

**Zusammenfassender Bericht des Umweltministeriums zu  
den Prüfungen im Rahmen der Jahresrevisionen 2019 bis  
2022 infolge des meldepflichtigen Ereignisses GKN II  
Nr. 04/2018 „Lineare Anzeigen bei Wirbelstromprüfungen  
von Dampferzeugerheizrohren“**

(Stand: 30.06.2022)



**Baden-Württemberg**

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

<b>Einleitung</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Technischer Hintergrund</b> .....	<b>4</b>
<b>2 Befunde</b> .....	<b>7</b>
2.1 DURCHGEFÜHRTE PRÜFUNGEN .....	7
2.1.1 VERBESSERTE PRÜF- UND AUSWERTEMETHODIK.....	7
2.1.2 NACHBEWERTUNG DER MESSERGEBNISSE AUS DER REVISION 2018 .....	9
2.1.3 GEÄNDERTE PRÜFSTRATEGIE 2022 .....	9
2.2 FESTGESTELLTE BEFUNDE.....	10
<b>3 Festgestellte Ursachen</b> .....	<b>13</b>
<b>4 Maßnahmen</b> .....	<b>14</b>
4.1 DURCHGEFÜHRTE MASSNAHMEN .....	14
4.2 KÜNFTIGE MASSNAHMEN .....	15
<b>5 Sicherheitstechnische Bewertung</b> .....	<b>16</b>
5.1 BEWERTUNG DER FESTGESTELLTEN URSACHEN UND DES SCHADENSMECHANISMUS .....	16
5.2 BEWERTUNG DER VON ENKK VORGESEHENEN MASSNAHMEN ..	17
5.3 BEWERTUNG DER INTEGRITÄT FÜR DEN BETRIEBSZYKLUS BIS ENDE 2022.....	18
<b>6 Gesamtbewertung</b> .....	<b>20</b>
6.1 BEWERTUNG ZUM WIEDERANFAHREN .....	21

## Einleitung

Während der Jahresrevision 2018 wurden im Kernkraftwerk Neckarwestheim Block II (GKN II) im Rahmen der Durchführung von Wirbelstromprüfungen (WSP) an den Heizrohren der vier Dampferzeuger (DE) mehrere Anzeigen von Wanddickenschwächungen (WDS) mit unterschiedlicher Schadenscharakteristik festgestellt. Der Betreiber EnBW Kernkraft GmbH (EnKK) hat die Befunde nach der atomrechtlichen Sicherheitsbeauftragten- und Meldeverordnung (AtSMV) gemeldet ([Befunde bei Wirbelstromprüfungen an Dampferzeuger-Heizrohren im Kernkraftwerk Neckarwestheim \(Block II\)](#)). Siehe hierzu auch den Bericht [Zusammenfassender Bericht des Umweltministeriums zum Meldepflichtigen Ereignis GKN II ME 04/2018 "Lineare Anzeigen bei Wirbelstromprüfungen von Dampferzeugerheizrohren" 2018](#).

Aufgrund der 2018 festgestellten Befunde wurden in der Revision 2019 erneut Wirbelstromprüfungen an allen nicht verschlossenen Dampferzeugerheizrohren (DE-Heizrohre) der vier Dampferzeuger in GKN II im für den festgestellten Schadensmechanismus relevanten Bereich von der Rohrbodenunterkante bis zum ersten Abstandhalter durchgeführt.

In den Jahresrevisionen 2020, 2021 und 2022 erfolgten erneut Wirbelstromprüfungen an den DE-Heizrohren im gleichen Umfang wie 2019. Das heißt es wurden wieder alle nicht verschlossenen DE-Heizrohre geprüft.

Der vorliegende Bericht wurde zunächst zur Beschreibung und Bewertung der Ergebnisse der Wirbelstromprüfungen von 2019 erstellt, in den Folgejahren jeweils um die Ergebnisse der Prüfungen von 2020 und 2021 ergänzt und wird nun mit den Ergebnissen der Prüfungen von 2022 fortgeschrieben.

# 1 Technischer Hintergrund

Die Anlage GKN II ist ein Druckwasserreaktor mit getrenntem Primärkreislauf und sekundärem Wasser-Dampf-Kreislauf und besitzt vier Dampferzeuger (siehe Bild 1). In jedem der Dampferzeuger (siehe Bild 2) befinden sich 4118 DE-Heizrohre. Diese DE-Heizrohre stellen als Teil der druckführenden Umschließung (DfU) die Wärmeübertragung vom Primär- zum Sekundärkreis sicher. Sie sind als Barriere zur Aktivitätsrückhaltung sicherheitstechnisch bedeutsam und müssen die Integrität des Primärkreises im Betrieb und bei Störfällen gewährleisten. Gemäß den Vorgaben des kerntechnischen Regelwerks (u. a. umgesetzt im Prüfhandbuch der Anlage GKN II) wird daher regelmäßig eine ausgewählte Stichprobe der Heizrohre der Dampferzeuger mittels Wirbelstromprüfung zerstörungsfrei geprüft.

