{AUS} jeweils um ca. 5K abgesenkt wird. Anschließend wird gewartet bis die Deckeltemperatur um weitere 5 K abgefallen ist.</p> <p>Muss die Anlage unter Notstrombedingungen auf drucklos, kalt abgefahren werden, so</p>	<p>Relevante Unterschiede Bewertungsmerkmal 2:</p> <p>GKN-2: Warten auf EB-Rückschaltung solange Deionatvorrat größer als Mindest-Deionatvorrat (800 t) ist. Während der Wartephase stufenweise Reduzierung der Reaktoreintrittstemperatur um ca. 2 K mit anschließendem Warten auf Auskühlung des RDB-Deckels um weitere 2 K.</p> <p>GKN-1: Warten auf EB-Rückschaltung solange Deionatvorrat größer als Mindest-Deionatvorrat (300 t) ist. Während der Wartephase stufenweise Reduzierung des FD-Druckes um ca. 5 bar mit anschließendem Warten auf Auskühlung des RDB-Deckels um weitere 5 K.</p> <p>Bei Erreichen des Mindest-Deionatvorrates sofortiges Abfahren der Anlage unter Notstrombedingungen. Dabei Druckentlastung des defekten, teils isolierten DE über die Anwärmlleitung erforderlich (Absenken FD-Druck defekter DE, sodass dieser ca. 1-2 bar unterhalb des KMD liegt).</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<p>das Abfahren mit einem Gradienten von 50 K/h. Dabei ist der FD-Druck im isolierten DE während des Abfahrens an den KMD anzupassen (DH-Sprühen bzw. DH-Heizen).</p>	<p>muss der defekte DE parallel zur KMD-Absenkung über die Anwärmeleitung druckentlastet werden.</p>	
<p>Zum Aufborieren des PKL siehe Störfallvariante 1, Bewertungsmerkmal 2.</p>		
<p>Bewertungsmerkmal 3: „Absenkung des Primärdruckes zur Minimierung des Leckmassenstromes sowie Vermeidung der Anregung der Notkühlkriterien“</p>		
<p>Automatische Maßnahmen (Ziel ist das Absprühen des Primärkreisdruckes auf < 89 bar):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ausschalten DH-Heizung - Einschalten Borsäurepumpe - Zuschalten Zusatzboriersystem in der Betriebsart Loop-Einspeisung - Zuschalten der 2. HD-Förderpumpe des Volumenregelsystems (VRS) - Herabsetzen der Sollwerte der DE-Füllstandsregelungen auf 11,2 m - Sollwert DH-Füllstandsregelung auf 8 m anheben - In Abhängigkeit des DH-Füllstandsabfalls teilweises Zufahren bzw. Schließen der HD-Reduzierstation - Öffnen der FDU ⇒ Wärmeabfuhr über Turbosatz und FDU. Halten des FD-Drucks auf ca. 79 bar. - Ausschalten KMD-Regelung - Einschalten Kreislaufsprühen - Einschalten Hilfssprühen Volumenre- 	<p>Automatische Maßnahmen (Ziel ist das Absprühen des Primärkreisdruckes auf ≤ 110 bar):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hilfssprühung (2 Leitungen) einleiten - Heiße und kalte Hilfssprühleitung Volumenregelsystem (TA) durchschalten - Zuschalten der beiden HD-Förderpumpen sowie der Abdrückpumpe des TA-Systems (max. 13,5 kg/s) - Umschaltung der TA-Einspeisung vom Volumenausgleichsbehälter auf Flutbehälter (2200 ppm Borkonzentration) - Umschalten auf Notsperrowasserversorgung der Hauptkühlmittelpumpen (HKMP) zur Bereitstellung der vollen Hilfssprühmenge - Sollwert DH-Füllstandsregelung auf 8 m anheben und HD-Reduzierstationen schließen - KMD-Regelung ausschalten ⇒ DH-Heizung aus 	<p>Relevante Unterschiede Bewertungsmerkmal 3:</p> <p>GKN-2: 4-strängiges Zusatzboriersystem vorhanden ⇒ Hilfssprühen mit Zusatzboriersystem u. Volumenregelsystem (ca. 14 kg/s).</p> <p>GKN-1: Kein Zusatzboriersystem vorhanden ⇒ Sprühen mit den zwei Hilfssprühleitungen des Volumenregelsystems (ca. 13,5 kg/s)</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<p>gelsystem (6 kg/s)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Einschalten Hilfssprühen Zusatzbo-riersystem aus Flutbecken (8 kg/s) - RESA und TUSA (wenn Reaktorleistung noch > 12% und KMD < 131 bar oder spätestens 300 s nach Auslösen FD-Aktivität > MAX) ⇒ Mit RESA/TUSA per Definition Auslösung Notstromfall! 	<ul style="list-style-type: none"> - Herabsetzen der Sollwerte der DE- Füllstandsregelungen um 1 m - Teilabfahren des FD-Druckes durch FD-Abblasestationen auf 75 bar 	
<p>Bewertungsmerkmal 4: „Detektion und Isolation des defekten Dampferzeugers“</p>		
<p>Hinsichtlich der Detektion des defekten DE siehe Störfallvariante 1, Bewertungsmerkmal 4.</p>		
<p>Isolieren des defekten DE durch manuelles Schließen von:</p> <ul style="list-style-type: none"> - FD-Absperrarmatur - FD-Abblaseabschlussarmatur - FD-Abblaseregelventil - FD-Anwärmventile - Hauptspeisewasserschieber - Absperrschieber Schwachlastregelventil - Schwachlastregelventil - Absperrschieber Volllastregelventil - Volllastregelventil - Regelventil DE-Füllstand Notspeisesystem (falls Notspeisung in Betrieb) - Notspeiseschieber (falls Notspeisung in Betrieb) - Notspeisediesel (falls Notspeisung in Betrieb) - Armaturen DE-Abschlämmung 	<p>Isolieren des defekten DE durch manuelles Schließen von:</p> <ul style="list-style-type: none"> - FD-Absperrarmatur - Notspeisewasserabsperrventil - Hauptspeisewasserschieber - Absperrschieber vor Speisewasserregelventil - Schwachlastregelventil - Armaturen DE-Abschlämmung - Probenahme-Leitung <p>Anwärmleitung bleibt teilweise geöffnet ⇒ FD-Druck im defekten Dampferzeuger mit Anwärmventil auf 80 bar halten (Ziel: Vermeidung der Auslösung des Teilabfahrens durch FD-Druckanstieg auf 84 bar). Bei Druckanstieg auf 82 bar im defekten Dampferzeuger muss FD-Abschlussarmatur des defekten DE kurz-</p>	<p>Relevante Unterschiede Bewertungsmerkmal 4:</p> <p>Detektion: Siehe Störfallvariante 1, Bewertungsmerkmal 4.</p> <p>Isolation: GKN-2: Vollständige Isolation des defekten Dampferzeugers. GKN-1: Anwärmleitung des defekten Dampferzeugers bleibt teilweise geöffnet. Darüber wird der FD-Druck im teilweise isolierten, defekten Dampferzeuger per Hand auf ca. 80 bar geregelt.</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<ul style="list-style-type: none"> - GBA-Armaturen - Hochsetzen der Füllstandswerte der intakten DE von 11,2 m auf 12,2 m 	<p>fristig geöffnet werden.</p>	
<p>Bewertungsmerkmal 5: „Minimierung des Deionateintrages von der Sekundär- auf die Primärseite des defekten Dampferzeugers“</p>		
<p>KMD an FD-Druck des isolierten DE anpassen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Falls DE-Füllstand steigt und FD-Druck < KMD, dann Hilfssprühen mit VRS unter Beobachtung des KMD. Warten bis Druckausgleich isolierter DE - KMD hergestellt ist und Sprühen beenden. - Falls DE-Füllstand fällt und FD-Druck > KMD, dann die notstromgesicherten DH-Heizgruppen einschalten und Beobachtung des KMD. Warten bis Druckausgleich isolierter DE - KMD hergestellt ist und dann DH-Heizung ausschalten. 	<p>Wartephase:</p> <p>Während der Wartephase wird der Füllstand im isolierten Dampferzeuger konstant gehalten, um einerseits einen Deionateintrag in das Primärsystem zu vermeiden oder andererseits einem weiteren Füllstandsanstieg im defekten Dampferzeuger entgegenzuwirken. Im ersten Fall – bei fallendem Füllstand im defekten DE – ist mit Hilfe des Anwärmventils der FD-Druck an den Primärkreisdruck anzugleichen. Bei steigendem Füllstand im defekten DE ist der Primärkreisdruck mit Hilfe der Hilfssprühung an den FD-Druck im defekten DE anzugleichen.</p> <p>Nach EB-Rückschaltung:</p> <p>Mit vorheriger Wiederschaltung HKMP wie unter Störfallvariante 1.</p> <p>Wenn nach erfolgter EB-Rückschaltung der Primärkreisdruck < 35 bar ist, können die HKMP nicht mehr zugeschaltet werden. Die Anlage wird dann über die FDU mit 50 K/h abgefahren. Dabei ist der Kühlmitteldruck mittels Handmaßnahmen an den FD-Druck im defekten DE anzugleichen (Maßnahmen, wie für die Wartephase beschrieben), um den Füllstand im defekten DE konstant zu halten.</p>	<p>Relevante Unterschiede Bewertungsmerkmal 5:</p> <p>GKN-2: Angleich KMD an FD-Druck isolierter DE mittels DH-Hilfssprühen bzw. DH-Heizen.</p> <p>GKN-1: Angleich KMD an FD-Druck isolierter DE mittels DH-Hilfssprühen bzw. Öffnen Anwärmleitung.</p> <p>Nutzung der Anwärmleitung wegen fehlender notstromgesicherter DH-Heizung.</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
	<p>Abfahren unter Notstrombedingungen:</p> <p>Während des Abfahrens unter Notstrombedingungen (50 K/h über die FD-Abblasestationen der intakten DE) wird der FD-Druck des defekten DE mit dem Anwärmentil derart abgesenkt, dass der FD-Druck ca. 1-2 bar unterhalb des Primärkreisdrucks liegt.</p>	
<p>Bewertungsmerkmal 6: „Kumulierte Aktivitätsfreisetzung bei den Störfallvarianten mit FD-Abblasen über Dach“</p>		
<p>DE-Druckabsicherung des defekten DE hochsetzen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ansprechdrücke FD-Abblase-Regelventil auf 105 bar. - Ansprechdruck des FD-Sicherheitsventils auf 116 bar. <p>Der Störfall „Bruch der Frischdampfleitung hinter der äußeren Absperrarmatur mit gleichzeitigem Auftreten von Heizrohrschäden“ wird als radiologischer repräsentativer Störfall untersucht. Aus radiologischer Sicht deckt dieser Störfall auch die hier behandelte Dampferzeuger-Heizrohrbruchvariante ab. Dem repräsentativen Störfall liegt ein 2F-Bruch sowohl der FD-Leitung als auch eines DE-Heizrohres zugrunde und es ist der Notstromfall überlagert. Dabei kommt es im Verlauf des Störfalls zudem zur Auslösung der Notkühlkriterien. Radiologische Ergebnisse:</p>	<p>Zeitweises Offenhalten der Anwärmlleitung des defekten, teilsolierten Dampferzeugers</p> <p>Der Störfall „Bruch der Frischdampfleitung hinter der äußeren Absperrarmatur mit gleichzeitigem Auftreten von Heizrohrschäden“ wird als radiologischer repräsentativer Störfall untersucht. Aus radiologischer Sicht deckt dieser Störfall auch die hier behandelte Dampferzeuger-Heizrohrbruchvariante ab. Dem repräsentativen Störfall liegt ein 2F-Bruch sowohl der FD-Leitung als auch eines DE-Heizrohres zugrunde und es ist der Notstromfall überlagert. Dabei kommt es im Verlauf des Störfalls zudem zur Auslösung der Notkühlkriterien. Radiologische Ergebnisse:</p>	<p>Relevante Unterschiede Bewertungsmerkmal 6:</p> <p>GKN-2: Hochsetzen der Druckabsicherung des defekten Dampferzeugers über Handmaßnahme</p> <p>GKN-1: Kein Hochsetzen der Druckabsicherung des defekten Dampferzeugers. Um ein Ansprechen der Abblaseregelventile zu vermeiden, wird FD-Druck im defekten DE – falls notwendig – über das Anwärmentil begrenzt.</p> <p>Hinsichtlich der Aktivitätsfreisetzung sind bei Zugrundelegung des nach Strahlenschutzverordnung einzuhaltenden Grenzwertes von 50 mSV keine sicherheitstechnisch relevanten Unterschiede zu erkennen, da der Abstand in beiden Fällen mehr als drei Größenordnungen beträgt.</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<ul style="list-style-type: none"> - Freisetzung von ca. 17 kg/s Primärkühlmittel in die Umgebung. - Berechnete potentielle Strahlenexposition der ungünstigsten Personengruppe (Kleinkind) in der Anlagenumgebung unter Zugrundelegung der Aktivitätskonzentrationen im Kühlmittel nach Störfall-Berechnungsgrundlage: 0,26 mSV (effektive Äquivalentdosis, TÜV-Analyse 0,29 mSV). - Unter Verwendung einer realistischen Aktivitätskonzentration (95%-Werte) im Kühlmittel ergibt sich für die ungünstigste Personengruppe eine effektive Äquivalentdosis von 0,009 mSV. 	<ul style="list-style-type: none"> - Freisetzung von knapp 17 kg/s Primärkühlmittel in die Umgebung. - Berechnete potentielle Strahlenexposition der ungünstigsten Personengruppe (Kleinkind) in der Anlagenumgebung unter Zugrundelegung der Aktivitätskonzentrationen im Kühlmittel nach Störfall-Berechnungsgrundlage: 0,26 mSV (effektive Äquivalentdosis). - Unter Verwendung einer realistischen Aktivitätskonzentration (95%-Werte) im Kühlmittel ergibt sich für die ungünstigste Personengruppe eine effektive Äquivalentdosis von 0,016 mSV. 	
Bewertungsmerkmal 7: „Thermische und strukturmechanische Belastung des Kerns und Druckhalters“		
Siehe Störfallvariante 1, Bewertungsmerkmal 7.		
Variante 3: Dampferzeuger-Heizrohrbruch mit 2F mit Ansprechen der Notkühlkriterien (NKK)		
Bewertungsmerkmal 1: „Erkennung Dampferzeuger-Heizrohrleck“		
Zur Erkennung siehe Störfallvariante 1, Bewertungsmerkmal 1.		
Bewertungsmerkmal 2: „Abschaltung des Reaktors“		
Zu den „Automatische Maßnahmen“ siehe Störfallvariante 1; Bewertungsmerkmal 2.		
Zum Aufborieren des PKL siehe Störfallvariante 1, Bewertungsmerkmal 2.		
Bewertungsmerkmale 3: „Absenkung des Primärdruckes zur Minimierung des Leckmassenstromes“		

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<p>Zu den „Automatische Maßnahmen“ siehe Störfallvariante 1, Bewertungsmerkmal 3.</p> <p>Anheben DH-Füllstand über Hilfssprühen mit dem Zusatzboriersystem.</p> <p>Rücksetzung Notkühlkriterien und sukzessive Abschaltung der Sicherheitseinspeisepumpen.</p>	<p>Zu den „Automatische Maßnahmen“ siehe Störfallvariante 1, Bewertungsmerkmal 3.</p> <p>Anheben DH-Füllstand mit heißer TA-Hilfssprühung. Falls Wirksamkeit nicht ausreichend Zuschaltung der kalten TA-Hilfssprühung.</p> <p>Ersatzmaßnahme, wenn TA-Hilfssprühung nicht wirksam:</p> <ul style="list-style-type: none"> - DH-Füllstand durch Dampfabgabe aus dem Druckhalter über die Entlüftungsventile in den Abblasebehälter anheben. <p>Rücksetzung Notkühlkriterien und sukzessive Abschaltung der Sicherheitseinspeisepumpen.</p>	<p>Relevante Unterschiede Bewertungsmerkmal 3:</p> <p>GKN-2: 4-strängiges Zusatzboriersystem vorhanden ⇒ Hilfssprühen mit Zusatzboriersystem u. Volumenregelsystem (ca. 14 kg/s).</p> <p>GKN-1: Kein Zusatzboriersystem vorhanden ⇒ Sprühen mit Hilfssprühleitungen des Volumenregelsystems (ca. 13,5 kg/s)..</p> <p>Ersatzmaßnahme beim gleichzeitigen Ausfall beider Hilfssprühleitungen über die Möglichkeit des Öffnens der DH-Entlüftungsventile vorhanden, um DH-Füllstandsanhebung und sukzessive Abschalten der Sicherheitseinspeisepumpen in diesem Fall zu ermöglichen.</p>
<p>Bewertungsmerkmal 4: „Detektion und Isolation des defekten Dampferzeugers“</p>		
<p>Hinsichtlich der Detektion des defekten DE siehe Störfallvariante 1, Bewertungsmerkmal 4.</p>		<p>Relevante Unterschiede Bewertungsmerkmal 4:</p> <p>Detektion: Siehe Störfallvariante 1, Bewertungsmerkmal 4.</p> <p>Isolation: Sicherheitsrelevante Unterschiede sind nicht erkennbar.</p>
<p>Isolieren des defekten DE durch manuelles Schließen von:</p> <ul style="list-style-type: none"> - FD-Absperrarmatur - FD-Abblaseabschlussarmatur - FD-Abblaseregelventil - 4v4 FD-Anwärmventile - Hauptspeisewasserschieber - Absperrschieber Schwachlastregelventil 	<p>Isolieren des defekten DE durch manuelles Schließen von:</p> <ul style="list-style-type: none"> - FD-Absperrarmatur - Notspeisewasserabsperrventil - Hauptspeisewasserschieber - Absperrschieber vor Speisewasserregelventil - Schwachlastregelventil 	

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<ul style="list-style-type: none"> - Schwachlastregelventil - Absperrschieber Volllastregelventil - Volllastregelventil - Armaturen DE-Abschlämmung - GBA-Armatur - Hochsetzen der Füllstandswerte der intakten DE von 11,2 m auf 12,2 m <p>Wenn infolge der laufenden Sicherheitseinspeisepumpen nach dem Hochsetzen der DE- Druckabsicherung und dem Absperrern des defekten DE ein Ansprechen des entsprechenden FD-Abblaseregelventils abzusehen ist, dann ist der FD-Druck im abgesperrten DE vor Erreichen von 105 bar über die FD-Anwärmleitung druckzuentlasten und zu begrenzen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Armaturen DE-Abschlämmung - Probenahme-Leitung <p>Anwärmleitung bleibt zeitweise geöffnet ⇒ FD-Druck im defekten Dampferzeuger mit Anwärmventil auf 80 bar halten (Vermeidung der Auslösung des Teilabfahrens durch FD-Druckanstieg auf 84 bar). Bei Druckanstieg auf 82 bar im defekten Dampferzeuger muss FD-Abschlussarmatur des defekten DE kurzfristig geöffnet werden.</p>	
Bewertungsmerkmal 5: „Minimierung des Deionateintrages von der Sekundär- auf die Primärseite des defekten Dampferzeugers“		
<p>KMD an FD-Druck des isolierten DE anpassen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Falls DE-Füllstand steigt und FD-Druck < KMD, dann Hilfssprühen mit Zusatzboriersystem unter Beobachtung des KMD. Warten bis Druckausgleich isolierter DE - KMD hergestellt ist und Sprühen beenden, d.h. Zusatzboriersystem wieder auf Loop-Einspeisung umstellen. - Falls DE-Füllstand fällt und FD-Druck > KMD, dann DH-Heizgruppen einschalten und Beobachtung des KMD. Warten bis Druckausgleich isolierter DE - KMD hergestellt ist und dann DH- 	<p>Beim weiteren sekundärseitigen Abfahren mit 50 K/h (nach Druckausgleich zwischen defektem DE und Primärsystem) wird parallel der Kühlmittel-druck über das Kreislaufsprühen unter Einhaltung einer Unterkühlung von mindestens 15 bar bis auf < 35 bar abgesenkt. Dabei wird unter kontinuierlicher Aufborierung über das Volumenregelsystem der Übergang von Deionat aus dem isolierten DE in den Primärkreis nicht ausgeschlossen bzw. nicht über spezielle Druckangleichmaßnahmen verhindert, sodass kontinuierlich die Borkonzentration im PKL zu beobachten ist. Ist abzusehen, dass bei Unter-</p>	<p>Relevante Unterschiede Bewertungsmerkmal 5:</p> <p>GKN-2: Angleich KMD an FD-Druck isolierter DE mittels DH-Hilfssprühen bzw. DH-Heizen.</p> <p>GKN-1: Im Wesentlichen Kontrolle der Borkonzentration während des Abfahrens (wegen vorangegangener Wiedereinschaltung HKMP). Es ist aber auch der Angleich KMD an FD-Druck isolierter DE mittels DH-Hilfssprühen bzw. Öffnen Anwärmleitung vorgesehen</p> <p>Anhand der vorliegenden Unterlagen ist die Relevanz der Unterschiede in den Handlungsanwei-</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
Heizung ausschalten.	schreiten von KMT=200 °C die Borkonzentration auf c_{H-K} abnimmt, ist das Abfahren und die KMD-Absenkung solange zu unterbrechen bzw. der Abfahrgradient zu reduzieren, bis das Primärsystem wieder ausreichend aufboriert ist.	sungen nicht zu bewerten.
Bewertungsmerkmal 6: „Kumulierte Aktivitätsfreisetzung bei den Störfallvarianten mit FD-Abblasen über Dach“		
Siehe Störfallvariante 2, Bewertungsmerkmal 6 (Die Aussagen zur quantitativen Abschätzung der zu erwartenden Aktivitätsfreisetzung für Störfallvariante 3 ist nur relevant bei gleichzeitiger Nichtverfügbarkeit FDU)		
Bewertungsmerkmal 7: „Thermische und strukturmechanische Belastung des Kerns und Druckhalters“		
Siehe Störfallvariante 1, Bewertungsmerkmal 7.		
Variante 4: Dampferzeuger-Heizrohrbruch mit 2F ohne Anregung der N16-Signale		
Bewertungsmerkmal 1: „Erkennung Dampferzeuger-Heizrohrleck“		
<p>Erkennung bei niedrigen Reaktorleistungen (< 20 % von P_N), während des An- und Abfahrens oder beim längeren Verweilen im Zustand „unterkritisch, heiß“:</p> <p>⇒ Nichtansprechen der N16-Aktivitätsmessstellen</p> <p>⇒ Erkennungen DEHEIRO über Abfall DH-Füllstand < 2,28 m und Nichtanstehen Druckdifferenz Sicherheitsbehälter/Atmosphäre > 30 mbar (frühzeitigere Erkennung eventuell über Vergleich Einspeise- und Entnahmerate TA-System, DE-Füllstände oder Aktivität Kondensatorevakuierung, DE-Abschlammung bzw. Kaminfortluft möglich)</p>	<p>Erkennung bei niedrigen Reaktorleistungen (< 20 % von P_N), während des An- und Abfahrens oder beim längeren Verweilen im Zustand „unterkritisch, heiß“:</p> <p>⇒ Nichtansprechen der N16-Aktivitätsmessstellen</p> <p>⇒ Erkennungen DEHEIRO über Abfall DH-Füllstand < 2,85 m und Nichtanstehen Druckdifferenz Sicherheitsbehälter/Atmosphäre > 30 mbar (frühzeitigere Erkennung eventuell über Vergleich Einspeise- und Entnahmerate TA-System, DE-Füllstände oder Aktivität Kondensatorevakuierung, DE-Abschlammung bzw. Kaminfortluft möglich)</p>	<p>Relevante Unterschiede Bewertungsmerkmal 1:</p> <p>Sicherheitsrelevante Unterschiede sind nicht erkennbar.</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<p>⇒ RESA</p> <p>Durch die ausbleibende frühzeitige Primärdruckabsenkung liegt höherer kumulierter Leckagemassenstrom vor, der zum starken Abfall DH-Füllstand und letztendlich zur Anregung der Notkühlkriterien (NKK) führt.</p> <p>Erkennung läuft ähnlich wie beim kleinen Leck ab, nur das die Anregung Druckdifferenz Sicherheitsbehälter/Atmosphäre > 30 mbar fehlt.</p> <p>⇒ weiterer Ablauf wie Dampferzeuger-Heizrohrbruch mit Ansprechen NKK (Variante 3)</p>	<p>⇒ RESA</p> <p>Durch die ausbleibende frühzeitige Primärdruckabsenkung liegt höherer kumulierter Leckagemassenstrom vor, der zum starken Abfall DH-Füllstand und letztendlich zur Anregung der Notkühlkriterien (NKK) führt.</p> <p>Erkennung läuft ähnlich wie beim kleinen Leck ab, nur das die Anregung Druckdifferenz Sicherheitsbehälter/Atmosphäre > 30 mbar fehlt.</p> <p>⇒ weiterer Ablauf wie Dampferzeuger-Heizrohrbruch mit Ansprechen NKK (Variante 3)</p>	
<p>⇒ Zu den Bewertungsmerkmalen 2 bis 7 siehe bei vorhergehender Störfallvariante 3 „Dampferzeuger-Heizrohrbruch mit 2F mit Ansprechen der Notkühlkriterien“!</p>		

Zusammenfassend haben sich die nachfolgenden anlagenspezifischen Besonderheiten aus der Auswertung für alle betrachteten Störfallvarianten zum Ereignis Dampferzeuger-Heizrohrbruch ergeben.

Besonderheiten von GKN-1:

- Die Erkennung eines Dampferzeuger-Heizrohrbruchs erfolgt mittels Aktivitätsmessstellen in den drei FD-Leitungen (3-Loop-Anlage). Je Leitung sind drei Messstellen vorhanden, die bei einer Aktivität > 20 Impulse/s ansprechen und über eine 2v3-Schaltung verschaltet sind.
- Das Ansprechen von 2v3 Aktivitätsmessstellen in der jeweiligen FD-Leitung führt zur sofortigen RESA. Die TUSA wird mit einer Verzögerung von 2 s ausgelöst, um noch eine zusätzlich Abkühlung und damit Druckabsenkung des Primärkreises zu ermöglichen.
- Die Leckergängung, das DH-Sprühen und die Aufborierung werden durch die beiden Hilfssprühleitungen des Volumenregelsystems mit Unterstützung der Borsäuredosierpumpen der Chemikalieneinspeisung (TB) übernommen. Die Hilfssprühleitungen sind 2-strängig ausgeführt, die jeweils von der „heißen“ bzw. „kalten“ Einspeiseleitung des Volumenregelsystems abzweigen.
- Es besteht zeitweise nur eine Teilisolation des defekten Dampferzeugers, da die Anwärmlleitung zeitlich begrenzt geöffnet wird, um einerseits den FD-Druck im defekten Dampferzeuger auf maximal 80 bar zu begrenzen. Andererseits wird die Anwärmlleitung zur Druckangleichung zwischen FD-Druck isolierter DE und Primärkreisdruck verwendet.
- Im Ereignisablauf für das Dampferzeugerheizrohrleck unter Notstrombedingungen wird in einer Warteschleife auf die Rückschaltung des Eigenbedarfs (EB) gewartet. Während dieser Zeit wird die Anlage über die intakten Dampferzeuger in „5 K“-Stufen abgekühlt. Dabei wird – solange der aktuelle Deionatvorrat größer als der Mindest-Deionatvorrat (300 t) ist – durch sekundärseitiges Abblasen über die FD-Abblasestation die Kernaustrittstemperatur in den beiden heißen Strängen der intakten DE stufenweise jeweils um 5 K abgesenkt. Nach dieser Absenkung wird das Abfahren gestoppt und gewartet, bis die RDB-Deckeltemperatur um 5 K abgesunken ist. Das stufenweise Abkühlen wird solange wiederholt, bis entweder die EB-Rückschaltung erfolgt oder der

Mindest-Deionatvorrat in Anspruch genommen werden muss. Im letzteren Fall erfolgt dann das Abfahren unter Notstrombedingungen mit einem sekundärseitigen Abkühlgradienten von 50 K/h.

Besonderheiten von GKN-2

- Die Erkennung eines Dampferzeuger-Heizrohrbruchs erfolgt mittels Aktivitätsmessstellen (Geiger-Müller-Zählrohre) in den vier FD-Leitungen (4-Loop-Anlage). Je Leitung sind drei Messstellen vorhanden, die bei einer Aktivität > 40 Impulse/s ansprechen und über eine 2v3-Schaltung verschaltet sind. Als diversitäre Einrichtung sind zudem jeweils drei Szintillationszähler in den FD-Leitungen vorhanden, die bei einer Aktivität > 800 Impulse/s ansprechen.
- Nach Detektion des Dampferzeuger-Heizrohrbruchs erfolgt zuerst das Abfahren der Reaktorleistung über Begrenzungen. Die RESA folgt spätestens 300 s nach Störfallerkennung. Dieses Vorgehen soll einerseits die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines Notstromfalles herabsetzen. Andererseits tritt dadurch ein geringerer Abfall des DH-Füllstandes durch die aufgrund der Leistungsabsenkung hervorgerufene Volumenkontraktion auf, was einen Beitrag zur Verhinderung des Ansprechens der Notkühlkriterien liefert.
- Im Falle des Heizrohrlecks mit Ausfall der Eigenbedarfsversorgung bzw. der Anregung der Notkühlkriterien erfolgt durch eine Handmaßnahme ein Hochsetzen der Druckabsicherung des defekten Dampferzeugers.
- Zur Angleichung des FD-Drucks des isolierten Dampferzeugers wird die DH-Hilfssprühung bzw. die DH-Heizung verwendet.
- Im Ereignisablauf für das Dampferzeugerheizrohrleck unter Notstrombedingungen wird nach dem Stabilisieren der Anlage unter Notstrombedingungen auf die EB-Rückschaltung gewartet. Während dieser Zeit wird die Anlage über die intakten Dampferzeuger in „2 K“-Stufen abgekühlt. Dabei wird – solange der aktuelle Deionatvorrat größer als der Mindest-Deionatvorrat (800 t) ist – durch sekundärseitiges Abblasen über die FD-Abblasestation die Kernaustrittstemperatur in den drei heißen Strängen der intakten DE stufenweise jeweils um 2 K abgesenkt. Nach dieser Absenkung wird das Abfahren gestoppt und gewartet, bis die RDB-Deckeltemperatur ebenfalls um 2 K abgesunken ist (zu erwartender Abkühlgradient des Deckels ca. 1-2 K/h). Das stufenweise Abkühlen wird solange wiederholt, bis entweder die EB-Rückschaltung erfolgt oder

der Mindest-Deionatvorrat in Anspruch genommen werden muss. Im letzteren Fall erfolgt dann das Abfahren unter Notstrombedingungen mit einem sekundärseitigen Abkühlgradienten von 50 K/h.

5 Bewertung

Für beide Anlagen sind für unterschiedliche Störfallvarianten des Dampferzeuger-Heizrohrlecks detaillierte Handlungsanweisungen in den jeweiligen Betriebshandbüchern vorhanden. Die grundlegenden Strategien in der Beherrschung der verschiedenen Varianten sind bei beiden Anlagen identisch.

Die ereignisablaufspezifischen Besonderheiten, wie die Ausbildung der Reaktordruckbehälter-Deckelblase und deren Auswirkung auf den Druckhalter-Füllstand sowie auf das Wiedereinschalten der HKMP und der mögliche Eintrag von Deionat von der Sekundär- auf die Primärseite während des Abfahrens der Anlage, sowie deren Beherrschung bzw. Vermeidung finden in den Betriebshandbüchern beider Anlagen im Wesentlichen in Form von Hinweisen ausführliche Beachtung. Damit sind auch hinsichtlich der Behandlung der genannten ereignisablaufspezifischen Besonderheiten keine sicherheitstechnisch relevanten Unterschiede erkennbar.

Nachfolgend werden für die oben genannten Bewertungsmerkmale diejenigen sicherheitstechnisch relevanten Anlagenunterschiede, die sich im Wesentlichen aufgrund unterschiedlicher Systemkonfigurationen bzw. einzelner Prozeduren ergeben, aufgelistet (Kapitel 5.1) und bewertet (Kapitel 5.2).

5.1 Relevante Anlagenunterschiede

Bewertungsmerkmal 1: „Erkennung Dampferzeuger-Heizrohrleck“

In GKN-1 gibt es im Gegensatz zur Anlage GKN-2 keine diversitären Aktivitätsmessstellen in den Frischdampf-Leitungen.

Bewertungsmerkmal 2: „Abschaltung des Reaktors“

Bei GKN-2 erfolgt nach Störfallerkennung zuerst ein Abfahren der Reaktorleistung mit 20%/Min über Begrenzungen, um ein zusätzliches Auftreten des Notstromfalls zu vermeiden. Zusätzlich bewirkt diese Maßnahme eine Minderung des DH-Füllstandsabfalls aufgrund der Volumenkontraktion, was einen Beitrag zur Vermeidung des Ansprechens der Notkühlkriterien liefert. Bei GKN-1 erfolgt nach Ansprechen der FD-Aktivitätsmessstellen eine sofortige RESA mit einer um 2 s verzögerten TUSA.

Bewertungsmerkmal 3: „Absenkung des Primärkreisdruckes zur Minimierung des Leckmassenstroms sowie Vermeidung der Anregung der Notkühlkriterien“

Die Primärdruckabsenkung kann in GKN-2 mittels des betrieblichen Sprühens (nicht beim Notstromfall verfügbar), der Hilfssprühleitung des Volumenregelsystems sowie den vier Sprühleitungen des 4-strängigen Zusatzboriersystem erfolgen. Bei GKN-1 stehen das betriebliche Sprühen (nicht beim Notstromfall verfügbar) sowie das Sprühen über die beiden Hilfssprühleitungen des Volumenregelsystems zur Verfügung mit einer insgesamt nur geringfügig kleineren Einspeisekapazität (ca. 13,5 kg/s für GKN-1 gegenüber ca. 14 kg/s für GKN-2) für den Ausgleich der Volumenkontraktion nach Abschalten, die Primärdruckabsenkung und Leckergänzung.

Für den postulierten Ausfall der beiden Hilfssprühleitungen gibt es im Betriebshandbuch von GKN-1 für die Störfallvariante 3 eine Ersatzmaßnahme für die Anhebung des DH-Füllstandes über die Druckhalterentlüftungsarmaturen. Dabei werden per Hand die Entlüftungsarmaturen des Druckhalters geöffnet und dadurch Dampf in den Abblasebehälter - unter Beachtung des maximal erlaubten Druckanstiegs im Behälter - abgelassen. Die Überspeisung des defekten Dampferzeugers und der damit eventuell verbundene Wassereintrag in die FD-Leitung werden hierbei durch die automatische Abschaltung der Sicherheitseinspeisepumpen bei DE-Füllstand > 13 m vermieden.

Bewertungsmerkmal 4: „Detektion und Isolation des defekten Dampferzeugers“

In GKN-2 erfolgt eine vollständige Isolation des defekten Dampferzeugers (Ausnahme Störfallvariante 3). Dagegen wird in GKN-1 zur Vermeidung des Teilabfahrens bzw. zur Angleichung des FD-Druckes im isolierten DE an den Primärkreisdruck bei allen Störfallvarianten die Anwärmlleitung des defekten Dampferzeugers zeitweise geöffnet.

Bewertungsmerkmal 5: „Minimierung des Deionateintrages von der Sekundär- auf die Primärseite des defekten Dampferzeugers“

Im Falle eines Absinkens des Primärkreisdruckes unter den FD-Druck im isolierten DE, was zu einem Deionatübergang von der Sekundär- auf die Primärseite führt, werden bei GKN-1 die beiden notstromgesicherten Armaturen in der Anwärmlleitung zum Absenken des FD-Druckes im isolierten DE verwendet. Bei GKN-2 wird in diesem Fall die notstromgesicherte DH-Heizung für das Anheben des Primärkreisdruckes benutzt.

5.2 Bewertung der relevanten Anlagenunterschiede

Bewertungsmerkmal 1: „Erkennung Dampferzeuger-Heizrohrleck“

Die bei GKN-1 fehlenden diversitären FD-Aktivitätsmessstellen sind im Vergleich zu GKN-2 als ein Nachteil zu werten.

Bewertungsmerkmal 2: „Abschaltung des Reaktors“

Die bisherige Betriebserfahrung bestätigt nicht, dass durch eine RESA bzw. TUSA – auch bei Nennleistung der Anlage – das Eintreten eines Notstromfalles wahrscheinlicher wird. Daher ist die beim Konvoi realisierte verzögerte RESA hinsichtlich der Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeit für den Notstromfall weder als Vor- noch als Nachteil zu werten.

Der durch die verzögerte RESA reduzierte Abfall des DH-Füllstandes aufgrund der dadurch verlangsamten Volumenkontraktion wirkt sich positiv auf die angestrebte Verhinderung der Anregung der Notkühlkriterien aus. Die Bedeutung dieser Maßnahme zur Verhinderung der Anregung lässt sich ohne thermohydraulische Analysen nicht bewerten.

Bewertungsmerkmal 3: „Absenkung des Primärkreisdruckes zur Minimierung des Leckmassenstroms sowie Vermeidung der Anregung der Notkühlkriterien“

Als Nachteil von GKN-1 ist das fehlende Zusatzboriersystem zu nennen. Dadurch stehen im Vergleich zu GKN-2 weniger Systeme für das DH-Sprühen zur Verfügung. Für den möglichen Ausfall der beiden Hilfssprühleitungen steht nach Betriebshandbuch von GKN-1 zwar die zusätzliche Maßnahme für die Primärdruckabsenkung bzw. DH-Füllstandserhöhung über die Druckhalter-Entlüftungsarmaturen zur Verfügung, die aber mit einem gezielten Abblasen von Primärkühlmittel in den Abblasebehälter des Druckhalters und damit mit einem zusätzlichen Primärkühlmittelverlust verbunden ist.

Bewertungsmerkmal 4: „Detektion und Isolation des defekten Dampferzeugers“

Eine zusätzliche Freisetzung von Aktivität in die Umgebung erfolgt durch eine nicht vollständige Isolation des defekten Dampferzeugers nicht. Daher ergibt sich daraus kein Vor- oder Nachteil für eine der beiden Anlagen.

Bewertungsmerkmal 5: „Minimierung des Deionateintrages von der Sekundär- auf die Primärseite des defekten Dampferzeugers“

Da die Armaturen der Anwärmleitung zu den Armaturen des Sekundärkreisabschlusses gehören, sind sie entsprechend für die Anforderungen der Sicherheitsebene 3 qualifiziert, sodass ihre oben beschriebene Verwendung keinen sicherheitstechnischen Nachteil gegenüber der in GKN-2 realisierten Verfahrensweise darstellt.

5.3 Fazit

Das Fehlen eines Zusatzboriersystems in GKN-1 ist als Nachteil gegenüber GKN-2 zu bewerten, da weniger Teilsysteme zur Erfüllung der Sicherheitsfunktionen „Primärdruckabsenkung“ und „Kühlmittelegänzung“ zur Verfügung stehen. Ein weiterer Nachteil in GKN-1 ist die fehlende Diversität bei der Frischdampf-Aktivitätsmessung, die jedoch gegenüber dem Fehlen des Zusatzboriersystems von geringerer Bedeutung ist.

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 15:

“Anlageninterner Brand“



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 15:
“Anlageninterner Brand“

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/der Einwirkung	2
2.2	Bewertungsmerkmale	3
3	Verwendete Unterlagen	6
4	Anlagenvergleich	8
5	Bewertung	16
5.1	Relevante Unterschiede	16
5.2	Bewertung der relevanten Unterschiede	16
5.3	Fazit	18
6	Literatur	19

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 15 "Anlageninterner Brand" behandelt.

2 Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale

2.1 Beschreibung des Ereignisablaufs/der Einwirkung

Anlageninterne Brandereignisse haben das Potential, redundanzübergreifend sicherheitstechnisch relevante Einrichtungen so zu beeinträchtigen, dass deren ordnungsgemäße Funktion nicht mehr sichergestellt ist.

Brände und Explosionen von brennbaren bzw. explosionsfähigen Betriebsmitteln innerhalb sicherheitsrelevanter Gebäude können

- zum Ausfall von Betriebssystemen und ggf. zur Anforderung von Sicherheitseinrichtungen infolge ausgelöster Ereignisse (Störfallabläufe, Transienten) führen (u. U. mit der Notwendigkeit, die Anlage abzufahren), sowie
- ggf. zum gleichzeitigen Ausfall von Sicherheitseinrichtungen führen, die dazu benötigt werden, die Anlage sicher abzufahren und im sicheren, unterkritischen Zustand zu halten.

Sicherheitstechnische Bedeutung des Ereignisablaufes:

Ausgehend von einem anlageninternen Entstehungsbrand kann es neben den lokalen Auswirkungen zu einer Brandentwicklung kommen. Wird ein solcher Entstehungsbrand nicht rechtzeitig durch geeignete Einrichtungen zur Branderkennung und -alarmierung erkannt und mit geeigneten Maßnahmen bekämpft, so besteht die Möglichkeit, dass sich ein voll entwickelter Brand vom Ort seiner Entstehung innerhalb des gesamten betroffenen Raumbereiches ausbreitet und die ordnungsgemäße Funktion aller in diesem Raumbereich befindlichen Anlagenteile einschließlich der dort vorhandenen sicherheitstechnisch relevanten Einrichtungen beeinträchtigt. Bei einem brandbedingten Versagen der baulichen bzw. bautechnischen Abtrennungen des betroffenen Raumbereiches zu benachbarten Raumbereichen mit sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen redundanter Systeme kann es brandbedingt zu einer Beeinträchtigung sicherheitsrelevanter Einrichtungen mehrerer Redundanzen und damit zu einer Nichterfüllung von kerntechnischen Schutzzielen kommen.

Eine unzulässige Beeinträchtigung von Sicherheitseinrichtungen ist demzufolge durch entsprechende Vorsorgemaßnahmen zu verhindern. Deshalb sollen, soweit möglich,

redundante Sicherheitseinrichtungen vorrangig räumlich bzw. brandschutztechnisch getrennt untergebracht sein, so dass ein Brand nicht gleichzeitig Einrichtungen mehrerer Redundanzen beeinträchtigen kann. In den Fällen, in denen eine solche Trennung nicht erfolgen kann, ist durch Maßnahmen an den Einrichtungen (z. B. Anordnung, Abschottung) sowie eine zuverlässige und schnelle Brandbekämpfung sicherzustellen, dass es zu keinem unzulässigen redundanzübergreifenden Ausfall von Sicherheitseinrichtungen kommt.

2.2 Bewertungsmerkmale

Aus den Erkenntnissen von Untersuchungen der GRS /ROE 97/ sowie Anforderungen aus dem vorhandenen Regelwerk zum Brandschutz in Kernkraftwerken /KTA 00/, /IAE 00/, /IAE 04/ und /KTR 06/ wurden die folgenden Bewertungsmerkmale abgeleitet.

Merkmal 1: Minimierung von Brandlasten und potentiellen Zündquellen zur Vermeidung von Entstehungsbränden

Maßnahmen zur Vermeidung/Verhinderung von Entstehungsbränden in der Anlage innerhalb und außerhalb von Gebäuden, d.h. das Vorhandensein von brennbaren Stoffe und potentiellen Zündquellen sowie eine Entzündung brennbarer Stoffe werden zwar grundsätzlich unterstellt, Brandlasten und potentielle Zündquellen sind jedoch zu minimieren

Merkmal 2: Redundanztrennung

2a: Bauliche bzw. bautechnische Trennung

2b: Brandschutztechnische Abtrennung durch Abschottungen und Kapselungen

Vorrang passiver (d.h. baulicher bzw. bautechnischer Maßnahmen, um einzelne redundante Systeme des Sicherheitssystems so voneinander zu trennen, dass im Brandfall ein durch Brandhitze, Rauchgase oder Löschmittel bedingter Ausfall der anderen redundanten Systeme ausgeschlossen werden kann) vor aktiven Brandschutzmaßnahmen. Im Fall, dass eine ausreichende bauliche bzw. räumliche Trennung (Unterteilung von Brandabschnitten in Brandbekämpfungsabschnitte) nicht gegeben ist, sind die einzelnen redundanten Systeme mindestens mit einer der Brandbelastung (d.h. Brandlast pro Grundfläche des Raumbelastung)

reichs) entsprechenden Feuerwiderstandsklasse brandschutztechnisch abzuschotten oder zu kapseln.

Merkmal 3: Maßnahmen und Einrichtungen zur zuverlässigen Brandbekämpfung

3a. Stationäre Löschanlagen

- 1. automatisch ausgelöst*
- 2. manuell ausgelöst*

3b. Sonstige Löscheinrichtungen

Sofern eine ausreichende räumliche oder brandschutztechnische Trennung redundanter Einrichtungen des Sicherheitssystems nicht gegeben und damit brandbedingt durch das Vorhandensein brennbarer Stoffe eine Beeinträchtigung mehrerer Redundanzen nicht auszuschließen ist, sind in den entsprechenden Raumbereichen mit sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen gleichwertige (aktive) brandschutztechnische Maßnahmen, wie ausreichend zuverlässige und wirksame ortsfeste Feuerlöscheinrichtungen, zu treffen, um eine übergreifende brandbedingte Beeinträchtigung mehrerer Redundanzen zu verhindern. Dabei sind automatische Löscheinrichtungen gegen fehlerhafte Auslösung zu sichern, bzw. die Räume sowie deren Anlagen dagegen auszulegen.

Merkmal 4: Gesonderte Brandschutzmaßnahmen beim Einbringen brennbarer Stoffe im Zusammenhang mit Wartungs- und Reparaturarbeiten

Werden brennbare Stoffe im Zusammenhang mit Wartungs- und Reparaturarbeiten eingebracht, sind nach entsprechender Prüfung der vorhandenen Brandschutzmaßnahmen ggf. zusätzliche, individuell im Einzelfall festzulegende Maßnahmen erforderlich. Hierzu gehören insbesondere betriebliche Brandschutzmaßnahmen, z. B. Brandwachen, Bereithalten von zusätzlichen Löschgeräten und Beschränkung zusätzlich eingebrachter Brandlasten.

Merkmal 5: Maßnahmen zu einer zuverlässigen und frühzeitigen Branderkennung und -alarmierung

Maßnahmen zu einer zuverlässigen und frühzeitigen Branderkennung und -alarmierung in Anlagenbereichen mit Sicherheitseinrichtungen und Kontrollbereichen sowie Anlagenbereichen, aus denen sich ggf. ein

Brand in solche mit Sicherheitseinrichtungen oder Kontrollbereiche ausbreiten kann

Merkmale 6: Feuerwehr

Als weitere Maßnahme der aktiven Brandbekämpfung gilt eine geeignete Feuerwehr nach Landesrecht, die entsprechend den Vorgaben zur Erfüllung der Schutzziele ausgerüstet ist und regelmäßigen Unterweisungen und Einsatzübungen unterliegt

3 **Verwendete Unterlagen**

Die folgenden Unterlagen wurden für den Anlagenvergleich verwendet:

- Kategorie 1:

/BHB 06/ Betriebshandbuch GKN-1 und GKN-2, Stand 26.03.2007

/KWU 81/ Kraftwerk Union (KWU) Aktiengesellschaft:
 Sicherheitsbericht Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block II (GKN II) mit
 Druckwasserreaktor, elektrische Leistung 1300 MW für Gemeinschafts-
 kernkraftwerk Neckar GmbH, Neckarwestheim, Projektleitung GKN II, Ka-
 tharinenstraße 32, 7300 Esslingen, Band 1 I – XI, 1.1 - 1.11, März 1981

/SIE 01/ Siemens AG, Bereich Energieerzeugung (KWU) – NDS4: Periodische Si-
 cherheitsüberprüfung für Konvoi-Anlagen 1989 – 1998, 2001

/SIE 94/ Siemens KWU AG:
 Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar, Sicherheitsstatusbericht zum Brand-
 schutz im GKN 1 vom 11.05.1994

/SIE 96/ Siemens KWU Aktiengesellschaft:
 Sicherheitsstatusanalyse zu GKN I, Bericht KWU NDS4/96/035, August
 1996

/TÜV 01/ TÜV Arbeitsgemeinschaft Konvoi:
 Konvoi-Anlagen; Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar, Block II (GKN II),
 Kernkraftwerk Emsland (KKE), Kernkraftwerk Isar 2 (KKI 2), Gutachten zur
 Sicherheitsstatusanalyse, September 2001

/TÜV 82/ Technischer Überwachungsverein (TÜV):
 5. TÜV-Gutachten über die Sicherheit des Gemeinschaftskernkraftwerkes
 Neckar, Block 2, 1. Teilerrichtung, Kapitel 2.17: Brandschutz, Bauliche
 Maßnahmen, August 1982

/TÜV 85/ Technischer Überwachungsverein (TÜV):
6. TÜV-Gutachten Gemeinschaftskernkraftwerkes Neckar, Block 2, 2. Teil-
richtung, Maschinen- und elektrotechnische Anlagenteile, Kapitel 2.17:
Maßnahmen und Einrichtungen zum Brandschutz, Mai 1985

/TÜV 97/ Technischer Überwachungsverein (TÜV):
Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block I, Gutachtliche Stellungnahme
zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ), November 1997

- Kategorie 3:

/RSK 06/ Protokoll der 178. Sitzung RSK EE mit Anlagen vom 27.04.2006

4 Anlagenvergleich

Nachfolgend werden die im Abschnitt 2.2 aufgelisteten Bewertungsmerkmale für die betrachteten Anlagen GKN-2 und GKN-1 gegenübergestellt. Die Auswirkungen auf den Ereignisablauf und seine Beherrschung werden qualitativ bewertet.

