

KTA 3107

Anforderungen an die Kritikalitätssicherheit beim Brennelementwechsel

Fassung 2014-11

Inhalt		Seite
Grundlagen		2
1 Anwendungsbereich		2
2 Begriffe		2
3 Allgemeine Anforderungen		4
4 Planung der Durchführung eines Brennelementwechsels		4
5 Kritikalitätssicherheit im Reaktor während des Brennelementwechsels		5
5.1 Grundlegende Anforderungen		5
5.2 Anlagenspezifische Anforderungen und Festlegungen.....		5
5.3 Anforderungen an die Durchführung rechnerischer Kritikalitätssicherheitsnachweise		6
6 Durchführung des Brennelementwechsels		7
6.1 Allgemeine Anforderungen		7
6.2 Vorbereitungen zum Brennelementwechsel		7
6.3 Wechsel der Brennelemente.....		7
6.4 Maßnahmen vor dem Schließen des Reaktordruckbehälters		8
Anhang A: Durchführung rechnerischer Kritikalitätssicherheitsnachweise zu Brennelementwechseln in Leichtwasserreaktoren.....		9
Anhang B: Bestimmungen, auf die in dieser Regel verwiesen wird.....		10

Grundlagen

(1) Die Regeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA) haben die Aufgabe, sicherheitstechnische Anforderungen anzugeben, bei deren Einhaltung die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb der Anlage (§ 7 Absatz 2 Nr. 3 Atomgesetz - AtG) getroffen ist, um die im AtG und in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) festgelegten sowie in den „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ (SiAnf) sowie den „Interpretationen zu den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ weiter konkretisierten Schutzziele zu erreichen.

(2) In dieser Regel wird die erforderliche Vorsorge bezogen auf die Kritikalitätssicherheit beim Brennelementwechsel konkretisiert. Gemäß den SiAnf, 3.10 (1) und (2), sind in allen Betriebsphasen die Kontrolle der Reaktivität bei der Brennelementhandhabung und -lagerung sicherzustellen sowie Maßnahmen und Einrichtungen zur Handhabung und Lagerung der Brennelemente derart vorzusehen, dass ein Kritikalitätsereignis in den Lagereinrichtungen auch unter Störfallbedingungen nicht zu unterstellen ist.

(3) Hierzu wird in dieser Regel folgender Sicherheitsansatz basierend auf dem defense in depth Konzept verfolgt:

- a) Durch die konsequente Anwendung des Einzelfallkriteriums auf alle Schritte der Planung und Durchführung des Brennelementwechsels wird erreicht, dass eine Fehlpositionierung nur als Folge mindestens zweier voneinander unabhängiger, bei bestimmungsgemäßer Durchführung der Planung und der Ausführung des Brennelementwechsels nicht zu erwartender Ereignisabläufe auftreten kann.
- b) Spezifische Vorgaben an die Art der Durchführung des Brennelementwechsels (z. B. die ausschließliche Verwendung von Absolut-Koordinaten beim Umsetzen) sollen sicherstellen, dass eine trotz der Vorkehrungen nach a) postulierte Fehlbeladung erkannt und vor Beendigung des Brennelementwechsels beseitigt werden würde.
- c) Mit der zusätzlichen Anforderung, dass die Unterkritikalität zu jedem Zeitpunkt des Brennelementwechsels auch im Falle einer postulierten Fehlbeladung gewährleistet sein muss, soll sichergestellt werden, dass Kritikalitätssicherheit auch über die gemäß der Anwendung des Einzelfallkriteriums auf jeden Schritt der Planung und Durchführung des Brennelementwechsels definierte Auslegungsbasis hinaus gewährleistet ist.
- d) Weitere zusätzliche Kontrollmaßnahmen während oder zum Ende der Beladung (z. B. Kernendkontrolle) sollen - im Zusammenwirken mit den Anforderungen nach a) und b) - sicherstellen, dass das Anfahren mit einer Fehlbeladung verhindert wird.

(4) Das Vorgehen nach (3) soll sicherstellen, dass der Reaktor exakt mit dem in der Zustimmung zum Wiederanfahren nach dem Brennelementwechsel spezifizierten Reaktorkern betrieben wird.

(5) Diese Regel ergänzt die in der Regel KTA 3602 „Lagerung und Handhabung von Brennelementen und zugehörigen Einrichtungen in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren“ enthaltenen Anforderungen. Während sich KTA 3602 schwerpunktmäßig mit der Handhabung und Lagerung von Brennelementen außerhalb des Reaktordruckbehälters befasst, enthält diese Regel spezifische Vorgaben zur Kritikalitätssicherheit während des Umsetzens der Brennelemente zwischen dem Reaktordruckbehälter und dem Brennelementlagerbecken im Laufe des Brennelementwechsels.

1 Anwendungsbereich

(1) Diese Regel ist anzuwenden auf die Planung der Durchführung und die Durchführung der Handhabung von Brennelementen und zugehörigen Einrichtungen während eines Brennelementwechsels in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren.

(2) Diese Regel definiert Anforderungen an die Kritikalitätssicherheit beim Brennelementwechsel im Zeitraum zwischen dem Öffnen und dem Schließen des Reaktordruckbehälters.

(3) Die Handhabung von Brennelementen und zugehörigen Einrichtungen während des Brennelementwechsels umfasst folgende Arbeiten:

- a) Ausladen von Brennelementen aus dem Reaktor, Einladen von Brennelementen in den Reaktor und gegebenenfalls Umsetzen von Brennelementen im Reaktor,
- b) Umsetzen und Austausch von zugehörigen Einrichtungen sowie
- c) Beladungskontrollen und Funktionsprüfungen.
- d) Darüber hinaus können noch folgende Arbeiten für die Planung und Durchführung relevant sein:
 - da) Inspektion von Brennelementen oder zugehörigen Einrichtungen,
 - db) Instandsetzung von Brennelementen oder zugehörigen Einrichtungen oder
 - dc) Maßnahmen, bei denen in Druckwasserreaktoranlagen Deionat verwendet wird (wie z. B. zur Minimierung der Strahlenbelastung durch Aerosolfreisetzung).

Hinweis:

Das Wort „Brennelementwechsel“ wird, sofern im Folgenden nicht explizit der Ausdruck „Brennelementwechsel im Sinne von 1 (2)“ gebraucht wird, der Einfachheit halber anstelle des Ausdrucks „Handhabung von Brennelementen und zugehörigen Einrichtungen während des Brennelementwechsels“ benutzt.

2 Begriffe

(1) Beladeplan (für eine Kernbeladung)

Ein Beladeplan (für eine Kernbeladung) beschreibt für einen Zyklus (eine Betriebsperiode) die Position und die Orientierung der Brennelemente und der zugehörigen Einrichtungen im Reaktorkern.

Hinweis:

In der Praxis wird der Begriff Beladeplan häufig auch für die Gesamtheit der sicherheitstechnischen Nachweisunterlagen für die zyklusspezifische Kernbeladung verwendet.

(2) Benchmark

Benchmarks sind zur Validation eines Rechen- oder Simulationsmodells für einen Anwendungsfall verwendete Experimente und Messungen an Referenzanordnungen.

(3) Benchmarks, theoretische

Theoretische Benchmarks sind Referenzlösungen zu hypothetischen Anordnungen, die ausschließlich zum Zweck des Vergleichs unterschiedlicher Rechen- oder Simulationsmodelle sowie für Sensitivitätsanalysen nachgerechnet werden.

