

Dokumentationsunterlage zur Regel

KTA 3107

Anforderungen an die Kritikalitätssicherheit beim Brennelementwechsel

Fassung 2014-11

Inhalt

- 1 Auftrag des KTA
- 2 Beteiligte Personen
- 3 Erarbeitung der Regel
- 4 Berücksichtigte Unterlagen
- 5 Ausführungen zur Regel

1 Auftrag des KTA

Der Kerntechnische Ausschuss (KTA) hat auf seiner 57. Sitzung am 11. November 2003 folgende Beschlüsse bezüglich der Regel KTA 3107 gefasst:

Beschluss-Nr.: 57/10.2.1/2 vom 11.11.2003

Gemäß § 7 Absatz 6 der Bekanntmachung über die Bildung eines Kerntechnischen Ausschusses wird ein neues Regelvorhaben mit dem Arbeitstitel

KTA 3107 Kritikalitätssicherheit in Leichtwasserreaktoren beim Brennelementwechsel

beschlossen.

Der Unterausschuss REAKTORKERN UND SYSTEMAUSLEGUNG (UA-RS) wird beauftragt, federführend einen Entwurfsvorschlag zur Regel KTA 3107 mit einer Dokumentationsunterlage vorzubereiten und eine Beschlussvorlage für den KTA zu erarbeiten.

2 Beteiligte Personen

2.1 Zusammensetzung des KTA-Unterausschusses REAKTORKERN UND SYSTEMAUSLEGUNG (UA-RS)

- aus Datenschutzgründen in dieser Datei gelöscht

2.2 Zusammensetzung des Arbeitsgremiums KTA 3107

- aus Datenschutzgründen in dieser Datei gelöscht

2.3 Zugezogene Fachleute

- aus Datenschutzgründen in dieser Datei gelöscht

2.4 Zuständige Mitarbeiter der KTA-Geschäftsstelle

Dr. M. Petri

KTA-GS

3 Erarbeitung der Regel

3.1 Erstellung des Regelentwurfsvorschlags

(1) Das Arbeitsgremium KTA 3107 erarbeitete den Regelentwurfsvorschlag in 6 Sitzungen; diese fanden statt:

1. Sitzung am 26. November 2008 bei AREVA NP in Offenbach
2. Sitzung am 11. März 2009 bei AREVA NP in Erlangen
3. Sitzung am 25. und 26. Februar 2010 bei EnBW Kernkraft in Neckarwestheim
4. Sitzung am 13. und 14. April 2010 beim WTI in Jülich
5. Sitzung am 12. und 13. Juli 2010 bei AREVA NP in Offenbach
6. Sitzung am 9. und 10. November 2010 bei der GNS in Mülheim-Ruhr

(2) Im Nachgang zur 6. Sitzung des Arbeitsgremiums wurde der Regelentwurfsvorschlag im schriftlichen Verfahren im Dezember 2010 vom Arbeitsgremium einstimmig zur Vorlage an den Unterausschuss REAKTORKERN UND SYSTEMAUSLEGUNG (UA-RS) verabschiedet, mit der Empfehlung, den Vorschlag zum Fraktionsumlauf freizugeben.

(3) Auf seiner 14. Sitzung am 1. März 2011 beriet der UA-RS eingehend über den Vorschlag und beschloss, diesen zur weiteren Überarbeitung an das Arbeitsgremium zurückzuverweisen mit der Bitte, bei der erforderlichen Überarbeitung von 5.3.2 (zum Thema: Behandlung von Unsicherheiten) Experten der Kernausslegung heranzuziehen.

(4) Das - mit Experten der Kernausslegung erweiterte - Arbeitsgremium überarbeitete den Regelentwurfsvorschlag in seiner 7. Sitzung, die stattfand am

7. Sitzung am 12. Juli 2011 bei EnBW Kernkraft in Neckarwestheim

(5) Auf der 7. Sitzung wurde vom erweiterten Arbeitsgremium einstimmig festgestellt, dass der Regelentwurfsvorschlag in der nunmehr vorliegenden Fassung grundsätzlich für den Fraktionsumlauf geeignet sei und beschloss, bis zum 29.7.2011 zu überprüfen, ob der Anhang A mit den auf der Sitzung vorgenommenen Änderungen kompatibel sei. Die Überprüfung ergab keinen Änderungsbedarf. Entsprechend der Beschlusslage hat das Arbeitsgremium somit mit Ablauf des 29.07.2011 den Regelentwurfsvorschlag in der Fassung vom 12.07.2011 einstimmig zur Vorlage an den UA-RS verabschiedet, mit Empfehlung, diesen zum Fraktionsumlauf freizugeben.

(6) Auf seiner 15. Sitzung am 7. September 2011 beriet der UA-RS über den Vorschlag und beschloss einstimmig, den vom Arbeitsgremium vorgelegten Regelentwurfsvorschlag zum Fraktionsumlauf freizugeben. Der Fraktionsumlauf fand statt vom 1. Oktober 2011 bis 31. Dezember 2011.

3.2 Erstellung des Regelentwurfs

(1) Aus dem Fraktionsumlauf gingen 122 Kommentare von 3 Einwendern ein. Diese Kommentare wurden vom Arbeitsgremium in einer zweitägigen Sitzung

8. Sitzung am 27. und 28. März 2012 beim TÜV-NORD in Hannover

behandelt und der Regelentwurfsvorschlag anhand der Kommentare überarbeitet.

(2) Das Arbeitsgremium KTA 3107 hat den überarbeiteten Regelentwurfsvorschlag zu Ende seiner 8. Sitzung am 28. März 2012 einstimmig zur Vorlage an den UA-RS verabschiedet, mit der Empfehlung, dem KTA den überarbeiteten Vorschlag als Regelentwurfsvorlage vorzulegen.

(3) Auf seiner 17. Sitzung am 5. September 2012 beriet der UA-RS über den Regelentwurfsvorschlag und beschloss einstimmig, diesen dem KTA zur Verabschiedung als Regelentwurf vorzulegen.