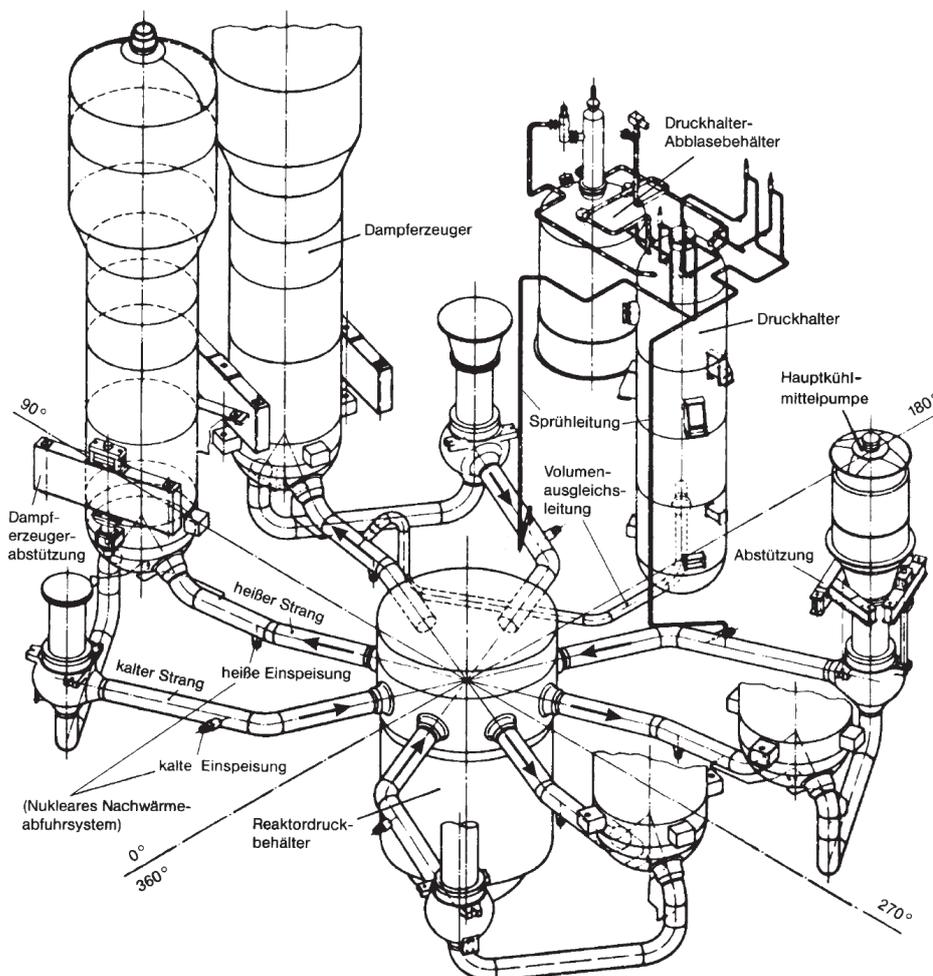


Bild 1: Komponenten der druckführenden Umschließung (Quelle: EnKK)

