

GKN II

Stellungnahme zur

„Bewertung zu Schäden durch Spannungsrisskorrosion an Dampferzeuger-Heizrohren im KKW Neckarwestheim 2 (GKN-II)“

vorgelegt von

Prof. Dr.-Ing. habil. Manfred Mertins,

Juni 2020

Physikerbüro Bremen

Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg

Bremen, den 10. Juli 2020

Inhaltsverzeichnis:	Seite
Zusammenfassung	1
1 Aufgabenstellung	3
2 Auflistung der im Nachfolgenden bewerteten Aussagen	3
3 Anwendung und Erfüllung des gültigen kerntechnischen Regelwerks	4
3.1 Einordnung von Heizrohrbeschädigungen in das Konzept der gestaffelten Sicherheitsebenen	4
3.1.1 Zuordnung zu Sicherheitsebenen	5
3.1.2 Betrieb mit DE Heizrohrbeschädigungen	6
3.2 Regulatorische Anforderungen an den Integritätsnachweis für DEHR	8
4 Folgerichtigkeit des dargestellten Störfallszenarios	11
5 Hinweise zu einzelnen Aussagen	13
6 Kerntechnische Regeln, Richtlinien und Verordnungen	16
7 In Bezug genommene Unterlagen	16
8 Abkürzungsverzeichnis	17
Anhang 1 Auflistung der in /U 2/, Kapitel 3, aufgelisteten Spiegelpunkte	18

An der Erstellung der Stellungnahme haben mitgewirkt:

Dipl. Math. Mathias Brettner

Dipl. Phys. Richard Donderer

Es wird versichert, dass die Stellungnahme unparteiisch und nach bestem Wissen und Gewissen frei von Ergebnisweisungen erstellt wurde.



.....
(Mathias Brettner)



.....
(Richard Donderer)

Zusammenfassung

Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg /U 1/ haben wir eine Bewertung der Unterlage /U 2/ im Hinblick auf die darin geführte Argumentation zur Anwendung und Erfüllung des gültigen kerntechnischen Regelwerks vorgenommen. Darüber sollte das in /U 2/ dargestellte Störfallszenario hinsichtlich seiner Folgerichtigkeit bewertet werden.

Im Hinblick auf die Aussagen in /U 2/ zur Anwendung und Erfüllung des gültigen kerntechnischen Regelwerks kommen wir zu folgenden Ergebnissen:

1. Wir stimmen der Aussage in /U 2/, dass „*Schäden an den DE-Heizrohren der Sicherheitsebene 2 zuzuordnen sind*“ dann zu, wenn mit Schäden Wanddickenschwächungen von 100 % mit einem damit verbundenen Übertritt von Primärkühlmittel auf die Sekundärseite gemeint sind. Bei im Anlagenstillstand festgestellten Heizrohrschädigungen (Wanddickenschwächungen < 100 % ohne Leckagen) ist hinsichtlich der Einordnung abgestuft vorzugehen.
2. Wir stimmen der u. E. undifferenzierten Aussage in /U 2/, wonach „*ein Betrieb des Reaktors mit vorgeschädigten oder potenziell geschädigten DE-Heizrohren sowie korrosivem Milieu nicht zulässig ist*“, nicht zu. Hier ist wie folgt zu differenzieren:
 - a. Ein Weiterbetrieb mit einem während des Betriebs eintretenden Heizrohrschadens (Wanddickenschwächung von 100 % mit einem damit verbundenen Übertritt von Primärkühlmittel auf die Sekundärseite) ist, zeitlich befristet, unter Einhaltung von Bedingungen regelwerkseitig zulässig. Werden die entsprechenden Anforderungen nicht erfüllt, ist die Anlage abzufahren.
 - b. Ein Wiederanfahren mit einem vorhandenen Heizrohrschaden nach einem Anlagenstillstand ist u.E. nicht zulässig, da die Wiederaufnahme des (Normal-)Betriebs den funktionsfähigen Zustand aller erforderlichen Einrichtungen voraussetzt, in diesem Fall die Wirksamkeit der Barrierenfunktion der DfU, die bei einem Heizrohrschaden nicht mehr uneingeschränkt gegeben ist. Die betroffenen Heizrohre sind durch Stopfen zu verschließen.
 - c.- Ein Wiederanfahren mit Heizrohrschädigungen (Wanddickenschwächung < 100 % ohne Leckage) ist, sofern diesbezüglich im Regelwerk geforderte Untersuchungen durchgeführt wurden und die Erfüllung der Anforderungen gezeigt ist, regelwerkseitig zulässig. Andernfalls sind die betroffenen Heizrohre durch Stopfen zu verschließen.
3. In /U 2/ werden die hinter den Begriffen Basissicherheit, Bruchausschluss, Integritätskonzept und Leck-vor-Bruch Verhalten stehenden technischen Sachverhalte in zum Teil unzutreffender Weise interpretiert:
 - a. Im Gegensatz zu den Aussagen in /U 2/, wonach für einen Integritätsnachweis für DEHR die in den Regeln KTA 3201.1 bis 3201.4 sowie 3206 angegebenen Prinzipien analog anzuwenden wären, was jedoch schon daran scheitert, dass bei den DE-Heizrohren in GKN-II eine korrosive Umgebung, ein vorgeschädigtes Material, aber auch Materialspannung insbesondere im Bereich der Einwalzungen in den DE-Rohrboden vorliegt, ist es aus unserer Sicht regelwerksseitig methodisch zulässig für korrosionsgeschädigte DEHR einen Integritätsnachweis zu führen. Insbesondere ergibt sich aus dem Regelwerk nicht die Forderung, dass bei einem Integritätsnachweis für DEHR die in den Regeln KTA 3201.1 bis 3201.4 sowie 3206 angegebenen Prinzipien analog anzuwenden sind und kein korrosiver Schädigungsmechanismus vorliegen darf.

- b. Die in /U 2/ gezogene Schlussfolgerung, wonach für DEHR ein Leck-vor-Bruch-Verhalten weder unterstellt noch nachgewiesen werden könne, da die DE-Heizrohre von den Anforderungen an die für solche Nachweise erforderliche „Basissicherheit“ ausgenommen sind, ist nicht durch das Regelwerk gedeckt und fachlich unzutreffend.
4. Ein in /U 2/ geforderter „Austausch der geschädigten Dampferzeuger-Heizrohre zur Wiederherstellung der Qualität der erforderlichen Barrierefunktion“ bzw. „Austausch der jeweils betroffenen Dampferzeuger“ ist regelwerkseitig für Heizrohrbeschädigungen wie sie in GKN II aufgetreten sind weder national noch international gefordert.

Im Hinblick auf die Folgerichtigkeit des dargestellten Störfallszenarios bestätigen wir eine Reihe der /U 2/ enthaltenen Darstellungen. Darüber hinaus sehen wir bei einzelnen Aussagen Klarstellungs- oder Präzisierungsbedarf und kommen diesbezüglich zu folgenden Ergebnissen:

1. Zu der Aussage in /U 2/, wonach ein länger anhaltender hoher Druck im Primärkreis, der zu einer hohen Leckrate in den Sekundärkreis führen könne, durch die primärseitigen Sicherheitseinspeisepumpen aufgeprägt werden oder durch die Unverfügbarkeit der primärseitigen Hauptkühlmittelpumpen entstehen könne, ist Folgendes festzustellen: Die bei einem DEHR-Bruch angeregten automatischen Maßnahmen zielen ab auf eine Stabilisierung des Anlagenzustandes und eine Reduzierung der Druckdifferenz zwischen Primärkreis und Sekundärkreis. Hierdurch wird der Austrag von Primärkühlmittel über das gebrochene DEHR hin zur Sekundärseite reduziert. Anschließend sind vom Schichtpersonal gemäß BHB Maßnahmen zu ergreifen, um eine ggf. über die Frischdampfventile stattfindende Aktivitätsfreisetzung sowie den Austrag von Primärkühlmittel in die Sekundärseite zu beenden. Mit der Gesamtheit dieser Maßnahmen soll der Austrag von Primärkühlmittel auf die Sekundärseite über das Leck bzw. den Bruch beendet werden. Diese Maßnahmen greifen unabhängig davon, ob die Hauptkühlmittelpumpen in Betrieb sind oder nicht, und berücksichtigen auch den möglichen Betrieb der Sicherheitseinspeisepumpen.
2. Die Aussage in /U 2/, wonach schon bei einem auslegungsgemäßen Störfallablauf die Gefahr bestehe, dass durch das aus dem defekten Heizrohr ausströmende Wasser der Druck im Dampferzeuger so weit ansteigt, dass die Frischdampfsicherheitsventile öffnen und eine direkte Verbindung vom Primärkreis in die Umgebung schaffen, trifft insofern zu, als es bei allen Ereignisabläufen mit DEHR-Schäden, die mit einer Unverfügbarkeit der Hauptwärmesenke verbunden sind, zu einem Austrag von Primärkühlmittel in die Umgebung kommt, allerdings nicht zuerst über die Frischdampfsicherheitsventile (FD-SIV) sondern über die Frischdampf-Abblaseregelventile (FD-ARV), die an den vier Dampferzeuger geöffnet werden. Steht das FD-ARV an einem DE nicht zur Verfügung, spricht dort ggf. das FD-SIV an. Mit den gemäß BHB o.g. durchzuführenden Maßnahmen wird die Abgabe von Primärkühlmittel an die Umgebung beendet.
3. Zu der Aussage in /U 2/, wonach aus technischer Sicht in der Folge der Öffnung eines Frischdampfsicherheitsventils die Möglichkeit bestehe, dass dieses Sicherheitsventil in Offenstellung hängenbleibt und infolgedessen gravierende Folgen für den weiteren Ereignisablauf bis hin zum Erreichen von Schmelzzuständen des Reaktorkerns mit erheblichen Freisetzungen radioaktiver Stoffe in die Umwelt nicht mehr auszuschließen seien, ist festzustellen, dass das FD-SIV am defekten Dampferzeuger nur dann öffnet, wenn das FD-ARV unverfügbar ist. Unterstellt man als zusätzlichen Fehler ein Versagen des FD-SIV in Offenstellung, so kann dieses durch ein vor dem FD-SIV befindliches Absperrventil abgesperrt werden. Damit würde der Austrag von Primärkühlmittel an die Umgebung beendet.

