

**DWR-Neutronenflussschwankungen**

**INHALT**

1	Veranlassung .....	2
2	Beratungsgang .....	2
3	Begriffe und Erläuterungen .....	3
4	Bewertungsmaßstäbe .....	3
5	Sachstand und Beratungsergebnis .....	4
6	Stellungnahme zu den Themen des BMU-Beratungsauftrages und Empfehlungen .....	5
7	Unterlagen .....	10

---

## 1        **Veranlassung**

Das Bundesumweltministerium (BMU) hat die Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) mit Schreiben vom 06.07.2011 [1] nebst eines ergänzenden Berichtes der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) [2] gebeten, eine Stellungnahme zu Neutronenflussschwankungen resp. Neutronenflussrauschen (Begriffserläuterungen s. u. 3) in Druckwasserreaktoren (DWR) zu erarbeiten. Hintergrund zu diesem Beratungsauftrag ist der seit mehreren Jahren beobachtete Anstieg der Amplitude der Neutronenflussschwankungen in DWR-Anlagen. Die RSK wurde gebeten folgende Themen zu behandeln:

- 1) Klärung möglicher Ursachen für wachsende Neutronenflussschwankungsamplituden,
- 2) Bewertung der sicherheitstechnischen Bedeutung solcher Neutronenflussschwankungsamplituden und
- 3) Bewertung der in den Anlagen verwendeten leittechnischen Vorkehrungen zur Filterung von Neutronenflusssignalen.

In ihrer 439. Sitzung vom 07.07.2011 hat die RSK den RSK-Ausschuss REAKTORBETRIEB (RB) mit der Beratung zu diesem Thema beauftragt. Zusätzlich wurden der RSK-Ausschuss ELEKTRISCHE EINRICHTUNGEN (EE) sowie einige Mitglieder des RSK-Ausschusses ANLAGEN- UND SYSTEMTECHNIK (AST) aufgrund der übergreifenden Themenstellung in die Beratungen einbezogen.

## 2        **Beratungsgang**

In seiner 204. Sitzung vom 27.07.2011 hat der RSK-Ausschuss RB daraufhin ein diesbezügliches Beratungskonzept verabschiedet. Zusätzlich wurde der RSK-Ausschuss EE um eine sicherheitstechnische Bewertung der derzeit eingesetzten Neutronenflussfiltereinrichtungen in den Anlagen gebeten. In der 209. RB-Sitzung am 23.02.2012 berichtete der VGB PowerTech e.V. (VGB) über den Stand und die Entwicklung der Neutronenflussschwankungen in den DWR-Anlagen dem Ausschuss sowie zugezogenen Mitgliedern der Ausschüsse AST und EE [3]. Nachfolgend formulierte der Ausschuss RB erste Empfehlungen als Antwort auf die im BMU Beratungsauftrag [1] aufgeworfenen Themen und bat den VGB um erneute Berichtserstattung zu neuen Erkenntnissen nach Jahresfrist. In Fortsetzung seiner Beratung ließ sich der Ausschuss RB in seiner 213. Sitzung am 11.10.2012 vom Institut für Sicherheitstechnologie GmbH (ISTec) über die Ergebnisse der „Analyse der Neutronenflusssignale eines DWR“ [4] berichten. Im Rahmen der Präsentation wurden u. a. die Ergebnisse der vergleichenden Untersuchungen gemäß [2] auszugsweise vorgestellt. Zwischenzeitlich verabschiedete der RSK-Ausschuss EE auf seiner 225. Sitzung am 30.01.2013 eine Darstellung der Beratungsergebnisse im Hinblick auf die derzeit eingesetzten Filtereinrichtungen und übermittelte sie dem Ausschuss RB für seine weitere Beratung [5]. In der 216. Sitzung des RSK-Ausschusses RB berichtete der VGB PowerTech am 28.02.2013 über den Stand und die Entwicklung des Neutronenflussrauschens sowie die neuen Erkenntnisse zum Thema [6]. In der gleichen Sitzung erfolgte zudem eine Anhörung des TÜV NORD EnSys über die Ergebnisse seiner Analysen zu den Ursachen des Neutronenflussrauschens im Auftrag des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Klimaschutz (NMU) [7]. Die 217. RB-Sitzung am 14.03.2013 diente der Abstimmung des Stellungnahmeentwurfes. Die Verabschiedung des Stellungnahmeentwurfes erfolgte auf der