(4) Bias (Systematische Abweichung)

Bias (Systematische Abweichung) ist die Abweichung $b_N(\theta) = E[\theta] - \theta_W$ des Erwartungswertes $E[\theta]$ einer auf einer Anzahl N von Beobachtungen mit den Resultaten (X_1, \dots, X_N) basierenden Schätzfunktion $\theta = \theta(X_1, \dots, X_N)$ eines Parameters θ von dessen wahren Wert θ_W .

Hinweis:

Im Allgemeinen sind weder der Erwartungswert der Schätzfunktion von θ noch der wahre Wert von θ_W bekannt. Für den Bias kann

daher im Allgemeinen nur eine Abschätzung geliefert werden, siehe Begriff des „empirischen Bias“ unter (5).

(5) Bias, empirischer

Als „empirischer Bias“ eines Parameters θ wird in dieser Regel die Abschätzung $b_n(\theta) = \Phi(b_1, \dots, b_n)$ des gemäß (4) definierten Bias bezeichnet, welche erhalten wird durch die Anwendung eines statistischen Verfahrens Φ (z. B. Bildung des arithmetischen oder gewichteten Mittelwerts) auf die beobachteten Differenzen $b_i = \theta_i - \theta_i^R$, $i = 1, \dots, n$ zwischen den für den Parameter θ in einer anhand einer Anzahl n von Referenzmessungen oder theoretischen Benchmarks durchgeführten vergleichenden Analyse erhaltenen Resultate θ_i und den für diese Referenzmessungen bzw. Benchmarks angegebenen Referenzlösungen θ_i^R .

Hinweise:

- (1) Beispiele für empirische Biaswerte sind: Schätzwert der systematischen Abweichung eines Berechnungssystems, Schätzwert der systematischen Abweichung eines Messverfahrens.
- (2) Eine für eine Referenzmessung oder ein Benchmark angegebene Referenzlösung ist im Allgemeinen nicht identisch mit dem der Referenzmessung bzw. dem Benchmark eigenen wahren Wert θ_w des interessierenden Parameters θ . Eine Referenzlösung stellt nämlich im Allgemeinen selbst eine - möglichst die methodisch beste - Abschätzung des Parameters θ dar, der wahre Wert θ_w bleibt im Allgemeinen unbekannt. Eine Referenzlösung kann daher mit einem Bias behaftet sein. Dies zeigt die Notwendigkeit auf, z. B. in der Validation eines Berechnungssystems eine größere Anzahl n von Referenzmessungen oder Benchmarks auszuwerten, sofern Benchmark und Anwendungsfall nicht identisch sind.
- (3) Die Notwendigkeit, ein statistisches Verfahren Φ zur Ermittlung des empirischen Bias anzuwenden, impliziert dass die mit diesem Verfahren verbundene statistische Unsicherheit des ermittelten empirischen Bias zu berücksichtigen ist.

(6) Doppelereignisprinzip

Nach dem Doppelereignisprinzip wird gefordert, dass es für das Eintreten eines unzulässigen Zustands (z. B. einer Fehlpositionierung eines Brennelements im Reaktor) mindestens zweier voneinander unabhängiger, gleichzeitig wirkender und bei bestimmungsgemäßem Ablauf des Brennelementwechsels nicht zu erwartender Ereignisabläufe bedarf.

Hinweis:

Dieses Prinzip wird häufig auch als „Doppelstörfallprinzip“ bezeichnet, obgleich es in der Praxis der Kritikalitätssicherheitsauslegung nicht nur auf Störfälle angewendet wird, sondern auch auf Einzelfehler (was z. B. zu redundanten oder diversifizierter Auslegung von Systemteilen einer Sicherheitseinrichtung führen kann, die der Gewährleistung der Kritikalitätssicherheit im bestimmungsgemäßen Betrieb oder in Störfällen dient). Die Bezeichnung dieses Prinzips als „Doppelereignisprinzip“ beschreibt also seine Anwendung in der Praxis der Kritikalitätssicherheitsauslegung zutreffender als die Bezeichnung „Doppelstörfallprinzip“ und stimmt überdies mit dem in angelsächsischen Regelwerken und Sicherheitsleitfäden gebrauchten Begriff des „double contingency principle“ überein.

(7) Dreiviertel-Kernbeladung (auch $\frac{3}{4}$ -Kernbeladung)

Eine Dreiviertel-Kernbeladung ist die Bezeichnung desjenigen Zustandes während der Beladung eines Siedewasserreaktorkerns, der dadurch gekennzeichnet ist, dass alle Steuerstäbe eingebaut und eingefahren sind und dass in jeder Steuerstabzelle genau 3 von 4 Brennelementpositionen mit den Brennelementen gemäß Beladepfad beladen sind, abgesehen von den durchlaufenden Steuerstabzellen.

(8) Durchlaufende Steuerstabzelle

Eine durchlaufende Steuerstabzelle ist eine Steuerstabzelle in einem Siedewasserreaktorkern, bei der die Beladung vom Vorzyklus beim Übergang in den Folgezyklus nicht geändert wird.

(9) Einzelfallkriterium

Das Einzelfallkriterium fordert, dass es bei einer einzelnen Abweichung vom bestimmungsgemäßen Ablauf des Brennelementwechsels nicht zu einem unzulässigen Zustand (z. B. einer Fehlpositionierung eines Brennelements im Reaktor) kommt.

Hinweise:

- (1) Zur Erfüllung des Einzelfallkriteriums wird häufig das Doppelereignisprinzip angewendet.
- (2) Beispiele für Fälle, die dem Einzelfallkriterium genügen müssen, sind Versagen einer Systemkomponente, Ausfall einer sicherheitstechnischen Maßnahme, aber auch menschliche Irrtümer wie z. B. das Nichtbefolgen einer administrativen Anweisung.
- (3) Der Begriff „Einzelfallkriterium“ ist vom Begriff des „Einzelfehler“ zu unterscheiden. Unter „Einzelfehler“ wird der in den SiAnF, Anhang 4 behandelte Fehler verstanden.

(10) Entladeschema (Entladen eines DWR-Reaktorkerns)

Ein Entladeschema legt die Reihenfolge fest, in der die Brennelementpositionen eines DWR-Reaktorkerns beim Ausladen von Brennelementen aus diesem Kern entladen werden.

(11) Ereignisablauf

Ein Ereignisablauf ist eine dem Kausalitätsprinzip gehorchende, mit einem auslösenden Ereignis beginnende Abfolge von Ereignissen.

Hinweise:

- (1) Der Begriff wird in der vorliegenden Regel auch für den Spezialfall gebraucht, dass das auslösende Ereignis zu keinen Folgeereignissen führt.

(12) Fehlbeladung

Eine Fehlbeladung liegt vor, wenn mindestens ein Brennelement oder eine zugehörige Einrichtung in eine Position gebracht wurde, in die das Brennelement bzw. die Einrichtung gemäß den einschlägigen Anforderungen des Abschnitts 3 nicht hätte eingesetzt werden dürfen.

(13) Fehlpositionierung

Eine Fehlpositionierung ist die Umsetzung eines Brennelements oder einer zugehörigen Einrichtung in eine Position, in die das Brennelement bzw. die Einrichtung gemäß den einschlägigen Anforderungen des Abschnitts 3 nicht umgesetzt werden darf.