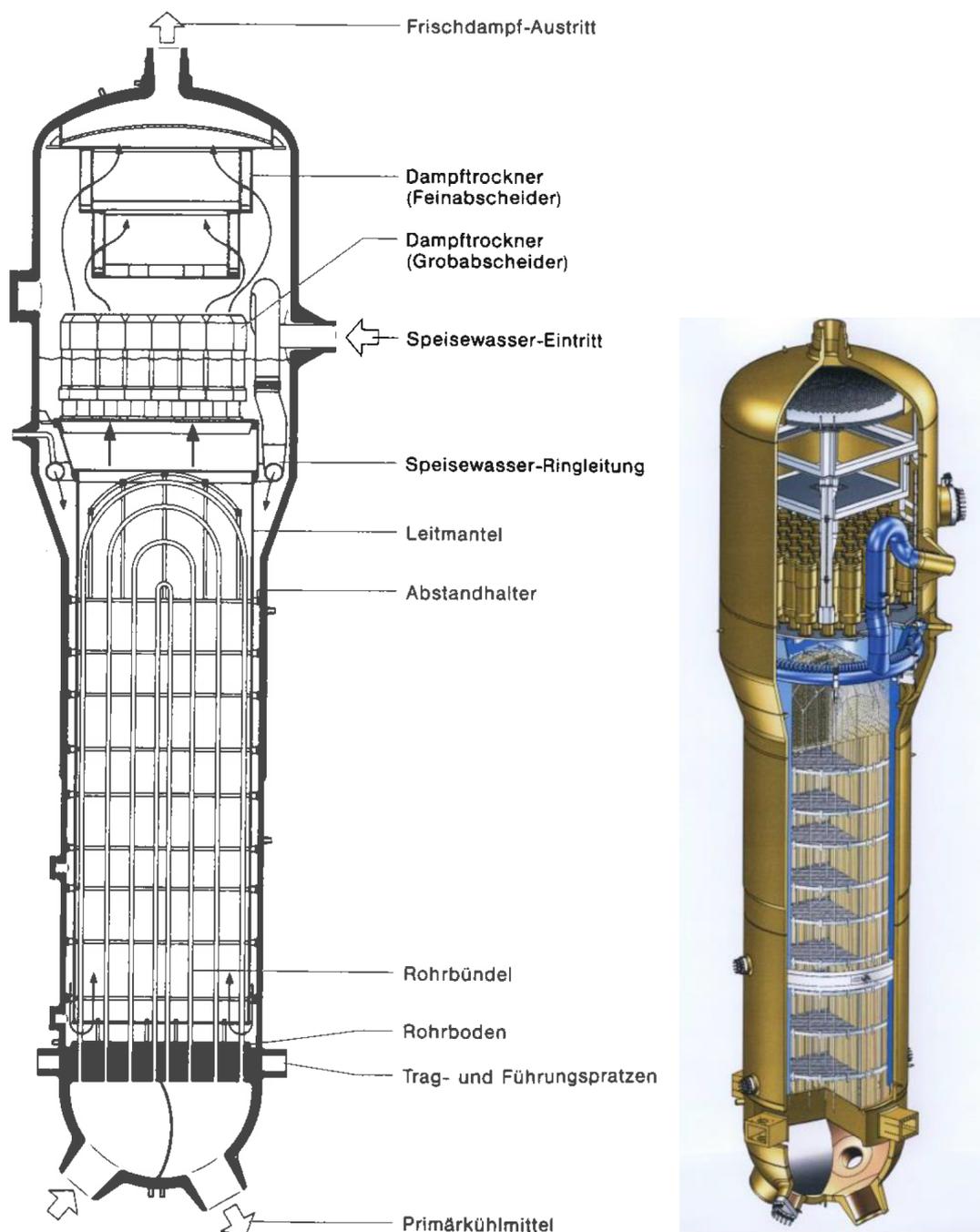


Bild 2: Aufbau eines Dampferzeugers (Quelle: EnKK). Die Anlage GKN II besitzt vier Dampferzeuger mit jeweils 4118 Heizrohren. Die Heizrohre sind aus dem Werkstoff Incoloy 800 mod. gefertigt und haben einen Außendurchmesser von 22 Millimeter und eine nominelle Wandstärke von 1,2 Millimeter.

Im Falle von wanddurchdringenden Schäden an einzelnen Heizrohren im Leistungsbetrieb kommt es aufgrund der unterschiedlichen Druckverhältnisse zum Übertritt von aktivitätsführendem Primärkühlmittel in den sekundärseitigen Wasser-Dampf-Kreislauf. Bei DE-Heizrohr-

schäden können in Abhängigkeit der Größe der Schäden und der Menge der vom Primärkreislauf zum Sekundärkreislauf übertretenden Radionuklide Systeme der Sicherheitsebene 2 (sogenannter „anomaler Betrieb“) angefordert werden, oder Systeme, die zur Störfallbeherrschung (Sicherheitsebene 3) erforderlich sind. Der 2F-Bruch<sup>1</sup> eines DE-Heizrohres ist als Auslegungsstörfall im Genehmigungsverfahren nachgewiesen worden.

Die Anlage besitzt mehrere unabhängige, sehr empfindliche Messeinrichtungen zur Aktivitätsüberwachung des Sekundärkreises, so dass der Übertritt von Radionukliden erkannt und die Anlage bereits bei sehr geringen Heizrohrleckagen abgefahren werden kann.

---

<sup>1</sup> Ein 2F-Bruch ist das vollständige Abreißen eines DE-Heizrohres an beiden Enden, woraus eine Leckgröße entsteht, die der zweifachen Fläche des inneren Rohrquerschnitts entspricht.

## 2 Befunde

### 2.1 DURCHGEFÜHRTE PRÜFUNGEN

Als eine Konsequenz aus den in der Revision 2018 festgestellten Befunden in den Dampferzeugern 20 und 40 wurden für die Revision 2019 im GKN II umfangreiche Prüfungen an allen vier Dampferzeugern (Dampferzeuger 10 - 40) vorgesehen.

In der Revision 2019 wurden 100 Prozent der Heizrohre aller vier Dampferzeuger im Bereich von der Rohrbodenunterkante bis zum ersten Abstandshalter jeweils auf der heißen und kalten Seite (auf einer Länge von jeweils ca. 1,7 Meter) geprüft. Hierbei sind vorrangig zwei Sonden zum Einsatz gekommen: Kombinationssonde (X-Probe und Bobbin), im Folgenden X-Probe-Sonde genannt, für die Prüfung über die Länge von ca. 1,7 Meter und MRPC-Sonde (Motorized Rotating Pancake Coil) für die Prüfung im Bereich um die Rohrbodenoberkante.

Ergänzend wurde zur Validierung der Prüfergebnisse der Wirbelstromprüfungen eine zweite, diversitäre Prüftechnik (Ultraschallverfahren) für einen Stichprobenumfang eingesetzt.

Infolge der in der Revision 2019 an den DE-Heizrohren von GKN II erneut festgestellten Befunde wurden in den Revisionen 2020, 2021 und 2022 neuerlich Prüfungen an allen vier Dampferzeugern durchgeführt. Damit wurde auch ein entsprechender Punkt aus der Empfehlung der Reaktor-Sicherheitskommission „Schäden an Dampferzeuger(DE)-Heizrohren durch Spannungsrisskorrosion – Maßnahmen zur Sicherstellung der Integrität der Heizrohre“ vom 22./23.10.2019 erfüllt.

Der Prüfumfang 2020, 2021 und 2022 entsprach dem von 2019. Dabei kamen bis auf eine Änderung im Jahr 2022 (siehe Abschnitt 2.1.3) dieselbe Prüftechnik, Prüfstrategie und Auswertemethodik zur Anwendung, wie bei den Prüfungen 2019. Lediglich das 2019 stichprobenweise eingesetzte Ultraschallverfahren entfiel ab 2020, da eine erneute Validierung der Prüfergebnisse der Wirbelstromprüfungen nicht mehr erforderlich war.

#### 2.1.1 VERBESSERTE PRÜF- UND AUSWERTEMETHODIK

Im Nachgang der Revision 2018 in GKN II wurde die Prüf- und Auswertemethodik aufgrund neuer Erkenntnisse u. a. aus der Ergebnisauswertung in einer anderen deutschen Anlage auf Basis der von der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) erstellten Leitungsnachricht 2018/06 optimiert.

In der Revision 2018 wurde die MRPC-Sonde zur Charakterisierung und Quantifizierung der mit der X-Probe-Sonde detektierten Befunde eingesetzt. Da die linearen Befunde (siehe Abschnitt 2.2) alle im Bereich der Rohrbodenoberkante liegen, wurden die Signale, die von den Befunden ausgehen, teilweise von Signalen, die durch Veränderungen des konstruktiv bedingten Spalts zwischen Rohrboden und Heizrohr herrühren, überdeckt und dadurch nicht zuverlässig erkannt.