---

218. Ausschusssitzung vom 04.04.2013. Die RSK beriet und verabschiedete den Stellungnahmeentwurf des RSK-Ausschusses REAKTORBETRIEB in ihrer 457. Sitzung am 11.04.2013.

### **3       Begriffe und Erläuterungen**

#### **DWR-Neutronenflussrauschen**

Das Neutronenflussrauschen in DWR-Anlagen entsteht durch Wechselwirkungen zwischen Moderator, Brennstoff, Absorbern und Neutronenfluss. Ursächlich hierfür können u. a. Temperatur- und Dichtefluktuationen im Primärkühlmittel sein. In dieser Stellungnahme werden im Folgenden unter dem Begriff Neutronenflussrauschen die beobachteten Neutronenflussschwankungen im Leistungsbetrieb im Frequenzbereich bis etwa 1 Hz verstanden.

#### **Messung und Verarbeitung der Neutronenflusssignale in DWR-Anlagen**

Die kontinuierlich gemessenen Neutronenflusssignale der Kerninnen- (In-core-) und Kernaußen- (Ex-core-) Instrumentierung eines DWR werden im Reaktorschutzsystem, im Reaktorbegrenzungssystem und im unteren Leistungsbereich auch in der Reaktorleistungsregelung verarbeitet. Zur Erfassung der lokalen Leistungsverteilung im Kern werden die In-core-Detektoren herangezogen. Bezüglich des Themas Ansprechen der Reaktorleistungsbegrenzung und des Reaktorschutzes sind wie nachstehend erläutert allerdings nur die Signale der Ex-core Instrumentierung von Relevanz.

#### **Bestimmung der Reaktorleistung in DWR-Anlagen**

Zur globalen, kernweiten Leistungsbestimmung werden die Signale der Ex-core-Detektoren verwendet. Die kontinuierliche Bestimmung der thermischen Reaktorleistung beruht im Wesentlichen auf der Messung der Aufwärmspannen in den vier Loops des Primärkreislaufs. Da dieses Signal nur sehr träge einer Leistungsänderung im Reaktorkern folgt, wird dieses Signal mit der Änderung des Ex-core-Neutronenflusssignals korrigiert. Da die Neutronenflusssignale im Gegensatz zu den hydraulischen Parametern quasi prompt der momentanen Reaktorleistung folgen, entsteht in der Signalverkettung beider Signalarten die kurzzeitkorrigierte thermische Reaktorleistung, kurz PKG. Kurzzeitige Schwankungen im Neutronenflusssignal führen demzufolge auch zu kurzzeitigen Schwankungen der PKG, die als Eintrittssignal im Reaktorleistungsbegrenzungssystem und im Reaktorschutzsystem weiter verarbeitet wird.

### **4       Bewertungsmaßstäbe**

Als Folge erhöhter Neutronenflussschwankungen darf es nicht zu unzulässigen sicherheitstechnischen Auswirkungen kommen. Hierzu sind die im kerntechnischen Regelwerk für den Normalbetrieb, Transienten und Störfälle festgelegten Anforderungen an die Auslegung des Reaktorkerns und dessen Überwachung heranzuziehen.

---

## 5 Sachstand und Beratungsergebnis

Im Zusammenhang mit den seit den neunziger Jahren modifizierten Kernbeladungen wurde u. a. ein zunehmendes Neutronenflussrauschen beobachtet. Die Zunahme des Neutronenflussrauschens geht u. a. einher mit der Veränderung des Moderatortemperaturkoeffizienten (MTK) infolge von Anreicherungerhöhungen des Brennstoffs.