Hinweise mit weiteren aus unserer Sicht erforderlichen Klarstellungen oder Präzisierungen zu Einzelaussagen in /U 2/ sind in Abschnitt 5 dieser Stellungnahmen aufgeführt.

1 Aufgabenstellung

Mit Schreiben vom 24.6.2020 /U 1/ beauftragte uns das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg (im Folgenden UM B-W genannt) eine Begutachtung der von Prof. Mertins vorgelegten Unterlage /U 2/ im Hinblick auf die dort geführte Argumentation zur Anwendung und Erfüllung des gültigen kerntechnischen Regelwerks vorzunehmen. Darüber hinaus soll das in /U 2/ dargestellte Störfallszenario hinsichtlich seiner Folgerichtigkeit bewertet werden.

2 Auflistung der im Nachfolgenden bewerteten Aussagen in /U 2/

In der „Zusammenfassenden Bewertung (Kapitel 3)“ in /U 2/ sind 10 Spiegelpunkte aufgelistet. Zu den Punkten 1, 2, 4, 5 und 9¹ bedarf es u.E. keiner Bewertung, da hier Sachverhalte zutreffend dargestellt sind.

Im Hinblick auf die auftragsgemäß zu bewertende Argumentation zur Anwendung und Erfüllung des gültigen kerntechnischen Regelwerks in /U 2/ bedürfen die Aussagen in den Punkten 3² und 6³ einer Bewertung unsererseits, da hier diesbezügliche Sachverhalte u.E. nicht ausreichend präzise oder aber missverständlich dargestellt sind.

In dieser Stellungnahme werden die Punkte 3 und 6 wie folgt behandelt:

- In Abschnitt 3.1 werden unter der Überschrift „Einordnung von Heizrohrbeschädigungen in das Konzept der gestaffelten Sicherheitsebenen“ die Darstellungen in Punkt 6 von /U 2/ bewertet. In diesem Abschnitt gehen wir kurz auch auf Aussagen in den Punkten 8 und 10 ein, wonach gemäß den „für Kernkraftwerke weltweit geltenden Regeln des gestaffelten Sicherheitskonzepts“ ein „Austausch der jeweils betroffenen Dampferzeuger“ bzw. „der geschädigten Dampferzeuger-Heizrohre“ erforderlich sei.

¹ Die Spiegelpunkte sind in Anhang 1 dieser Stellungnahme aufgelistet.

² Zitat aus /U 2/: „Von den Anforderungen an die „Basissicherheit“ und an Komponenten kleiner Nennweiten sind die DE-Heizrohre ausgenommen (sh. SiAnf). Ein Bruchausschluss und ein Leck-vor-Bruch-Verhalten kann deshalb nach diesen Vorgaben weder unterstellt noch nachgewiesen werden. Da bei den DE-Heizrohren in GKN-II zudem eine korrosive Umgebung, ein vorgeschädigtes Material sowie potenziell spannungsrissskorrosionsauslösende Materialspannung vorliegt, ist ein „Integritätsnachweis“ für die DE-Heizrohre nach den Maßstäben, die das kerntechnische Regelwerk dafür aufstellt, praktisch erst recht nicht möglich. (Kap. 1.8)“

³ Zitat aus /U 2/: „Als übergeordnete sicherheitstechnische Zielsetzung des Konzepts der gestaffelten Sicherheitsebenen gilt, dass mittels resilienter Eigenschaften der Maßnahmen und Einrichtungen im gestaffelten Sicherheitskonzept gegebenenfalls auftretende Abweichungen (Betriebsstörungen) vom Normalbetrieb abgefangen und wieder auf den sicheren Ausgangszustand, den Normalbetrieb (Sicherheitsebene 1), zurückgeführt werden. Die Schäden an den DE-Heizrohren sind als Betriebsstörung einzustufen und stellen somit einen Zustand dar, der der Sicherheitsebene 2 zuzuordnen ist. Ein dauerhafter (gestörter) Anlagenbetrieb unter den Bedingungen der Sicherheitsebene 2 ist gemäß SiAnf, Abschnitt 2.1 (12) unzulässig. D.h., dass ein Betrieb des Reaktors mit vorgeschädigten oder potenziell geschädigten DE-Heizrohren sowie korrosivem Milieu nicht zulässig ist. Die Schäden an den Dampferzeuger-Heizrohren werden bereits seit Jahren beobachtet, die Schadensmechanismen sind systemimmanent. (Kap. 1.7, 1.8)“

- In Abschnitt 3.2 erfolgt dies zu Punkt 3 von /U 2/ unter der Überschrift „Regulatorische Anforderungen an den Integritätsnachweis für DEHR“.

In Abschnitt 4 erfolgt sodann auftragsgemäß eine Bewertung der Folgerichtigkeit des in /U 2/ dargestellten Störfallszenarios.

Schließlich werden in Abschnitt 5 Hinweise zu ausgewählten einzelnen Darstellungen in verschiedenen Kapiteln in /U 2/ gegeben, da diese Darstellungen u.E. wiederum nicht ausreichend präzise oder aber missverständlich sind.

3 Anwendung und Erfüllung des gültigen kerntechnischen Regelwerks

3.1 Einordnung von Heizrohrbeschädigungen in das Konzept der gestaffelten Sicherheitsebenen

In /U 2/, Kapitel 3, wird als 6. Punkt ausgeführt:

„Als übergeordnete sicherheitstechnische Zielsetzung des Konzepts der gestaffelten Sicherheitsebenen gilt, dass mittels resilienter Eigenschaften der Maßnahmen und Einrichtungen im gestaffelten Sicherheitskonzept gegebenenfalls auftretende Abweichungen (Betriebsstörungen) vom Normalbetrieb abgefangen und wieder auf den sicheren Ausgangszustand, den Normalbetrieb (Sicherheitsebene 1), zurückgeführt werden.“

Die Schäden an den DE-Heizrohren sind als Betriebsstörung einzustufen und stellen somit einen Zustand dar, der der Sicherheitsebene 2 zuzuordnen ist.

Ein dauerhafter (gestörter) Anlagenbetrieb unter den Bedingungen der Sicherheitsebene 2 ist gemäß SiAnf, Abschnitt 2.1 (12) unzulässig. D.h., dass ein Betrieb des Reaktors mit vorgeschädigten oder potenziell geschädigten DE-Heizrohren sowie korrosivem Milieu nicht zulässig ist. Die Schäden an den Dampferzeuger-Heizrohren werden bereits seit Jahren beobachtet, die Schadensmechanismen sind systemimmanent.“

Der 1. Absatz dieses Punktes beschreibt, teilweise mit Begriffen aus dem internationalen Regelwerk, die übergeordnete Zielsetzung des Konzepts der gestaffelten Sicherheitsebenen. Hierzu besteht u.E. kein Diskussionsbedarf.