(14) Sachkundiger, sachkundige Person

Ein Sachkundiger oder eine sachkundige Person ist eine Person, die in einem Sachgebiet über ausreichende Fachkompetenz verfügt, d. h. über ausreichende Kenntnisse und Fertigkeiten, um die die Sache betreffenden Handlungen fachgemäß und sachgemäß ausführen zu können.

Hinweis:

Die Person muss nicht den vollständigen Überblick über das ganze die Sache betreffende Fachgebiet haben.

(15) Schrittfolgeplan

Ein Schrittfolgeplan ist ein Plan, der die Reihenfolge der Umsetzungen von Brennelementen oder zugehörigen Einrichtungen von der jeweils ausgewiesenen Ausgangsposition in die jeweils benannte Zielposition für eine spezifizierte Umsetzaktion, z. B. für eine Entladung eines Reaktorkerns, festlegt.

(16) Sicherheitsabstand zur Kritikalität Δk_S

Unter dem Sicherheitsabstand zur Kritikalität Δk_S wird der zur Gewährleistung der Kritikalitätssicherheit mindestens einzuhalten Abstand des Neutronenmultiplikationsfaktors zur Kritikalität verstanden.

(17) Steuerstabelle (SWR)

Eine Steuerstabelle besteht aus der quadratischen Anordnung von vier Brennelementen im Reaktordruckbehälter, die einem Steuerstab benachbart sind.

Hinweis:

Eine Steuerstabelle wird häufig auch als Kernzelle bezeichnet.

(18) Validation (eines Rechen- oder Simulationsmodells)

Validation ist der Prozess der Bestimmung des Grades an Genauigkeit, mit dem ein Rechen- oder Simulationsmodell unter dem Blickwinkel der beabsichtigten Anwendung dieses Modells die Realität beschreibt, der Realität genügt oder zu simulierende Funktionen virtuell ausführt.

Hinweise:

(1) Bei einem Rechenmodell, das der Bestimmung von Werten kontinuierlicher Parameter θ dient, wird der Grad der Genauigkeit durch den empirischen Bias $bn(\theta) = \Phi(b_1, \dots, b_n)$ bestimmt. Der Genauigkeitsgrad ist somit eine statistische Größe, da $bn(\theta)$ eine statistische Größe ist.

(2) Bei Simulationsmodellen, die der virtuellen Ausführung bestimmter Funktionen dienen sollen, lässt sich der Grad der Genauigkeit in Bezug auf eine Funktion als der in Prozent ausgedrückte Anteil verstehen, zu dem die Funktion fehlerfrei ausgeführt wird.

(19) Verifikation (eines Rechen- oder Simulationsmodells)

Verifikation ist der Prozess des Nachweises, dass die Ausführung des Rechen- oder Simulationsmodells exakt der vom Entwickler des Modells gegebenen konzeptionellen Beschreibung und den von ihm gegebenen Spezifizierungen entspricht.

(20) Zugehörige Einrichtungen

Zu den zugehörigen Einrichtungen gehören Kernbauteile und sonstige Bauteile wie z. B. Steuerelemente, Drosselkörper, Vergiftungs- und Blindelemente, Brennelementkästen und Kastenbefestigungen, Neutronenquellen, neutronenabsorbierende Einsätze der Brennelemente und Messlanzen. Zugehörige Einrichtungen von Brennelementen kommen zum Einsatz im Reaktorkern oder bei der Brennelementhandhabung.

3 Allgemeine Anforderungen

(1) Alle für einen Brennelementwechsel im Sinne von 1 (2) notwendigen Arbeitsschritte, Werkzeuge und Hilfseinrichtungen sind in einer schriftlichen betrieblichen Regelung festzulegen.

Hinweis:

In den SiAnf, Anhang 3, 2 (6) sind Anforderungen an administrative Maßnahmen enthalten, die sinngemäß auch für den Brennelementwechsel angewendet werden können und in dieser Regel berücksichtigt sind.

(2) Über die aktuelle Belegung des Reaktors und der Lager für Brennelemente und zugehörige Einrichtungen sind Belegungspläne mit Angabe der jeweiligen Kennzeichnung und Lagerposition der Brennelemente und zugehörigen Einrichtungen zu führen. Sonstiges Lagergut in den Lagergestellen ist ebenfalls in den Belegungsplänen aufzuführen.

(3) Es ist sicherzustellen, dass der für den Reaktor vorgesehene Beladeplan den in den Abschnitten 3 der Regeln KTA 3101.1, KTA 3101.2 und KTA 3101.3 (in Erarbeitung) jeweils aufgeführten sicherheitstechnischen Anforderungen genügt. Erweist es sich während der Durchführung des Brennelementwechsels als erforderlich, vom vorgesehenen Beladeplan abzuweichen, so ist den Anforderungen und Festlegungen in 6.3.1 (8) und (9) zu genügen.

(4) Es ist sicherzustellen, dass bei einem Brennelementwechsel die Kritikalitätssicherheit im Reaktor gemäß Abschnitt 5 sowie im Lagerbecken gemäß KTA 3602, 4.2.6 gewährleistet ist.

(5) Bei Handhabung und Umsetzung von Brennelementen und zugehörigen Einrichtungen im Lagerbecken zur Vorbereitung eines Brennelementwechsels im Sinne von 1 (2) sowie während und nach Abschluss des Brennelementwechsels im Sinne von 1 (2) sind die Anforderungen nach KTA 3602, 4.4.1 (6) und (9) zu erfüllen.

Hinweise:

(1) KTA 3602, 4.4.1 (6) legt fest, dass ohne gesonderten Sicherheitsnachweis zu jedem Zeitpunkt nur jeweils ein Brennelement im Lagerbecken gehandhabt werden darf. Eine gleichzeitige Handhabung von Brennelementen in der Inspektions- und Reparatureinrichtung sowie, im Fall von SWR-Brennelementen, in der Kastenabstreifeinrichtung wird aber zugelassen.

(2) KTA 3602, 4.4.1 (9) legt die Anforderungen fest, die bei einem Mehr-Zonen-Lager zu erfüllen sind, um eine Fehlpositionierung eines Brennelements in eine von der operativen Zone verschiedene Zone auszuschließen.

(6) Die Handhabung von Brennelementen und zugehörigen Einrichtungen in Reaktordruckbehältern und in Lagerbecken darf nur nach schriftlicher Anweisung und zur Ausführung freigegebenem Schrittfolgeplan erfolgen, der den Anforderungen nach 4 (3) bis (9) genügen muss. Bei mehreren Schrittfolgeplänen sind die Voraussetzungen für die Abarbeitung der verschiedenen Schrittfolgepläne eindeutig anzugeben.

(7) Die Handhabungsvorgänge müssen durch eine sachkundige Person erfolgen, die von einem vor Ort anwesenden sachkundigen Verantwortlichen (Aufsichtsführender vor Ort) kontrolliert wird.

(8) Es ist sicherzustellen, dass jede einzelne Handhabung oder Umsetzung eines Brennelements oder einer zugehörigen Einrichtung dem Einzelfallkriterium genügt, so dass es bei einer einzelnen Abweichung vom bestimmungsgemäßen Ablauf des Brennelementwechsels nicht zu einem unzulässigen Zustand (z. B. einer Fehlpositionierung eines Brennelements im Reaktor) kommen kann.

Hinweis:

Dies bedeutet, dass jeder Schritt der Planung und Durchführung eines Brennelementwechsels dem Einzelfallkriterium unterworfen wird.

(9) Die Belegungspläne sind nach schriftlich dokumentierter Abarbeitung des Schrittfolgeplans nach (6) gemäß den Anforderungen nach (2) zeitnah zu aktualisieren.