Tabelle 4.1: Anlageninterner Brand

GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
Merkmal 1: Minimierung von Brandlasten und potentiellen Zündquellen zur Vermeidung von Entstehungsbränden		
<p>Das Vorhandensein brennbarer Stoffe und potentieller Zündquellen sowie eine Entzündung brennbarer Stoffe werden in der Anlage GKN-2 gemäß Regelwerk /KTA 00/ und /KTR 06/ grundsätzlich unterstellt /TÜV 01/.</p> <p>Nach Aussage des Gutachters /TÜV 01/ ist eine ausreichende Vorsorge zur Minimierung von Brandlasten und potenziellen Zündquellen getroffen.</p>	<p>Das Vorhandensein brennbarer Stoffe und potentieller Zündquellen sowie eine Entzündung brennbarer Stoffe werden in der Anlage GKN-1 gemäß Regelwerk /KTA 00/ und /KTR 06/ grundsätzlich unterstellt /SIE 94/.</p> <p>Nach Aussage des Gutachters /TÜV 97/ ist eine ausreichende Vorsorge zur Minimierung von Brandlasten und potenziellen Zündquellen getroffen.</p> <p>Die exakten Mengen und Verteilungen von Brandlasten und Zündquellen sind uns derzeit nicht bekannt. Dem Sicherheitsstatusbericht zum Brandschutz /SIE 94/ und der Sicherheitsstatusanalyse (SSA) /SIE 96/ sind zu den jeweiligen Mengen keine Detailangaben enthalten und nur grobe Angaben zu deren Lokalisierung zu entnehmen.</p>	<p>In beiden Anlagenblöcken werden das Vorhandensein und die Entzündung brennbarer Stoffe unterstellt. Gemäß Gutachteraussagen sind, gemessen an den Vorgaben des Regelwerks, gleichwertige Maßnahmen realisiert, um Brandlasten und Zündquellen zu minimieren.</p> <p>Kein relevanter Unterschied.</p>
<p>In GKN-2 sind innerhalb des Sicherheitsbehälters sowie im Reaktorgebäuderingraum die Kabel mit FRNC (fire retardant non-corrosive) Isolationsmaterialien versehen. Inwieweit in weiteren sicherheitsrelevanten Raumbereichen Kabelisolationen mit verbesserten Eigenschaften im Brandfall verwendet werden, ist uns derzeit nicht im Einzelnen bekannt.</p> <p>Ölbrandlasten betreffend ist eine Kapselung dieser Brandlasten (z. B. integrierte Ölversorgung der HKMP) /SIE 01/ vorhanden, um eine Brandausbreitung zu verhindern.</p>	<p>In der Anlage GKN-1 sind eine Vielzahl von Maßnahmen zur Minimierung und Kapselung von ungeschützten Brandlasten ergriffen worden /SIE 94/. Dabei handelt es sich u.a. um die Nachrüstung von FRNC-Kabeln innerhalb des Sicherheitsbehälters, metallische Kabelzugrohre im Reaktorsicherheitsbehälter und die Verwendung schwer brennbarer Steuerflüssigkeiten im Turbinenbereich.</p> <p>Im Falle großer unvermeidbarer Brandlasten, insbesondere Ölbrandlasten, sind entsprechende Schutzmaßnahmen zur Abschottung bzw. Kapselung getroffen (siehe /SIE 96/).</p> <p>Weiterhin wurden nach /SIE 96/ (siehe auch /ROE 97/ und /TÜV 97/) Maßnahmen zur Minimierung von Zündquellen ergriffen. Dabei handelt es sich u.a. um die selektive Stromkreisabsicherung mit zuverlässigen Schutzeinrichtungen, Kapselung von elektrischen Zündquellen, wie</p>	<p>In beiden Anlagen erfolgt die Minimierung ungeschützter Brandlasten weitestgehend durch bauliche bzw. brandschutztechnische Abtrennungen bzw. Kapselungen, zudem werden innerhalb des Sicherheitsbehälters Kabel mit besonderen Brandschutzeigenschaften verwendet (GKN-2) bzw. wurden nachgerüstet (GKN-1).</p> <p>Kein relevanter Unterschied.</p>

GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
	Schaltanlagen etc., öldichte Blechummantelungen von Isoliermaterialien im Bereich der HKP zur Vermeidung von Autooxidation, sowie die Verwendung von Isolationen zur Vermeidung hoher Oberflächentemperaturen.	
Merkmal 2: Redundanztrennung		
2a: Bauliche/Bautechnische Trennung		
<p>Mit Ausnahme des Reaktorgebäudes (Innenraum, Ringraum) und insbesondere des Bereichs der Durchführungen von Kabeln in den Sicherheitsbehälter ist eine nahezu vollständige bauliche bzw. bautechnische Trennung redundanter Einrichtungen der Sicherheitssysteme gegeben /SIE 01/. Bis auf den Sicherheitsbehälter, wo konstruktiv bedingt (siehe auch zu /ROE 97/ vorgelegte Unterlagen) eine vollständige bautechnische Unterteilung in Brandabschnitte nicht möglich ist und demzufolge soweit wie möglich Brandbekämpfungsabschnitte ausgebildet oder andere kompensatorische Brandschutzmaßnahmen nach Regelwerk /KTA 00/ getroffen sind, befinden sich redundante Einrichtungen der Sicherheitssysteme einschl. ihrer Kabelverbindungen in separaten Brandabschnitten.</p> <p>Kabel für Ansteuerung, Stromversorgung und eventuell Rückmeldung von Komponenten in den redundanten Teilsystemen sind nach /SIE 01/ grundsätzlich so verlegt, dass maximal bei einem Teilsystem (eine Redundanz) eine fehlerhafte Funktion ausgelöst bzw. ein Funktionsausfall verursacht werden kann.</p> <p>Das Notspeisegebäude ist brandschutztechnisch vollständig durch bauliche Maßnahmen abgetrennt, die systemtechnischen Redundanzen sind brandschutztechnisch</p>	<p>Mit Ausnahme des Reaktorgebäudes sind in allen Gebäude redundant vorhandenen sicherheitstechnisch relevante Komponenten zum Abschalten des Reaktors, zur Erhaltung der langfristigen Unterkritikalität, zur Nachwärmabfuhr und zur Rückhaltung von radioaktiven Stoffen grundsätzlich räumlich getrennt angeordnet bzw. durch bauliche oder bautechnische Maßnahmen abgetrennt /SIE 94/.</p> <p>Der Logikteil des Reaktorschutzsystems ist in der Redundanz 3 des Schaltanlagegebäudes räumlich konzentriert /RSK 06/.</p> <p>Im Reaktorgebäude ist nach /SIE 96/ und /TÜV 97/ aus Strahlenschutzgründen eine Unterteilung in weitere Brandabschnitte nicht möglich. Demzufolge sind dort Bereiche mit höherer Brandlast als Brandbekämpfungsabschnitte mit zusätzlichen aktiven Brandschutzmaßnahmen entsprechend Regelwerk /KTA 00/ ausgebildet.</p> <p>Ansonsten befinden sich redundante Einrichtungen der Sicherheitssysteme einschließlich ihrer Kabelverbindungen in separaten Brandabschnitten.</p> <p>Detailangaben zu den in der Anlage GKN-1 aktuell realisierten baulichen bzw. bautechnischen Maßnahmen liegen uns nicht vor.</p> <p>GKN-1 verfügt über ein unabhängiges, gebunkertes Gebäude für die Steuerung von Notstandssystemen zur Beherrschung von Notstandsfällen (Sicherheitsebene 4a).</p>	<p>Während GKN-2 über eine nahezu vollständige bauliche Abtrennung von Anlagenteilen mit hohem Gefährdungspotential (Brandlast) von sicherheitsrelevanten Anlagenteilen oder Raumbereichen unter Berücksichtigung von deren Redundanz verfügt, ist diese in GKN-1 nicht in gleicher Vollständigkeit gegeben.</p>

GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
getrennt. Das Notspeisegebäude dient sowohl der Beherrschung von Auslegungsstörfällen (Sicherheitsebene 3) als auch der Beherrschung von Notstandsfällen (Sicherheitsebene 4a).	Dieses ist brandschutztechnisch vollständig durch bauliche Maßnahmen abgetrennt, wobei die systemtechnischen Redundanzen ebenfalls brandschutztechnisch getrennt sind /SIE 94/.	
2b: Brandschutztechnische Trennung durch Abschottungen/Kapselungen		
<p>In der Anlage GKN-2 ist eine Kapselung von Ölbrandlasten (z. B. integrierte Ölversorgung der HKMP) /TÜV 01/ vorgesehen, um eine Brandausbreitung zu verhindern. Ein sicheres Einschließen ungeschützter Brandlasten ist nach /SIE 01/ soweit möglich realisiert.</p> <p>Ergänzend sind (siehe dazu Untersuchungen im Rahmen von /HAI 01/) ungeschützte Brandlasten (insbesondere Kabel), soweit erforderlich brandschutztechnisch abgeschottet oder gekapselt (z.B. durch Brandschutzbandagen, Schutzbeschichtungen mit Dämmschichtbildnern oder Ummantelungen etc.).</p> <p>Der aktuelle Realisierungszustand dieser Maßnahmen ist uns nicht in allen Details bekannt.</p>	<p>Nach /SIE 94/, /SIE 96/ und /TÜV 97/ wurden in der Anlage GKN-1 diverse Maßnahmen zur brandschutztechnischen Nachrüstung in Form von Abschottungen und Kapselungen ungeschützter Brandlasten vorgenommen, um eine Funktionsbeeinträchtigung mehrerer Redundanzen im Brandfall zu verhindern.</p> <p>In den o. g. sicherheitsrelevanten Raumbereichen mit Kabeln mehrerer Redundanzen (z.B. Kabelböden) sind Kabelmassierungen grundsätzlich brandschutztechnisch voneinander abgetrennt bzw. abgeschottet. Kabeldurchführungen durch Wände und Decken sind grundsätzlich feuerbeständig ausgeführt.</p> <p>Der aktuell realisierte Umfang und die Art dieser Maßnahmen ist uns ebenso wie Qualität der in GKN-1 realisierten sonstigen Brandschutzmaßnahmen im Detail nicht bzw. nur unzureichend bekannt.</p>	Der Umfang der brandschutztechnischen Trennungen durch Kapselungen und Abschottungen ist in GKN-1 aufgrund der Kompensation von teilweise nicht gegebenen baulichen bzw. bautechnischen Trennungen größer.
Merkmal 3: Maßnahmen und Einrichtungen zur zuverlässigen Brandbekämpfung		
3a. Stationäre Löschanlagen, 1) automatisch ausgelöst		
Nach /ROE 01/ gibt es in der Anlage GKN-2 keine automatisch auslösbaren stationären Löschanlagen.	<p>Die Anlage GKN-1 verfügt nach /BHB 06/ über zwei automatisch auslösbare stationäre Löschanlagen. Dabei handelt es sich um Sprinkleranlagen im Reaktorgebäude-ringraum ZB in sicherheitsrelevanten Raumbereichen mit Kabelmassierungen. Diese können zusätzlich manuell vor Ort ausgelöst werden.</p> <p>Die stationären Löschanlagen werden (siehe /SIE 94/ sowie zu /ROE 97/ vorgelegte Unterlagen) entsprechend geltendem Regelwerk /KTA 00/ regelmäßig wiederkehrend geprüft, gewartet und instand gehalten.</p>	In der Anlage GKN-1 kommt im Gegensatz zu der Anlage GKN-2 automatisch auslösbaren stationären Löschanlagen eine höhere Bedeutung als kompensatorische Maßnahme in solchen Raumbereichen zu, in denen eine konsequente vollständige bauliche bzw. brandschutztechnische Redundanztrennung durch Bildung von Brandabschnitten und Brandbe-

GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
		kämpfungsabschnitten nicht gegeben ist (Raumbereiche mit hoher Kabelbrandlast im Reaktorgebäudeingraum).
3a. Stationäre Löschanlagen, 2) manuell ausgelöst		
<p>Die Anlage GKN-2 verfügt über eine Vielzahl stationärer, manuell vor Ort auszulösender bzw. fernauszulösender Sprühwasserlöschanlagen in sicherheitstechnisch relevanten Raumbereichen mit hohen Brandlasten /BHB 06/.</p> <p>Zusätzlich gibt es eine manuell vor Ort und fernangesteuert von der Warte aus auszulösende Inergen-Gaslöschanlage für den Doppelboden des Rechnerraumes im Schaltanlagegebäude UBA.</p> <p>Diese stationären Löschanlagen werden entsprechend geltendem Regelwerk /KTA 00/ regelmäßig wiederkehrend in entsprechenden Intervallen mit Gutachterbeteiligung) geprüft, gewartet und instand gehalten (siehe auch /ROE 01/).</p>	<p>Nach /SIE 94/ verfügt die Anlage GKN-1 über eine Vielzahl stationärer, manuell vor Ort auszulösender bzw. von der Warte aus fernauszulösender Sprühwasserlöschanlagen in sicherheitstechnisch relevanten Raumbereichen bzw. Raumbereichen mit hohen Brandlasten /BHB 06/.</p> <p>Weiterhin gibt es insgesamt vier manuell vor Ort und fernangesteuert von der Warte aus auszulösende CO₂-Gaslöschanlagen für die Ölbehälterräume im Reaktorgebäudeinnenraum ZA und im Maschinenhaus ZF.</p> <p>Diese Löschanlagen werden alle (siehe /SIE 94/ sowie zu /ROE 97/ vorgelegte Unterlagen) entsprechend geltendem Regelwerk /KTA 00/ regelmäßig wiederkehrend geprüft, gewartet und instand gehalten.</p>	<p>Beide Anlagen verfügen in Raumbereichen mit sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen oder in solchen, aus denen sich ein Brand in angrenzende Raumbereiche mit sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen ausbreiten kann oder in denen größere Mengen ungeschützter Brandlasten vorhanden sind, über manuell auszulösende, schnell wirksame stationäre Löschanlagen hoher Zuverlässigkeit, die grundsätzlich gleichwertig sind.</p> <p>Darüber hinaus sind in GKN-1 zur Kompensation nicht vorhandener baulicher bzw. bautechnischer Brandschutzmaßnahmen zusätzliche manuell auslösbare Löschanlagen vorhanden.</p>
3b. Sonstige Löscheinrichtungen		

GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
<p>Die beiden Blöcke GKN-1 und GKN-2 haben ein gemeinsames Löschwassersystem, das so aufgebaut ist, dass jeder Block von dem anderen getrennt werden kann. Jedes System kann autark auch im Notstromfall mit Strom versorgt werden /SIE 94/.</p> <p>Die Anlage verfügt über ein Feuerlöschwassersystem mit Ringleitung für das Löschwassernetz innerhalb und außerhalb des Kontrollbereiches.</p> <p>Das Löschwassersystem versorgt über entsprechende Steigleitungen innerhalb der Gebäude eine Zahl von Wandhydranten mit Löschwasser, an die im Brandfall die an den entsprechenden Stellen in ausreichender Menge vorhandenen Feuerwehrschräume angeschlossen zur Brandbekämpfung angeschlossen werden können. Außerhalb von den Gebäuden werden Überflurhydranten über das Löschwassersystem mit Löschwasser versorgt, an welche im Brandfall Feuerlöschschläuche zur Brandbekämpfung angeschlossen werden können. /SIE 01/.</p> <p>Zur Bekämpfung von Entstehungsbränden wird entsprechend den Vorgaben des Regelwerks /KTA 00/ in den einzelnen Gebäuden eine ausreichende Anzahl schnell wirksamer mobiler Feuerlöschgeräte mit geeignetem Löschmittel (CO₂, Pulver, Schaum) vorgehalten (siehe auch Unterlagen zu /ROE 01/).</p> <p>Alle Löscheinrichtungen werden entsprechend den Vorgaben des geltendem Regelwerks /KTA 00/ regelmäßig wiederkehrend geprüft (in entsprechenden Intervallen mit Gutachterbeteiligung), gewartet und instand gehalten /ROE 01/.</p>	<p>Die beiden Blöcke GKN-1 und GKN-2 haben ein gemeinsames Löschwassersystem, das so aufgebaut ist, dass jeder Block von dem anderen getrennt werden kann. Jedes System kann autark auch im Notstromfall mit Strom versorgt werden /SIE 94/.</p> <p>In GKN-1 werden alle Löschwasserverbraucher im Kontrollbereich sowie die Wandhydranten im Schaltanlagengebäude vom Deionatsystem des Blocks versorgt. Für die übrigen Bereiche verfügt die Anlage über ein Feuerlöschwassersystem mit Ringleitung für das Löschwassernetz.</p> <p>Beide Löschwassersysteme versorgen über entsprechende Steigleitungen innerhalb der Gebäude eine Zahl von Wandhydranten mit Löschwasser, an die im Brandfall die an den entsprechenden Stellen in ausreichender Menge vorhandenen Feuerwehrschräume angeschlossen zur Brandbekämpfung angeschlossen werden können. Außerhalb von den Gebäuden werden Überflurhydranten über das Löschwassersystem mit Löschwasser versorgt, an welche im Brandfall Feuerlöschschläuche zur Brandbekämpfung angeschlossen werden können.</p> <p>Zur Bekämpfung von Entstehungsbränden wird entsprechend den Vorgaben des Regelwerks /KTA 00/ in den einzelnen Gebäuden eine ausreichende Anzahl schnell wirksamer mobiler Feuerlöschgeräte mit geeignetem Löschmittel (CO₂, Pulver, Wasser) vorgehalten (siehe /BHB 06/ und zu /ROE 97/ vorgelegte Unterlagen).</p> <p>Alle Löscheinrichtungen werden entsprechend den Vorgaben des geltendem Regelwerks /KTA 00/ regelmäßig wiederkehrend geprüft (in entsprechenden Intervallen mit Gutachterbeteiligung), gewartet und instand gehalten (siehe dazu in /ROE 01/ verwendete Unterlagen).</p>	<p>Insgesamt kein relevanter Unterschied</p>

GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
Merkmal 4: Maßnahmen beim Einbringen von Brandlasten während Wartung, Instandhaltung etc.		
<p>In der Anlage GKN-2 sind nach den Untersuchungen in /HAI 01/ und /HOF 03/ Maßnahmen zur Überwachung der während Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten eingebrachten Brandlasten vorgesehen. Gleichzeitig werden zusätzliche Schutzmaßnahmen bei brandgefährlichen Arbeiten ("Heißarbeiten") ergriffen, wie z.B. die Aufstellung so genannter "Brandwachen", d.h. zusätzlichen Personals, welches einen Entstehungsbrand schnell melden oder ggf. auch direkt löschen kann.</p>	<p>In der Anlage GKN-1 sind laut den Untersuchungen in /HAI 01/ sowie gemäß der Instandhaltungsordnung (siehe /BHB 06/ Maßnahmen zur Überwachung der während Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten eingebrachten Brandlasten vorgesehen. Gleichzeitig werden zusätzliche Schutzmaßnahmen bei brandgefährlichen Arbeiten ("Heißarbeiten") ergriffen, wie z.B. die Aufstellung so genannter "Brandwachen", d.h. zusätzlichen Personals, welches einen Entstehungsbrand .schnell melden oder ggf. auch direkt bekämpfen kann.</p>	Kein relevanter Unterschied
Merkmal 5: Maßnahmen zur zuverlässigen frühzeitigen Branderkennung und -alarmierung		
<p>Die Anlage GKN-2 verfügt über eine flächendeckende Brandmeldeanlage zur Branderkennung mit automatischen Brandmeldern, die über Einzelmeldererkennung verfügen /ROE 01/. Die Meldungen werden ebenso wie Störungen in der Brandmeldeanlage auf der Kraftwerks-warte optisch und akustisch angezeigt. Damit wird eine hoch zuverlässige frühzeitige Erkennung und Lokalisierung von Bränden entsprechend den Regelwerksanforderungen nach /KTR 06/ und /KTA 00/ gewährleistet.</p> <p>Zusätzlich verfügt GKN-2 über manuell zu betätigende Druckknopfmelder zur Meldung von Bränden.</p> <p>Alle Brandmeldeeinrichtungen werden (siehe /ROE 01/) entsprechend den Vorgaben des geltendem Regelwerks /KTA 00/ regelmäßig wiederkehrend geprüft (in ent-</p>	<p>Die Anlage GKN-1 verfügt über eine flächendeckende Brandmeldeanlage mit automatischen Brandmeldedetektoren (Ionisations- und optische Rauchmeldern, in Sonderfällen auch Thermomeldern sowie CO₂-Messeinrichtungen), die über eine Einzelmeldererkennung verfügt /SIE 96/ entsprechend den jeweils vorhandenen Brandlasten. (Diese überwachen u.a. jeden einzelne Elektronikschränk sowie den Kabelboden und den Kabelrost im Rangierverteilterraum.). Die Meldungen werden ebenso wie Störungen in der Brandmeldeanlage auf der Kraftwerks-warte optisch und akustisch angezeigt. Damit wird eine hoch zuverlässige frühzeitige Erkennung und Lokalisierung von Bränden entsprechend den Regelwerksanforderungen nach /KTR 06/ und /KTA 00/ gewährleistet.</p> <p>Zusätzlich verfügt GKN-1 über manuell zu betätigende Druckknopfmelder zur Meldung von Bränden, insbesondere im Bereich der Fluchtwege und Ausgänge.</p> <p>Alle Brandmeldeeinrichtungen werden (siehe Unterlagen zu /ROE 91/ und /BHB 06/) entsprechend den Vorgaben des geltendem Regelwerks /KTA 00/ regelmäßig wieder-</p>	Kein relevanter Unterschied

GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
sprechenden Intervallen mit Gutachterbeteiligung), gewartet, ggf. ausgetauscht und instand gehalten.	kehrend geprüft (in entsprechenden Intervallen mit Gutachterbeteiligung), gewartet, ggf. ausgetauscht und instand gehalten.	
Merkmal 6: Feuerwehr		
<p>Entsprechend den Anforderungen des geltenden Regelwerks /KTA 00/ ist für die Bekämpfung von Bränden für die beiden Kernkraftwerksblöcke GKN-1 und GKN-2 eine gemeinsame Werkfeuerwehr (WFW) aufgestellt (siehe auch /BHB 06/). Diese setzt sich aus Mitarbeitern des Schichtpersonals und des Tagdienstes (ca. 160 Personen) zusammen; dadurch wird ständig der Einsatz einer Löschgruppe in der geforderten Stärke (1 Einsatzleiter sowie 8 weitere Personen) entsprechend Feuerwehrgesetz (FwG). des Landes Baden-Württemberg aus den in der Anlage anwesenden Personen sichergestellt. Gleichzeitig beteiligen sich die im Tagdienst tätigen WFW-Mitglieder an der Brandbekämpfung. Außerhalb der Normalarbeitszeit werden die WFW-Mitglieder per Sammelruf über Funkalarmempfänger alarmiert.</p> <p>Nach aktueller Brandschutzordnung im BHB der Anlagen GKN-1 und II/BHB 06/ veranlasst der Schichtleiter bei Ansprechen nur eines automatischen Brandmelders Maßnahmen zur Überprüfung der Meldung bzw. Klärung der Situation im Hinblick auf eine Verifikation eines möglichen Brandes. Im Falle der Brandverifizierung wie auch bei Ansprechen von mindestens 2 automatischen Brandmeldern oder bei Brandalarm durch Auslösung eines Druckknopfmelders bzw. per Alarmtelefon erfolgt dann der Einsatz der Werkfeuerwehr.</p> <p>Eine Alarmierung externer Feuerwehrkräfte (Feuerwehrleitstelle Heilbronn) erfolgt durch den Schichtleiter bei entsprechender eigener Einschätzung der Notwendigkeit oder auf Veranlassung des Einsatzleiters.</p>	<p>Entsprechend den Anforderungen des geltenden Regelwerks /KTA 00/ ist für die Bekämpfung von Bränden für die beiden Kernkraftwerksblöcke GKN-1 und GKN-2 eine gemeinsame Werkfeuerwehr (WFW) aufgestellt (siehe auch /BHB 06/). Diese setzt sich aus Mitarbeitern des Schichtpersonals und des Tagdienstes (ca. 160 Personen) zusammen; dadurch wird ständig der Einsatz einer Löschgruppe in der geforderten Stärke (1 Einsatzleiter sowie 8 weitere Personen) entsprechend Feuerwehrgesetz (FwG). des Landes Baden-Württemberg aus den in der Anlage anwesenden Personen sichergestellt. Gleichzeitig beteiligen sich die im Tagdienst tätigen WFW-Mitglieder an der Brandbekämpfung. Außerhalb der Normalarbeitszeit werden die WFW-Mitglieder per Sammelruf über Funkalarmempfänger alarmiert.</p> <p>Nach aktueller Brandschutzordnung im BHB der Anlagen GKN-1 und II/BHB 06/ veranlasst der Schichtleiter bei Ansprechen nur eines automatischen Brandmelders Maßnahmen zur Überprüfung der Meldung bzw. Klärung der Situation im Hinblick auf eine Verifikation eines möglichen Brandes. Im Falle der Brandverifizierung wie auch bei Ansprechen von mindestens 2 automatischen Brandmeldern oder bei Brandalarm durch Auslösung eines Druckknopfmelders bzw. per Alarmtelefon erfolgt dann der Einsatz der Werkfeuerwehr.</p> <p>Eine Alarmierung externer Feuerwehrkräfte (Feuerwehrleitstelle Heilbronn) erfolgt durch den Schichtleiter bei entsprechender eigener Einschätzung der Notwendigkeit oder auf Veranlassung des Einsatzleiters.</p>	Kein Unterschied

5 Bewertung

5.1 Relevante Unterschiede

In beiden Anlagen ist ein Brandschutzkonzept vorhanden, um die kerntechnischen Schutzziele entsprechend Regelwerk /KTA 00/ zu erfüllen. Aus unserer Sicht bestehen folgende sicherheitstechnisch relevanten Unterschiede bezüglich der Vermeidung und Beherrschung des Ereignisses „Anlageninterner Brand“ zwischen den beiden Anlagen:

Zu Merkmal 2: Redundanztrennung durch bauliche bzw. bautechnische oder brandschutztechnische Maßnahmen

- Während GKN-2 über eine nahezu vollständige bauliche Abtrennung von Anlagenteilen mit hohem Gefährdungspotential (Brandlast) von sicherheitsrelevanten Anlagenteilen oder Raumbereichen unter Berücksichtigung von deren Redundanz verfügt, ist diese in GKN-1 nicht in gleicher Vollständigkeit gegeben.
- Der Umfang der brandschutztechnischen Trennungen durch Kapselungen und Abschottungen ist in GKN-1 aufgrund der Kompensation von teilweise nicht gegebenen baulichen bzw. bautechnischen Trennungen größer.

Zu Merkmal 3: Maßnahmen und Einrichtungen zur zuverlässigen Brandbekämpfung

- In GKN-1 sind zur Kompensation nicht vorhandener baulicher bzw. bautechnischer Brandschutzmaßnahmen zusätzliche, manuell auslösbare Löschanlagen vorhanden.

5.2 Bewertung der relevanten Unterschiede

Das Brandschutzkonzept in GKN-2 beinhaltet eine nahezu vollständige bauliche bzw. bautechnische Redundanztrennung aller vier Redundanzen bzw. brandschutztechnische Abschottung in entsprechender Feuerwiderstandsqualität. Nur in wenigen Ausnahmefällen, wo derartige passive Maßnahmen nicht vollständig realisierbar sind, sind zusätzlich kompensatorische aktive Brandschutzmaßnahmen vorgesehen.

Im Gegensatz dazu ist in GKN-1 bereits vom konstruktiven Konzept her eine bauliche bzw. bautechnische Abtrennung von Anlagenteilen mit hohem Gefährdungspotential (Brandlast) von sicherheitsrelevanten Anlagenteilen oder Raumbereichen unter Berücksichtigung von deren Redundanz nicht vollständig gegeben. Das Brandschutzkonzept in GKN-1 sieht soweit möglich die Bildung von Brandabschnitten oder Brandbekämpfungsabschnitten vor. In den Bereichen, wo eine vollständige bauliche bzw. bautechnische Trennung konstruktiv bedingt bzw. aus Strahlenschutzgründen nicht möglich ist, sind vorrangig brandschutztechnische Kapselungen und Abschottungen größerer Brandlastmengen einschließlich Schutzbeschichtungen in Verbindung mit zusätzlichen kompensatorischen Maßnahmen zur Brandmeldung und -bekämpfung vorgesehen.

Konzeptionell ist aus unserer Sicht bei einer deterministischen Betrachtungsweise der in GKN-2 vollständig realisierte Vorrang passiver Maßnahmen vor aktiven Maßnahmen als sicherheitstechnisch günstiger zu bewerten. Die Bewertung der Gesamtheit aller Maßnahmen hängt jedoch erheblich von der Qualität und Ausführung der Maßnahmen (u.a. Feuerwiderstandsdauer baulicher bzw. brandschutztechnischer Abtrennungen, Zuverlässigkeit und Wirksamkeit der Brandbekämpfung) ab.

Den Maßnahmen und Einrichtungen zur einer zuverlässigen und frühzeitigen Branderkennung und -alarmierung sowie Brandbekämpfung kommt in der Anlage GKN-1 eine höhere Bedeutung zu als in GKN-2, da das Brandschutzkonzept von GKN-1 in all den Raumbereichen, in denen eine konsequente vollständige bauliche bzw. brandschutztechnische Redundanztrennung durch Bildung von Brandabschnitten und Brandbekämpfungsabschnitten nicht gegeben ist, verstärkt Kredit von diesen kompensatorischen aktiven Brandschutzmaßnahmen nimmt.

Zur Wirksamkeit passiver baulicher und bautechnischer Maßnahmen zur Redundanztrennung kann keine vergleichende Bewertung erfolgen, da hierzu keine belastbaren Detailinformationen vorliegen. Vergleichende quantitative Bewertungen der vorhandenen Unterschiede in den aktiven und passiven Brandschutzmaßnahmen sind nur mit vertieften probabilistischen Methoden durchführbar und können unter den gegebenen Randbedingungen des Vorhabens hier nicht durchgeführt werden.

5.3 Fazit

Konzeptionell bestehen Unterschiede im Brandschutz der Anlagen GKN-2 und GKN-1, wobei nach deutschem kerntechnischen Regelwerk das Konzept des Vorrangs baulicher Brandschutzmaßnahmen in GKN-2 grundsätzlich als günstiger zu bewerten ist. Konzeptionelle Schwachstellen in GKN-1 sind nach den Bewertungen der vorliegenden Gutachten der von der Landesbehörde beauftragten Sachverständigen zum Teil beseitigt oder durch erweiterte Brandschutzmaßnahmen kompensiert worden. Als ein Nachteil für GKN-1 verbleibt die derzeit in Teilen fehlende Redundanztrennung des Reaktorschutzes.

6 Literatur

- /BMU 01/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU):
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/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU):
SR 2569 "Sicherheitstechnische Überprüfung von Anlagen zu
ausgewählten Anforderungen und Ereignissen im Rahmen von Anträgen
zur Reststrommengenübertragung", 05.12.2006
- /HAI 01/ Haider, C., et al.
Erweiterte PSA der Stufe 1 im Hinblick auf die Behandlung übergreifender
Einwirkungen und die Berücksichtigung ihrer Unsicherheiten am Beispiel
einer Anlage vom Typ Konvoi, Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, BMU-2002-592,
ISSN 0724-3316, 2001 (GRS-A-2836, Juni 2001)
- /HOF 03/ Hofer, E., M. Röwekamp, M. Türschmann
Fortschrittliche Methoden für eine Brand-PSA, GRS-190,
ISBN 3-931995-58-5; Juli 2003
- /IAE 00/ International Atomic Energy Agency (IAEA):
Fire Safety in the Operation of Nuclear Power Plants, Safety Guide No. NS-G-2.1,
Vienna; 2000
- /IAE 04/ International Atomic Energy Agency (IAEA):
Protection against Internal Fires and Explosions in the Design of Nuclear
Power Plants, Safety Guide No. NS-G-1.7, Vienna; 2004
- /KTA 00/ Kerntechnischer Ausschuss (KTA):
Sicherheitstechnische Regel des KTA: KTA 2101, Brandschutz in
Kernkraftwerken, Teil 1-3, Fassung 12/00; Dezember 2000

- /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,
2006
- /ROE 01/ Röwekamp, M., S. Oltmanns
Ermittlung kernkraftwerksspezifischer Zuverlässigkeitskenngrößen für
Brandschutzeinrichtungen in einem älteren Kernkraftwerk und in einer
Konvoi-Anlage, Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz,
BMU-2001-573, ISSN 0724-3316; 2001
- /ROE 97/ Röwekamp, M., W. Kuntze, H. Liemersdorf:
Auswertung der von der RSK angeregten Sicherheitsstatusberichte zum
Brandschutz in Betrieb befindlicher deutscher Kernkraftwerke,
GRS-A-2469, Köln, Mai 1997



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 16:

„ATWS: Ausfall Hauptspei-
sersversorgung
ATWS: Notstromfall“

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 16:
„ATWS: Ausfall Hauptspeisewasserversorgung
ATWS: Notstromfall“

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	3
3	Verwendete Unterlagen	5
4	Anlagenvergleich	7
5	Bewertung	13
5.1	Relevante Unterschiede.....	13
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 16 „ATWS: Ausfall Hauptspeisewasserversorgung, ATWS: Notstromfall“ behandelt. Diese Ereignisse werden in die Sicherheitsebene 4a eingestuft.

2 **Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale**

2.1 **Beschreibung des Ereignisablaufs**

Gemäß den RSK Leitlinien für Druckwasserreaktoren (DWR) /RSK 81/ ist für eine Auswahl von Betriebstransienten der Verlauf dieser Transienten auch unter der Annahme zu untersuchen, dass das Reaktorschnellabschaltsystem vollständig ausfällt (Anticipated Transient without Scram, ATWS). Von diesen Transienten werden im Folgenden als erfahrungsgemäß abdeckende ATWS Ereignisse die Fälle „Ausfall Hauptspeisewasserversorgung“ und „Notstromfall“ betrachtet.

Beim angenommenen mechanischen Versagen der Steuerelemente (SE), d.h. wenn die SE im Anforderungsfall nicht bewegt werden können, sind sowohl die Reaktorschnellabschaltung als auch die Reaktorregelung und die Reaktorleistungsbegrenzung unwirksam. Das postulierte mechanische Versagen der SE stellt deshalb den ungünstigeren Fall dar, da bei einem unterstellten Ausfall der Auslösung der Reaktorschnellabschaltung (RESA) die SE durch Begrenzung oder Regelung eingeworfen bzw. eingefahren würden. Jedoch werden alle anderen Maßnahmen, wie z.B. Turbinenschnellschluss (TUSA), ausgelöst. Die Reduktion der Reaktorleistung erfolgt in diesem Fall kurzfristig durch die Reaktivitätsrückwirkung des Temperaturanstiegs im Brennstoff sowie der Kühlmitteldichteverringering und langfristig durch die Einspeisung von hochboriertem Kühlmittel in den Reaktorkreislauf.

Das Verhalten der Gesamtanlage kann abdeckend anhand des ATWS-Falles „Vollständiger Ausfall der Speisewasserversorgung“ erläutert werden, da dies der relevante Störfall hinsichtlich des auftretenden maximalen Druckes im Reaktorkühlkreislauf ist.

Nach dem Ausfall der Speisewasserversorgung fallen die Füllstände in den Dampferzeugern sekundärseitig ab. Über die automatische Erkennung des Ausfalls der Speisewasserpumpen wird die Absenkung der Generatorleistung und Stabeinwurf (unwirksam) ausgelöst. Es kommt zu einem Anstieg des Druckes im Reaktorkühlkreislauf, so dass RESA (unwirksam) und TUSA ausgelöst werden. Die ebenfalls ansteigende Kühlmitteltemperatur führt über Reaktivitätsrückwirkungen infolge der Kühlmitteldichteverringering zu einer Leistungsreduzierung, wobei das Ausmaß der Leistungsreduzierung im wesentlichen abhängig ist von der Größe dieser Reaktivitätsrückwirkung (Kühlmitteltemperaturkoeffizient der Reaktivität, zudem wirken sich Temperaturände-

rungen im Brennstoff auf die Reaktivität aus, Dopplerkoeffizient). Bei betragsmäßig kleinem Kühlmitteltemperaturkoeffizienten und damit geringerer Leistungsreduktion kann es bei steigendem Frischdampf (FD) -Druck zum Ansprechen von FD-Abblase- regel- bzw. Sicherheitsventilen kommen. Da weder die aktivierten An- und Abfahrpumpen noch die Notbespeisung der Dampferzeuger aufgrund des noch hohen Leistungsniveaus den Füllstand der Dampferzeuger halten können, kommt es sekundärseitig zum Ausdampfen. Die damit verbundene Verschlechterung des Wärmeübertragungsverhaltens der Dampferzeuger führt zu einem starken Anstieg der Kühlmitteltemperaturen und damit des Kühlmitteldrucks und des Füllstands im Druckhalter. Neben dem Druckhalter (DH)- Abblaseventil sprechen auch die DH-Sicherheitsventile an (Abblasen von Wasser) und begrenzen den Druck.

2.2 Bewertungsmerkmale

Gemäß /RSK 81/ bzw. /RSK 05/ ist zu zeigen, dass es bei ATWS Ereignissen nicht zu unzulässigen Drücken kommt, bei denen ein Versagen insbesondere von Komponenten der Druck führenden Umschließung (DFU) nicht mehr ausgeschlossen ist, und dass der Reaktorkern abschalt- und kühlbar bleibt.

Gemäß /RSK 05/ kann die Analyse der ATWS Ereignisse mit realistischen Anfangs- und Randbedingungen durchgeführt werden, als Anfangszustand ist vom quasistationären Leistungsbetrieb im ungünstigsten Zykluszeitpunkt auszugehen. Mit Ausnahme der als gestört angenommenen Maßnahmen oder Einrichtungen können generell alle übrigen Systeme als funktionsfähig vorausgesetzt werden, solange ihre Funktionsfähigkeit nicht durch die Auswirkungen des Ereignisses beeinträchtigt wird. Im Kurzzeitbereich (Zeit bis einschließlich des Druckmaximums) können im Rahmen der Analyse von ATWS-Ereignissen nur Funktionen mit höherwertiger Ansteuerung (Kapitel 7 RSK-LL- Kategorie 1 und 2) berücksichtigt werden. Dies bedeutet, dass das Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen (HKMP) bei entsprechender Auslegung der Ansteuerung in der Analyse von ATWS- Ereignissen berücksichtigt werden kann.

Vor dem Hintergrund dieser Anforderungen werden für die hier durchgeführten vergleichenden Betrachtungen die folgenden Bewertungsmerkmale herangezogen:

- Merkmal 1: Verhältnis Leistung/Primärkreisinventar
- Merkmal 2: Kernauslegung und Nachweisumfang
- Merkmal 3: Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen
- Merkmal 4: Qualität der Ansteuerung von kurzfristig erforderlichen Maßnahmen
- Merkmal 5: Maximal berechnete Drücke im Primärsystem
- Merkmal 6: Nachweisstand zur Einhaltung der maximal zulässigen Spannungen in der DFU gemäß den RSK Leitlinien
- Merkmal 7: Nachweisstand zum Erhalt der Kühlbarkeit des Reaktorkerns
- Merkmal 8: Einrichtungen zur Borierung
- Merkmal 9: Primärseitige Druckentlastungseinrichtungen

3 **Verwendete Unterlagen**

Die folgenden Unterlagen wurden für den Anlagenvergleich verwendet:

- Kategorie 1

/BHB GKN 1/	Betriebshandbuch GKN 1, Stand 26.03.2007
/BHB GKN 2/	Betriebshandbuch GKN-2, Stand 26.03.2007
/ENBW 06/	EnBW, Systembeschreibung Block I, Index c, 2006-09-07
/GKN 1 TA/	GKN Block I, Systembeschreibung TA, Index c
/GKN 1 94/	GKN, GKN I, Periodische Sicherheitsüberprüfung, Anlagenbeschreibung, 1994
/GKN 1 00/	GKN I; Sicherheitsbericht: Erhöhung der thermischen Reaktorleistung auf 2597 MW, Ä-Antr.-Nr.: 060/00, 25.04.2000
/GKN 2 JA/	GKN Block II, Systembeschreibung JA, JE, Index k, 21.01.1998
/GKN 2 JDH/	GKN Block II, Systembeschreibung JDA, Index c
/GKN 2 81/	Sicherheitsbericht für das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block II (GKN-2), Bd. 4, März 1981
/GKN 2 00/	GKN II; Sicherheitsbericht: Erhöhung der thermischen Reaktorleistung auf 3965 MW, Ä-Antr.-Nr.: 068/00, 25.04.2000
/KWU 98/	SIEMENS/KWU, PSÜ- Sicherheitsstatusanalyse (SSA) für die Konvoi Kernkraftwerke: Isar 2 (KKI 2), Emsland (KKE), Neckar Block 2 (GKN II), Bericht Nr.: KWU NDS4/97/001, Dez. 1998/ Juni 2001

- /Siemens 95/ Siemens, GKN1, ATWS - Ausfall der Hauptspeisewasserversorgung unter Berücksichtigung von abdeckenden Reaktivitätskoeffizienten und Nennwerten für die DH- Ventilkapazität, Siemens Arbeitsbericht KWU NDS1/95/2518, 09.05.1995
- /Siemens 96/ Siemens, Sicherheitsstatusanalyse für das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block I, KWU NDS4/96/035, August 1996
- /TÜV 95/ TÜV Südwest, ATWS - Ausfall der Hauptspeisewasserversorgung unter Berücksichtigung abdeckender Reaktivitätskoeffizienten, KSA1 (FI)-013/95, 2. Juni 1995
- /TÜV 97/ TÜV Energie und Systeme; Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block I; Gutachtliche Stellungnahme zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ), ETP1(F)I-1115/97, September 1997
- /TÜV 01/ TÜV Arbeitsgemeinschaft Konvoi, Konvoi-Anlagen Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar, Block II (GKN II), Kernkraftwerk Emsland (KKE), Kernkraftwerk Isar 2 (KKI 2), Gutachten zur Sicherheitsstatusanalyse, erstellt von der TÜV Arge-Konvoi im Auftrage des Baden-Württembergischen Ministeriums für Umwelt und Verkehr, des Niedersächsischen Umweltministeriums und des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen, September 2001
- /TÜV 02a/ TÜV Energie und Systeme, Stellungnahmen GKN I, Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen bei ATWS- Ereignissen, Bezug: UVM-Schreiben AZ.: 71-4651.06 vom 29.01.02, FIL-ETA1-02-0007, 2002-03-28
- /TÜV 02b/ TÜV Energie und Systeme, Stellungnahmen GKN II, Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen bei ATWS- Ereignissen, Bezug: UVM-Schreiben AZ.: 71-4651.06 vom 29.01.02, FIL-ETA1-02-0006a, 2002-05-02

- Kategorie 2

/RSK 01/ Reaktor-Sicherheitskommission (RSK), Anlage 2 zum Ergebnisprotokoll der 340. RSK Sitzung am 3.5.2001

/RSK 05/ Reaktor-Sicherheitskommission (RSK), Stellungnahme der RSK zum Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen bei ATWS- Ereignissen in Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktor, 07.07.2005, 384. Sitzung

- Kategorie 3

/KWU 86/ Kraftwerk Union AG: Schulungsunterlagen DWR-Anlagenkurs, 1986

4 Anlagenvergleich

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

Tabelle 4.1: Anlagenvergleich zum ATWS

GKN-2	GKN-1	Ergebnis
Merkmal 1: Verhältnis Leistung/Primärkreisinventar		
3850 MWth / 400 m ³ = 9,6 MW/m ³ (Inventar bei Volllast einschl. DH) /GKN 2 JA/	2497 MWth / 281,3 m ³ = 8,9 MW/m ³ (Inventar bei Volllast einschl. DH) /ENBW 06, S. 5/1/	Kein relevanter Unterschied.
Merkmal 2: Kernausslegung und Nachweisumfang		
Die Beherrschung der ATWS-Fälle wird für die jeweiligen Kernbeladungen nachgewiesen. Angaben zu den inhärenten Rückkopplungseigenschaften der Reaktorkerne des aktuellen bzw. der zukünftig geplanten Zyklen liegen uns nicht vor.	Die Beherrschung der ATWS-Fälle wird für die jeweiligen Kernbeladungen nachgewiesen. Angaben zu den inhärenten Rückkopplungseigenschaften der Reaktorkerne des aktuellen bzw. der zukünftig geplanten Zyklen liegen uns nicht vor.	Bewertung wegen fehlender Unterlagen nicht möglich.
Merkmal 3: Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen		
Alle Nachweise zur Beherrschung der ATWS Ereignisse wurden ohne aktives Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen (HKMP) durchgeführt. Das vorhandene betriebliche Abschaltensignal für die HKMP, das dem Dichtungsschutz dient, wurde bei den Nachweisen nicht berücksichtigt. /TÜV 02b/	Alle Nachweise zur Beherrschung der ATWS Ereignisse wurden (Stand 2002) ohne aktives Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen durchgeführt. /TÜV 02a/	Kein relevanter Unterschied
Merkmal 4: Qualität der Ansteuerung von kurzfristig erforderlichen Maßnahmen		
Beendet wird der Störfall automatisch durch Boreinspeisung über das Zusatzboriersystem und das Volumenregelsystem (Ansteuerung durch Begrenzungssystem), wodurch die Anlage langfristig in den unterkritischen Zustand gebracht wird. Nach Erreichen der Unterkritikalität kann die Anlage auf einen Zustand zum Übergang auf die Nachkühlung abgefahren werden. Zuschalten Boriersysteme durch Begrenzungssystem (RESA K). /KWU 98, 2.3.5.3, Seite 3/	Im Kurzzeitbereich wird in den Analysen von den Einrichtungen zur Borierung kein Kredit genommen (Boreinspeisung über das Volumenregelsystem per Handansteuerung /Siemens 96, S.2.3.5.4-3/), siehe bspw. /Siemens 95/.	Auf Basis der vorhandenen Unterlagen kein relevanter Unterschied erkennbar.

GKN-2	GKN-1	Ergebnis
Merkmal 5: Maximal berechnete Drücke im Primärsystem		
<p>Neben dem Druckhalter (DH)-Abblaseventil sprechen auch die Sicherheitsventile an (Abblasen von Wasser) und begrenzen den Druck unterhalb des 1,3- fachen Auslegungsdrucks. /KWU 98, 2.3.5.3, Seite 2-3/</p>	<p>Neben dem DH-Abblaseventil sprechen auch die Sicherheitsventile an (Abblasen von Wasser) und begrenzen den Druck unterhalb des 1,3- fachen Auslegungsdrucks. /Siemens 96, 2.3.5.4-3/</p>	<p>Eine belastbare Bewertung ist auf Basis der vorhandenen Unterlagen nicht möglich.</p>
<p>Die Analyse zeigte, dass der maximale Kühlmittel- druck deutlich unter dem 1,3-fachen Auslegungs- druck bleibt. /TÜV 01, S. 5.3-126 - 127/</p>	<p>Maximaler Primärdruckanstieg: bei konservativen Reaktivitätskoeffizienten: 224,4 bar bei realistischen Reaktivitätskoeffizienten: 192,5 bar (1,3-facher Auslegungsdruck: 224,6 bar). /TÜV 87, Seite 153-154/</p> <p>Maximaler Primärdruckanstieg: bei konservativen Reaktivitätskoeffizienten: 223 bar /TÜV 95/</p>	
Merkmal 6: Nachweisstand zur Einhaltung der maximal zulässigen Spannungen in der DFU gemäß RSK Leitlinien		
<p>Keine Angaben verfügbar.</p>	<p>Keine Angaben verfügbar.</p>	<p>Bewertung wegen fehlender Unterlagen nicht möglich.</p> <p>Gemäß Anforderung der RSK LL dürfen die nach ASME Code Section III, Division 1, NB-3224 Level C Service Limits zulässigen Spannungen nicht überschritten werden. Die Einhaltung dieser Spannungen bei Erreichen des 1.3-fachen Auslegungs- drucks bedarf jedoch des detaillierten Nachweises. Eine Bewertung allein auf Grundlage der berech- neten Drücke ist nicht möglich.</p>
Merkmal 7: Nachweisstand zum Erhalt der Kühlbarkeit des Reaktorkerns		
<p>Keine Angaben verfügbar.</p>	<p>Keine Angaben verfügbar.</p>	<p>Bewertung wegen fehlender Unterlagen nicht möglich.</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnis
Merkmal 8: Einrichtungen zur Borierung		
<p>Borgehalt: Bei über die Begrenzung angeforderter Einspeisung (DEHEIRO, ATWS-Signal) wird zunächst Wasser aus den Borierbehältern mit einem Borgehalt von 7000 ppm zum Aufborieren des PKL und somit zur Leistungsreduktion eingespeist. Nach Entleerung der Borierbehälter wird dann automatisch umgeschaltet auf Ansaugung aus den Flutbecken (2200 ppm). /KWU 98, 2.5.1.3, Seite 14-15/ Anreicherungsgrad mit B-10: 31,5 Atom-% /BHB GKN 2, 4-2.4, 15/1/ Bor-Einspeiseraten Über das RESA-Kontroll-Signal (ATWS-Signal RESA-K) erfolgt automatisch Borsäureeinspeisung mit dem Zusatzboriersystem (JDH) und dem betrieblichen Boriersystem (KBA, Volumenregelsystem) /BHB GKN 2, 3-1.3, 3.1/3/ Boriergeschwindigkeit KBA (bei 6 l/s, 1 Strang) ca. 0,11 ppm B/s /KWU 86/, Abschn. 5 Seite 3/ JDH (bei 4 Strängen) bei einer Anfangsborkonzentration im RKL von ca. 1500 ppm: ca. 0,15 ppm B/s /GKN 2 JDH, S.16/ Daraus ergibt sich als Summe: 0,37 ppm B/s</p>	<p>Borgehalt: Einspeisen von vierprozentiger Borsäure aus dem Volumenregelsystem (TA) /ENBW 06/. Borierung über Volumenregelsystem TA: (2 HD-Förderpumpen und 1 Abdrückpumpe, 2200 ppm aus den TH-Flutbehältern (3x236 Mg) oder bis 7000 ppm aus Chemikalieneinspeisung TB) /Siemens 96, S.2.4.1-3/. Anreicherungsgrad mit B-10: 31,5 Atom-% /BHB GKN 1, 2-3.2.2, S. 32/. Bor-Einspeiseraten Beendet wird das Ereignis durch Boreinspeisung über das Volumenregelsystem (Handansteuerung), wodurch die Anlage langfristig in den unterkritischen Zustand gebracht wird /Siemens 96, S.2.3.5.4-3/. Boriergeschwindigkeit (bei einer Anfangsborkonzentration im RKL von 1500 ppm) bei einer Einspeisekonzentration von 2200 ppm: bei 11,9 kg/s Einspeiserate: ca. 0,035 ppm B/s bei 13,3 kg/s Einspeiserate: ca. 0,044 ppm B/s bei einer Einspeisekonzentration von 7000 ppm: bei 8,8 kg/s Einspeiserate: ca. 0,23 ppm B/s /BHB GKN 1, 2-2.5.3-1, S.18/</p>	<p>Relevanter Unterschied: Die Boriergeschwindigkeit im Primärsystem ist in GKN-2 um ca. 60% höher.</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnis
Weitere Auslegungsmerkmale:	Weitere Auslegungsmerkmale:	
Über das RESA-Kontroll-Signal (ATWS-Signal RESA-K) erfolgt automatisch Borsäureeinspeisung mit dem Zusatzboriersystem (JDH) und dem betrieblichen Boriersystem (KBA, Volumenregelsystem) /BHB GKN 2, 3-1.3, 3.1/3/	Beendet wird das Ereignis durch die Boreinspeisung über das Volumenregelsystem (Handansteuerung), wodurch die Anlage langfristig in den unterkritischen Zustand gebracht wird. Für die Handmaßnahmen ist ausreichend Zeit vorhanden, da genügend Deionatvorräte zur Verfügung stehen /Siemens 96, 2.3.5.4-3/.	Relevanter Unterschied: Die Borierung erfolgt in GKN-1 über eine Handansteuerung, in GKN-2 automatisch über RESA-Kontroll-Signal. Demzufolge wird in GKN-1 von der Borierung des Primärkreislaufs im Kurzzeitbereich kein Kredit genommen.
Das Zusatzboriersystem ist ein reines Sicherheitssystem und dementsprechend gesichert aufgebaut. Aus Gründen der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit ist das Zusatzboriersystem in vier Stränge unterteilt. /GKN 2 JA, Seite 8/ Die vier Stränge des Zusatzboriersystems sind räumlich völlig voneinander getrennt und ohne Vermaschung aufgebaut. Die Energieversorgung des Zusatzboriersystems ist auch nach "Einwirkung von Außen" durch strangweisen Anschluss an die entsprechenden Redundanzen des Notstromnetzes 2 (D2) gesichert. /GKN 2 JDH, S. 3, S. 10/		Relevanter Unterschied: GKN-1 besitzt kein Zusatzboriersystem.
KBA: die KBA-Pumpen sind notstromversorgt, werden allerdings bei gleichzeitiger Anforderung des Not- und Nachkühlsystems automatisch unterbrochen /KWU 98, 2.5.1.3, Seite 11/. KBC: notstromversorgt /GKN 2 81, Seite 2.8.1.2-2/	Im TA-System sind alle Antriebe im Einspeise- und Entnahmestrom notstromgesichert. Zusammen mit den ebenfalls notstromgesicherten Chemikalieneinspeisesträngen wird auch im Notstromfall die Sicherung der Unterkritikalität gewährleistet. Die HD-Förderpumpen und die Abdrückpumpe werden vom Notstromsignal abgeschaltet und abhängig vom vorherigen Betriebszustand der Pumpen vom Dieselbelastungsprogramm wieder automatisch zugeschaltet /GKN 1 TA, S. 23/.	Kein relevanter Unterschied.

