

Dokumentationsunterlage zur Regel

KTA 3101.1

Auslegung der Reaktorkerne von Druck- und Siedewasserreaktoren

Teil 1: Grundsätze der thermohydraulischen Auslegung

Fassung 2016-11

Inhalt

- 1 Auftrag des KTA
- 2 Beteiligte Personen
- 3 Erstellung des Regeländerungsentwurfs
- 4 Berücksichtigte Unterlagen
- 5 Ausführungen zur Regeländerung

1 Auftrag des KTA

(1) Aufgrund der nach Abschnitt 5.2 der Verfahrensordnung nach längstens 5 Jahren erforderlichen Überprüfung auf Änderungsbedürftigkeit hat der Unterausschuss REAKTORKERN UND SYSTEMAUSLEGUNG (UA-RS) auf seiner 23. Sitzung am 16. März 2016 über die Regel KTA 3101.1 beraten. Der UA-RS stellte fest, dass die Regel nach wie vor die Anforderungen angibt, bei deren Einhaltung die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge nach § 7 Atomgesetz getroffen ist. Inhaltliche Änderungen am Regeltext sind deshalb nicht erforderlich. Allerdings enthält die Fassung 2012-11 von KTA 3101.1 eine Inkompatibilität mit den SiAnf hinsichtlich der Dauer des Notstromfalls im Anhang A. Die Dauer des Notstromfalls war daher zu aktualisieren. In diesem Zusammenhang war der Grundlagenabschnitt, der Verweise auf das veraltete übergeordnete Regelwerk (BMI-Sicherheitskriterien, RSK-Leitlinien) enthielt, im Hinblick auf das aktuelle übergeordnete Regelwerk (Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke und deren Interpretationen) anzupassen.

(2) Der UA-RS beauftragte die KTA-Geschäftsstelle, einen entsprechend aktualisierten Regeländerungsentwurfsvorschlag vorzubereiten.

2 Beteiligte Personen

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

- aus Datenschutzgründen aus dieser Datei gelöscht

2.2 Zuständige Mitarbeiter der KTA-Geschäftsstelle

Dr. M. Petri

KTA-GS, Salzgitter

3 Erstellung des Regeländerungsentwurfs und der Regeländerung

(1) Der UA-RS beauftragte die KTA-Geschäftsstelle, einen Regeländerungsentwurfsvorschlag zu erstellen. Folgende Anpassungen sollten vorgenommen werden:

- a) Änderung der Zeitangabe hinsichtlich des kurzfristigen Notstromfalls im Anhang A von 2h auf 10h
- b) Anpassung des Grundlagenabschnitts an das aktuelle übergeordnete Regelwerk
- c) Aktualisierung der Verweise im Anhang B
- d) Erstellung der zugehörigen Dokumentationsunterlage, einschließlich redaktionelle Überarbeitung des auf der 23. UA-RS Sitzung am 16. März 2016 beschlossenen SiAnf-Abgleichs im Hinblick auf die vorgenommene Änderung der Zeitangabe hinsichtlich des kurzfristigen Notstromfalls

(2) Der UA-RS hat über den von der KTA-Geschäftsstelle erstellten Regeländerungsentwurfsvorschlag im schriftlichen Verfahren beraten. Der UA-RS beschloss am 27. Mai 2016, die aktualisierte Fassung von KTA 3101.1 dem KTA zu seiner 71. Sitzung am 22. November 2016 zur Verabschiedung als Regeländerungsentwurf vorzulegen. Aufgrund der Geringfügigkeit der Änderungen wurde dem KTA eine Beschlussfassung gemäß Abschnitt 5.3. der Verfahrensordnung des KTA vorgeschlagen (Aufstellung der geänderten Regel ohne weitere Beschlussfassung des KTA, sofern innerhalb von 3 Monaten keine inhaltlichen Änderungsvorschläge eingehen).

(3) Der KTA hat die Regeländerungsentwurfsvorlage auf seiner 71. Sitzung am 22. November 2016 behandelt und als Regeländerungsentwurf in der Fassung 2016-11 beschlossen. Die Beschlussfassung erfolgte nach Abschnitt 5.3. der Verfahrensordnung des KTA. Die Bekanntmachung des BMUB erfolgte im Bundesanzeiger vom 22.12.2016.