Im Hinblick auf den 2. und 3. Absatz besteht zu folgenden Aussagen aus unserer Sicht Klärungs- bzw. Präzisierungsbedarf:

- Zuordnung von „Schäden an den DE-Heizrohren“ (Formulierung in Kapitel 1.7 von /U 2/ bzw. „die Schäden an den DE-Heizrohren“ in Kapitel 3) zu einem Zustand der Sicherheitsebene 2. Dieser Aspekt wird nachfolgend in Abschnitt 3.1.1 „Zuordnung zu Sicherheitsebenen“ behandelt.
- Wir bestätigen zwar übergeordnet die Regelwerkskonformität der Aussage „Ein dauerhafter (gestörter) Anlagenbetrieb unter den Bedingungen der Sicherheitsebene 2 ist unzulässig“, allerdings nicht die undifferenzierte Aussage, „dass ein Betrieb des Reaktors mit vorgeschädigten oder potenziell geschädigten DE-Heizrohren sowie korrosivem Milieu nicht zulässig ist.“ Dieser Aspekt wird nachfolgend in Abschnitt 3.1.2 „Betrieb mit DE Heizrohrbeschädigungen“ behandelt. Auf die

Aussage „Die Schäden an den Dampferzeuger-Heizrohren werden bereits seit Jahren beobachtet, die Schadensmechanismen sind systemimmanent.“ gehen wir in Abschnitt 5 ein.

3.1.1 Zuordnung zu Sicherheitsebenen

Eine Prüfung der Regelwerkskonformität der Aussage „Schäden an den DE-Heizrohren sind der Sicherheitsebene 2 zuzuordnen“ bedarf einer Konkretisierung des Begriffs „Schaden am DE-Heizrohr“.

Wir unterscheiden im Folgenden zwischen DEHR-Schädigungen und DEHR-Schäden. Als Schädigungen bezeichnen wir Wanddickenschwächungen < 100 % ohne Leckagen. Als Schäden bezeichnen wir (lokale) Wanddickenschwächungen von 100 % mit einem damit verbundenen Übertritt von Primärkühlmittel auf die Sekundärseite. Als Oberbegriff für beide Schadenskategorien verwenden wir den Begriff „Heizrohrbeschädigungen“. Die im 3. Absatz des o.g. Zitats aus /U 2/ verwendeten Formulierungen „vorgeschädigte oder potenziell geschädigte DE-Heizrohre“ sind für eine Zuordnung zu Sicherheitsebenen aus unserer Sicht nicht hinreichend eindeutig.

Im Hinblick auf die Zuordnung der verschiedenen zu betrachtenden Heizrohrbeschädigungen zu Sicherheitsebenen leiten wir aus den SiAnf /R 1/ folgende Schlussfolgerungen ab:

- Der als Ereignis postulierte vollständige Abriss eines Heizrohres ist gemäß den SiAnf /R 1/ der Sicherheitsebene 3 zuzuordnen (siehe insbesondere das Ereignis D3-31 im Anhang 2 der SiAnf), ein gleichzeitiger Abriss von mehr als einem DE-Heizrohr der Sicherheitsebene 4b.
- Ein im laufenden Betrieb der Anlage eintretender Schaden an einem Heizrohr (Wanddickenschwächung von 100 % mit einem damit verbundenen Übertritt von Primärkühlmittel auf die Sekundärseite) ist u.E. der Sicherheitsebene 2 zuzuordnen. Dies leiten wir aus den SiAnf daraus ab, dass mit einer DEHR Leckage eine Störung im Sinne der SiAnf⁴ derart vorliegt, dass die gemäß SiAnf 2.2 (3) geforderte Wirksamkeit der Barrierenfunktion der DfU nicht mehr uneingeschränkt gegeben ist.
- Eine Schädigung an einem Heizrohr (Wanddickenschwächung < 100 % ohne Leckage) ist während des Betriebs der Anlage nicht feststellbar, sondern erst im Rahmen von Inspektionsprogrammen, die während Anlagenstillständen durchgeführt werden. Bei der Entscheidung darüber, ob die Schädigung belassen werden kann oder als eine vor dem Weiterbetrieb zu beseitigende Störung des Normalbetriebs (Sicherheitsebene 2) einzustufen ist, sind eine Reihe von Untersuchungen durchzuführen und die Einhaltung von Anforderungen des Regelwerks nachzuweisen. Von besonderer Bedeutung hierbei ist neben der Prüfung, inwieweit eine systematische Ursache vorliegt, das Ausmaß der Schädigung (im Wesentlichen die Wanddickenschwächung). Hierzu siehe in nachfolgendem Abschnitt 3.1.2.

Zusammenfassend stimmen wir der Aussage in /U 2/, dass „Schäden an den DE-Heizrohren der Sicherheitsebene 2 zuzuordnen sind“ dann zu, wenn mit Schäden Wanddickenschwächungen von 100 % mit einem damit verbundenen Übertritt von Primärkühlmittel auf die Sekundärseite gemeint sind. Bei im Anlagenstillstand festgestellten Heizrohrschädigungen (Wanddickenschwächungen < 100 % ohne Leckagen) ist hier abgestuft vorzugehen. Wir weisen in diesem Zusammenhang darauf

⁴ Siehe /R 1/, Anhang 1, Begriffsdefinition „Störung“: „Ereignis bzw. Ereignisablauf, dessen Eintreten während der Betriebsdauer der Anlage häufig zu erwarten ist, für den die Anlage ausgelegt ist oder für den bei der Tätigkeit vorsorglich Maßnahmen und Einrichtungen vorgesehen sind und nach dessen Eintreten der Betrieb der Anlage oder die Tätigkeit fortgeführt werden kann (Sicherheitsebene 2). Synonyme: Anomaler Betrieb, gestörter Betriebszustand.“

hin, dass die im GKN II bisher festgestellten korrosionsbedingten Heizrohrschädigungen zu keinem Übertritt von Primärkühlmittel auf die Sekundärseite geführt haben, somit keine Heizrohrschäden vorlagen.

3.1.2 Betrieb mit DE Heizrohrbeschädigungen

Zu prüfen ist hier die Regelwerkskonformität der Aussage, „*dass ein Betrieb des Reaktors mit vorgeschädigten oder potenziell geschädigten DE-Heizrohren sowie korrosivem Milieu nicht zulässig ist.*“ (/U 2/, Kapitel 3)

Für die Prüfung dieser Aussage ist es erforderlich, neben der in Abschnitt 3.1.1 präzisierten Unterscheidung zwischen einer „Heizrohrschädigung“ und einem „Heizrohrschaden“, den laufenden Anlagenbetrieb (nachfolgend als Betrieb bezeichnet) von der Wiederaufnahme des Betriebs (Wiederauffahren nach einem Stillstand) zu unterscheiden. Im Folgenden werden die daraus resultierenden unterschiedlichen Fälle nacheinander diskutiert.

Im Hinblick auf den „Weiterbetrieb mit einem während des Betriebs eintretenden Heizrohrschadens“ gilt, dass der Betrieb trotz des Vorliegens einer Störung (somit Sicherheitsebene 2, siehe in Abschnitt 3.1.1) fortgeführt werden kann⁵, zeitlich befristet, in der Regel längstens bis zum nächsten Anlagenstillstand, unter Einhaltung von Bedingungen. Die Bedingungen sind u.a.,

- dass unter Heranziehung aller Erkenntnisse aus den wiederkehrenden Prüfungen und der Betriebsüberwachung keine Hinweise auf einen systematischen Schädigungsmechanismus vorliegen,
- die Rissöffnungsflächen und die daraus resultierenden Leckagen unterhalb der kritischen Risslänge, bei der ein Abriss des Heizrohres nicht mehr sicher ausgeschlossen werden kann, ermittelt werden und im Betriebsreglement Festlegungen getroffen sind, durch die sichergestellt ist, dass Heizrohrleckagen vor Erreichen einer kritischen Risslänge mit Sicherheit erkannt werden und in diesem Fall die Anlage unverzüglich abgefahren wird (siehe /R 2/);
- dass der infolge des Schadens stattfindende radioaktive Eintrag in den Sekundärkreis soweit begrenzt bleibt, dass die geltenden radiologischen Vorgaben eingehalten bleiben (siehe hierzu die diesbezüglichen Ereignisse in /R 1/, Anhang 2, bei denen als zu berücksichtigende Randbedingung *„Betrieblich zulässige Dampferzeuger-Heizrohrschäden zu berücksichtigen sind“*), und
- dass, bei mehreren Heizrohrschäden, die integrale Leckagesumme kleiner bleiben muss als bei einem vollständigen Abriss eines Heizrohres. Der Aktivitätseintrag und darüber auch die Leckagesumme werden kontinuierlich überwacht, so dass ein Annähern an im Betriebsreglement festgelegte einzuhaltende Vorgaben erkannt würde und der Weiterbetrieb zu beenden wäre.

Ein „Wiederauffahren mit einem vorhandenen Heizrohrschaden“ ist dementsprechend u.E. nicht zulässig, da die Wiederaufnahme des (Normal-)Betriebs einen anforderungsgerecht funktionsfähigen Zustand aller erforderlichen Einrichtungen voraussetzt, in diesem Fall die Wirksamkeit der Barrierenfunktion der DfU (siehe /R 1/ 2.2 (3)), die bei einem Heizrohrschaden nicht mehr uneingeschränkt gegeben ist. Die betroffenen Heizrohre sind durch Stopfen zu verschließen.