GKN-2	GKN-1	Ergebnis
Merkmal 9: Primärseitige Druckentlastungseinrichtungen		
<p>1 DH-Abblaseventil Nenndurchsatz ca. 41,7 kg/s beim Ansprechdruck /GKN 2 JA, S. 52/ Ansprechdruck: 166 bar /BHB GKN 2, 4-1.4, 9/2/</p> <p>2 DH-Sicherheitsventile (DH-SIV) Abblaseraten: 83,3 kg/s Sattedampf pro Ventil beim Ansprechdruck. Ansprechdruck 1. DH-SIV: 169 bar 2. DH-SIV: 175 bar /GKN 2 JA, S. 46 ff/</p>	<p>1 DH-Abblaseventile Abblasekapazität: ca. 25 kg/s (Auslegungswert gemäß /ENBW 06, S. 5/8/, andere Angaben existieren zu realistischen Werten) Ansprechdruck: 166 bar /BHB GKN 1, 2-3-1-2, S.12/</p> <p>2 DH-Sicherheitsventile (DH-SIV) Abblasekapazitäten: ca. 55 kg/s pro Ventil /ENBW 06, S. 5/8/ Ansprechdruck 1. DH-SIV: 170 bar 2. DH-SIV: 175 bar /BHB GKN 1, 2-2.5.3-6, S.9 bzw. 2-3.1.2, S.12/</p>	<p>Der Unterschied in der gesamten leistungsbezo- genen DH Abblase-Kapazität zwischen GKN-1 und GKN-2 ist nicht relevant.</p>
<p>Qualifizierung von DH-Abblase- und -Sicherheitsventil für Abblasen von Wasser-Dampf- Gemisch /KWU 98, 2.3.5.3, S. 3/</p>	<p>Mit der Modernisierung der Druckhalterarmaturen- station kann über die Sicherheits- und Abblase- Ventile außer Dampf auch Wasser-Dampf- Gemisch und unterkühltes Wasser abgeblasen werden. Dadurch ist die Funktionstüchtigkeit dieser Ventile auch bei ATWS gegeben /TÜV 97, S. 11/.</p>	<p>Kein relevanter Unterschied.</p>

5 Bewertung

Wegen fehlender Daten zur Kernausslegung können die inhärenten Eigenschaften der Kerne von GKN-1 und GKN-2 nicht miteinander verglichen werden. Auch zu Merkmal 4 (Qualität der Ansteuerung von kurzfristig erforderlichen Maßnahmen), Merkmal 5 (maximal berechnete Drücke im Primärsystem), Merkmal 6 (Nachweisstand zur Einhaltung der maximal zulässigen Spannungen in der DFU gemäß den RSK Leitlinien) und Merkmal 7 (Nachweisstand zum Erhalt der Kühlbarkeit des Reaktorkerns) liegen keine ausreichenden Unterlagen vor.

5.1 Relevante Unterschiede

Zu Merkmal 8: Einrichtungen zur Borierung

Die Boriergeschwindigkeit im Primärsystem ist in GKN-2 um ca. 60% höher.

Die Borierung erfolgt in GKN-1 über eine Handansteuerung, in GKN-2 automatisch über RESA-Kontroll-Signal. Demzufolge wird in GKN-1 in den Ereignisablaufanalysen von der Borierung des Primärkreislaufs kein Kredit genommen.

GKN-1 besitzt kein Zusatzboriersystem.

5.2 Bewertung der relevanten Unterschiede

Zu Merkmal 8: Einrichtungen zur Borierung

Die in GKN-2 höhere Boriergeschwindigkeit ist als Vorteil anzusehen.

Ebenfalls ist die in GKN-2 automatisch erfolgende Zuschaltung der Borierung als Vorteil anzusehen.

Des Weiteren ist das Vorhandensein eines Zusatzboriersystems in GKN-2 insbesondere aufgrund der auch im Kurzzeitbereich bereits wirksam werdenden Borierung des Primärkreislaufs als Vorteil anzusehen.

5.3 Fazit

Die höhere Wirksamkeit der Einrichtungen zur Aufborierung des Primärkreislaufes insbesondere durch das Vorhandensein eines Zusatzboriersystems ist als Vorteil für GKN-2 anzusehen. Bei unterstellten gleichen transienten Reaktivitätsrückkopplungseigenschaften ist die Anlage GKN-2 daher sicherheitstechnisch günstiger zu bewerten.

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
- /RSK 81/ Reaktor-Sicherheitskommission (RSK), RSK Leitlinien für Druckwasserreaktoren, 3. Ausgabe vom 14. Oktober 1981



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische
Überprüfung von Anla-
gen zu ausgewählten An-
forderungen und Ereig-
nissen im Rahmen von
Anträgen zur Rest-
strommengenübertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 18:

„Ausfall der gesamten Dampf-
erzeuger-Bespeisung mit der
Tendenz zur völligen Aus-
dampfung der Sekundärsei-
ten“

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 18:
„Ausfall der gesamten Dampferzeuger-Bespeisung mit der Tendenz zur völligen Ausdampfung der Sekundärseiten“

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	3
3	Verwendete Unterlagen	4
4	Anlagenvergleich	5
4.1	Wirksamkeit der vorgesehenen Notfallmaßnahmen	7
4.2	Karenzzeiten für Notfallmaßnahmen in Relation zum erforderlichen Zeitbedarf für die Durchführung der SDE.....	11
4.3	Erforderlicher Personalbedarf für die Durchführung der SDE	13
5	Bewertung	15
5.1	Darstellung der relevanten Unterschiede.....	15
5.2	Bewertung der relevanten Unterschiede.....	15
5.3	Fazit	16
6	Literatur	17

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 18 „Ausfall der gesamten Dampferzeuger-Bespeisung mit der Tendenz zur völligen Ausdampfung der Sekundärseiten“ behandelt. Dies wird als Ereignis der Sicherheitsebene 4b eingestuft.

2 Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale

2.1 Beschreibung des Ereignisablaufs

Für das postulierte Ereignis „Ausfall der gesamten Dampferzeuger (DE)-Bespeisung mit der Tendenz zur völligen Ausdampfung der Sekundärseiten“ (Sicherheitsebene 4b) ist die Notfallmaßnahme „Sekundärseitiges Druckentlasten und Bespeisen (SDE)“ vor-geplant. Die gesamte DE-Bespeisung ist in beiden Anlagen ausgefallen, wenn das Hauptspeisewassersystem, das An- und Abfahrssystem und das Notspeisesystem nicht verfügbar sind.

Gründe für den kompletten Ausfall der DE-Bespeisung können sein: mechanisches Versagen der Speisewasser (SPW)-Pumpen oder SPW-Leitungen oder der Ausfall der Drehstromversorgung der SPW-Pumpen bzw. der Ausfall im gesamten Kraftwerk (Station Blackout: SBO mit verfügbarer Batterieversorgung). Nachfolgend werden für die Bewertungsmerkmale die Ereignisabläufe mit und ohne SBO parallel behandelt.

Beim SBO erfolgen die Reaktorschnellabschaltung (RESA) und die Turbinenschnellabschaltung (TUSA) nahezu sofort über den Drehzahlgrenzwert $< 94\%$ der auslaufenden Hauptkühlmittelpumpen (HKMP).

Beim Ausfall der SPW-Pumpen (ohne SBO) wird die Reaktorleistung in beiden Anlagen zunächst von der Reaktorleistungsbegrenzung (SPEISE-RELEB) durch Einwurf von Steuerstäben auf 50 - 60 % und kurz danach durch Sammelstabeinwurf bis auf die Nachzerfallsleistung reduziert.

Mit abnehmendem DE-Füllstand verringert sich die Wärmeabfuhr aus dem Primärkreislauf (PKL). Druck und Temperatur im PKL steigen an. Der Druck wird nur im Fall ohne SBO durch die Druckhalter (DH)-Sprühsysteme begrenzt. Das führt zusammen mit der temperaturbedingten Volumenausdehnung zum Anstieg des DH-Füllstandes. Wenn der DH nahezu vollgelaufen ist, steigt der Druck über den Ansprechwert der DH-Ventile an. Das Kühlmittel strömt in den Abblasetank und nach dem Öffnen der Berstscheiben in den Sicherheitsbehälter. Der Reaktordruckbehälter (RDB) würde ohne Notfallmaßnahmen nach wenigen Stunden entleert sein.

Bevor die DE leergelaufen sind, werden im Fall ohne SBO die HKMP gemäß Notfallhandbuch von Hand abgeschaltet, um die Wärmezufuhr in den PKL zu verringern und das noch verfügbare DE-Inventar länger nutzen zu können. Das vom DE-Füllstand abhängige Kriterium zur Handabschaltung ist in beiden Fällen gleichzeitig eines der Einleitungskriterien (siehe Tabelle 4-2) für die Notfallmaßnahme „Sekundärseitiges Druckentlasten und Bespeisen (SDE)“.

Die Zielsetzung der SDE besteht in der Wiederherstellung der DE-Bespeisung unter Nutzung des SPW-Behälter- und -Leitungsinventar und/oder der Nutzung des Inventars der Notspeisebecken mit einer mobilen Pumpe und damit die Wiederherstellung der Wärmeabfuhr aus dem PKL. Die SDE ist wirksam, wenn mindestens zwei DE (GKN-2) bzw. ein DE (GKN-1) aus dem SPW-Behälter oder mindestens ein DE mit mobiler Pumpe bespeist werden.

Bei erfolgloser SDE ist die Einleitung der Primärseitigen Druckentlastung (PDE) mit der DH-Abblasestation notwendig. Mit sinkendem Druck wird zunächst den Sicherheitseinspeisepumpen, danach den Druckspeichern und schließlich den Nachkühlpumpen das Einspeisen ermöglicht (siehe auch Darstellung im Bewertungsgegenstand 19).

Die sicherheitstechnische Bedeutung des Ereignisses liegt darin, dass bei Unterbleiben von bzw. bei erfolglosen Notfallmaßnahmen (SDE, PDE) Kernschmelzen unter hohem Druck droht. Im Folgenden wird die Wirksamkeit der SDE in den Anlagen GKN-2 und GKN-1 verglichen.

2.2 Bewertungsmerkmale

Für die Wirksamkeit der SDE sind organisatorische Voraussetzungen notwendig, die in Handlungsanweisungen für das Personal münden. Diese sind in einem Notfallhandbuch (NHB) niedergelegt.

Technische Voraussetzungen, welche die Wirksamkeit der SDE entscheidend beeinflussen, sind eine ausreichende Querschnittsfläche der FD-Abblase- und -Sicherheitsventile. Davon ausgehend sind für die hier durchgeführten vergleichenden Untersuchungen die folgenden Bewertungsmerkmale bestimmend:

- **Merkmal 1:** Wirksamkeit der vorgesehenen Notfallmaßnahmen
- **Merkmal 2:** Karenzzeiten für Notfallmaßnahmen in Relation zum erforderlichen Zeitbedarf für die Durchführung der SDE

- **Merkmal 3:** Erforderlicher Personalbedarf für die Durchführung der SDE

Die einzelnen Merkmale werden im Kap. 4 erläutert und im Kap. 5 im Hinblick auf relevante Unterschiede zusammengefasst und bewertet.

3 Verwendete Unterlagen

Das Ereignis „Ausfall der gesamten Dampferzeuger-Bespeisung mit der Tendenz zur völligen Ausdampfung der Sekundärseiten“ ist auch Bestandteil des Entwurfs zum neuen Regelwerks /KTR 06/. Folgenden Unterlagen wurden für die Gegenüberstellungen und Bewertungen verwendet:

- Kategorie 1

/GKN 07/ Betriebshandbuch Block I / II, Stand 26.03.2007

/KKE 04/ Notfallhandbuch KKE, Kap. 2.4.1, Stand 27.01.2004

/KWU 94/ PSA GKN-1, Kapitel 4.7: Anlageninterne Notfallschutzmaßnahmen, Siemens AG, Stand 28.06.94

/KWU 98/ KONVOI-Sicherheitsstatusanalyse, Bericht NDS4/97/001, 18.12.1998

/NHB 97/ Notfallhandbuch GKN-2, Teil 2, Kap. 2.4.1, Stand 4/1997

/NHB 02/ Notfallhandbuch GKN-1, Teil 2, Kap. 5.1, Stand 6/2002

4 Anlagenvergleich

Voraussetzung für einen Anlagenvergleich im Hinblick auf die Wirksamkeit der Vorbereitung und Durchführung der einzuleitenden Notfallmaßnahme sind Kenntnisse über den zeitlichen Ereignisablauf für die im Kap. 2 spezifizierten Ereignisabläufe beim Ausfall der gesamten DE-Bespeisung.

Die Zeiten in Tabelle 4-1 wurden für GKN-2 dem Notfallhandbuch von der Konvoianlage Emsland, Kap. 2.4.1 /KKE 04/ entnommen, da im Notfallhandbuch von GKN-2 keine Zeiten enthalten sind. Die Zeiten für GKN-1 wurden aus /NHB 02/ entnommen. Da es sich bei GKN-2 und KKE um nahezu identische Anlagen handelt, sind keine größeren Abweichungen zu erwarten. Tabelle 4-1 gibt den wesentlichen Ereignisablauf mit verfügbarer Drehstromversorgung (kein SBO) wieder.

Tabelle 4-1: Ereignisablauf beim Ausfall der gesamten Dampferzeuger-Bespeisung

Ereignis	GKN-2	GKN-1
Dampferzeuger-Füllstand < 9 m bzw. 8 m ¹⁾ → RESA / TUSA	< 1 min	< 1 min
Dampferzeuger-Füllstand < 4 m → SDE-Vorbereitung	20 ³⁾	22
Dampferzeuger leer	50	52
Druckhalter voll	90	140 ²⁾
RDB-Füllstand < min 3 → 1. PDE-Kriterium	100 ³⁾	165 ²⁾
BE-Austrittstemperatur > 400 °C → 2. PDE-Kriterium	120 ³⁾	175 ²⁾

¹⁾ GKN-2: < 9 m; GKN-1: < 8 m

²⁾ In den Zeiten ist ein SPW-Eintrag aus den SPW-Leitungen durch Druckentlastung berücksichtigt. Wird hiervon kein Kredit genommen, so sind von diesen Zeiten ca. 50 min abzuziehen (siehe Kap. 4.2).

³⁾ Diese Zeitangaben sind sowohl in /KKE 04/ als auch in /KWU 98/ enthalten.

Unterstellt man als auslösendes Ereignis für den Ausfall der gesamten DE-Bespeisung den SBO, verlängert sich aufgrund der unmittelbaren RESA-Auslösung (größeres DE-Inventar) und des fehlenden Energieeintrages durch die HKMP die Zeit bis zum Entleeren der DE um etwa 15 min bei GKN-2 und 28 min bei GKN-1.

Trotz längerer Ausdampfzeit der DE beim SBO werden die PDE-Kriterien bei Konvoi-Anlagen nahezu zum gleichen Zeitpunkt erreicht, da der Druckhalter ca. 10 min früher voll ist und dadurch der Kühlmittelverlust über die DH-Ventile früher einsetzt /KKE 04/. Nach /NHB 02/ werden in GKN-1 die PDE-Kriterien beim SBO 25 min später erreicht.

In beiden Anlagen wird zwischen Einleitungskriterien für die Vorbereitung und die Durchführung der SDE unterschieden. Die Vorbereitungskriterien sind in Tabelle 4-2 gegenübergestellt (EB: Eigenbedarfsversorgung).

Tabelle 4-2: Einleitungskriterien für die Vorbereitung der SDE nach Notfallhandbuch

GKN-2	GKN-1
EB-Versorgung und Notstrom / Notspeisediesel nicht verfügbar ODER	EB-Versorgung und Notstromdiesel länger als 20 min nicht verfügbar ODER
4v4 DE-Füllstände < 4 m	3v3 DE-Füllstände < 4 m

Wenn diese Kriterien erreicht sind werden die vorbereitenden Maßnahmen begonnen.

Die Einleitungskriterien für die Durchführung der SDE sind wie folgt festgelegt. Nach Erreichen eines der Kriterien wird die DE-Druckentlastung über FD-Abblaseregelventile (ARV ohne SBO) oder FD-Sicherheitsventile (SIV mit SBO) eingeleitet.

Tabelle 4-3: Einleitungskriterien für die Durchführung der SDE

GKN-2	GKN-1
RDB-Eintrittstemperatur > 310°C ODER	RDB-Eintrittstemperatur > 310°C ODER
DH-Füllstand > 9,5 m ODER	DH-Füllstand > 8,5 m ODER
DH-Abblaseventil öffnet mehrmals	DH-Abblaseventil öffnet mehrmals

Für die SDE relevante Anlagenunterschiede sind in Tabelle 4-4 dargestellt.

Tabelle 4-4: SDE-Relevante Anlagenunterschiede

Parameter / Anzahl	GKN-2	GKN-1
Reaktorleistung	3850 MW _{th}	2497 MW _{th}
DE-Füllstand	12,2 m	10,2 m
Druck im SPW-Behälter	3,7 bar	9 bar
FD-Umleitstationen	4	5 (3+2; 2 Turbinen)
Zur Druckabsenkung nutzbare Ventile	8	6

Die um 35 % geringere Reaktorleistung und der geringere DE-Füllstand bei GKN-1 sind Ursachen für die nahezu identischen Ausdampfzeiten in beiden Anlagen.

Das Druckaufladen des SPW-Behälters ist auch bei GKN-1 notwendig, da nach der TUSA keine Dampfversorgung von der Turbinenanzapfung (mit und ohne SBO) erfolgt und die „kalte“ Deionateinspeisung vom Kondensatsystem (ohne SBO) einen Druckabfall bewirken. Der größere Betriebsdruck im SPW-Behälter von GKN-1 hat zur Folge, dass das Druckaufladen auf 9 bar nur etwa 10 min dauert und auch bei nicht erfolgreichem Druckaufladen eine passive Einspeisung aus dem SPW-Behälter möglich ist.

Die FD-Umleitstationen sind in beiden Anlagen nur für eine kurze Zeit im Einsatz, da sie entweder sofort (SBO) oder nach kurzer Zeit (Füllstand im SPW-Behälter zu hoch) wegen fehlendem Einspritzwasser nicht mehr zur Verfügung stehen. Die 8% FD-SIV in GKN-1 sind für die SDE nicht nutzbar, da sie nicht von Hand geöffnet werden können.

4.1 Wirksamkeit der vorgesehenen Notfallmaßnahmen

Gemäß der Zielsetzung der Notfallmaßnahme SDE, die DE-Bespeisung unter Nutzung des SPW-Behälter- und SPW-Leitungsinventar oder mittels mobiler Pumpe aus den Notspeisebehältern wiederherzustellen, sind die nachfolgend beschriebenen Arbeitsschritte vorgesehen.

Die Vorbereitung und Durchführung der SDE in beiden Anlagen erfordert eine Reihe von Handmaßnahmen. Bevor die eigentlichen Schritte eingeleitet werden, ist der Anlagenzustand hinsichtlich weiterer Schutzzielverletzungen und anstehender Reaktorschutz-Signale zu überprüfen.

In beiden Anlagen werden bei einem Füllstand in allen DE von kleiner 4 m die HKMP abgeschaltet und die Aufborierung des PKL eingeleitet. Danach werden Simulationen im Reaktorschutz (Eingriffe in den Reaktorschutz, die ein Signal simulieren, ohne das es zur Auslösung von Reaktorschutzaktionen kommt), das Anschließen der mobilen Pumpe, die Isolierung und das Druckaufladen des SPW-Behälters und das Durchschalten von SPW-Leitungen durchgeführt.

Die Simulationen im Reaktorschutz bei GKN-2 werden veranlasst, da es für eine schnelle DE-Druckentlastung unerlässlich ist, dass die Reaktorschutz-Signale, die bei einem FD-Druckabfall von > 4 bar/min (DAF) auslegungsgemäß ausgelöst würden, nicht mehr anstehen und Armaturen verfahren werden können. In GKN-1 wird das Ansprechen des SPW-Druckgradienten (DAF) und SPW-Druckvergleichs sowie die Anrengung des Notspeise-Zuschaltsignals verhindert. Diese Simulationen sind in beiden Anlagen vom Umfang und dem Zeitbedarf nahezu identisch.

Bei nicht verfügbarem D2-Netz ist in GKN-2 die Stromversorgung der SDE/PDE-Schiene herzustellen und bei nicht verfügbarem Diesel-Netz in GKN-1 die der PDE-Schränke, um im Anforderungsfall Armaturen verfahren zu können und bei GKN-2 die RDB-Füllstandssonden mit Spannung zu versorgen.

Wenn die Spannungsversorgung des SDE/PDE-Schranks bei GKN-2 nicht erfolgreich war, müssen die Notspeiseventile von Hand vor Ort (im Ringraum) geöffnet werden. Dabei besteht nach dem Öffnen der Berstscheiben des Abblasebehälters eine potenziell erhöhte Strahlenexposition für das Personal, d.h., die Tätigkeiten im Ringraum sollten bis zu diesem Zeitpunkt beendet sein.

Als nächste Handmaßnahme ist das Öffnen der FD-Anwärmstationen in der FD-Armaturenkammer durchzuführen. Damit wird sichergestellt, dass die Drücke in mindestens zwei DE nahezu gleich sind und außerdem nach erfolgtem Sekundärkreisabschluß durch „DAF“ sofort wieder Druckausgleich über den FD-Sammler erfolgt und die FD-Abschlußarmaturen nach dem Rücksetzen der Reaktorschutz-Signale wieder geöffnet werden können.

Bevor die Maßnahmen zum Druckaufladen des SPW-Behälters durchgeführt werden, muss sichergestellt sein, dass das Druckaufladen überhaupt möglich und/oder eine ausreichend lange Bespeisungsmöglichkeit gegeben ist. Bei Erreichen eines Druckes von 5,7 bar im SPW-Behälter in GKN-2 und bei einem Druck von 9,5 bar in GKN-1

werden die Stützdampfventile durch betriebliche Signale und beim SBO von Hand vor Ort geschlossen.

Damit sich das SPW-Behälterinventar nicht in Richtung Kondensator druckentlasten kann, müssen die Entgasungsventile beim SBO von Hand im Maschinenhaus geschlossen werden.

Weiterhin müssen die Anwärmventile der SPW-Pumpen beim SBO von Hand im Maschinenhaus geschlossen werden, damit sich das Inventar der „heiß stehengebliebenen“ SPW-Leitungen (etwa 218 °C / 22 bar nach den HD-Vorwärmern) nicht in den SPW-Behälter druckentlasten und ausdampfen kann.

Die DE-Druckentlastung wird gemäß den Einleitungskriterien (Tabelle 4-3) begonnen. In beiden Anlagen stehen zur Druckentlastung pro DE ein FD-ARV und beim SBO ein 100%-FD-SIV zur Verfügung. Die Kapazitäten dieser Ventile sind bei nahezu leeren DE ausreichend, um eine schnelle Druckabsenkung auf etwa 5 bar zu realisieren. Wichtiger sind aber die Kapazitäten dieser Ventile, um diesen Druck bei aktiven und passiven Einspeisungen zu halten und nicht ansteigen zu lassen.

Tabelle 4.1-1 zeigt die Abblasekapazitäten der FD-ARV beider Anlagen zur Aufrechterhaltung eines Druckes im Bereich von 5 bar. Es wird davon ausgegangen, dass die 100%-SIV vergleichbare Kapazitäten haben.

Tabelle 4.1-1: FD-Abblasekapazitäten in **kg/s** bei **5 bar**

GKN-2		GKN-1	
pro ARV bei 5 bar	35	pro ARV bei 5 bar	26
Summe für alle ARV	140	Summe für alle ARV	78

Diese Abblasekapazität ist bei GKN-1 um etwa 55% (leistungsbereinigt 16%) geringer, sie ist aber auch für eine stetige Durchführung der SDE ausreichend, da zur Abfuhr der Nachzerfallsleistung nach einer Stunde eine Einspeiserate mit der mobilen Pumpe von etwa 14 kg/s ausreicht /NHB 02/ und das 5,6-fache an Masse (GKN-2: 6,4-fach, da die vergleichbare Einspeiserate etwa 22 kg/s beträgt /NHB 97/) abgeblasen werden kann.

Das „heiß stehengebliebene“ SPW-Leitungsinventar strömt ab einem Druck von < 22 bar in die DE ein und trägt bereits im Verlauf der DE-Druckentlastung zur Kühlung des PKL bei. Die PDE-Einleitungskriterien können damit in beiden Anlagen verzögert werden /NHB 97/ und /NHB 02/.

In GKN-1 wird die mobile Pumpe mit beginnender DE-Druckentlastung etwa zum Zeitpunkt der DE-Entleerung gestartet. Die Einspeisung mit der mobilen Pumpe hat in GKN-1 Vorrang gegenüber der Bespeisung aus dem SPW-Behälter. Sie beginnt bei einem Druck von < 15 bar. Eine ausreichende Einspeisung wird erst ab einem DE-Druck von < 8 bar erreicht. Der Wasservorrat eines Deionatbeckens (205 m^3) reicht beim Nenn-Förderstrom der mobilen Pumpe von 24 kg/s bei $4,5$ bar für ca. 140 min. Bei GKN-1 stehen zwei Becken für die mobile Pumpe zur Verfügung ohne den Pumpenanschluss wechseln zu müssen.

In GKN-2 beginnt die Einspeisung der mobilen Pumpe bei einem DE-Druck von < 13 bar. Der Förderstrom beträgt bei $4,5$ bar 20 kg/s . Der Wasservorrat eines Deionatbeckens (360 m^3) würde bei diesem Förderstrom für ca. 300 min reichen; gemäß /NHB 97/ sind 4 Stunden angegeben. Darüber hinaus können Vorräte der anderen Becken nach Handmaßnahmen genutzt werden.

Wenn der DE-Druck unter das Niveau des Sättigungsdruckes in den SPW-Leitungen fällt, öffnen zunächst die gedämpften Rückschlagventile vor den DE und das Wasser aus der SPW-Leitung wird passiv in die DE gedrückt.

Der SPW-Behälterinhalt von GKN-1 beträgt beim Normalbetriebsfüllstand von $3,1$ m etwa 300 m^3 . Im Vergleich dazu ist der Vorrat im SPW-Behälter von GKN-2 beim Normalbetriebsfüllstand von $2,4$ m etwa 360 m^3 groß (auf die Leistung von GKN-1 bezogen entspricht das etwa 234 m^3).

In GKN-2 kann dabei von einem Zeitfenster von etwa $3,8$ h zur Abfuhr der Nachzerfallsleistung ausgegangen werden /KKE 04/. GKN-1 verfügt unter Berücksichtigung des höheren Druckes und des leistungsbezogenen höheren Inventars über größere Reserven zur Einspeisung aus dem Speisewasserbehälter.

4.2 **Karenzzeiten für Notfallmaßnahmen in Relation zum erforderlichen Zeitbedarf für die Durchführung der SDE**

Die Karenzzeiten in den Anlagen sind wie in Tabelle 4.2-1 zusammengefasst definiert.

Tabelle 4.2-1: Definition der Karenzzeit für GKN-1 und GKN-2 gemäß NHB

Anlage	Definition der Karenzzeiten für die SDE
GKN-2	Karenzzeit: „ist die Zeit, die vom Erreichen der Einleitungskriterien (Übergang ins NHB) bis zum spätesten Zeitpunkt für das Wirksamwerden der Notfallmaßnahme maximal zur Verfügung steht.“
GKN-1	Karenzzeit: „Zeitraum vom Anstehen der Einleitungskriterien bis zum Erreichen des Kriteriums RDB-Füllstand < min 3, bei welchem auf die Notfallmaßnahme PDE überzugehen ist.“ ⁽¹⁾

¹⁾ Erfolgreiche sekundärseitige Druckentlastung berücksichtigt, d.h. passive Einspeisung aus SPW-Leitungen berücksichtigt; Die hier angegebene Definition gilt speziell für die SDE. Es findet sich eine identische allgemeine Definition wie bei GKN-2 in der Einleitung des NHB.

Im Weiteren wird für beide Anlagen der Zeitraum vom Anstehen der Einleitungskriterien für die Vorbereitung der SDE bis zum Erreichen des Kriteriums RDB-Füllstand < min 3, bei welchem die PDE durchzuführen ist, als Karenzzeit definiert.

Wird berücksichtigt, dass Kernschmelzen noch verhindert werden kann, wenn die SDE erst bei einer BE-Austrittstemperatur von 400 °C durchgeführt wird, erhöhen sich die Karenzzeiten um 20 min bei GKN-2 und um 10 min in GKN-1.

Die Ermittlung der Karenzzeiten mit und ohne SBO geht aus Tabelle 4.2-2 hervor (z.B. GKN-1 ohne SBO: 115 - 20 = 95 Minuten).

Tabelle 4.2-2: Zeitablauf und Karenzzeiten für die SDE in Minuten

Zeiten zum Einleiten der SDE und PDE	GKN-2	GKN-1
DE-Füllstand < 4 m → SDE (ohne SBO)	20	20
Verlust Eigenbedarf und Notstrom → SDE (mit SBO)	0 ¹⁾	20
RDB-Füllstand < min 3 → 1. PDE-Kriterium	100	115 ²⁾
RDB-Füllstand < min 3 → 1. PDE-Kriterium (mit SBO)	100	140 ²⁾
BE-Austrittstemperatur > 400 °C → 2. PDE-Kriterium	120	125 ²⁾
BE-Austrittstemperatur > 400 °C → 2. PDE-Kriterium (mit SBO)	120	150 ²⁾
Karenzzeiten zur Durchführung der SDE		
ohne SBO	80	95
mit SBO	100 ¹⁾	120

¹⁾ Die Vorbereitung der Maßnahmen kann realistisch erst erfolgen, wenn das Ereignis erkannt und verifiziert ist. Daraus ergibt sich praktisch eine kürzere Karenzzeit.

²⁾ Diese Zeiten wurden mit Abzug von 50 min aus /NHB 02/ für den Fall ohne SBO entnommen, da die erfolgreiche Druckentlastung bereits berücksichtigt ist. Für den Fall mit SBO betragen sie nach Abzug von 50 min 140 min bzw. 150 min. Diese Unterschiede resultieren aus der längeren Ausdampfzeit beim SBO (+ 28 min).

Der Abzug von 50 Minuten bei GKN-1 resultiert aus der Überlegung, dass die Zeit zwischen der DE-Entleerung und der DH-Auffüllung ähnlich wie bei KKE nur etwa 40 bis 45 min betragen kann (siehe Tabelle 4-1):

- Aufheizung von 208 t Wasser von 292 °C bis auf Sättigungstemperatur etwa 35 min,
- Erhöhte Wärmeverluste und Wärmeabfuhr aus den DE sowie über das Volumenregelsystem bis zum Abschaltwert der HD-Förderpumpen etwa 10 min; konservativ sind das in Summe 40 min.

Der Zeitbedarf für die Vorbereitung und Durchführung der SDE ist anlagenspezifisch (mit und ohne SBO) im Vergleich zur Karenzzeit für das **1.** (RDB-Füllstand < min 3) und **2.** (BE-Austrittstemperatur > 400 °C) **PDE**-Einleitungskriterium in Tabelle 4.2-3 dargestellt.

Tabelle 4.2-3: Zeitbedarf für die SDE und Vergleich mit den Karenzzeiten in **Minuten**

Anlage	Zeitbedarf	Karenzzeit (1. Krit.)	Karenzzeit (2. Krit.)
GKN-1 ohne SBO	35	95	140
GKN-1 mit SBO	50	120	150
GKN-2 ohne SBO	40	80	100
GKN-2 mit SBO	50	100 ¹⁾	120 ¹⁾

¹⁾ Die Vorbereitung der Maßnahmen kann realistisch erst erfolgen, wenn das Ereignis erkannt und verifiziert ist. Daraus ergibt sich praktisch eine kürzere Karenzzeit (s. Tab. 4.2-2).

Die verfügbaren Karenzzeiten sind bei beiden Anlagen größer als der erforderliche Zeitbedarf. Die Relation „Karenzzeit zu Zeitbedarf“ ist in GKN-1 um ca. 40% größer als in GKN-2.

4.3 Erforderlicher Personalbedarf für die Durchführung der SDE

Der Personalbedarf für die Durchführung der SDE ist anlagenspezifisch mit und ohne SBO in Tabelle 4.3 dargestellt. Die Anwesenheit des Schichtleiters und mindestens eines Reaktorfahrers wird vorausgesetzt (hier und in den Unterlagen nicht genannt). Die wesentlichen Arbeitsschritte sind im Kap. 4.1 erläutert.

Tabelle 4.3: Personalbedarf für die SDE

Anlage	Personalbedarf	Tätigkeitsort
GKN-1 ohne SBO	1 Elektriker ¹⁾	Vor Ort
	2 Anlagenwärter ²⁾	Vor Ort
	1 Anlagenwärter ³⁾	SPW-Behälter
GKN-1 mit SBO	1 Elektriker ⁴⁾	Vor Ort
	1 Elektriker ¹⁾	Vor Ort
	2 Anlagenwärter ²⁾	Vor Ort
	1 Anlagenwärter ³⁾	SPW-Behälter
GKN-2 ohne SBO	1 Elektriker ⁵⁾	Vor Ort
	3 Anlagenwärter ⁶⁾	Vor Ort
GKN-2 mit SBO	2 Elektriker ⁷⁾	Vor Ort
	3 Anlagenwärter ⁶⁾	Vor Ort

¹⁾ 1 Elektriker für Simulationen im Reaktorschutz,

²⁾ 2 Anlagenwärter für das Anschließen der mobilen Pumpe,

³⁾ 1 Anlagenwärter für Tätigkeiten am SPW-Behälter,

⁴⁾ 1 Elektriker für Schaltmaßnahmen im Schaltanlagegebäude,

⁵⁾ 1 Elektriker für Simulationen im Reaktorschutz

⁶⁾ 3 Anlagenwärter im Maschinenhaus zum Schließen der Anwärmventile der SPW-Pumpen, für Tätigkeiten am SPW-Behälter sowie zum Anschluss der mobilen Pumpe

⁷⁾ 2 Elektriker für Simulationen im Reaktorschutz und für die Herstellung der Stromversorgung der SDE/PDE-Schiene

Für die SDE ohne SBO werden somit in beiden Anlagen mindestens 6 Personen und für den Fall mit SBO mindestens 7 Personen benötigt. Die Schichtbesetzung beträgt in GKN-1 mindestens 7 Personen und in GKN-2 mindestens 10 Personen /GKN 07/.

5 Bewertung

5.1 Darstellung der relevanten Unterschiede

- Merkmal 1: Wirksamkeit der vorgesehenen Notfallmaßnahmen
 - Die Abblasekapazität der FD-ARV beträgt bei GKN-1 bezogen auf die Leistung von GKN-2 etwa 86%. Ein Ventil ist für die Durchführung der SDE ausreichend. In GKN-2 stehen mit acht Ventilen zwei Ventile mehr für die Druckentlastung zur Verfügung.
 - Der höhere Druck im SPW-Behälter in GKN-1 bewirkt auch ohne Druckaufladung eine relevant wirksame DE-Einspeisung.
 - Der SPW-Behälterinhalt von GKN-1 ist leistungsbezogen etwa 28% größer.
 - Der Wasservorrat eines Deionatbeckens ist bei GKN-2 leistungsbezogen etwa 14% größer. In GKN-2 besteht die Möglichkeit der Nutzung aller 4 Becken über die gemeinsame Verbindungsleitung. Bei GKN-1 stehen 2 Becken für die mobile Pumpe zur Verfügung ohne den Pumpenanschluss zu wechseln.
- Merkmal 2: Karenzzeiten für Notfallmaßnahmen in Relation zum erforderlichen Zeitbedarf für die Durchführung der SDE
 - Die verfügbaren Karenzzeiten sind bei beiden Anlagen größer als der erforderliche Zeitbedarf. Die Relation „Karenzzeit zu Zeitbedarf“ ist in GKN-1 um ca. 40% größer als in GKN-2.
- Merkmal 3: Erforderlicher Personalbedarf für die Durchführung der SDE
 - Keine relevanten Unterschiede

5.2 Bewertung der relevanten Unterschiede

- Merkmal 1: Wirksamkeit der vorgesehenen Notfallmaßnahmen
 - Die Unterschiede in den Druckentlastungskapazitäten der FD-Ventile spielen nach dem Ausdampfen der DE nur eine untergeordnete Rolle. In GKN-2 ist es unter Zuverlässigkeitsgesichtspunkten von Vorteil, dass zwei Ventile mehr für die Druckentlastung zur Verfügung stehen.

- Die infolge des höheren SPW-Behälterdrucks auch ohne Druckaufladung wirksame DE-Bespeisung sowie das in Relation zu GKN-2 größere Inventar sind hier als Vorteil für GKN-1 zu bewerten.
 - Für GKN-2 besteht ein Vorteil wegen höherer Deionatbecken-Kapazität im Zusammenhang mit der gemeinsamen Verbindungsleitung, da der Pumpenanschluss bis zur Entleerung nicht gewechselt werden muss.
- Merkmal 2: Karenzzeiten für Notfallmaßnahmen in Relation zum erforderlichen Zeitbedarf für die Durchführung der SDE
- Das Verhältnis zwischen der zur Vorbereitung der SDE notwendigen Zeit und der Karenzzeit ist mit und ohne SBO in GKN-1 günstiger als in GKN-2.

5.3 Fazit

Aus den einzelnen Unterschieden lässt sich kein eindeutiger Vorteil für eine der beiden Anlagen ableiten.

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
- /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 19:

„Kühlmittelverlust mit kleinem
Leckquerschnitt mit der Ten-
denz zum Anstieg des Kühl-
mitteldrucks über den Förder-
druck der Hochdruck-
Einspeisepumpen“

SR 2569



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische Über-
prüfung von Anlagen zu aus-
gewählten Anforderungen und
Ereignissen im Rahmen von
Anträgen zur Reststrommengen-
übertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 19:
„Kühlmittelverlust mit kleinem
Leckquerschnitt mit der Tendenz
zum Anstieg des Kühlmittel-
drucks über den Förderdruck der
Hochdruck-Einspeisepumpen“

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	Ereignisablauf	2
2.2	Bewertungsmerkmale	5
3	Verwendete Unterlagen	6
4	Anlagenvergleich	7
5	Bewertung	11
5.1	Zu Merkmal 1: Vorgesehene Notfallmaßnahmen.....	11
5.2	Zu Merkmal 2: Karenzzeiten für die PDE in Relation zum erforderlichen Zeitbedarf für deren Vorbereitung	17
5.3	Merkmal 3: Erforderlicher Personalbedarf für die Durchführung.....	17
5.4	Fazit	17
6	Literatur	18

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 19 „Kühlmittelverlust mit kleinem Leckquerschnitt mit der Tendenz zum Anstieg des Kühlmitteldrucks über den Förderdruck der Hochdruck-Einspeisepumpen“ behandelt. Dies wird als Ereignis der Sicherheitsebene 4b eingestuft.

2 **Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale**

2.1 **Ereignisablauf**

Bewertungsgegenstand ist das postulierte Ereignis *Kühlmittelverlust mit kleinem Leckquerschnitt mit der Tendenz zum Anstieg des Kühlmitteldrucks über den Förderdruck der Hochdruck-Einspeisepumpen*.

Wenn die Sekundärseite für die Abfuhr der Nachzerfallswärme nicht zur Verfügung steht, steigt der Primärdruck infolge des Wärmeeintrags durch die Nachzerfallsleistung bei fehlendem Wärmeaustrag über die Sekundärseite an. Ein Gleichgewicht zwischen beiden kann sich erst einstellen, wenn der Wärmeaustrag durch offene Querschnitte im Reaktorkühlkreislauf (RKL) übernommen wird. Diese Querschnitte können durch ein Leck gegeben sein, oder über geöffnete Ventile am Druckhalter (DH) entstehen.

In letzterem Fall stellt sich das Gleichgewicht erst ein, wenn der Druck im RKL über den Ansprechwert eines Druckhalter-Abblaseventils (DH-ABV) angestiegen ist und dieses geöffnet hat. Dessen Querschnitt stellt dann ein Leck im Dampfraum des DH dar. Durch Aufwärmung des Kühlmittels füllt sich der DH, was kurzzeitig zum Ausströmen von Zweiphasengemisch, anschließend von unterkühltem und schließlich von gesättigtem Wasser durch das DH-ABV führt.

Die Wasserausströmung durch das DH-ABV kann den RKL-Druck zunächst noch unter den Schließdruck des Ventils absenken, so dass dieses zyklisch öffnet und schließt. Im Zuge dieses Prozesses gelangt das Primärinventar in den Sättigungszustand und im Kern setzt Verdampfung ein. Dadurch steigt der Druck bis über die Schließschwelle des DH-ABV, so dass es auch ohne Fehlfunktion offen bleibt. Die Wasserausströmung führt die Energie zunächst wieder ab, jedoch beschleunigt sie den Inventarverlust, wodurch der Reaktordruckbehälter (RDB) sukzessive entleert wird.

Zunehmende Dampfproduktion im Kern sorgt für weiteren Druckanstieg, so dass das erste DH-Sicherheitsventil (DH-SIV) zyklisch öffnet und schließt. Dabei erreicht der Dampfraum des DH ebenfalls Sättigungstemperatur und die Durchströmung der DH-Ventile wird zweiphasig. Etwa zu diesem Zeitpunkt erreicht der Füllstand im RDB einen Grenzwert (MIN3), bei dem Notfallmaßnahmen zu ergreifen sind, um ein *Kernschmelzen unter hohem Druck* zu verhindern.

Als Notfallmaßnahme bei einem solchen Ereignisablauf ist das *Primärseitige Druckentlasten und Bespeisen* (PDE) vorgesehen. Die PDE wird durch das Öffnen aller drei DH-Ventile (DH-ABV und 2 DH-SIV) eingeleitet. Mit dem dadurch sinkenden Druck wird zunächst den Hochdruck-Sicherheitseinspeisepumpen (HD-SEP), danach den Druckspeichern (DS) und schließlich den Not- und Nachkühlpumpen (NKP) das Einspeisen ermöglicht.

In einem zusätzlichen Szenario wird in Übereinstimmung mit den Notfallhandbüchern der Anlagen auch die Nichtverfügbarkeit der aktiven Komponenten der Not- und Nachkühlsysteme unterstellt (Station Blackout, SBO). Dann wird mit der passiven Einspeisung durch die DS das Kernschmelzen erheblich verzögert. In der so gewonnenen Zeit kann versucht werden, aktive Komponenten verfügbar zu machen. Gelingt dies nicht, kommt es langfristig zum *Kernschmelzen unter niedrigem Druck*.

Da nach aktuellem Kenntnisstand (siehe z.B. /PSÜ BA/) das fehlerhafte Offenbleiben eines DH-ABV bei der Transiente „Ausfall der DE-Bespeisung“ anlagenübergreifend als abdeckend für die Untersuchung der anlageninternen Notfallmaßnahme „Primärseitigen Entlasten und Bespeisen“ angesehen werden kann, wird dieses Ereignis für die vorliegende Bewertung herangezogen.

Bei Überschreiten einer Kühlmittelaustrittstemperatur von 340 °C (GKN-1) bzw. 350 °C (GKN-2) und einer Druckdifferenz von 30 mbar zwischen Reaktorsicherheitsbehälter (RSB) und Atmosphäre (die Berstscheiben am Abblasebehälter haben geöffnet) oder einer fehlenden bzw. nicht ausreichenden Wirksamkeit der Notfallmaßnahme *Sekundärseitige Druckentlasten und Bespeisen* wird die Notfallmaßnahme *Primärseitiges Druckentlasten und Bespeisen* (PDE) vorbereitet.

Bei Füllstandsabfall im RDB auf einen bestimmten Wert (MIN3-Kriterium) oder eine Brennelementaustrittstemperatur (BAT) > 400 °C wird die PDE ausgelöst. Deren Wirksamkeit in den Anlagen GKN-1 und GKN-2 wird im Folgenden verglichen.

Der für ein Konstanthalten des Druckes bei geöffnetem Ventil erforderliche Durchsatz wird unter Sättigungsbedingungen ausschließlich durch die Nachzerfallsleistung bestimmt, deren Anfangswert durch die thermische Leistung vor Störfallbeginn bestimmt wird (die Hauptkühlmittelpumpen - HKMP - tragen nicht zur Aufwärmung des RKL bei, da die HKMP bereits im Zuge der SDE bzw. durch den Gebäudeabschluss (GBA) nach anstehen des Signals $\Delta p_{\text{RSB/ATM}} > 30$ mbar ausgeschaltet wurden).

Während der PDE kommt zur Verdampfung des Kühlmittels durch die Nachzerfallsleistung noch dessen Entspannungsverdampfung (*Flashing*) sowie die Entspeicherung der Strukturen hinzu. Das Ausmaß der Entspannungsverdampfung hängt von der Wassermasse im RKL ab, die sich neben dem RDB noch in den Hauptkühlmittelleitungen (HKML), den Dampferzeugern (DE) sowie im DH befindet. Bei der Entspannung von Sattwasser von 166 bar werden

- auf 110 bar (Ansprechdruck der HD-SEP) ca. 8,5 %,
- auf 26 bar (Ansprechdruck der DS) ca. 24 % und auf
- 9 bar (Ansprechdruck der NKP) ca. 31 %

der ursprünglichen Masse verdampft.

Die Energieabfuhr aus dem RKL erfolgt nach Entleeren der DE und vor Erreichen der Ansprechdrücke der verschiedenen Einspeisequellen über den Massenstrom durch die geöffneten DH-Ventile (vor der PDE das DH-ABV und das zyklisch öffnende 1. DH-SIV, während der PDE alle drei DH-Ventile). Das eingespeiste Wasser nimmt durch seine Aufheizung bis zum Sättigungszustand und anschließende Verdampfung ebenfalls Energie auf. Es verringert dabei die Verdampfungsrate, was sich beschleunigend auf die Druckabsenkung auswirkt. Mit Einsetzen der ND-Einspeisung beginnt eine teilweise Wärmeabfuhr über die Nachkühlketten (NKK), bis diese nach Beendigung der PDE (Schließen der DH-Ventile) die Wärmeabfuhr vollständig übernehmen.

Die Auslösung der PDE darf nach NHB erst erfolgen, wenn der Füllstand im RDB (im Bereich oberhalb des Kerns) die Füllstandsmarke MIN 3 erreicht hat. Diese befindet sich in beiden Anlagen an unterschiedlichen Positionen über der Unterkante der Hauptkühlmittelleitung (HKML): in GKN-1 35 mm und in GKN-2 255 mm.

Diese Unterschiede bewirken in GKN-1 ein Wasservolumen von 73 m³ im RDB, in GKN-2 von ca. 110.5 m³. Das Verhältnis von 0.66 (GKN-1/GKN-2) belegt ein leistungsproportionales Restwasservolumen im RDB. Darüber hinaus befindet sich im Zustand RDB-Füllstand = MIN 3 noch eine große Menge gesättigten Wassers in den Bereichen außerhalb des Kerns bzw. oberen Plenums. Der Fallraum und das untere Plenum des RDB sowie die Pumpenbögen (auch der DH) sind nahezu vollständig, die HKML zu 75% - 90% und die U-Rohre der DE ca. zur Hälfte gefüllt. Dieses Inventar überschreitet das Restinventar im RDB, wird zum größten Teil durch den Kern über den DH zu den DH-Ventilen transportiert und trägt durch seine Verdampfung zur Kernkühlung bei.

Aus der Anzahl der Schleifen (3/4) und der kürzeren HKML sowie dem geringeren DE-Inventar in GKN-1 kann abgeschätzt werden, dass die Masse des darin enthaltenen Restwassers in beiden Anlagen ebenfalls annähernd proportional zum Leistungsverhältnis ist. Demnach läuft die PDE bei den gegebenen Abblasequerschnitten in beiden Anlagen in einem annähernd gleichen Zeitraum ab.

Die sicherheitstechnische Bedeutung des Ereignisses liegt darin, dass bei Unterbleiben von präventiven Notfallmaßnahmen unmittelbar *Kernschmelzen unter hohem Druck* droht.

2.2 Bewertungsmerkmale

Für die Wirksamkeit der PDE sind organisatorische Voraussetzungen notwendig, die in Handlungsanweisungen für das Personal münden. Diese sind in einem Notfallhandbuch (NHB) niedergelegt.

Allgemeine technische Voraussetzungen betreffen die Ertüchtigung der Druckhalter-Abblasestation für die PDE (z.B. zusätzliche, sicher stromversorgte Steuerstränge für alle DH-Ventile mit Offenhaltung bis zu niedrigen Drücken, Auslegung der DH-Ventile und Steuerventile für langfristige Beanspruchung durch die Umgebungsbedingungen bei PDE /GRS 90/).

Spezielle technische Voraussetzungen, welche die Wirksamkeit der PDE entscheidend beeinflussen, sind eine ausreichende Querschnittsfläche der Abblase- und Sicherheitsventile am Druckhalter (Druckentlastung), die Verfügbarkeit einzelner Stränge der Not- und Nachkühlsysteme, insbesondere bei hohem Druck und hinreichender Kapazität der Flutbehälter, sowie die Einspeisekapazität der Druckspeicher (Bespeisung).