Ein weiterer, deutlicher Anstieg der Rauschamplituden war seit 2001 zu verzeichnen, wobei der dort beobachtete Anstieg nicht mehr mit einer Zunahme des MTK korreliert. Die Ursachen für diesen Anstieg sind bis dato noch nicht eindeutig identifiziert. Die Erhöhung des Neutronenflussrauschens hat in einigen Anlagen zu einem häufigeren Ansprechen der Reaktorbegrenzungseinrichtungen und in einer Anlage auch zum Ansprechen des Reaktorschutzes geführt.

Die Zunahme der Rauschamplituden hat sich in den meisten Anlagen bis etwa 2009 fortgesetzt, seither ist gemäß [6] eine weitere Erhöhung nicht mehr zu verzeichnen. Als Reaktion auf die Entwicklung sind schon beginnend in den 80er Jahren die deutschen DWR-Anlagen mit Neutronenflusssignalfiltern ausgerüstet worden. Derzeit werden in einigen Anlagen durch das den Mittelwert überlagernde Rauschen kurzzeitig PKG-Werte erreicht, die vor allem gegen Ende des Betriebszyklus trotz Rauschfilterung die Ansprechwerte des Reaktorbegrenzungssystems erreichen.

Das ISTec führt seit vielen Jahren in einigen DWR-Anlagen regelmäßig Messungen und Auswertungen von Schwingungs- und Neutronenflusssignalen im Bereich der Reaktorkerne durch. Die dabei gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse wurden in einer Kurzstellungnahme der GRS im Auftrag des BMU zusammengefasst [2]. Die darin enthaltenen Aussagen sind im Wesentlichen konsistent mit dieser Stellungnahme, sie enthält darüber hinaus Anregungen bzgl. weiterer Untersuchungen zur Klärung der Ursachen des erhöhten Neutronenflussrauschens.

Nach Beratung und Auswertung der ihm vorliegenden Informationen gelangt die RSK zu folgenden Feststellungen des Sachstandes bzw. Bewertungen:

- Nach Aussagen des VGB [3] und des ISTec [2, 4] lagen bis vor ca. zehn Jahren die Rauschamplituden für DWR-Anlagen mit Dampferzeugern (DE) ohne Vorwärmkammer (VK) bei Werten um ca. +/- 1 % und in den DWR-Anlagen mit DE mit VK bei ca. +/- 3 bis +/- 4 % des Mittelwertes des Neutronenflusssignals. Die Rauschamplituden haben sich seitdem etwa verdoppelt und liegen im Falle der DE mit VK derzeit bei ca. +/- 8 % bis +/- 10 %. Mit diesen Rauschamplituden kommt das PKG-Signal selbst nach der Filterung des Neutronenflusssignals in den Bereich der Ansprechwerte der Reaktorleistungsbegrenzung.
- Dass die Anlagen mit DE mit VK und mit Schemel (KKG, KWG und KBR) höhere Amplituden des Neutronenflussrauschens aufweisen als die Anlagen mit DE ohne VK und mit einer Siebtonne zur Strömungsvergleichmäßigung am Kühlmiteleintritt, erklärt sich aus der bauartbedingten Ausbildung von Temperaturstrahlen im kalten Strang des Primärkühlmittels. Bei DE mit Vorwärmkammer sind die Temperaturdifferenzen der Strahlen im Primärkühlmittel höher als bei DE ohne Vorwärmkammer. Dies stützt die These, dass die Temperaturunterschiede zwischen den Strahlen einen wesentlichen Einfluss auf das Neutronenflussrauschen haben.