4 Planung der Durchführung eines Brennelementwechsels

(1) Die Planung eines Brennelementwechsels und seiner Durchführung darf nur von sachkundigen Personen ausgeführt werden. Zur Planung gehören:

- a) die Sicherstellung, dass den Anforderungen nach 3 (3) bis (5) und (8) genügt wird,
- b) die Überprüfung der Belegungspläne gemäß 3 (2) auf Aktualität,
- c) die Erstellung, Änderung und Prüfung von Schrittfolgeplänen und
- d) die Festlegung von Randbedingungen, die bei der Beladung und Umsetzung der Brennelemente einzuhalten sind (beim DWR z. B. Entlade- und Beladeschema, beim SWR z. B. eine vorgesehene $\frac{3}{4}$ -Beladung).

(2) Vor der Planung der Durchführung eines Brennelementwechsels ist Konsistenz der aktuellen Belegung der Lager mit den Belegungsplänen sicherzustellen.

(3) Es sind Schrittfolgepläne für den Brennelementwechsel unter Zugrundelegung

- a) der aktuellen Belegungspläne,
- b) des vorgesehenen Beladepans und
- c) der gemäß (1) d) festgelegten Randbedingungen

zu erstellen.

(4) Ein Schrittfolgeplan muss hinsichtlich der Reihenfolge der bei einem Brennelementwechsel durchzuführenden Schritte so konzipiert sein, dass die Kritikalitätssicherheit für jeden Umsetzungsschritt gemäß 3 (4) sichergestellt ist.

(5) Bei der Erstellung eines Schrittfolgeplans für einen Brennelementwechsel in einer SWR-Anlage sind zusätzlich die Anforderungen nach 6.3.2 (1) bis (3) zu beachten.

(6) Ein Schrittfolgeplan muss

- a) unverwechselbar die Kampagne bezeichnen, für die er gilt (z. B. „Brennelementwechsel <Jahreszahl>“ oder „Brennelementwechsel nach Zyklus Nr. <n>“),
- b) in einem Titel unverwechselbar die auszuführenden Arbeiten zusammenfassend beschreiben (z. B. „Entladen des Reaktors in das Nasslager“ oder „Neubeladung des Reaktors für Zyklus Nr. <n+1>“),
- c) eine unverwechselbare Identifikation besitzen,
- d) sein Erstellungsdatum ausweisen,
- e) die Reihenfolge der vorzunehmenden Umsetzungen von Brennelementen und zugehörigen Einrichtungen eindeutig festlegen,
- f) für jeden Umsetzungsschritt eindeutig und unverwechselbar folgende Daten angeben:
 - fa) die Identifikation des umzusetzenden Brennelements oder der zugehörigen Einrichtung,
 - fb) die Ausgangsposition, von der aus die Umsetzung zu erfolgen hat, durch Angabe des Anlagenteils, in der sich diese Position befindet (z. B. „RE“ für „Reaktor“), und der Koordinaten dieser Position,
 - fc) die Zielposition, zu der die Umsetzung zu erfolgen hat, durch Angabe des Anlagenteils, in der sich diese Position befindet (z. B. „NL“ für „Nasslager“), und der Koordinaten dieser Position sowie
 - fd) falls erforderlich, die Änderung der Orientierung des Brennelements oder der zugehörigen Einrichtung,
- g) für jeden Umsetzungsschritt außerdem ein Eingabefeld für die gemäß 6.3.1 (6), auszuführende Dokumentation der Durchführung des Umsetzungsschrittes vorsehen,
- h) Unterbrechungen der Beladungen eines SWR-Kerns, die gemäß 6.3.2 (4), oder gemäß 6.3.2 (6) zwecks Durchführung einer Funktions- und Unterkritikalitäts-Prüfung (FUP) oder eines Abschaltstests (AST) erforderlich werden, eindeutig ausweisen und die auszuführenden Aktionen, Prüfungen und Freigaben benennen, die erforderlich sind, bevor die Beladung des Kerns fortgesetzt werden darf.

(7) In einem Schrittfolgeplan sind für die Bezeichnung der Ausgangs- und Zielposition nur die jeweiligen Absolutkoordinaten des jeweiligen Anlagenteils zulässig. Die Beschreibung des Orts einer Ausgangs- oder Zielposition eines Umsetzungsschrittes relativ zur Ausgangs- bzw. Zielposition eines vorhergehenden Umsetzungsschrittes ist unzulässig.

(8) Durch die optische Gestaltung des Schrittfolgeplans ist Übersichtlichkeit und gute Lesbarkeit für den Einsatz des Plans auf der Lademaschine sicherzustellen.

(9) Ein Schrittfolgeplan ist nach seiner Erstellung von seinem Ersteller durch Unterschrift abzuzeichnen. Der Schrittfolgeplan ist vor seiner Ausführung durch eine an seiner Erstellung nicht

beteiligte Person zu überprüfen. Die Richtigkeit des Schrittfolgeplans ist durch Unterschrift unter Angabe des Prüfdatums auf dem Schrittfolgeplan zu dokumentieren.

(10) Der Einsatz eines Computerprogrammsystems zur Erstellung von Schrittfolgeplänen und zur Dokumentation der jeweils aktuellen Belegung des Reaktors und der Lager für Brennelemente und zugehörige Einrichtungen ist einer manuellen Erstellung von Schrittfolge- und Belegungsplänen vorzuziehen. Das Programmsystem muss vor seinem Einsatz in den genannten Funktionen der Verifikation und Validation unterworfen werden.

5 Kritikalitätssicherheit im Reaktor während des Brennelementwechsels

5.1 Grundlegende Anforderungen

(1) Der zur Gewährleistung der Kritikalitätssicherheit erforderliche Sicherheitsabstand zur Kritikalität darf den Wert von $\Delta k_S = 0,003$ nicht unterschreiten.

(2) Der Nachweis, dass dieser Sicherheitsabstand Δk_S sowohl bei bestimmungsgemäßem Ablauf des Brennelementwechsels, als auch bei einer einzelnen Abweichung vom bestimmungsgemäßen Ablauf des Brennelementwechsels (Einzelfallkriterium) eingehalten wird, ist unter den anlagenspezifischen Anforderungen, Festlegungen und Randbedingungen in 5.2 zu führen.

(3) Beim Nachweis, dass der Sicherheitsabstand Δk_S eingehalten wird, muss der für den Abstand zur Kritikalität ermittelte Wert Δk_{eff} unter Berücksichtigung aller Unsicherheiten Δk_U gemäß 5.3 folgende Ungleichung erfüllen:

$$\Delta k_{\text{eff}} \geq \Delta k_S + \Delta k_U \quad (5-1)$$

Hierbei ist der Fall zu berücksichtigen, dass der bei bestimmungsgemäßem Ablauf des Brennelementwechsels nicht zu erwartende, aber in der Auslegung des Brennelementwechsels zu unterstellende Ereignisablauf eintritt, der zum geringsten Abstand zur Kritikalität führt.