Davon ausgehend sind für die hier durchgeführten vergleichenden Untersuchungen u. E. die folgenden Bewertungsmerkmale bestimmend:

- **Merkmal 1:** Vorgesehene Notfallmaßnahmen (technische Voraussetzungen, Wirksamkeit der PDE)
- **Merkmal 2:** Karenzzeiten für Notfallmaßnahmen in Relation zum erforderlichen Zeitbedarf für die Durchführung
- **Merkmal 3:** Erforderlicher Personalbedarf für die Durchführung

3 **Verwendete Unterlagen**

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

- /1.1/ GKN-1: Systembeschreibung YA/YB/YC/YD/YP, Stand 12.06.2004
- /1.2/ TÜV Arbeitsgemeinschaft KONVOI: KONVOI Anlagen,
 Gutachten zur Sicherheitsstatusanalyse, September 2001
- /1.3/ GKN-1: Betriebshandbuch, Stand 26.03.2007
- /1.4/ GKN-2: Betriebshandbuch, Stand 26.03.2007
- /1.5/ GKN-1: Notfallhandbuch, Stand 24.08.2005
- /1.6/ GKN-2: Notfallhandbuch, Stand 24.08.2005
- /1.7/ Siemens/KWU: Probabilistische Sicherheitsanalyse GKN-1, 28.06.1994
- /1.8/ Siemens/KWU: KONVOI-Sicherheitsstatusanalyse, 18.12.1998
- /1.9/ KWU: Sicherheitsbericht GKN-1, 01.06.1975
- /1.10/ KWU: Sicherheitsbericht GKN-2, März 1981
- /1.11/ GKN-1: Systembeschreibung TA, 07.04.2005
- /1.12/ GKN-2: Systembeschreibung KBA, 06.07.1999
- /1.13/ GKN-2: Systembeschreibung JN, FAK, Stand 12.06.2004

4 Anlagenvergleich

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
1 Vorgesehene Notfallmaßnahmen	Primärseitiges Druckentlasten und Bespeisen (PDE) Zielfunktion: a) Sichere Kernkühlung b) Vermeidung Hochdruckkernschmelzen		
Notfallhandbücher	Notfallhandbuch (NHB) vorhanden für PDE (/1.6/, Teil 2, Kap. 2.2.1),	Notfallhandbuch (NHB) vorhanden für PDE (/1.5/, Teil 2, Kap. 3.1)	Kein relevanter Unterschied
Reaktorleistung	3850 MW _{th} /1.8/	2497 MW _{th} /1.9/	Leistungsverhältnis 1:0,65
Spezielle Technische Voraussetzungen, Druckentlastung (DH-Ventile):	1 DH-Abblaseventile (20,8 cm ²) ca. 42 kg/s bei 166 bar 2 DH-Sicherheitsventile (je 38,5 cm ²) je ca. 83 kg/s bei 169 / 175 bar max. Ventilquerschnitt: 97,8 cm ² , max. Abblaserate ca. 208 kg/s Daten aus /KWU DH/	1 DH-Abblaseventil (15,2 cm ²) ca. 36 kg/s bei 163 bar 2 DH-Sicherheitsventile (je 27,3 cm ²) je ca. 55 kg/s bei 166 / 172 bar max. Ventilquerschnitt: 69,8 cm ² max. Abblaserate ca. 146 kg/s Daten aus /KWU DH/	Kein relevanter Unterschied, (Verhältnis der Ventilquerschnitte in GKN-1 ca. 71% von GKN-2, leistungsbezogen 109%).
Bespeisung - Einspeisequellen:	4 HD-SEP, p ₀ ≈109 bar(ü), je ca. 66 kg/s bei p = 50 bar /1.6/, max. Einspeiserate des Systems	3 +1 HD-SEP, p ₀ ≈109 bar(ü), je ca. 53 kg/s bei p = 50 bar /1.5/, max. Einspeiserate des Systems	Massenströme aus Kennlinien, Massenstrom der HD-SEP bei p = 50 bar in GKN-1 ca. 80 % von GKN-2,

Merkmals	GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
	<p>ca. 275 kg/s bei $p = 9$ bar /1.4/</p> <p>8 Druckspeicher (DS), davon je 4 heiß- und 4 kaltseitig, $p \leq 26$ bar,</p> <p>4 Nachkühlpumpen, $p_0 = 12,3$ bar(ü), $G_n \approx 350$ kg/s bei $p = 9$ bar /1.6/</p>	<p>ca. 175 kg/s bei $p = 9$ bar /1.3/</p> <p>6 Druckspeicher (DS), davon je 3 heiß- und 3 kaltseitig, $p \leq 26$ bar,</p> <p>3 +1 Nachkühlpumpen, $p_0 = 9,9$ bar(ü), $G_n \approx 200$ kg/s bei $p = 9$ bar /1.5/</p> <p>4. TH-System speist in alle 3 Loops ein oder kann ausgefallenes TH-System ersetzen. Es besitzt keinen eigenen Nachwärmekühler.</p>	<p>leistungsbezogen 124 %</p> <p>Massenstrom der NKP bei $p = 9$ bar in GKN-1 ca. 57 % von GKN-2, (leistungsbezogen ca. 88 %)</p>
	<p><u>Weitere Einspeisequellen:</u></p> <p>3 HD-Förderpumpen aus Volumenregelsystem, $p_0 = 210$ bar, je ca. 10 kg/s bei $p = 165$ bar /1.12/ max. Einspeiserate RKL: 24,6 kg/s</p> <p>4 Zusatzborierpumpen (Kolbenpumpen, $p \leq 210$ bar), je 2 kg/s, Einspeisung aus Flutbehältern (FB) oder aus Zusatzborierbehältern</p>	<p><u>Weitere Einspeisequellen:</u></p> <p>aus Volumenregelsystem /1.11/: 2 HD-Förderpumpen (Kolbenpumpen) $p_0 = 210$ bar(ü), je 6,25 kg/s, 1 HD-Abdrückpumpe (Kolbenpumpe) $p_0 = 235$ bar(ü), 1,44 kg/s</p> <p>max. Einspeiserate RKL: 13,3 kg/s (auch aus den Flutbehältern möglich)</p>	<p>Volumenregelsystem (Sicherheitsebene 1 und 2), max. Einspeiserate in den RKL in GKN-1 ca. 54 % von GKN-2, leistungsbezogen ca. 83 %</p> <p>Zusatzboriersystem nur in GKN-2 vorhanden (Sicherheitsebene 3), automatischer Start bei Druckhalterfüllstand < 2.28 m und ($\Delta p_{RSB/ATM} > 30$ mbar oder $p_{RKL} < 9$ bar).</p>
- Einspeisevorräte:	4 Flutbehälter mit je ca. 450 m ³ boriertem Wasser /1.10/	4 Flutbehälterpaare mit je ca. 215 m ³ boriertem Wasser /1.9/	Flutbehältervolumen in GKN-1 ca. 48 % von GKN-2, leistungsbezogen 74 %
	8 Druckspeicher (DS), davon 4 heiß- und 4 kaltseitig mit je 34 m ³ Borwasser (11 m ³ N ₂) /1.12/,	3 Druckspeicher (DS) heißseitig mit je 45 m ³ boriertem Wasser (20 m ³ N ₂) und	Borwasservolumen der heißseitigen DS in GKN-1 99% von GKN-2 (leistungsbezogen 153 %)

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
	<p>Absperrung der kaltseitigen DS 500s nach Notkühlkriterien /1.4/.</p> <p>Borierbehälter für Zusatzboriersystem (4 * 17 m³ = 68 m³)</p> <p>Sumpfansaugung mit Nachkühlpumpe und HD-Einspeisung über HD-SEP (in 4 Systemen) /1.4/</p>	<p>3 DS kaltseitig mit je 34 m³ boriiertem Wasser (11 m³ N₂) /1.11/, Absperrung der kaltseitigen DS 700s nach Notkühlkriterien /1.3/.</p> <p>Sumpfansaugung mit Nachkühlpumpe (in 4 Systemen) und HD-Einspeisung über HD-SEP (in 3 Systemen) /1.5/</p>	<p>Borwasservolumen aller DS in GKN-1 93% von GKN-2 (leistungsbezogen 134 %)</p> <p>Borierbehälter in GKN-2 bei PDE nur als Reserve, Ansaugung aus Flutbehälter</p> <p>HD-Sumpfansaugung mit NKP / HD-SEP erschließt in beiden Anlagen einen quasi unlimitierten Einspeisevorrat. Die Sumpfrückführung ist in GKN-2 in vier Strängen möglich, in GKN-1 in drei Strängen. Daraus ergibt sich für diesen Bewertungsgegenstand kein relevanter Unterschied, weil diese Verbindung bei Verfügbarkeit einer ND-Pumpe nicht benötigt wird.</p>
Wirksamkeit	Öffnen aller 3 DH-Ventile (NHB) /1.6/	Öffnen aller 3 DH-Ventile (NHB) /1.5/	Kein relevanter Unterschied
	<p><u>Stromversorgung EB, D1, D2 verfügbar (Fall A):</u></p> <p>SEP verfügbar: RKL kann aufgefüllt und Kernkühlung gewährleistet werden bis Flutbeckenentleerung.</p> <p><u>Stromversorgung EB, D1, D2 nicht verfügbar (Fall B):</u></p> <p>SEP nicht verfügbar, 8 Druckspeicher speisen ein: RKL kann aufgefüllt und</p>	<p><u>Verfügbarkeit von 3 - 6 DS:</u> Nachwärmeabfuhr kurzfristig gesichert.</p> <p><u>Verfügbarkeit von 3 - 6 DS und 1 - 4 HD-SEP:</u> Nachwärmeabfuhr bis Entleerung der Flutbehälter gesichert</p> <p><u>Verfügbarkeit von 3 - 6 DS und 0 - 4 HD-SEP und 1 - 4 NKP</u> Nachwärmeabfuhr langfristig gesichert</p>	Relevanter Unterschied

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
	die Kernaufheizung verzögert werden.	<u>Optimal:</u> mindestens 1 HD-SEP, 3 heißseitige DS, mindestens 1 NKP	
2 Karenzzeiten und Zeitbedarf Einleitungskriterium für die Vorbereitung der PDE	$KMT_A > 350 \text{ °C}$ <u>und</u> $\Delta p_{RSB/Atm} > 30 \text{ mbar}$ <u>oder</u> Notfallmaßnahme SDE nicht oder nicht ausreichend wirksam /1.6/	$KMT_A > 340 \text{ °C}$ <u>und</u> $\Delta p_{RSB/Atm} > 30 \text{ mbar}$ <u>oder</u> Notfallmaßnahme SDE nicht oder nicht ausreichend wirksam /1.5/	Kein relevanter Unterschied
Einleitungskriterium für die Durchführung d. PDE	RDB-Füllstand < min 3 <u>oder</u> BAT > 400 °C /1.6/	RDB-Füllstand < MIN 3 <u>oder</u> BAT > 400 °C /1.5/	Kein relevanter Unterschied
Karenzzeiten Zeitbedarf für die Vorbereitung der PDE	bis RDB-Füllst. < min 3: 15 min bis BAT > 400 °C: 35 min /1.6/ mit Stromversorgung: 15 min ohne Stromversorgung: 10 min /1.6/	bis RDB-Füllst. < MIN 3: 15 min bis BAT > 400 °C: 25 min /1.5/ mit Stromversorgung: 10 min ohne Stromversorgung: 10 min /1.5/	Kein relevanter Unterschied
3 Personalbedarf	1 Reaktorfahrer / Warte 1 Elektriker / Notspeisegebäude /1.6/	1 Reaktorfahrer / Warte 1 Elektriker / Notstromdieselgeb. /1.5/	Kein relevanter Unterschied

5 Bewertung

Gegenstand der Bewertung ist die Wirksamkeit der anlageninternen Notfallmaßnahme *Primärseitiges Entlasten und Bespeisen* (PDE) in den zu vergleichenden Anlagen GKN-1 und GKN-2. Die im Anlagenvergleich relevanten Unterschiede werden im Folgenden näher dargestellt und bewertet.

5.1 Zu Merkmal 1: Vorgesehene Notfallmaßnahmen

Einspeisequellen

Die nominelle Einspeiserate einer HD-SEP ist bei GKN-1 leistungsbezogen um 24 % größer als bei GKN-2, was einen Vorteil für GKN-1 darstellt.

Die nominelle Einspeiserate einer NKP ist bei GKN-1 verglichen mit GKN-2 leistungsbezogen um 12% kleiner, was einen Vorteil für GKN-2 bedeutet.

GKN-2 verfügt im Gegensatz zu GKN-1 über ein *Zusatzboriersystem* (JDH), dessen 4 Hochdruck-Kolbenpumpen je 2 kg/s aus einem Flutbehälter (FB) oder einem Zusatzborierbehälter in den RKL einspeisen können. Es ist der Sicherheitsebene 3 zugeordnet und startet bei einem DH-Füllstandes < 2,28 m automatisch. Dieser Füllstand wird während der PDE zu spät (ca. 2000 s nach Auslösung) oder nicht erreicht, sodass JDH hier nicht kreditiert werden kann.

Einspeisevorräte

Das Flutbehälter-Inventar in GKN-1 beträgt im Vergleich zu GKN-2 leistungsbezogen nur 74 %. Dies stellt einen Vorteil für GKN-2 dar.

Das leistungsbezogene Borwasservolumen aller Druckspeicher (DS) beträgt in GKN-1 im Vergleich zu GKN-2 ca. 134 %. Da bei verfügbarer Stromversorgung die kaltseitigen DS ca. 700 s (GKN-1) bzw. 500 s (GKN-2) nach Auslösung der Notkühlkriterien abgesperrt werden, verbleiben nur die heißseitigen DS zur Einspeisung, was eine weitere Vergrößerung des leistungsbezogenen Volumenverhältnisses auf 153 % zur Folge hat. Die Basis hierfür ist das deutlich größere leistungsbezogene Inventar der heißseitigen

DS in GKN-1. Das Treibgaspolster in den heißseitigen DS füllt in GKN-1 ca. 30 % des Behälters aus, in GKN-2 24 %. Das größere relative Treibgaspolster in GKN-1 erlaubt höhere Einspeiseraten bis zu niedrigeren RKL-Drücken. Das erheblich höhere leistungsbezogene DS-Inventar mit oder ohne verfügbare Stromversorgung stellt einen Vorteil für GKN-1 dar.

Dem Schutzziel-BHB für GKN-1 ist zu entnehmen, dass die Absperrung der kaltseitigen DS durch Rücksetzen von Speichern aufgehoben werden kann, die in der Leittechnik als letztes Glied vor der Ansteuerung der Absperrventile vorgesehen sind. Im NHB von GKN-2 wird darauf hingewiesen, dass die DS nach Abschaltung nicht mehr automatisch in Betrieb gehen. Das deutet auf die Möglichkeit einer manuellen Inbetriebnahme hin (rücksetzbarer Speicher /1.4/). Auf eine entsprechende Unterlage wird jedoch nicht verwiesen.

Wirksamkeit der PDE

Bei der Bewertung der Wirksamkeit der PDE wurden vorrangig die Aussagen in den Notfall-Handbüchern bewertet, wobei die Situation in GKN-2 einiger zusätzlicher Betrachtungen bedarf.

GKN-1

Kapitel 3.1 *Primärseitiges Druckentlasten und Bespeisen* im Notfallhandbuch, Teil 2 /1.5/, *Anlageninterne Notfallmaßnahmen*, formuliert für die PDE folgende Zielsetzung:

- Primärseitige Druckentlastung über DH-Abblasestation
- Abfuhr der Nachzerfallsleistung
- Ersetzen des abgeblasenen Kühlmittels über:
Sicherheits-einspeisepumpen, Druckspeicher, ND-Pumpen

Als denkbare Einsatzfälle werden unterschieden:

Fall A Ausfall der sekundärseitigen Wärmesenke bzw. Versagen der langfristigen sekundärseitigen Bespeisung bei vorhandener Energieversorgung (Diesel (D)-Netz und Eigenbedarfs (EB)-Versorgung verfügbar)

oder

Fall B Ausfall der sekundärseitigen Wärmesenke bzw. Versagen der langfristigen sekundärseitigen Bespeisung bei Ausfall der Energieversorgung (Diesel (D)-Netz und Eigenbedarfs (EB)-Versorgung nicht verfügbar)

Die Wirksamkeit der Maßnahme ist vom Erfolg der Druckentlastung und der Verfügbarkeit der Einspeisesysteme abhängig. Die möglichen Endzustände werden in einer Tabelle /1.5/ angegeben, die sich wie folgt zusammenfassen lässt:

Druckentlastung auf	verfügbare Einspeisesysteme	Nachwärmeabfuhr
< 10 bar (kurzzeitig)	3 - 6 DS (Fall B)	kurzfristig gesichert
< 10 bar	1 - 4 HD-SEP (Fall A) <u>und</u> 3 - 6 DS	bis Entleerung der Flutbehälter gesichert
< 10 bar	0 - 4 HD-SEP (Fall A) <u>und</u> 3 - 6 DS <u>und</u> 1 - 4 ND-Pumpen (NKP)	langfristig gesichert

Zeile eins (Fall B) kann entnommen werden, dass durch die Einspeisung von mindestens 3 Druckspeichern (z.B. bei SBO) eine Druckentlastung auf < 10 bar gelingt und die Kernaufheizung kurzfristig (> 1,5 h /1.5/) verzögert werden kann.

Nach den Angaben in Zeile 2 ist die zusätzliche Verfügbarkeit einer HD-SEP zur mittelfristigen Wärmeabfuhr ausreichend.

Gemäß Zeile 3 führt die Einspeisung von mindestens 3 DS zu einem RKL-Druck von < 10 bar. Das bedeutet, dass die HD-Einspeisung zum Erreichen der Bedingungen für eine langfristige Nachwärmeabfuhr nicht zwingend notwendig ist.

Die Handlungsanweisungen im NHB enden mit dem Öffnen der DH-Ventile und der Beobachtung der automatisch ablaufenden Maßnahmen. Es wird angewiesen, mit BHB 2- 2.5.3-2 *Schutzzielorientierte Störfallbehandlung* (Schutzziel Primärseitiges Kühlmittelinventar) fortzufahren. Aus diesem geht z.B. hervor, dass die bei intakter Stromversorgung abgeschalteten kaltseitigen Druckspeicher durch Rücksetzen der Speicher nutzbar gemacht werden können.

GKN-2

Dem NHB *Notfallmaßnahmen*, Teil 2, Kap. 2.2.1 *Primärseitiges Druckentlasten und Bespeisen* ist folgende Zielsetzung für die PDE zu entnehmen:

Erreichen der Einspeisedrücke der Sicherheitseinspeisesysteme

Als denkbare Einsatzfälle werden unterschieden:

Fall A Vollständiger Ausfall der sekundärseitigen Wärmesenke bzw. Versagen der langfristigen sekundärseitigen Bespeisung bei vorhandener Drehstromversorgung (D1/D2-Netz und EB-Versorgung verfügbar)

oder

Fall B Vollständiger Ausfall der sekundärseitigen Wärmesenke bzw. Versagen der langfristigen sekundärseitigen Bespeisung bei Ausfall der Drehstromversorgung (D1/D2-Netz und EB-Versorgung nicht verfügbar)

Zur Wirksamkeit der PDE werden folgende Aussagen getroffen:

SEP verfügbar (Fall A):

Primärkreis kann aufgefüllt und die Kernkühlung gewährleistet werden solange Flutbeckeninventar vorhanden ist.

SEP nicht verfügbar / 8 Druckspeicher verfügbar (Fall B):

Primärkreis kann aufgefüllt und die Kernaufheizung verzögert werden.

Die Einspeisung der NKP wird nicht betrachtet und damit keine Aussage zur Sicherstellung der langfristigen Nachwärmeabfuhr getroffen. Die Handlungsanweisungen schließen mit der Beobachtung der Einspeisung der Druckspeicher ab.

Es wird kein Hinweis gegeben, die Entscheidung des Krisenstabes und der Aufsichtsbehörde zum weiteren Vorgehen abzuwarten. Obwohl weitergehende Maßnahmen im Schutzziel-BHB bzw. anderen BHB-Kapitel geregelt sind, z. B Abschalten von HD-SEP, finden sich keine Hinweise darauf im NHB.

Die Wirksamkeit der PDE in GKN-2 im Sinne einer langfristigen Abfuhr der Nachzerfallswärme kann anhand des NHB nicht schlüssig bewertet werden, da das Erreichen dieses Zustands dort nicht gefordert wird. GKN-2 ist ein Kernkraftwerk der Baulinie KONVOI, wie auch KKE (Emsland) und KKI-2 (Isar-2). Die Anlagentechnik des Nuklearen Dampferzeugungssystems ist unter diesen 3 KKW weitgehend, wenn auch nicht vollständig, identisch. Dies gilt zumindest für die DH-Abblasestation und die Not- und Nachkühlsysteme. Sowohl KKE als auch KKI-2 haben eine PDE als Notfallmaßnahme

eingeführt und in Notfallhandbücher integriert. Hier werden folgende Wirksamkeiten angegeben:

- KKE /NHB KE/:

Stromversorgung verfügbar: RKL wird aufgefüllt, RKL-Druck sinkt beim Betrieb von maximal zwei HD-SEP auf < 9 bar, Kernkühlung ist gewährleistet. Die heißseitige DS-Einspeisung unterstützt das Wiederauffüllen des RKL.

Keine Stromversorgung für HD/ND-Einspeisung: RKL wird durch Einspeisung von 8 Druckspeichern aufgefüllt, Kernkühlung für ca. 1,5 h gesichert.

Die Handlungsanweisungen des NHB für die PDE beinhalten die Maßnahmen zum Übergang auf ND-Einspeisung und enden beim kombinierten Nachkühl- und Sumpfumwälzbetrieb ($T_{KM} < 120 \text{ °C}$).

- KKI-2 /NHB I2/:

Mit der PDE ist gewährleistet, dass das Reaktorkühlsystem wieder aufgefüllt, die Unterkritikalität sichergestellt und der Kern gekühlt werden kann.

Sicherheitseinspeisepumpen verfügbar (Fall 1):

Der Inhalt eines Flutbeckens stellt für ca. 1,5 Stunden die Kernkühlung sicher, wenn nur eine Sicherheitseinspeisepumpe zur Verfügung steht. Die heißseitige Druckspeichereinspeisung kann das Wiederauffüllen des Primärkreises unterstützen.

8 Druckspeicher verfügbar (Fall 2):

Ist das D1/D2-Netz nicht verfügbar, stehen alle 8 Druckspeicher zur Verfügung. Die Druckspeicher alleine können die Kernaufheizung um ca. 45 Minuten verzögern (die Hälfte der für KKE angegebenen Zeit).

Die Handlungsanweisungen nach NHB enden mit dem Auslösen der ND-Notkühlung und beinhalten die Information, dass bei Einspeisung von mehr als einer HD-SEP der RKL-Druck von < 9 bar für die ND-Einspeisung ggf. nicht erreicht wird.

Darüber hinaus wird gefordert, die Entscheidung von Krisenstab und Aufsichtsbehörde über das weitere Vorgehen abzuwarten. Zusätzlich wird mit Blick auf das Ausschalten von HD-SEP auf die Durchführung weiterer Handmaßnahmen gemäß BHB- Kap. 3-2.3 "Nichtschließen eines DH-Ventils bzw. kleines Leck im DH-Dampfraum" verwiesen.

Anhand des Vergleichs der Notfallhandbücher aller drei KONVOI-Anlagen sowie weiterer ingenieurtechnischer Überlegungen insbesondere auf Basis der notwendigen und zur Verfügung stehenden Kühlmittelvorräte wird die Wirksamkeit der PDE für GKN-2 wie folgt eingeschätzt:

verfügbare Einspeisesysteme	Nachwärmeabfuhr
8 DS (Fall B)	kurzfristig gesichert (ca. 45 - 90 min) /NHB I2/, /NHB KE/
Mindestens eine HD-SEP und ggf. 4 DS (Fall A)	bis Entleerung der Flutbehälter gesichert (mind. 1,5 h) /NHB KE/, ggf. weitere Handmaßnahmen nach BHB zur Herstellung der Nachwärmeabfuhr und ggf. zur Abschaltung von HD-SEP
Mindestens eine HD-SEP, ein Notkühlstrang und ggf. 4 DS (Fall A)	langfristig gesichert, ggf. zwischenzeitlich weitere Handmaßnahmen nach BHB zur Abschaltung von HD-SEP

Vergleich GKN-1 / GKN-2

Der Vergleich der in den NHB angegebenen Wirksamkeit der PDE in den Anlagen GKN-1 und GKN-2 (unter Einbeziehung der NHB von KKE und KKI-2) lässt erkennen, dass der ND-Bereich bei der PDE nur mit Druckspeichern (ohne HD-SEP) erreicht wird. Dies stellt einen Vorteil für GKN-1 dar.

Im Unterschied zum NHB von GKN-2 behandelt das NHB von GKN-1 die Überführung der Anlage in einen sicheren Zustand. Dies stellt einen Vorteil für GKN-1 dar.

5.2 **Zu Merkmal 2: Karenzzeiten für die PDE in Relation zum erforderlichen Zeitbedarf für deren Vorbereitung**

Unter Karenzzeit wird der Zeitraum verstanden, der zwischen dem Erreichen der Einleitungskriterien für die Vorbereitung einer Notfallmaßnahme und dem Erreichen der Einleitungskriterien für deren Durchführung verstreicht. Die Karenzzeiten sind den Notfallhandbüchern /1.5/, /1.6/ entnommen und im Anlagenvergleich (Abschn. 4, BM 2) aufgeführt.

In GKN-2 ist die Karenzzeit bis zum Auslösekriterium ‚RDB-Füllst.< MIN 3‘ für die PDE bei verfügbarer Stromversorgung identisch mit der Vorbereitungszeit. Dafür ist die Karenzzeit bis zum Erreichen des 2. Kriteriums (BAT > 400 °C) in GKN-2 10 Minuten länger als in GKN-1. Es ergibt sich kein Vorteil für eine der beiden Anlagen.

5.3 **Merkmal 3: Erforderlicher Personalbedarf für die Durchführung**

Es ergeben sich keine relevanten Unterschiede für den erforderlichen Personalbedarf.

5.4 **Fazit**

Bezüglich der für den Bewertungsgegenstand wichtigen Einspeiseraten und -vorräte sowie der Karenzzeiten und des erforderlichen Personalbedarfs ergeben sich insgesamt keine Vorteile für eine der beiden Anlagen. Hinsichtlich der Wirksamkeit der vorgesehenen Notfallmaßnahmen ist es ein Vorteil für GKN-1, dass, bei verfügbarer Stromversorgung und erfolgreich durchgeführter primärseitiger Druckentlastung, lediglich die Einspeisung durch die Druckspeicher erforderlich ist, um die Betriebsbedingungen für die Niederdruckeinspeisung zu erreichen.

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 90/ GRS: Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke Phase B, Der Bundesminister für Forschung und Technologie (Hrsg.) 1989, Verlag TÜV Rheinland 1990
- /KWU DH/ Tabelle der freien Strömungsquerschnitte von DH-Ventilen deutscher Kernkraftwerke, Quelle: KWU
- /NHB I2/ KKI-2: Notfallhandbuch, Stand 27.04.2004
- /NHB KE/ KKE: Notfallhandbuch, Stand 27.01.2004
- /PSÜ BA/ PSÜ KWB Block A, PSÜ-Nr.: III 1/4
Auslegungsüberschreitende Anlagenzustände, Stand 29.06.2001



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 20:

„Ausfall eines in Betrieb
befindlichen bzw. erforder-
lichen Strangs des Nachwär-
meabfuhrsystems incl. Kühl-
kette nach Inbetriebnahme
der Nachkühlketten“

SR 2569



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische Über-
prüfung von Anlagen zu aus-
gewählten Anforderungen und
Ereignissen im Rahmen von
Anträgen zur Reststrommengen-
übertragung

Teil 2: GKN-1/GKN-2

Bewertungsgegenstand 20:

„Ausfall eines in Betrieb be-
findlichen bzw. erforderlichen
Strangs des Nachwärmeabfuhr-
systems incl. Kühlkette nach In-
betriebnahme der Nachkühlket-
ten“

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	Ereignisablauf	2
2.2	Bewertungsmerkmale	4
3	Verwendete Unterlagen	5
4	Anlagenbeschreibung und Anlagenvergleich	6
4.1	Beschreibung der Nachkühlketten	6
4.2	Anlagenvergleich.....	7
5	Bewertung.....	13
5.1	Zu Merkmal 1: Vorhandene Einrichtungen.....	13
5.2	Zu Merkmal 3: Zur Ereignisbeherrschung verfügbare Einrichtungen.....	14
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 20 „Ausfall eines in Betrieb befindlichen bzw. erforderlichen Strangs des Nachwärmeabfuhrsystems incl. Kühlkette nach Inbetriebnahme der Nachkühlketten“ behandelt. Dies wird in Abhängigkeit von den unterstellten Randbedingungen als Ereignis der Sicherheitsebene 2 bzw. 3 eingestuft.

2 **Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale**

2.1 **Ereignisablauf**

Bewertungsgegenstand ist das postulierte Ereignis *Ausfall eines in Betrieb befindlichen bzw. erforderlichen Strangs des Nachwärmeabfuhrsystems incl. Kühlkette.*

Das An- und Abfahren der zu vergleichenden Anlagen kann gemäß ihren Betriebs- handbüchern in sieben Phasen (A-G) eingeteilt werden. Die folgende Bewertung stützt sich wegen der höheren Nachzerfallsleistung auf das Abfahren. Die ersten drei Phasen können für das Abfahren folgendermaßen gekennzeichnet werden:

- A Abfahren in den Zustand „unterkritisch heiß“ mit ausschließlicher Wär-
meabfuhr über die Sekundärseite
- B Übernahme der Wärmeabfuhr auf das Nachkühlsystem und Abfahren
auf „unterkritisch kalt“
- C Füllstandsabsenkung auf „Mitte-Loop-Betrieb“,
Reaktorkühlkreislauf (RKL) druckdicht verschlossen

Thema dieses Bewertungsgegenstandes ist die Phase B. Sie beinhaltet die Inbetrieb- nahme der Nachkühlketten, deren anfänglichen Parallelbetrieb zur Haupt- oder Er- satzwärmesenke, die alleinige Nachwärmeabfuhr mittels Nachkühlketten sowie die Ab- senkung des Druckhalterfüllstands (DHF) auf einen Wert, bei dem der RKL noch gefüllt ist.

Das Ereignis „Fehlerhafter Füllstand bei Mitte-Loop-Betrieb mit Folgeausfall der Nach- kühlumpfen“, das während der Phase C eintreten kann, wird im Bewertungsgegen- stand 11 betrachtet. Ebenfalls nicht betrachtet wird die Nachwärmeabfuhr nach Kühl- mittelverlust. Dies ist Thema der Bewertungsgegenstände 12 und 13.

Beim Abfahren werden in beiden Anlagen ab einem Kühlmitteldruck (KMD) im RKL von ca. 32 bar (GKN-1) bzw. ≤ 35 bar (GKN-2) und einer Heißstrangtemperatur (T_{KA}) von 120 °C die Nachkühlketten (Definition siehe Abschn. 4.1.2) in Betrieb sowie die Wär- meabfuhr über die Hauptwärmesenke (Frischdampf-Umleitstation, FDU) sukzessive

außer Betrieb genommen. Die genannten Bedingungen sind ca. 4 h nach Ende der Leistungsabsenkung bzw. RESA (Reaktorschnellabschaltung) erfüllt.

Der Ausfall einer notwendigen Nachkühlkette wird als Ereignis der Sicherheitsebene 2 eingestuft. Dabei geht auslegungsgemäß eine Redundanz in Betrieb (hier durch Störumschaltung in Untergruppensteuerungen). Der Ausfall eines weiteren Stranges infolge der Annahme eines Einzelfehlers wird als Ereignis der Sicherheitsebene 3 eingestuft.

Wird bei druckdicht verschlossenem RKL die Nachwärme nicht ausreichend abgeführt, heizt sich der RKL auf. Mit dem dadurch steigenden Druck kann die Nachwärme ab ca. 5 bar über die bereitstehenden Dampferzeuger (DE) und die FD-Abblasestation abgeführt werden, solange dieser bespeist wird.

Die sicherheitstechnische Bedeutung des Ereignisses liegt darin, dass die Nachkühlketten die ultimative Wärmesenke für die Nachzerfallsleistung bilden, bei deren nicht durch die Sekundärseite kompensierten Ausfall langfristig Kernschmelzen droht.

2.2 Bewertungsmerkmale

Für die Bewertung dieses Bewertungsgegenstandes sind die systemtechnischen Verfügbarkeiten in Relation zu den erforderlichen Verfügbarkeiten und den unterstellten Ausfallannahmen von Bedeutung. Für die vergleichende Bewertung wurden die folgenden Bewertungsmerkmale herangezogen:

- **Merkmal 1:** Vorhandene Einrichtungen
Die zur Nachwärmeabfuhr vorhandenen Einrichtungen werden gegenübergestellt.
- **Merkmal 2:** BHB Vorgaben zu den systemtechnischen Mindestverfügbarkeiten
Die Voraussetzungen und Bedingungen zum Übergang der Anlage in den Stillstand gemäß Sicherheitsspezifikationen werden gegenübergestellt.
- **Merkmal 3:** Zur Ereignisbeherrschung verfügbare Einrichtungen
Die zur Ereignisbeherrschung bei unterstellten Systemausfällen verfügbaren Einrichtungen werden gegenübergestellt.

3 **Verwendete Unterlagen**

Die folgenden Unterlagen wurden für den Anlagenvergleich verwendet:

- Kategorie 1

- /1.1/ GKN-1: Betriebshandbuch, Stand 26.03.2007
- /1.2/ GKN-2: Betriebshandbuch, Stand 26.03.2007
- /1.3/ GKN-1: Systembeschreibung TH (Nukleares Nachkühlsystem),
Stand 29.08.2006
- /1.4/ GKN-1: Systembeschreibung TF (Nukleares Zwischenkühlwassersystem),
Stand 09.06.2005
- /1.5/ GKN-1: Systembeschreibung VE, (Nukleares Nebenkühlwassersystem),
Stand 24.06.2005
- /1.6/ GKN-2: Systembeschreibung JN (Nukleares Nachwärmeabfuhrsystem),
FAK (BE-Beckenkühlsystem), Stand 05.11.1998
- /1.7/ GKN-2: Systembeschreibung KAA (Sicherheitskomponentenkühlsystem),
Stand 28.01.1995
- /1.8/ GKN-2: Systembeschreibung PE (Nebenkühlwassersystem
für gesicherte Anlage), Stand 29.01.2003
- /1.9/ KWU: Sicherheitsbericht GKN-1, 01.06.1975
- /1.10/ KWU: Sicherheitsbericht GKN-2, März 1981
- /1.11/ GKN-2: Notfallhandbuch, Stand 24.08.2005
- /1.13/ Siemens AG (KWU): Probabilistische Sicherheitsanalyse GKN-1, 1994
- /1.14/ GKN-2: Periodische Sicherheitsüberprüfung 1989-1998, SSA, Stand 2001

- Kategorie 3

- /3.1/ GKN-2: OECD Quick Look Report, Stand 23.07.2002

4 Anlagenbeschreibung und Anlagenvergleich

4.1 Beschreibung der Nachkühlketten

Nachkühlketten (NKK) haben die Aufgabe, die im Reaktorkern anfallende Nachzerfallswärme an die Umgebung (in GKN-1 der Neckar, in GKN-2 im Normalfall die Umgebungsluft) abzuführen, wenn die Sekundärseite dafür nicht zur Verfügung steht (beim An- und Abfahren, bei Störfällen). Als System mit Sicherheitsaufgaben muss die Auslegung von NKK nach dem Einzelfehlerkriterium mit Reparaturfall erfolgen. NKK können bei geeigneter Auslegung auch zur Kühlung des Brennelement-Beckens (BE-Beckens) eingesetzt werden.

Eine NKK besteht aus dem Nachkühlkreislauf eines Stranges des *Not- und Nachkühl-systems*, dem zugeordneten Strang des *nuklearen Zwischenkühl-systems* sowie dem zugeordneten Strang des *nuklearen Nebenkühlwassersystems*.

Die Nachkühlkreisläufe der Not- und Nachkühl-systeme stellen das erste Glied der NKK dar. Die Nachkühl-pumpen (NKP) saugen dabei das Kühlmittel aus einem heißen Strang des RKL an und fördern es durch den Nachwärmekühler in den kalten Strang zurück. Eine Bypassleitung zum Nachwärmekühler gestattet die variable Aufteilung des Rückspeisestroms in einen gekühlten und einen ungekühlten Anteil, was ein geregeltes Abfahren ermöglicht (Vorgabe eines Temperaturgradienten).

Nukleare Zwischenkühl-systeme dienen der Abführung der Nachzerfallswärme aus den Nachwärmekühlern und weiteren Kühlstellen aktiver Komponenten in sicherheitstechnisch wichtigen Systemen an das nukleare Nebenkühlwassersystem.

Nukleare Nebenkühlwassersysteme dienen der Wärmeabfuhr aus den Zwischenkühl-system zur Umgebung. Diese kann durch einen Fluss (z.B. den Neckar, GKN-1) oder die Umgebungsluft (GKN-2) gegeben sein. Je nach Kühlkonzept ergeben sich Unterschiede zwischen den Anlagen.

4.2 Anlagenvergleich

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
Reaktorleistung	3850 MW _{th} /3.1/	2497 MW _{th} /1.9/	Leistungsverhältnis:1 : 0,65
Nachzerfallsleistung bei Nachkühlbeginn	ca. 40,8 MW _{th} (nach /1.11/)	ca. 26,5 MW _{th} (nach /1.11/)	Relative Nachzerfallsleistung nach 4 h \approx 1.06 % P _N
1 Vorhandene Einrichtungen			
Not- und Nachkühlsysteme	<p><i>Nukleare Nachwärmeabfuhrsysteme / BE-Beckenkühlsystem JN / FAK /1.6/</i></p> <p>4 Nachkühlpumpen (NKP) mit</p> <p>$G_{100} \approx 127^1$ kg/s, bei $\Delta p \approx 11$ bar</p> <p>$G_{46} \approx 190^1$ kg/s, bei $\Delta p \approx 11$ bar</p> <p>4 Nachwärmekühler (NWK) mit je</p> <p>$P_{100} = 29,5$ MW</p> <p>$F_P \approx 0,72$; $F_P \times 4 = 2,88$</p> <p>$P_{SB} = 44,5$ MW</p> <p>¹⁾ davon ca. 50 kg/s Mindestmenge</p> <p>²⁾ davon ca. 40 kg/s Mindestmenge</p>	<p><i>Nukleares Nachkühlsystem TH /1.3/</i></p> <p>3 Nachkühlpumpen (NKP) mit</p> <p>$G_{120} \approx 155 - 175$ kg/s³ ($\Delta p \approx 8$ bar)</p> <p>3 Nachwärmekühler (NWK) mit je</p> <p>$P_{120} = 39,7$ MW; (38,25 MW)⁴</p> <p>$F_P \approx 1,44$; $F_P \times 3 = 4,32$</p> <p>$P_{SB} = 35,0$ MW</p> <p>³⁾ keine Angaben zur Mindestmenge</p> <p>⁴⁾ berechnet aus Angaben in Tabelle 5.8.2 /1.3/ (16.02.2006)</p>	<p>Hinweise zu den Indizes</p> <p>im Nachkühlbetrieb (Index: Ansaugtemp.)</p> <p>Beginn des Nachkühlbetriebs</p> <p>Ende des Nachkühlbetriebs</p> <p>Bei Nachkühlbeginn (Index: Ansaugtemp.)</p> <p>$F_P = P_{120} / P_{NZ}$</p> <p>Bei Sumpfbetrieb</p> <p>GKN-1: 3-Loop-Anordnung der Nachkühlkreisläufe (TH-System) mit einer Abfuhrkapazität von 3x100% der Nachzerfallsleistung.</p>

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
			<p>Ein vierter Strang des TH-Systems kann nur zur Einspeisung in den RKL bzw. zur Sumpfumwälzkühlung, nicht jedoch zur Nachkühlung eingesetzt werden.</p> <p>GKN-2: 4-Loop-Anordnung mit einer Abfuhrkapazität von 4x50% der Nachzerfallsleistung.</p> <p>Unter dem Aspekt deterministischer Verfügbarkeitsanforderungen ergibt sich kein Unterschied.</p>
<p>Nukleare Zwischenkühlkreise</p>	<p><i>Sicherheitskomponentenkühlsystem KAA</i></p> <p>4 Stränge, den Nachkühlsträngen (JN) zugeordnet, mit je einer Zwischenkühlpumpe, ($G \approx 500 \text{ kg/s}$ bei $p = 4.5 \text{ bar}$) einem nuklearen Zwischenkühler sowie weiteren Kühlstellen.</p> <p>Parallel zu den Zwischenkühlpumpen in den Strängen 2 und 3 (Betriebskreise) je eine <u>nicht</u> notstromversorgte zweite Zwischenkühlpumpe und in den Strängen 1 und 4 (Abfahrkreise) je eine notstandsgesicherte Notzwischenkühlpumpe ($p_0 \approx 3 \text{ bar}$, $G \approx 400 \text{ kg/s}$).</p>	<p><i>Nukleares Zwischenkühlsystem TF</i></p> <p>3 Stränge, den Nachkühlsträngen (TH) zugeordnet, mit je zwei parallel geschalteten Zwischenkühlpumpen, ($G_{1P/2P} \leq 330 / 611 \text{ kg/s}$; $p = 4.3 \text{ bar}$), einem nuklearen Zwischenkühler und weiteren Kühlstellen.</p>	<p>Die vorhandenen <u>verfahrenstechnischen</u> Unterschiede können im Rahmen dieser Untersuchung nicht bewertet werden.</p> <p>Bei GKN-2 fehlt die Notstromsicherung der parallelen Zwischenkühlpumpen in den Redundanzen 2 und 3. Es sind jedoch Notnachkühlketten verfügbar (Redundanzen 1 und 4). In GKN-1 sind die vorhandenen verfahrenstechnischen Einrichtungen notstromgesichert.</p>

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
	Energieversorgung der Notzwischenkühlpumpen durch Notspeisediesel (Abkoppeln der Notspeisepumpen), Einschalten in der Notsteuerstelle.		
Nukleare Nebenkühlwasserkreise	<p><i>Nebenkühlwassersystem für gesicherte Anlage PE</i></p> <p>4 Stränge, den Nachkühlsträngen zugeordnet, mit je einer gesicherten Nebenkühlwasserpumpe,</p> <p>($G \approx 1000 \text{ kg/s}$ bei $p = 2.2 \text{ bar}$), einem Zwischenkühler, sowie einem Zellenkühler (4 Kühlzellen mit je einer Umwälzpumpe)</p> <p>2 Notnebenkühlwasserpumpen für EVA zur Kühlwasserversorgung von 2 Notnachkühlsträngen</p> <p>Zusatzwasserversorgung im Störfallbetrieb über Brunnen (von GKN-1)</p>	<p><i>Nukleares Nebenkühlwassersystem VE (gegen EVA gesichert)</i></p> <p>3 Ansaugstränge mit je einer Einrichtung zum Ansaugen aus dem Fluss und einer nuklearen Nebenkühlwasserpumpe mit ($G \approx 850 \text{ kg/s}$ bei $p = 2.5 \text{ bar}$) sowie einem Zwischenkühler, die jeweils einem Strang des TF-Systems zugeordnet sind.</p> <p>Ein 4. Strang gleicher Leistung schaltet sich bei Ausfall einer VE-Pumpe selbsttätig und druckstoßfrei auf.</p> <p>Zusätzliche Kühlwasserversorgung bei geringer Neckar-Wasserführung über Brunnenwasserpumpe, transportable Tauchpumpe oder Diesekühlwasser.</p>	Die vorhandenen verfahrenstechnischen Unterschiede können im Rahmen dieser Untersuchung nicht bewertet werden.

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
Bestandteile der Nachkühlkette (NKK)	<p><u>Nachkühlkette</u> (BHB 2-1.4, /1.2/): Nachkühlpumpe, Zwischenkühlpumpe, Nebenkühlwasserpumpe, Wärmetauscher, Zellenkühler (in erf. Umfang), Armaturen und Stellantriebe, Notstromerzeugungsanlage.</p> <p><u>Notnachkühlkette</u> (2-strängig, notstandsgesichert): Beckenkühlpumpe, Notzwischenkühlpumpe, Notnebenkühlwasserpumpe, Armaturen und Stellantriebe, Notstromerzeugungsanlage.</p>	<p><u>Nachkühlkette</u> (BHB 2-1.1.2, /1.1/): Nachkühlpumpe, Zwischenkühlpumpe, Nebenkühlwasserpumpe, Wärmetauscher, Armaturen und Stellantriebe, Notstromerzeugungsanlage einschl. Reaktorschutzanregung</p>	<p>Relevanter Unterschied:</p> <p>GKN-1 verfügt nicht über gesonderte Notnachkühlketten.</p> <p>In GKN-2 können mit den Beckenkühlpumpen der Systeme JN1 und JN4, den Notzwischenkühlpumpen und den Notnebenkühlwasserpumpen Notnachkühlketten aufgebaut werden. Die Notnachkühlketten sind notstandsgesichert und werden vom Notstromnetz D2 versorgt.</p>
2 BHB Vorgaben zu den systemtechnischen Mindestverfügbarkeiten	Voraussetzungen und Bedingungen zum Stillstand der Anlage.../1.2/ (Sicherheitsspezifikation) BHB 2-1.4	Voraussetzungen und Bedingungen zum Stillstand der Anlage.../1.1/ (Sicherheitsspezifikation) BHB 2-1.1.2	
Sekundärseite	Bei druckdichtem RKL mind. 1 DE abblasebereit (Notspeiseteilsystem i.B., FD-Abblaseabsperrentil auf, betriebliche Abblaseregung ein)	Bei druckdichtem RKL mind. 1 DE abblasebereit (Notspeiseteilsystem i.B., FD-Abblaseabsperrentil auf, Abblaseregung ein, SW ca.2 bar)	Kein relevanter Unterschied.

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
Nachkühlketten	2 Nachkühlstränge und 1 Notnachkühlstrang und der dritte Beckenkühlstrang (Fall a) <u>oder</u> 3 Nachkühlstränge und 1 Notnachkühlstrang (Fall b) sind betriebsbereit.	2v3 NKK sind betriebsbereit. BE-Beckenkühlung durch TH24 oder TH10/30 oder TH20/40 (nach Sonderschaltungen)	In GKN-2 ist ein Nachkühlstrang mehr betriebsbereit zu halten. Dies wird für diesen Bewertungsgegenstand als nicht relevant bewertet. Vorhandene Unterschiede bei der Becken- kühlung sind für diesen Bewertungsgegenstand nicht relevant.
Mindestwirksamkeit (geregelt Abfahren)	<u>3v4 NKK</u> : vorgegebener Abfahrgradient wird eingehalten. <u>2v4 NKK</u> : verzögertes Abfahren möglich /1.6/.	<u>3v3 NKK</u> : vorgegebener Abfahrgradient wird eingehalten. <u>2v3 NKK</u> : nur geringe Verzögerung gegenüber dem Abfahrtdiagramm <u>1v3 NKK</u> : stark verzögertes Abfahren /1.3/.	Die vorhandenen Unterschiede können im Rahmen dieser Untersuchung nicht bewertet werden.
3 Zur Ereignisbeherr- schung verfügbare Ein- richtungen			
Ausfall einer bzw. zweier Nachkühlketten	<u>Erkennung</u> Meldungen auf der Warte, Abfahrgradient kann nicht eingehalten werden <u>zur Beherrschung bereitstehende Systeme</u> <u>(Prozentangaben für Nachkühlbetrieb):</u>		

Merkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkungen / Ergebnis
	<p>Untergruppensteuerungen;</p> <p>JN-System 4 × 50%;</p> <p>KAA-System 4-strängig, mit 8 Pumpen (davon 2 nicht notstromgesichert);</p> <p>PE-System 4-strängig, Ersatzwasser für Zellenkühler im Störfallbetrieb aus Brunnen.</p>	<p>Untergruppensteuerungen;</p> <p>TH-System 3 × 100%;</p> <p>TF-System 3-strängig, mit 6 Pumpen,</p> <p>3 VE-Stränge und Aufschaltsystem Notkühlwasserversorgung mit mehreren unabhängigen Systemen.</p>	
Ausfall einer Nachkühlkette (Sicherheitsebene 2)	Mit den verbliebenen 3 Nachkühlketten ist ein Abfahren möglich.	Mit den verbliebenen 2 Nachkühlketten ist ein Abfahren mit nur geringer Verzögerung gegenüber dem Abfahrtdiagramm möglich.	Die vorhandenen Unterschiede können im Rahmen dieser Untersuchung nicht bewertet werden.
Ausfall zweier Nachkühlketten (Sicherheitsebene 3)	Mit den verbliebenen 2 Nachkühlketten ist ein verzögertes Abfahren möglich.	Mit der verbliebenen Nachkühlkette ist ein stark verzögertes Abfahren möglich.	Die vorhandenen Unterschiede können im Rahmen dieser Untersuchung nicht bewertet werden.
Verbleibende Reserven nach Ausfall dreier Nachkühlketten	<p>Abfahren über Sekundärkreis möglich</p> <p>Eine verbleibende Nachkühlkette verfügbar.</p>	Abfahren über Sekundärkreis möglich	<p>Relevanter Unterschied:</p> <p>In GKN-2 steht eine weitere Nachkühlkette zur Verfügung.</p>
Reserven innerhalb der Nachkühlketten	Unter den unter Bewertungsmerkmal 2 genannten Bedingungen steht in einem der beiden Abfahrkreise eine zusätzliche Beckenkühlpumpe zur Verfügung.		<p>Relevanter Unterschied:</p> <p>In GKN-2 steht in der Regel in den Abfahrkreisen JN 10 oder JN 40 eine redundante Beckenkühlpumpe zur Verfügung.</p>

5 Bewertung

Gegenstand der Bewertung ist der *Ausfall eines in Betrieb befindlichen bzw. erforderlichen Strangs des Nachwärmeabfuhrsystems incl. Kühlkette* in den zu vergleichenden Anlagen GKN-1 und GKN-2. Die im Anlagenvergleich identifizierten relevanten Unterschiede werden im Folgenden bewertet.

5.1 Zu Merkmal 1: Vorhandene Einrichtungen

GKN-1 verfügt nicht über gesonderte Notnachkühlketten.

In GKN-2 können mit den Beckenkühlpumpen der Systeme JN1 und JN4, den Notzwischenkühlpumpen und den Notnebenkühlwasserpumpen Notnachkühlketten aufgebaut werden. Die Notnachkühlketten sind notstandsgesichert und werden vom Notstromnetz D2 versorgt.

Zur Bereitstellung einer Notnachkühlkette (z.B. für das Abfahren) in GKN-2 ist die entsprechende Notspeisepumpe (aus Kapazitätsgründen) von ihrem Notspeisediesel abzukoppeln. Dies beschränkt sich auf die Redundanzen, die den Nachkühlssystemen JN1 und JN4 zugeordnet sind und hat zur Folge, dass nur die DE in den Redundanzen 2 und 3 in Abblasebereitschaft gebracht werden können. Das Einschalten erfolgt von der Notsteuerstelle aus. Das Vorhandensein der notstandsgesicherten Notnachkühlketten stellt einen Vorteil für GKN-2 dar.