- 
- Ein bekanntes und erklärbares Verhalten eines DWR-Reaktorkerns ist die Zunahme des Neutronenflussrauschens im Verlauf eines Betriebszyklus infolge des absolut größer werdenden Moderator Temperaturkoeffizienten als Folge der sich ändernden Isotopenzusammensetzung im Brennstoff und der Reduzierung der Borsäurekonzentration im Kühlmittel. Die etwa seit dem Jahr 2001 beobachtete Zunahme des Neutronenflussrauschens lässt sich jedoch nicht mehr allein mit der Zunahme des MTK erklären [3].
  - Abgesehen von den in den vergangenen Jahren erfolgten Änderungen im Reaktorkern sind keine maßgeblichen Veränderungen bspw. an Komponenten des Reaktorkühlkreislaufs erfolgt, die diesen Anteil an der Zunahme des Neutronenflussrauschens erklären könnten. Demnach liegt es nahe hierfür Einflüsse innerhalb der Reaktorkerne in Betracht zu ziehen. In den letzten Jahren hat die Kernbeladung mit höher angereicherten Brennelementen (BE) zugenommen, was tendenziell zu stärker inhomogenen Leistungsverteilungen geführt hat. Ferner wurden neue BE-Designs z. B. mit modifizierten Abstandshaltern eingeführt. Gesicherte Erkenntnisse, welche dieser Veränderungen im Reaktorkern zu dem nicht mehr mit einem stärker negativen Wert des MTK erklärbar Anstieg des Neutronenflussrauschens beitragen, liegen bislang nicht vor. Gemäß [7] gibt es Hinweise, dass diese Zunahme mit der Einführung neuer BE-Designs (z. B. als Folge von geänderten Abstandshalterdesigns) korrelieren könnte.
  - Gemäß [7] werden die Auswirkungen der erhöhten Rauschamplituden zyklusspezifisch auf ihre sicherheitstechnische Unbedenklichkeit überprüft und bewertet.
  - Gemäß [6] können moderne Kernsimulatoren für eine zyklusgenaue Vorhersage der Rauschamplituden auch den Einfluss der Kernkomposition, Abbrand- und Anreicherungsverteilung und der Brennstofftypen im Sichtbereich der Detektoren berücksichtigen.

## **6 Stellungnahme zu den Themen des BMU-Beratungsauftrages und Empfehlungen**

Zu den Themen des Beratungsauftrags nimmt die RSK unter Berücksichtigung des aktuellen Kenntnisstandes wie folgt Stellung:

### **6.1 Klärung möglicher Ursachen für wachsende Neutronenflussschwankungsamplituden**

Die Ursachen der Zunahme der Amplituden des Neutronenflussrauschens in den letzten Jahren sind bisher nicht ausreichend aufgeklärt. Neben den bekannten Rückwirkungen über den MTK gibt es verschiedene Erklärungsansätze für die additive Zunahme des Neutronenflussrauschens. Beispielsweise werden veränderte BE-Designs für ursächlich [7] gehalten, die zu einer Veränderung mechanischer Schwingungen im Kern und zu Veränderungen im axialen Kühlmitteltransportverhalten (infolge geänderter Abstandshalter-Designs) führen können. Dieser Ansatz wird gestützt durch vergleichbare Betriebserfahrungen in zwei WWER1000-Anlagen in den 90er Jahren. Die daraus resultierenden Auswirkungen auf das Neutronenflussrauschen konnten im Detail jedoch noch nicht erklärt werden.

---

Diese Situation ist im Hinblick auf die Kenntnisse zu den Ursachen für die Zunahme der Amplituden des Neutronenflussrauschens unbefriedigend. Die Ursachen und Mechanismen des Neutronenflussrauschens sollten nach Auffassung der RSK soweit verstanden sein, dass alle relevanten Einflussfaktoren soweit erklär- und quantitativ eingrenzbar sind, dass diese bei der Auslegung des Reaktorkerns berücksichtigt werden können. Die RSK empfiehlt daher eine Intensivierung der Maßnahmen zur Ursachenklärung und in diesem Zusammenhang insbesondere einen engeren Informationsaustausch aller bereits beteiligten Institutionen (Hersteller, Betreiber, Gutachter, Forschungseinrichtungen) zur Aufklärung der beitragenden Faktoren. Eine der Möglichkeiten, um klärende Hinweise auf das beobachtete Verhalten des Neutronenflussrauschens zu gewinnen, ist eine vertiefte Auswertung von Messdaten, deren Korrelation untereinander und mit integralen und lokalen Veränderungen an den Reaktorkernen.