Aus diesem Grund wurde die MRPC-Sonde in den Revisionen 2019, 2020 und 2021 in allen Rohren eingesetzt, bei denen mit der X-Probe-Sonde Veränderungen des konstruktiv bedingten Spalts zwischen Rohrboden und Heizrohr festgestellt worden waren. Mit der MRPC-Sonde kann zwischen dem Einfluss der Spaltveränderung und dem Signal, das von den Rissbefunden ausgeht, deutlich besser unterschieden werden als mit der X-Probe-Sonde.

Die verfeinerte Prüfmethodik führt (bei identischem Schadensbild) im Vergleich zur Prüfstrategie von 2018 zu einer höheren Anzahl an Anzeigen. Mit der neuen Prüfmethodik können alle Anzeigen im Bereich der Nachweisgrenze eindeutig entweder als Rissbefunde oder als reine Spaltveränderung klassifiziert werden.

Mit dieser Prüfmethodik kann davon ausgegangen werden, dass alle Schäden an den DE-Heizrohren oberhalb der Nachweisgrenze mit hoher Zuverlässigkeit erkannt werden.

Die zugezogenen Sachverständigen haben die von EnKK aufgestellte Prüfstrategie analysiert und stellen hierzu fest, dass diese Strategie sachgerecht und konsequent ist, eine umfangreiche und zielführende Prüfung der DE-Heizrohre entsprechend dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik durchzuführen.

Die eingesetzten Prüfverfahren werden als geeignet bewertet, die DE-Heizrohre zu prüfen, sicherheitstechnisch relevante Anzeigen und Fehler festzustellen, diese zu analysieren und deren Ausprägung zu charakterisieren.

Die von EnKK aufgeführten Nachweisgrenzen der eingesetzten Prüfverfahren werden bestätigt. Die festgelegten Zulässigkeitsgrenzen für erkannte Anzeigen sind sicherheitsgerichtet und erfüllen die Anforderungen des Regelwerks (KTA 3201.4).

Zur Absicherung der Auswertemethodik wurde ein repräsentativer Stichprobenumfang (sowohl solche mit Anzeige als auch solche ohne Anzeige) der Messdaten von ca. 1900 der in der Revision 2019 geprüften Rohre (X-Probe und MRPC) durch einen weiteren unabhängigen Prüfdienstleister ausgewertet. Das Ergebnis dieses Vergleichs bestätigt zusätzlich die Qualität der Messdatenauswertung in GKN II.

### **2.1.2 NACHBEWERTUNG DER MESSERGEBNISSE AUS DER REVISION 2018**

Nachdem erkannt wurde, dass mit der X-Probe-Sonde gemessene Signale im Bereich der Rohrbodenoberkante durch korrosionsbedingte Störsignale beeinflusst sein können, wurden die Messdaten von GKN II aus der Revision 2018 einer Nachauswertung unter Berücksichtigung der neu gewonnenen Erkenntnisse unterzogen.

Dabei wurde festgestellt, dass bei etlichen Rohren, an denen in der Revision 2018 kein Befund detektiert wurde, der begründete Verdacht bestand, dass lineare Anzeigen vorliegen könnten, die unter Anwendung der aktuellen Auswertemethodik bereits im Jahr 2018 als solche klassifiziert worden wären.

Wie vom Betreiber angegeben und von den zugezogenen Sachverständigen bestätigt, konnte bei 95 der in der Revision 2019 festgestellten linearen Befunde dieser Verdacht bestätigt werden. Daher wurden diese Befunde seitens EnKK der Revision 2018 zugeschrieben.

### **2.1.3 GEÄNDERTE PRÜFSTRATEGIE 2022**

In der Revision 2022 kam eine im Vergleich zu den Vorjahren geänderte Prüfstrategie zum Einsatz. Bei gleichem Prüfumfang und Anwendung derselben Wirbelstromverfahren (X-Probe-Sensor und Rotiersonde/MRCP) wurde die Rotiersonde nicht mehr großflächig im Bereich von Veränderungen am Rohrboden eingesetzt, sondern nur noch dann, wenn durch die standardmäßig eingesetzte X-Probe-Sonde entweder Anzeigen detektiert wurden oder der Verdacht auf Anzeigen bestand.

Die EnKK hatte diese geänderte Prüfstrategie im Vorfeld der Revision 2022 vorgestellt und mit neuen Erkenntnissen zur Nachweisempfindlichkeit der X-Probe-Sonde, der Zunahme der Erfahrungen des Auswertepersonals, den Erfahrungen und Bewertungen zur Schädigungsentwicklung und aus der Nachweisführung zur Integrität der DE-Heizrohre begründet.

Die Argumentation der Betreiberin wurde vom UM und dem zugezogenen Sachverständigen geprüft und sicherheitstechnisch bewertet. Die geänderte Prüfstrategie ist sicherheitstechnisch und nach dem kerntechnischen Regelwerk zulässig. Dies gilt unter der Voraussetzung, dass alle weiteren Maßnahmen des Konzepts zur Sicherstellung der Integrität der Dampferzeugerheizrohre im Betrieb beibehalten werden. Auf Basis der vorliegenden Erfahrungen war und ist davon auszugehen, dass mit der geänderten Prüfstrategie nur einzelne, sehr kleine lineare Anzeigen nicht erkannt werden, die sicherheitstechnisch nicht relevant sind, und nicht damit zu rechnen ist, dass sie binnen des verbleibenden Betriebszyklus zu Leckagen führen.

## 2.2 FESTGESTELLTE BEFUNDE

Bei den durchgeführten Wirbelstromprüfungen im Rahmen der Revision 2018 wurden an Heizrohren in allen vier Dampferzeugern Wanddickenschwächungen festgestellt. Dabei sind zwei Schadenscharakteristiken zu unterscheiden:

- a) volumenartige, punkt- bis kegelförmige Wanddickenschwächungen,
- b) lineare, in Umfangsrichtung orientierte rissartige Wanddickenschwächungen.