(4) Der KTA hat die Regelentwurfsvorlage auf seiner 67. Sitzung am 13. November 2012 einstimmig als Regelentwurf in der Fassung 2012-11 verabschiedet. Die Bekanntmachung des BMU erfolgte im Bundesanzeiger vom 03.12.2012.

3.3 Erstellung der Regel

(1) Aus der Öffentlichkeitsbeteiligung gingen 16 Kommentare von einer Einwendergruppe ein. Diese Kommentare wurden vom Arbeitsgremium in einer weiteren Sitzung

9. Sitzung am 16. Juli 2013 bei E.ON Kernkraft in Hannover

behandelt und der Regelvorschlag anhand der Kommentare überarbeitet.

(2) Das Arbeitsgremium KTA 3107 hat den überarbeiteten Regelvorschlag zu Ende seiner 9. Sitzung am 16. Juli 2013 einstimmig zur Vorlage an den UA-RS verabschiedet, mit der Empfehlung, dem KTA den überarbeiteten Vorschlag als Regelvorlage vorzulegen.

(3) Auf seiner 19. Sitzung am 10. September 2013 beriet der UA-RS über den Regelvorschlag und beschloss einstimmig, diesen dem KTA zur Verabschiedung als Regel vorzulegen.

(4) Die Regelvorlage fand auf der 68. KTA Sitzung am 19. November 2013 nicht die notwendige Mehrheit. Aus Sicht einiger KTA-Mitglieder lag hinsichtlich der Festlegung des Sicherheitsabstands zur Kritikalität eine Inkonsistenz mit den SiAnf vor, die vor der endgültigen Verabschiedung der Regel geklärt werden sollte. Der KTA regte an, die angesprochene mögliche Inkonsistenz zwischen KTA 3107 und den SiAnf bis zur kommenden KTA-Sitzung am 11. November 2014 durch Fachleute zu klären, mit dem Ziel, die Regel KTA 3107 auf der kommenden KTA Sitzung wieder vorzulegen.

(5) Zur Klärung der auf der KTA-Sitzung aufgeworfenen Fragen wurde ein Fachgespräch zwischen Fachleuten des KTA, Autoren der SiAnf und Mitarbeitern des BMUB durchgeführt, welches stattfand am

26. Februar 2014 bei der GRS in Köln

(6) Auf der 20. UA-RS Sitzung am 10. April 2014 diskutierte der UA-RS nochmals die Problematik und verabschiedete einstimmig eine geänderte Fassung von KTA 3107, die eine Kompatibilität zu den SiAnf und zu der im Jahr 2012 vom KTA verabschiedeten Fassung der KTA 3101.2 herstellen sollte.

(7) Auf seiner 21. Sitzung beriet der UA-RS letztmalig über die Regelentwurfsvorlage und beschloss einstimmig, die Regelvorlage in der Fassung vom 10. April 2014 dem KTA zur Verabschiedung als Regel (Weißdruck) vorzulegen.

(8) Der KTA beschloss auf seiner 69. Sitzung am 11. November 2014 einstimmig, die Regelvorlage KTA 3107 als Regel in der Fassung 2014-11 aufzustellen. Die Bekanntmachung erfolgte im Bundesanzeiger vom 5. Dezember 2014, der Volltext der Regel wurde im Bundesanzeiger vom XX. Januar 2015 veröffentlicht.

4 Berücksichtigte Unterlagen

4.1 Abgleich mit den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke (SiAnf) und deren Interpretationen

(1) Die SiAnf enthalten im Abschnitt 2 „Technisches Sicherheitskonzept“ allgemeine Anforderungen, die in der Regel KTA 3107 durchgängig berücksichtigt sind. Hierzu gehören insbesondere

a) das in SiAnf 2.1 beschriebene „Konzept der gestaffelten Sicherheitsebenen“. KTA 3107 ist keine typische Auslegungsregel, bei welcher der Schwerpunkt auf der Formulierung von Anforderungen an *Einrichtungen* des Sicherheitssystems oder sonstiger sicherheitstechnisch relevanter Einrichtungen liegt, sondern KTA 3107 beschreibt im Wesentlichen organisatorische Anforderungen an *Maßnahmen*, welche die Kritikalitätssicherheit beim Brennelementwechsel sicherstellen sollen. Das Konzept der gestaffelten Sicherheitsebenen bezieht sich auf Einrichtungen *und Maßnahmen*, und ist daher auch für KTA 3107 relevant. Für die organisatorischen Anforderungen an den Brennelementwechsel wird das Konzept der gestaffelten Sicherheitsebenen durch die konsequente Anwendung des defense-in-depth Konzepts umgesetzt, so wie in Grundlagen (3) der KTA 3107 beschrieben. Auch wenn keine explizite Zuordnung zu den Sicherheitsebenen erfolgt, so werden die in Anhang 2 der SiAnf beschriebenen Ereignisse (D2-25 bzw. S2-20 auf Sicherheitsebene 2 sowie D3-17 bzw. S3-13 bis S3-15 auf Sicherheitsebene 3) berücksichtigt. Hinsichtlich der auf der Sicherheitsebene 3 unterstellten Fehlbeladung des Reaktorkerns mit mehr als einem Brennelement sind gemäß den Erläuterungen in den SiAnf Vorsorgemaßnahmen zulässig, welche eine solche Fehlbeladung verhindern. Diese Vorsorgemaßnahmen werden in KTA 3107 beschrieben und konkretisiert.

b) das in SiAnf 2.3 beschriebene „Schutzzielkonzept“. Alle in KTA 3107 enthaltenen Anforderungen wurden unter eingehender Berücksichtigung des Schutzzielkonzepts abgeleitet. Dabei wurden sowohl die in SiAnf 2.3 (1) und (2) beschriebenen allgemeinen Anforderungen als auch die in den Anhängen enthaltenen Nachweisziele und Nachweiskriterien berücksichtigt.