Hinweis:

Bei bestimmungsgemäßem Ablauf des Brennelementwechsels und vollständiger Entladung des Reaktors in das Nasslager und anschließender Neubeladung des Reaktors aus dem Nasslager ist die reaktivste Konfiguration im Allgemeinen durch die vollständige Belegung des wiederbeladenen Reaktors gegeben. Dies ist nicht notwendigerweise der Fall, wenn der Reaktor nicht vollständig entladen wird, sondern Brennelemente im Reaktor umgesetzt werden: In diesem Fall können sich Brennelementanordnungen ergeben, die eine höhere Reaktivität als die vollständige Belegung des wiederbeladenen Reaktors aufweisen. Bei einem DWR-Kern ist außerdem für die Identifikation der reaktivsten Konfiguration während des Brennelementwechsels von Bedeutung, ob von der Präsenz von Steuerstäben im Kern gemäß 5.2.1 (2) b) Gebrauch gemacht wird oder nicht.

(4) Bei rechnerischer Nachweisführung mit bewährten Auslegungsverfahren ist ein Betrag von mindestens 0,01 für Δk_{eff} einzuhalten.

5.2 Anlagenspezifische Anforderungen und Festlegungen

5.2.1 Druckwasserreaktoranlagen

(1) Konzentration an Bor-10 im Kühlmittel

Bezüglich der Konzentration an Bor-10 im Wasser des Reaktorraums gelten für den Nachweis, dass der Anforderung nach 5.1 (3) genügt wird, folgende Anforderungen und Festlegungen:

- a) Es ist derjenige Wert der Konzentration an Bor-10 im Wasser des Reaktorraums zu bestimmen, der zur Einhaltung des Sicherheitsabstands zur Kritikalität gemäß 5.1 (3) mindestens erforderlich ist.

b) Es ist zu prüfen, ob der Eintritt eines Ereignisablaufs zu unterstellen ist, der zu einer Abnahme der Bor-Konzentration im Wasser des Reaktorraums führt. Sollte dies der Fall sein, so ist derjenige Ablauf anzunehmen, der von allen möglichen Abläufen zur größten Reaktivitätszunahme führt.

(2) Steuerelemente

a) Grundsätzlich ist beim Nachweis, dass der Anforderung nach 5.1 (3) genügt wird, zu unterstellen, dass keine Steuerelemente im Reaktorkern vorhanden sind.

b) Von der Präsenz von Steuerelementen im Reaktorkern darf jedoch Gebrauch gemacht werden, wenn für jedes dieser Steuerelemente separat

ba) dessen Präsenz und korrekte Positionierung im Reaktorkern durch Maßnahmen, die dem Einzelfallkriterium genügen, sichergestellt ist und

bb) dessen Absorbergehalt nachweislich bekannt oder nachweislich konservativ abgeschätzt ist und

bc) dessen Reaktivitätsbindung unter Berücksichtigung der gemäß (1) a) mindestens erforderlichen Konzentration an Bor-10 im Wasser des Reaktorraums nachweislich bekannt oder nachweislich konservativ abgeschätzt ist.

c) Wird von der Präsenz von Steuerelementen Gebrauch gemacht, so ist das Fehlen des Steuerelements mit der größten Reaktivitätsbindung zu unterstellen. Für diesen postulierten Fall ist kein weiterer Fehler zu unterstellen.

(3) Postulat der Fehlpositionierung eines Brennelements im Reaktorkern

Beim Nachweis, dass der Anforderung nach 5.1 (3) genügt wird, ist die Fehlpositionierung eines Brennelements zu unterstellen. Dabei ist diejenige Fehlpositionierung anzunehmen, die zum größten Wert von k_{eff} führt. Für diesen postulierten Fall ist kein weiterer Fehler zu unterstellen.

5.2.2 Siedewasserreaktoranlagen

(1) Für den Nachweis, dass der Anforderung nach 5.1 (3) genügt wird, gelten folgende Postulate:

a) Es ist das Fehlen eines Steuerstabs in einer komplett beladenen Steuerstabzelle zu unterstellen. Dabei ist diejenige Steuerstabzelle zugrunde zu legen, bei der das Fehlen des Steuerstabs die größte Reaktivitätsänderung bewirkt. Für diesen postulierten Fall ist kein weiterer Fehler zu unterstellen.

b) Bei der Komplettierung der Beladung einer Steuerstabzelle ist ein fehlpositioniertes Brennelement zu unterstellen. Dabei ist diejenige Fehlpositionierung anzunehmen, die zum größten Wert von k_{eff} führt. Für diesen postulierten Fall ist kein weiterer Fehler zu unterstellen.

(2) Bei der Beladung von SWR ist die Gültigkeit der Anforderung

a) nach 5.1 (3) für die Dauer der Durchführung einer Funktions- und Unterkritikalitäts-Prüfung (FUP) sowie

b) nach 5.1 (1) und (3) für die Dauer der Durchführung eines Abschaltstests (AST)

unter Berücksichtigung der Anforderungen nach 6.3.2 (6) aufgehoben.

Hinweise:

(1) Bei einer FUP wird in einer endgültig mit Brennelementen beladenen Steuerstabzelle der Steuerstab unter Kontrolle des Neutronenflusses über seine gesamte Länge verfahren. Die primäre Aufgabe einer FUP ist es, die Funktionsfähigkeit der Steuerstabtriebe und die Verfahrbarkeit der Steuerstäbe zu überprüfen. Weiter wird durch die Durchführung von FUPs sichergestellt, dass für die erreichte Beladekonfiguration eine Abschaltreserve von mindestens einem Steuerstab zur Verfügung steht.

(2) Ein AST wird üblicherweise dann durchgeführt, wenn während des Beladens eine rechteckige Anordnung von 2x3 endgültig beladenen Steuerstabzellen entstanden ist, von der noch keine Zelle bei einem früheren AST erfasst wurde. Als durch den AST erfasst gilt – je nach Anlage –

a) die quadratische Anordnung von 2x2 Steuerstabzellen, welche die beiden diagonal benachbarten, gefahrenen Steuerstäbe enthält, oder

b) die gesamte Anordnung von 2x3 Steuerstabzellen.

Bei einem AST wird unter Kontrolle des Neutronenflusses der wirksamste Steuerstab der betroffenen Anordnung voll ausgefahren. Anschließend wird ein diagonal benachbarter Steuerstab so weit ausgefahren, bis durch diesen rechnerisch 1% Reaktivität freigesetzt ist oder Kritikalität erreicht wird. Für einen bei dem AST voll ausgefahrenen Steuerstab ist sichergestellt, dass eine Abschaltreserve von mehr als dem Reaktivitätsäquivalent des Steuerstabs zur Verfügung steht.

(3) Der Nachweis, dass eine ausreichende Netto-Abschaltreserve zur Verfügung steht, wird mit den Nullleistungsprüfungen erbracht.

(3) Die Art und die Ausführung der gemäß (2) durchzuführenden Kontrollen sind in einer schriftlichen betrieblichen Regelung zu beschreiben und festzulegen. Die Resultate der gemäß (2) durchgeführten Kontrollen sind zu dokumentieren.

5.3 Anforderungen an die Durchführung rechnerischer Kritikalitätssicherheitsnachweise

5.3.1 Anforderungen an Berechnungssysteme

(1) Zum Nachweis der Kritikalitätssicherheit benutzte nukleare Berechnungssysteme müssen

a) die sicherheitstechnisch wesentlichen Kenngrößen des kalten Reaktorkerns berechnen können, die durch die Anordnungen von Brennelementen und sonstigen Einrichtungen bestimmt werden, wie sie sich beim Ablauf des Brennelementwechsels ergeben können,

b) die neutronenphysikalischen Effekte der in Anhang A, A.1 aufgeführten Einflussgrößen beschreiben können,

c) mindestens für die Berechnung der für Brennelementwechsel relevanten sicherheitstechnischen Kenngrößen gemäß den Anforderungen und Festlegungen in Anhang A, A.2, validiert sein.