Alle gefundenen Anzeigen gehen von der Sekundärseite aus.

Befunde nach a) wurden auch in den Revisionen 2019, 2020, 2021 und 2022 gemessen. Im Folgenden werden nur die sicherheitstechnisch bedeutenderen Befunde nach b) weiter betrachtet. Bei den rissartigen, in Umfangsrichtung orientierten Wanddickenschwächungen handelt es sich um eine Schadenscharakteristik, die in GKN II vor 2018 noch nicht festgestellt wurde. Als Schadensmechanismus wurde Spannungsrisskorrosion (SpRK) ermittelt.

Die in der **Revision 2019** festgestellten Anzeigen nach b) verteilen sich folgendermaßen auf die vier Dampferzeuger:

Dampferzeuger 10:

Es wurden an 10 Rohren Befunde festgestellt. Davon sind Befunde an acht Rohren dem Betriebszyklus 2018/2019 zuzuordnen. Zwei Befunde lagen bereits 2018 vor, konnten aber erst 2019 durch die verbesserte Prüf- und Auswertemethodik festgestellt werden.

Dampferzeuger 20:

Im Rahmen einer Nachbewertung der Ergebnisse aus der Revision 2018 wurden an 89 Rohren Befunde ermittelt, die der Menge der Befunde aus 2018 zugeschlagen werden müssen. Mit der aktuell eingesetzten Prüfmethodik wurden an 58 Rohren neue Befunde festgestellt.

Dampferzeuger 30:

Es wurden an 2 Rohren neue Befunde festgestellt.

Dampferzeuger 40:

Es wurden an 32 Rohren Befunde festgestellt. Davon sind Befunde an 28 Rohren dem Betriebszyklus 2018/2019 zuzuordnen. Vier Befunde lagen bereits 2018 vor, konnten aber erst 2019 durch die verbesserte Prüf- und Auswertemethodik festgestellt werden.

Die in der **Revision 2020** festgestellten Anzeigen nach b) verteilen sich folgendermaßen auf die vier Dampferzeuger:

Dampferzeuger 10:

Keine linearen Anzeigen.

Dampferzeuger 20:

Es wurden an 6 Rohren lineare Befunde festgestellt.

Dampferzeuger 30:

Es wurden keine linearen Befunde festgestellt.

Dampferzeuger 40:

Es wurde an einem Rohr ein linearer Befund festgestellt.

Die in der **Revision 2021** festgestellten Anzeigen nach b) verteilen sich wie folgt auf die vier Dampferzeuger:

Dampferzeuger 10:

Es wurden an 5 Rohren lineare Befunde festgestellt.

Dampferzeuger 20:

Es wurde an einem Rohr ein linearer Befund festgestellt.

Dampferzeuger 30:

Es wurden an 11 Rohren lineare Befunde festgestellt.

Dampferzeuger 40:

Es wurden keine linearen Befunde festgestellt.

Die in der **Revision 2022** festgestellten Anzeigen nach b) verteilen sich wie folgt auf die vier Dampferzeuger:

Dampferzeuger 10:

Es wurden an 15 Rohren lineare Befunde festgestellt.

Dampferzeuger 20:

Es wurde an einem Rohr ein linearer Befund festgestellt.

Dampferzeuger 30:

Es wurden an 11 Rohren lineare Befunde festgestellt.

Dampferzeuger 40:

Es wurden an 8 Rohren lineare Befunde festgestellt.

Alle 2018, 2019 und 2020 festgestellten linearen, rissartigen Befunde befinden sich auf der heißen Seite der Dampferzeuger. Bei den Prüfungen 2021 wurden erstmals auch lineare Befunde auf der kalten Seite der Dampferzeuger festgestellt. Die 2022 festgestellten linearen Befunde befinden sich bis auf eine Ausnahme (Befund im DE 20) alle auf der kalten Seite der Dampferzeuger.

Die Sachverständigen bestätigen die Darstellungen von EnKK zur Befundsituation 2019, 2020, 2021 und 2022.

In Summe wurden im Zeitraum von 2018 bis 2022 somit 351 Heizrohre mit linearen Wanddickenschwächungen in den vier Dampferzeugern festgestellt. Davon entfallen 30 Rohre auf Dampferzeuger 10, 254 Rohre auf Dampferzeuger 20, 24 Rohre auf Dampferzeuger 30 und 43 Rohre auf Dampferzeuger 40.

### 3 Festgestellte Ursachen

Zu den Ursachen wird auf den Bericht [Zusammenfassender Bericht des Umweltministeriums zum Meldepflichtigen Ereignis GKN II ME 04/2018 "Lineare Anzeigen bei Wirbelstromprüfungen von Dampferzeugerheizrohren" 2018](#) verwiesen. Darüber hinaus gibt es aktuell keine neueren Erkenntnisse.

Die zugrundeliegenden Randbedingungen wurden seit der Revision 2018 durch die getroffenen Maßnahmen schon wesentlich beeinflusst (z. B. Verringerung der Konzentration ionaler Verunreinigung im Sekundärkreislauf, Beseitigung der Kondensatorleckage), jedoch wirken diese noch nach.

## 4 Maßnahmen

Um die 2018 ermittelten Schadensursachen zukünftig zu vermeiden oder weitestgehend zu reduzieren und die Integrität der DE-Heizrohre für die folgenden Betriebszyklen, so auch für den letzten Zyklus bis Jahresende 2022, abzusichern, wurden das Reparatur- und Wartungskonzept für die DE-Heizrohre sowie Maßnahmen zur Verbesserung der Sekundärkreischemie und der verbesserten Überwachung chemischer Betriebsparameter von EnKK weiter angewandt und vom UM aufsichtlich verfolgt (siehe auch den Bericht [Zusammenfassender Bericht des Umweltministeriums zum Meldepflichtigen Ereignis GKN II ME 04/2018 "Lineare Anzeigen bei Wirbelstromprüfungen von Dampferzeugerheizrohren" 2018](#)).