(4) Die 3-monatige Frist zur Öffentlichkeitsbeteiligung zum Regeländerungsentwurf der KTA 3101.1, Fassung 2016-11, lief vom 1. Februar 2017 bis 30. April 2017. Innerhalb dieser Frist gingen keine Einwendungen ein. Damit ist der Regeländerungsentwurf KTA 3101.1, Fassung 2016-11, gemäß Abschnitt 5.3 der Verfahrensordnung des KTA als Regeländerung aufgestellt. Die Bekanntmachung des BMUB erfolgte im Bundesanzeiger vom 19. Juni 2017.

4 Berücksichtigte Unterlagen

4.1 Abgleich mit den SiAnf und deren Interpretationen

(1) In den „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ (SiAnf) sind folgende übergeordnete Anforderungen enthalten, die den Anwendungsbereich der Regel KTA 3101.1 allgemein betreffen:

- a) Anforderung 2.1 „Konzept der gestaffelten Sicherheitsebenen“,
- b) Anforderung 2.2 „Konzept des gestaffelten Einschlusses der radioaktiven Inventare (Barrierenkonzept)“,
- c) Anforderung 2.3 „Schutzzielkonzept“,
- d) Anforderung 3.1 „Übergeordnete Anforderungen“

(2) Spezifische technische Anforderungen, welche den Anwendungsbereich der Regel KTA 3101.1 direkt betreffen, sind in enthalten in

- a) Anforderung 3.2 „Anforderungen an den Reaktorkern und die Abschaltvorrichtungen“
- b) Anforderung 3.3 „Anforderungen an die Einrichtungen zur Kühlung der Brennelemente im Reaktorkern“
- c) Anhang 2, „Sicherheitstechnische Nachweisziele und Nachweiskriterien der Sicherheitsebenen 2 bis 4a für die Reaktoranlage und das Schutzziel „Kühlung der Brennelemente“ (Tabelle 3.1b)“
- d) Anhang 2, „Sicherheitstechnische Nachweisziele und Nachweiskriterien der Sicherheitsebenen 2 bis 4a für die Reaktoranlage und das Schutzziel „Einschluss der radioaktiven Stoffe“ (Tabelle 3.1c)“
- e) Anhang 2 „Ereignislisten Leistungs- und Nichtleistungsbetrieb DWR/SWR“ (Tabellen 5.1 und 5.2)

(3) Weitere allgemeine Anforderungen, die nicht spezifisch für KTA 3101.1 sind, jedoch den Anwendungsbereich indirekt betreffen, finden sich in:

- a) Anforderung 4.1 „Betriebszustände, Störungen und Störfälle“,
- b) Anforderung 4.2 „Einwirkungen von innen und außen sowie aus Notstandsfällen“,
- c) Anforderung 5 „Anforderungen an die Nachweisführung“,

(4) Die Anforderungen nach SiAnf 3.2 (2) werden in der Interpretation I-1 „Anforderungen an die Auslegung und den Betrieb des Reaktorkerns“ präzisiert.

(5) Die Konkretisierungen der Festlegungen aus den SiAnf und den zugehörigen Interpretationen in KTA 3101.1 ist in der nachfolgenden **Tabelle D-1** dargestellt.

(6) Inkompatibilitäten zwischen den SiAnf und den Anforderungen der Regel KTA 3101.1 bestehen nicht.