(2) Die Gewährleistung der Kritikalitätssicherheit beim Brennelementwechsel dient auch mittelbar der Erfüllung von SiAnf 2.2 „Konzept des gestaffelten Einschusses der radioaktiven Inventare (Barrierenkonzept)“ sowie SiAnf 2.5 „Radiologische Sicherheitsziele“, da die Barrierenfunktion der Brennstabhüllrohre und der druckführenden Umschließung auch davon abhängt, dass die Kritikalitätssicherheit gewährleistet ist. Das in SiAnf 2.4 beschriebene „Schutzkonzept gegen Einwirkungen von innen und außen sowie gegen Notstandsfälle“ bezieht sich auf *Einrichtungen* (des Sicherheitssystems), und ist fällt daher nicht in den Anwendungsbereich von KTA 3107.

(3) Die übergeordneten Anforderungen in SiAnf 3.1 beziehen sich im Wesentlichen auf Einrichtungen, enthalten jedoch auch ergonomische Aspekte (siehe z. B. 3.1 (2) e) und 3.1 (13)) sowie Aspekte der zuverlässigen Überwachung der Betriebszustände (siehe z. B. 3.1 (2) h) und i)), welche in KTA 3107 durchgängig berücksichtigt und umgesetzt sind. Spezifische Anforderungen an die Überwachung finden sich z. B. in KTA 3107, 6.1 (2). Für die Überwachung der Korrektheit der durchgeführten *Maßnahmen* wird in KTA 3107 konsequent das 4-Augen Prinzip und das in Grundlagen (3) beschriebene Einzelfallkriterium angewendet. Relevant ist auch SiAnf 3.1 (8), da beim Brennelementwechsel Teile der Reaktorschneidabschaltung phasenweise nicht zur Verfügung stehen. KTA 3107 enthält in Abschnitt 5.2.1 (2) sowie 5.2.2 (2) und (3) - in Verbindung mit Abschnitt 6.3.2 - Anforderungen, welche auch unter diesen Umständen die Kritikalitätssicherheit gewährleisten.

(4) In folgenden Abschnitten der SiAnf sind Festlegungen enthalten, die den Anwendungsbereich der Regel KTA 3107 direkt betreffen:

a) Nummer 3.2 „Anforderungen an den Reaktorkern und die Abschaltanlagen“

Die Anforderungen aus SiAnf 3.2 beziehen sich im Wesentlichen auf die Auslegung des Reaktorkerns und die Abschaltanlagen, die nicht Gegenstand von KTA 3107 sind. Relevant für KTA 3107 ist jedoch SiAnf 3.2 (1), demgemäß „die Kontrolle der Reaktivität im Reaktorkern [ist] auf den Sicherheitsebenen 1 bis 4a sowie bei Einwirkungen von innen und außen sowie bei Notstandsfällen *in allen Betriebsphasen* sicherzustellen“ ist. KTA 3107 gewährleistet dies für die Betriebsphasen, die dem Brennelementwechsel zuzuordnen sind.

b) Nummer 3.10 „Anforderungen an die Handhabung und Lagerung der Brennelemente“

Die in SiAnf 3.10 (1) enthaltene Anforderung entspricht der Anforderung aus SiAnf 3.2 (1) und wird – für die Betriebsphase des Brennelementwechsels – durch die Gesamtheit der Anforderungen an entsprechenden Maßnahmen und Prozeduren in KTA 3107 umgesetzt und konkretisiert.

c) Nummer 6 „Anforderungen an das Betriebsreglement“

Relevant für den Brennelementwechsel sind insbesondere 6 (1) a) bis c), f) und g), die in KTA 3107 bezogen auf den Brennelementwechsel umgesetzt und konkretisiert sind. Weiterhin sind 6 (2) und 6 (3) sinngemäß umgesetzt, durch die Vorgaben an die Erstellung, Prüfung, Änderung und Zugänglichkeit der für den Brennelementwechsel erforderlichen betrieblichen Unterlagen und Prozeduren.

(5) In SiAnf, Anhang 2, Tabelle 3.1a sind die hinsichtlich der Kritikalitätssicherheit einzuhaltenden Nachweiskriterien genannt. Die Vorgabe „Betrag der Abschaltreaktivität $\geq 1\%$ “ wird durch KTA 3107, 5.1 (4) umgesetzt. Es sollte jedoch in den SiAnf oder

den Interpretationen klargestellt werden, dass das in den SiAnf vorgegebene Nachweiskriterium sich auf den *rechnerischen* Nachweis bezieht und die Unsicherheiten bewährter Auslegungsverfahren beinhaltet.

(6) In SiAnf, Anhang 3, Nummer 2 (6) sind Anforderungen an Vorsorgemaßnahmen enthalten, die durchgängig in KTA 3107 berücksichtigt und für den Brennelementwechsel konkretisiert sind. Dabei wird auch SiAnf, Anhang 3, Nummer 2 (3) (Anwendung des Einzelfehlerkonzepts) sinngemäß für die in KTA 3107 relevanten *Maßnahmen* durch das in Grundlagen (3) beschriebene Einzelfallkriterium umgesetzt.

(7) In den Interpretationen zu den SiAnf sind folgende den Anwendungsbereich von KTA 3107 betreffende Anforderungen enthalten:

- a) Interpretation I-5 „Anforderungen an bauliche Anlagenteile, Systeme und Komponenten“ enthält in 4.3 (2) eine Klarstellung zur Anwendung des „Einzelfehlerkonzepts auf die Gestaltung von Vorsorgemaßnahmen“ Diese Anforderung wird in KTA 3107 konsequent umgesetzt, siehe auch die Ausführungen unter 4.1 (6) der Dokumentationsunterlage.
- b) Interpretation I-5 enthält in 6.1 „Eintrag von Deionat oder minderboriertem Kühlmittel in den Reaktorkern“ Anforderungen, die für den Brennelementwechsel in KTA 3107,6.4 (2) umgesetzt sind.
- c) Interpretation I-6 „Anforderungen an die Handhabung und Lagerung der Brennelemente“ enthält in Nummer 2 „Anforderungen an die Kontrolle der Reaktivität bei der Handhabung und Lagerung von Brennelementen“ Konkretisierungen, die in KTA 3107 durchgängig umgesetzt sind. Die Anforderung, dass die „geforderte Unterkritikalität nur dann verletzt werden könnte, wenn mindestens zwei, voneinander unabhängige, gleichzeitig wirkende und im bestimmungsgemäßen Betrieb (Sicherheitsebenen 1 und 2) nicht zu erwartende Fehler oder Fehlhandlungen eintreten“ wird durch die konsequente Anwendung des in Grundlagen (3) beschriebenen Einzelfallkriteriums gewährleistet.