⁵ Siehe /R 1/, Anhang 1, Begriffsdefinition „anomaler Betrieb“: *„Betriebsvorgänge, die bei Fehlfunktion von Einrichtungen oder bei Fehlhandlungen ablaufen (gestörter Betriebszustand), deren Eintreten aufgrund von Betriebserfahrungen über die Betriebsdauer der betroffenen Anlage häufig zu erwarten ist, und bei denen einer Fortführung des Betriebes oder der Tätigkeit keine sicherheitstechnischen Gründe entgegenstehen (Sicherheitsebene 2). Synonym: Störung.“*

Sofern Heizrohrschädigungen durch im Anlagenstillstand durchgeführte Inspektionen festgestellt werden, somit zu entscheiden ist, ob ein „Wiederanfahren mit Heizrohrschädigungen“ erfolgen kann, sind umfangreiche Untersuchungen u.a. zum Umfang der Schädigungen, zur Schädigungsursache, zur bei einem Weiterbetrieb zu erwartenden weiteren Schädigungsentwicklung und zur Ursachenbeseitigung durchzuführen. Hierzu liegen im KTA Regelwerk entsprechende Anforderungen vor (u.a. in der Regel KTA 3201.4 /R 6/). Des Weiteren ist, unter Berücksichtigung des festgestellten Schädigungsausmaßes und der zu erwartenden Schädigungsentwicklung, nachzuweisen, dass

- für die geschädigten DEHR das Auftreten von rasch fortschreitenden Rissen und von spröden Brüchen nicht zu unterstellen ist, siehe Ziffer 3.4 (1) der SiAnf /R 1/;
- ein Folgeversagen von DEHR mit Schädigungen aufgrund der bei Ereignissen der Sicherheitsebenen 2 bis 4a auftretenden Belastungen nicht eintritt. Insbesondere ist gemäß Anlage 2 zu Anhang 2 der SiAnf /R 1/, dort Ziffer 2.3 (1), nachzuweisen, dass auch die geschädigten DEHR den Belastungen, die bei einem zu unterstellenden Frischdampf- oder Speisewasserleitungsbruch oder bei Offenbleiben eines sekundärseitigen Sicherheitsventils durch die statische und transiente Beanspruchung (Druckwelle, Strömungskräfte, statische Druckdifferenzen über die Dampferzeugerheizrohre) erzeugt werden, standhalten;
- das Postulat, dass auf der Sicherheitsebene 3 maximal ein Leckquerschnitt zu betrachten ist, der dem vollständigen Abriss eines Heizrohres entspricht, weiterhin abdeckend ist (abgeleitet aus /R 1/, Anhang 2, Ereignis D3-31, Anhang 2, Anlage 2, 2.3 (2) sowie /R 3/).

Sofern alle diesbezüglich im Regelwerk geforderten Untersuchungen durchgeführt wurden und die Erfüllung der Anforderungen gezeigt ist, kann ein Wiederanfahren der Anlage auch mit Heizrohrschädigungen regelwerkskonform erfolgen. Andernfalls sind vor dem Wiederanfahren Maßnahmen derart zu treffen, dass die Wirksamkeit der Barrierenfunktion der DfU für den kommenden Betrieb sichergestellt ist.

In der Praxis werden Heizrohre mit Schädigungen, die die Anforderungen nicht erfüllen, durch die Setzung von Stopfen verschlossen. Gemäß /R 2/ müssen von Spannungsrisskorrosion betroffene Heizrohre generell verschlossen werden. Ein in /U 2/ (Kapitel 3, dort Spiegel punkt 8) geforderter „*Austausch der geschädigten Dampferzeuger-Heizrohre zur Wiederherstellung der Qualität der erforderlichen Barrierefunktion*“ bzw. „*Austausch der jeweils betroffenen Dampferzeuger*“ (Spiegel punkt 10) ist regelwerkseitig für Heizrohrbeschädigungen wie sie in GKN II aufgetreten sind weder national noch international gefordert.

Im Hinblick auf einen „Betrieb mit korrosivem Milieu“ ist festzustellen, dass diesbezüglich keine detaillierten Anforderungen im kerntechnischen Regelwerk formuliert sind. Dessen ungeachtet muss der Nachweis der Erfüllung der übergeordneten Anforderung der Barrierenwirksamkeit unter Beachtung aller relevanten Einflussgrößen erfolgen. Korrosive Prozesse können nicht vollständig eliminiert werden, aber es sind werkstoffseitige und wasserchemische Bedingungen so zu definieren, dass bei deren Einhaltung diese Prozesse soweit begrenzt werden, dass Heizrohrschädigungen vermieden werden. Die Festlegung dieser Bedingungen und die Vorgaben zur deren Überwachung erfolgt im Betriebsreglement der Anlage. Sofern die im Betriebsreglement festgelegten Bedingungen unzureichend sind und es zu Schädigungen kommt, sind vor dem Wiederanfahren Maßnahmen zur Wiederherstellung geeigneter Umgebungsbedingungen zu treffen und die im Betriebsreglement festgelegten Bedingungen anzupassen.

Zusammenfassend stimmen wir daher der u.E. undifferenzierten Aussage in /U 2/, wonach „*ein Betrieb des Reaktors mit vorgeschädigten oder potenziell geschädigten DE-Heizrohren sowie korrosivem Milieu nicht zulässig ist*“, nicht zu. Hier ist wie folgt zu differenzieren:

- Ein Weiterbetrieb mit einem während des Betriebs eintretenden Heizrohrschadens (Wanddickenschwächung von 100 % mit einem damit verbundenen Übertritt von Primärkühlmittel auf die Sekundärseite) ist, zeitlich befristet, unter Einhaltung von Bedingungen regelwerkseitig zulässig. Werden die entsprechenden Anforderungen nicht erfüllt, ist die Anlage abzufahren.
- Ein Wiederanfahren mit einem vorhandenen Heizrohrschaden nach einem Anlagenstillstand ist u.E. nicht zulässig.
- Ein Wiederanfahren mit Heizrohrschädigungen (Wanddickenschwächung < 100 % ohne Leckage) ist, sofern diesbezüglich im Regelwerk geforderte Untersuchungen durchgeführt wurden und die Erfüllung der Anforderungen gezeigt ist, regelwerkseitig zulässig. Andernfalls sind die betroffenen Heizrohre durch Stopfen zu verschließen.

Wir weisen in diesem Zusammenhang darauf hin, dass auf Basis der uns bekannten von der Betreiberin bis dato durchgeführten Maßnahmen sowie der vorgelegten Nachweise und zugehörigen Sachverständigengutachten keine Hinweise darauf vorliegen, dass oben genannte Anforderungen des Regelwerks nicht erfüllt sind.

3.2 Regulatorische Anforderungen an den Integritätsnachweis für DEHR

Die allgemeinen Darlegungen in Kapitel 1.8 von /U 2/ zur Basissicherheit und dem in der Regel KTA 3206 behandelten Integritätskonzept sind zutreffend. Ebenso sind die diesbezüglichen übergeordneten Anforderungen aus den SiAnf /R 1/ zutreffend wiedergegeben. Desweiteren trifft es zu, dass die Anforderungen zum Bruchausschluss, nachzuweisen über die „Basissicherheit“ der Bauteile und die Anwendung eines adäquaten „Integritätskonzepts“, nur für die großen Rohrleitungen in KKW, insbesondere des Primärkreislaufes, gelten. Korrekt ist auch die Aussage, dass für DEHR ein Bruchausschluss nach diesen Vorgaben weder unterstellt noch nachgewiesen werden kann.

Dessen ungeachtet ist für DEHR ein an die Gegebenheiten dieser Rohre angepasster Integritätsnachweis zu führen, da ansonsten die Erfüllung der in den SiAnf gestellten Anforderungen an die Barrierenintegrität nicht aufgezeigt werden könnte.

In /U 2/, Kapitel 1.8, wird zu den Anforderungen an einen Integritätsnachweis für korrosionsgeschädigte DEHR ausgeführt:

„Wollte man dennoch einen „Integritätsnachweis“ für Dampferzeuger-Heizrohre führen, wären diese oben genannten, in den Regeln des KTA 3201.1 – 3201.4 und 3206 angegebenen Prinzipien aber analog anzuwenden. Das wiederum scheitert im vorliegenden Fall jedoch schon daran, dass bei den DE-Heizrohren in GKN-II eine korrosive Umgebung, ein vorgeschädigtes Material, aber auch Materialspannung insbesondere im Bereich der Einwalzungen in die DE-Rohrboden vorliegen. Insofern ist ein solcher „Integritätsnachweis“ nach den Maßstäben, die das kerntechnische Regelwerk für die größeren Rohre aufstellt, für die DE-Heizrohre, erst recht für die in GKN-II, praktisch nicht möglich.“

Diesen Aussagen schließen wir uns nicht an. Insbesondere bezieht sich die in der Regel KTA 3206 „Nachweise zum Bruchausschluss für druckführende Komponenten in Kernkraftwerken“ /R 5/ aufge-

fürte Anforderung, wonach keine rissbildende Korrosion auftreten dürfe, auf den Nachweis für den Bruchausschluss. Sie ist somit für einen für DEHR geführten Integritätsnachweis nicht einschlägig.