Anforderungen nach SiAnf	Anforderungen nach den Interpretationen	Umsetzung in KTA 3101.1	Bewertung bezüglich KTA 3101.1
<p>2.1 (7) Durch das Konzept der gestaffelten Sicherheitsebenen ist sicherzustellen, dass ein einzelnes technisches Versagen oder menschliches Fehlverhalten auf einer der Sicherheitsebenen 1 bis 3 die Wirksamkeit der Maßnahmen und Einrichtungen der nächsten Ebenen nicht gefährdet</p>		<p>Gestaffeltes Sicherheitskonzept gemäß Abschnitt 3 Die thermohydraulische Kernausslegung basiert im Wesentlichen auf den inhärenten Eigenschaften des Reaktorkerns und beinhaltet nur wenige „aktive“ Elemente: Umwälzpumpen für das Kühlmitte, Systemen zur Begrenzung von DNB (DWR) und MASL (SWR), sowie des thermohydraulischen Kennfeldes beim SWR. Der Ausfall der Umwälzpumpen wird in den repräsentativen Ereignissen des Anhang A betrachtet. Die Systeme zur DNB- und MASL Begrenzung sind explizit dafür auszulegen, die sicherheitstechnischen Kennwerte in den höheren Sicherheitsebenen einzuhalten. Gleiches gilt für die Kennfeldbegrenzung beim SWR. Siehe auch 3.1 (1) bis (3)</p>	erfüllt
<p>2.1 (13) Die Maßnahmen und Einrichtungen der Sicherheitsebenen 1 bis 4a [...] müssen hohe Anforderungen an die Qualität und Zuverlässigkeit der Planung, Implementierung und Durchführung der Maßnahmen sowie der Auslegung, Fertigung, Errichtung und des Betriebs der Einrichtungen erfüllen. [...]</p>		<p>KTA 3101.1 insgesamt KTA 3101.1 stellt keine spezifischen Anforderungen an die Fertigung von <u>Einrichtungen</u>. Thema ist die thermohydraulische Kernausslegung, die i. W. über Rechnungen erfolgt. Die hohen Anforderungen an die jeweiligen Rechenprogramme, wie z.B. Berücksichtigung aller relevanten Effekte, der wesentlichen Zusammenhänge, der Besonderheiten gekoppelter Analysen und Berücksichtigung von Unsicherheiten werden in den Abschnitten 3 und 4 behandelt. Weitere technische Details sind in Abschnitt 5 behandelt.</p>	erfüllt
<p>2.2 (1) Der Einschluss der im Kernkraftwerk befindlichen radioaktiven Stoffe ist durch gestaffelte Barrieren sowie durch Rückhaltefunktionen sicherzustellen. [...] Die Barrieren und Rückhaltefunktionen sind insgesamt so auszulegen und während der gesamten Betriebsdauer in einem solchen Zustand zu halten, dass bei allen Ereignissen oder Anlagenzuständen auf den verschiedenen Sicherheitsebenen im Zusammenwirken mit den Maßnahmen und Einrichtungen der jeweiligen Sicherheitsebenen und den dabei auftretenden mechanischen, thermischen, chemischen und durch Strahlung hervorgerufenen Einwirkungen die jeweiligen sicherheitstechnischen Nachweisziele und Nachweiskriterien (siehe in Anhang 2) sowie die unter der Nummer 2.5 angegebenen radiologischen Sicherheitsziele eingehalten werden.</p>		<p>KTA 3101.1 insgesamt KTA 3101.1 regelt nicht direkt die Rückhaltefunktion der Barrieren, sondern stellt durch die thermohydraulische Kernausslegung sicher, dass die Temperaturen und Drücke im Reaktorkern soweit begrenzt werden, dass die zwei relevanten Barrieren (Brennstabhüllrohre, Druckführende Umschließung - DFU) ihre Rückhaltefunktion erfüllen. Die Einhaltung der Schutzziele und die Begrenzung des Drucks in der DFU auf allen Sicherheitsebenen ist in 3.1(5) bis (7) geregelt. Zur Einhaltung der Nachweiskriterien siehe Ausführungen zu SiAnf, Anhang 2</p>	erfüllt