4.2 Nationale Unterlagen

- - siehe Anhang B

4.3 Internationale Unterlagen

- -

5 Ausführungen zur Erarbeitung des Regelentwurfs

Zu „Grundlagen“

Der Abschnitt „Grundlagen“ beschreibt die Einbettung der KTA-Regel in den Gesamtkontext des gesetzlichen und untergesetzlichen kerntechnischen Regelwerks. Diese Regel leistet einen wesentlichen Beitrag zur Konkretisierung des Kriteriums 11.1 „Handhabung und Lagerung von Kernbrennstoffen und sonstigen radioaktiven Stoffen“, demgemäß (u. a.) Kritikalitätsstörfälle bei Handhabung und Lagerung ausgeschlossen werden müssen. Sie ergänzt in dieser Hinsicht die Anforderungen der KTA 3602 „Lagerung und Handhabung von Brennelementen und zugehörigen Einrichtungen in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren“. KTA 3602 befasst sich schwerpunktmäßig mit der Handhabung und Lagerung von Brennelementen außerhalb des Reaktordruckbehälters, während diese Regel die Kritikalitätssicherheit während des Umsetzens der Brennelemente zwischen dem Reaktordruckbehälter und dem Brennelementlagerbecken im Laufe des Brennelementwechsels regelt.

Zu 1 „Anwendungsbereich“

Entsprechend 1 (1) ist die Regel anzuwenden sowohl auf die Planung als auch auf die Durchführung aller sicherheitsrelevanten Handhabungstätigkeiten während des Brennelementwechsels. Aus Sicht des Arbeitsgremiums ist es für die Kritikalitätssicherheit entscheidend, bereits bei der Planung des Brennelementwechsels anzusetzen. Diese muss, ebenso wie die Durchführung, nach festen Regeln erfolgen, um die Einhaltung des Einzelfallkriteriums sicherzustellen.

Die konsequente Anwendung des Einzelfallkriteriums auf alle Planungs- und Durchführungsschritte gewährleistet nicht nur die Kritikalitätssicherheit während des Brennelementwechsels, sondern auch, dass der Reaktor exakt mit dem in der Anfahr genehmigung spezifizierten Reaktorkern angefahren und betrieben wird. Hierzu ist es jedoch wichtig, dass alle zur Einhaltung des Einzelfallkriteriums relevanten Tätigkeiten durch diese Regel erfasst sind. Daher musste in dieser Regel der Brennelementwechsel sowohl zeitlich als auch hinsichtlich der dazu gehörigen Tätigkeiten klar und eindeutig definiert werden. Dies erfolgt in den Absätzen (2) und (3) des Anwendungsbereichs. In (2) ist festgelegt, dass der Brennelementwechsel den gesamten Zeitraum zwischen dem Öffnen und Schließen des Reaktordruckbehälters umfasst; in (3) sind die dazu gehörigen Tätigkeiten aufgelistet.

Zu 2 „Begriffe“

Die verwendeten zentralen Begriffe wurden definiert.

Als zentrale physikalische Größe zur Gewährleistung der Kritikalitätssicherheit wird in dieser Regel der „Sicherheitsabstand zur Kritikalität Δk_S “ verwendet. Dieser Begriff ist grundsätzlich vergleichbar mit dem in KTA 3101.2 verwendeten Begriff der „Abschaltreaktivität“. Da es jedoch beim Brennelementwechsel nicht um die Abschaltung des Reaktors (aus dem kritischen Zustand $k_{\text{eff}} = 1$) geht, sondern um die dauerhafte Einhaltung eines Mindestabstands zur Kritikalität, hielt das Arbeitsgremium – auch zur Vermeidung von Missverständnissen - den neu eingeführten Begriff „Sicherheitsabstand zur Kritikalität“ für diese Regel für geeigneter.

Zentrale Planungsinstrumente für die korrekte Durchführung des Brennelementwechsels sind der sog. „Beladeplan“ und der „Schrittfolgeplan“, sowie für den DWR das „Belade- und Entladeschema“. An diese Planungsinstrumente werden hohe Anforderungen hinsichtlich ihrer Erstellung sowie der Sicherstellung ihrer Korrektheit und ihrer Integrität (keine ungeplanten Änderungen; Übereinstimmung von „Kopien“ mit dem Original) gestellt. Eine exakte Definition der entsprechenden Begriffe war daher notwendig.

Zu 3 „Allgemeine Anforderungen“

Dieser Abschnitt enthält neben allgemeinen Anforderungen, die grundsätzlich für alle Tätigkeiten im Rahmen des Brennelementwechsels gelten wie

- a) Erfordernis schriftlicher betrieblicher Regelungen [siehe (1) und (6)],
- b) Einhaltung der Anforderungen der KTA 3602 [siehe (3)]
- c) Gewährleistung der Kritikalitätssicherheit im Reaktor und Lagerbecken [siehe (4)],
- d) Durchführung nur durch sachkundige Personen unter Berücksichtigung des Vier-Augen-Prinzips [siehe (7)],
- e) Berücksichtigung des Einzelfallkriteriums in allen Abläufen [siehe (8)],
- f) zeitnahe Aktualisierung der Dokumentation [siehe (9)]

auch die wesentlichen Voraussetzungen für die Aufnahme der Tätigkeiten, wie

- g) aktuelle Belegungspläne [siehe (2)]
- h) vorgesehene Kernbeladung entspricht den (für den Betrieb relevanten) Anforderungen der KTAs 3101.1-3 [siehe (3)].