Bei GKN-2 fehlt die Notstromsicherung der parallelen Zwischenkühlpumpen in den Redundanzen 2 und 3. Es sind jedoch Notnachkühlketten verfügbar (Redundanzen 1 und 4). In GKN-1 sind die vorhandenen verfahrenstechnischen Einrichtungen notstromgesichert. Hieraus ergibt sich kein Vorteil für eine der beiden Anlagen.

5.2 Zu Merkmal 3: Zur Ereignisbeherrschung verfügbare Einrichtungen

In GKN-2 steht in der Regel in den Abfahrkreisen JN 10 oder JN 40 eine redundante Beckenkühlpumpe zur Verfügung. Des Weiteren steht in GKN-2 nach Ausfall von drei Nachkühlketten eine weitere Nachkühlkette zur Verfügung. Beides stellt einen Vorteil für GKN-2 dar.

5.3 Fazit

Bezüglich der Reserven beim Ausfall von Nachkühlsträngen bestehen Vorteile für GKN-2, da zusätzliche Pumpen für zwei Notnachkühlketten zur Verfügung stehen.

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 21:

„Unterkühlungstransienten
durch Frischdampf- / Speise-
wasserleck / -bruch“

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 1: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 21:
„Unterkühlungstransienten durch
Frischdampf- / Speisewasser-
leck / -bruch“

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
2.2	Bewertungsmerkmale	6
3	Verwendete Unterlagen	7
4	Anlagenvergleich	8
5	Bewertung.....	18
5.1	Relevante Anlagenunterschiede	18
5.2	Bewertung der relevanten Anlagenunterschiede	19
5.3	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 21 „Unterkühlungstransienten durch Frischdampf- / Speisewasserleck / -bruch“ behandelt. Dabei handelt es sich um Ereignisse der Sicherheitsebene 3.

2 **Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale**

2.1 **Bewertungsgegenstand**

Primärseitige Unterkühlungstransienten entstehen durch einen sekundärseitigen Druckabfall in den Frischdampf- bzw. Speisewasserleitungen, der z.B. durch sekundärseitige Lecks bzw. Brüche, Fehlöffnen von Frischdampf (FD)-Armaturen, Ausfall von Hochdruck (HD)-Vorwärmstrecken, zu schnelles sekundärseitiges Abfahren etc. hervorgerufen wird. Dieser durch einen zusätzlichen sekundärseitigen Energieaustrag bedingte Druckabfall führt zu einer erhöhten Wärmeabfuhr aus dem Primärkreis, so dass es dort zu einem Temperatur- und Druckabfall kommt. Aufgrund der fallenden Primärkühlmitteltemperaturen im Kern kommt es dort zu einer Reaktivitätszunahme, die, nach einer durch Reaktorschnellabschaltung zunächst erreichten Unterkritikalität, zu einer Rekritikalität des abgeschalteten Reaktors führen kann. Daher muss die Kernkonfiguration in Verbindung mit den vorhandenen Abschaltssystemen eine langfristig anhaltende Rekritikalität verhindern. Im Falle eines Wiederkritischwerdens sind laut RSK-Leitlinien, Absatz 3.1.2 (7) /RSK81/ die relevanten Nachweiskriterien, wie z.B. Sicherheit gegen Filmsieden und gegen Brennstoffzentralschmelzen, zu erfüllen.

Die maximale Unterkühlung des Kerns tritt bei einem Frischdampfleitungsleck innerhalb des Sicherheitsbehälters auf, da dieses nicht absperrbar ist, sodass es zum vollständigen Ausdampfen des vom Leitungsbruch betroffenen Dampferzeugers kommt. Zudem führt dieser Störfall aufgrund der reinen Dampfausströmung zu einem schnellen Druckabfall auf der Sekundärseite. Untersuchungen zur Unterkühlungstransiente haben gezeigt, dass für Druckwasserreaktoren die maximale Unterkühlung etwa im Bereich des 0,1F-FD-Lecks innerhalb des Sicherheitsbehälters zu erwarten ist, sodass dieses Leck im Folgenden behandelt wird. Für die Analysen zu diesem Ereignis wird in der Regel als Randbedingung der Betriebszustand „Nulllast-heiß“ verwendet, da der FD-Druck sowie der Wasserinhalt der Dampferzeuger (DE) für diesen Lastpunkt am größten sind, wodurch eine größere Leistungsabgabe über das Leck sowie ein geringeres „Gegenheizen“ durch die Nachzerfallsleistung erfolgt und beim vollständigen Ausdampfen des Dampferzeugers die maximale Deionatmenge für seine Ausdampfung zur Verfügung steht. Des Weiteren wird der Störfalleintritt am Zyklusende angenommen, da zu diesem Zeitpunkt die größte Rückwirkung durch den negativen Kühlmitteltemperatur-Koeffizienten zu erwarten ist. Als Einzelfehler wird zudem das Nichteinfallen des wirksamsten Steuerelementes postuliert.

Nachfolgend wird der grundsätzliche Ablauf für das nicht absperrbare FD-Leitungsleck innerhalb des Sicherheitsbehälters beschrieben, welches für beide Anlagen hinsichtlich der Reaktivitätsrückwirkung abdeckend für alle anderen Lecks oder Brüche bzw. FD-Abgaben über Ventile des Sekundärkreises hinsichtlich der Anforderungen zur Begrenzung der Rekritikalität ist.

Beim Leck in der Frischdampf-Leitung (FD-Leitung) innerhalb des Sicherheitsbehälters kommt es zum schnellen Druckabfall im FD-Bereich der Sekundärseite. Durch die Leckausströmung in den Sicherheitsbehälter überschreitet die Druckdifferenz zwischen Anlagen- und Betriebsräumen und der Atmosphäre den Grenzwert von 30 mbar, so dass es wenige Sekunden nach Störfalleintritt zur Auslösung der Reaktorschnellabschaltung (RESA) und Turbinenschnellschluss (TUSA; nur bei Leistungsbetrieb) kommt.

Etwas später folgt aufgrund des schnellen sekundärseitigen Druckabfalls die Anregung des Druckabfallsignals $DAF1 > 4 \text{ bar/min}$, die innerhalb der ersten Minute des Störfalls zum Sekundärkreisabschluss führt, der das Schließen der FD-Abschlussarmaturen und der Absperrschieber vor den Speisewasservollastregelventilen sowie das Abschalten der Hauptspeisewasserpumpen umfasst. Letzteres führt zum Start der An- und Abfahrpumpen. Nach dem Sekundärkreisabschluss steigt der FD-Druck in den nicht vom Leck betroffenen Dampferzeugern wieder leicht an. In dem vom Leck betroffenen DE fällt der FD-Druck infolge der Dampfabgabe weiter ab, sodass es nur wenige Sekunden nach Anregung des DAF1-Kriteriums durch das Ansprechen von DAF2 und dem Druckvergleich DE (GKN-2) bzw. durch die Anregung DAF1 und Speisewasserdruckvergleich (GKN-1) zu weiteren Absperrmaßnahmen am betroffenen DE kommt. So wird letztendlich in beiden Anlagen der betroffene DE automatisch speisewasserseitig durch Schließen der Schwachlastbespeisung isoliert, wodurch auch dessen Bespeisung durch die An- und Abfahrpumpen unterbunden wird. Die gesamte Wärmeabfuhr aus dem Primärkreis erfolgt in dieser Phase über den ausdampfenden Dampferzeuger. Nach dessen vollständigem Ausdampfen wird die Wärme über die drei vom Leck nicht betroffenen Dampferzeuger abgeführt. Der durch die Druckabsenkung bedingte Temperaturabfall im betroffenen DE führt zu einem weiteren Druck-, Temperatur- und Füllstandsabfall im Primärkreislauf (PKL).

Im Primärkreislauf führt die schnelle sekundärseitige Wärmeabfuhr über das Leck durch die wärmetechnische Kopplung zwischen Primär- und Sekundärseite zur Volumenkontraktion des Primärkühlmittels und zum Absinken des DH-Füllstandes. Letzte-

res führt schließlich bei Unterschreiten des DH-Füllstandsgrenzwertes von 2,28 m (GKN-2; ca. 1,5 Minuten nach Störfalleintritt) bzw. 2,85 m (GKN-1; ca. 1 Minute nach Störfalleintritt) zur Auslösung der Notkühlkriterien ($\Delta p > 30$ mbar steht bereits an). Durch das Ansprechen der Notkühlkriterien erfolgen unter Anderem das Ausschalten der Hauptkühlmittelpumpen sowie die Anregung des Notkühlvorbereitungs- und HD-Einspeisesignals. Durch den Primärkreisabschluss werden in GKN-2 die Einspeise- und Entnahmeleitung des Volumenregelsystems abgesperrt, sodass die betriebliche Aufborierung über das Volumenregelsystem nicht mehr zur Verfügung steht. In GKN-1 wird dagegen nur die Entnahmeleitung isoliert, da aufgrund des fehlenden Zusatzboriersystems die Einspeisung über das Volumenregelsystem zwecks Aufborierung notwendig ist. Für die Aufborierung wird in GKN-2 mit DH-Füllstand $< 2,28$ m das Zusatzboriersystem mit Ansaugen aus den Flutbehältern in der Betriebsart „Loop-Einspeisung“ gestartet. In GKN-1 wird das Boreinspeisesignal für das Volumenregelsystem bei DH-Füllstand $< 2,85$ m ausgelöst. Dabei fördern die zwei HD-Einspeisepumpen sowie die Abdrückpumpe aus den Flutbehältern der Teilsysteme TH10-30 des Notkühlsystems in den Primärkreis. Sobald der Primärkreisdruck 132 bar unterschreitet (ca. 2 Minuten nach Störfalleintritt bei GKN-2 und GKN-1) wird in beiden Anlagen das schnelle sekundärseitige Abfahren mit 100 K/h angeregt. Aufgrund der zusätzlichen Energieabfuhr durch das schnelle Abfahren sinkt der Druck im PKL wieder schneller, sodass mit Unterschreiten des Primärkreisdruckes von 110 bar (GKN-2: keine Angaben verfügbar; GKN-1: ca. 4,5 Minuten nach Störfalleintritt) in beiden Anlagen die Sicherheitseinspeisung von boriiertem Notkühlwasser aus den Flutbecken (GKN-2) bzw. Flutbehältern (GKN-1) beginnt. Diese erfolgt noch vor dem Erreichen der minimalen Kerntemperaturen und ist dann hinsichtlich der Aufborierung des Primärkreises führend.

Sollte der Füllstand im betroffenen DE unter 5 m abfallen, erfolgt in beiden Anlagen die Zuschaltung der Notbespeisung der Dampferzeuger. Da aber weiterhin das Kriterium „Druckvergleich Dampfraum > 15 bar“ (GKN-2) bzw. „Speisewasserdruckvergleich > 15 bar“ (GKN-1) ansteht, bleibt der Notspeisestrang des betroffenen DE abgesperrt. Dieses hat schließlich zur Folge, dass der bereits vollständig isolierte DE langsam ausdampft (GKN-2: ca. 25 Minuten; GKN-1: innerhalb ca. 30 Minuten). Nach dem vollständigen Ausdampfen erfolgt keine weitere Unterkühlung des Primärkreises.

Die Einspeisung durch die Sicherheitseinspeise- und Zusatzborierpumpen (GKN-2) bzw. Sicherheitseinspeisepumpen und HD-Förderpumpen des Volumenregelsystems (GKN-1) führt in ca. 30 Minuten (GKN-2) bzw. ca. 20 Minuten (GKN-1) nach Einspei-

sebeginn zum Überschreiten des DH-Füllstandsgrenzwertes (2,28 m für GKN-2 bzw. 2,85 m für GKN-1). Der PKL-Druck steigt dabei auf > 110 bar an. Nach dem Ausdampfen des betroffenen DE steigen die Temperaturen im PKL wieder langsam an, sodass aufgrund der Volumenzunahme des Kühlmittels der DH-Füllstand ebenfalls ansteigt. Eine Überspeisung des Druckhalters wird dadurch verhindert, dass aufgrund des automatischen Abfahrens mit den intakten DE mit 100 K/h der Temperaturanstieg im PKL begrenzt bleibt. Bei postulierten zusätzlichen Störungen während des automatischen Abfahrens würde es zu einem höheren Füllstandsanstieg im DH und damit zu einem Druckanstieg kommen. In diesem Fall würde der Füllstandsanstieg bzw. Druckanstieg im Druckhalter durch kurzes Öffnen von DH-Abblase- bzw. –Sicherheitsventil begrenzt.

Nach der Isolation und dem Ausdampfen des betroffenen DE wird die Nachzerfallswärme durch Naturumlauf aus dem Kern abgeführt und über die intakten Dampferzeuger über Dach abgegeben. Durch die Borwassereinspeisung über das Zusatzborier- und Nachkühlsystem (GKN-2) bzw. Volumenregel- und Nachkühlsystem (GKN-1) werden die Unterkritikalität sowie ein ausreichender Füllstand im Primärkühlkreislauf sichergestellt. Damit befindet sich die Anlage in einem sicheren Zustand.

Für den oben beschriebenen Ablauf sind bei zusätzlichen Störungen bzw. abweichenden Randbedingungen etwas andere Abläufe zu erwarten, die durch den oben beschriebenen Ablauf hinsichtlich dieses Bewertungsgegenstandes im Wesentlichen erfasst sind und nachfolgend kurz beschrieben werden:

- Eine Unverfügbarkeit der An- und Abfahrpumpen führt zu einem schnelleren Erreichen des Kriteriums „Füllstand DE < 5 m“ und somit zum schnelleren Start der Notbespeisung. Der betroffene DE wird durch die automatische speise- und notspeisewasserseitige Absperrung ohnehin nicht bespeist. Der Ablauf zur Stabilisierung der Anlage erfolgt in diesem Fall somit schneller.
- Ein zusätzlich unterstellter Notstromfall hat für den Störfallablauf nur geringe Bedeutung, da alle nach dem Sekundärkreisabschluss noch zur Störfallbeherrschung eingesetzten Systeme notstromversorgt sind. Nur der frühere Ausfall der Hauptkühlmittelpumpen führt infolge der „Abkopplung“ der intakten DE von der Wärmeabfuhr (Wärmeabfuhr nur über den ausdampfenden DE) zu einem geringfügig steileren Temperaturabfall im Kern, der aber im Vergleich zum oben beschriebenen Fall zu keiner wesentlichen Reaktivitätserhöhung führt.

- Bei kleineren Lecks in der FD-Leitung ($< 0,1F$), bei denen automatische Maßnahmen teilweise nicht oder verzögert erfolgen – insbesondere der Sekundärkreisabschluss – muss die langfristige Stabilisierung (Isolation des betroffenen DE) über Handmaßnahmen erfolgen. Da in diesen Fällen der sekundärseitige Druckabfall langsamer abläuft, erfolgt eine geringere Unterkühlung der Primärseite und es bestehen ausreichende Karenzzeiten für die durchzuführenden Handmaßnahmen.
- Der Ablauf des nicht absperzbaren Speisewasserleitungslecks mit Ansprechen der automatischen Maßnahmen ist mit dem Störfallablauf des oben beschriebenen FD-Leitungslecks vergleichbar.

2.2 Bewertungsmerkmale

Aus dem vorab dargestellten allgemeinen Ablauf des FD-Leitungslecks innerhalb des Sicherheitsbehälters, welches hinsichtlich der Reaktivitätsrückwirkung auf den Primärkreis abdeckend ist, leiten sich für den Vergleich der Anlagen GKN-2 und GKN-1 hinsichtlich der Beherrschung von Unterkühlungstransienten folgende relevante Bewertungsmerkmale ab:

- **Merkmal 1:** Erkennung FD-Leitungs- bzw. Speisewasserleitungslecks innerhalb des Reaktorgebäudes
- **Merkmal 2:** Abschaltung des Reaktors zwecks Reduzierung der erzeugten Wärme und Sicherstellung der Unterkritikalität,
- **Merkmal 3:** Isolieren des betroffenen Dampferzeugers zwecks Begrenzung der verdampfenden Deionatmenge und Druckbegrenzung für den Sicherheitsbehälter (SHB),
- **Merkmal 4:** Sicherstellung sekundärseitige Wärmeabfuhr zwecks Abfahren und primärseitiger Druckbegrenzung,
- **Merkmal 5:** Sicherstellung Bespeisung der intakten Dampferzeuger zwecks Abfahren,
- **Merkmal 6:** Reaktivitätsbegrenzung bei der Unterkühlungstransiente sowie
- **Merkmal 7:** thermische Belastung des Kerns.

3 **Verwendete Unterlagen**

Die folgenden Unterlagen wurden für den Anlagenvergleich verwendet:

- Kategorie 1

- /1/ Sicherheitsstatusanalyse Konvoi, Dezember 1998/Juli 2001,
- /2/ TÜV-Arbeitsgemeinschaft Konvoi: Gutachten zur Sicherheitsstatusanalyse, September 2001,
- /3/ Betriebshandbuch Gemeinschaftskernkraftwerk Neckarwestheim Block 2 (GKN-2), Stand 26.03.2007
- /4/ Sicherheitsstatusanalyse für das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block 1, August 1996,
- /5/ Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block1, Gutachtliche Stellungnahme zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ), September 1997,
- /6/ Betriebshandbuch Gemeinschaftskernkraftwerk Neckarwestheim Block 1 (GKN-1), Stand 26.03.2007.
- /7/ Sicherheitsbericht für das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block II (GKN-2), März 1981,
- /8/ Sicherheitsbericht Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar (GKN), Juni 1975

- Kategorie 3

- /9/ Kraftwerk Union AG: Schulungsunterlagen DWR-Anlagenkurs, 1986,
- /10/ Siemens: Schulungsunterlagen Reaktorschutzkurs (basiert auf Kernkraftwerk Emsland), Mai 1998.
- /11/ GRS: Unterstützung der Bundesaufsicht bei thermohydraulischen Fragestellungen: Berechnungsmethoden für Störfallanalysen mit „best-estimate“-Ansätzen und Quantifizierung von Unsicherheiten sowie deren Einsatz im Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren (AP3). Abschlussbericht zum Vorhaben SR 2485, GRS-A-3367, Dezember 2006.

4 Anlagenvergleich

In der nachfolgenden Tabelle sind auf Basis der vorhandenen Unterlagen für das FD-Leitungsleck innerhalb des Reaktorgebäudes diejenigen anlagenspezifischen Besonderheiten wieder gegeben, aus denen sich ggf. signifikante sicherheitsrelevante Unterschiede zwischen den beiden Anlagen für die hier vertieft zu betrachtenden Bewertungsmerkmale ergeben. Die Besonderheiten sind in der folgenden Tabelle für die beiden Anlagen vergleichend gegenübergestellt und den oben genannten Bewertungsmerkmalen zugeordnet.

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
Bewertungsmerkmal 1: „Erkennung FD-Leitungs- bzw. Speisewasserleitungslecks innerhalb des Reaktorgebäudes“		
<p>Differenzdruck Anlagen- und Betriebsräume gegen Atmosphäre > 30 mbar und Aktivität Sicherheitsbehälter nicht steigend ⇒ RESA/TUSA</p> <p>DAF1-Signal ($\Delta p/dt > 4$ bar/min mit 7 bar Ansprechabstand in FD-Leitung) ⇒ RESA/TUSA, Absperrung FD-Abblasestation, Abschaltung Hauptspeisepumpen, Absperrung Hauptspeisewasserköpfe,</p> <p>DAF2 ($\Delta p/dt > 4$ bar/min mit 15 bar Ansprechabstand) ⇒ Absperrsignal für Schwachlastbespeisung, Absperrsignal für Absperrarmatur vor FD-sicherheitsventil, Absperrsignal für Regel- und Absperrarmatur in der entsprechenden Notspeiseleitung (dampferzeugerbezogen).</p> <p>Dampfraum-Druckvergleich > 15 bar</p> <p>Lecküberwachungssystem.</p>	<p>Differenzdruck Anlagen- und Betriebsräume gegen Atmosphäre > 30 mbar und Aktivität Sicherheitsbehälter nicht steigend ⇒ RESA/TUSA</p> <p>DAF1-Signal ($\Delta p/dt > 4$ bar/min mit 7 bar Ansprechabstand in Speisewasserleitung) ⇒ RESA/TUSA, Schließen FD-Abschlussarmaturen, Abschaltung Hauptspeisepumpen, Schließen Absperrschieber vor Speisewasser-Vollastregelventil,</p> <p>DAF1 und Speisewasserdruckvergleich > 15 bar ⇒ Absperrern der Schwachlastbespeisung, Absperrern der entsprechenden Notspeiseleitung (beides dampferzeugerbezogen),</p> <p>Speisewasserdruckvergleich > 15 bar,</p> <p>Lecküberwachungssystem.</p>	<p>Keine sicherheitstechnisch relevanten Unterschiede erkennbar.</p>
Bewertungsmerkmal 2: „Abschaltung des Reaktors“		
<p>Anregekriterien RESA: Druckdifferenz Anlagen- und Betriebsräume/Atmosphäre > 30 mbar</p> <p>(Diversitäre Anregekriterien: Druckabfall Frischdampfleitung > 4bar/min; DH-Füllstand < 2,28 m)</p>	<p>Anregekriterien RESA: Druckdifferenz Anlagen- und Betriebsräume/Atmosphäre > 30 mbar</p> <p>(Diversitäre Anregekriterien: Druckabfall Speisewasserleitung > 4bar/min; Druck Reaktorkühl-</p>	<p>Keine sicherheitstechnisch relevanten Unterschiede erkennbar.</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<p>RESA ist sowohl zur Reduzierung der erzeugten Wärme als auch zur Sicherstellung der Unterkritikalität kurzfristig notwendig.</p> <p>Die RESA dient zudem auch der langfristigen Sicherstellung der Unterkritikalität</p> <p>Die vorhandene Dichterückwirkung ist bei vorübergehender Rekritikalität erforderlich.</p>	<p>kreislauf < 145 bar und DH-Füllstand < 2,85 m)</p> <p>RESA ist sowohl zur Reduzierung der erzeugten Wärme als auch zur Sicherstellung der Unterkritikalität kurzfristig notwendig.</p> <p>Die RESA dient zudem auch der langfristigen Sicherstellung der Unterkritikalität</p> <p>Die vorhandene Dichterückwirkung ist bei vorübergehender Rekritikalität erforderlich.</p>	
Bewertungsmerkmal 3: „Isolieren des betroffenen Dampferzeugers“		
<p>Bei einem nicht absperrbaren Leck innerhalb des Sicherheitsbehälters soll die Isolierung des betroffenen Dampferzeugers einen weiteren Deionateintrag in den DE vermeiden, um einerseits das Ausmaß der Unterkühlung zu begrenzen und andererseits einen weiteren Dampfeintrag in den SHB und somit einen weiteren Druckanstieg zu vermeiden.</p> <p>Automatische Maßnahmen: Frischdampfseitig: Bereits durch Sekundärkreisabschluss isoliert. Speisewasserseitig: Durch DE-Druckvergleich > 15 bar und Ansprechen DAF2 (> 4bar/min mit Ansprechabstand 15 bar) werden der Speisewasserschieber vor dem betroffenen DE sowie die Absperrarmatur Schwachlast geschlossen.</p> <p>Notspeiseseitig: Durch DE-Druckvergleich > 15</p>	<p>Bei einem nicht absperrbaren Leck innerhalb des Sicherheitsbehälters soll die Isolierung des betroffenen Dampferzeugers einen weiteren Deionateintrag in den DE vermeiden, um einerseits das Ausmaß der Unterkühlung zu begrenzen und andererseits einen weiteren Dampfeintrag in den SHB und somit einen weiteren Druckanstieg zu vermeiden.</p> <p>Automatische Maßnahmen: Frischdampfseitig: Bereits durch Sekundärkreisabschluss isoliert. Speisewasserseitig: Durch Speisewasser-Druckvergleich > 15 bar und Ansprechen DAF1 (> 4bar/min mit Ansprechabstand 7 bar) werden der Speisewasserschieber vor dem betroffenen DE sowie der Schieber vor dem Schwachlastregelventil geschlossen.</p> <p>Notspeiseseitig: Durch Speisewasserdruckver-</p>	<p>Keine sicherheitstechnisch relevanten Unterschiede erkennbar.</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
bar und DE-Füllstand < 5m werden die Regel- und Absperrarmatur in der entsprechenden Notspeiseleitung abgesperrt.	gleich > 15 bar und DE-Füllstand < 5m werden das Notspeisesignal des betroffenen DE abgesteuert und das Notspeiseabsperrsignal des betroffenen DE ausgelöst. Dadurch erfolgt die Absperrung des entsprechenden Notspeisestranges.	
Bewertungsmerkmal 4: „Sicherstellung sekundärseitige Wärmeabfuhr“		
<p>Frischdampf-Umleitstation (nur bis zum Sekundärkreisabschluss verfügbar; vier Umleitventilkombinationen; mit drei Strängen kann ein Dampfstrom von 45% der Vollastrate bei einem FD-Überdruck von 64,5 bar abgeführt werden; zum Abfahren der Anlage mit 50 K/h bis zu einem FD-Überdruck von 6 bar reichen 2 Ventilkombinationen, fürs Abfahren mit 100 K/h auf 6 bar reichen 3 Ventilkombinationen, zur Abfuhr der Nachzerfallsleistung im Zustand „Nulllast-heiß“ reicht eine Ventilkombination).</p> <p>4 Abblaseregelventile (1 Abblaseregelventil ausreichend für das „100 K/h“-Abfahren bis zur Übernahme der primärseitigen Nachwärmeabfuhr bei KMT 150 °C ⇒ 4 x 100% bei Abfahren mit 100 K/h auf 150 °C; für das Abfahren auf 120 °C</p>	<p>Drehstrom-FDU und Bahnstrom-FDU (nur bis zum Sekundärkreisabschluss verfügbar; Drehstrom-FDU: drei Umleitventilkombinationen, mit drei Strängen kann ein Dampfstrom von 58,8% der Vollastrate bei einem FD-Überdruck von 62,3 bar abgeführt werden; zum Abfahren der Anlage mit 50 K/h bis zu einem FD-Überdruck von 6 bar reichen 2 Ventilkombinationen, fürs Abfahren mit 120 K/h auf 6 bar sind alle drei Ventilkombinationen erforderlich, zur Abfuhr der Nachzerfallsleistung im Zustand „Nulllast-heiß“ reicht eine Ventilkombination; Bahnstrom-FDU: zwei Umleitventilkombinationen, mit zwei Strängen kann ein Dampfstrom von 25,0 % der Vollastrate bei einem FD-Überdruck von 62,3 bar abgeführt werden; zum Abfahren der Anlage mit 50 K/h bis zu einem FD-Überdruck von 8 bar werden beide Ventilkombinationen benötigt, das Abfahren mit 120 K/h ist nicht vorgesehen, zur Abfuhr der Nachzerfallsleistung im Zustand „Nulllast-heiß“ reicht eine Ventilkombination)</p> <p>3 Abblaseregelventile (zwei Abblasestränge unterhalb FD-Druck von 20 bar erforderlich für Abfahren mit 50 K/h bis auf FD-Druck < 7 bar, drei Abblasestränge unterhalb FD-Druck von 20 bar erforderlich für Abfahren mit 100 K/h bis auf FD-</p>	<p>Relevante Unterschiede Bewertungsmerkmal 4:</p> <p>GKN-2: 4 x 50% Kapazität der Abblaseregelventile für das Abfahren mit 100 K/h auf 120 °C 4 x 100% Kapazität für die Nachwärmeabfuhr im Zustand „Nulllast-heiß“ vorhanden.</p> <p>GKN-1: 3 x 50% Kapazität der Abblaseregelventile für das Abfahren mit 100 K/h bis unterhalb von 7 bar FD-Druck 3 x 100% Kapazität für die Nachwärmeabfuhr im Zustand „Nulllast-heiß“ vorhanden.</p> <p>Diversitäre Druckabsicherung der Dampferzeuger vorhanden.</p> <p>Inhärente Begrenzung der Unterkühlung bei Fehlöffnenbleiben der vorgelagerten 8%-Sicherheitsventile vorhanden.</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<p>sind 2 Abblaseregelventile notwendig, zur Abfuhr der Nachwärme im Zustand „Nulllast-heiß“ ist ein Abblasestrang ausreichend /1/)</p> <p>4 x 100%-Sicherheitsventile für Druckabsicherung DE (absperrbar)</p>	<p>Druck < 7 bar, zur Abfuhr der Nachwärme im Zustand „Nulllast-heiß“ ist ein Abblasestrang ausreichend /6/</p> <p>„Zum Abfahren der Anlage mit einem Gradienten von 120 K/h bis auf einen FD-Druck < 7 bar sind unterhalb von 20 bar zwei Abblasestränge erforderlich“, Zitat aus /4/)</p> <p>3 x 8%-FD-Sicherheitsventile (ein 8%-FD-Sicherheitsventil ausreichend zur Abfuhr der Nachzerfallswärme) für Druckabsicherung DE (absperrbar)</p> <p>3 x 100%-FD-Sicherheitsventile für Druckabsicherung DE (nicht absperrbar)</p>	
<p>Bewertungsmerkmal 5: „Sicherstellung Bespeisung der nicht betroffenen Dampferzeuger“</p>		
<p>3 x Hauptspeisewasserpumpen (nur bis zum Sekundärkreisabschluss verfügbar)</p> <p>2 x notstromgesicherte An- und Abfahrpumpen (2 x 42,0 kg/s ⇒ 21 kg/s pro Dampferzeuger) mit automatischer Ergänzung aus den Deionatbehältern über die notstromgesicherten Deionatnachspeisepumpen (1 An- und Abfahrpumpe ausreichend für Nachwärmeabfuhr, 2 An- und Abfahrpumpen ausreichend für 100 K/h-Abfahren); 170 m³ nutzbares Volumen Speisewasserbehälter, zusätzliches gesichertes Volumen Deionatbehälter von 600 m³</p> <p>Notbespeisung nach Reaktorschutz-Anforderung mittels vier Notspeisepumpen (4 x 36 kg/s). Bespeisung durch 2v4 Notspeisepumpen aus zwei</p>	<p>3 x Hauptspeisewasserpumpen (nur bis zum Sekundärkreisabschluss verfügbar)</p> <p>3 x notstromgesicherte An- und Abfahrpumpen (3 x 20,8 kg/s ⇒ 20,8 kg/s pro Dampferzeuger) mit automatischer Ergänzung aus den Deionatbehältern über die notstromgesicherten Deionatnachspeisepumpen (1 An- und Abfahrpumpe ausreichend für Nachwärmeabfuhr, 2 An- und Abfahrpumpen ausreichend für 120 K/h-Abfahren); 140 m³ nutzbares Volumen Speisewasserbehälter, zusätzliches gesichertes Volumen Deionatbehälter von 245 m³.</p> <p>4-strängiges Notspeisesystem (RX; 4 x 20,8 kg/s), wobei 3 Stränge fest den 3 Dampferzeugern zugeordnet sind. Bei Ausfall eines fest zu</p>	<p>Relevante Unterschiede Bewertungsmerkmal 5:</p> <p>GKN-2:</p> <p>2210 m³ Deionatmenge für Speisewasser- und Notspeiseversorgung.</p> <p>Antrieb der Notspeisepumpen über Notspeisenotstromdiesel bzw. Elektromotor bei verfügbarem Eigenbedarf möglich.</p> <p>Handumschaltung einzelner Notspeisepumpen auf die anderen drei, nicht fest zugeordneten Dampferzeuger möglich.</p> <p>100%-Kapazität der An- und Abfahrpumpen für das schnelle sekundärseitige Abfahren mit 100 K/h.</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<p>Deionatbecken ausreichend für das „100 K/h“-Abfahren. Vier Notspeisebecken mit je 360 m³ vorhanden Handumschaltung einzelner Notspeisepumpen auf die anderen drei, nicht fest zugeordneten Dampferzeuger möglich.</p> <p>Diversitäre Antriebe (Notspeisenotstromdiesel und Elektromotor) der Notspeisepumpen vorhanden.</p> <p>Nutzung nicht genutzter Beckeninventare durch Verschaltungsmöglichkeit der Notspeisebecken möglich.</p> <p>Mehrere Anschlussmöglichkeiten im Notspeisesystem für mobile Notspeisepumpe bzw. externe Einspeisung (z.B. für Feuerlösch-, Roh-, Brunnen- und Flusswasser).</p>	<p>geordneten Stranges speist der vierte Ersatzstrang aus strömungstechnischen Gründen automatisch in den ausgefallenen Strang. Einspeisestrom von 2 Notspeisepumpen ausreichend für das „120 K/h“-Abfahren, Einspeisestrom einer Notspeisepumpe ist ausreichend für die Nachzerfallswärmeabfuhr. Vier Notspeisebecken mit je 205 m³ vorhanden.</p> <p>Notspeisepumpen werden über die Notstromschienen FP, FM, FN bzw. FL versorgt. Keine Diversität im Antrieb vorhanden.</p> <p>Nutzung nicht genutzter Beckeninventare durch Verschaltungsmöglichkeit der Notspeisebecken möglich.</p> <p>Anschlussmöglichkeiten im Notspeisesystem für externe Einspeisung an den Notspeisebecken und der Querverbindungsleitung RX14 vorhanden.</p>	<p>GKN-1:</p> <p>1205 m³ Deionatmenge für Speisewasser- und Notspeiseversorgung.</p> <p>Antrieb der Notspeisepumpen über Elektromotor.</p> <p>Mindestens 150%-Kapazität der An- und Abfahrpumpen für das schnelle sekundärseitige Abfahren mit 100 K/h.</p>
<p>Bewertungsmerkmal 6: „Reaktivitätsbegrenzung bei der Unterkühlungstransiente“</p>		
<p>Die beim analysierten, nicht absperrbaren 0,1F-FD-Leitungsleck innerhalb des SHB, bei dem es zum vollständigen Ausdampfen eines Dampferzeugers kommt, auftretende Unterkühlung deckt die Unterkühlung aller anderen sekundärseitigen Lecks oder Brüche bzw. FD-Abgaben über Ventile des Sekundärkreises hinsichtlich der Anforderungen zur Begrenzung der Rekritikalität ab.</p> <p>Laut Gutachten zur Sicherheitsstatusanalyse</p>	<p>Die beim analysierten, nicht absperrbaren 0,1F-FD-Leitungsleck innerhalb des SHB, bei dem es zum vollständigen Ausdampfen eines Dampferzeugers kommt, auftretende Unterkühlung deckt die Unterkühlung aller anderen sekundärseitigen Lecks oder Brüche bzw. FD-Abgaben über Ventile des Sekundärkreises hinsichtlich der Anforderungen zur Begrenzung der Rekritikalität ab.</p> <p>Laut SSA GKN-1, Kapitel 2.3.2.3 /4/ ist für die</p>	<p>Rekritikalitätsverhalten:</p> <p>GKN-2:</p> <p>Auch beim Ausdampfen von zwei Dampferzeugern kann durch die Aufborierung der Kern unterkritisch gehalten werden.</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<p>Konvoi /2/ kann der Kern auch beim Ausdampfen von zwei Dampferzeugern (Annahme: Versagen von zwei FD-Abschlussarmaturen am betroffenen DE und an einem weiteren) durch die Aufborierung unterkritisch gehalten werden.</p> <p>Von der GRS durchgeführte Sensitivitätsrechnungen zum 0,1F-FD-Leitungsleck innerhalb des Sicherheitsbehälters zeigen für GKN-2, dass es im Verlauf des Störfalls zu keinem Zeitpunkt zur Rekritikalität des Reaktors kommt. Die Maximalwerte für k_{eff} werden zwischen 600 s und 700 s nach Störfalleintritt erreicht /11/.</p>	<p>genehmigten Nachladekerne eine Rekritikalität nicht zu erwarten, da eine entsprechende Temperaturabsenkung eine derartige Volumenkontraktion zur Folge hat, die deutlich vor Erreichen der Kritikalität zur Borwassereinspeisung durch die Sicherheitseinspeisung führt.</p> <p>Gutachter bestätigt in /5/, dass eine fiktive Überkritikalität von 4,1 % unter Verwendung der Minimalwerte der Kühlmitteltemperatur und des Kühlmitteldruckes sowie konservativer hoher Massenstromdichte für den abdeckenden Fall des Bruchs von 2 FD-Leitungen aus Nulllast-heiß ermittelt wurde. Der Gutachter bestätigt ferner für die aktuellen Kernbeladungen, dass die Sicherheit gegen Filmsieden und Brennstoffzentralschmelzen gegeben ist, wenn die fiktive Überkritikalität nicht überschritten wird. Mit dem Wert der fiktiven Überkritikalität sind auch die Werte der Kühlmitteltemperatur, des Kühlmitteldruckes und der Massenstromdichte des 0,1F-Lecks konservativ abgedeckt.</p> <p>Laut Gutachter steht der Nachweis noch aus, dass das 0,1F-Leck die ungünstigste Leckgröße bezüglich der maximalen Unterkühlung darstellt /5/.</p>	<p>GKN-1:</p> <p>Eine fiktive Überkritikalität für den abdeckenden Fall des Bruchs von 2 FD-Leitungen aus Nulllast-heiß (Ausdampfen von zwei Dampferzeugern) wurde ermittelt. Mit dem Wert der fiktiven Überkritikalität sind auch die Werte der Kühlmitteltemperatur, des Kühlmitteldruckes und der Massenstromdichte des 0,1F-Lecks konservativ abgedeckt.</p> <p>Laut Gutachter steht der Nachweis noch aus, dass das 0,1F-Leck die ungünstigste Leckgröße bezüglich der maximalen Unterkühlung darstellt.</p> <p>Aufgrund der nicht bekannten Randbedingungen der für beide Anlagen durchgeführten Analysen ist eine vergleichende Bewertung des Rekritikalitätsverhaltens für beide Anlagen nicht möglich.</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<p>Aufborierung:</p> <p>Bei Abfall DH-Füllstand unter den Füllstandsgrenzwert (< 2,28 m) erfolgt automatische Anregung des Zusatzboriersystems (4 x 2 kg/s) in der Funktion Leckergänzung, d. h. Ansaugung aus den Flutbehältern (2200 ppm).</p> <p>Zusätzlich werden mit Erreichen des DH-Füllstandsgrenzwertes die Notkühlkriterien (NKK) ausgelöst, da bereits das „Δp“-Kriterium ansteht. Dadurch erfolgt unter Anderem das HD-Einspeisesignal (JR34) mit Flutsignalen (JR 32/38). Die HD-Sicherheitseinspeisepumpen (4 x 77 kg/s bei 1 bar Reaktorgegendruck) saugen aus den Flutbecken (4 x 450 t mit 2200 ppm) an und speisen in den PKL ein, wenn der PKL-Druck unter 110 bar fällt.</p> <p>Das Volumenregelsystem ist aufgrund des Primärkreisabschlusses (JR44) unverfügbar, es kann jedoch nach Teiltrücksetzen von JR44 zum Aufborieren wieder zugeschaltet werden.</p> <p>⇒ Boriermöglichkeiten durch automatische Auslösung über Zusatzboriersystem (JDH) und HD-Einspeisesystem (JND). Zusätzliche Boriermöglichkeit über KBC-System (Borsäure- und Deionateinspeisung) nur über Handmaßnahme nach Teiltrücksetzung Primärkreisabschluss möglich.</p>	<p>Aufborierung:</p> <p>Bei Abfall DH-Füllstand unter den Füllstandsgrenzwert (< 2,85 m) erfolgt automatische Anregung des Volumenregelsystems (TA) mit Ansaugung der 2 HD-Förderpumpen sowie der Abdrückpumpe (ca. 13,5 kg/s) aus den Flutbehältern TH10-30 (2200 ppm). Ansonsten erfolgt die Aufborierung mit maximaler Borkonzentration über Handmaßnahmen aus dem TB-System über TA (zwei Borsäure-Dosierpumpen in Betrieb mit Gesamtmassenstrom von ca. 8 kg/s; 7000 ppm).</p> <p>Die HD-Sicherheitseinspeisepumpen (4 x 55 kg/s bei 5 bar Reaktorgegendruck) saugen aus den Flutbehälterpaaren (4 x 215 t mit 2200 ppm) an und speisen in den PKL ein, wenn der PKL-Druck unter 110 bar fällt.</p> <p>⇒ Boriermöglichkeit mit dem Volumenregelsystem (TA) aus Flutbehältern, Chemikalieneinspeisesystem (TB) über Volumenregelsystem (TA) sowie Sicherheitseinspeisung (TH).</p>	<p>Aufborierung:</p> <p>GKN-2:</p> <p>Das viersträngige Zusatzboriersystem wird über DH-Füllstand < 2,28 m zur Leckergänzung (Ansaugen aus Flutbehältern mit 2200 ppm) gestartet.</p> <p>Die betriebliche Borierung über das KBC-System wird infolge des Primärkreisabschlusses abgetrennt. Es kann über eine Teiltrücksetzung des PKA mit anschließenden Handmaßnahmen zusätzlich wieder in Betrieb genommen werden.</p> <p>Boriergeschwindigkeit der automatischen Borierung über das Zusatzboriersystem für das Zyklusende ist 216 ppm/h.</p> <p>GKN-1:</p> <p>Kein Zusatzboriersystem vorhanden. Aufborierung erfolgt automatisch über das Volumenregelsystem mit Ansaugung aus den Flutbehältern TH10-30 (2200 ppm) oder per Handmaßnahme über Chemikalieneinspeisesystem in Verbindung mit dem Volumenregelsystem (7000 ppm).</p> <p>Boriergeschwindigkeit der automatischen Borierung für das Zyklusende ist 500 ppm/h.</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<p>Bei großen sekundärseitigen Lecks, die zu einer derart großen Unterkühlung führen, dass es zur Anregung der Notkühlkriterien kommt, wird die Aufborierung durch die Einspeisung der Sicherheitseinspeisepumpen aus den Flutbecken bestimmt.</p> <p>Max. Kapazität JDH (automatische Anregung):</p> <p>548 ppm/h bei Ausgangskonzentration von 1475 ppm Bor bzw. 691 ppm/h bei Ausgangskonzentration von 0 ppm Bor (Einspeisung von 4%iger Borsäure (7000 ppm) mit vier Strängen aus den Borierbehältern)</p> <p>Für Einspeisung mit 1,25 %iger Borsäure (2200 ppm) gilt (aus Umrechnung der o. g. Werte): ca. 171 ppm/h bei Ausgangskonzentration von 1475 ppm Bor bzw. ca. 216 ppm/h bei Ausgangskonzentration von 0 ppm Bor (Einspeisung mit vier Strängen)</p> <p>Max. Kapazität KBC (kann nach Primärkreisabschluss nur über Handmaßnahmen wieder zugeschaltet werden):</p> <p>792 ppm/h bei Ausgangskonzentration von 1475 ppm Bor bzw. 939 ppm/h bei Ausgangskonzentration von 100 ppm Bor (Einspeisung mit zwei Strängen) /9/.</p>	<p>Bei großen sekundärseitigen Lecks, die zu einer derart großen Unterkühlung führen, dass es zur Anregung der Notkühlkriterien kommt, wird die Aufborierung durch die Einspeisung der Sicherheitseinspeisepumpen aus den Flutbehältern bestimmt.</p> <p>Max. Kapazität TA (Automatisches Ansaugen aus Flutbehältern):</p> <p>158 ppm/h bei Ausgangskonzentration von 1500 ppm Bor bzw. 500 ppm/h bei Ausgangskonzentration von 0 ppm Bor (2 HD-Förderpumpen + Abdrückpumpe) /6/.</p> <p>Max. Kapazität TB:</p> <p>750 ppm/h bei Ausgangskonzentration von 1500 ppm Bor bzw. 950 ppm/h bei Ausgangskonzentration von 0 ppm Bor (Einspeisung mit zwei Strängen des TB-Systems) /6/.</p>	<p>GKN-2 und GKN-1:</p> <p>Der Grad der sich beim 0,1F-FD-Leck innerhalb des Reaktorgebäudes jeweils einstellenden Unterkühlung (auch abhängig von den Annahmen im Rahmen des Einzelfehlerkonzeptes) sowie deren Auswirkung auf das Reaktivitätsverhalten (Dauer und Ausmaß des Wiederkritischwerdens) sind bei beiden Anlagen ohne Störfall-Analyseergebnisse nicht zu bewerten.</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
Boranreicherung: Anreicherungsgrad B-10: 31,5 Atomprozent	Boranreicherung: Anreicherungsgrad B-10: 31,5 Atomprozent	
Bewertungsmerkmal 7: „Thermische Belastung des Kerns“		
Keine Informationen verfügbar.	Gutachter bestätigt in /5/, dass eine fiktive Überkritikalität von 4,1 % unter Verwendung der Minimalwerte der Kühlmitteltemperatur und des Kühlmitteldruckes sowie konservativer hoher Massenstromdichte für den abdeckenden Fall des Bruchs von 2 FD-Leitungen aus Nulllast-heiß ermittelt wurde. Der Gutachter bestätigt ferner für die aktuellen Kernbeladungen, dass die Sicherheit gegen Filmsieden und Brennstoffzentralschmelzen gegeben ist, wenn die fiktive Überkritikalität nicht überschritten wird. Mit dem Wert der fiktiven Überkritikalität sind auch die Werte der Kühlmitteltemperatur, des Kühlmitteldruckes und der Massenstromdichte des 0,1F-Lecks konservativ abgedeckt.	Auf Basis der vorliegenden Unterlagen sind für dieses Merkmal keine Aussagen zu relevanten Anlagenunterschieden möglich.

5 Bewertung

Nachfolgend werden für die oben genannten Bewertungsmerkmale die relevanten Anlagenunterschiede aufgelistet (Kapitel 5.1) und bewertet (Kapitel 5.2). Ein Fazit zur vergleichenden Bewertung der beiden Anlagen GKN-2 und GKN-1 hinsichtlich Unterkühlungstransienten wird in Kapitel 5.3 gegeben.

5.1 Relevante Anlagenunterschiede

Bewertungsmerkmal 4: „Sicherstellung sekundärseitige Wärmeabfuhr“

Die Kapazitäten der Abblaseregel- und Sicherheitsventile der Dampferzeuger sind für GKN-2 größer als für GKN-1. Durch die bei GKN-1 realisierte gestaffelte Druckabsicherung der Dampferzeuger unter Verwendung der 8%- und 100%-Sicherheitsventile liegt dort zum Einen eine diversitäre Druckabsicherung der Dampferzeuger vor. Zum Anderen ist durch die vorgelagerten 8%-Sicherheitsventile eine inhärente Begrenzung der Unterkühlung bei einem möglichen Fehloffenbleiben von Sicherheitsventilen gegeben.

Bewertungsmerkmal 5: „Sicherstellung Bespeisung der nicht betroffenen Dampferzeuger“

In GKN-2 sind leistungsbezogen um ca. 16 % größere Deionatmengen vorhanden.

Zudem sind dort die Antriebe der Notspeisepumpen durch die alternative Verwendung des Notspeisenotstromdiesels bzw. Elektromotors diversitär ausgeführt und die Querbespeisung der Dampferzeuger durch die Notspeisepumpen ist über Handmaßnahmen möglich.

In GKN-1 ist durch das Vorhandensein von drei notstromgesicherten An- und Abfahrpumpen eine größere Reserve für das schnelle sekundärseitige Abfahren mit den An- und Abfahrpumpen vorhanden.

Bewertungsmerkmal 6: „Reaktivitätsbegrenzung bei der Unterkühlungstransiente“

Die Anlage GKN-2 verfügt neben der betrieblichen Borierung über das Volumenregelsystem zusätzlich über das viersträngige Zusatzboriersystem. Ersteres wird beim Ereignisablauf durch den Primärkreisabschluss unwirksam, und kann nur über Handmaßnahmen später wieder zugeschaltet werden. Dagegen ist in der Anlage GKN-1 nur die Borierung über das Volumenregelsystem möglich, wobei bei automatischer Anregung durch den Reaktorschutz aus drei Flutbehälterpaaren des Not- und Nachkühlsystems angesaugt wird. Mittels Handmaßnahmen kann aber auch über das Chemikalien-einspeise-System (TB-System) und Volumenregelsystem (TA) aus den Borbehältern (7000 ppm) in den Primärkreislauf gefördert werden. Bei beiden Anlagen sind die über Handmaßnahmen zuzuschaltenden Boriermöglichkeiten nur langfristig relevant, da es nur wenige Minuten nach Störfallbeginn bereits zur Einspeisung der Sicherheitseinspeisepumpen kommt, die hinsichtlich der Aufborierung aufgrund ihrer größeren Einspeisekapazität führend ist.

In GKN-2 werden bei der automatischen Aufborierung aus den Flutbehältern geringere Aufborierungsgeschwindigkeiten als in der Anlage GKN-1 erreicht. Bei zusätzlicher Nutzung der über Handmaßnahmen zuschaltbaren Boriermöglichkeiten ergeben sich für GKN-2 im Vergleich zu GKN-1 dagegen größere Aufborierungsgeschwindigkeiten. Ferner besitzt die Anlage GKN-2 größere Borwasser-Vorräte in den Flutbecken des Not- und Nachkühlsystems, auch bei Berücksichtigung der höheren thermischen Leistung und des größeren Primärkreisvolumens.

5.2 Bewertung der relevanten Anlagenunterschiede**Bewertungsmerkmal 4: „Sicherstellung sekundärseitige Wärmeabfuhr“**

Hinsichtlich der Kapazitäten der Abblaseregel- und Sicherheitsventile der Dampferzeuger weist die Anlage GKN-2 größere Reserven auf.

Die diversitäre Druckbegrenzung der Dampferzeuger sowie die durch die 8%-Sicherheitsventile vorhandene inhärente Begrenzung der Unterkühlung bei Fehloffenbleiben von Sicherheitsventilen ist als Vorteil für GKN-1 anzusehen.

Aus den einzelnen Unterschieden zu diesem Bewertungsmerkmal 4 ergibt sich kein eindeutiger Vorteil für eine der beiden Anlagen.

Bewertungsmerkmal 5: „Sicherstellung Bespeisung der nicht betroffenen Dampferzeuger“

In GKN-2 sind – auch bei Berücksichtigung der höheren thermischen Reaktorleistung – größere Deionatmengen für die Bespeisung bzw. Notbespeisung der Dampferzeuger vorhanden. Zudem verfügt die Anlage über diversitäre Antriebe der Notspeisepumpen und die Möglichkeit der Querbespeisung der Dampferzeuger durch die Notspeisepumpen.

GKN-1 verfügt über größere systemtechnische Reserven für das schnelle sekundärseitige Abfahren mit den An- und Abfahrpumpen.

Aufgrund der größeren Deionatmengen ist bei diesem Bewertungsmerkmal 5 von einem Vorteil für GKN-2 auszugehen.

Bewertungsmerkmal 6: „Reaktivitätsbegrenzung bei der Unterkühlungstransiente“

Aufgrund der nicht bekannten Randbedingungen der für beide Anlagen durchgeführten Analysen ist eine vergleichende Bewertung des Rekritikalitätsverhaltens im Verlauf der Transiente für beide Anlagen nicht möglich.