### 4.1 DURCHGEFÜHRTE MASSNAHMEN

In der Revision 2019 wurden die Dampferzeuger während des Abfahrens bei konstanter Temperatur gehalten (sogenanntes „Soaking“), um bei der nachfolgenden Entleerung die dadurch gelösten salzartigen Verunreinigungen und somit einen Teil des korrosiven Inventars zu entfernen. Auf diese Maßnahme wurde in den folgenden Revisionen 2020 bis 2022 verzichtet. Die Erfahrung aus der Revision 2019 hatte gezeigt, dass das Soaking nicht wesentlich zur zusätzlichen Reinigung der Dampferzeuger beiträgt.

Der maßgebliche Reinigungseffekt stellt sich durch das während den Revisionen 2019 bis 2022 durchgeführte ausgedehnte Reinigungs-, Spül- und Konservierungsprogramm ein.

Analog zum Vorgehen in der Revision 2018 wurden sowohl 2019 als auch 2020, 2021 und 2022 sämtliche Heizrohre mit rissartigen Befunden mit Füll- und Walzstopfen stabilisiert und verschlossen. Heizrohre mit volumenartigen Befunden wurden in Abhängigkeit von der Wanddickenschwächung mit Walzstopfen verschlossen.

Zudem wurden 2019 zahlreiche Rohre des Kondensators, welcher den Sekundärkreislauf vom Hauptkühlwasser trennt, präventiv verschlossen. Damit wird Verunreinigungen des Mediums des Sekundärkreislaufs (Speisewasser) durch den Übertritt von Hauptkühlwasser (Kondensatorleckagen) vorgebeugt. 2020 wurden erneut einige Kondensatorrohre präventiv verschlossen. In den Revisionen 2021 und 2022 waren keine weiteren präventiven Verschlüsse von Kondensatorrohren erforderlich.

## **4.2 KÜNFTIGE MASSNAHMEN**

Die Berechtigung zum Leistungsbetrieb des GKN II erlischt mit Ablauf des Jahre 2022. Eine erneute Sonderprüfung der DE-Heizrohre ist zum jetzigen Zeitpunkt seitens EnKK nicht vorgesehen.

Alle Maßnahmen, die der Überwachung der chemischen Bedingungen und der Reduzierung der korrosiven Randbedingungen dienen, werden mindestens bis zum Ende des Leistungsbetriebs konsequent fortgesetzt.

## 5 Sicherheitstechnische Bewertung

Die von EnKK 2019, 2020, 2021 und 2022 vorgelegten umfangreichen Unterlagen zu den Befunden sowie in diesem Zusammenhang getroffenen Maßnahmen wurden vom UM unter Hinzuziehung von Sachverständigen geprüft und bewertet. Das Ergebnis der Prüfungen ist im Folgenden summarisch dargestellt.

### 5.1 BEWERTUNG DER FESTGESTELLTEN URSACHEN UND DES SCHADENSMECHANISMUS

In der Revision 2018 wurden umfangreiche Untersuchungen zu den Schadensursachen und zum Schädigungsmechanismus durchgeführt. Aufgrund von Erkenntnissen aus einer anderen Anlage und ergänzenden Versuchen vorlaufend zur Revision 2019 wurde die Prüf- und Auswertemethode optimiert. Die anhand dieser Methode in den Revisionen 2019, 2020 und 2021 und anhand der angepassten Prüfstrategie 2022 festgestellten Befunde fügen sich in das Schadensbild der Revision 2018 ein.

Die Sachverständigen bestätigen aufgrund

- der Ausprägung der Anzeigen,
- der Lage (Position im Heizrohr) der Anzeigen,
- der Position der geschädigten Heizrohre im Dampferzeuger,
- der vorhandenen wasserchemischen Randbedingungen,
- des vorhandenen empfindlichen Werkstoffzustands sowie
- des vorhandenen Spannungszustands in den Heizrohrrohren,

dass die im Jahr 2018 aufgestellte Schadenshypothese für die in den Revisionen 2019, 2020, 2021 und 2022 detektierten Schäden weiterhin zutreffend ist. Hinweise darauf, dass andere Schadensmechanismen gewirkt und entsprechende Schädigungen an den Bauteilen verursacht haben, ergaben sich nicht.

## 5.2 BEWERTUNG DER VON ENKK VORGEGEHENEN MASSNAHMEN

Die in den Kondensatoren erfolgten vorsorglichen Verschlussmaßnahmen werden als zielführend und geeignet bewertet, zukünftig den Eintrag von korrosionsfördernden Verunreinigungen weitgehend zu verhindern.

Während der Betriebsphase 2018/2019 hat EnKK Anpassungen im Betriebsreglement vorgenommen, um niedrigere Grenzwerte und Aktionsschwellen für bestimmte wasserchemische Gehalte für die Wässer im Wasser-Dampf-Kreislauf festzulegen. Aufgrund der weiterhin positiven Entwicklung im Hinblick auf den Verschmutzungsgrad der sekundärseitigen Wässer im Verlauf des jeweils vorangehenden Betriebszyklus, werden hier weder 2019 noch 2020, 2021 oder 2022 weitere Änderungen als erforderlich angesehen.