Hinweis:

Unter einem nuklearen Berechnungssystem wird hier die Gesamtheit aller Programmkomponenten verstanden, die im jeweiligen Anwendungsfall für den Nachweis der Kritikalitätssicherheit erforderlich sind.

(2) Durch Validation gemäß (1) c) gerechtfertigte Näherungen und Vereinfachungen bei der Berechnung der sicherheitstechnischen Kenngrößen und in den dabei gemäß (1) b) erforderlichen Beschreibungen neutronenphysikalischer Effekte sind zulässig. Zu solchen Näherungen und Vereinfachungen gehören beispielsweise:

a) Vereinfachungen und Näherungen bei der Beschreibung der Materialverteilungen im Reaktor,

b) Näherungsverfahren zur Berechnung von k_{eff} ,

c) Diskretisierung des kontinuierlichen Neutronenspektrums und

d) Betrachtung von Teilbereichen des Reaktorkerns.

(3) Die Validation eines Berechnungssystems darf auch durch Vergleich mit einem anderen für den Anwendungsfall validierten Berechnungssystem erfolgen.

5.3.2 Anforderungen an den Nachweis der Gewährleistung der Kritikalitätssicherheit

(1) Beim Nachweis, dass das Kritikalitätssicherheitsakzeptanzkriterium Ungleichung (5-1) in einem nach 5.2 zu betrachtenden Anwendungsfall erfüllt wird, ist Δk_U der Ungleichung (5-

1) unter Beachtung der Anforderung in Anhang A, A.2.2 zu quantifizieren. Δk_U enthält folgende Beiträge:

- den durch Validation des benutzten Berechnungssystems abgeschätzten empirischen Bias des Berechnungssystems in Bezug auf den Anwendungsfall,
- die aus den Unsicherheiten (Varianzen und Korrelationen) der nuklearen Daten herrührenden Unsicherheiten der berechneten Neutronenmultiplikationsfaktoren für den Anwendungsfall und für die zur Validation des benutzten Berechnungssystems ausgewerteten Benchmarks,
- die aus den Unsicherheiten (Fertigungstoleranzen oder, je nach Parameter, Biases, Varianzen und Korrelationen) in den Parametern, die den Anwendungsfall charakterisieren (vgl. Anhang A, A.1), herrührende Unsicherheit in dem für den Anwendungsfall berechneten Neutronenmultiplikationsfaktor und
- die aus den Unsicherheiten (Fertigungstoleranzen oder, je nach Parameter, Biases, Varianzen und Korrelationen) in den Parametern, die die zur Validation des benutzten Berechnungssystems ausgewerteten Benchmarks charakterisieren, sich ergebenden Unsicherheiten der für diese Benchmarks berechneten Neutronenmultiplikationsfaktoren.

Die Quantifizierung von Δk_U darf, abhängig von der zur Verfügung stehenden Validierungsbasis, entweder integral (siehe (2)) oder durch Bestimmung der Einzelbeiträge erfolgen.

(2) Eine gesonderte Betrachtung der in (1) b) bis d) benannten Beiträge zum Term Δk_U der Ungleichung (5-1) ist nicht erforderlich, wenn Anwendungsfall und das als Validierungsbasis verwendete Benchmarksystem direkt vergleichbar sind, z. B. aufgrund der Durchführung von den in Anhang A, A.2.1 (4) a) bis e) aufgeführten kritischen Messungen am Reaktor.

Hinweis:

In einem solchen Fall ergibt sich nämlich die Summe Δk_U der in (1) a) bis d) benannten Beiträge direkt aus der Differenz zwischen dem für den Neutronenmultiplikationsfaktor k_{eff} erhaltenen Rechenwert und dem Erwartungswert $E[k_{\text{eff}}] = 1$.

(3) Der Term Δk_U in Ungleichung (5-1) ist, sofern er eine statistische Größe ist, als einseitige obere 95%/95%-Toleranzgrenze auszudrücken.

(4) Für die Quantifizierung der in (1) a) bis d) benannten Beiträge zum Term Δk_U der Ungleichung (5-1) dürfen Näherungsverfahren benutzt werden, vorausgesetzt, dass diese Näherungsverfahren nachweislich nicht zu einer Unterschätzung von Δk_U für den zu betrachtenden Anwendungsfall führen.

6 Durchführung des Brennelementwechsels

6.1 Allgemeine Anforderungen

(1) Die Erfüllung der Anforderung nach 3 (4) (Gewährleistung der Kritikalitätssicherheit) ist sicherzustellen.

(2) Die Neutronenzählraten im Reaktor sind während der Beladung oder dem Umsetzen messtechnisch zu überwachen.

Hinweis:

Bei der Beladung eines DWR-Kerns lässt sich bei Kenntnis des Schrittfolgeplans der Verlauf der Neutronenzählrate in guter Näherung vorhersagen. Warnschwellen für Abweichungen von den vorhergesagten Zählraten nach unten (Ausfall des Detektors oder der Messelektronik) oder nach oben (unerwartete Zunahme des Neutronenflusses) sind in Abhängigkeit vom Beladezustand und -fortschritt definierbar. Die gemäß 6.2 (1) einzustellende Borkonzentration ist somit unter Berücksichtigung der Sensitivität der gemessenen Neutronenzählrate auf Änderungen zuverlässig überwachbar.

(3) Vor dem Beladen des Reaktors ist die aktuelle Belegung der Lager für Brennelemente und zugehörige Einrichtungen auf

Übereinstimmung mit den Belegungsplänen zu überprüfen. Das Ergebnis der Überprüfung ist zu dokumentieren. Erforderlichenfalls sind die Belegungspläne oder die Lagerbelegung entsprechend dem Ergebnis der Überprüfung zu aktualisieren und die Durchführung der Aktualisierung zu dokumentieren.

6.2 Vorbereitungen zum Brennelementwechsel

(1) Bei Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktor ist vor Herstellen der Verbindung zwischen Reaktorraum und Lagerbecken sicherzustellen, dass die Konzentration an Bor-10 im Wasser des Reaktorraums und des Lagerbeckens mindestens so groß ist, dass der Anforderung nach 3 (4) genügt wird.

(2) Die sonstigen Anforderungen der KTA 3602, 4.4.3 (Brennelementwechsel) sind einzuhalten.

6.3 Wechsel der Brennelemente

6.3.1 Allgemeine Anforderungen

(1) Das Ent- und Beladen des Reaktorkerns mit Brennelementen und zugehörigen Einrichtungen darf nur von sachkundigen Personen durchgeführt werden.

(2) Handhabungen von Brennelementen und zugehörigen Einrichtungen sind mit einer Brennelementwechsellmaschine nach KTA 3902 durchzuführen. Für Handhabungen, die mit der Brennelementwechsellmaschine nicht durchgeführt werden können, sind Hebezeuge nach KTA 3902 zu verwenden.

(3) Der Fahrweg der Brennelementwechsellmaschine muss während seiner Benutzung frei von Hindernissen sein.

(4) Es dürfen keine den Arbeitsablauf gefährdenden anderen Arbeiten im Arbeitsbereich der Brennelementwechsellmaschine ausgeführt werden.

(5) Bei Arbeitspausen, bei Schicht- und Personalwechsel sowie bei Unterbrechungen von Handhabungsvorgängen sind Greifer und Lastaufnahmeeinrichtungen lastfrei in eine sichere Position zu fahren.