Einen grundsätzlichen Vorteil für GKN-2 stellt das viersträngige Zusatzboriersystem dar, wodurch eine als Sicherheitssystem klassifizierte Einrichtung mit vier Redundanzen sowie den entsprechenden Anforderungen an die Auslegung und Qualität der passiven und aktiven Komponenten zu Verfügung steht.

Die Anlage GKN-1 erreicht bei der automatischen Borierung aus den Flutbehältern höhere Boriergeschwindigkeiten als GKN-2. Dagegen steht – bei gleichzeitiger Ausnutzung der automatischen und manuellen zuschaltbaren Aufborierung – eine größere maximal mögliche Boriergeschwindigkeit für GKN-2. Zudem weist die Anlage GKN-2 leistungsbezogen höhere Borwasservorräte im Not- und Nachkühlsystem auf.

Insgesamt ist daher hinsichtlich der Reserven zur Sicherstellung der langfristigen Unterkritikalität von einem Vorteil für GKN-2 auszugehen.

5.3 Fazit

Hinsichtlich der Vermeidung einer Rekritikalität im Verlauf der Unterkühlungstransiente war im Rahmen dieser Untersuchung keine vergleichende Bewertung möglich. Bezüglich der Reserven zur Sicherstellung der langfristigen Unterkritikalität besteht ein Vorteil für GKN-2. Ein weiterer Vorteil ergibt sich für GKN-2 aufgrund der größeren Deionatmengen bei der Sicherstellung der Bespeisung der nicht betroffenen Dampferzeuger.

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
- /RSK 81/ RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren. , 3. Ausgabe vom 14. Oktober 1981.



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH



Sicherheitstechnische
Überprüfung von Anla-
gen zu ausgewählten An-
forderungen und Ereig-
nissen im Rahmen von
Anträgen zur Rest-
strommengenübertragung

Teil 1: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 22:

„Leck am Anschlussstutzen
der Hauptkühlmitteleitung am
Reaktordruckbehälter“

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 1: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 22:
„Leck am Anschlussstutzen der
Hauptkühlmitteleitung am Reaktordruckbehälter“

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	5
3	Verwendete Unterlagen	7
4	Anlagenvergleich	9
5	Bewertung.....	19
5.1	Relevante Unterschiede	19
5.2	Bewertung der relevanten Unterschiede	20
5.3	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 22 „Leck am Anschlussstutzen der Hauptkühlmitteleitung am Reaktordruckbehälter“ behandelt. Dies ist ein Ereignis der Sicherheitsebene 3.

2 Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale

2.1 Beschreibung des Ereignisablaufes

Der Ereignisablauf bei einem Leck am Anschlussstutzen der Hauptkühlmittelleitung am Reaktordruckbehälter entspricht im Hinblick auf die systemtechnischen Abläufe dem Ablauf bei Auftreten eines Lecks an der Hauptkühlmittelleitung. Die Behandlung des Ereignisablaufs bis zum Übergang in den Sumpfbetrieb erfolgt im Rahmen der Bewertungsgegenstände 12 und 13. Im Rahmen des Bewertungsgegenstandes 22 wird lediglich der Aspekt der gesicherten Sumpfansaugung unter besonderer Berücksichtigung von Totvolumina im Sicherheitsbehälter betrachtet.

Bei Auftreten eines Lecks an der Hauptkühlmittelleitung bei Leistungsbetrieb sinken der Druck im Primärkreis und der Füllstand im Druckhalter. Über eines der Kriterien „Differenzdruck Anlagen- oder Betriebsräume/Atmosphäre > 30 mbar“ oder „KMD < 135 bar (GKN-2: 132 bar) und Reaktorleistung > 12 %“ oder „DNB¹ $< 1,18$ “ oder „Druckhalter-Füllstand $< 2,85$ m (GKN-2: 2,28 m) und KMD < 145 bar“ werden Reaktor-schnellabschaltung/Turbinenschnellabschaltung (RESA und TUSA) ausgelöst.

Sofern die Spannung auf den 6 kV-Notstromschienen $< 4,8$ kV (GKN-2: Spannung auf den 10 kV-Notstromschienen $< 8,4$ kV) oder die Frequenz $< 47,2$ Hz beträgt, wird der Start der zugehörigen Notstromdiesel ausgelöst und die Notstromverbraucher werden zunächst ab- und danach gestaffelt wieder zugeschaltet.

Über die Kriterien „KMD < 132 bar“ und „Druckdifferenz Reaktorsicherheitsbehälter (SHB)/Atmosphäre > 30 mbar“ wird das sekundärseitige Abfahren der Anlage mit 100 K/h eingeleitet und die Wärme wird über die Frischdampfumleitstation (FDU) bzw. (bei zusätzlich unterstelltem Notstromfall) über die Frischdampf (FD)-Abblaseventile abgeführt. Die Dampferzeuger werden nach RESA über die Schwachlastregelventile der Hauptspeisewasserpumpen bzw. bei deren Ausfall über die An- und Abfahrpumpen bespeist.

¹ „departure from nucleate boiling“, Filmsiedeabstand

Nach dem Anstehen von 2 v 3 der Notkühlkriterien („KMD < 110 bar“, „Druckdifferenz Anlagen- oder Betriebsräume gegen Atmosphäre > 30 mbar“, „Druckhalter Füllstand < 2,85 m (GKN-2: 2,28 m)“) erfolgt das Durchschalten des Einspeisewegs von den Flutbehältern und Druckspeichern zum Reaktorkühlkreislauf (RKL), das Zuschalten der Hochdruck-Sicherheitseinspeisepumpen, das Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen, die Aktivierung der Nachkühlketten zur Kühlung der sicherheitstechnisch wichtigen Pumpen, der Gebäudeabschluss der verschiedenen Systeme sowie der Start der Boreinspeisung durch das Volumenregelsystem (GKN-1) bzw. das Zusatzboriersystem (GKN-2).

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, wobei die in den „kalten Strang“ des RKL einspeisenden Druckspeicher nach 700 s (GKN-2: 500 s) durch das Reaktorschutzsystem abgesperrt werden. 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 KMD < 10 bar werden zusätzlich zu den bereits laufenden HD-Pumpen die Nachkühlpumpen des nuklearen Not- und Nachkühlsystems (ND-Pumpen) zur Sicherstellung der Füllstandshaltung im RDB zugeschaltet. Die ND-Pumpen saugen aus den Flutbehältern an und speisen das Wasser in den RKL. Über die Sumpfsignale, die durch das Kriterium „Flutbehälter-Füllstand < 0,80 m (GKN-2: 0,5 m)“ in den einzelnen Teilsystemen anstehen, werden die ND-Pumpen saugseitig auf den Sumpf des SHB umgeschaltet und die HD-Pumpen abgesteuert. Weiterhin wird die Boreinspeisung über das Volumenregel- bzw. das Zusatzboriersystem abgesteuert. Das von den Pumpen angesaugte Sumpfwasser wird in den Nachwärmekühlern abgekühlt, um eine unterkühlte Ausströmung aus dem Leck sicherzustellen und den Sumpf abzukühlen. Langfristig bleibt, je nach Leckgröße, entweder diese Schaltung erhalten, bei der die Nachkühlpumpen aus dem Sumpf des SHB ansaugen oder es wird, bei von den Notkühlssystemen überspeisbaren Lecks, auf Nachkühlbetrieb mit Leckageergänzung aus dem Sumpf geschaltet und die Nachzerfallsleistung und Speicherwärme über die nukleare Nachkühlkette (Not- und Nachkühlsystem, Zwischenkühl-, Nebenkühlwassersystem) abgeführt.

Zur Sicherstellung eines anforderungsgerechten Sumpfbetriebs ist im SHB dauerhaft ein ausreichendes Sumpfwasserinventar bzw. ein ausreichender Sumpffüllstand zu

gewährleisten. Hierbei ist zu beachten, dass bei Kühlmittelverlust (KMV) Störfällen „Wasserverluste“ zu berücksichtigen sind, d.h. nicht das gesamte aus dem Leck ausströmende Wasser fließt dem SHB Sumpf zu /GKN1 05/, /GKN2 06/. Ein Teil des ausströmten Wassers verbleibt zunächst als Dampf im Containment oder wird als Flüssigkeitsfilm auf den SHB Oberflächen bzw. in Form von Pfützen im SHB zurückgehalten. Bedeutsam ist weiterhin die Wasserrückhaltung in sog. „Totvolumina“, d.h. Räumlichkeiten, die keine Verbindung zum SHB Sumpf haben. Das größte hierbei vorhandene Totvolumen ist in beiden Anlagen die Reaktorgrube. Sie umfasst in GKN-1 ca. 97 m³ /AREVA 05/ und in GKN-2 ca. 170 m³ /AREVA 06/. Die Reaktorgrube kann sich bei Lecks am Anschlussstutzen der Hauptkühlmittelleitung am Reaktordruckbehälter (RDB) bzw. bei RDB- Lecks mit Kühlmittel füllen. Der Zeitraum, der zum Auffüllen der Reaktorgrube benötigt wird, hängt neben dem Volumen der Reaktorgrube und dem zeitlichen Verlauf der Leckausströmung auch von der Strömungsaufteilung in dem die Hauptkühlmittelleitung am RDB umgebenden Doppelrohr ab. Bei gefüllter Reaktorgrube läuft das Kühlmittel in den Ringspalt über. Die in GKN-2 erforderliche Druckdifferenz zum Öffnen der wasserdichten Überströmklappen im Tragschild in Höhe von 50 mbar wird in /AREVA 06/ in Form eines zusätzlichen Totvolumens in Höhe von 8,5 m³ berücksichtigt. In GKN-1 findet gemäß /AREVA 05/ in jedem Fall ein Wasseraustausch zwischen dem Ringspalt und dem Sumpf statt.

Bei der Bilanzierung des Sumpffüllstandes ist zu beachten, dass der Masseninhalte des Primärkreises aufgrund der Volumenkontraktion des Kühlmittels bei überspeisbaren Lecks ansteigen kann, d.h. es können auch „Wasserverluste“ durch zusätzliche Kühlmittelspeicherung im Primärkreis auftreten.

Isoliermaterialablagerungen auf den Sumpfsieben sind für Lecks am Anschlussstutzen der Hauptkühlmittelleitung am Reaktordruckbehälter nicht relevant, da geometrisch bedingt vom ausströmenden Kühlmittel keine Isolierungen abgelöst werden.

2.2 Bewertungsmerkmale

Für die vergleichende Bewertung werden die folgenden Bewertungsmerkmale herangezogen:

1. Vermeidung von Luftansaugung durch die Nachkühlpumpen;
2. Sicherheit der Nachkühlpumpen gegen Kavitation;
3. Zur Ereignisbeherrschung zusätzlich verfügbare Maßnahmen und Einrichtungen

Die Bewertungsmerkmale 1 und 2 ergeben sich aus der Notwendigkeit, den langfristigen Betrieb der Nachkühlpumpen im Sumpfbetrieb sicherzustellen und sind in der RSK Stellungnahme /RSK 05/ enthalten. Als Nachweiskriterien für einen ausreichenden Sumpffüllstand zur Vermeidung von Luftansaugung durch Hohlwirbelbildung sind aus Sicht der RSK heranzuziehen:

- Sumpffüllstände oberhalb von Werten, für die im Rahmen übertragbarer Versuche eine Ansaugung ohne Lufteintrag gezeigt werden konnte

oder, falls übertragbare Versuche nicht vorliegen,

- Sumpffüllstände oberhalb der durch die so genannte ANSI-Formel² vorgegebenen Werte.

Für den Relativvergleich zweier Anlagen ist die Wahl des Bezugspunktes für die Vermeidung der Luftansaugung nicht erheblich. Daher wird im folgenden Anlagenvergleich als Kriterium der „Sumpffüllstand über Unterkante Sumpfkammerdecke“ herangezogen.

Hinsichtlich der Vermeidung von Kavitation (Bewertungsmerkmal 2) wird in der RSK-Stellungnahme in Bezug auf die Nachweisführung gefordert, dass die NPSH (Net Positive Suction Head) Reserve unter Auslegungsbedingungen (kein Überdruck im SHB,

² Die ANSI-Formel liefert Werte für die erforderliche Überdeckung der Sumpfsaugstutzen zur Vermeidung von Luftansaugung infolge Hohlwirbelbildung in Abhängigkeit von der Ansauggeschwindigkeit.

Sättigungstemperatur des Sumpfwassers, Druckverlust über die Sumpfsiebe vernachlässigbar) > 0 sein muss. Falls im Einzelfall eine vorübergehende Kavitation oder Hohlwirbelbildung nicht ausgeschlossen werden kann, sind diese gemäß /RSK 05/ in Hinblick auf Zulässigkeit unter Berücksichtigung weiterer Erkenntnisse zu bewerten (z. B. pumpenspezifische Versuche mit Betrieb bei Kavitation).

Das Sumpfwasserinventar kann durch Handmaßnahmen positiv oder negativ beeinflusst werden. So kann bei kleinen Lecks das Absperren der heißseitigen Druckspeicher von Hand (zum Zwecke der Primärkreisdruckabsenkung) im Verlauf des Störfalls zu einer Verminderung des Sumpfwasserinventars führen. Andererseits bewirkt das verfügbar machen von nicht automatisch eingespeisten Notkühlwasservorräten eine Erhöhung des Sumpfinventars. Gemäß /TÜV 06/ wurde im Hinblick auf Maßnahmen, die den Sumpffüllstand negativ beeinflussen (Absperren der Druckspeicher, Auffüllen des Druckhalters), das BHB von GKN-1 geändert und für GKN-2 eine ergänzende Schichtanweisung erstellt. Da uns diese Schichtanweisungen nicht vorliegen, wird im Folgenden auf den in /AREVA 06/ und /AREVA 05/ behandelten automatisierten Ereignisablauf Bezug genommen. Lediglich im Rahmen von Bewertungsmerkmal 3 werden zusätzliche Handmaßnahmen in Betracht gezogen, die zu einer Erhöhung des Sumpfwasserinventars führen können.

In /AREVA 05/ und /AREVA 06/ werden folgende Leckspektren betrachtet:

- Leckgrößen GKN-1: 10 cm² bis 200 cm²;
- Leckgrößen GKN-2: 10 cm² bis 400 cm².

Um Vergleichbarkeit zu gewährleisten, werden im Rahmen des Anlagenvergleichs für GKN-2 nur Leckgrößen bis 200 cm² betrachtet.

3 Verwendete Unterlagen

Die folgenden Unterlagen wurden für den Anlagenvergleich herangezogen:

- Unterlagen der Kategorie 1

/AREVA 06/	AREVA; GKN II: Sumpffüllstand nach KMV bei unterstellter Lecklage am RDB-Stutzen; Arbeitsbericht NGPS6/2005/de/0039 Rev. A; 28.02.2006
/AREVA 05/	AREVA; GKN I: Sumpffüllstand nach KMV bei unterstellter Lecklage am RDB-Stutzen; Arbeitsbericht NGPS6/2005/de/0052 Rev. B; 07.07.2005
/BHB-GKN1/	Betriebshandbuch GKN-1, Stand 26.03.2007
/BHB-GKN2/	Betriebshandbuch GKN-2, Stand 26.03.2007
/GKN1-SB-TA/	GKN 1 ; Systembeschreibung TA (Volumenregelsystem), Index c
/GKN1-SB-TH/	GKN 1 ; Systembeschreibung TH (Nukleares Nachkühlsystem), Index f
/GKN2-SB-JN/	GKN 2 ; Systembeschreibung JN, FAK (Nukleares Nachwärmeabfuhrsystem, BE-Beckenkühlsystem, Index d (TECDO)
/GKN2-SB-JDH/	GKN 2 ; Systembeschreibung JDH (Zusatzboriersystem), Index d (TECDO)
/GKN1 05/	EnBW Kernkraft GmbH; Begehungsbericht GKN I; ZS / 2005 / 01; 20.09.2005
/GKN2 06/	EnBW Kernkraft GmbH; Begehungsbericht GKN II; ZS / 2006 / 01; 01.03.2006
/SSA GKN1/	Siemens, Sicherheitsstatusanalyse für das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block I, Stand August 1996, Bd. 1 von 3

- Unterlagen der Kategorie 2

/RSK 05/	RSK; Empfehlung: Beherrschung eines Kühlmittelverluststörfalls bei DWR unter Berücksichtigung von Totvolumina im Reaktorsicherheitsbehälter – technisch-naturwissenschaftliche Aspekte; 10.11.2005
----------	--

- Unterlagen der Kategorie 3

/TÜV 06/ TÜV SÜD Energietechnik; KMV-Nachweisführung – Gesicherte Sumpfan-
saugung: Erfüllung der RSK-Anforderungen 388. Sitzung; Präsentation auf
der 40. Sitzung des RSK-Ausschusses AST am 13.06.2006

4 Anlagenvergleich

Im Rahmen des Anlagenvergleichs erfolgt zunächst, den Bewertungsmerkmalen vorgeschaltet, eine Darstellung der vorhandenen Notkühlwasservorräte und automatischen Einspeisemöglichkeiten. Sodann wird die Masse des bei verschiedenen Leckgrößen eingespeisten Notkühlwassers in Abhängigkeit von der Zahl der verfügbaren Notkühlstränge angegeben. Die Basis bilden die Angaben in /ARVEA 05/ und /AREVA 06/, die von der Verfügbarkeit von zwei Notkühlsträngen ausgehen.

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
Vorhandene Notkühlwasservorräte und Einspeisemöglichkeiten		
Flutbehältereinspeisung <ul style="list-style-type: none"> – <u>Zahl der Flutbecken:</u> 4 – <u>Wasserinventar Flutbecken:</u> 450 m³ /GKN2-SB-JN/; Angesetzt in Analysen zur Ermittlung des minimalen Sumpffüllstandes /AREVA 06/: 450 m³ – <u>Verfügbare Einspeisemöglichkeiten je Flutbecken:</u> <ul style="list-style-type: none"> – eine HD-Si-Einspeisung (Förderstrom der Pumpe bei 30 bar Reaktorgegendruck ca. 62,5 kg/s) /GKN2-SB-JN/ – eine ND- Einspeisung (Förderstrom der Pumpe bei 1,8 bar Reaktorgegendruck ca. 340 l/s, davon Mindestmenge ca. 40 l/s) /GKN2-SB-JN/ – eine JDH Zusatzborierpumpe (Förderstrom pro Pumpe 2 kg/s) /GKN2-SB-JDH/. 	Flutbehältereinspeisung <ul style="list-style-type: none"> - <u>Zahl der Flutbehälterpaare:</u> 4 – <u>Wasserinventar je Flutbehälterpaar:</u> 215 m³ /GKN1-SB-TH/; Angesetzt in Grenzfallanalyse (20 cm² Leck) zur Ermittlung des minimalen Sumpffüllstandes /AREVA 05/: 207 m³ – <u>Verfügbare Einspeisemöglichkeiten je Flutbehälterpaar:</u> <ul style="list-style-type: none"> – eine HD-Si-Einspeisung (Förderstrom der Pumpe bei 30 bar RKL Gegendruck ca. 45 kg/s) /GKN1-SB-TH/ – eine ND-Einspeisung (Förderstrom der Pumpe ca. 190 l/s) /GKN1-SB-TH/ – Flutbehälter 0 TH10 B001/002: Abdrückpumpe 1TA45 D001 (Förderstrom 1,44 kg/s) – Flutbehälter 0 TH20 B001/002: HD-Förderpumpe 2TA42 D001 (Förder- 	<p>Kein relevanter Unterschied.</p> <p>Relevanter Unterschied: Die Unterschiede im verfügbaren Wasserinventar kommen bei Bewertungsmerkmal 1 und 2 zum Tragen.</p> <p>Relevanter Unterschied: GKN-1: zusätzlich vorhandene Einspeisemöglichkeiten mit der Abdrückpumpe und den HD-Förderpumpen GKN-2: zusätzlich vorhandene Einspeisemöglichkeiten mit den Zusatzborierpumpen (JDH)</p> <p>Bei vorhandener HD-Si- und ND-Einspeisung spielt die pro Flutbecken / Flutbehälterpaar zusätzlich vorhandene Einspeisung durch die Abdrückpumpen und die HD-Förderpumpen (GKN-1) bzw. die Zusatzborierpumpen (GKN-2) aufgrund ihrer im Vergleich geringen Förderka-</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<p>Es erfolgt eine gesonderte Versorgung der Zusatzborierpumpen über das Notspeise Notstromnetz, sie wären somit von einem Ausfall von Notstromdieseln nicht betroffen.</p>	<p>strom 6,25 kg/s)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Flutbehälter 0 TH30 B001/002: HD-Förderpumpe 3TA41 D001 (Förderstrom 6,25 kg/s) /GKN1-SB-TA/, /BHB-GKN1 2-3.7.16/ <p>Die Stromversorgung der Abdrückpumpe und der HD-Förderpumpen erfolgt im Notstromfall über die Notstromdiesel der TH Redundanzen 1 bis 4.</p>	<p>pazität eine untergeordnete Rolle.</p> <p>Die in GKN 1 zusätzlich vorhandenen Einspeisemöglichkeiten mit der Abdrückpumpe und den HD- Förderpumpen werden im Notstromfall bei Ausfall von Notstromdieseln nicht wirksam, da diese Pumpen dann nicht unabhängig von der HD- und ND-Einspeisung zur Verfügung stehen. Die JDH Pumpen in GKN-2 sind demgegenüber auch unter diesen Bedingungen wirksam.</p> <p>Dieser für den Notstromfall relevante Unterschied kommt bei Bewertungsmerkmal 1 und 3 zum Tragen.</p>
<p>Druckspeichereinspeisung</p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>Zahl der heißseitigen Druckspeicher (DS): 4</u> Wasserinventar je DS: 34 m³ - <u>Zahl der kaltseitigen Druckspeicher: 4</u> Wasserinventar je DS: 34 m³ Absperrung 500 s nach Auslösung der Notkühlkriterien durch Reaktorschutz/GKN2-SB-JN/; 	<p>Druckspeichereinspeisung</p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>Zahl der heißseitigen Druckspeicher (DS): 3</u> Wasserinventar je DS: 50 m³ (gemäß /SSA GKN1/: 45 m³) - <u>Zahl der kaltseitigen Druckspeicher: 3</u> Wasserinventar je DS: 34 m³ Absperrung 700 s nach Auslösung der Notkühlkriterien durch Reaktorschutz /GKN1-SB-TH/; 	<p>Die je Druckspeicher eingespeiste Wassermasse zum Zeitpunkt der Sumpfschaltung bzw. des minimalen Sumpffüllstandes ist abhängig von der Leckgröße. Anlagenspezifische Unterschiede, die sich hierbei ergeben, kommen bei Bewertungsmerkmal 1 und 2 zum Tragen.</p>
<p>Gesamteinspeisung</p> <p>Als Analyserandbedingung angesetzt wird in /AREVA 06/ der Notstromfall mit Unverfügbarkeit von zwei Notstromdieseln (Instandhaltung und Einzelfehler). Dies führt dazu, dass in /AREVA 06/ zwei HD-Si- und ND- Einspeisestränge nicht zur Verfügung stehen (das Wasserinventar der zugehörigen Flutbecken wird allerdings langfristig über die JDH-Pumpen mit einer Einspeiserate pro Flutbecken in Höhe von 2 kg/s eingespeist).</p>	<p>Gesamteinspeisung</p> <p>Als Analyserandbedingung angesetzt wird in /AREVA 05/ der Notstromfall mit Unverfügbarkeit von zwei Notstromdieseln (Instandhaltung/-setzung von 4EY94 und Einzelfehler von 1EY91; Notstromdiesel 0EY95 bleibt unberücksichtigt). Dies führt dazu, dass in /AREVA 05/ zwei HD-Si- und ND-Einspeisestränge nicht zur Verfügung stehen.</p>	<p>Die unterschiedlichen Bezugszeitpunkte (GKN-2: minimaler Sumpffüllstand, GKN-1: Sumpfschaltung) stellen keinen relevanten Unterschied dar, da in GKN-1 nach Sumpfschaltung eine nur geringfügige zusätzliche Einspeisung durch die Druckspeicher wirksam wird.</p> <p>Die Unterschiede in den Gesamteinspeisungen kommen bei Bewertungsmerkmal 1 und 2 zum Tragen.</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<p>Nachfolgend werden Gesamteinspeisungen zum Zeitpunkt des minimalen Sumpffüllstandes für ein bis vier verfügbare HD-Si- und ND-Einspeisestränge angegeben. Die Werte für zwei verfügbare HD-Si- und ND-Einspeisestränge stammen aus /AREVA 06/. Die Werte für ein, drei und vier verfügbare HD-Si- und ND-Einspeisestränge sind von uns ermittelt worden. Hierbei sind die Randbedingungen aus /AREVA 06/ zum zeitlichen Verlauf der Einspeisung (relevant für die Einspeisung mittels JDH), zum Füllungsgrad des Primärkreises und zur Druckspeichereinspeisung zu Grunde gelegt worden. Diese Randbedingungen entsprechen einer Einspeisung mit zwei verfügbaren HD-Si- und ND-Einspeisesträngen, d.h. Einflüsse, die sich aus der Zahl der verfügbaren HD-Si- und ND-Einspeisestränge ergeben, sind nicht berücksichtigt.</p> <p>Bis zum Zeitpunkt des minimalen Sumpffüllstandes werden je nach Leckgröße (10 – 200 cm²) und in Abhängigkeit von der Zahl der verfügbaren HD-Si- und ND- Einspeisestränge folgende Massen Notkühlwasser eingespeist:</p> <p><u>1 verfügbarer HD-Si- und ND-Einspeisestrang:</u> 554 bis 604 Mg</p> <p><u>2 verfügbare HD-Si- und ND-Einspeisestränge:</u> 984 bis 1037 Mg</p> <p><u>3 verfügbare HD-Si- und ND-Einspeisestränge:</u> 1414 bis 1471 Mg</p> <p><u>4 verfügbare HD-Si- und ND-Einspeisestränge:</u> 1842 bis 1905 Mg</p>	<p>Nachfolgend werden Gesamteinspeisungen zum Zeitpunkt der Sumpfumschaltung für ein bis vier verfügbare HD-Si- und ND-Einspeisestränge angegeben. Die Werte für zwei verfügbare HD-Si- und ND- Einspeisestränge stammen aus /AREVA 05/. Die Werte für ein, drei und vier verfügbare HD-Si- und ND-Einspeisestränge sind von uns ermittelt worden. Hierbei sind die Randbedingungen aus /AREVA 05/ zur Druckspeichereinspeisung zu Grunde gelegt worden. Diese Randbedingungen entsprechen einer Einspeisung mit zwei verfügbaren HD-Si- und ND-Einspeisesträngen, d.h. Einflüsse, die sich aus der Zahl der verfügbaren HD-Si- und ND-Einspeisestränge ergeben, sind nicht berücksichtigt.</p> <p>Bis zum Zeitpunkt der Sumpfumschaltung werden je nach Leckgröße (10 – 200 cm²) und in Abhängigkeit von der Zahl der verfügbaren HD-Si- und ND- Einspeisestränge folgende Massen Notkühlwasser eingespeist:</p> <p><u>1 verfügbarer HD-Si- und ND-Einspeisestrang:</u> 274 bis 419 Mg</p> <p><u>2 verfügbare HD-Si- und ND-Einspeisestränge:</u> 481 bis 634 Mg</p> <p><u>3 verfügbare HD-Si- und ND-Einspeisestränge:</u> 688 bis 849 Mg</p> <p><u>4 verfügbare HD-Si- und ND-Einspeisestränge:</u> 895 bis 1064 Mg</p>	

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
Bewertungsmerkmal 1: Vermeidung von Luftansaugung durch die Nachkühlpumpen		
<p>Einhaltung des Kriteriums „Sumpffüllstand über Unterkante Sumpfkammerdecke“</p> <p>In /AREVA 06/ wird der minimale Sumpffüllstand für zwei verfügbare HD-Si- und ND- Einspeisestränge angegeben.</p> <p>Nachfolgend wird zusätzlich der minimale Sumpffüllstand für ein sowie für drei bzw. vier verfügbare HD-Si- und ND-Einspeisestränge aufgeführt. Diese zusätzlichen Werte sind von uns ermittelt worden. Hierbei sind die o. g. Gesamteinspeisungen angesetzt und die Randbedingungen aus /AREVA 06/ zum Füllungsgrad des Primärkreises zu Grunde gelegt worden. Der Füllungsgrad entspricht einer Einspeisung mit zwei verfügbaren HD-Si- und ND- Einspeisesträngen, d.h. Einflüsse, die sich aus der Zahl der verfügbaren HD-Si- und ND- Einspeisestränge ergeben, sind nicht berücksichtigt.</p> <p>Zum Zeitpunkt des minimalen Sumpffüllstandes ergeben sich je nach Leckgröße und in Abhängigkeit von der Zahl der verfügbaren HD-Si- und ND-Einspeisestränge folgende Intervalle hinsichtlich der Überdeckungen der Sumpfdeckenunterkante (Berechnung gemäß Formel 10.3.2 in /AREVA 06/ bei einer Sumpfwassertemperatur von 50 °C):</p> <p><u>1 verfügbarer HD-Si- und ND- Einspeisestrang:</u> Überdeckung der Sumpfdeckenunterkante wird bei keiner Leckgröße (10 – 200 cm²) erreicht</p> <p><u>2 verfügbare HD-Si- und ND-Einspeisestränge:</u> 1,17 m (40 cm² Leck) bis 1,24 m (100 cm² Leck)</p>	<p>Einhaltung des Kriteriums „Sumpffüllstand über Unterkante Sumpfkammerdecke“</p> <p>In /AREVA 05/ wird der minimale Sumpffüllstand für zwei verfügbare HD-Si- und ND- Einspeisestränge angegeben.</p> <p>Nachfolgend wird zusätzlich der minimale Sumpffüllstand für ein sowie für drei bzw. vier verfügbare HD-Si- und ND-Einspeisestränge aufgeführt. Diese zusätzlichen Werte sind von uns ermittelt worden. Hierbei sind die o. g. Gesamteinspeisungen angesetzt und die Randbedingungen aus /AREVA 05/ zum Füllungsgrad des Primärkreises zu Grunde gelegt worden. Der Füllungsgrad entspricht einer Einspeisung mit zwei verfügbaren HD-Si- und ND- Einspeisesträngen, d.h. Einflüsse, die sich aus der Zahl der verfügbaren HD-Si- und ND- Einspeisestränge ergeben, sind nicht berücksichtigt.</p> <p>Zum Zeitpunkt des minimalen Sumpffüllstandes ergeben sich je nach Leckgröße und in Abhängigkeit von der Zahl der verfügbaren HD-Si- und ND-Einspeisestränge folgende Intervalle hinsichtlich der Überdeckungen der Sumpfdeckenunterkante (Abschätzung gemäß Abbildung 7 in /AREVA 05/ bei einer Sumpfwassertemperatur von 50 °C):</p> <p><u>1 verfügbarer HD-Si- und ND- Einspeisestrang:</u> Überdeckung der Sumpfdeckenunterkante wird bei keiner Leckgröße (10 – 200 cm²) erreicht</p> <p><u>2 verfügbare HD-Si- und ND-Einspeisestränge:</u> 0,21 m (20 cm² Leck) bis 0,69 m (200 cm² Leck)</p>	<p>Relevanter Unterschied:</p> <p>Das Kriterium „Überdeckung der Sumpfdeckenunterkante“ kann bei lediglich einem verfügbaren HD-Si- und ND-Einspeisestrang bei Leckgrößen bis 200 cm² in beiden Anlagen nicht eingehalten werden. Bei zwei und mehr verfügbaren HD-Si- und ND-Einspeisesträngen wird das Kriterium in beiden Anlagen eingehalten, bei gleichen unterstellten Systemverfügbarkeiten in GKN-2 durchgehend mit höheren Reserven als in GKN-1.</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<p><u>3 verfügbare HD-Si- und ND-Einspeisestränge:</u> 1,94 m (40 cm² Leck) bis 2,03 m (100 cm² Leck)</p> <p><u>4 verfügbare HD-Si- und ND-Einspeisestränge:</u> 2,65 m (20 cm² Leck) bis 2,73 m (100 cm² Leck)</p> <p>Erfolgt eine langsamere Auffüllung der Reaktorgrube (gemäß /AREVA 06/ ist realistischerweise mit einem Wert von < 2 % für den in die Reaktorgrube fließenden Massenstromanteil zu rechnen anstatt der in /AREVA 06/ unterstellten 16 %), ergeben sich aufgrund der fortgesetzten Einspeisung mit JDH-Pumpen aus ein bzw. zwei Flutbecken günstigere Füllstandsverläufe im Sumpf für die Fälle mit 2 bzw. 3 verfügbaren HD-Si- und ND-Einspeisesträngen.</p>	<p><u>3 verfügbare HD-Si- und ND-Einspeisestränge:</u> 1 m (20 cm² Leck) bis 1,25 m (200 cm² Leck)</p> <p><u>4 verfügbare HD-Si- und ND-Einspeisestränge:</u> 1,45 m (20 cm² Leck) bis 1,8 m (200 cm² Leck)</p> <p>Erfolgt eine langsamere Auffüllung der Reaktorgrube (gemäß /AREVA 05/ ist realistischerweise mit einem Wert von < 3 % für den in die Reaktorgrube fließenden Massenstromanteil zu rechnen anstatt der in /AREVA 05/ unterstellten 16 %), ergibt sich für die Fälle mit 2 bzw. 3 verfügbaren HD-Si- und ND-Einspeisesträngen keine Erhöhung des Sumpffüllstandes, da bei dem in /AREVA 05/ unterstellten Szenario im Gegensatz zu GKN-2 keine automatische Einspeisung zusätzlicher Flutbehälterinventare erfolgt.</p>	
<p>Bewertungsmerkmal 2: Sicherheit der Nachkühlpumpen gegen Kavitation</p>		
<p>Erforderlicher NPSH für die Nachkühlpumpen bei 100 °C Sumpfwassertemperatur: 0,95 m bei einer Einspeiserate von 40 kg/s 1,18 m bei einer Einspeiserate von 150 kg/s 1,61 m bei einer Einspeiserate von 250 kg/s</p>	<p>Erforderlicher NPSH für die Nachkühlpumpen bei 100 °C Sumpfwassertemperatur: 1,65 m bei einer Einspeiserate von 40 kg/s 4,00 m bei einer Einspeiserate von 160 kg/s 7,70 m bei einer Einspeiserate von 240 kg/s</p>	
<p>In /AREVA 06/ wird die Sicherheit gegen Kavitation der Nachkühlpumpen (vorhandener NPSH Wert abzüglich des erforderlichen NPSH Werts) für einen festen Sumpffüllstand von 2,67 m und unterschiedliche Pumpendurchsätze angegeben. Betrachtet werden dabei Sumpfwassertemperaturen von 50 bis 100 °C, wobei im SHB</p>	<p>In /AREVA 05/ wird die Sicherheit gegen Kavitation der Nachkühlpumpen (vorhandener NPSH Wert abzüglich des erforderlichen NPSH Werts) für einen festen Sumpffüllstand von 1,50 m und unterschiedliche Pumpendurchsätze angegeben. Betrachtet werden dabei Sumpfwassertemperaturen von 50 bis 100 °C, wobei im SHB Umge-</p>	<p>Relevante Unterschiede: Bei den hier zu Grunde gelegten Randbedingungen ergeben sich folgende Unterschiede in den Sumpffüllständen: Bei einem Sumpffüllstand, der zwei verfügbaren HD-Si- und ND-Einspeisesträngen entspricht, ergeben sich bei</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<p>Umgebungsdruck angenommen wird. Als Pumpeneintrittstemperatur der Nachkühlpumpe wurde die jeweilige Sumpftemperatur angenommen, eine Reduzierung der Pumpeneintrittstemperatur durch die kältere Mindestmengenrate bleibt somit unberücksichtigt.</p> <p>Nachfolgend wird die Sicherheit gegen Kavitation der Nachkühlpumpen in Abhängigkeit von der Zahl der verfügbaren HD-Si- und ND-Einspeisestränge für eine Sumpfwassertemperatur von 100°C angegeben. Die Sicherheiten basieren auf den in /ARVEA 06/ für zwei verfügbare HD-Si- und ND-Einspeisestränge angegebenen Werten. Hierbei ist zu beachten, dass wir im Gegensatz zu /AREVA 06/ keinen konstanten Sumpffüllstand von 2,67 m angesetzt haben, sondern den jeweiligen Pumpendurchsätzen die den zugehörigen Leckgrößen entsprechenden minimalen Sumpffüllstände zugeordnet haben. Hierdurch erfolgt eine konsistente Zuordnung von Durchsatz und Sumpffüllstand, was in /AREVA 06/ konservativ nicht berücksichtigt worden ist.</p> <p>Die Kavitationssicherheit bei mehr als zwei verfügbaren HD-Si- und ND-Einspeisesträngen haben wir wie folgt ermittelt:</p> <p>Das zusätzlich eingespeiste Notkühlwasser (angerechnet werden komplette Flutbeckeninventare) wird vollständig dem von der Leckgröße abhängigen minimalen Wasserinventar im Sumpf aus /AREVA 06/ zugeschlagen, woraus sich erhöhte Sumpffüllstände und damit höhere NPSH Reserven ergeben. Die Abkühlung des Sumpfwassers durch das zusätzlich eingespeis-</p>	<p>bungsdruck angenommen wird.</p> <p>Nachfolgend wird die Sicherheit gegen Kavitation der Nachkühlpumpen in Abhängigkeit von der Zahl der verfügbaren HD-Si- und ND-Einspeisestränge für eine Sumpfwassertemperatur von 100°C angegeben. Die Sicherheiten basieren auf den in /ARVEA 05/ für zwei verfügbare HD-Si- und ND-Einspeisestränge angegebenen Werten. Hierbei ist zu beachten, dass wir im Gegensatz zu /AREVA 05/ keinen konstanten Sumpffüllstand von 1,5 m angesetzt haben, sondern den jeweiligen Pumpendurchsätzen die den zugehörigen Leckgrößen entsprechenden minimalen Sumpffüllstände zugeordnet haben. Hierdurch erfolgt eine konsistente Zuordnung von Durchsatz und Sumpffüllstand, was in /AREVA 05/ konservativ nicht berücksichtigt worden ist. Die Kavitationssicherheit bei mehr als zwei verfügbaren HD-Si- und ND-Einspeisesträngen haben wir wie folgt ermittelt:</p> <p>Das zusätzlich eingespeiste Notkühlwasser (angerechnet werden komplette Flutbeckeninventare) wird vollständig dem von der Leckgröße abhängigen minimalen Wasserinventar im Sumpf aus /AREVA 05/ zugeschlagen, woraus sich erhöhte Sumpffüllstände und damit höhere NPSH Reserven ergeben. Die Abkühlung des Sumpfwassers durch das zusätzlich eingespeiste Notkühlwasser wird vereinfachend vernach-</p>	<p>GKN-1 bei Einspeiseraten von 160 bis 240 kg/s negative Werte für die Kavitationssicherheit während bei GKN-2 für Einspeiseraten bis 250 kg/s positive Werte erreicht werden..</p> <p>Bei einem Sumpffüllstand, der drei verfügbaren HD-Si- und ND-Einspeisesträngen entspricht, ergeben sich bei GKN-1 bei Einspeiseraten von 200 und 240 kg/s negative Werte für die Kavitationssicherheit während bei GKN-2 für alle Einspeiseraten positive Werte erreicht werden.</p> <p>Bei einem Sumpffüllstand, der vier verfügbaren HD-Si- und ND-Einspeisesträngen entspricht, ergeben sich bei GKN-1 bei Einspeiseraten von 200 und 240 kg/s negative Werte für die Kavitationssicherheit während bei GKN-2 für alle Einspeiseraten positive Werte erreicht werden.</p> <p>Insgesamt sind bei positiven Werte für die Kavitationssicherheit die Abstände zu den erforderlichen NPSH-Werten in GKN-2 höher als in GKN-1.</p> <p>In GKN-1 ist nachgewiesen, dass ein mehrstündiger Betrieb mit Kavitation nicht zu Schäden an den Pumpen führt. Zum Verhalten der Nachkühlpumpen von GKN-2 bei mehrstündigem Betrieb mit Kavitation liegen uns keine Unterlagen vor.</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<p>te Notkühlwasser wird vereinfachend vernachlässigt. Die Kavitationssicherheit hängt vom Pumpendurchsatz ab, so dass sich die nachfolgend aufgeführten Spannbreiten ergeben:</p> <p><u>2 verfügbare HD-Si- und ND-Einspeisestränge:</u> Positive Werte für alle Einspeiseraten von 40 bis 250 kg/s: 1,89 m (Einspeiserate 250 kg/s) bis 4,37 m (Einspeiserate 40 kg/s)</p> <p><u>3 verfügbare HD-Si- und ND-Einspeisestränge:</u> Positive Werte für alle Einspeiseraten von 40 bis 250 kg/s: 2,68 m (Einspeiserate 250 kg/s) bis 5,15 m (Einspeiserate 40 kg/s)</p> <p><u>4 verfügbare HD-Si- und ND-Einspeisestränge:</u> Positive Werte für alle Einspeiseraten von 40 bis 250 kg/s: 3,41 m (Einspeiserate 250 kg/s) bis 5,85 m (Einspeiserate 40 kg/s)</p> <p>Anmerkung: Eine Einspeiserate von 40 kg/s entspricht einer Leckgröße von ca. 20 cm², eine Einspeiserate von 250 kg/s einer Leckgröße von ca. 200 cm².</p>	<p>lässigt. Die Kavitationssicherheit hängt vom Pumpendurchsatz ab, so dass sich die nachfolgend aufgeführten Spannbreiten ergeben (negative Werte bedeuten fehlende Kavitationssicherheit):</p> <p><u>2 verfügbare HD-Si- und ND-Einspeisestränge:</u> Positive Werte für Einspeiseraten von 40 bis 120 kg/s, negative Werte für 160 bis 240 kg/s: -5,09 m (Einspeiserate 240 kg/s) bis 2,68 m (Einspeiserate 40 kg/s)</p> <p><u>3 verfügbare HD-Si- und ND-Einspeisestränge:</u> Positive Werte für Einspeiseraten von 40 bis 160 kg/s, negative Werte für 200 bis 240 kg/s: -4,53 m (Einspeiserate 240 kg/s) bis 3,47 m (Einspeiserate 40 kg/s)</p> <p><u>4 verfügbare HD-Si- und ND-Einspeisestränge:</u> Positive Werte für Einspeiseraten von 40 bis 160 kg/s, negative Werte für 200 bis 240 kg/s: -3,96 m (Einspeiserate 240 kg/s) bis 3,96 m (Einspeiserate 40 kg/s)</p> <p>Anmerkung: Eine Einspeiserate von 40 kg/s entspricht einer Leckgröße von ca. 20 cm², eine Einspeiserate von 240 kg/s einer Leckgröße von ca. 200 cm².</p> <p>Gemäß /AREVA 05/ ist durch Versuche für die in GKN-1 eingesetzten Nachkühlpumpen gezeigt worden, dass ein mehrstündiger Betrieb mit Kavitation nicht zu Schäden an den Pumpen führt.</p>	

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
Bewertungsmerkmal 3: Zur Ereignisbeherrschung zusätzlich verfügbare Maßnahmen und Einrichtungen		
<p>Zusätzliche Maßnahmen zur Einspeisung nicht genutzter Flutbeckeninventare</p> <p>Sofern nicht der komplette JN Strang freigeschaltet ist, wird das jeweilige Flutbeckeninventar bei Unverfügbarkeit der zugehörigen HD-Si-Einspeisepumpe und Nachkühlpumpe (z.B. bei Notstromfall mit Ausfall Notstromdiesel) langfristig durch die JDH-Pumpe eingespeist.</p> <p>Im schutzzielorientierten BHB (BHB 3-1.3; 3.2.1/9-10) werden als zusätzliche Maßnahmen zur Einspeisung von Flutbeckeninhalten in den SHB Sumpf (bei Unverfügbarkeit der zugehörigen HD-Si-Einspeisepumpen und Nachkühl-pumpen) genannt:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wasseraustausch zwischen Flutbecken; hierbei wird ein Teil des Wasserinventars des gefüllten Flutbeckens durch das Öffnen einer gemeinsamen Ringleitung für das Auffüllen entleerter Flutbecken zum Zweck der anschließenden Einspeisung mit verfügbaren HD-Si-Einspeisepumpen / Nachkühl-pumpen verwendet. Eine Detailbeschreibung der erforderlichen Schalthandlungen enthält das schutzzielorientierte BHB nicht. Diesbezügliche Verweise auf andere Teile des BHB werden nicht gegeben. 	<p>Vermeidung von Strangausfällen infolge Instandhaltung/-setzung eines Notstromdiesels (NSD)</p> <p>Die Unverfügbarkeit eines Notstromdiesels infolge Instandhaltung/-setzung führt bei einem KMV mit Notstromfall zum Ausfall der Einspeisung des strangzugeordneten Flutbehälterinventars (wie in /AREVA 05/ angenommen). Im BHB (BHB 2-1.1.3, S. 32) ist geregelt, dass bei Ausfall eines Notstromdiesels EY91 bis EY94 der Reservediesel EY95 unverzüglich auf die entsprechende Notstromdieselanlage aufzuschalten ist. Weiterhin ist gemäß BHB (BHB 2-3.7.8) für den Fall, dass ein NSD EY91 bis EY94 wegen Wartung oder Reparaturen längere Zeit nicht verfügbar ist, der NSD EY95 auf die jeweilige Notstromanlage aufzuschalten.</p> <p>Die Aufschaltung des NSD EY95 ist eine Maßnahme, um die Zeiträume zu minimieren, in denen eine Notstromdieselanlage aufgrund von Wartung oder Reparaturen nicht zur Verfügung steht. Die Aufschaltung des NSD EY95 verhindert dann den Ausfall eines kompletten TH Stranges wegen Instandsetzung des zugehörigen Notstromdiesels. In diesem Fall steht gegenüber den Annahmen in /AREVA 05/ ab Störfallbeginn ein weiteres Flutbehälterinventar für die Einspeisung in den RKL und damit auch für die Erhöhung des Sumpffüllstandes zur Verfügung.</p>	<p>Relevante Unterschiede:</p> <p>Durch die Aufschaltung des Notstromdiesels EY95 besteht bei GKN-1 die Möglichkeit, im Notstromfall mit Unverfügbarkeit eines Notkühlstranges infolge Unverfügbarkeit eines NSD (entweder wg. Einzelfehler oder Instandhaltung/-setzung) den Inhalt eines weiteren Flutbehälterpaares einzuspeisen. Hierdurch kann der Füllstand im Sumpf des SHB angehoben werden.</p> <p>In GKN-2 erfolgt bei Ausfall der HD-Si- und ND- Einspeisung infolge Unverfügbarkeit eines NSD im Notstromfall immer die automatische Einspeisung des betreffenden Flutbeckeninventars durch die JDH- Pumpe.</p> <p>Zusätzlich kann bei GKN-2 ein Teil des Wasserinventars gefüllter Flutbecken durch das Öffnen einer gemeinsamen Ringleitung zum Zweck der anschließenden Einspeisung mit verfügbaren HD-Si-Einspeisepumpen / Nachkühl-pumpen verwendet werden. Angaben über das damit einspeisbare Inventar liegen allerdings nicht vor.</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
<p>Fördern des Flutbeckeninhalts mittels BE-Beckenüberlauf in den Sumpf; die Maßnahme erfolgt unter Nutzung der Beckenkülpumpen. Eine Detailbeschreibung der erforderlichen Schalthandlungen enthält das schutzzielorientierte BHB nicht. Diesbezügliche Verweise auf andere Teile des BHB werden nicht gegeben.</p> <p>Im schutzzielorientierten BHB (BHB 3-1.3; 3.2.1/8) wird zudem die Möglichkeit genannt, aus dem BE-Becken (nur bei 2 Teilsystemen möglich) einzuspeisen.</p>	<p>Kompensation des Ausfalls eines NSD infolge Einzelfehler</p> <p>Die Ausfall eines Notstromdiesels infolge Einzelfehler führt bei einem KMV mit Notstromfall zum vollständigen Ausfall der Einspeisung des strangzugeordneten Flutbehälterinventars (wie in /AREVA 05/ angenommen) und stellt daher hinsichtlich des Sumpfinventars den ungünstigsten Einzelfehler dar. Gemäß BHB Kapitel „Ausfall der Eigenbedarfsversorgung (BHB 2-2.3.3) ist bei Startversagen eines NSD EY91 bis EY94 der Notstromdiesel EY95 gemäß BHB 2-3.7.8 auf die betroffene Redundanz aufzuschalten. Der durch einen Einzelfehler bedingte Ausfall eines NSD kann damit kompensiert werden. Nach Ablauf der für die entsprechenden Maßnahmen erforderlichen Zeit erfolgt dann die Einspeisung des Inventars des strangzugeordneten Flutbehälterpaars.</p> <p>Einspeisung von Kühlmittel aus dem BE Becken</p> <p>Gemäß schutzzielorientiertem BHB (BHB 2-2.5.3-2) kann über die Nachkühlpumpen Kühlmittel aus dem BE Becken angesaugt und in den RKL eingespeist werden. Dadurch erhöht sich das Sumpfinventar um maximal 90 m³. Eine Detailbeschreibung der erforderlichen Schalthandlungen enthält das schutzzielorientierte BHB nicht. Diesbezügliche Verweise auf andere Teile des BHB werden nicht gegeben.</p>	<p>Hinsichtlich der Einspeisung von Kühlmittel aus dem BE Becken liegen keine für eine vergleichende Bewertung ausreichenden Angaben in den verfügbaren Unterlagen vor.</p>

GKN-2	GKN-1	Ergebnisse
	<p>Einspeisung kaltseitiger Druckspeicher Das BHB (BHB 2-2.4.2) sieht als Handmaßnahme zur Erhöhung des Kühlmittelinventars im Sumpf die Einspeisung der kaltseitigen Druckspeicher von Hand vor. Das hierdurch zusätzlich eingespeiste Kühlmittelvolumen hängt von der Leckgröße ab, liegt in jedem Fall aber unterhalb des Gesamtwasserinventars der kaltseitigen Druckspeicher (102 m³).</p>	<p>Relevanter Unterschied: Die Einspeisung kaltseitiger Druckspeicher wird nur im BHB von GKN-1 als zusätzliche Maßnahme aufgeführt.</p>

5 Bewertung

5.1 Relevante Unterschiede

Hinsichtlich der o. g. Bewertungsmerkmale zu Bewertungsgegenstand „Leck am Anschlussstutzen der Hauptkühlmittelleitung am Reaktordruckbehälter“ bestehen u. E. folgende relevanten Unterschiede:

Zu Merkmal 1: Vermeidung von Luftansaugung durch die Nachkühlpumpen

- Das Kriterium „Überdeckung der Sumpfdeckenunterkante“ kann bei einem verfügbaren HD-Si- und ND-Einspeisestrang bei Leckgrößen bis 200 cm² in beiden Anlagen nicht eingehalten werden. Bei zwei und mehr verfügbaren HD-Si- und ND-Einspeisesträngen wird das Kriterium in beiden Anlagen eingehalten, bei gleichen unterstellten Systemverfügbarkeiten in GKN-2 durchgehend mit höheren Reserven als in GKN-1.