Das im Rahmen der Revisionen 2019 bis 2022 durchgeführte Reinigungs-, Spül- und Konservierungsprogramm ist zielführend für die Reinigung der Dampferzeuger von den maßgeblichen Verunreinigungen. Die im jeweils vorangehenden Zyklus neu eingetragenen, im Wesentlichen betrieblich bedingten Verunreinigungen konnten durch diese Maßnahme weitestgehend ausgetragen und die noch vorhandenen korrosionsfördernden Verunreinigungen weiter reduziert werden.

Die an den Dampferzeugern durchgeführten Reparaturmaßnahmen (Walzstopfen) sind bewährt und geeignet, die von den Schäden betroffenen DE-Heizrohre hydraulisch dicht zu verschließen. Das zusätzliche Einsetzen von stabilisierenden Füllstopfen in Rohre mit rissartigen Befunden ist geeignet, schädigenden Einfluss auf benachbarte DE-Heizrohre auszuschließen. Die ordnungsgemäße Durchführung der Reparaturarbeiten wurde sowohl 2019 als auch 2020, 2021 und 2022 vom zugezogenen Sachverständigen im Auftrag des UM überwacht und der ordnungsgemäße Abschluss der Reparatur bestätigt.

Mit diesen durchgeführten Reparaturmaßnahmen stellt die EnKK sicher, dass die geschädigten und nunmehr verschlossenen DE-Heizrohre nicht mehr Bestandteil der druckführenden Umschließung sind und daher nicht weiter die an die druckführende Umschließung gestellten Anforderungen bezüglich des Einschlusses des Primärkühlmittels erfüllen müssen.

Die eingesetzten Reparaturverfahren werden auch 2022 weiterhin als geeignet bewertet, alle zu unterstellenden Beanspruchungen und Lastfälle sicher abzutragen.

Da alle DE-Heizrohre im Bereich von der Rohrbodenunterkante bis zum ersten Abstandshalter geprüft wurden, liegt nach Abschluss der Reparaturmaßnahmen ein Zustand vor, in dem praktisch keines der verbliebenen Heizrohre lineare Anzeigen größer der Nachweisgrenze des Prüfverfahrens aufweist.

Insgesamt wurden und werden die seit 2019 bis heute durchgeführten und geplanten Maßnahmen als geeignet bewertet, die Gefahr, dass sich erneut korrosionsfördernde Bedingungen im Bereich der DE-Heizrohre einstellen, wirksam zu reduzieren. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass es ausgehend von nicht entfernbaren, noch vorhandenen Verunreinigungen oder einem nicht gänzlich auszuschließenden Neueintrag ionaler Verunreinigungen wieder zu korrosionsbedingten Schäden an den DE-Heizrohren kommen kann. Aufgrund der Ergebnisse der Prüfungen in den Revisionen 2018 bis 2022 ergeben sich aber keine Hinweise darauf, dass es innerhalb des Betriebszyklus bis zum Jahresende 2022 zu wanddurchdringenden Rissen an den DE-Heizrohren kommt. Vollständig auszuschließen ist es jedoch nicht.

### **5.3 BEWERTUNG DER INTEGRITÄT FÜR DEN BETRIEBSZYKLUS BIS ENDE 2022**

Da vom gleichen Schadensmechanismus auszugehen ist, sind die 2018 geführten und 2019 sowie 2020 bis 2022 erneut bestätigten Nachweise zur Sicherstellung der Integrität der DE-Heizrohre auch für den planmäßig letzten Betriebszyklus bis zum Jahresende 2022 weiterhin aktuell.

Im Hinblick auf die Befunden von 2018 hat EnKK den Nachweis geführt, bis zu welchen Rissgrößen kein Integritätsverlust eines DE-Heizrohres unter Betriebs- wie unter abdeckenden Störfallbedingungen auftritt. Die 2018 festgestellten Schädigungen waren danach sicherheitstechnisch unbedenklich. Da die in den Revisionen 2019, 2020, 2021 und 2022 insgesamt erkannten Anzeigen und das Ausmaß der daraus resultierenden Befunde in Tiefe und Ausdehnung im Mittel geringer waren als die in der Revision 2018, sind auch die in den Revisionen 2019, 2020, 2021 und 2022 hinzugekommenen Befunde durch den bereits vorliegenden Nachweis zur Sicherstellung der Integrität der DE-Heizrohre abgedeckt.

Theoretisch sind Schädigungen an DE-Heizrohren nicht gänzlich ausgeschlossen, die zu einem spontanen Abriss führen können, der deshalb als Auslegungsstörfall zu beherrschen ist. Bei der Charakteristik der hier vorliegenden Spannungsrisskorrosion handelt es sich jedoch nicht um eine flächige Korrosion, sondern um lokal am Umfang auftretende rissartige Korrosionsangriffe mit mehr oder weniger ausgeprägter lokaler Tiefenerstreckung. Daher kommt es praktisch immer erst zu einer lokal begrenzten Wanddurchdringung mit einer detektierbaren Leckage, bevor eine integrale umlaufende Wanddickenschwächung erreicht wird, bei der ein Rohr spontan versagen könnte. Ein solches Verhalten entspricht auch der vorliegenden umfangreichen nationalen und internationalen Betriebserfahrung.

In den deutschen und weltweit betriebenen Anlagen des Herstellers KWU (heute Framatome) hat es nach Auswertung des Herstellers keine Abrisse von DE-Heizrohren gegeben. Bei den

bisher in ausländischen Anlagen anderer Hersteller in wenigen Einzelfällen aufgetretenen spontanen Abrissen bei DE-Heizrohren lagen jeweils spezielle Randbedingungen vor, die nicht auf GKN II übertragbar sind.

## 6 Gesamtbewertung

Das UM hat die von EnKK im Zusammenhang mit den 2019, 2020, 2021 und 2022 festgestellten Anzeigen an den DE-Heizrohren vorgelegten umfangreichen Berichte unter Zuziehung von Sachverständigen nach § 20 des Atomgesetzes geprüft.