Anforderungen nach SiAnf	Anforderungen nach den Interpretationen	Umsetzung in KTA 3101.1	Bewertung bezüglich KTA 3101.1
<p>2.2 (3) Auf den Sicherheitsebenen 1 und 2 sind neben den Rückhaltefunktionen zur Erfüllung der radiologischen Sicherheitsziele folgende Barrieren wirksam zu halten: a) für den Einschluss der radioaktiven Stoffe im Reaktorkern: 1. die Brennstabhüllrohre, abgesehen von zulässigen, betrieblich bedingten Hüllrohrschäden, 2. die Druckführende Umschließung des Reaktorkühlmittels, sofern der Reaktorkühlkreislauf nicht plangemäß geöffnet ist und [...]</p>		<p>3.1 (5) bis (7) 3.2 (3) 3.3 (1) und (2) 5.8.2 (4) bis (6)</p>	erfüllt
<p>2.2 (4) Auf der Sicherheitsebene 3 sind neben den erforderlichen Rückhaltefunktionen zur Erfüllung der radiologischen Sicherheitsziele folgende Barrieren wirksam zu halten: a) für den Einschluss der radioaktiven Stoffe im Reaktorkern: 1. die Brennstabhüllrohre [...] außer bei Kühlmittelverluststörfällen, 2. die Druckführende Umschließung des Reaktorkühlmittels, [...]</p>		<p>3.1 (5) bis (7) 3.4 5.8.2 (4) bis (6)</p>	erfüllt
<p>2.2 (5) Auf der Sicherheitsebene 4a sind im Hinblick auf den Einschluss der radioaktiven Stoffe und die Kühlbarkeit des Reaktorkerns neben den erforderlichen Rückhaltefunktionen folgende Barrieren wirksam zu halten: 1. die Brennstabhüllrohre in dem für die Einhaltung der hier geltenden Nachweisziele erforderlichen Umfang, 2. die Druckführende Umschließung, [...]</p>		<p>3.5 5.8.2 (4) bis (6)</p>	erfüllt
<p>2.3 (1) Mit den gemäß der Nummer 2.1 (3a) vorgesehenen Maßnahmen und Einrichtungen unter Beachtung der weiteren Anforderungen in Nummer 2.1 sind für die auf den jeweiligen Sicherheitsebenen geltenden Anforderungen die folgenden Schutzziele zu erfüllen: a) Kontrolle der Reaktivität, b) Kühlung der Brennelemente und c) Einschluss der radioaktiven Stoffe.</p>		<p>3.1 (5)</p>	erfüllt
<p>2.3 (2) Auf den Sicherheitsebenen 1 bis 4a sind folgende Anforderungen einzuhalten: [...] Zur Kühlung der Brennelemente: – [...], – der Wärmetransport vom Brennstoff bis zur Wärmesenke ist sicherzustellen, – [...]. Zum Einschluss der radioaktiven Stoffe: – die sich auf den verschiedenen Sicherheitsebenen ergebenden mechanischen, thermischen, chemischen und durch Strahlung hervorgerufenen Einwirkungen auf die Barrieren oder Rückhaltefunktionen sind so zu begrenzen, dass deren Wirksamkeit zur Einhaltung der unter Nummer 2.5 angegebenen radiologischen Sicherheitsziele erhalten bleibt [...]</p>		<p>KTA 3101.1 insgesamt. Relevant sind insbesondere: Abschnitt 3 4.1 (1) und (2) 5.1 (2) 5.4 5.6 5.7 5.8.1 5.8.2</p>	erfüllt