Zu Merkmal 2: Sicherheit der Nachkühlpumpen gegen Kavitation

- Bei einem Sumpffüllstand, der zwei verfügbaren HD-Si- und ND-Einspeisesträngen entspricht, ergeben sich bei GKN-1 bei Einspeiseraten von 160 bis 240 kg/s negative Werte für die Kavitationssicherheit während bei GKN-2 für Einspeiseraten bis 250 kg/s positive Werte erreicht werden.
Bei einem Sumpffüllstand, der drei verfügbaren HD-Si- und ND-Einspeisesträngen entspricht, ergeben sich bei GKN-1 bei Einspeiseraten von 200 und 240 kg/s negative Werte für die Kavitationssicherheit während bei GKN-2 für alle Einspeiseraten positive Werte erreicht werden.
Bei einem Sumpffüllstand, der vier verfügbaren HD-Si- und ND-Einspeisesträngen entspricht, ergeben sich bei GKN-1 bei Einspeiseraten von 200 und 240 kg/s negative Werte für die Kavitationssicherheit während bei GKN-2 für alle Einspeiseraten positive Werte erreicht werden.
Insgesamt sind bei positiven Werten für die Kavitationssicherheit die Abstände zu den erforderlichen NPSH-Werten in GKN-2 höher als in GKN-1.
- In GKN-1 ist nachgewiesen, dass ein mehrstündiger Betrieb mit Kavitation nicht zu Schäden an den Pumpen führt. Zum Verhalten der Nachkühlpumpen von GKN-2 bei mehrstündigem Betrieb mit Kavitation liegen uns keine Unterlagen vor.

Zu Merkmal 3: Zur Ereignisbeherrschung zusätzlich verfügbare Maßnahmen und Einrichtungen

- Durch die Aufschaltung des Notstromdiesels EY95 besteht bei GKN-1 die Möglichkeit, im Notstromfall mit Unverfügbarkeit eines Notkühlstranges infolge Unverfügbarkeit eines Diesels den Inhalt eines weiteren Flutbehälterpaares einzuspeisen. Weiterhin kann ein Teil des Kühlmittels im BE Lagerbecken über den RKL in den Sumpf gespeist werden. Auch kann ein Teil des Inhalts der kaltseitigen Druckspeicher eingespeist werden.

In GKN-2 stehen mit dem Wasseraustausch zwischen Flutbecken sowie dem Fördern des Flutbeckeninhalts mittels BE-Beckenüberlauf in den Sumpf zwei zusätzliche Maßnahmen zur Einspeisung nicht genutzter Flutbeckeninventare zur Verfügung. Zudem erfolgt in GKN-2 bei Ausfall der HD-Sicherheits- und ND-Einspeisung infolge Unverfügbarkeit eines Notstromdiesels im Notstromfall immer die automatische Einspeisung des betreffenden Flutbeckeninventars durch die JDH-Pumpe.

- Im BHB von GKN-1 wird die Einspeisung kaltseitiger Druckspeicher als zusätzliche Maßnahme aufgeführt.

5.2 Bewertung der relevanten Unterschiede

Zu Merkmal 1: Vermeidung von Luftansaugung durch die Nachkühlpumpen

- Hinsichtlich der Einhaltung des Kriteriums „Sumpffüllstand über Unterkante Sumpfkammerdecke“ ergibt sich aufgrund der größeren Kühlmittelvorräte in den Flutbecken eine höhere Überdeckung und damit ein Vorteil für GKN-2.

Zu Merkmal 2: Sicherheit der Nachkühlpumpen gegen Kavitation

- Hinsichtlich der Sicherheit gegen Kavitation ergibt sich aufgrund der größeren Kühlmittelvorräte in den Flutbecken sowie der niedrigeren erforderlichen NPSH-Werte ein Vorteil für GKN-2. In GKN-1 ist jedoch nachgewiesen, dass ein mehrstündiger Betrieb mit Kavitation nicht zu Schäden an den Pumpen führt, so dass sich für dieses Bewertungsmerkmal insgesamt kein Vorteil für eine der beiden Anlagen ergibt.

Zu Merkmal 3: Zusätzlich verfügbare Maßnahmen und Einrichtungen

- Aus den zusätzlich zur Erhöhung des Sumpfinventars verfügbaren Maßnahmen ergibt sich aus unserer Sicht kein Vorteil für eine der beiden Anlagen.

5.3 Fazit

Das im Vergleich zu GKN-1 mehr als doppelt so große Kühlmittelinventar in den Flutbecken von GKN-2 ist ein Vorteil für GKN-2, da höhere Reserven hinsichtlich der Erreichung des erforderlichen Sumpfwasserinventars bestehen.

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 Nach-
weisen zu ausgewählten
Anforderungen und Er-
eignissen im Rahmen von
Anträgen zur Rest-
strommengenübertragung

Teil 2: GKN-1 / GKN-2

Bewertungsgegenstand 23:

„Erdbeben“

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 23:
„Erdbeben“

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	Auslegungskonzept zur Beherrschung des Bemessungserdbebens.....	2
2.2	Ereignisablauf	4
2.3	Bewertungsmerkmale	6
3	Verwendete Unterlagen	8
4	Anlagenvergleich	10
5	Darstellung und Bewertung relevanter Unterschiede	38
5.1	Darstellung relevanter Unterschiede.....	38
5.2	Bewertung relevanter Unterschiede	42
5.3	Fazit	46
6	Literatur.....	48

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 23 „Erdbeben“ behandelt. Dies ist ein Ereignis der Sicherheitsebene 3.

2 **Bewertungsgegenstand und Bewertungsmerkmale**

2.1 **Auslegungskonzept zur Beherrschung des Bemessungserdbebens**

Das Bemessungserdbeben ist als eine Einwirkung von außen (EVA) definiert, die als Ereignis der Sicherheitsebene 3 zugeordnet ist. Im Falle des Bemessungserdbebens muss die Anlage sicher abgeschaltet und im abgeschalteten Zustand gehalten sowie die Nachwärme aus den Brennelementen im Reaktorkern sowie im Brennelementlagerbecken abgeführt werden. Weiterhin muss der Einschluss radioaktiver Stoffe soweit erhalten bleiben, dass keine unzulässigen radiologischen Auswirkungen auftreten. Die dafür erforderlichen Systemfunktionen werden durch eine erdbebenfeste Auslegung der benötigten Einrichtungen sichergestellt. Darüber hinaus wird nachgewiesen, dass auch aus erdbebenbedingtem Versagen nicht ausgelegter Anlagenteile (einschließlich Bauwerke) keine unzulässige Beeinträchtigung erforderlicher Systemfunktionen resultiert.

Das Auslegungskonzept der Anlagen GKN-1 und GKN-2 sieht vor,

- dass die druckführende Umschließung gegen Lasten aus Bemessungserdbeben ausgelegt ist, so dass dort ein Kühlmittelverluststörfall infolge Erdbeben ausgeschlossen ist, und
- dass darüber hinaus insbesondere diejenigen Systeme oder Systemteile, die erforderlich sind, um den Reaktor sicher abzuschalten, im abgeschalteten Zustand zu halten und die Nachwärme abzuführen (einschließlich benötigter Versorgungssysteme und Leittechnik), sowie alle diese Anlagenteile stützenden oder verbindenden Tragwerke so ausgeführt sind, dass sie beim Bemessungserdbeben ihre sicherheitstechnische Aufgabenstellung erfüllen können.

Alle anderen Anlagenteile müssen prinzipiell so ausgeführt sein, dass es infolge des Erdbebens zu keinen unzulässigen Einschränkungen der o.g. sicherheitstechnischen Funktionen kommt. Dazu gehört auch, dass erdbebeninduzierte Effekte in der Anlage (Brand, Überflutung, Behälterversagen) ausgeschlossen oder hinsichtlich ihrer Konsequenzen ausreichend begrenzt werden können /1/, /3/.

Für beide Anlagen (GKN-1 und GKN-2) wird im Rahmen der Nachweisführung das Versagen aller nicht gegen Erdbeben ausgelegter Einrichtungen für ein Erdbeben mit

der Stärke des Bemessungserdbebens unterstellt /1/, /3/. Dies führt im Wesentlichen zum Ausfall

- der Eigenbedarfsversorgung durch Ausfall von Verbund- und Reservenetz sowie des Turbinengenerators (Notstromfall),
- der betrieblichen Speisewasserversorgung durch den Ausfall der nicht notstromversorgten Speisewasserpumpen sowie das Versagen nicht ausgelegter Anlagenteile des Sekundärkreislaufs insbesondere im Maschinenhaus (Anforderung der Dampferzeuger-Notbespeisung),
- der Hauptwärmesenke durch den Notstromfall (Ausfall der Frischdampfumleitstation (FDU)) sowie das Versagen nicht ausgelegter Anlagenteile des Sekundärkreislaufs insbesondere im Maschinenhaus und in Bauwerken zur Hauptkühlwasserversorgung
- des Primärkreis-Zwangsumlaufs durch den Ausfall der Hauptkühlmittelpumpen im Notstromfall (Anforderung an Naturumlauf).

Hilfs- und Nebensysteme ohne besondere sicherheitstechnische Bedeutung im Falle des Erdbebens sind nicht vollständig gegen das Bemessungserdbeben ausgelegt, so dass in bestimmten Bereichen ein Versagen von Rohrleitungen und Behältern unterstellt wird. Dies ist insbesondere hinsichtlich der Rückhaltung radioaktiver Stoffe von Bedeutung.

Eine erdbebensichere Auslegung folgender Bauwerke ist erforderlich, damit darin aufgestellte Sicherheitseinrichtungen nicht durch die entstehenden Wirkungen und Schäden beeinträchtigt werden können: Reaktorgebäude-Innenraum, Reaktorgebäude-Ringraum, Armaturenanzubau, Notspeisegebäude, Notstromerzeugergebäude, Kühlwasserbauwerke für die sicherheitsrelevante Nebenkühlwasserversorgung, Brunnen-schächte, Schaltanlagegebäude, Rohr- und Kabelkanäle und Kabelbrücken. Für weitere Gebäude bzw. Bauwerke ist ein Standsicherheitsnachweis erforderlich, um Folgeschäden durch Trümmereinwirkungen zu vermeiden (Reaktorhilfsanlagegebäude, Abluftkamin).

2.2 Ereignisablauf

Ausgehend von den oben beschriebenen Ausfallannahmen kommt es durch den Verlust der externen Eigenbedarfsversorgung zum Notstromfall. In der Folge werden durch die fallende Drehzahl der Hauptkühlmittelpumpen die Reaktorschnellabschaltung (RESA) und nachfolgend eine Turbinenschnellabschaltung (TUSA) ausgelöst.

Der unterstellte Abriss von Frischdampf (FD)-Leitungen außerhalb der Armaturen-kammer führt zum Druckabfall und zur Auslösung des Sekundärkreisabschlusses. Nach dem Schließen der FD-Abschlussarmaturen steigt der FD-Druck an, bis automatisches Teilabfahren über die FD-Abblasestationen eingeleitet wird. Bis zum Wirksamwerden der FD-Abblaseregulierung können kurzzeitig die FD-Sicherheitsventile ansprechen.

Durch den unterstellten vollständigen Ausfall der betrieblichen Speisewasserversorgung (einschließlich der An- und Abfahrpumpen) und das FD-Abblasen fallen die Füllstände der Dampferzeuger (DE) bis zur Auslösung der DE-Notbespeisung.

Auf der Primärseite erfolgt die Nachwärmeabfuhr aus dem Reaktorkern nach dem Ausfall der Hauptkühlmittelpumpen im Naturumlauf. Im transienten Verlauf kann es vorübergehend zum Ansprechen des Druckhalter-Abblaseventils kommen, ohne dass jedoch der Ansprechdruck der Berstscheiben am Abblasebehälter erreicht wird.

Im weiteren Ereignisablauf kann der Druckhalter-Füllstand durch Leckagen in nicht erdbebenfest ausgelegten, angrenzenden Systembereichen sinken. In Abhängigkeit vom Druckhalter-Füllstand werden der Primärkreisabschluss und das Signal für die Bor-Einspeisung ausgelöst. Die Leckageergänzung erfolgt in GKN-1 über das erdbebenfest ausgelegte und notstromgesicherte Volumenregelsystem, in GKN-2 über das erdbebenfest ausgelegte und notstromgesicherte Zusatzboriersystem. Ein Überspeisen des Reaktorkühlkreislaufes mit weiterem Druckanstieg wird in beiden Anlagen durch Überströmventile verhindert (Öffnen bei 150 bar).

Ein Kühlmittelverlust in nicht absperrbaren Bereichen der druckführenden Umschließung, der über die angesprochenen Leckagen hinausgeht, wurde aufgrund der Auslegung der entsprechenden Rohrleitungen und Behälter nicht unterstellt. Nach heutigem Kenntnisstand ist aber ein Abriss von Kleinleitungen (z. B. durch indirekte Erdbebenwirkungen) nicht auszuschließen. Ein solcher Ereignisablauf erfordert den zusätzli-

chen Einsatz der Notkühlsysteme. Die zur Beherrschung eines kleinen Lecks erforderlichen Systeme und Sicherheitsfunktionen, einschl. Gebäudeabschluss des Sicherheitsbehälters, sind in beiden Anlagen für das Bemessungserdbeben ausgelegt und notstromgesichert.

Aufgrund der automatisch vom Reaktorschutz angeregten Maßnahmen wird der Zustand „unterkritisch, heiß“ erreicht. Das Abfahren in den Zustand „unterkritisch, kalt“ erfolgt in beiden Anlagen durch Handmaßnahmen.

Der maximal unterstellte Zerstörungsumfang umfasst in GKN-1 auch Funktionen der Warte und des Schaltanlagegebäudes. Beim Bemessungserdbeben bleiben die Gebäude selbst zwar erhalten, allerdings kann es aufgrund von Zerstörungen in nicht gegen Erdbeben ausgelegten Gebäuden (z.B. Maschinenhaus) zu Fehlsignalen oder Überspannungen kommen, die in der Warte sowohl Funktionen der betrieblichen Leittechnik als auch Informationsanzeigen zumindest vorübergehend beeinträchtigen können. Für das langfristig erforderliche Abfahren der Anlage auf „unterkritisch, kalt“ und für die Inbetriebnahme der Nachkühlketten wird daher in der Sicherheitsstatusanalyse davon ausgegangen, dass die erforderlichen Maßnahmen zum Abfahren der Anlagen zunächst von der Notsteuerstelle oder Schaltschränken vor Ort aus erfolgen müssen. Im Betriebshandbuch (BHB) ist bei EVA die Umschaltung auf die Notsteuerstelle vorgesehen, um die Ansteuerung der Frischdampf-Abblasestationen beim Abfahren per Hand fehlsignalgeschützt vornehmen zu können /5/.

Auch in GKN-2 kann es aufgrund von Zerstörungen in nicht gegen Erdbeben ausgelegten Gebäuden (z.B. Maschinenhaus) zu Fehlsignalen oder Überspannungen kommen, die die Inbetriebnahme von Systemen über die betriebliche Leittechnik von der Warte aus beeinträchtigen können. In GKN-2 sind vom Reaktorschutzsystem oder vom Begrenzungssystem vorrangig angesteuerte Komponenten von erdbebeninduzierten Fehlsignalen nicht betroffen, da diese Systeme gegenüber der betrieblichen Leittechnik entkoppelt sind. Deswegen ist im weiteren Ereignisablauf grundsätzlich eine Steuerung von der Warte mit dem Sicherheitssystem und den nicht gestörten betrieblichen Systemen möglich. In GKN-2 können daher alle erforderlichen Maßnahmen zum Abfahren der Anlage (DE-Notbespeisung, 50 K/h-Abfahren, Druckhaltersprühen, Volumenkontraktionsergänzung und Borierung mit dem Zusatzboriersystem, Aktivierung der Nachkühlkette) von der Warte aus eingeleitet werden. Zusätzlich ist dies von der Notsteuerstelle aus möglich.

Von der Notsteuerstelle (in GKN-2 auch von der Warte) aus erfolgt das weitere Abfahren der Anlage per Hand über die Frischdampf-Abblaseregelventile mit einem Temperaturgradienten von 50 K/h bis auf eine Kühlmittleintrittstemperatur von ca. 120°C (GKN-1) (GKN-2: KMT-heiß <160°C). Die nachfolgende Druckabsenkung im Primärkreislauf erfolgt in GKN-1 entweder durch Druckhalter (DH)-Hilfssprühen mit den Pumpen des Volumenregelsystems (Handmaßnahme im Schaltschrank des Notstromdieselgebäudes), dem Öffnen des DH-Abblaseventils (Notsteuerstelle) oder durch Öffnen der DH-Entlüftungsleitung. In GKN-2 erfolgt die Druckentlastung über das aus der Warte oder der Notsteuerstelle angesteuerte DH-Sprühen mit dem Zusatzboriersystem.

Bei einer Kühlmittleintrittstemperatur von ca. 120°C (GKN-2: KMT-heiß < 160°C) und einem Kühlmitteldruck < 35 bar wird einer der Nachkühlstränge zugeschaltet. Dies erfolgt in GKN-1 als Handmaßnahme im Schaltschrank und in GKN-2 von der Warte oder der Notsteuerstelle.

2.3 Bewertungsmerkmale

Für den Anlagenvergleich werden folgende Bewertungsmerkmale zugrunde gelegt:

- Bewertungsmerkmal 1: Lastannahmen

Als Bemessungserdbeben ist das Erdbeben mit der für den Standort größten Intensität anzunehmen, das in der Umgebung des Standortes auftreten kann. Aus dem standortspezifisch festgelegten Bemessungserdbeben werden die für die erdbebenfeste Auslegung der Anlagenteile maßgeblichen Kenngrößen abgeleitet. Die für die beiden Anlagen ausgewiesenen Bemessungsgrößen werden verglichen. Die Vorgehensweise und die getroffenen Annahmen bei der Festlegung der Bemessungsgrößen werden im Rahmen des vorliegenden Anlagenvergleichs nicht im Detail analysiert.

- Bewertungsmerkmal 2: Zur Ereignisbeherrschung erforderliche Maßnahmen und Einrichtungen

Im Falle des Bemessungserdbebens müssen Systemfunktionen erhalten bleiben die erforderlich sind, um den Reaktor sicher abzuschalten, im abgeschalteten Zustand zu halten und die Nachwärme abzuführen. Die Auslegung der dafür erforderlichen Maßnahmen und Einrichtungen wird unter Berücksichtigung

der besonderen Randbedingungen im Falle des Bemessungserdbebens untersucht. Betrachtet werden dabei: Reaktorabschaltung, Notstromversorgung, Sekundärkreisabschluss, Teilabfahren über die Abblasestation, Dampferzeuger-Notbespeisung, Primärkreisabschluss, Leckageergänzung im Primärkreis, Funktionstüchtigkeit der Leittechnik, Druckabsenkung im Primärkreis, Nachwärmeabfuhr aus dem Reaktor über Not- und Nachkühlsystem sowie die Integrität und Funktionstüchtigkeit der druckführenden Umschließung und die Standicherheit und Integrität der Bauwerke. Betrachtungen zur Auswirkung des Erdbebenfalls auf die Beckenkühlung werden hier nicht vorgenommen. Die im Weiteren vereinfacht verwendeten Begriffe, wie „Erdbebenfall, erdbebenfeste Auslegung, Auslegung gegen Erdbeben, erdbebeninduziert“ beziehen sich immer auf ein Erdbeben in der Stärke des Bemessungserdbebens.

- Bewertungsmerkmal 3: Folgeschäden

Die Wirksamkeit der im Erdbebenfall unmittelbar erforderlichen Systemfunktionen wird durch eine entsprechende Auslegung nachgewiesen. Darüber hinaus gibt es Anlagenteile, für die keine Auslegung gegen seismische Lasten erfolgt bzw. für die entsprechende Nachweise vom Regelwerk nicht gefordert sind.

Dadurch wird der Umfang möglicher Folgeschäden bestimmt, der hinsichtlich der sicherheitstechnischen Bedeutung in beiden Anlagen untersucht wird. Betrachtet werden: Schäden an sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen, erdbebeninduzierte Brände und Überschwemmungen, Folgeschäden durch Gebädetrümmern und Berstdruckwellen sowie die radiologischen Auswirkungen von erdbebeninduzierten Freisetzungen.

- Bewertungsmerkmal 4: Zusätzliche zur Verfügung stehende Maßnahmen und Einrichtungen

Für die Betrachtung der zusätzlich zur Verfügung stehende Maßnahmen und Einrichtungen werden unter diesem Bewertungsmerkmal die Reserven derjenigen Systeme und Einrichtungen betrachtet die unter Bewertungsmerkmal 2 diskutiert wurden.

3 **Verwendete Unterlagen**

Die folgenden Unterlagen wurden für den Anlagenvergleich verwendet:

Kategorie 1

- /1/ Siemens AG
Sicherheitsstatusanalyse für das Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar
Block I, Band 1 bis 3
Aug. 1996

- /2/ TÜV Energie und Systeme
Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar Block I – Gutachterliche Stellungnahme zur PSÜ (Anlagenstatus, Betriebsführung und -erfahrung, Sicherheitsstatusanalyse, PSA/Zusammenfassendes Ergebnis)
September 1997

- /3/ Siemens AG
PSÜ-Sicherheitsstatusanalyse (SSA) für die Konvoi Kernkraftwerke Isar 2 (KKI 2), Emsland (KKE) und Neckar Block 2 (GKN-2), Band 1 bis 3
Dez. 1998/Juli 2001

- /4/ TÜV Arbeitsgemeinschaft Konvoi
Konvoi-Anlagen - Gutachten zur Sicherheitsstatusanalyse
September 2001

- /5/ Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar
Betriebshandbuch Block I, Stand 14.06.06

- /6/ Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar
Betriebshandbuch Block II, Stand 05.03.04

- /7/ Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar
Block I: Systembeschreibungen, Stand 2005

- /8/ Lehrstuhl für Bodenmechanik und Grundbau am Institut für Bodenmechanik
 und Felsmechanik (IBF), Universität (TH) Fridericiana Karlsruhe
 „GKN-II/Nachtrag zu unserem Baugrundgutachten vom 15.05.81“
 Schreiben vom 29.9.1988
- /9/ TÜV Stuttgart e.V.
 3. Gutachten zur Errichtung und zum Betrieb des Gemeinschaftskernkraft-
 werk Neckar, Block 2
 Stuttgart, August 1975
 Auszüge: „2.2.6 Schutz gegen äußere Einwirkungen“
- /10/ Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar
 GKN I, Periodische Sicherheitsüberprüfung
 Anlagenstatusbericht, Anlagenbeschreibung Band 1
 Stand 1994

4 Anlagenvergleich

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
Merkmal 1: Lastannahmen			
Lastannahmen	Bemessungserdbeben: - Intensität (MSK-Skala): Stufe VIII. - max. Horizontalbeschleunigung: 1,7 m/s ² - max. Vertikalbeschleunigung: 0,85 m/s ² /3/, /4/	Erdbebenauslegung entspr. Vorgaben des Institutes für Geophysik der Universität Stuttgart aus den Jahren 1970/71. Im Jahre 1988 wurde bestätigt, dass aufgrund der zwischenzeitlich neueren Erkenntnisse die der Auslegung GKN I zugrunde gelegten Erdbebenparameter nicht verändert werden brauchen. Maximalintensität des Sicherheitserdbebens (MSK-Skala): Stufe VIII /10/ Einhängebeschleunigungswert des Sicherheitserdbebens 170 cm/s ² - max. Horizontalbeschleunigung: 1,7 m/s ²	Für GKN-2 enthalten die uns vorliegenden Unterlagen keine im Detaillierungsgrad vergleichbaren Angaben (insbesondere zu Antwortspektren, Überschreitenswahrscheinlichkeiten). Ein Vergleich bezüglich der zugrunde gelegten spezifischen Lastannahmen sowie zu möglichen Auswirkungen der unterschiedlichen Bau- und Auslegungskonzepte im Hinblick auf die Erdbebensicherheit ist auf der Basis der vorliegenden Unterlagen nicht möglich.

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
		<p>- max. Vertikalbeschleunigung: 0,85 m/s²</p> <p>Mittlerer Verlauf des Boden-Antwort-Spektrums „Berkhimer-Schneider-Spektrum“ (50%-Spektrum)</p> <p>Überschreitenswahrscheinlichkeit der verwendeten seismischen Parameter $4 \cdot 10^{-6}$ pro Jahr (probabilistische Untersuchung von GKN, bestätigt vom Institut für Geophysik).</p> <p>Es liegen keine Erkenntnisse vor, die die seinerzeit berechneten Etagen-Antwortspektren als nicht mehr verwendungsfähig erscheinen lassen.</p> <p>/1/, /2/</p>	
Merkmal 2: Zur Ereignisbeherrschung erforderliche Maßnahmen und Einrichtungen			
RESA-Auslösung	<p>RESA-Auslösung sowie TUSA-Auslösung über Reaktorschutz.</p> <p>Erdbebenfeste Auslegung und Notstromversorgung der für RESA benötigten Einrichtungen.</p> <p>Bei Erdbeben mit Notstromfall wird</p>	<p>RESA-Auslösung sowie TUSA-Auslösung über Reaktorschutz.</p> <p>Erdbebenfeste Auslegung und Notstromversorgung der für RESA benötigten Einrichtungen.</p> <p>Bei Erdbeben mit Notstromfall wird</p>	Keine relevanten Unterschiede hinsichtlich der RESA-Auslösung im Erdbebenfall erkennbar.

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	RESA zuerst ausgelöst über Drehzahl 2 v 3 Hauptkühlmittelpumpen < 94%. /3/	RESA zuerst ausgelöst über Drehzahl 2 v 3 Hauptkühlmittelpumpen < 94%. /1/	
<p>Notstromversorgung</p> <p>- Auslösung im Erdbebenfall</p>	<p>Anregung der Notstromversorgung über Reaktorschutzsignale</p> <p>Im Erdbebenfall bei Ausfall Eigenbedarf (10 kV-Schienen):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Spannung < 8 kV - Frequenz < 47,2 Hz 	<p>Anregung der Notstromversorgung über Reaktorschutzsignale</p> <p>Im Erdbebenfall bei Ausfall Eigenbedarf (6 kV-Schienen):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Spannung < 4,8 kV - Frequenz < 47,2 Hz 	Kein relevanter Unterschied hinsichtlich der Notstromauslösung im Erdbebenfall erkennbar
- Notstromnetz	<p>Notstromerzeugeranlage 1 zur Versorgung der Notstromnetze 1 und 2 bei Störfällen der Sicherheitsebene 3. Die Notstromerzeugeranlage (einschl. der Notstromverteilungen) ist gegen Erdbeben ausgelegt.</p> <p>Viersträngiger Aufbau sowie räumliche Trennung der Redundanzen und Kabeltrassen.</p> <p>Kraftstoff-Betriebstank für jedes Aggregat ausreichend für 2 h Betrieb (anschl. Umschaltung erforderlich). Zusätzliche Vorräte in jeder Redundanz für einen insgesamt 72-stündigen Betrieb der Aggregate ausreichend. /4/, /6/</p>	<p>Alle Einrichtungen der Stromversorgung, die bei EVA benötigt werden, sind im Notstromdieselgebäude (NSDG) untergebracht. Die Notstromversorgung mit Schaltanlagen im NSDG ist gegen Erdbeben ausgelegt.</p> <p>Notstromversorgung im SAG</p> <p>Viersträngiger Aufbau sowie räumliche Trennung der Redundanzen und Kabeltrassen.</p> <p>Kraftstoff-Betriebstank für jedes Aggregat ausreichend für 10 h Betrieb (anschl. Umschaltung erforderlich). Zusammen mit den Dieselvorräten im Kraftstofflagertank ist der langfristige</p>	<p>Die Notstromanlagen sind in beiden Anlagen im Erdbebenfall verfügbar.</p> <p>Die den einzelnen Notstromdieseln unmittelbar zur Verfügung stehenden Dieselvorräte sind in GKN-1 ausreichend für 10 h, in GKN-2 für 2 h. Bei länger anhaltendem Notstromfall stehen nach Umschaltung (BHB) in beiden Anlagen zusätzliche Vorräte für</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
		<p>Betrieb der Notstromdiesel über 72 h gewährleistet.</p> <p>Zum Zeitpunkt der PSÜ-Begutachtung (TÜV) /2/ lagen für den kernkraftwerk-spezifischen Eignungsnachweis der elektrotechnischen Komponenten für die Unterverteiler und Kabeltragkonstruktionen keine Nachweise der Auslegung gegen induzierte Erschütterungen vor. Maßnahmen hinsichtlich Erdbebennachweise waren jedoch bereits eingeleitet.</p> <p>/1/, /2/, /5/</p>	<p>insgesamt 72 h zur Verfügung. Daraus ergibt sich kein relevanter Unterschied.</p> <p>Zum Zeitpunkt der PSÜ-Begutachtung fehlten in GKN-1 Nachweise zur Auslegung der Unterverteiler und Kabeltragkonstruktionen gegen Erdbeben. Zum aktuellen Stand der Nachweiserführung liegen uns keine Angaben vor. Auf Basis der vorliegenden Unterlagen ist eine Bewertung der aktuellen Situation nicht möglich.</p>
Sekundärkreisabschluss (SKA)	<p>Im Erdbebenfall wird der Sekundärkreisabschluss (SKA) für folgende Armaturen ausgelöst:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Frischdampf (FD)-Abschlussarmaturen - Absperrung Hauptspeisewasserköpfe - Absperrung FD-Abblasestation - Absperrung der bis zur ersten Absperrung erdbebenfest ausgelegten 	<p>Im Erdbebenfall wird der Sekundärkreisabschluss (SKA) für folgende Armaturen ausgelöst:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Frischdampf (FD)-Abschlussarmaturen - Volllastspeisewasser-Absperrschieber - Absperrung FD-Abblasestation - Absperrung der bis zur ersten Absperrung erdbebenfest ausgelegten 	Kein Unterschied

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>Dampferzeuger-Abschlammleitung SKA-Armaturen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ansteuerung durch den Reaktorschutz, - Auslegung gegen Erdbeben, - notstromgesicherter Antrieb, soweit es sich nicht um selbsttätig wirkende Rückschlagarmaturen handelt. <p>/3/</p>	<p>Dampferzeuger-Abschlammleitung SKA-Armaturen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ansteuerung durch den Reaktorschutz, - Auslegung gegen Erdbeben, - notstromgesicherter Antrieb, soweit es sich nicht um selbsttätig wirkende Rückschlagarmaturen handelt. <p>/1/</p>	
<p>Teilabfahren über Frischdampf-Abblasestation mit 100 K/h</p>	<p>Nach dem Sekundärkreisabschluss wird bei einem Druck von > 86 bar das Teilabfahren auf 75 bar über die Frischdampf (FD)-Abblasestationen ausgelöst.</p> <p>Für jeden der vier Dampferzeuger steht ein Abblasestrang zur Verfügung. Zur Abfuhr der Nachzerfallsleistung beim Halten im Zustand „Nulllast, heiß“ sind 1 v 4 Abblasestränge erforderlich.</p> <p>Kurzfristig können die vier 100%-FD-Sicherheitsventile bei > 88,3 bar ansprechen.</p> <p>Erforderlich zur Druckbegrenzung</p>	<p>Nach dem Sekundärkreisabschluss wird bei einem Druck von > 84 bar das Teilabfahren auf 75 bar über die Frischdampf (FD)-Abblasestationen ausgelöst.</p> <p>Für jeden der drei Dampferzeuger steht ein Abblasestrang zur Verfügung. Zur Abfuhr der Nachzerfallsleistung beim Halten im Zustand „Nulllast, heiß“ sind 1 v 3 Abblasestränge erforderlich.</p> <p>Kurzfristig können die drei 8%-FD-Sicherheitsventile bei > 86 bar ansprechen.</p> <p>Erforderlich zur Druckbegrenzung</p>	<p>In beiden Anlagen können während des Teilabfahrens kurzfristig, bis zum Wirksamwerden der Abblaseregulierung, Frischdampf-Sicherheitsventile ansprechen. In GKN-2 ist in diesem Fall 1 v 4 100 %-FD-Sicherheitsventilen erforderlich. In GKN-1 ist 1 v 3 8%-FD-Sicherheitsventilen erforderlich.</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>sind 1 v 4 100%-FD-Sicherheitsventile.</p> <p>Die Ansteuerung der Abblaseregelventile erfolgt automatisch über den Reaktorschutz.</p> <p>Die Abblasestränge sind notstromgesichert.</p> <p>Die Armaturenkammern sind direkt am Reaktorgebäude angebaut und gegen Erdbeben ausgelegt, um die kontrollierte Nachwärmeabfuhr auch in diesem Fall sicherzustellen.</p> <p>/3//6/</p>	<p>sind 1 v 3 8%-FD-Sicherheitsventile.</p> <p>Die Ansteuerung der Abblaseregelventile erfolgt automatisch über den Reaktorschutz.</p> <p>Die Abblasestränge sind notstromgesichert.</p> <p>Die Armaturenkammern sind direkt am Reaktorgebäude angebaut und gegen Erdbeben ausgelegt, um die kontrollierte Nachwärmeabfuhr auch in diesem Fall sicherzustellen.</p> <p>/1//4//5/</p>	
<p>Dampferzeuger-Notbespeisung</p>	<p>Im Erdbebenfall ist die gesamte betriebliche Speisewasserversorgung nicht verfügbar.</p> <p>Das Notspeisesystem ist gegen Erdbeben, Flugzeugabsturz und Explosionsdruckwelle ausgelegt und notstromversorgt. Die Ansteuerung erfolgt aus dem Reaktorschutzsystem.</p> <p>/3/</p>	<p>Im Erdbebenfall ist die gesamte betriebliche Speisewasserversorgung nicht verfügbar.</p> <p>Das Notspeisesystem ist gegen EVA (Erdbeben, Flugzeugabsturz und Explosionsdruckwelle) ausgelegt. Verbraucher der Notspeiseteilsysteme werden redundanzweise jeweils von einer Schiene der Notstromversorgung gespeist. Die Ansteuerung erfolgt aus dem erdbebensicheren Re-</p>	<p>Bzgl. des Bewertungsmerkmals 2 besteht kein relevanter Unterschied. Die sicherheitstechnischen Reserven bei der Dampferzeugerbespeisung werden unter Bewertungsmerkmal 4 behandelt.</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
		aktorschutzsystem. Alle Teilsysteme sind im gegen Erdbeben, Flugzeugabsturz und Explosionsdruckwelle geschützten Notspeisegebäude untergebracht. <i>/1//2/</i>	
	Vier Notspeisepumpen zur Bespeisung von vier Dampferzeugern (4 Einspeisestränge) <ul style="list-style-type: none"> - 4 x 360 m³ Notspeisebecken, ab 800 m³ Restmenge muss die Anlage abgefahren werden - 2 Notspeisebecken erforderlich - 4 x 50 % (4 x 36,11 kg/s bei 100 bar) Notspeisepumpen vorhanden, - Zwei Pumpen sind zum 100 K/h-Abfahren ausreichend - baugleiche Pumpen, die jeweils mit Dieselmotor und alternativ mit E-Motor angetrieben werden können. Die Notspeisepumpen starten automatisch mit Dieselantrieb. Alle vier Stränge sind getrennt und	Vier Notspeisepumpen zur Bespeisung von drei Dampferzeugern (3 Einspeisestränge) <ul style="list-style-type: none"> - 4 x 205 m³ Notspeisebecken, ab 300 m³ Restmenge muss die Anlage abgefahren werden - 2 Notspeisebecken erforderlich - 4 x 50 % (4 x 20,8 kg/s bei 97,6 bar) Notspeisepumpen vorhanden, - Zwei Pumpen sind zum 100 K/h-Abfahren ausreichend - baugleiche Pumpen, alle mit E-Motor (von den Notstromschienen versorgt). <i>/1/, /2/, /5/, /8/</i>	Hinsichtlich der zur Störfallbeherrschung erforderlichen Anzahl an Pumpen und deren Antriebe und der benötigten Deionatvorräte ergibt sich leistungsbezogen kein relevanter Unterschied. Die maximale leistungsbezogene Förderleistung der Notspeisepumpen ist in GKN-2 größer als in GKN-1 (bezogen auf den jeweiligen Ansprechdruck des 100 % Sicherheitsventils). Da bei niedrigeren Drücken die Förderleistung der Notspeisepumpen von GKN-1 größer ist als in GKN-2 lässt sich daraus kein relevanter Unterschied ableiten.

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>autark ausgeführt, können bei Bedarf jedoch manuell auf jeden Dampferzeuger aufgeschaltet werden.</p> <p>/3/, /4/, /6/, /9/</p>		
<p>Primärkreisabschluss (PKA)</p>	<p>Alle vom Primärkreislauf (PKL) abgehenden Leitungen haben Absperrarmaturen innerhalb des RSB.</p> <p>Die PKA-Armaturen mit Ansteuerung und Stromversorgung sind gegen die durch Erdbeben induzierten Erschütterungen ausgelegt.</p> <p>Die Notstromversorgung erfolgt aus unterschiedlichen Scheiben des D2-Netzes. Ein Einzelfehler wird durch die redundante Scheibenzuordnung der 1. und 2. PKA-Armatur beherrscht.</p> <p>Systeme, die Kühlmittel aus dem PKL entnehmen, haben zwei in Reihe angeordnete Motorarmaturen, die über das Reaktorschutzsystems angesteuert und zugefahren werden.</p> <p>Einspeisende Systeme (KBA, JN, JDH) haben mind. zwei Rückschlag-</p>	<p>Alle vom PKL abgehenden Leitungen haben Absperrarmaturen innerhalb des RSB.</p> <p>Es ist gewährleistet, dass durch Störfallfolgewirkungen bei EVA (Erdbeben) der PKA nicht unverfügbar wird.</p> <p>/1/, /2/</p> <p>Der aktive PKA ist notstromversorgt. Ein Einzelfehler in einer Scheibe der Energieversorgung wird durch redundante Scheibenzuordnung der 1. und 2. PKA-Armatur (bzw. Gebäudeabschluss-Armatur) beherrscht.</p> <p>Der Primärkreisabschluss in den Probenentnahmeleitungen erfolgt nur durch eine Armatur. Bei einem Einzelfehler an einer derartigen Armatur besteht die Möglichkeit, den geringen Kühlmittelverlust außerhalb des Reaktorsicherheitsbehälters, der eine Aktivitätsfreisetzung zur Folge hat, durch</p>	<p>Keine relevanten Unterschiede.</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>armaturen.</p> <p>Erforderlich ist in jeder abzusperrenden Leitung mind. eine Absperrarmatur.</p> <p>Messleitungen (kleine Querschnitte) sind über systemeigene Handarmaturen absperrbar.</p> <p>/3/</p>	<p>Schließen der GBA-Armaturen (Systemfunktion "Gebäudeabschluss") zu unterbinden.</p> <p>Einspeisende Systeme (TA, TH) haben mind. zwei Rückschlagarmaturen. Die von dem Sammler der heißen TA-Einspeiseleitung zu dem Sperrwasserfilter im Reaktorhilfsanlagengebäude führende Sperrwasserleitung erhält im Ringraum eine Absperrarmatur, die durch das PKA-Signal geschlossen wird.</p> <p>Erforderlich ist in jeder abzusperrenden Leitung mind. eine Absperrarmatur.</p> <p>Messleitungen, die betrieblich offen stehen, besitzen zur Minimierung möglicher Leckraten Einzeihungen von DN 15 auf DN 5 oder in Einzelfällen auf DN 10. Bei Leckagen außerhalb des Reaktorsicherheitsbehälters (RSB) kann das Leck über Handarmaturen im RSB abgesperrt werden./1//2/</p>	
Leckageergänzung im	Bei Störfällen infolge "Einwirkung von Außen" ergänzt das Zusatzborier-	Die Leckageergänzung erfolgt über das Volumenregelsystem (TA).	Die Leckageergänzung im Erdbebenfall erfolgt in GKN-1 durch das Volu-

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
Primärkreis	<p>system (JDH) Leckagen mit Borwasser aus den Flutbecken.</p> <p>Das Zusatzboriersystem ist gegen Erdbeben ausgelegt.</p> <p>Bei EVA (einschl. Erdbeben) wird durch das Reaktorschutz-Signal "Druckhalter-Füllstand tief" (< 2,28 m) die Einspeisung von Borwasser aus den Flutbehältern über das Zusatzboriersystem angeregt.</p> <p>4 Flutbecken, Mindestinhalt 4 x 450 m³.</p> <p>Die Zusatzborierpumpen und die Armaturentriebe werden strangweise notstromversorgt.</p> <p>Die Pumpen des Zusatzboriersystems befinden sich strangweise getrennt in separaten Räumen des Reaktorringraumes.</p>	<p>Auslegung der Komponenten und Rohrleitungen unter Berücksichtigung aller EVI-Lasten (Temperatur, Druck, Wärmedehnung, Bruchlasten usw.) sowie der Erdbebenlasten.</p> <p>Bei einem Druckhalter-Füllstand < 2,85 m wird durch den Reaktorschutz die Primärkühlmittelegänzung durch die Einspeisung von Borwasser aus den Flutbehältern über das Volumenregelsystem angesteuert.</p> <p>4 Flutbehälterpaare, Mindestinhalt 4 x 207 m³.</p> <p>Alle erforderlichen Verbraucher des TA-Systems werden redundanzweise jeweils von einer Schiene der Notstromversorgung gespeist.</p> <p>Die TA-Pumpen sind im Ringraum jeweils in benachbarten Räumen und von den Armaturen getrennt (gilt nicht für Abdrückpumpe) angeordnet.</p> <p>Von den Flutbehältern bis zur Einmündung in die Einspeiseleitung ist das TA-System dreisträngig ausgelegt, danach nur noch zweisträngig</p>	<p>menregelsystem (TA) und in GKN-2 durch das Zusatzboriersystem (JDH).</p> <p>Das Volumenregelsystem in GKN -1 ist im Bereich der Pumpen dreisträngig, im Bereich der Einspeiseleitungen zweisträngig aufgebaut. Das Zusatzboriersystem in GKN-2 ist durchgängig viersträngig aufgebaut.</p> <p>Das verfügbare Inventar der Flutbehälter beträgt in GKN-1 828 m³ und in GKN-2 1800 m³.</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>Die vier Zusatzborierpumpen haben eine Förderrate von je 2 kg/s</p> <p>Zur Störfallbeherrschung sind zwei Einspeisestränge notwendig.</p> <p>/3/, /4/, /7/</p>	<p>(Haupteinspeiseleitung und kalte Einspeiseleitung).</p> <p>Strang 3 und 2 mit je einer HD-Förderpumpe (6,25 kg/s), Strang 1 mit der Abdrückpumpe (1,44 kg/s)</p> <p>Zur Störfallbeherrschung sind 1 v 3 Pumpen und 1 v 2 Einspeiseleitungen notwendig.</p> <p>/1/, /2/, /8/</p>	<p>Die maximal mögliche Gesamteinspeiserate zur primärseitigen Leckageergänzung beträgt in GKN-1 ca. 14 kg/s und in GKN-2 8 kg/s.</p> <p>Zur Leckageergänzung im Erdbebenfall sind in GKN-1 1 v 3 Pumpen und 1 v 2 Einspeiseleitungen erforderlich. In GKN-2 werden 2 v 4 Einspeisestränge benötigt.</p>
Leittechnik	<p>Aufgrund von Zerstörungen in nicht gegen Erdbeben ausgelegten Bereichen der Anlage (z.B. im Maschinenhaus) kann es zu Fehlsignalen kommen, die die Inbetriebnahme von Systemen über die betriebliche Leittechnik von der Warte aus behindern können.</p> <p>Vom Reaktorschutzsystem oder vom Begrenzungssystem vorrangig angesteuerte Komponenten sind von erdbebeninduzierten Fehlsignalen nicht betroffen, da diese Systeme gegen-</p>	<p>Für die leittechnischen Komponenten des Reaktorschutzsystems wurden Nachweise zur Erdbebenfestigkeit der RS-Schränke sowie zur Erdbebenfestigkeit und Betriebsbewahrung der RS-Baugruppen erbracht.</p> <p>Aufgrund von Zerstörungen in nicht gegen Erdbeben ausgelegten Bereichen der Anlage (z.B. im Maschinenhaus) kann es zu Fehlsignalen/ Überspannungen kommen, die die Funktionstüchtigkeit von Teilen der Warte sowohl bzgl. der Steuerungen als</p>	<p>In GKN-2 liegt eine vollständige Entkopplung des Reaktorschutzes gegenüber der betrieblichen Leittechnik vor. Alle langfristig erforderlichen Maßnahmen können im Erdbebenfall von der Warte oder der Notsteuerstelle aus eingeleitet werden.</p> <p>Für GKN-1 kann eine kurzfristige Funktionsunfähigkeit von Teilen der Ansteuerung durch den Reaktorschutz nach Erdbeben nicht ausgeschlossen werden.</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>über der betrieblichen Leittechnik entkoppelt sind.</p> <p>Die langfristig erforderlichen Maßnahmen zum Abfahren der Anlage (Dampferzeuger-Notbespeisung, 50 K/h-Abfahren, Druckhaltersprühen, Volumenkontraktionsergänzung und Borierung, Aktivierung der Nachkühlkette) können, sofern sie nicht bereits über den Reaktorschutz erfolgen, von der Warte oder der Notsteuerstelle aus eingeleitet werden.</p> <p>/3/</p>	<p>auch bzgl. der Information zumindest vorübergehend einschränken können.</p> <p>Daher wird für das langfristig erforderliche Abfahren der Anlage auf „unterkritisch, kalt“ und für die nachfolgende Inbetriebnahme der Nachkühlketten (nicht von der Notsteuerstelle aus möglich) angenommen, dass die Funktionstüchtigkeit der Warte vorübergehend eingeschränkt ist.</p> <p>Der rückwirkungsfreie Aufbau des Reaktorschutzsystems wurde bei Errichtung der Anlage gemäß dem damaligen Stand erfüllt. Der Betreiber hat ein neues Konzept zur Ertüchtigung der Entkoppelung im Reaktorschutzsystem in Aussicht gestellt.</p> <p>Bei den im Schaltanlagegebäude angeordneten Ansteuerungen (Reaktorschutzsystem und betriebliche Leittechnik) und Schaltanlagen ist eine kurzfristige Funktionsfähigkeit nach Erdbeben nicht nachgewiesen.</p> <p>/1//2/</p>	<p>In GKN-1 können nicht alle Maßnahmen von der Notsteuerstelle durchgeführt werden. Es sind Handmaßnahmen beim Handabfahren mit 50 K/h, bei der Zuschaltung des Druckhalter-Hilfssprühens und der Nachkühlkette in den Schaltschränken des Notstromdieselgebäudes und/oder Schaltanlagegebäudes erforderlich.</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
<p>Abfahren auf „unterkritisch, kalt“ über Frischdampf-Abblasestationen mit 50 K/h</p>	<p>Im BHB ist bei Erdbeben das Abfahren per Hand mit 50 K/h über die FD-Abblasestation aus dem Zustand „unterkritisch, heiß“ auf „unterkritisch, kalt“ vorgesehen zur Übernahme der Wärmeabfuhr durch das Nachkühlsystem.</p> <p>4 x 100 % Abblaseregelventile ausgelegt für insgesamt 2056 kg/s Dampf bei 86 bar (abs).</p> <p>Zum Abfahren der Anlage mit (einem Gradienten von bis zu) 100 K/h bis auf Übernahme der primärseitigen NWA (bei 150°C möglich) ist grundsätzlich ein Abblasestrang ausreichend.</p> <p>Soll über die Sekundärseite die Kühlmitteltemperatur weiter abgesenkt werden, so sind zwei Abblasestränge erforderlich.</p> <p>Die Durchführung der Maßnahme erfolgt von der Warte oder der Notsteuerstelle aus.</p> <p>/2/, /6/</p>	<p>Im BHB ist bei Erdbeben das Abfahren per Hand mit 50 K/h über die FD-Abblasestation aus dem Zustand „unterkritisch, heiß“ auf „unterkritisch, kalt“ vorgesehen zur Übernahme der Wärmeabfuhr durch das Nachkühlsystem.</p> <p>3 x 100 % Abblaseregelventile ausgelegt für insgesamt 1260 kg/s Dampf bei 84 bar (abs).</p> <p>Zum Abfahren der Anlage mit (einem Gradienten von bis zu) 100 K/h bis zu einem Druck von 20 bar reicht ein Abblasestrang aus.</p> <p>Bei weiterem Abfahren bis zu einem Druck von <7 bar werden zwei Abblasestränge benötigt.</p> <p>Die Koordination der Maßnahmen erfolgt von der Notsteuerstelle aus, Handmaßnahmen vor Ort im NSDG sind notwendig.</p> <p>/1/, /4/, /5/, /7/</p>	<p>In GKN-1 sind für das 50 K/h-Abfahren auf den Zustand „unterkritisch, kalt“ 1 v 3 Abblaseregelventile ausreichend. In GKN-2 sind 1 v 4 Abblaseregelventile ausreichend. Daraus ergibt sich kein relevanter Unterschied.</p> <p>Abfahren per Hand erfolgt in GKN-2 von der Warte oder der Notsteuerstelle aus. In GKN-1 erfolgt das Abfahren von der Notsteuerstelle aus wobei zusätzlich Handmaßnahmen vor Ort notwendig sind (siehe Bewertungspunkt „Leittechnik“).</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
Druckhalter-Hilfssprühen	<p>Im Erdbebenfall ist laut BHB /6/ beim Abfahren der Anlage in den Zustand „unterkritisch, kalt“ bei Erreichen einer Kühlmittelintrittstemperatur von 120°C die Druckabsenkung im Primärkreis mittels Druckhalter (DH)-Sprühen durch das Zusatzboriersystem (JDH) vorgesehen. Ein Einspeisestrang ist ausreichend.</p> <p>Das Zusatzboriersystem ist ohne Vermaschung viersträngig aufgebaut. Die Einspeisekapazitäten betragen 4 x 2 kg/s.</p> <p>Die Zuschaltung erfolgt von der Warte aus über die betriebliche Leittechnik oder per Handmaßnahmen von der Notsteuerstelle über die Dreiwegearmaturen in den 4fach vorhandenen Einspeiseleitungen im RSB.</p>	<p>Im Erdbebenfall ist laut BHB /5/ beim Abfahren der Anlage in den Zustand „unterkritisch, kalt“ bei Erreichen einer Kühlmittelintrittstemperatur von 120°C die Druckabsenkung im Primärkreis mittels DH-Hilfssprühen durch das Volumenregelsystem (TA) vorgesehen. Ein Einspeisestrang ist ausreichend.</p> <p>Von den Flutbehältern bis zur Einmündung in die Einspeiseleitung ist das TA-System dreisträngig ausgelegt, danach nur noch zweisträngig. Die Einspeisekapazitäten betragen 2 x 6,25 kg/s (HD-Pumpen) bzw. 1,44 kg/s Abdrückpumpe.</p> <p>Die Zuschaltung erfolgt per Handmaßnahmen im Schaltschrank des Notstromdieselgebäudes über die Dreiwegearmaturen in den zweifach vorhandenen Einspeiseleitungen im RSB.</p>	<p>Die Zuschaltung des Druckhalter-Sprühens ist bei GKN-1 durch Handmaßnahmen im Notspeisedieselgebäude, bei GKN-2 von der Warte oder der Notsteuerstelle aus möglich (siehe Bewertungspunkt „Leittechnik“).</p> <p>Die maximal mögliche Gesamteinspeiserate beträgt in GKN-1 ca. 14 kg/s und in GKN-2 8 kg/s. Daraus ergibt sich für die Funktion kein relevanter Unterschied, da jeweils ein Einspeisestrang mit jeweils einer Pumpe ausreichend ist</p>
Nachwärmeabfuhr	Die langfristige Nachwärmeabfuhr erfolgt über die Nachkühlkette (Nukleares Not- und Nachkühlsystem (JN), Zwischenkühlwassersystem (KA),	Die langfristige Nachwärmeabfuhr erfolgt über die Nachkühlkette (Nukleares Not- und Nachkühlsystem (TH), Zwischenkühlwassersystem (TF), Ne-	Keine relevanten Unterschiede in der verfahrenstechnischen Aufgabenerfüllung bei Erdbeben

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>Nebenkühlwassersystem (PE)).</p> <p>Das gesamte JN-System, das KAA-System (Sicherheitskomponentenkühlsystem) sowie die Komponenten und Rohrleitungen des Nebenkühlwassersystem (PE) sind gegen Erdbeben ausgelegt.</p>	<p>benkühlwassersystem (VE)).</p> <p>Alle zur Nachwärmeabfuhr einsetzbaren Systemteile des TH-Systems im Reaktorgebäude, die Komponenten des Zwischenkühlwassersystem (TF) und des Nebenkühlwassersystems (VE) sind gegen Erdbeben ausgelegt. /1//2/</p>	
	<p>Die Zuschaltung erfolgt von der Warte oder der Notsteuerstelle.</p>	<p>Die Zuschaltung erfolgt per Handmaßnahme in den Schaltschränken des Notstromdieselgebäudes und Schaltanlagegebäudes.</p>	<p>Im Erdbebenfall sind in GKN-1 Handmaßnahmen in Schaltschränken im Notstromdieselgebäude und im Schaltanlagegebäude erforderlich. In GKN-2 können alle Schalthandlungen von der Warte oder von der Notsteuerstelle aus erfolgen (siehe Bewertungspunkt „Leittechnik“).</p>
<p>- Nachkühl-system</p>	<p>Viersträngiges nukleares Nachkühl-system (TH).</p> <p>Eine Nachkühlpumpe und ein Nachwärmekühler pro Strang.</p> <p>Die Nachkühlung zum Abfahren der Anlage wird bis zu einer Temperatur von 120 °C und einem Druck von 32 bar vom Speisewasser- und Dampfkreislauf ausgeführt. Danach über-</p>	<p>Dreisträngiges nukleares Nachkühl-system (TH).</p> <p>Eine Nachkühlpumpe und ein Nachwärmekühler pro Strang.</p> <p>Die Nachwärmeabfuhr kann nach sekundärseitigem Abfahren (50 K/h-Abfahren) durch einen Strang sichergestellt werden. /1/</p>	<p>Kein Unterschied bezüglich der erforderlichen Anzahl der Nachkühlstränge.</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	nimmt der Nachkühlkreislauf diese Aufgabe, wobei auch mit nur einem Strang des JNA-Systems die Nachkühlung möglich ist.	2 der 3 Nachkühlstränge (TH10, TH30) sind betrieblich als Beckenkühlstrang vorgesehen.	
- Zwischenkühlwassersystem	<p>Das Zwischenkühlwassersystem ist viersträngig aufgebaut mit einer Zwischenkühlpumpe und einem nuklearen Zwischenkühler pro Strang.</p> <p>Ein Strang mit einer Zwischenkühlpumpe ist erforderlich.</p>	<p>Dreisträngiges Zwischenkühlwassersystem</p> <p>Zwei parallel geschaltete, notstromgesicherte Zwischenkühlwasserpumpe und ein Zwischenkühler pro Strang.</p> <p>Ein Strang mit einer Zwischenkühlwasserpumpe ist erforderlich.</p>	Kein Unterschied bezüglich der erforderlichen Anzahl der Nachkühlstränge (jeweils einer).
- Nebenkühlwassersystem	<p>Viersträngiges nukleares Nebenkühlwassersystem. Eine gesicherte Nebenkühlwasserpumpe sowie ein Zwischenkühler und ein Zellenkühler pro Strang.</p> <p>Die vier gesicherten Nebenkühlwasserpumpen sind jeweils in separaten Pumpenhäusern aufgestellt.</p> <p>1 v 4 Strängen des nuklearen Nebenkühlwassersystems sind erforderlich.</p>	<p>Dreisträngiges nukleares Nebenkühlwassersystem. Eine Nebenkühlwasserpumpe und ein Zwischenkühler pro Strang. Versorgung mit Flusswasser.</p> <p>1 v 3 Strängen des nuklearen Nebenkühlwassersystems sind erforderlich.</p>	Kein Unterschied bezüglich der erforderlichen Anzahl der Nachkühlstränge (jeweils einer).