SpRK ist als relevanter Schädigungsmechanismus im Rahmen des Alterungsmanagements zu berücksichtigen und zu überwachen. Diesbezügliche Anforderungen finden sich in der Regel KTA 1403 „Alterungsmanagement in Kernkraftwerken“ /R 4/. Die Differenzierung zwischen Komponenten, für die Bruchausschluss nachgewiesen wird, und jenen, für die das nicht zutrifft, ist auch in den Anforderungen an das Alterungsmanagement abgebildet:

- Maschinentechnische Komponenten mit Bruchausschluss sind der Gruppe M1 zugeordnet. Für diese ist ein Versagen nicht zulässig.
- DEHR sind, wie auch die RSK in /R 2/ feststellt, der Gruppe M2 zuzuordnen.

Gemäß Abschnitt 4.1.3.3 der KTA 1403 basiert die Vorgehensweise beim Alterungsmanagement der Gruppe M2 auf der vorbeugenden Instandhaltung. Dies umfasst unter anderem, dass die Folgen betriebsbedingter Schädigungsmechanismen an repräsentativen Stellen überwacht werden und alterungsbedingte Ausfälle infolge systematischer Fehler verhindert werden (zufälliges Einzelversagen ist zulässig).

Gemäß Begriffsdefinition der SiAnf bezeichnet der Begriff „Ausfall“ den Verlust der Fähigkeit einer Einrichtung die geforderte Funktion zu erfüllen. Bei den hier betrachteten DEHR liegt ein Ausfall dann vor, wenn das Heizrohr soweit geschädigt ist, dass es die erforderliche Barrierenfunktion auf den Sicherheitsebenen 2 bis 4a nicht mehr erbringen kann. Desweiteren wären gemäß den Anforderungen der KTA 1403 systematische korrosionsbedingte Heizrohrschäden, also mit Leckagen verbundene Schäden, zu verhindern.

Ausgehend von den Anforderungen in der KTA 1403 zur vorbeugenden Instandhaltung von Komponenten der Gruppe M2 muss somit verhindert werden, dass in dem Zeitraum zwischen zwei aufeinander folgenden wiederkehrenden Prüfungen Schädigungen an den DEHR eintreten, die deren Barrierenfunktion auf den Sicherheitsebenen 1 bis 4a gefährden. Dies aufzuzeigen, ist Gegenstand eines Integritätsnachweises für korrosionsgeschädigte DEHR.

Hierzu sind zu erbringen:

- i. ein Tragfähigkeitsnachweis für korrosionsgeschädigte DEHR,
- ii. ein Leck-vor-Bruch Nachweis für korrosionsgeschädigte DEHR, die zusätzlich einen wand-durchdringenden Riss aufweisen (DEHR Heizrohrschaden).

Zu i. Tragfähigkeitsnachweis für korrosionsgeschädigte DEHR

Aus unserer Sicht sind für einen Tragfähigkeitsnachweis die in Ziffer 8.2.1 (8) der Regel KTA 3201.4 „Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren - Teil 4: Wiederkehrende Prüfungen und Betriebsüberwachung“ /R 6/ festgelegten Schritte im Sinne einer vorausschauenden Befundbewertung anzuwenden. Folglich ist

- ein Schädigungsgrad (insbesondere hinsichtlich Ausdehnung und Tiefe der Schädigung) festzulegen, für den die Gewährleistung der Barrierenfunktion durch rechnerische Analysen zur Tragfähigkeit aufgezeigt wird,
- aufzuzeigen, dass die im Betrieb auftretenden Schädigungen durch die Wirbelstromprüfungen mit einer ausreichenden Nachweisgrenze und hinreichender Genauigkeit detektierbar sind,

- mit ausreichend hoher Aussagesicherheit aufzuzeigen, dass die zwischen zwei zeitlich aufeinander folgenden WKPen ggf. auftretenden Heizrohrschädigungen durch den im analytischen Tragfähigkeitsnachweis unterstellten Schädigungsgrad abgedeckt werden.

Unter diesen Bedingungen ist aus unserer Sicht ein Tragfähigkeitsnachweis für korrosionsgeschädigte DEHR regelwerksseitig methodisch zulässig.⁶

Wir weisen in diesem Zusammenhang darauf hin, dass ein dieser Logik folgender Tragfähigkeitsnachweis für GKN II vorgelegt und vom Sachverständigen positiv bewertet wurde.

Zu ii. Leck-vor-Bruch Nachweis für korrosionsgeschädigte DEHR, die zusätzlich einen wanddurchdringenden Riss aufweisen (DEHR Heizrohrschaden)

In /U 2/ wird in Kapitel 1.8 und 3 die Schlussfolgerung gezogen, dass für DEHR ein Leck-vor-Bruch-Verhalten weder unterstellt noch nachgewiesen werden könne:

„Von den Anforderungen an die „Basissicherheit“ und an Komponenten kleiner Nennweiten sind die DE-Heizrohre ausgenommen (sh. SiAnf). Ein Bruchausschluss und ein Leck-vor-Bruch-Verhalten kann deshalb nach diesen Vorgaben weder unterstellt noch nachgewiesen werden.“

Dieser Aussage in /U 2/ schließen wir uns nicht an. Ein Leck-vor-Bruch Verhalten ist eine der notwendigen Voraussetzungen dafür, dass für eine Rohrleitung der Bruchausschluss nachgewiesen werden kann. Umgekehrt stellen Basissicherheit und Bruchausschluss aber keine notwendigen Voraussetzungen dafür da, dass eine Rohrleitung ein Leck-vor-Bruch Verhalten zeigt. Somit werden in /U 2/ die hinter den Begriffen Basissicherheit, Bruchausschluss, Integritätskonzept und Leck-vor-Bruch Verhalten stehenden technischen Sachverhalte in unzutreffender Weise interpretiert⁷.

Gemäß der in der Regel KTA 3206 gewählten Definition ist Leck-vor-Bruch die Eigenschaft eines druckführenden Systembereichs, die sicherstellt, dass ein wanddurchdringender Riss unter allen betrieblichen und Störfallbelastungen unterkritisch gegenüber Instabilität bleibt und ein Leck aus diesem wanddurchdringenden Riss unter den betrieblichen Belastungen des stationären Betriebs rechtzeitig erkannt wird, so dass ein Eingreifen in den Betrieb der Anlage sichergestellt ist, bevor ein globales Versagen der Komponente eintreten kann.

Ein Leck-vor-Bruch Verhalten ergibt sich aus den Eigenschaften des Werkstoffs, der Art der einwirkenden Belastung und der Geometrie der Schädigung bzw. des Risses. Grundsätzlich ist es aus unserer Sicht auch für DEHR möglich, einen Leck-vor-Bruch Nachweis im Sinne der Definition der KTA 3206 zu führen. Wäre dies unter keinen Umständen der Fall, könnte auch die für DEHR geltende übergeordnete Anforderung 3.4 (1) der SiAnf nicht erfüllt werden:

⁶ Auch die RSK stellt in /R 2/ fest, dass entsprechend den Anforderungen der KTA 1403 /R 3/ der Schadensmechanismus Spannungsrisskorrosion an den DE-Heizrohren bei den zerstörungsfreien Prüfungen zu berücksichtigen ist. Das WKP-Konzept muss dazu geeignet sein, derartige Schädigungen rechtzeitig zu erkennen, um die Integrität der DE-Heizrohre zumindest für einen Prüfzyklus prognostizieren zu können.

⁷ Die Darstellungen in /U 2/ sind hinsichtlich der Verwendung fachlich definierter Begrifflichkeiten z.T. unpräzise. So wird in /U 2/ in Abschnitt 1.1 ausgeführt, dass der Betreiber in den Jahren 2018 wie 2019 die als rissig erkannten Rohre durch Stopfen verschlossen und darüber hinaus ein sogenanntes „Integritätskonzept“ samt „Leck-vor-Bruch-Nachweis“ für die DE-Heizrohre vorgelegt habe. Diese Darstellung ist insofern irreführend als von der Betreiberin im Rahmen ihrer Nachweise der Begriff „Integritätsnachweis“ verwendet wird, nicht aber „Integritätskonzept“. Der Begriff Integritätskonzept wird in der KTA 3206 im Zusammenhang mit Nachweisen zum Bruchausschluss verwendet und ist somit inhaltlich besetzt. Die Betreiberin verfolgt hier keinen methodischen Ansatz, der dem Integritätskonzept der KTA 3206 entspricht.