Hinsichtlich konkreter Details zur Erfüllung der in diesem Abschnitt enthaltenen allgemeinen Anforderungen wird, soweit erforderlich, auf die jeweils zutreffenden nachfolgenden Abschnitte dieser Regel bzw. die zutreffenden Abschnitte anderer KTA-Regeln verwiesen.

Die in 3 (8) enthaltene Anforderung, demgemäß „jede einzelne Handhabung oder Umsetzung eines Brennelements oder einer zugehörigen Einrichtung dem Einzelfallkriterium genügen muss, so dass ein Eintreten eines einzelnen im bestimmungsgemäßen Betrieb nicht zu erwartenden Ereignisablaufs nicht zu einer Fehlpositionierung eines Brennelements oder einer zugehörigen Einrichtung führen kann“, ist an dieser Stelle inhaltlich noch einmal besonders hervorzuheben: Diese Anforderung beschreibt das Grundgerüst des konzeptionellen Vorgehens des Arbeitsgremiums bei der Erarbeitung dieser Regel. Auf dieser Grundlage wurden alle im Rahmen des Brennelementwechsels auftretenden Abläufe intensiv analysiert und – soweit dabei Schwachstellen erkennbar wurden – diese durch verbesserte Anforderungen bereinigt.

Zusätzlich zu den vom Arbeitsgremium gewählten konzeptionellen Vorgehen, sind in den SiAnf, Anhang 3, 2 (6) Anforderungen an administrative Maßnahmen enthalten, die sinngemäß auch für den Brennelementwechsel angewendet werden können. Diese Anforderungen wurden ebenfalls in der Regel berücksichtigt.

Zu 4 „Planung der Durchführung eines Brennelementwechsels“

In diesem Abschnitt finden sich die Detailanforderungen für eine – im Sinne dieser Regel – korrekte Planung des Brennelementwechsels.

In (1) wird festgelegt, dass Planung des Brennelementwechsels, einschließlich der Planung seiner Durchführung, nur von sachkundigen Personen ausgeführt werden darf; in der Aufzählung (1) a) bis d) ist festgelegt, welche Tätigkeiten / Arbeitsschritte zur Planung gehören.

Das zentrale Instrument zur Planung und Durchführung des Brennelementwechsels ist der Schrittfolgeplan. Der bei der Erstellung des Schrittfolgeplans einzuhaltende Ablauf sowie die Anforderungen an einen korrekten Schrittfolgeplan sind in (3) bis (10) festgelegt.

Von entscheidender Bedeutung für die Zulässigkeit eines Schrittfolgeplans ist die Einhaltung der in (6) und (7) enthaltenen Anforderungen, welche

- a) in (6) a) bis d) die *Unverwechselbarkeit* des Schrittfolgeplans sicherstellen und
- b) durch die detaillierten Vorgaben zur eindeutigen Bezeichnung von Start- und Zielpositionen in (6) e) bis f) - hier insbesondere die Vorschreibung von „*Absolutkoordinaten*“ in (6) f) und in (7) - Ereignisabläufe (wie in Dampierre) effektiv ausschließen (durch die dort verwendeten Relativangaben löste das Auftreten eines (Einzel-)Fehlers zwangsläufig Folgefehler aus).

Die zentrale Botschaft, dass Bewegungsangaben ausschließlich durch Angabe der Absolutkoordinaten von Start- und Zielposition erfolgen dürfen, wird in (7) nochmals durch das explizite Verbot von „Relativangaben“ unterstrichen.

4 (8) enthält Anforderungen, welche die Lesbarkeit des Schrittfolgeplans unter den Bedingungen auf der Lademaschine sicherstellen. 4 (9) enthält Anforderungen zur inhaltlichen Qualitätssicherung.

In 4 (10) wird der zunehmende Einsatz der IT-Technik bei der Erstellung der Schrittfolgepläne gewürdigt. Ein korrekter Schrittfolgeplan enthält eine Vielzahl abstrakter Daten (Koordinaten); aufgrund der geringeren Fehleranfälligkeit von elektronischen Programmen bei der Verarbeitung großer und abstrakter Datenmengen ist aus Sicht des Arbeitsgremiums eine elektronische Erstellung der Schrittfolge- und Belegungspläne einer manuellen Erstellung vorzuziehen. In diesem Fall müssen die hierzu verwendeten Programmsysteme für den Einsatz verifiziert validiert sein. Die Verifikation und Validation darf sich jedoch auf die für die korrekte Erstellung des Schrittfolgeplans erforderlichen Kernfunktionen beschränken. (Unter- und Hilfsprogramme, z. B. zur verbesserten visuellen Darstellung, benötigen keine Validation).

Zu 5 „Kritikalitätssicherheit im Reaktor während des Brennelementwechsels“

Dieser Abschnitt enthält die konkrete zahlenmäßige Vorgabe hinsichtlich des einzuhaltenden Mindestabstands zur Kritikalität, einschließlich der bei seiner Ermittlung zu beachtenden Randbedingungen. Ziel des Arbeitsgremiums war es, eine mit der Kernauslegung gemäß KTA 3101.2 vereinbare Regelung zu finden, welche auf fachlich nachvollziehbaren Grundprinzipien basiert, die sowohl für DWR als auch SWR gelten. Dabei wurden die historisch gewachsenen unterschiedlichen Vorgehensweisen bei SWR und DWR berücksichtigt. Entscheidend für die in diesem Abschnitt getroffenen Festlegungen war die fachliche Nachvollziehbarkeit. Aus diesem Grunde hat das Arbeitsgremium darauf verzichtet, die Anforderungen aus der derzeitigen Praxis „1:1 zu übernehmen“ (diese sind für DWR und SWR sehr unterschiedlich), sondern hat vielmehr darauf geachtet, dass sich die in dieser Regel enthaltenen Anforderungen für DWR und SWR aus einheitlichen Grundprinzipien in fachlich nachvollziehbarer Weise unter Berücksichtigung der jeweiligen technischen Besonderheiten von DWR- und SWR-Anlagen ergeben.