Anforderungen nach SiAnf	Anforderungen nach den Interpretationen	Umsetzung in KTA 3101.1	Bewertung bezüglich KTA 3101.1
<p>3.1 (2) Auf Maßnahmen und Einrichtungen der Sicherheitsebenen 1 bis 4a [...] sind bezüglich aller Betriebsphasen sicherheitsfördernde Auslegungs-, Fertigungs- und Betriebsgrundsätze anzuwenden (siehe auch Nummer 2.1 (13)), wie insbesondere:</p> <p>a) begründete Sicherheitszuschläge bei der Auslegung von Komponenten, in Abhängigkeit von deren sicherheitstechnischer Bedeutung; hierbei können in Bezug auf den Anwendungsfall anerkannte Regeln und Standards angewendet werden;</p> <p>b) Bevorzugung von inhärent sicher wirkenden Mechanismen bei der Auslegung;</p> <p>c) Verwendung qualifizierter Werkstoffe, Fertigungs- und Prüfverfahren sowie betriebsbewährter oder ausreichend geprüfter Einrichtungen</p> <p>d) [...]</p> <p>e) [...]</p> <p>f) Sicherstellung und Erhalt der Qualitätsmerkmale bei Fertigung, Errichtung und Betrieb</p> <p>g) Durchführung von wiederkehrenden Prüfungen in dem sicherheitstechnisch notwendigen Umfang</p> <p>h) zuverlässige Überwachung der in den jeweiligen Betriebsphasen relevanten Betriebszustände</p>		<p>3.1 (5) 4.3 5.8.2 (7)</p> <p>3.2 (1), 3.3 (3), 3.4 (1) und (2) 5.1</p> <p>indirekt durch 5.7.3</p> <p>indirekt durch 5.7.3</p> <p>nicht relevant für die thermohydraulische Kernauslegung</p> <p>5.8.2</p>	<p>erfüllt</p> <p>erfüllt</p> <p>erfüllt</p> <p>erfüllt</p> <p>nicht relevant</p> <p>erfüllt</p>
<p>3.1 (3) Zur Gewährleistung einer ausreichenden Zuverlässigkeit der Einrichtungen der Sicherheitsebene 3 (Sicherheitseinrichtungen) sind zusätzlich zu der Nummer 3.1 (2) folgende Auslegungsgrundsätze anzuwenden:</p> <p>a) Redundanz;</p> <p>b) Diversität;</p> <p>[...]</p> <p>e) sicherheitsgerichtetes Systemverhalten bei Fehlfunktion von Teilsystemen oder Anlagenteilen;</p> <p>f) Bevorzugung passiver gegenüber aktiven Sicherheitseinrichtungen;</p> <p>h) Automatisierung (in der Störfallanalyse sind von Hand auszulösende Schutzaktionen grundsätzlich nicht vor Ablauf von 30 Minuten zu kreditieren).</p>		<p>KTA 3101.1 behandelt nur bedingt die Auslegung von Einrichtungen der Sicherheitsebene 3.</p> <p>KTA 3101.1 behandelt die thermohydraulische Kernauslegung, und stellt eine inhärent sichere Auslegung sicher (i.W. passiv, d.h. ohne die Notwendigkeit aktiver Einrichtungen).</p> <p>Zur Einhaltung der Nachweiskriterien auf der SE 3 werden jedoch vorgelagerte Systeme verwendet, welche z.B. DNB und MASL bereits im Normalbetrieb auf Werte begrenzen, die für die Einhaltung der Nachweiskriterien auf den höheren Sicherheitsebenen erforderlich sind.</p>	<p>erfüllt, soweit für die thermohydraulische Kernauslegung relevant</p>

Anforderungen nach SiAnf	Anforderungen nach den Interpretationen	Umsetzung in KTA 3101.1	Bewertung bezüglich KTA 3101.1
<p>3.1 (6) Die Zuverlässigkeit und Wirksamkeit von Sicherheitsfunktionen der Sicherheitsebene 3 sind durch Maßnahmen und Einrichtungen, einschließlich ihrer Hilfs- und Versorgungssysteme, sicherzustellen – für alle bei den Ereignisabläufen zu unterstellenden Bedingungen, – bei störfallbedingten Folgeausfällen, – bei gleichzeitigem oder zeitlich versetztem Ausfall der Eigenbedarfsversorgung sowie – bei Ausfällen oder Unverfügbarkeiten gemäß dem Einzelfehlerkonzept nach Nummer 3.1 (7).</p> <p>Zwischen betrieblichen Grenzwerten und den Grenzwerten, die Sicherheitseinrichtungen auslösen, müssen ausreichende Abstände derart vorhanden sein, dass eine unerwünschte häufige Aktivierung von Sicherheitseinrichtungen nicht erfolgt.</p> <p>Grenzwerte, die Sicherheitseinrichtungen auslösen, müssen konservativ angesetzt werden, damit Unsicherheiten in den Sicherheitsanalysen berücksichtigt werden.</p>		<p>KTA 3101.1 behandelt nicht explizit die Auslegung von <u>Maßnahmen und Einrichtungen</u> für Sicherheitsfunktionen, sondern regelt die thermohydraulische Auslegung des Kerns (i.W. passiv über inhärente Eigenschaften) Dabei ist grundsätzlich nach 3.1 (4) das übergeordnete Regelwerk auf allen Sicherheitsebenen zu beachten. Das Einzelfehlerkonzept auf SE 3 ist für die thermohydraulische Kernauslegung nicht relevant.</p> <p>5.8.2 (7)</p> <p>4.3</p>	erfüllt
<p>3.1 (12) Prüfung und Wartung Alle sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen müssen so beschaffen und angeordnet sein, dass sie entsprechend ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung und Aufgabe vor ihrer Inbetriebnahme und danach in regelmäßigen Zeitabständen in hinreichendem Umfang geprüft und gewartet werden können, um den spezifikationsgerechten Zustand feststellen und sich anbahnende Abweichungen von prüfbaren Qualitätsmerkmalen erkennen zu können.</p> <p>Die Funktion von sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen ist unter Bedingungen, die möglichst dem Anforderungsfall entsprechen, im erforderlichen Umfang zu prüfen.</p>		<p>Die thermohydraulische Kernauslegung erfolgt im Wesentlichen „passiv“, durch Rechnungen. Außer Bypasselementen, die in 5.4.3 geregelt sind, gibt es keine aktiven oder passiven Einrichtungen, welche die thermohydraulischen Eigenschaften des Kerns beeinflussen. Eine direkte Überprüfung / Wartung der „Einrichtungen“ ist im Leistungsbetrieb nicht möglich.</p> <p>Die Erfüllung der sicherheitstechnisch wichtigen Eigenschaften des Reaktorkerns wird durch thermohydraulische Rechnungen sichergestellt. Diese müssen entsprechend dem Anforderungsfall nach Abschnitt 4.5 validiert sein</p>	erfüllt