„Die Druckführende Umschließung muss so beschaffen, angeordnet sein und betrieben werden, dass das Auftreten von rasch fortschreitenden Rissen und von spröden Brüchen nicht zu unterstellen ist.“

Ein Leck-vor-Bruch Nachweis im Sinne der Definition der Regel KTA 3206 und im Sinne dessen, was in /U 2/ in Abschnitt 1.8 als „eigentlicher Leck-vor-Bruch-Nachweis“ bezeichnet wird, ist aus unserer Sicht auch für korrosionsgeschädigte DEHR auf Basis der in dieser Regel behandelten bruchmechanischen Methoden regelwerksseitig zulässig, sofern

- für den im Tragfähigkeitsnachweis angenommenen abdeckenden Schädigungsgrad auch bei Vorliegen eines zusätzlich unterstellten wanddurchdringenden Risses aufgezeigt werden kann, dass dieser Riss unter den auf den SE 2 bis 4a zu unterstellenden Beanspruchungen unterkritisch bleibt, somit ein wanddurchdringender Riss nicht zum Abriss des Heizrohres führt, und
- mit dem unterstellten wanddurchdringenden Riss eine Kühlmittleckage von der Primär- auf die Sekundärseite verbunden ist, die so rechtzeitig erkannt werden kann, dass ein Abriss des betroffenen Heizrohrs vermieden wird.

Wir weisen in diesem Zusammenhang darauf hin, dass ein derartiger Leck-vor-Bruch Nachweis für GKN II vorgelegt und vom Sachverständigen positiv bewertet worden ist. Korrespondierend mit dem vorgelegten Nachweis ist im GKN II BHB 2-1.1 Abschnitt 9.4 festgelegt, dass die Anlage ab einer festgelegten Leckagerate abzufahren ist (siehe auch /R 2/).

Zusammenfassend kommen wir zu dem Ergebnis, dass in /U 2/ die hinter den Begriffen Basissicherheit, Bruchausschluss, Integritätskonzept und Leck-vor-Bruch Verhalten stehenden technischen Sachverhalte in zum Teil unzutreffender Weise interpretiert werden.

Im Gegensatz zu den Aussagen in /U 2/, wonach für einen Integritätsnachweis für DEHR die in den Regeln KTA 3201.1 bis 3201.4 sowie 3206 angegebenen Prinzipien analog anzuwenden wären, was jedoch schon daran scheitert, dass bei den DE-Heizrohren in GKN-II eine korrosive Umgebung, ein vorgeschädigtes Material, aber auch Materialspannung insbesondere im Bereich der Einwalzungen in den DE-Rohrboden vorliegt, ist es aus unserer Sicht regelwerksseitig methodisch zulässig für korrosionsgeschädigte DEHR einen Integritätsnachweis zu führen. Insbesondere ergibt sich aus dem Regelwerk nicht die Forderung, dass bei einem Integritätsnachweis für DEHR die in den Regeln KTA 3201.1 bis 3201.4 sowie 3206 angegebenen Prinzipien analog anzuwenden sind und kein korrosiver Schädigungsmechanismus vorliegen darf.

Desweiteren ist die in /U 2/ gezogene Schlussfolgerung, wonach für DEHR ein Leck-vor-Bruch-Verhalten weder unterstellt noch nachgewiesen werden könne, da die DE-Heizrohre von den Anforderungen an die für solche Nachweise erforderliche „Basissicherheit“ ausgenommen sind, nicht durch das Regelwerk gedeckt und fachlich unzutreffend.

4 Folgerichtigkeit des dargestellten Störfallszenarios

Eine Reihe der in Kapitel 1.5 und 1.6 von /U 2/ enthaltenen Darstellungen zum Störfallszenario ist aus unserer Sicht zutreffend. Dies sind bspw. die Aussagen, dass

- der Anlagenauslegung der vollständige Bruch eines DE-Heizrohres mit einem doppelendigen Ausströmungsquerschnitt (2 F) als Auslegungsstörfall zugrunde liege und ein kumulierter Leckquerschnitt $> 2 F$ auslegungsüberschreitend sei,
- das Eintreten eines Auslegungsstörfalls nicht billigend in Kauf genommen werden dürfe,
- es sich beim DEHR-Bruch /- Leck um einen Kühlmittelverluststörfall unter Umgehung des Sicherheitsbehälters handele (Containment-Bypass-Ereignis).

Im Folgenden nehmen wir Stellung zu solchen Aussagen, die u.E. einer Klarstellung bzw. Präzisierung bedürfen.

Im Hinblick auf die in Kapitel 1.6 von /U 2/ enthaltene Aussage

"Relevant für das Potenzial einer hohen Aktivitätsfreisetzung beim Störfall DE-Heizrohrbruch wäre ein länger anhaltender hoher Druck im Primärkreis, der zu einer hohen Leckrate in den Sekundärkreis führt. Dieser kann ereignisablaufbedingt z. B. durch die primärseitigen Sicherheitseinspeisepumpen aufgeprägt werden oder durch die Unverfügbarkeit der primärseitigen Hauptkühlmittelpumpen entstehen."

ist festzustellen, dass die bei einem DEHR-Bruch angeregten automatischen Maßnahmen auf eine Stabilisierung des Anlagenzustandes und eine Reduzierung der Druckdifferenz zwischen Primärkreis und Sekundärkreis zielen. Hierdurch wird der Austrag von Primärkühlmittel über das gebrochene DEHR hin zur Sekundärseite reduziert, siehe z.B. /U 3/. Anschließend sind vom Schichtpersonal gemäß BHB Maßnahmen zu ergreifen, um eine ggf. über die Frischdampfventile stattfindende Aktivitätsfreisetzung sowie den Austrag von Primärkühlmittel in die Sekundärseite zu beenden. Gemäß den Vorgaben im BHB werden am betroffenen Dampferzeuger die Ansprechdrücke der Frischdampf-Abblasestation sowie des Frischdampf-Sicherheitsventils (FD-SIV) und Frischdampf-Absperrventils vor dem FD-SIV (FD- AVSIV) auf 106 bar bzw. 117 bar hochgesetzt und der Dampferzeuger dann anschließend isoliert. Erforderlichenfalls werden gemäß BHB weitere Maßnahmen zur Absenkung des Drucks im Primärkreis ergriffen, um das Öffnen des FD-ARV am defekten DE zu verhindern. Mit der Gesamtheit dieser Maßnahmen soll der Austrag von Primärkühlmittel auf die Sekundärseite über das Leck bzw. den Bruch beendet werden.

Die Maßnahmen greifen unabhängig davon, ob die Hauptkühlmittelpumpen in Betrieb sind oder nicht, und berücksichtigen auch den möglichen Betrieb der Sicherheitseinspeisepumpen.

Die folgende Aussage in Kapitel 1.6 von /U 2/

"Prinzipiell besteht schon bei einem auslegungsgemäßen Störfallablauf die Gefahr, dass durch das aus dem defekten Heizrohr ausströmende Wasser der Druck im Dampferzeuger so weit ansteigt, dass die Frischdampfsicherheitsventile öffnen und eine direkte Verbindung vom Primärkreis in die Umgebung schaffen. Dies gilt erst recht bei einem auslegungsüberschreitenden Störfallablauf, etwa beim Bruch mehrerer Heizrohre (Leckquerschnitt $> 2 F$)."

trifft insofern zu, als es bei allen Ereignisabläufen mit DEHR-Schäden, die mit einer Unverfügbarkeit der Hauptwärmesenke verbunden sind, zu einem Austrag von Primärkühlmittel in die Umgebung kommt, allerdings nicht zuerst über die Frischdampfsicherheitsventile (FD-SIV) sondern über die Frischdampf-Abblaseregelventile (FD-ARV), die an den vier Dampferzeuger geöffnet werden. Steht das FD-ARV an einem DE nicht zur Verfügung, spricht dort ggf. das FD-SIV an. Mit dem Isolieren des

defekten Dampferzeugers, dem Hochsetzen der Ansprechdrücke der FD-Abblasestation sowie des FD-SIV und FD-AVSIV und den weiteren Maßnahmen zur Absenkung des Drucks im Primärkreis wird die Abgabe von Primärkühlmittel an die Umgebung beendet.

Hinsichtlich der folgenden Aussage in Kapitel 1.6 von /U 2/

"Aus technischer Sicht besteht in der Folge der Öffnung eines Frischdampfsicherheitsventils die Möglichkeit, dass dieses Sicherheitsventil in Offenstellung hängenbleibt, womit eine direkte Verbindung vom Reaktorkern zur Umwelt gegeben wäre. In einem solchen Zustand wären eine ungehinderte Freisetzung von Radioaktivität in die Umwelt sowie der Verlust von Primärkühlmittel die Folge. In der Tendenz wären Schäden an den Brennelementen infolge unzureichender Kühlung der Brennelemente, einschließlich des Erreichens von Schmelzzuständen des Reaktorkerns mit erheblichen Freisetzungen radioaktiver Stoffe in die Umwelt nicht mehr auszuschließen."

ist festzustellen, dass das FD-SIV am defekten Dampferzeuger nur dann öffnet, wenn das FD-ARV unverfügbar ist. Unterstellt man als zusätzlichen Fehler ein Versagen des FD-SIV in Offenstellung, so kann dieses durch ein vor dem FD-SIV befindliches Absperrventil abgesperrt werden. Damit würde der Austrag von Primärkühlmittel an die Umgebung beendet.