Bis zur Klärung der Ursachen sollte ferner jährlich über die weitere Entwicklung des Rauschens, über eventuell ergriffene Abhilfemaßnahmen sowie Fortschritte bei der Erklärung der Ursachen des Neutronenflussrauschens vor der RSK berichtet werden. In diesem Zusammenhang sollte auch über den Stand der Entwicklung der verwendeten Kernsimulator-Programme zur Vorhersage der Rauschamplituden berichtet werden.

## **6.2 Bewertung der sicherheitstechnischen Bedeutung von Neutronenflussschwankungen**

Nach Ansicht der RSK sind bezüglich der sicherheitstechnischen Bedeutung vier Aspekte zu betrachten. Der erste betrifft die Integrität der Brennstäbe im Normalbetrieb, der zweite die Auswirkungen auf die Wärmeübergangsbedingungen (DNB), der dritte die Auswirkungen auf den Brennstoff und der vierte das häufige Ansprechen von Reaktorbegrenzungsmaßnahmen.

### **Integrität der Brennstäbe im Normalbetrieb**

Bezüglich der Integrität der Brennstäbe gibt es bislang keine Hinweise aus der Betriebserfahrung, dass das erhöhte Rauschen zu einer Zunahme von BE-Schäden geführt hat. Die beobachteten Schwankungen des Neutronenflusses werden durch die deutlich höhere Zeitkonstante des Wärmetransports vom Brennstoff zum Hüllrohr und in das Primärkühlmittel gedämpft, so dass am Hüllrohr nach derzeitigem Kenntnisstand keine für die Integrität der Hüllrohre relevanten Temperaturschwankungen als Folge des Neutronenflussrauschens erwartet werden.

### **Wärmeübergangsbedingungen bei Transienten**

Die Schwankungen des Neutronenflusses gehen einher mit Temperaturvariationen im Brennstoff. Nach ersten Abschätzungen bewegen sich diese Temperaturvariationen im Bereich  $< 10$  K (Peak to Peak). Die RSK empfiehlt, dass der Einfluss des Neutronenflussrauschens und der damit verbundenen Temperaturfluktuationen im Brennstoff auf die Wärmeübergangsbedingungen an das Kühlmittel im Hinblick auf die Bestimmung des DNB-Vorhaltes bewertet wird

---

### **Auswirkungen auf den Brennstoff**

Die RSK empfiehlt, dass der Einfluss des Neutronenflussrauschens und der damit verbundenen Temperaturfluktuationen auf eine möglicherweise beschleunigt stattfindende Feinstfragmentierung des Brennstoffs bewertet wird.

### **Häufiges Ansprechen von Reaktorbegrenzungsmaßnahmen**

Die den Mittelwerten der Neutronenflusssignale überlagerten Rauschamplituden haben in einigen Anlagen zu einem gehäuften ein- und mehrkanaligen Ansprechen der Grenzwerte des Reaktorbegrenzungssystems geführt.