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
Integrität der DFU	<p>Der Primärkreislauf ist gegen Belastungen aus Erdbeben ausgelegt. Für Kleinleitungen ist die Integrität aufgrund der Verlegung gegeben.</p> <p>/3/</p>	<p>Der Primärkreislauf ist gegen Belastungen aus Erdbeben ausgelegt. Für Kleinleitungen ist die Integrität aufgrund der Verlegung gegeben.</p> <p>/1/</p>	Kein konzeptioneller Unterschied erkennbar.
Gebäude	<p>Die Auslegung der Gebäude gegen induzierte Erschütterungen beim Bemessungserdbeben wird in der PSÜ /4/ bestätigt für:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reaktorgebäude mit Armaturenbau (UJA, UJB, UJE) - Notstromerzeugergebäude (UBP) - Notspeisegebäude (ULB) - Schaltanlagegebäude (UBA) - Brunnenschacht 2 (UQX) - Nebenkühlwasserpumpen-, -kühlturbauwerke (½ und ¾ URE/URB), - Rohr- und Kabelkanäle zw. Notstromerzeugergebäude (UBP) und Schaltanlagegebäude (UBA) (5 bis 	<p>Die Auslegung der Gebäude gegen induzierte Erschütterungen beim Bemessungserdbeben wird in der PSÜ /2/ bestätigt für:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reaktorgebäude mit Armaturenbau (ZA/ZB) - Notstromdieselgebäude (ZK) - Notspeisegebäude (ZX) - Schaltanlagegebäude (ZE) - Brunnenschächte (ZO u. UGX) - Kühlwasserbauwerke (0ZM, 1ZM, 2ZM) - Kabelkanäle zw. Notstromdieselgebäude (ZK) u. Schaltanlagegebäude (ZE) (Red. 1-4) 	<p>In GKN-1 werden Gebädetrümmern von Maschinenhaus und dem Werkstatt- und Lagergebäude bei der Auslegung benachbarter Gebäude berücksichtigt. In GKN-2 wird aufgrund der Auslegung entsprechend DIN 4149 nicht von erdbebenbedingtem Versagen ausgegangen. Einwirkungen durch Trümmerstücke werden demnach nicht berücksichtigt.</p> <p>Hinsichtlich der Sicherstellung erforderlicher Systemfunktionen im Erdbebenfall ergeben sich daraus keine relevanten Unterschiede.</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>8 UBZ),</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kabelbrücken zw. Schaltanlagegebäude (UBA) u. Reaktorgebäude-Ringraum (UJB) (1 bis 4 UBY), - Rohr- und Kabelkanäle zw. Reaktorgebäude-Ringraum (UJB) und Notspeisegebäude (ULB) (1 bis 4 ULZ), <p>Standsicherheit für das Reaktorhilfsanlagegebäude und den Abluftkamin wird in der PSÜ bestätigt./4/</p> <p>Alle Bauwerke sind mindestens nach DIN 4149 ausgelegt (teilweise unter zusätzlicher Berücksichtigung der Belastungen aus dem Bemessungserdbeben), so dass erdbebenbedingtes Versagen nicht zu erwarten ist. Gebädetrümmen wurden nicht berücksichtigt. /3/</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Kabelbrücke zw. Schaltanlagegebäude (ZE) u. Reaktorgebäude (ZA/ZB) - Rohr- und Kabelkanäle zw. Reaktorgebäude-Ringraum (ZB) u. Notspeisegebäude (ZX) (Red. 1-4) - Kabelkanäle zw. Notstromdieselgebäude (ZK) u. Notspeisegebäude (ZX) (Red. 1-4) Kabelkanal um ZP/2ZM (Kühlwasserpumpenbauwerk) <p>Der Nachweis der Standsicherheit (BEB) für das Reaktorhilfsanlagegebäude wird in der PSÜ bestätigt.</p> <p>Für das Kühlwasserentnahmebauwerk (0ZM) und das Kühlwasserreinigungsbauwerk (1ZM), soweit erforderlich, ist der Wasserzulauf zum Kühlwasserpumpenbauwerk nicht beeinträchtigt.</p> <p>Gebädetrümmen aus Maschinenhaus und dem Werkstatt- und Lagergebäude wurden für folgende Bauwerke be-</p>	

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
		rücksichtigt: - Reaktorgebäude, - Überbau Reaktorgebäude / Maschinenhaus - Reaktorhilfsanlagengebäude - Schaltanlagengebäude - Notspeisegebäude - Notstromdieselgebäude - Grundwasserentnahmebauwerk - relevante Rohr- und Kabelkanäle. /1/	
Merkmal 3: Erdbebeninduzierte Folgeschäden			
Vermeidung redundanzübergreifender Schäden	Es wurden Vorkehrungen zur Verhinderung von redundanzübergreifenden Schäden als Folge des induzierten Versagens anderer Systeme getroffen (Vorkehrungen zur Verhinderung von Folgeschäden durch Umstürzen, Abstürzen oder Verrutschen nicht erdbebensicherer Anlagenteile an solchen Systemteilen, deren Funktion für die Gewährleistung notwendiger Sicherheitsfunktionen unabdingbar ist). /3/	Es wurden Vorkehrungen zur Verhinderung von redundanzübergreifenden Schäden als Folge des induzierten Versagens anderer Systeme getroffen (Vorkehrungen zur Verhinderung von Folgeschäden durch Umstürzen, Abstürzen oder Verrutschen nicht erdbebensicherer Anlagenteile an solchen Systemteilen, deren Funktion für die Gewährleistung notwendiger Sicherheitsfunktionen unabdingbar ist). /1/	Bezüglich des konzeptionellen Vorgehens zur Vermeidung von erdbebeninduzierten, redundanzübergreifenden Schäden ist auf der Basis der vorliegenden Unterlagen kein relevanter Unterschied erkennbar.

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
Anlageninterne Brände	Maßnahmen zur Verhinderung einer Freisetzung von Brandgütern wurden durch die durch erdbebensichere Ausführung von Ölversorgungssystemen mit größerem Inhalt und Aktivkohleanlagen in den sicherheitstechnisch wichtigen Bauwerken getroffen. /3/	Maßnahmen zur Verhinderung einer Freisetzung von Brandgütern wurden durch die durch erdbebensichere Ausführung von Ölversorgungssystemen mit größerem Inhalt und Aktivkohleanlagen in den sicherheitstechnisch wichtigen Bauwerken getroffen. /1/	Hinsichtlich der Verhinderung erdbebeninduzierter Brände sind keine relevanten Unterschiede erkennbar.
Anlageninterne Überflutung	<p>Abdeckend ist die anlageninterne Überflutung im Ringraum infolge erdbebeninduzierter Lecks an nicht gegen Erdbeben ausgelegten wasserführenden Leitungen.</p> <p>Abdeckende Betrachtung für Überflutungen im Ringraum.</p> <p>Es dürfen maximal 1175 m³ Wasser im Ringraum freigesetzt werden.</p> <p>Maximal mögliche Wasserfreisetzungen aus relevanten Systemen innerhalb von 2 Stunden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 335 m³ (BE-Beckenreinigung FAL, AA vom Flutbehälter zur Ringleitung JNK, Deionatversorgung GHC, Betriebskomponentenkühlsystem KAB, Kältemediumsystem OQK; langfristig notwendige Absperrung in JNK und 	<p>Abdeckend ist die anlageninterne Überflutung im Ringraum infolge erdbebeninduzierter Lecks an nicht gegen Erdbeben ausgelegten, wasserführenden Leitungen.</p> <p>Abdeckende Betrachtung für Überflutungen im Ringraum.</p> <p>Es dürfen maximal 660 m³ Wasser im Ringraum freigesetzt werden.</p> <p>Maximal mögliche Wasserfreisetzungen aus relevanten Systemen innerhalb von 2 Stunden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 320 m³ aus Deionatbehältern (Absperrung per Handmaßnahme möglich), - 400 m³ aus Versagen der Rohwasserleitung (Absperrung per Hand- 	<p>Die innerhalb von 2 Stunden aufgrund erdbebeninduzierter Leitungsbrüche im Ringraum freisetzbare Wassermenge beträgt in GKN-1 720 m³ wenn keine Handabsperurmaßnahmen erfolgen. Die maximal zulässige Menge beträgt 660 m³.</p> <p>In GKN-2 beträgt die innerhalb von 2 Stunden freisetzbare Wassermenge im Ringraum 785 m³. Maximal zulässig sind 1175 m³.</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>GHC erfolgt automatisch, die anderen Absperrungen erfolgen per Hand innerhalb von 2 Stunden)</p> <p>- Überlagerung mit dem Ausfall einer autarken Absperrung (Einzelfehler): 450 m³</p> <p>/3/</p>	<p>maßnahme möglich) /1/</p> <p>Handmaßnahmen zum Absperrern von Lecks bei nicht gegen Erdbeben ausgelegten Systemen erfolgen innerhalb von 2 Stunden.</p> <p>/1/</p>	
Berstdruckwelle infolge Behälterversagen	<p>Die großen hochenergetischen Behälter im Maschinenhaus sind basissicher, das Maschinenhaus selbst ist standsicher nach DIN 4149 ausgelegt. Eine erdbebeninduzierte Berstdruckwelle infolge Versagens hochenergetischer Behälter in Maschinenhaus ist daher unwahrscheinlich, in der Auslegung sicherheitsrelevanter Anlagenteile (insbesondere Armaturenkammer) aber berücksichtigt. /3/</p>	<p>Das erdbebeninduzierte Versagen hochdruckführender Behälter im standsicheren Maschinenhaus ist unwahrscheinlich und hypothetisch. /1/</p> <p>Bei Behälterversagen im Maschinenhaus wird die Druckwelle durch die Baustrukturen des Maschinenhauses soweit abgeschwächt, dass außerhalb des Maschinenhauses keine relevanten Auswirkungen auftreten /1/.</p>	<p>Das Auftreten einer Berstdruckwelle durch Versagen von hochdruckführenden Behältern im Maschinenhaus infolge von Erdbeben ist für beide Anlagen „unwahrscheinlich“. In GKN-2 wurden dennoch mögliche Folgen für die benachbarte Armaturenkammer bei der Auslegung berücksichtigt, in GKN-1 nicht.</p>
Radiologische Auswirkungen	<p>Abdeckend ist das vollständige Entleeren des Abwasserverdampferbehälters im Reaktorhilfsanlagengebäude. Dabei erfolgen die Aktivitätsabgabe in die Raumluft und die Abgabe dieser luftgetragenen Aktivität bodennah über Gebäudeundichtigkeiten.</p>	<p>Abdeckend ist das vollständige Entleeren des Abwasserverdampferbehälters im Reaktorhilfsanlagengebäude. Dabei erfolgen die Aktivitätsabgabe in die Raumluft und die Abgabe dieser luftgetragenen Aktivität bodennah über Gebäudeundichtigkeiten.</p>	<p>Hinsichtlich der getroffenen Annahmen und der radiologischen Auswirkungen sind auf Basis der vorliegenden Unterlagen keine Unterschiede erkennbar.</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	Potentielle Strahlenexposition (GW §28.3 StrISchV (alt): 50 mSv): Erwachsener 0,1 mSv, Kleinkind 0,14 mSv /3/	Potentielle Strahlenexposition (GW §28.3 StrISchV (alt): 50 mSv): Erwachsener 0,1 mSv, Kleinkind 0,14 mSv /1/.	
Merkmal 4: Zusätzliche zur Verfügung stehende Maßnahmen und Einrichtungen			
RESA-Auslösung	Weitere Kriterien zur RESA-Auslösung nach EVA sind vorhanden. /3/	Weitere Kriterien zur RESA-Auslösung nach EVA sind vorhanden. /1/	Keine relevanten Unterschiede.
Notstromversorgung	Notstromnetz 2 (D2-Netz) ist vorhanden. Aufgestellt in separaten Räumen des Notspeisegebäudes, räumlich getrennt von den Anlagen des D1-Netzes Notspeisegebäude, Notstromerzeugungsanlage, Notstromverteilungen sowie alle relevanten Hilfseinrichtungen des D2-Netzes sind gegen induzierte Erschütterungen infolge Erdbeben, Flugzeugabsturz und Explosionsdruckwelle ausgelegt. Viersträngiger Aufbau zur Versorgung der dem D2-Netz zugeordneten	Ein Reservediesel (1 x 3280 kW) separat im Dieselgebäude 5, der auf jede der vier Redundanzen aufschaltbar ist. Räumlich getrennt von der Notstromerzeugungsanlage und geschützt gegen Erdbeben (Auslegung, Aufstellung). Der Reservediesel hat Kraftstoffreserven für insgesamt 72 h. /8/	In GKN-1 ist im Erdbebenfall ein zusätzliches Reservediesellaggregat gleicher Leistung verfügbar, welches für die Versorgung je einer Redundanz der bei Erdbeben möglicherweise angeforderten Sicherheitseinrichtungen zur Verfügung steht. In GKN-2 ist im Erdbebenfall eine zusätzliche, EVA-geschützte, viersträngige Notstromerzeugungsanlage (D2-Netz) für die Sicherstellung der Notstromversorgung von Komponenten, die im Notstandsfall (Sicherheitsebene 4a) angefordert werden, als Reserve verfügbar. Damit können nicht alle möglicherweise bei Erdbeben an-

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>Verbraucher.</p> <p>Leistung: 4 x 850 kW</p> <p>Kraftstoffvorräte für jedes Notstromdieselaggregat für 24 h im Notspeisegebäude. Zusätzlich sind außerhalb des Notspeisegebäudes Kraftstoffvorräte für insgesamt 72 h gelagert. /4/</p>		<p>geforderten Sicherheitseinrichtungen versorgt werden.</p>
<p>Teilabfahren über Frischdampf-Abblasestation mit 100 K/h</p>	<p>Zusätzlich zu o. g. 1 v 4 Frischdampf-Abblasesträngen stehen mit gleicher Kapazität 3 Frischdampf-Abblasestränge zur Verfügung.</p> <p>4 v 4 100%-Sicherheitsventilen, alle ansteuerbar und damit alle für das Abfahren geeignet. Zum Öffnen der Ventile sind Simulationen im Reaktorschutz notwendig.</p> <p>Zur kurzfristigen Druckbegrenzung bis zum Wirksamwerden der Abblaseregulierung stehen zusätzlich 3 v 4 100 %-Frischdampf-Sicherheitsventile zur Verfügung.</p>	<p>Zusätzlich zu o. g. 1 v 3 Frischdampf-Abblasesträngen stehen mit gleicher Kapazität 2 Frischdampf-Abblasestränge zur Verfügung.</p> <p>3 v 3 100% -Sicherheitsventile, von Hand nach Freigabe über Schlüssel-schalter zu öffnen.</p> <p>Zur kurzfristigen Druckbegrenzung bis zum Wirksamwerden der Abblaseregulierung stehen zusätzlich 2 v 3 8%-Frischdampf-Sicherheitsventile zur Verfügung.</p>	<p>In GKN-2 stehen zum Teilabfahren der Anlage mehr Ventile sowohl bei den Abblasesträngen als auch bei den manuell zu öffnenden Sicherheitsventilen zur Verfügung als in GKN-1.</p> <p>GKN-1 verfügt zur kurzfristigen Druckbegrenzung über zwei 8%-SIV und drei 100%-SIV, GKN-2 über drei 100%-SIV, so dass GKN-1 in der Summe über zwei 8%-SIV mehr verfügt.</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
		3 x 100% Frischdampf-Sicherheitsventilen im Druckbereich 95 bis 86 bar (abs).	Die 100%-Sicherheitsventile in GKN-1 gelangen jedoch erst im Druckbereich oberhalb von 95 bar (abs) zusätzlich zu den 3 x 8 % Sicherheitsventilen zum Einsatz.
Dampferzeuger-Notbespeisung	<p>2 x 360 m³ Notspeisebecken zusätzlich</p> <p>Ab 800 m³ Restmenge muss die Anlage abgefahren werden.</p> <p>2 x 50%- Notspeisepumpen zusätzlich. Im Bedarfsfall kann jede Notspeisepumpe auf einen anderen Dampferzeuger umgeschaltet werden.</p>	<p>2 x 205 m³ Notspeisebecken zusätzlich.</p> <p>Ab 300 m³ Restmenge muss die Anlage abgefahren werden.</p> <p>2 x 50%- Notspeisepumpen zusätzlich, davon 1 als Ersatznotspeisepumpe auf die anderen drei Notspeisestränge aufgeschaltet</p>	<p>Sowohl die Summe der Deionatvorräte (13% mehr), als auch die zum Abfahren der Anlage zur Verfügung stehenden Deionatmindermengen (73% mehr) sind leistungsbezogen in GKN-2 größer als in GKN-1.</p> <p>In beiden Anlagen stehen 2 x 50%-Notspeisepumpen zusätzlich zur Verfügung. In GKN-1 kann eine davon als 4. Notspeisepumpe (Reserve) die drei Dampferzeuger mit bespeisen. In GKN-2 kann jede Notspeisepumpe auf alle anderen Dampferzeuger umgeschaltet werden.</p>
Primärkreisabschluss	Systeme, die Kühlmittel aus dem PKL entnehmen, haben zwei in Reihe angeordnete Motorarmaturen, die über den Reaktorschutz angesteuert und zugefahren werden. D.h. es steht eine zusätzliche ansteuerbare Absperrarmatur zur Verfügung.	Der Primärkreisabschluss in den Probeentnahme- und Anlagenentwässerungsleitungen erfolgt nur durch eine Armatur. Bei einem Einzelfehler an einer derartigen Armatur besteht die Möglichkeit, den geringen Kühlmittelverlust nach außerhalb des Reaktorsicherheitsbehälters, der eine Aktivi-	<p>Mit Ausnahme der Probeentnahme- und Anlagenentwässerungsleitungen sowie dem Aufbau der TA-Sperrwasserleitung sind keine Unterschiede zwischen den beiden Anlagen erkennbar.</p> <p>In GKN-2 steht in den Entnahmelei-</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	<p>Einspeisende Systeme (KBA, JN, JDH) haben mindestens zwei Rückschlagarmaturen. Damit steht eine zusätzliche Rückschlagarmatur zur Verfügung.</p>	<p>tätsfreisetzung zur Folge hat, durch Schließen der GBA-Armaturen (Systemfunktion "Gebäudeabschluss") zu unterbinden.</p> <p>Einspeisende Systeme (TA, TH) haben mindestens zwei Rückschlagarmaturen.</p> <p>Die von dem Sammler der heißen TA-Einspeiseleitung zu dem Sperrwasserfilter im Reaktorhilfsanlagengebäude führende Sperrwasserleitung enthält im Ringraum eine Absperrarmatur, die durch das PKA-Signal (YZ91) geschlossen wird. Hier steht keine zusätzliche Absperrarmatur zur Verfügung.</p>	<p>tungen durchgängig eine zweite, über das PKA-Signal angesteuerte Absperrarmatur zur Verfügung.</p> <p>In GKN-1 wird in den Entnahmeleitungen des TV- und TY-Systems (Probeentnahmeleitung, Anlagenentwässerung) nur eine Armatur über das PKA-Signal aus dem Reaktor-schutz angesteuert. Bei Ausfall dieser Armatur ist zu Verhinderung von Aktivitätsfreisetzungen eine Gebäudeabschlussarmatur ersatzweise zu betätigen. Die Sperrwasserleitung weist nur eine Absperrarmatur auf.</p>
<p>Leckageergänzung im Primärkreis</p>	<p>Zur Störfallbeherrschung stehen zwei gleichwertige zusätzliche Einspeisestränge zur Verfügung.</p>	<p>Zur Störfallbeherrschung stehen zusätzlich 2 v 3 Pumpen und 1 v 2 Einspeiseleitungen zur Verfügung.</p>	<p>In GKN-2 speist jede zusätzliche Pumpe auch in eine eigene Leitung ein, so dass auch zwei zusätzliche Einspeiseleitungen vorhanden sind. In GKN-1 steht eine zusätzliche Einspeiseleitung zur Verfügung.</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
Abfahren auf „unterkritisch, kalt“ über Frischdampf-Abblasestationen mit 50 K/h	3 v 4 Abblasestränge zusätzlich	2 v 3 Abblasestränge zusätzlich	In GKN-2 stehen zum Abfahren der Anlage per Hand drei zusätzliche Redundanzen, in GKN-1 zwei zusätzliche Redundanzen zur Verfügung.
Druckhalter-Hilfssprühen	3 v 4 Stränge des Zusatzboriersystems zusätzlich	2 v 3 Einspeisepumpen des Volumenregelsystems zusätzlich	Für das Druckhalter-Sprühen stehen in GKN-2 3 v 4 Zusatzborierpumpen und in GKN-1 2 v 3 Einspeisepumpen des Volumenregelsystems zusätzlich zur Verfügung.
Nachwärmeabfuhr			
- Nachkühlsystem	<p>3 v 4 Nachkühlstränge zusätzlich</p> <p>Zusätzlich sind zwei Beckenkühpumpen FAK10 / FAK40 parallel zu den Nachkühlpumpen in den Nachkühlsträngen JN10 / JN40.</p> <p>Die Beckenkühpumpen fungieren auch als Notnachkühlpumpen (EVA,</p>	<p>2 v 3 Nachkühlstränge zusätzlich</p> <p>Bei Ausfall einer TH-Pumpe wird eine vierte Nachkühlpumpe als Ersatz zugeschaltet.</p>	<p>In GKN-1 stehen zwei Nachkühlstränge zusätzlich zur Verfügung. Insgesamt sind in GKN-1 drei strangweise zugeordnet Nachkühlpumpen vorhanden. Eine vierte Nachkühlpumpe kann den Ausfall einer anderen Nachkühlpumpe ersetzen.</p> <p>In GKN-2 stehen 3 v 4 Nachkühlstränge zusätzlich zur Verfügung. Des</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
	s.u.).		Weiteren sind zusätzlich zu den vier Nachkühlumpen (eine erforderlich, drei zusätzlich) zwei Beckenkühlumpen parallel geschaltet, die auch als Notnachkühlumpen fungieren.
- Zwischenkühlwassersystem	<p>3 v 4 Stränge des Zwischenkühlwassersystems zusätzlich.</p> <p>In den Strängen 1 und 4 jeweils eine notstandsgesicherte, leistungsschwächere Notzwischenkühlpumpe zusätzlich.</p>	<p>2 v 3 Stränge des Zwischenkühlwassersystems zusätzlich.</p> <p>In jedem der insgesamt drei Stränge eine zusätzliche notstromgesicherte Zwischenkühlpumpe.</p>	<p>In GKN-1 steht in jedem der drei Stränge eine zweite notstromgesicherte Zwischenkühlpumpe zusätzlich zur Verfügung. Insgesamt stehen damit 5 v 6 Zwischenkühlumpen zusätzlich zur Verfügung.</p> <p>In GKN-2 stehen 3 v 4 zusätzliche notstromgesicherte Zwischenkühlumpen zur Verfügung.</p> <p>Zusätzlich ist in zwei Strängen jeweils eine notstandsgesicherte (D2-Netz), leistungsschwächere Notzwischenkühlpumpe parallel geschaltet. Nach sekundärseitiger Wärmeabfuhr ist die Leistung einer Notzwischenkühlpumpe zur Nachwärmeabfuhr im Zwischenkühlsystem ausreichend.</p> <p>Insgesamt stehen in GKN-2 damit 5 zusätzliche Zwischenkühlumpen zur Verfügung. Es ergibt sich kein relevanter Unterschied zu GKN-1.</p>

Bewertungsmerkmal	GKN-2	GKN-1	Bemerkung / Ergebnis
- Nebenkühlwassersystem	<p>3 v 4 Stränge des nuklearen Nebenkühlwassersystems zusätzlich.</p> <p>Parallel geschaltet sind zwei Notnebenkühlwasserpumpen für bestimmte EVA (Notstandsfälle) zur Kühlwasserversorgung von zwei Notnachkühlsträngen.</p> <p>Möglichkeit zur zusätzlichen Wasserversorgung über Brunnen (von GKN-1).</p>	<p>2 v 3 Stränge des nuklearen Nebenkühlwassersystems zusätzlich.</p> <p>Eine vierte Nebenkühlwasserpumpe schaltet bei Ausfall einer VE-Pumpe zu.</p> <p>Möglichkeit einer zusätzlichen Nebenkühlwasserversorgung über Brunnenwasserpumpe, transportable Tauchpumpe oder Dieselkühlwasser.</p>	<p>In GKN-1 sind zwei, in GKN-2 drei Stränge des nuklearen Nebenkühlwassersystems zusätzlich vorhanden.</p> <p>In GKN-1 schaltet eine vierte Nebenkühlwasserpumpe bei Ausfall einer VE-Pumpe zu, in GKN-2 sind zwei zusätzliche Notnebenkühlwasserpumpen vorhanden.</p> <p>Insgesamt stehen in GKN-1 damit drei, in GKN-2 fünf zusätzliche Pumpen zur Versorgung des Nebenkühlwassersystems zur Verfügung.</p>

5 Darstellung und Bewertung relevanter Unterschiede

5.1 Darstellung relevanter Unterschiede

Bewertungsmerkmal 2: Zur Ereignisbeherrschung erforderliche Maßnahmen und Einrichtungen

Notstromversorgung

Zum Zeitpunkt der PSÜ-Begutachtung fehlten in GKN-1 Nachweise zur Auslegung der Unterverteiler und Kabeltragkonstruktionen gegen Erdbeben. Zum aktuellen Stand der Nachweisführung liegen uns keine Angaben vor.

Teilabfahren über Frischdampf-Abblasestation mit 100 K/h

In beiden Anlagen können während des Teilabfahrens kurzfristig, bis zum Wirksamwerden der Abblaseregulung, Frischdampf-Sicherheitsventile ansprechen. In GKN-2 ist in diesem Fall ein 100 %-Frischdampf-Sicherheitsventil erforderlich. In GKN-1 ist ein vorgelagertes 8%-Sicherheitsventil erforderlich.

Dampferzeuger-Notbespeisung

Die maximale Förderleistung der Notspeisepumpen ist in GKN-2 gemäß Auslegung gegen den Ansprechdruck der 100%-Sicherheitsventile größer als in GKN-1.

Leckageergänzung im Primärkreis

Die Leckageergänzung erfolgt im Erdbebenfall in GKN-1 durch das Volumenregelsystem (TA) und in GKN-2 durch das Zusatzboriersystem (JDH).

Das Volumenregelsystem in GKN-1 ist im Bereich der Pumpen dreisträngig, im Bereich der Einspeiseleitungen zweisträngig aufgebaut. Das Zusatzboriersystem in GKN-2 ist durchgängig viersträngig aufgebaut. Zur Leckageergänzung im Erdbebenfall sind in GKN-1 1 v 3 Pumpen und 1 v 2 Einspeiseleitungen erforderlich. In GKN-2 werden 2 v 4 Einspeisestränge benötigt.

Das verfügbare Inventar der Flutbehälter beträgt in GKN-1 828 m³ und in GKN-2 1800 m³. Die maximal mögliche Gesamteinspeiserate zur primärseitigen Leckageergänzung beträgt in GKN-1 ca. 14 kg/s und in GKN-2 8 kg/s.

Leittechnik

In GKN-2 liegt eine vollständige Entkopplung des Reaktorschutzes gegenüber der betrieblichen Leittechnik vor. Alle langfristig erforderlichen Maßnahmen können auch im Erdbebenfall von der Warte oder der Notsteuerstelle aus eingeleitet werden.

Für GKN-1 kann eine kurzfristige Funktionsunfähigkeit von Teilen der Ansteuerung durch den Reaktorschutz nach Erdbeben nicht vollständig ausgeschlossen werden.

In GKN-1 können nicht alle Maßnahmen von der Notsteuerstelle durchgeführt werden. Es sind Handmaßnahmen beim Handabfahren mit 50 K/h, bei der Zuschaltung des Druckhalter-Hilfssprühens und der Nachkühlkette in den Schaltschränken des Notstromdieselgebäudes und/oder Schaltanlagegebäudes erforderlich.

Abfahren auf „unterkritisch, kalt“ über Frischdampf-Abblasestationen mit 50 K/h

Abfahren per Hand erfolgt in GKN-2 von der Warte oder der Notsteuerstelle aus. In GKN-1 erfolgt das Abfahren von der Notsteuerstelle aus wobei zusätzlich Handmaßnahmen vor Ort notwendig sind (siehe Bewertungspunkt „Leittechnik“).

Druckhalter-Hilfssprühen

Die Zuschaltung des Druckhalter-Sprühens ist bei GKN-1 durch Handmaßnahmen im Notspeisedieselgebäude, bei GKN-2 von der Warte oder der Notsteuerstelle aus möglich (siehe Bewertungspunkt „Leittechnik“).

Nachwärmeabfuhr

Im Erdbebenfall sind in GKN-1 Handmaßnahmen in Schaltschränken im Notstromdieselgebäude und im Schaltanlagegebäude erforderlich. In GKN-2 können alle Schaltaktionen von der Warte oder der Notsteuerstelle aus erfolgen (siehe Bewertungspunkt „Leittechnik“).

Bewertungsmerkmal 3: Erdbebeninduzierte Folgeschäden

Anlageninterne Überflutung

Die innerhalb von 2 Stunden aufgrund erdbebeninduzierter Leitungsbrüche im Ringraum freisetzbare Wassermenge beträgt in GKN-1 720 m³ wenn keine Handabsperriemaßnahmen erfolgen. Die maximal zulässige Menge beträgt 660 m³. In GKN-2 beträgt die innerhalb von 2 Stunden freisetzbare Wassermenge im Ringraum 785 m³. Maximal zulässig sind 1175 m³.

Berstdruckwelle infolge Behälterversagen

Das Auftreten einer Berstdruckwelle durch Versagen von hochdruckführenden Behältern im Maschinenhaus infolge von Erdbeben ist für beide Anlagen „unwahrscheinlich“. In GKN-2 wurden dennoch mögliche Folgen für die benachbarte Armaturenkammer bei der Auslegung berücksichtigt, in GKN-1 nicht.

Bewertungsmerkmal 4: Zusätzliche zur Verfügung stehende Maßnahmen und Einrichtungen

Notstromversorgung

Im Erdbebenfall ist in GKN-1 ein zusätzliches Reservediesellaggregat gleicher Leistung verfügbar, welches für die Versorgung je einer Redundanz der bei Erdbeben möglicherweise angeforderten Sicherheitseinrichtungen zur Verfügung steht.

In GKN-2 ist eine zusätzliche, EVA-geschützte, viersträngige Notstromerzeugungsanlage für die Sicherstellung der Notstromversorgung von Komponenten, die im Notstandsfall (Sicherheitsebene 4a) angefordert werden, als Reserve verfügbar. Damit können nicht alle möglicherweise bei Erdbeben angeforderten Sicherheitseinrichtungen versorgt werden.

Teilabfahren über Frischdampf-Abblasestation mit 100 K/h

In GKN-2 stehen zum Teilabfahren der Anlage mehr Redundanzen sowohl bei den Abblasesträngen (3 v 4, GKN-1: 2 v 3) als auch bei den manuell zu öffnenden Sicherheitsventilen (4, GKN-1: 3) zur Verfügung als in GKN-1.

Zur kurzfristigen Druckbegrenzung verfügt GKN-1 in der Summe über 5 zusätzliche Sicherheitsventile (2 x 8 %-Sicherheitsventile, 3 x 100%-Sicherheitsventile), GKN-2 über 3 100 %-Sicherheitsventile. Die 100%-Sicherheitsventile in GKN-1 gelangen jedoch erst im Druckbereich oberhalb von 95 bar_{abs} zusätzlich zu den 3 x 8 %-Sicherheitsventilen zum Einsatz.

Dampferzeuger-Notbespeisung

Sowohl die Summe der Deionatvorräte (13% mehr in GKN-2), als auch die zum Abfahren der Anlage zur Verfügung stehenden Deionatmindestmengen (73% mehr in GKN-2) sind leistungsbezogen in GKN-2 größer als in GKN-1.

In beiden Anlagen stehen 2 x 50%-Notspeisepumpen zusätzlich zur Verfügung. In GKN-1 kann eine davon als 4. Notspeisepumpe (Reserve) die drei Dampferzeuger mit bespeisen. In GKN-2 kann jede Notspeisepumpe alle anderen Dampferzeuger mit bespeisen.

Primärkreisabschluss

Mit Ausnahme der Probeentnahme- und Anlagenentwässerungsleitungen sowie dem Aufbau der TA-Sperrwasserleitung sind keine Unterschiede zwischen den beiden Anlagen erkennbar.

In GKN-2 steht in den Entnahmeleitungen durchgängig eine zweite über das Primärkreisabschluss-Signal (PKA) angesteuerte Absperrarmatur zur Verfügung. In GKN-1 wird in den Entnahmeleitungen des TV- und TY-Systems (Probenahmeleitung, Anlagenentwässerung) nur eine Armatur über das PKA-Signal aus dem Reaktorschutz angesteuert. Bei Ausfall dieser Armatur ist zu Verhinderung von Aktivitätsfreisetzungen eine Gebäudeabschlussarmatur ersatzweise zu betätigen. Die TA-Sperrwasserleitung weist nur eine Absperrarmatur auf.

Leckageergänzung im Primärkreis

In GKN-2 speist jede Pumpe des Zusatzboriersystems auch in eine eigene Leitung ein, so dass auch zwei zusätzliche Einspeiseleitungen vorhanden sind. In GKN-1 steht eine zusätzliche Einspeiseleitung zur Verfügung.

Abfahren auf „unterkritisch, kalt“ über Frischdampf-Abblasestationen mit 50 K/h

In GKN-2 stehen zum Abfahren der Anlage per Hand drei zusätzliche Redundanzen, in GKN-1 zwei zusätzliche Redundanzen zur Verfügung.

Druckhalter-Hilfssprühen

Für das Druckhalter-Sprühen stehen in GKN-2 3 v 4 Zusatzborierpumpen und in GKN-1 2 v 3 Einspeisepumpen des Volumenregelsystems zusätzlich zur Verfügung.

Nachwärmeabfuhr

In GKN-1 stehen zwei Nachkühlstränge zusätzlich zur Verfügung. Insgesamt sind in GKN-1 drei strangweise zugeordnet Nachkühlpumpen vorhanden. Eine vierte Nachkühlpumpe kann den Ausfall einer der anderen Nachkühlpumpe ersetzen. In GKN-2 stehen 3 v 4 Nachkühlstränge zusätzlich zur Verfügung. Des Weiteren sind zusätzlich zu den vier Nachkühlpumpen (eine erforderlich, drei zusätzlich) zwei Beckenkühlpumpen parallel geschaltet, die auch als Notnachkühlpumpen fungieren.

In GKN-1 stehen 2 v 3 strangweise zugeordnete Nebenkühlwasserpumpen zusätzlich zur Verfügung. Eine vierte Nebenkühlwasserpumpe kann den Ausfall einer der anderen Nebenkühlwasserpumpen ersetzen. In GKN-2 ist neben den 3 v 4 zusätzlichen Nebenkühlwasserpumpen in zwei Strängen je eine Notnebenkühlwasserpumpe parallel geschaltet. In GKN-2 stehen somit drei Nebenkühlwasserpumpen und zwei Notnebenkühlwasserpumpe zusätzlich zur Verfügung.

5.2 Bewertung relevanter Unterschiede

Bewertungsmerkmal 2: Zur Ereignisbeherrschung erforderliche Maßnahmen und Einrichtungen

Teilabfahren über Frischdampf-Abblasestation mit 100 K/h

GKN-1 verfügt mit den zwei 8% SIV und den drei 100 % Sicherheitsventilen über fünf zusätzliche und diversitäre Möglichkeiten zur Druckabsicherung. Ein Ansprechen der 100 % Sicherheitsventile soll in GKN-1 aber unterbleiben. GKN-2 hat mit drei zusätzlichen 100% SIV weniger zusätzliche Aggregate zur Druckbegrenzung.

Dampferzeuger-Notbespeisung

Die größere Leistung der Notspeisepumpen in GKN-2 bei Ansprechdruck der 100 % Sicherheitsventile ist günstig gegenüber GKN-1. Aus den vorliegenden Unterlagen ist nicht bewertbar, welche Verhältnisse bei anderen Betriebsdrücken (Ansprechen der 8%- Sicherheitsventile) vorliegen.

Leckageergänzung im Primärkreis

Bei erdbebenbedingten Primärkreisleckagen ist in GKN-1 von Vorteil, dass die Pumpen Volumenregelsystem eine größere Einspeiserate (ca. 14 kg/s) zur Leckageergänzung aufweisen, als die Pumpen des Zusatzboriersystems in GKN-2 (ca. 8 kg/s). Dagegen bestehen hinsichtlich der insgesamt für die Leckageergänzung verfügbaren Volumina der Flutbehälter (1800 m³ in GKN-2 gegenüber 828 m³ in GKN-1) auch leistungsbereitigt die größeren Reserven in GKN-2.

Bezüglich der zur Leckageergänzung angeforderten Pumpen ergeben sich aufgrund des Verhältnisses zwischen verfügbaren und erforderlichen Aggregaten keine relevanten Unterschiede, da die gleiche Anzahl von Ausfällen kompensiert werden kann (1 v 3 bzw. 2 v 4 Pumpen erforderlich).

In diesem Bewertungsgegenstand wurde nur die Beherrschung von Leckagen nicht aber die Beherrschung von kleinen Lecks beim Bemessungserdbeben untersucht, da die BHBs der beiden Anlagen hierzu keine Angaben enthalten.

Leittechnik

Für GKN-1 ist nachteilig, dass eine kurzfristige Funktionsunfähigkeit von Teilen der Ansteuerung durch den Reaktorschutz nach Erdbeben nicht vollständig ausgeschlossen werden kann.

Weiterhin ist es ein Nachteil, dass in GKN-1 nicht alle Maßnahmen von der Notsteuerstelle durchgeführt werden können (Maßnahmen vor Ort an Schaltschränken im Notstromdieselgebäude oder im Schaltanlagegebäude erforderlich).

GKN-2 weist den Vorteil auf, dass alle erforderlichen Maßnahmen von der Warte und / oder der Notsteuerstelle aus erfolgen können.

Abfahren auf „unterkritisch, kalt“ über Frischdampf-Abblasestationen mit 50 K/h

Die in GKN-1 erforderlichen zusätzlichen Handmaßnahmen vor Ort stellen einen Nachteil gegenüber GKN-2 dar.

Druckhalter-Hilfssprühen

Die bei GKN-1 zur Zuschaltung des Druckhalter-Sprühens erforderlichen Handmaßnahmen im Notspeisedieselgebäude stellen einen Nachteil gegenüber GKN-2 dar.

Nachwärmeabfuhr

Die in GKN-1 erforderlichen Handmaßnahmen in Schaltschränken im Notstromdieselgebäude und im Schaltanlagegebäude stellen einen Nachteil gegenüber GKN-2 dar.

Bewertungsmerkmal 3: Erdbebeninduzierte FolgeschädenAnlageninterne Überflutung

Hinsichtlich der Beherrschung von Überflutungen im Ringraum infolge erdbebeninduzierter Lecks weist GKN-2 den Vorteil auf, dass die freisetzbaren Wassermengen deutlich unter den maximal Zulässigen liegen, während bei GKN-1 Handmaßnahmen zur Beendigung von Leckagen in weniger als 2 Stunden erforderlich sind, um ein Überschreiten der zulässigen Werte zu verhindern.

Berstdruckwellen

GKN-2 verfügt über größere Sicherheitsreserven in der Auslegung der Armaturenkammer, weil das Versagen hochdruckführender Behälter im benachbarten Maschinenhaus berücksichtigt wurde.

Bewertungsmerkmal 4: Zusätzliche zur Verfügung stehende Maßnahmen und EinrichtungenNotstromversorgung

In beiden Anlagen sind Reserven vorhanden, mit denen Ausfälle von Notstromdieselaggregaten auch im Erdbebenfall ersetzt werden können. GKN-1 verfügt über ein Re-

servedieselaggregat, welches für die Versorgung je einer Redundanz der bei Erdbeben möglicherweise angeforderten Sicherheitseinrichtungen zur Verfügung steht.

GKN-2 hat ein zweites Notstromnetz für die Sicherstellung der Notstromversorgung von Komponenten, die im Notstandsfall (Sicherheitsebene 4a) angefordert werden. Damit können nicht alle möglicherweise bei Erdbeben angeforderten Sicherheitseinrichtungen versorgt werden.

GKN-1 weist den Vorteil auf, dass alle möglicherweise angeforderten Sicherheitseinrichtungen in einer Redundanz versorgt werden können. Dies wirkt sich aber nur aus, wenn ein kleines Leck auftritt. Dagegen weist GKN-2 aufgrund der größeren Diversität, des viersträngigen Aufbaus und des umfassenden EVA-Schutzes (Erdbeben, Flugzeugabsturz, Explosionsdruckwelle) des D2-Netzes Vorteile auf.

Teilabfahren über Frischdampf-Abblasestation mit 100 K/h

Beim Teilabfahren hat GKN-2 Vorteile durch mehr Redundanzen bei den Abblaseregelventilen und bei den 100%-Sicherheitsventilen, die für das Frischdampf-Abblasen genutzt werden können.

In GKN-1 ist es ein Vorteil, dass für die kurzfristige Druckbegrenzung zwei 8%- Sicherheitsventile mehr zur Verfügung stehen.

Dampferzeuger-Notbespeisung

Vorteile für GKN-2 bestehen aufgrund der größeren verfügbaren Deionatvorräte und Deionatmindestmengen, auch unter Berücksichtigung der anlagenbezogenen thermischen Reaktorleistung.

Die Schaltmöglichkeiten bei Ausfällen im Notspeisesystem sind in GKN-2 flexibler als in GKN-1, weil alle Pumpen und Deionatvorräte auf alle anderen Einspeisestränge umgeschaltet werden können. Dadurch ergeben sich zusätzliche Möglichkeiten zur Kompensation von Ausfällen.

Primärkreisabschluss

Nachteilig ist in GKN-1, dass in einzelnen Anschlussleitungen (Probenahmeleitung, Anlagenentwässerung) nur eine Armatur über das PKA-Signal aus dem Reaktorschutz

angesteuert wird und bei Ausfall dieser Armatur ersatzweise der Gebäudeabschluss zu betätigen ist. Die TA-Sperrwasserleitung weist ebenfalls nur eine Absperrarmatur auf.

Leckageergänzung

Das Volumenregelsystem in GKN-1 verfügt nur über zwei Einspeiseleitungen gegenüber der viersträngigen Ausführung des Zusatzboriersystems in GKN-2. Bei Ausfällen im Bereich der Einspeiseleitungen weist GKN-2 mit drei zusätzlichen Einspeiseleitungen (gegenüber einer zusätzlichen Leitung in GKN-1) größere Reserven auf.

Abfahren auf „unterkritisch, kalt“ über Frischdampf-Abblasestationen mit 50 K/h

Für das im Erdbebenfall vorgesehene Abfahren mit 50 K/h bestehen in GKN-2 größere Reserven und damit Vorteile aufgrund der größeren Anzahl von Frischdampf-Abblase-regelventilen.

Druckhalter-Hilfssprühen

Da in beiden Anlagen jeweils eine Einspeisepumpe zum Druckhalter-Sprühen ausreichend ist, verfügt GKN-2 aufgrund der größeren Anzahl zusätzlich zur Verfügung stehender Einspeisepumpen (3 zusätzliche Zusatzborierpumpen in GKN-2 gegenüber 2 zusätzlichen Pumpen des Volumenregelsystems in GKN-1) über größere Reserven.

Nachwärmeabfuhr

Für die Nachkühlung verfügt GKN-2 über zusätzliche Reserven aufgrund der in zwei Strängen parallel geschalteten Beckenkühlpumpen (Notnachkühlpumpen) und der zwei parallel geschalteten Notnebenkühlwasserpumpen.

5.3 Fazit

Hinsichtlich der unter den besonderen Randbedingungen beim Bemessungserdbeben zur Ereignisbeherrschung erforderlichen Maßnahmen und Einrichtungen sowie der vorhandenen Reserven bestehen in GKN-2 gegenüber GKN-1 folgende Vorteile: Größere Reserven bei den Flutbehälterinventaren und Einspeiseleitungen für die Leckageergänzung im Primärkreis, mehr Redundanz beim Primärkreisabschluss, höhere Funktionssicherheit in der Leittechnik, Möglichkeit der Durchführung aller langfristig er-

forderlichen Maßnahmen von der Warte oder der Notsteuerstelle aus, größere Reserven bei den Deionatvorräten sowie flexiblere Umschaltmöglichkeiten bei der Dampferzeuger-Notbespeisung, höhere Sicherheit bei der Vermeidung von Überflutungen im Ringraum und der Beherrschung der Folgen eines Behälterversagens, größere Reserven in der Notstromversorgung sofern nicht erdbebenbedingt ein kleines Leck auftritt, größere Reserven beim Teilabfahren, mehr Redundanzen für das Druckhalter-Hilfsprühen und zusätzliche Reserven für die Nachwärmeabfuhr über die Nachkühlketten.

Vorteile für GKN-1 ergeben sich aus den zusätzlich zur Druckbegrenzung vorhandenen 8 % Frischdampf-Sicherheitsventilen beim sekundärseitigen Teilabfahren mit 100 K/h und aus der größeren Einspeiserate (Volumenregelsystem) für die primärseitige Leckageergänzung.

Insgesamt gesehen überwiegen die Vorteile von GKN-2 gegenüber den Vorteilen von GKN-1 beim Ereignis „Bemessungserdbeben“.

Ein Vergleich der für die Erdbebenauslegung zugrunde gelegten spezifischen Lastannahmen sowie zu möglichen Auswirkungen der unterschiedlichen Bau- und Auslegungskonzepte sowie der Nachweisverfahren im Hinblick auf die Erdbebensicherheit von Komponenten ist auf der Basis der vorliegenden Unterlagen nicht möglich. Sollten dazu relevante Unterschiede bestehen, können diese gegenüber den oben aufgezeigten systemtechnischen Unterschieden von größerer Bedeutung sein.

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