5 Hinweise zu einzelnen Aussagen

Im Folgenden kommentieren wir gesondert einige ausgewählte Einzel-Aussagen aus /U 2/, die u.E. einer Klarstellung oder Präzisierung bedürfen.

In Abschnitt 1.9 in /U 2/ wird ausgeführt:

„In dem nach SiAnf, Abschnitt 1 (3) geforderten Alterungsmanagement (technische Einzelheiten sh. KTA 1403) sind die DE-Heizrohre der Gruppe M2 zuzuordnen, für die eine vorbeugende Instandhaltung vorzunehmen ist. Dadurch ist ein alterungsbedingter Ausfall aufgrund systematischer Fehler zu verhindern. Auch hieraus ergibt sich die Forderung, Betriebsbedingungen zu vermeiden, die zu Spannungsrissskorrosion an den DE-Heizrohren führen können. Wie weiter unten angegeben lassen sich eben gerade solche Betriebsbedingungen im Betrieb des KKW GKN-II nicht ausschließen.“

„Im Oktober 2019 schließlich verschärft die RSK aus Anlass der unerwarteten Risse in den DE-Heizrohren des KKW Neckarwestheim-II erneut die Regeln (/RSK 2019/). Festzuhalten ist:

Vorrangig sind deshalb auch Betriebsbedingungen zu vermeiden bzw. auszuschließen, die zu Schädigungsmechanismen wie Korrosions- und Erosionsvorgängen an den DE-Heizrohren führen können.“

Zu diesen Aussagen in /U 2/ ist festzustellen, dass ein Ausschluss bestimmter Bedingungen im Kontext des kerntechnischen Regelwerks eine weitreichendere Anforderung darstellt als deren Vermeidung.⁸ Somit werden hier fachlich definierte Begrifflichkeiten zum Teil unpräzise verwendet, wenn in

⁸ Gemäß /R 1/ „kann das Eintreten eines Ereignisses oder Ereignisablaufs oder Zustands als ausgeschlossen angesehen werden, wenn das Eintreten physikalisch unmöglich ist oder wenn mit einem hohen Maß an Aussagesicherheit das Eintreten als extrem unwahrscheinlich angesehen werden kann.“

Zur Vermeidung heißt es dort: „Das Vorgehen des Vermeidens von Ereignissen oder Ereignisabläufen kann für den Fall angewendet werden, wenn höherwertiger ausgelegte Maßnahmen und Einrichtungen (auf einer nachfolgenden Sicher-

/U 2/ einerseits davon gesprochen wird, dass korrosive Betriebsbedingungen zu vermeiden sind, andererseits davon, dass sie nicht ausgeschlossen werden können. Die RSK hat in /R 2/ ausschließlich die Vermeidung von Betriebsbedingungen, die zu korrosiven Bedingungen führen können, gefordert, nicht deren Ausschluss⁹.

In Abschnitt 3 in /U 2/ wird ausgeführt:

„Die Schäden an den Dampferzeuger-Heizrohren werden bereits seit Jahren beobachtet, die Schadensmechanismen sind systemimmanent.“

Die beobachteten Schadensmechanismen sind nicht generell „systemimmanent“. Beispielsweise waren die hierfür erforderlichen Bedingungen mindestens bis zum Jahr 2013 im GKN II nicht gegeben. Im Zeitraum von 2013 bis zur Revision 2018 lagen Betriebsbedingungen vor, die zu den korrosionsbedingten DEHR-Schädigungen geführt haben. Mit den seitdem ergriffenen Maßnahmen (u.a. vorsorgliches Verschließen von durch Tropfenschlagerosion gefährdeten Kondensatorrohren, Entfernung korrosiver Substanzen aus den Dampferzeugern und Verbesserung der Sauberkeit der Dampferzeuger¹⁰) sollen Bedingungen wiederhergestellt werden, unter denen das Potenzial für korrosionsbedingte Schädigungen minimiert wird.

In Abschnitt 3 in /U 2/ wird des Weiteren ausgeführt:

„Die DE-Heizrohre in GKN-II haben über den bisherigen Betriebszeitraum von mehr als 30 Jahren und insbesondere durch das seit vielen Jahren und bis heute vorhandenen korrosive Milieu irreversible Schädigungen erfahren, die den Verlust der erforderlichen Integrität befürchten lassen.“

Die bisher festgestellten korrosionsbedingten Schädigungen betreffen einige Hundert von mehr als 16.000 DEHR. Die weit überwiegende Zahl von DEHR, an denen bislang keine korrosionsbedingten Anzeigen festgestellt worden sind, haben, vorbehaltlich der Nachweisgrenze der Messung, keine irreversiblen Schädigungen erfahren.

In Abschnitt 3 in /U 2/ wird weiterhin ausgeführt:

„Das in GKN-II praktizierte Verstopfen bereits stark geschädigter DE-Heizrohre ist zwar als eine temporär wirkende Reparaturmaßnahme zu sehen, kann jedoch keinen Beitrag zur Eindämmung oder Beseitigung der Schädigungsmechanismen leisten.“

Das Verschließen von geschädigten DEHR mittels Stopfen dient nicht der Eindämmung oder Beseitigung der Schädigungsmechanismen, sondern der Wiederherstellung der Barrierenintegrität. Zur Eindämmung oder Beseitigung der Schädigungsmechanismen sind im GKN II die bereits genannten

heitsebene) in der erforderlichen Zuverlässigkeit und Wirksamkeit zu deren Verhinderung vorhanden sind. Dadurch ist zu erreichen, dass das Eintreten solcher Ereignisse oder Ereignisabläufe auf der Sicherheitsebene 3 während der Betriebsdauer der Anlage nicht zu erwarten ist. Dennoch ist der Eintritt solcher Ereignisse zu unterstellen.“

⁹ Zitat aus /R 2/: *„Vorrangig sind Betriebsbedingungen zu vermeiden, die zu korrosiven Bedingungen und damit in Bezug auf das Medium zur Voraussetzung für das Auftreten von Spannungsrisskorrosion an den DE-Heizrohren führen können.“* (Hervorhebung hinzugefügt)

¹⁰ Durchgeführt wurden bzw. werden eine mechanische Rohrbodenreinigung, mehrfache Spülungen der DE zur Rücklösung eingelagerter Salze und die Konservierung der DE mit geeigneten Lösungen.

Maßnahmen vorsorgliches Verschließen von Kondensatorrohren, Entfernen korrosiver Substanzen aus den Dampferzeugern und Verbesserung der Sauberkeit der Dampferzeuger ergriffen worden.

6 Kerntechnische Regeln, Richtlinien und Verordnungen

- /R 1/ Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke vom 03. März 2015 (BAnz AT 30.03.2015 B2) einschließlich Interpretationen zu Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke vom 22. November 2012 geändert am 3. März 2015 (BAnz AT 30.03.2015 B3)
- /R 2/ RSK; Empfehlung : Schäden an Dampferzeuger(DE)-Heizrohren durch Spannungsrisskorrosion –Maßnahmen zur Sicherstellung der Integrität der Heizrohre; 512. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) am 22./23.10.2019
- /R 3/ RSK; Stellungnahme: Zu unterstellende Leckagen an Dampferzeuger(DE)-Heizrohren Mehrfachrohrbruch/Lecköffnung wanddickengeschwächter DE-Heizrohre; 447. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) am 03.05.2012
- /R 4/ Sicherheitstechnische Regel des KTA, KTA 1403 „Alterungsmanagement in Kernkraftwerken“, Fassung 2017-11
- /R 5/ Sicherheitstechnische Regel des KTA, KTA 3206 „Nachweise zum Bruchausschluss für druckführende Komponenten in Kernkraftwerken“, Fassung 2014-11
- /R 6/ Sicherheitstechnische Regel des KTA, KTA 3201.4 „Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren Teil 4: Wiederkehrende Prüfungen und Betriebsüberwachung“, Fassung 2016-11
- /R 7/ RSK; Stellungnahme: Schäden an Dampferzeuger(DE)-Heizrohren durch Spannungsrisskorrosion – Ursache und Nachweis; 428. RSK-Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) am 15.07.2010