Die fachlichen Grundprinzipien zur Festlegung und Ermittlung des nach dieser Regel erforderlichen Mindestabstands zur Kritikalität, welche gleichermaßen für DWR und SWR gelten, sind in 5.1 enthalten:

In 5.1 (1) wird als zentraler Ausgangspunkt für die Gewährleistung eines ausreichenden Abstands zur Kritikalität der (unter allen Bedingungen) einzuhaltende Mindestabstand zur Kritikalität mit einem Wert von $\Delta k_S = 0,003$ festgelegt. Dieser Wert entspricht dem in KTA 3101.2 festgelegten (Mindest-)Wert der Abschaltreaktivität von 0,3%.

In 5.1 (2) wird klargestellt, dass der Nachweis der Einhaltung dieses Wertes unter klar definierten Randbedingungen zu erfolgen hat, die in 5.2 detailliert beschrieben sind.

In 5.1 (3) wird klargestellt, dass beim Nachweis alle Unsicherheiten zu berücksichtigen sind.

In 5.1 (4) wird gefordert, dass bei *rechnerischer* Nachweisführung mit bewährten Auslegungsrechenverfahren ein Betrag von mindestens 0,01 für Δk_{eff} einzuhalten ist, wobei Δk_{eff} die Unsicherheiten enthält. Hiermit soll eine Kompatibilität mit KTA 3101.2 und mit den SiAnf hergestellt werden. Gemäß KTA 3101.2 muss für die *rechnerische* Nachweisführung der Wert der Abschaltreaktivität (einschließlich Fehler der Rechenprogramme) mindestens 1% betragen. In den SiAnf sind die für die rechnerische Nachweisführung geltenden Nachweiskriterien in Anhang 2, Tabelle 3.1c angegeben. Demgemäß muss der Betrag der Abschaltreaktivität mindestens 1% betragen.

Die in 5.1 festgeschriebenen Grundanforderungen werden durch die in 5.2 enthaltenen „anlagenspezifischen Anforderungen und Festlegungen“ ergänzt, die aus der unterschiedlichen Systemtechnik von DWR- und SWR-Anlagen resultieren. 5.2.1 enthält zusätzliche Festlegungen für DWR-Anlagen, 5.2.2 für SWR-Anlagen.

5.2.1 (1) enthält die Randbedingungen zur Ermittlung der erforderlichen Borkonzentration. In 5.2.1 (2) a) wird festgelegt, dass für den DWR grundsätzlich zu unterstellen ist, dass keine Steuerelemente im Reaktorkern vorhanden sind. Diese Anforderung resultiert aus der Überlegung, dass zurzeit beim DWR keine mit dem SWR vergleichbaren Maßnahmen getroffen werden, um die Anwesenheit der Steuerelemente im Kern sicherzustellen. Es besteht jedoch kein fachlicher Grund, den DWR in dieser Hinsicht grundsätzlich anders als den SWR zu behandeln. Insofern ist in 5.2.1 (2) b) geregelt, dass von DWR-Steuerelementen dann Kredit genommen werden kann, wenn vergleichbare Maßnahmen wie beim SWR zur Sicherstellung ihrer Anwesenheit im Kern getroffen sind. In 5.2.1 (3) wird festgelegt, dass als zusätzliche Randbedingung bei der Ermittlung des Abstands zur Kritikalität eine Fehlpositionierung eines Brennelements (als Postulat) zu unterstellen ist, die zum größten Wert von k_{eff} führt. Das Arbeitsgremium hat hier bewusst den Begriff „Postulat“ verwendet, da eine solche Fehlpositionierung bei Einhaltung der grundlegenden Anforderung gemäß 3 (8) ausgeschlossen ist (in 3 (8) wird für alle Abläufe und Tätigkeiten gefordert, dass es unter konsequenter Anwendung des Einzelfallkriteriums nicht zu einer Fehlpositionierung eines Brennelements oder einer zugehörigen Einrichtung kommen darf). Das Postulat einer Fehlpositionierung entspricht somit einer Ergänzung des Einzelfallkriteriums für den unwahrscheinlichen Fall des Eintritts eines Ereignisses, dass bei konsequenter Einhaltung dieser Regel (insbesondere 3 (8)) ausgeschlossen ist. Es stellt somit eine zusätzliche Annahme im Sinne des „defense-in-depth“ Konzepts dar. Mit der Annahme einer (postulierten) Fehlpositionierung ist das Einzelfallkriterium bereits voll ausgeschöpft (da es zu einer solchen Fehlpositionierung nur kommen kann, wenn das Einzelfallkriterium verletzt wurde, d.h. mindestens zwei Fehler im Vorfeld aufgetreten sind). Deshalb ist für dieses postulierte Ereignis kein zusätzlicher Fehler zu unterstellen; dies wird im letzten Satz von 5.2 (3) klargestellt.

5.2.2 enthält die beim Siedewasserreaktor zu beachtenden Randbedingungen. Während beim DWR die Fehlpositionierung eines Brennelements im Allgemeinen zur höchsten Reaktivitätszufuhr führt, ist dies beim SWR – systemtechnisch bedingt – die Fehlpositionierung eines Steuerelements (Steuerstabs). In 5.2.2 (1) a) ist festgelegt, dass – vergleichbar zum DWR – als zusätzliches Postulat das Fehlen eines Steuerstabs in einer komplett beladenen Steuerstabszelle zu unterstellen ist. Vergleichbar zum DWR handelt es sich hierbei um ein bei konsequenter Einhaltung dieser Regel ausgeschlossenes Ereignis, was nur dann eintreten kann, wenn mindestens zwei Fehler im Vorfeld aufgetreten sind. Deshalb ist für dieses postulierte Ereignis kein zusätzlicher Fehler zu unterstellen. Beim SWR wirken sich Brennelementfehlpositionierungen dann reaktivitätsmäßig besonders ungünstig aus, wenn eine Steuerstabszelle komplettiert wird. Insofern wird beim SWR - im Sinne des „defense-in-depth“ Konzepts - als weiteres Postulat ein fehlpositioniertes Brennelement bei Komplettierung der Beladung einer Steuerstabszelle unterstellt. Dabei muss das fehlpositionierte Brennelement nicht unbedingt das zuletzt eingesetzte sein; die Formulierung ist bewusst so gewählt, dass die postulierte Fehlpositionierung an beliebiger Stelle innerhalb der Zelle vorhanden sein kann.