(6) Handhabungen von Brennelementen und zugehörigen Einrichtungen sind nach einem Schrittfolgeplan auszuführen, der den Anforderungen gemäß 4 (3) bis (9) genügt. Jeder abgeschlossene Handhabungsvorgang ist von dem gemäß 3 (7) vor Ort anwesenden sachkundigen Verantwortlichen mit Datum und Uhrzeit auf dem Schrittfolgeplan namentlich zu signieren.

Hinweis:

Moderne Brennelementwechsellmaschinen können den Schrittfolgeplan in elektronischer Form erhalten. Auf einem Bildschirm auf der Lademaschine wird dieser Schrittfolgeplan sichtbar gemacht. Umsetzungsvorgänge können per ausfallsicher ausgelegter Steuerung der Lademaschine nach Vorgabe dieses Schrittfolgeplans erfolgen.

(7) Zulässige Abweichungen vom Schrittfolgeplan im Fall von Handhabungsproblemen sind in einer Betriebsanweisung zu regeln. Diese Betriebsanweisung muss den Anforderungen nach 3 (8) (Einzelfallkriterium) und 5.1 (1) bis (3) (Kritikalitätssicherheit) genügen. Bei Abschluss der Kernbeladung muss diese dem gültigen Beladeplan entsprechen. Der vor Ort anwesende sachkundige Verantwortliche hat die Änderung der Schrittfolge mit Datum und Uhrzeit namentlich zu dokumentieren.

(8) Das Vorgehen bei Abweichungen vom Beladeplan aufgrund von Nichtverfügbarkeit von Brennelementen oder zugehörigen Einrichtungen (z. B. aufgrund festgestellter Schäden an Brennelementen oder zugehörigen Einrichtungen), die hinsichtlich der Kritikalitätssicherheit kompatibel mit dem ursprünglich vorgesehenen Beladeplan sind, ist vorab in einer Betriebsanweisung zu regeln. Diese Betriebsanweisung muss den Anforderungen nach 3 (8) (Einzelfallkriterium) und 5.1 (1) bis (3) (Kritikalitätssicherheit) genügen. Die Betriebsanweisung muss die

Verantwortlichkeiten für die Erstellung und Dokumentation des geänderten Beladeplans und Schrittfolgeplans regeln.

Hinweis:

Ein kompatibler Beladeplan kann z. B. ein Beladeplan sein, in dem ein reaktives Element durch ein weniger reaktives ersetzt wird.

(9) Sind Änderungen am Beladeplan erforderlich, welche die Voraussetzungen nach (8) nicht erfüllen, so sind

- a) die Beladung des Reaktorkerns abzubrechen,
- b) der Grund der Änderungen zu dokumentieren,
- c) die Belegungspläne gemäß 3 (9) zu aktualisieren, und
- d) die weitere Durchführung der Beladung des Reaktorkerns gemäß dieser Regel neu zu planen.

(10) Die Beladung des Reaktors ist auf Übereinstimmung mit dem gültigen Beladeplan hinsichtlich der Positionierung und Orientierung der Brennelemente und, beim DWR, der zugehörigen Einrichtungen zu überprüfen und das Ergebnis der Überprüfung zu dokumentieren (Kern-Endkontrolle).

6.3.2 Spezielle Anforderungen bei Siedewasserreaktoranlagen

(1) Die Steuerelementantriebe sind vor Beginn des Wechsels der Brennelemente elektrisch unscharf zu schalten. Das Scharfschalten einzelner Antriebe zur Durchführung spezieller Tätigkeiten (z. B. FUPs oder ASTs) ist in einer Betriebsanweisung zu regeln.

(2) Vor Ausbau des Steuerstabantriebs oder eines Steuerstabs oder Ausfahren eines Steuerstabs sind die Brennelemente der betroffenen Steuerstabzelle komplett zu entladen. Abweichungen sind in (7) geregelt.

(3) Bei Ausbau des Steuerstabsantriebs ist durch eine dem Einzelfallkriterium genügende Regelung sicherzustellen, dass der Steuerstab nicht bewegt werden kann. Ist dies nicht möglich, ist die Steuerstabzelle durch Entladen von Brennelementen so vorzubereiten, dass die Anforderungen an die Kritikalitätssicherheit gemäß 5.1 (1) - auch unter der Annahme des vollständigen Ausfahrens des Steuerstabs in der betroffenen Steuerstabzelle - erfüllt ist.

(4) Bei einer Ganzkernentladung ist es abweichend von (2) zulässig, nach Erreichen einer Kernkonfiguration, deren Unter-

kritikalität ohne Steuerstäbe gemäß 5.1 (1) bis (3) nachgewiesen ist (z. B. Schachbrettmuster), die Steuerstäbe bereits bei dieser Konfiguration auszufahren.

(5) Vor Beladen einer Steuerstabzelle mit einem Brennelement ist sicherzustellen, dass der Steuerstab dieser Zelle eingebaut und eingefahren ist.

(6) Beim Einbau eines Steuerstabs ist die Identität des Steuerstabs zu überprüfen und das Ergebnis der Überprüfung zu dokumentieren.

Hinweis:

Die Identität des Steuerstabs kann beim SWR nicht mehr durch eine Kontrolle des gesamten Kerns gemäß 6.4 (1) festgestellt werden. Deshalb erfolgt die Kontrolle beim Einbau.

(7) Bei Durchführung einer FUP oder eines AST ist (2) aufgehoben. Durch Kontrollmaßnahmen, die dem Einzelfallkriterium genügen, ist sicherzustellen, dass

- a) die zu prüfende Steuerstabzelle bzw. die zu testenden Steuerstabzellen ordnungsgemäß mit Brennelementen beladen sind, d. h., dass keine Fehlpositionierungen von Brennelementen vorliegen,
- b) sämtliche Steuerstäbe eingefahren sind,
- c) der Reaktorschutz in Betrieb ist und
- d) das Schnellabschaltssystem in Betrieb ist.

6.4 Maßnahmen vor dem Schließen des Reaktordruckbehälters

(1) Die Freigängigkeit der Steuerelemente ist zu überprüfen:

- a) beim DWR nach Einbau des oberen Kerngerüsts und Ankopplung der Steuerelementantriebstangen,
- b) beim SWR, sofern dies nicht bereits vor abgeschlossener Kernbeladung im Rahmen der Durchführung von FUP erfolgt ist.

Die Ergebnisse der Prüfungen sind zu dokumentieren.

(2) Bei Verwendung von Deionat zur Reinigung der Wände des Reaktorraums (DWR) müssen die Anforderungen nach 5.1 (1) bis (3) (Kritikalitätssicherheit) eingehalten werden.