7 In Bezug genommene Unterlagen

- /U 1/ UM B-W; GKN II – Schäden an Dampferzeugerheizrohren; Schreiben vom 24.06.2020, Az. 3-4651.32-20.1/4/18
- /U 2/ Prof. Dr.-Ing. habil. Manfred Mertins, TH Brandenburg, vormals GRS mbH; Bewertung zu Schäden durch Spannungsrisskorrosion an Dampferzeuger-Heizrohren im KKW Neckarwestheim 2 (GKN-II), Köln, im Juni 2020
- /U 3/ RSK, Ausschuss Anlagen- und Systemtechnik; Stellungnahme: Ausbildung und Auswirkungen eines Deionatpfropfens beim Dampferzeugerheizrohrleck; 11.12.2014

8 Abkürzungsverzeichnis

BHB	Betriebshandbuch
DE	Dampferzeuger
DEHR	Dampferzeugerheizrohre
DfU	Druckführende Umschließung
FD	Frischdampf
FD-ARV	Frischdampf-Abblaseregelventil
FD-AVSIV	Frischdampf--Absperrventil vor FD-SIV
FD-SIV	Frischdampf-Sicherheitsventil
GKN	Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar
KKW	Kernkraftwerk
KTA	Kerntechnischer Ausschuss
RSK	Reaktorsicherheitskommission
SiAnf	Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke
SpRK	Spannungsrissskorrosion
UM B-W	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg
WKP	Wiederkehrende Prüfung

Anhang 1: Auflistung der in /U 2/, Kapitel 3, aufgelisteten Spiegelpunkte¹¹

1. *Das KKW GKN-II hat den kommerziellen Leistungsbetrieb am 15.04.1989 aufgenommen. Die Dampferzeuger sind somit bereits mehr als 30 Jahre in Betrieb. (Kap. 1.1)*
2. *Die DE-Heizrohre stellen die Schnittstelle zwischen dem Primärkreislauf und dem sekundärseitigen Wasser-Dampfkreislauf dar. Wanddurchdringende Schäden an einzelnen Heizrohren im Leistungsbetrieb führen aufgrund der unterschiedlichen Druckverhältnisse zum Übertritt von Primärkühlmittel in den Wasser-Dampf-Kreislauf und sind somit wegen ihrer Bedeutung für die Barrierefunktion sicherheitstechnisch relevant. Bei DE-Heizrohrschäden können in Abhängigkeit vom Schädigungsgrad Systeme der Sicherheitsebene 2 oder diejenigen Systeme, die zur Störfallbeherrschung (Sicherheitsebene 3) erforderlich sind, angefordert werden. Gleichzeitiges Versagen von mehreren DE-Heizrohren (> 2 F Bruch) ist ein auslegungüberschreitender Störfall. (Kap. 1.3, 1.5)*
3. *Von den Anforderungen an die „Basissicherheit“ und an Komponenten kleiner Nennweiten sind die DE-Heizrohre ausgenommen (sh. SiAnf). Ein Bruchausschluss und ein Leck-vor-Bruch-Verhalten kann deshalb nach diesen Vorgaben weder unterstellt noch nachgewiesen werden. Da bei den DE-Heizrohren in GKN-II zudem eine korrosive Umgebung, ein vorgeschädigtes Material sowie potenziell spannungsrissskorrosionsauslösende Materialspannung vorliegt, ist ein „Integritätsnachweis“ für die DE-Heizrohre nach den Maßstäben, die das kerntechnische Regelwerk dafür aufstellt, praktisch erst recht nicht möglich. (Kap. 1.8)*
4. *Für die DE-Heizrohre gelten jedoch die generellen Anforderungen der SiAnf, Abschnitt 3.4 (1). Danach müssen die DE-Heizrohre als Teil der DfU so beschaffen und angeordnet sein sowie betrieben werden, dass das Auftreten von rasch fortschreitenden Rissen und von spröden Brüchen nicht zu unterstellen ist. Entsprechend sind Abrisse von DE-Heizrohren zu verhindern. In diesem Sinne sind Betriebsweisen zu vermeiden, die zu Spannungsrissskorrosion an den DE-Heizrohren führen können. (Kap. 1.8)*
5. *Die in der Revision 2017 und 2018 in den DE von GKN-II festgestellten volumetrischen Anzeigen sind auf Lochkorrosion und/oder interkristallinen Angriff (intergranular attack, IGA) unter stark sauren Bedingungen, verursacht durch den Eintrag von Sulfat und Chlorid in den DE und deren Aufkonzentration im Übergangsbereich zwischen harten und weichen Ablagerungen bzw. in den Belägen auf den Heizrohren, zurückzuführen. Darüber hinaus wurden in der Revision 2018 auch zahlreiche auf Spannungsrissskorrosion zurückzuführende Risse in Umfangsrichtung erkannt, die durch dieselben ungeeigneten Betriebsbedingungen entstanden sind. Trotz Gegenmaßnahmen wurden in der Revision 2019 dann bei erneuten Prüfungen der Heizrohre mittels Wirbelstromprüfung sogar in allen vier Dampferzeugern volumetrische Anzeigen und Umfangsanzeigen (Risse in Umlaufrichtung) gefunden, darunter zahlreiche neu entstandene. (Kap. 1.1)*
6. *Als übergeordnete sicherheitstechnische Zielsetzung des Konzepts der gestaffelten Sicherheitsebenen gilt, dass mittels resilienter Eigenschaften der Maßnahmen und Einrichtungen im gestaffelten Sicherheitskonzept gegebenenfalls auftretende Abweichungen (Betriebsstörungen) vom Normalbetrieb abgefangen und wieder auf den sicheren Ausgangszustand, den Normalbetrieb (Sicherheitsebene 1), zurückgeführt werden.
Die Schäden an den DE-Heizrohren sind als Betriebsstörung einzustufen und stellen somit einen Zustand dar, der der Sicherheitsebene 2 zuzuordnen ist.
Ein dauerhafter (gestörter) Anlagenbetrieb unter den Bedingungen der Sicherheitsebene 2 ist ge-*

¹¹ Originalzitate, allerdings sind in /U 2/ die Spiegelpunkte nicht nummeriert. Die hier angezeigte Nummerierung ist von uns vorgenommen worden, um eine einfachere Bezugnahme der einzelnen Spiegelpunkte zu ermöglichen.

mäß SiAnf, Abschnitt 2.1 (12) unzulässig. D.h., dass ein Betrieb des Reaktors mit vorgeschädigten oder potenziell geschädigten DE-Heizrohren sowie korrosivem Milieu nicht zulässig ist. Die Schäden an den Dampferzeuger-Heizrohren werden bereits seit Jahren beobachtet, die Schadensmechanismen sind systemimmanent. (Kap. 1.7, 1.8)

7. Vor dem Hintergrund der Unklarheit über die Risswachstumsgeschwindigkeit bei Spannungsrisskorrosion, wie sie die RSK in ihrer Stellungnahme vom 22./23.10.2019 (512. RSK-Sitzung) herausstellt, und den Betriebserfahrungen aus GKN-II, wonach trotz aller Gegenmaßnahmen weiterhin mit neuen Rissen und mit Risswachstum in den DE-Heizrohren zu rechnen ist, ist ein Auftreten eines nicht wanddurchdringenden Risses, der aber bereits die Grenzen der Traglastberechnungen für den ATWS-Störfall überschreitet, nicht sicher auszuschließen. (Kap. 1.1, 1.9)
8. Die DE-Heizrohre in GKN-II haben über den bisherigen Betriebszeitraum von mehr als 30 Jahren und insbesondere durch das seit vielen Jahren und bis heute vorhandenen korrosive Milieu irreversible Schädigungen erfahren, die den Verlust der erforderlichen Integrität befürchten lassen. Die Wiederherstellung der Qualität der erforderlichen Barrierefunktion der DE-Heizrohre ist notwendig und nur durch Austausch der geschädigten Dampferzeuger-Heizrohre, gekoppelt mit einer angepassten sekundärseitigen Wasserchemie, möglich. (Kap. 1.7, 1.8, 1.9)
9. Die Auswertung von DE-Heizrohrschäden in den Kernkraftwerken Biblis A, Biblis B und Unterweser zeigte bereits 2010, dass bei Spannungsrisskorrosion in einem engen Zeitraum mit hohem Fehlerwachstum zu rechnen ist. In GKN-II traten im Betriebszyklus 2018/2019 Risswachstumsgeschwindigkeiten von bis zu 70 % Wanddickenschwächung im Zeitraum von neun Monaten auf. (Kap. 2.1,1.1)
10. Das in GKN-II praktizierte Verstopfen bereits stark geschädigter DE-Heizrohre ist zwar als eine temporär wirkende Reparaturmaßnahme zu sehen, kann jedoch keinen Beitrag zur Eindämmung oder Beseitigung der Schädigungsmechanismen leisten. Nach dem für Kernkraftwerke weltweit geltenden Regeln des gestaffelten Sicherheitskonzepts wäre hierfür ein Austausch der jeweils betroffenen Dampferzeuger erforderlich. (Kap. 1.7)