Die nachfolgenden Absätze (2) und (3) enthalten eine Ausnahmeregelung, welche den spezifischen Vorgehensweisen beim SWR Rechnung trägt. Die sog. Funktions- und Unterkritikalitätsprüfungen (FUP) bzw. Abschaltsicherheitstests (AST) könnten nicht durchgeführt werden, wenn zeitgleich die Anforderungen (1) bis (3) - für AST, bzw. (3) - für FUP, unverändert bestünden. Insofern wird für den Zeitraum dieser Tests eine Überschreitung des in (1) bis (3) geforderten Mindestabstands zur Kritikalität zugelassen; allerdings nur, wenn die für diesen besonderen Fall gemäß 6.3.2 (6) zu treffenden Vorsichtsmaßnahmen eingehalten sind. Weiterhin wird in Absatz (3) festgelegt, dass FUP- und AST-Tests nur nach einer entsprechenden schriftlichen betrieblichen Regelung durchgeführt werden dürfen und die Ergebnisse der Tests zu dokumentieren sind.

5.3 komplettiert die in 5.1 und 5.2 enthaltenen Anforderungen durch detaillierte Vorgaben für die *Durchführung* des Kritikalitätssicherheitsnachweises:

Einerseits müssen die für den Nachweis verwendeten Berechnungssysteme die in 5.3.1 enthaltenden Anforderungen erfüllen, d. h. sie müssen die neutronenphysikalischen Effekte unter Berücksichtigung aller relevanter Einflussgrößen richtig beschreiben können [(1) a) und b)] und für die Aufgabenstellung validiert sein [(1) c)]. Dabei sind gemäß 5.3.1 (2) Näherungen zulässig, soweit durch Validation gerechtfertigt. In 5.3.1 (3) wird klargestellt, dass die Validation eines Berechnungssystems auch durch Vergleich mit einem anderen für den Anwendungsfall validierten Berechnungssystem erfolgen darf.

Andererseits ergeben sich Anforderungen an den Nachweis selbst, insbesondere hinsichtlich der Berücksichtigung von Unsicherheiten. Dieses ist detailliert in 5.3.2 geregelt. In (1) sind die wesentlichen und somit zu berücksichtigenden Unsicherheitsquellen aufgeführt. Am Ende dieses Absatzes wird klargestellt, dass die Quantifizierung der Unsicherheiten, abhängig von der zur Verfügung stehenden Validierungsbasis, entweder integral oder durch Bestimmung der Einzelbeiträge erfolgen darf. Unter welchen konkreten Bedingungen eine integrale Validierung (ohne explizite Berechnung der Einzelbeiträge) zulässig ist, wird in (2) geregelt: Dies ist dann der Fall, wenn Anwendungsfall und das als Validierungsbasis verwendete Benchmarksystem direkt vergleichbar sind, z. B. aufgrund der Durchführung kritischer Messungen am Reaktor selbst. In einem Hinweis zu (2) wird erläutert, warum in diesem Fall die Einzelbeiträge nicht explizit berechnet werden müssen (weil sie nämlich bereits implizit im empirischen Bias aus der integralen Validierung enthalten sind). In (3) wird festgelegt, mit welchen Toleranzgrenzen (95%/95%) die statistischen Werte zu ermitteln sind und (4) enthält Vorgaben bei der Verwendung von Näherungsverfahren zur Ermittlung der rechnerischen Unsicherheiten.

Zu 6 „Durchführung des Brennelementwechsels“

Dieser Abschnitt enthält Anforderungen an die Durchführung des Brennelementwechsels (nach abgeschlossener Planung). Der Abschnitt gliedert sich in „Allgemeine Anforderungen“, die in 6.1 festgelegt sind und in Anforderungen zu den drei wesentlichen Phasen des Brennelementwechsels (6.2: Vorbereitung; 6.3: Umsetzen; 6.4: Abschluss).

6.1 „Allgemeine Anforderungen“

Das zentrale Ziel bei der Durchführung des Brennelementwechsels - aus Sicht dieser Regel - ist die Gewährleistung der Kritikalitätssicherheit. Dieses zentrale Ziel wird in 6.1 (1) dieses Abschnitts noch einmal explizit für die Durchführung des Brennelementwechsels klargestellt, indem auf die allgemeine Anforderung in 3 (4) verwiesen wird. Die Gewährleistung der Kritikalitätssicherheit erfolgt durch die Einhaltung der in dieser Regel beschriebenen Vorgehensweisen (d. h. im Wesentlichen administrative Regelungen).