Eine mehrkanalige Anregung von Begrenzungsaktionen ist aus sicherheitstechnischer Sicht durch die Auslegung der Anlagen abgedeckt, ein häufiges Auslösen von Maßnahmen der Sicherheitsebene 2 (Reaktorbegrenzungsmaßnahmen) im Normalbetrieb ist jedoch im Sinne des Defence-in-Depth Konzepts grundsätzlich zu vermeiden. Ein rauschbedingtes Auslösen sollte grundsätzlich vermieden werden, da nach Ansicht der RSK das häufige Ansprechen von Reaktorbegrenzungsmaßnahmen zu sicherheitstechnisch nachteiligen Gewöhnungseffekten beim Wartpersonal führen kann. Eine Gewöhnung an ein rauschbedingtes Ansprechen kann zum „Übersehen“ eines Ansprechens der Reaktorbegrenzungen aus anderen Gründen führen. Aus diesen Gründen empfiehlt die RSK, dass ein mehrfaches rauschbedingtes Ansprechen von Begrenzungsmaßnahmen durch eine zyklusbegleitende Verfolgung des Neutronenflussrauschens und falls erforderlich durch die rechtzeitige Einleitung von Maßnahmen minimiert wird.

Aus Sicht der RSK sollte das systematische rauschbedingte Ansprechen von Begrenzungsmaßnahmen grundsätzlich vermieden werden, ein 5maliges Ansprechen der Begrenzungsmaßnahmen pro Monat kann nach Ansicht der RSK jedoch toleriert werden.

## **6.3 Bewertung der in den Anlagen verwendeten leittechnischen Vorkehrungen zur Filterung von Neutronenflusssignalen**

Filtereinrichtungen für Neutronenflusssignale werden in allen DWR-Anlagen eingesetzt. Die Filtereigenschaften und deren mögliche Auswirkungen wurden in [4] eingehend bewertet.

Die entsprechend dem jeweiligen Filterverhalten resultierenden Verzögerungen der Neutronenflusssignale und das daraus resultierende veränderte Ansprechverhalten von Sicherheitsfunktionen sind abdeckend in den relevanten Nachweisen (insbesondere bei Transientenberechnungen) zu berücksichtigen. Die RSK sieht bei Einhaltung dieser Anforderung keine Einschränkung für die anforderungsgerechte Verarbeitung der Neutronenflussmesssignale im Reaktorschutz und im Reaktorbegrenzungssystem.

Derzeit sind für die Filtereinrichtungen in den noch in Betrieb befindlichen Anlagen maximale Totbänder festgelegt. Die RSK empfiehlt, bis zur Klärung der Ursachen des erhöhten Neutronenflussrauschens zunächst keine höheren Totbandeinstellungen als  $\pm 10\%$  der Reaktornennleistung zur Glättung der Neutronenflusssignale anzuwenden.

---

## Zusammenfassung der Empfehlungen:

1. Die RSK empfiehlt eine Intensivierung der Maßnahmen zur Ursachenklärung und in diesem Zusammenhang insbesondere einen engeren Informationsaustausch aller bereits beteiligten Institutionen (Hersteller, Betreiber, Gutachter, Forschungseinrichtungen) zur Aufklärung der beitragenden Faktoren. Eine der Möglichkeiten, um klärende Hinweise auf das beobachtete Verhalten des Neutronenflussrauschens zu gewinnen, ist eine vertiefte Auswertung von Messdaten, deren Korrelation untereinander und mit integralen und lokalen Veränderungen an den Reaktorkernen.
2. Die RSK empfiehlt, dass der Einfluss des Neutronenflussrauschens und der damit verbundenen Temperaturfluktuationen im Brennstoff auf die Wärmeübergangsbedingungen an das Kühlmittel im Hinblick auf die Bestimmung des DNB-Vorhaltes bewertet wird.
3. Die RSK empfiehlt, dass der Einfluss des Neutronenflussrauschens und der damit verbundenen Temperaturfluktuationen auf eine möglicherweise beschleunigt stattfindende Feinstfragmentierung des Brennstoffs bewertet wird.
4. Aus Sicht der RSK sollte das systematische rauschbedingte Ansprechen von Begrenzungsmaßnahmen grundsätzlich vermieden werden. Die RSK empfiehlt deshalb, dass ein mehrfaches rauschbedingtes Ansprechen von Begrenzungsmaßnahmen durch eine zyklusbegleitende Verfolgung des Neutronenflussrauschens und falls erforderlich die rechtzeitige Einleitung von Maßnahmen minimiert wird. Ein 5maliges Ansprechen der Begrenzungsmaßnahmen pro Monat kann nach Ansicht der RSK jedoch toleriert werden.
5. Die entsprechend dem jeweiligen Filterverhalten resultierenden Verzögerungen der Neutronenflusssignale und das daraus resultierende veränderte Ansprechverhalten von Sicherheitsfunktionen sind abdeckend in den relevanten Nachweisen (insbesondere bei Transientenberechnungen) zu berücksichtigen.
6. Bis zur Klärung der Ursachen für die Zunahme der Rauschamplituden sollten in den Neutronenflusssignalfiltern keine Totbänder über die derzeit maximal spezifizierten Totbänder ( $\pm 10\% P_n$ ) eingestellt werden.
7. Bis zur abschließenden Klärung der Ursachen des nicht mit der Variation des Moderatortemperaturkoeffizienten erklärbaren Anteils des erhöhten Neutronenflussrauschens bittet die RSK jährlich um einen Bericht, der mindestens folgende Informationen enthält:
  - Weitere Entwicklung des ungefilterten Neutronenflussrauschens