Anforderungen nach SiAnf	Anforderungen nach den Interpretationen	Umsetzung in KTA 3101.1	Bewertung bezüglich KTA 3101.1
<p>3.2 (2) Der Reaktorkern, die relevanten Einrichtungen zur Überwachung, Regelung und Begrenzung der Reaktorleistung [...] sind so auszulegen, herzustellen und in einem solchen Zustand zu halten, dass im Zusammenwirken mit den Kühlsystemen für den Reaktorkern die jeweiligen Auslegungsgrenzen der Sicherheitsebenen 1 bis 4a eingehalten werden.</p>	<p>I-1 2 (1) Der Reaktorkern ist wie folgt auszulegen, zu überwachen und zu betreiben: a) Die Leistung und Leistungsdichte [...] sind im erforderlichen Umfang zu überwachen. [...] b) Im Normalbetrieb ist das Auftreten eines kritischen Siedezustands durch Einhaltung eines ausreichenden Sicherheitsabstands zu vermeiden. c) Im Normalbetrieb sind Leistung und Leistungsdichteverteilung innerhalb zulässiger Grenzen stabil zu halten, auch im Hinblick auf die Auswirkungen von Xenon-Umverteilungen. d) Im Normalbetrieb müssen Änderungen in der Reaktivität, Leistung oder Leistungsdichte kontrolliert durch die Regelungseinrichtungen unter Berücksichtigung der reaktorphysikalischen Rückwirkungseigenschaften erfolgen. e) [...] dürfen keine Verformungen an den Brennstäben, der Brennelement-Struktur oder den Steuerelementen entstehen [...].</p> <p>I-1 2 (3) Im Rahmen der mechanischen Auslegung ist bei Nachweisführungen für die Brennstabintegrität im bestimmungsgemäßen Betrieb (Sicherheitsebenen 1 und 2) zu zeigen, a) dass, bei einer abdeckenden Nachweisführung gemäß Nummer 3.4 des Anhangs 5 der „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“, kein Brennstab eine Auslegungsgrenze während seiner Einsatzzeit überschreitet, oder, b) dass, bei einer Quantifizierung der Ergebnisunsicherheiten gemäß Nummer 3.3 des Anhangs 5 der „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ mittels statistischer Verfahren, nicht mehr als ein Brennstab im Kern in einem Zyklus als defekt zu erwarten ist, wobei die Anforderungen der Nummer 3.3 (4) des Anhangs 5 der „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ gelten.</p>	<p>Überwachung der Leistung und Leistungsdichte ist in KTA 3101.2 geregelt</p> <p>3.2 (3)</p> <p>3.2 (1)</p> <p>3.2 (2)</p> <p>Verformungen sind in KTA 3101.3 geregelt</p> <p>3.2 (3)</p> <p>3.3 (1) und (2)</p>	<p>erfüllt</p>
<p>3.3 (1) Die Kühlung der Brennelemente (Wärmeabfuhr aus dem Reaktorkern) ist auf den Sicherheitsebenen 1 bis 4a [...] in allen Betriebsphasen sicherzustellen. Dazu muss die im Brennelement erzeugte Wärme derart abgeführt werden, dass die auf den Sicherheitsebenen geltenden sicherheitstechnischen Nachweisziele und Nachweiskriterien für die Brennelemente und die übrigen sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen während ihrer gesamten Einsatzzeit eingehalten werden.</p>		<p>Siehe Ausführungen zu SiAnf 2.1 (4) und 2.3 (2) Hinsichtlich Nachweiszielen und Nachweiskriterien siehe Ausführungen zu SiAnf, Anhang 2</p>	<p>erfüllt</p>