In 6.1 (2) ist festgelegt, dass die Neutronenzählraten messtechnisch zu überwachen sind. Das Arbeitsgremium hat diese Formulierung bewusst gewählt und grenzt sich damit explizit gegenüber der in KTA 3602, 4.4.3.3 (1) enthaltenen Anforderung ab, demgemäß „der Reaktor ist im abgeschalteten Zustand während des gesamten Brennelementwechsels so zu sichern [ist], dass eine ausreichende Unterkritikalität eingehalten wird und dass eine Annäherung an den kritischen Zustand messtechnisch erfasst wird (siehe KTA 3101.2)“. Aus physikalischen Gründen ist es nicht möglich, die Einhaltung des in dieser Regel geforderten Mindestabstands zur Kritikalität von $\Delta k_S = 0,003$ messtechnisch zu überwachen. Dies liegt daran, dass die Neutronenzählraten erst dann signifikant zunehmen, wenn der Reaktor knapp vor dem kritischen Zustand ist (d. h. wenn Δk_S bereits deutlich kleiner als 0,003 ist). Im Bereich $\Delta k_S \sim 0,003$ überlagern andere Effekte (Quellstärken der Brennelemente etc.) die Neutronenzählraten, so dass eine zuverlässige Feststellung des Sicherheitsabstands zur Kritikalität in diesem Bereich nicht möglich ist. Das Arbeitsgremium KTA 3107 schlägt vor, die KTA 3602, 4.4.3.3 (1) entsprechend zu überarbeiten. Unabhängig davon, hält das Arbeitsgremium es für sinnvoll, die Neutronenzählraten während des Brennelementwechsels messtechnisch zu überwachen. Dies ist einerseits schon deswegen erforderlich, um bei einem (ungeplantem) Erreichen der Kritikalität über den Reaktorschutz Gegenmaßnahmen zu veranlassen. Auch wenn die Einhaltung des Mindestabstands zur Kritikalität ($\Delta k_S = 0,003$) nicht zuverlässig mit Hilfe der Neutronenzählraten überwacht werden kann, so können sich unter Umständen aus der Überwachung Indizien auf Abweichungen bei der Beladung ergeben (DWR). Dies wird in einem Hinweis zu 6.1 (2) weiter ausgeführt.

6 (3) enthält die – verbindliche – Vorgabe, die aktuelle Belegung der Lager vor dem Beladen des Reaktors auf Übereinstimmung mit den Belegungsplänen zu überprüfen. Im Gegensatz zu 4 (2), wo - im Stadium der Planung - lediglich Konsistenz der Belegungspläne mit der aktuellen Beladung verlangt wird, ist nun Übereinstimmung gefordert.

6.2 „Vorbereitungen zum Brennelementwechsel“

6.2 (1) enthält Anforderungen an die einzuhaltende Borkonzentration bei DWR-Anlagen vor der Verbindung von Reaktorraum und Lagerbecken. 6.2 (2) verweist auf Anforderungen in KTA 3602.

6.3 „Wechsel der Brennelemente“

Dieser Abschnitt bezieht sich auf die Tätigkeiten in Verbindung mit dem tatsächlichen Umsetzen der Brennelemente zwischen dem Reaktor und dem Lagerbecken. Da der „Brennelementwechsel“ in Abschnitt 2 definiert wurde als der gesamte Zeitraum zwischen Öffnen und Schließen des RDB, konnte dieser Begriff nicht als Überschrift verwendet werden. 6.3 gliedert sich in Allgemeine Anforderungen (6.3.1), die für SWR und DWR gleichermaßen gelten, und spezielle Anforderungen an den SWR (6.3.2), welche sich aus den FUPs und AST ergeben sowie aus dem Umstand, dass es beim SWR – im Gegensatz zu DWR – bei der Kritikalitätssicherheit entscheidend auf die Steuerelemente ankommt.

Die wesentlichen Inhalte von 6.3.1 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Absätze (1) bis (6) präzisieren und konkretisieren die bereits in Abschnitt 3 genannten allgemeinen Anforderungen.
- Absätze (7) bis (9) enthalten Regelungen, wie mit Abweichungen vom Schritfolgeplan bzw. vom Beladeplan umzugehen ist. Grundsätzlich sind solche Abweichungen nur zulässig, wenn diese einen keinen Einfluss auf die Kritikalitätssicherheit haben und in einer Betriebsanweisung explizit geregelt sind. Dies betrifft zum einen Änderungen am Schritfolgeplan, ohne dass dabei der Beladeplan geändert wird (7), zum anderen Änderungen am Beladeplan, die kompatibel mit dem ursprünglichen Beladeplan sind (8). Die zugehörige Betriebsanweisung muss die zentralen Anforderungen dieser Regel zur Kritikalitätssi-

cherheit erfüllen, d. h. das Einzelfallkriterium gemäß 3 (8) und die Einhaltung des in 5.1 (1) bis (3) festgelegten Mindestabstands zur Kritikalitätssicherheit. In allen anderen Fällen (neuer Beladeplan ist nicht kompatibel mit dem ursprünglichen) ist nach (9) die Beladung abubrechen und die Planung neu zu beginnen.

c) 6.3 (10) die Anforderung, eine Kernendkontrolle durchzuführen.

6.3.2 enthält spezifische Anforderungen an den SWR: In 6.3.2 (1) bis (5) wird detailliert festgelegt, wie bei der Beladung (der Steuerstabzellen) vorzugehen ist. Diese Vorgaben stellen sicher, dass immer eine ausreichende Zahl von Steuerstäben zur Sicherstellung des Mindestabstands zur Kritikalität vorhanden ist. Die Anforderung in 6.3.2 (6) stellt sicher, dass die Kernendkontrolle auch hinsichtlich der Steuerstäbe, die bei voll beladenem Kern nicht mehr sichtbar sind, verwertbare Ergebnisse liefert und 6.3.2 (7) enthält spezifische Vorgaben zur Durchführung von FUP oder AST.

6.4 „Maßnahmen vor dem Schließen des Reaktordruckbehälters“

Gemäß 6.4 (1) ist die Gängigkeit der Steuerelemente zu überprüfen, soweit nicht bereits vorher erfolgt. 6.4 (2) stellt für den DWR klar, dass bei Verwendung von Deionat zur Reinigung des Reaktorraums auf die Kritikalitätssicherheit gemäß dieser Regel zu achten ist.

Zu Anhang A „Durchführung rechnerischer Kritikalitätssicherheitsnachweise zu Brennelementwechseln in Leichtwasserreaktoren“

Im Anhang werden die Anforderungen an die Durchführung der rechnerischen Nachweise gemäß 5.3 konkretisiert. A.1 enthält konkrete Festlegungen hinsichtlich der durch die Rechenprogramme zu berücksichtigenden Einflussgrößen. A.2 enthält Vorgaben an die Validierung. A.2 wurde vergleichsweise kurz gefasst, da zu diesem Thema in wesentlichen Teilen auf das Beiblatt 1 zur DIN 25478 verwiesen werden kann.