Die Sachverständigen haben die von EnKK 2019 aufgestellte Prüfstrategie analysiert und stellen hierzu fest, dass diese Strategie sachgerecht und konsequent ist, eine umfängliche und zielgerichtete Prüfung der DE-Heizrohre entsprechend dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik durchzuführen. Diese Bewertung wurde 2020 und 2021 bestätigt.

Die 2022 von EnKK angewandte Prüfstrategie bewertet der Sachverständige als sachgerecht. Sie entspricht dem sicherheitstechnischen Erfordernis, den Zustand der DE-Heizrohre insbesondere im Bereich an und oberhalb der oberen Einwalzung im Rohrboden zu ermitteln und die erforderlichen Maßnahmen zum Erhalt der Integrität der DE-Heizrohre abzuleiten.

Die 2019, 2020, 2021 und 2022 eingesetzten Prüfverfahren werden als geeignet bewertet, die DE-Heizrohre zu prüfen, sicherheitstechnisch relevante Anzeigen und Fehler festzustellen, diese zu analysieren und deren Ausprägung zu charakterisieren.

Die 2019 von EnKK aufgeführten Nachweisgrenzen der eingesetzten Prüfverfahren wurden bestätigt. Die im Zusammenhang mit der geänderten Prüfstrategie 2022 von EnKK angegebene Erkennungsgrenze der X-Probe-Sonde hat bei einer Nachbetrachtung der 2019 bis 2021 festgestellten Anzeigen nicht ausnahmslos Bestand. Andererseits wurde in der Revision 2021 ein großer Teil der Befunde auch unterhalb der von der EnKK benannten Erkennungsgrenze mit der X-Probe-Sonde festgestellt. Die festgelegten Zulässigkeitsgrenzen für erkannte Anzeigen sind sicherheitsgerichtet und erfüllen die Anforderungen des Regelwerks.

Die 2019 insgesamt von EnKK ergriffenen und 2020, 2021 sowie 2022 fortgesetzten Maßnahmen, um die korrosionsfördernden Randbedingungen in den Dampferzeugern deutlich zu reduzieren, werden als zielführend erachtet.

Sowohl 2019 als auch 2020, 2021 und 2022 wurden mit verlässlichen Prüfeinrichtungen die derzeit nach Stand von Wissenschaft und Technik zu erfassenden Befunde an den DE-Heizrohren erkannt, so dass auf dieser Grundlage die betroffenen korrosiv angegriffenen DE-Heizrohre korrekt verschlossen worden sind.

Mit den in der Revision 2019 und davor ergriffenen Maßnahmen sind die infolge Korrosion nachteiligen Auswirkungen reduziert worden. Die Beibehaltung bzw. wiederholte Durchführung dieser Maßnahmen in den Revisionen 2020, 2021 und 2022 wirkt sich weiterhin positiv auf die Reduzierung des korrosionsfördernden Potentials in den Dampferzeugern aus.

Auch wenn die korrosiven Angriffe an den DE-Heizrohren aus chemischen Gründen noch nicht gänzlich zum Stillstand gekommen sind, sind sie soweit reduziert, dass die restlich verbleibende Korrosion nicht zu einem systematischen Integritätsverlust der DE-Heizrohre führen wird.

Alle bisher bei den DE-Heizrohren vorgefundenen Schädigungen infolge Korrosion an der Rohraußenseite haben nicht zu radiologischen Auswirkungen innerhalb oder außerhalb der Anlage geführt. Sollte dennoch wider Erwarten eine Leckage auftreten, sind im Betriebshandbuch für diesen Fall Maßnahmen (Abfahren der Anlage) geregelt.

Ebenso sind alle bisher an den DE-Heizrohren festgestellten korrosionsbedingten Befunde durch die vorliegenden und bestätigten Nachweise zur Sicherstellung der Integrität abgedeckt. Die Beherrschung von Störfällen war zu jedem Zeitpunkt sichergestellt.

Das Umweltministerium hat die 2019, 2020, 2021 und 2022 vorgelegten Unterlagen sowie die Stellungnahmen der Sachverständigen ausgewertet. Es schließt sich den Stellungnahmen der Sachverständigen inhaltlich an.

## **6.1 BEWERTUNG ZUM WIEDERANFAHREN**

In Verbindung mit den weiteren für den Betrieb der Anlage bis zur Revision 2020 getroffenen Maßnahmen zur Reduzierung der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Schäden infolge Korrosion an den DE-Heizrohren wurden aus sicherheitstechnischer Sicht keine weiteren Maßnahmen als erforderlich angesehen, die vor dem Wiederanfahren des GKN II 2019 umgesetzt werden mussten. Dasselbe galt auch für das Wiederanfahren der Anlage 2020, 2021 und 2022.

Hinsichtlich der in den Revisionen 2019, 2020, 2021 und 2022 festgestellten Befunden an den DE-Heizrohren lagen nach Prüfung und Bewertung der vorgelegten umfangreichen Betreiberunterlagen und Umsetzung bzw. Fortsetzung der Maßnahmen zur Sicherstellung der Integrität der DE-Heizrohre keine sicherheitstechnischen Erkenntnisse vor, die einem Wiederanfahren der Anlage GKN II 2019, 2020, 2021 und 2022 entgegenstanden.

## **Impressum**

Herausgeber:

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

Kernerplatz 9

70182 Stuttgart

Tel.: 0711 126-0

Fax: 0711 126-2881

Internet: [www.um.baden-wuerttemberg.de](http://www.um.baden-wuerttemberg.de)

E-Mail: [poststelle@um.bwl.de](mailto:poststelle@um.bwl.de)