Anforderungen nach SiAnf	Anforderungen nach den Interpretationen	Umsetzung in KTA 3101.1	Bewertung bezüglich KTA 3101.1
<p>4.1 (1) Der Auslegung der gemäß Nummer 2.1 (3a) auf den Sicherheitsebenen 1 bis 3 zu verwirklichenden Maßnahmen und Einrichtungen sind jeweils zu Grunde zu legen: – in der Sicherheitsebene 1 zu erwartende Betriebszustände, einschließlich von Prüfzuständen, – in der Sicherheitsebene 2 Ereignisse, deren Eintreten während der Betriebsdauer der Anlage zu erwarten ist sowie – in der Sicherheitsebene 3 ein abdeckendes Spektrum an Ereignissen, deren Eintreten während der Betriebsdauer der Anlage auf Grund der Zuverlässigkeit und Wirksamkeit der vorhandenen Maßnahmen und Einrichtungen nicht zu erwarten, jedoch dennoch zu unterstellen ist.</p>		<p>3.1 (4) Verweis auf übergeordnetes Regelwerk</p> <p>Anmerkung: KTA 3101.1 legt ein für die Kernausslegung als repräsentativ betrachtetes Spektrum an Ereignissen in Anhang A fest. Gleichzeitig gilt jedoch gemäß 3.1 (3) dass die Vorgaben des übergeordneten Regelwerks in allen Sicherheitsebenen zu berücksichtigen sind. Die Ereignisse im Anhang A von KTA 3101.1 stellen eine Untermenge der Ereignisse in SiAnf Anhang 2 dar. Unter Berücksichtigung von 3.1 (4) ist keine Inkonsistenz zu den SiAnf.</p>	erfüllt
<p>4.1 (2) Die Auslegung der jeweiligen Maßnahmen und Einrichtungen muss derart erfolgen, dass für die zu berücksichtigenden Betriebszustände und Ereignisse unter Berücksichtigung festgelegter Randbedingungen nachgewiesen wird, dass die jeweilig geltenden sicherheitstechnischen Nachweisziele und Nachweiskriterien (siehe Anhang 2) erfüllt werden.</p>		<p>3.1 (4) 3.2 (3), 3,3 (2), 3,4 (4) 5.2.8 siehe auch Ausführungen zu SiAnf, Anhang 2, Tabellen 3.1b und 3.1c</p>	erfüllt
<p>4.2 (1) Der Auslegung der Einrichtungen gemäß Nummer 2.4 (1) sind zu Grunde zu legen: a) die jeweils folgenschwersten Einwirkungen [...] zu unterstellender Einwirkungen von außen; b) die Besonderheiten lange andauernder Einwirkungen von außen; c) Kombinationen mehrerer zu unterstellender Einwirkungen von außen [...]. Diese Kombinationen müssen dann unterstellt werden, wenn die zu kombinierenden Ereignisse in einem kausalen Zusammenhang stehen können oder wenn ihr gleichzeitiges Eintreten auf Grund der Wahrscheinlichkeit und des Schadensausmaßes in Betracht zu ziehen ist.</p>		<p>Anhang A, DWR: D 3.5.1, D4.2.1, D4.2.2 SWR: S 3.5.1, S4.2.1, S4.2.2</p> <p>Anmerkung: In Anhang A, KTA 3101.1 sind – entsprechend der bis zur Veröffentlichung der SiAnf geltenden Systematik - die Einwirkungen von außen und Notstandsfälle den Sicherheitsebenen 3 und 4a zugeordnet. Kombinationen von Ereignissen sind für die thermohydraulische Kernausslegung nicht zu betrachten, da die Anlage bei diesen Ereignissen abgeschaltet wird und daher die thermohydraulische Kernausslegung für Folgeereignisse nicht relevant ist.</p>	sinngemäß erfüllt
<p>5 (1) Der Genehmigungsinhaber muss über Nachweise zur Sicherheit der Anlage verfügen. Die Nachweisführungen müssen vollständig und nachvollziehbar dokumentiert werden. Sie sind, soweit geboten, zu aktualisieren.</p>		4.5.1 (1)	erfüllt