Anhang A

Durchführung rechnerischer Kritikalitätssicherheitsnachweise zu Brennelementwechseln in Leichtwasserreaktoren

A.1 Einflussgrößen (Detaillierung der Anforderung nach 5.3.1 (1) b))

Ein zum rechnerischen Nachweis der Kritikalitätssicherheit von Leichtwasserreaktorkernen bei Brennelementwechseln eingesetztes nukleares Berechnungssystem muss die neutronenphysikalischen Effekte folgender Einflussgrößen beschreiben können:

- (1) Materialien, Abmessungen und Aufbau von Brennelementen:
 - a) Geometrischer Aufbau der Brennelemente: Abmessungen und Anordnung von Brennstäben, Führungs- oder Wasserrohren, Wasserkästen (SWR), Brennelementkästen (SWR) und gegebenenfalls sonstiger Strukturteile
 - b) Kernbrennstoffdaten: Nuklidinventare unbestrahlter Brennelemente unter Berücksichtigung gegebenenfalls vorhandener abbrennbarer Neutronenabsorber sowie Nuklidinventare bestrahlter Brennelemente und räumliche Verteilung der jeweiligen Nuklidinventare
 - c) Materialdaten der Brennstabhüllrohre, Führungs- und/oder Wasserrohre, Wasserkästen (SWR), Brennelementkästen (SWR) und gegebenenfalls der sonstigen Strukturteile
- (2) Materialien, Abmessungen und Aufbau von Steuerelementen
- (3) Materialien, Abmessungen, Aufbau und Anordnung gegebenenfalls eingesetzter sonstiger Absorberstäbe
- (4) Materialien, Abmessungen, Aufbau und Anordnung sonstiger Einrichtungen, soweit sie einen Einfluss auf die Neutronenflussverteilung besitzen
- (5) Isotopische Zusammensetzung und Konzentration des im Moderator gelösten Bors (DWR)
- (6) Materialien, Abmessungen und Anordnung des den Reaktorkern umgebenden Reflektors
- (7) die durch den Ablauf des Brennelementwechsels bedingten Änderungen der Anordnung von Brennelementen, Steuerelementen und sonstigen Einrichtungen im Reaktorkern und der damit verbundenen neutronenphysikalischen Änderungen der Moderations-, Absorptions- und Reflexionsbedingungen
- (8) Steuerstabstellungen (SWR)
- (9) beim Brennelementwechsel auftretende Variationen der Moderatortemperatur
- (10) Änderungen im Nuklidinventar während Stillstandzeiten durch den radioaktiven Zerfall

A.2 Validation eines zum rechnerischen Nachweis der Kritikalitätssicherheit von Leichtwasserreaktorkernen bei Brennelementwechseln eingesetzten nuklearen Berechnungssystems (Detaillierung der Anforderung nach 5.3.1 (1) c))

A.2.1 Kriterien für die Auswahl von Benchmarks zur Validation eines Berechnungssystems

- (1) Die Validation eines Berechnungssystems soll basieren auf Vergleichen von Nachrechnungen mit Messergebnissen aus
 - a) Experimenten und Referenzmessungen gemäß (3),
 - b) kritischen Nulllast-Messungen gemäß (4),

c) Nachbestrahlungsmessungen.

(2) Bei der Auswahl experimenteller Anordnungen und Referenzmessungen gemäß (3) zur Validation der für einen Anwendungsfall durchgeführten Berechnungen ist auf neutronenphysikalische Ähnlichkeit mit dem Anwendungsfall zu achten. Ist diese gering oder liegen für den Anwendungsfall keine repräsentativen Messwerte gemäß (1) vor, so sind

- a) vergleichende Sensitivitätsanalysen auf die in A.1 (1) bis (10), genannten Einflussgrößen zwischen Anwendungsfall und zur Verfügung stehenden Benchmarks durchzuführen oder
- b) theoretische Benchmarks unter Durchführung solcher Sensitivitätsanalysen anzuwenden.

Hinweis:

Zur Definition der „neutronenphysikalischen Ähnlichkeit“ siehe DIN 25478, Beiblatt 1.

(3) Zu den zur Validation heranzuziehenden Experimenten und Referenzmessungen zählen insbesondere kritische Anordnungen

- a) für die neben der Messung der Neutronenmultiplikation auch Messungen der mikroskopischen Fluss- und Reaktionsratenverteilungen sowie der makroskopischen Flussdichteverteilung ausgeführt wurden,
- b) mit deren Hilfe Reaktivitätswerte bestrahlter Kernbrennstoffe im Vergleich zu den korrespondierenden unbestrahlten Kernbrennstoffen gemessen wurden,
- c) mit deren Hilfe die Reaktivitätswerte von abbrennbaren Neutronenabsorbern in unbestrahlten Kernbrennstoffen gemessen wurden,
- d) mit deren Hilfe die Reaktivitätswerte von solchen Neutronenabsorbern in bestrahlten Kernbrennstoffen gemessen wurden, die durch die Bestrahlung erzeugt wurden und die zur Reaktivitätsbindung des bestrahlten Kernbrennstoffes einen signifikanten Beitrag leisten,
- e) die feste Neutronenabsorber in Form von Stäben oder Platten in oder zwischen Brennstabgittern aufweisen,
- f) in denen im Moderator gelöstes Bor präsent ist (DWR),
- g) in denen Brennstabgitter von einem festen Reflektor umschlossen werden (insbesondere sind hier Stähle als Reflektormaterialien von Interesse, im Zusammenwirken mit Moderator zwischen Brennstabgittern und Reflektor).

(4) Zu den kritischen Nulllast-Messungen am kalten und xenonfreien Reaktorkern zählen Messungen

- a) kritischer Steuerstabstellungen,
- b) differentieller Steuerstabwirksamkeiten,
- c) differentieller Wirksamkeiten einer Steuerstabgruppe,
- d) des Temperaturkoeffizienten,
- e) kritischer Borkonzentrationen des Kerns mit verschiedenen Steuerstabkonfigurationen (DWR).

A.2.2 Beachtung statistischer Korrelationen von Benchmarkergebnissen

Es ist zu beachten, dass Validationsergebnisse aus verschiedenen Benchmarkexperimenten miteinander korreliert sind, wenn sie von gemeinsamen mit Unsicherheiten behafteten Einflussgrößen abhängen.

Hinweis:

Näheres siehe DIN 25478, Beiblatt 1.

Anhang B

Bestimmungen, auf die in dieser Regel verwiesen wird

(Die Verweise beziehen sich nur auf die in diesem Anhang angegebene Fassung. Darin enthaltene Zitate von Bestimmungen beziehen sich jeweils auf die Fassung, die vorlag, als die verweisende Bestimmung aufgestellt oder ausgegeben wurde.)

AtG		Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz – AtG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 28. August 2013 (BGBl. I 2013, Nr. 52, S. 3313) geändert worden ist
StrlSchV		Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714; 2002 I S. 1459), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 7 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist
SiAnf	(2012-11)	Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke (SiAnf) vom 22. November 2012 (BAnz vom 24.01.2013)
Interpretationen zu den SiAnf	(2013-11)	Interpretationen zu den „Sicherheitsanforderungen an KKW vom 22. November 2012“ vom 29.11.2013 (BAnz vom 10.12.2013)
KTA 3101.1	(2012-11)	Auslegung der Reaktorkerne von Druck- und Siedewasserreaktoren; Teil 1: Grundsätze der thermohydraulischen Auslegung
KTA 3101.2	(2012-11)	Auslegung der Reaktorkerne von Druck- und Siedewasserreaktoren; Teil 2: Neutronenphysikalische Anforderungen an Auslegung und Betrieb des Reaktorkerns und der angrenzenden Systeme
KTA 3101.3 (RE)	(2014-11)	Auslegung der Reaktorkerne von Druck- und Siedewasserreaktoren; Teil 3: Mechanische und thermische Auslegung - Regelentwurf
KTA 3602	(2003-11)	Lagerung und Handhabung von Brennelementen und zugehörigen Einrichtungen in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren
KTA 3902	(2012-11)	Auslegung von Hebezeugen in Kernkraftwerken
DIN 25478, Beiblatt 1	(2012-09)	Einsatz von Berechnungssystemen beim Nachweis der Kritikalitätssicherheit - Beiblatt 1: Erläuterungen