- 
- Die jeweils im Zyklus maximal eingestellten Totbänder der Filter
  - Veranlasste Maßnahmen und Fortschritte im Hinblick auf die Klärung der Ursachen des erhöhten Neutronenflussrauschens und Darlegung der Ergebnisse. In diesem Zusammenhang sollte auch über den Stand der Entwicklung der verwendeten Kernsimulator-Programme zur Vorhersage der Rauschamplituden berichtet werden.
  - Ergebnisse der Bewertungen im Hinblick auf die infolge des Neutronenflussrauschen induzierten Temperaturfluktuationen am Hüllrohr und im Brennstoff.
  - Darstellung ergriffener Abhilfemaßnahmen und ggf. Bewertung der eingeführten Maßnahmen zur Verringerung der Neutronenflussrauschamplituden (z. B. Änderungen im Brennelementdesign, der Beladungen). Darlegung der Ergebnisse einschließlich der Begründung, dass die ergriffenen Maßnahmen keine anderen sicherheitstechnisch nachteiligen Effekte verursachen.
  - Ansprechhäufigkeit des Grenzwert 14 ggf. auch des LOLA GW der Reaktorleistungsbegrenzung in den abgelaufenen Betriebszyklen.

---

## 7      **Unterlagen**

- [1]      BMU Beratungsauftrag „Neutronenflussschwankungen“ vom 06.07.2011
  
- [2]      GRS Stellungnahme neutron flux noise V09-1 im Rahmen des BMU Vorhabens 3609R01321  
„Vertiefte Untersuchungen von Betriebserfahrungen aus Kernreaktoren – Teil B: Fachberatungen“  
vom 21.02.2011
  
- [3]      Präsentation der VGB PowerTech e. V. in der 209. Sitzung des RSK-Ausschusses  
REAKTORBETRIEB (RB) vom 23.02.2011, Vortragsfolien
  
- [4]      Präsentation des Instituts für Sicherheitstechnologie GmbH (ISTec) in der 213. Sitzung des RSK-  
Ausschusses REAKTORBETRIEB (RB) vom 11.10.2012, Vortragsfolien
  
- [5]      Anlage 1 zum Ergebnisprotokoll der 225. Sitzung des Ausschusses ELEKTRISCHE  
EINRICHTUNGEN am 30.01.2013 „DWR Neutronenflussschwankungen“  
Filtereinrichtungen
  
- [6]      Präsentation der VGB PowerTech e. V. in der 216. Sitzung des RSK-Ausschusses  
REAKTORBETRIEB (RB) vom 28.02.2013, Vortragsfolien
  
- [7]      Präsentation der TÜV NORD EnSys Hannover GmbH & Co. KG in der 216. Sitzung des RSK-  
Ausschusses REAKTORBETRIEB (RB) vom 28.02.2013, Vortragsfolien