Anforderungen nach SiAnf	Anforderungen nach den Interpretationen	Umsetzung in KTA 3101.1	Bewertung bezüglich KTA 3101.1
<p>5 (2) Zur Nachweisführung der Erfüllung der technischen Sicherheitsanforderungen sind deterministische Methoden [...] heranzuziehen: Die deterministischen Methoden umfassen</p> <ul style="list-style-type: none"> a) die rechnerische Analyse von Ereignissen oder Zuständen, b) die Messung oder das Experiment, c) die ingenieurmäßige Bewertung. 		4.3 6	erfüllt
<p>5 (3) Als Grundlage für Nachweisführungen müssen vorliegen:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) eine aktuelle Zusammenstellung der sicherheitstechnisch wichtigen Informationen über den bestehenden Zustand der betroffenen Maßnahmen und Einrichtungen sowie b) eine Dokumentation, dass der bestehende Zustand der betroffenen sicherheitstechnisch wichtigen Maßnahmen und Einrichtungen die aktuell geltenden Anforderungen erfüllt. 		Anmerkung: KTA 3101.1 ist nicht direkt betroffen, da es hier hauptsächlich um Anforderungen bezüglich der Dokumentation geht, die in KTA 1404 und hinsichtlich Aktualisierung in KTA 1402 geregelt sind.	nicht explizit geregelt
<p>5 (4) Bei der rechnerischen Analyse von Ereignisabläufen oder Zuständen müssen</p> <ul style="list-style-type: none"> a) für den jeweiligen Anwendungsbereich validierte Berechnungsverfahren verwendet sowie b) mit der Berechnung verbundene Unsicherheiten quantifiziert oder durch geeignete Verfahren abgedeckt werden. 		4.3 6	erfüllt
<p>5 (6) Eine Messung oder ein Experiment kann als Nachweis herangezogen werden, wenn</p> <ul style="list-style-type: none"> a) die Übertragbarkeit der experimentellen Bedingungen auf die Anlagenzustände des jeweiligen Anwendungszusammenhangs qualifiziert ist und b) die mit der Messung verbundenen Unsicherheiten quantifiziert sind. 		4.3 6	erfüllt
<p>5 (7) Ingenieurmäßige Bewertungen können bei Nachweisführungen herangezogen werden, wenn hierzu ein Bewertungsmaßstab vorliegt, der auf technisch-wissenschaftlich nachvollziehbaren Grundlagen beruht.</p>		4.3 6	erfüllt

Anforderungen nach SiAnf	Anforderungen nach den Interpretationen	Umsetzung in KTA 3101.1	Bewertung bezüglich KTA 3101.1
<p>Anhang 2, Tabelle 3.1b</p> <p>SE2: Nachweisziel: Uneingeschränkte Weiterverwendbarkeit der Brennelemente Nachweiskriterien: a) Brennstofftemperatur kleiner Schmelztemperatur b) Kein kritischer Siedezustand am Hüllrohr c) Geeignetes Temperatur-Zeit Kriterium für das Hüllrohr</p> <p>SE 3 und 4a Nachweisziel: Abschaltbarkeit und Kühlbarkeit des Reaktorkerns Nachweiskriterien: a) Brennstabintegrität (SE 3) b) Dauerhafte Abschaltbarkeit (SE4a)</p>		<p>3.3 (1)</p> <p>3.3 (3)</p> <p>3.3 (2) a) und 5.8.2</p> <p>3.3 (2) b)</p> <p>3.1 (5)</p> <p>3.4 (2) und 3.5 (1)</p> <p>5.8.2</p> <p>3.5 (1)</p> <p>Anmerkung: Nachweiskriterien, welche die thermomechanische Auslegung der Brennstabhüllrohre betreffen, sind in KTA 3101.3 geregelt.</p>	erfüllt
<p>Anhang 2, Tabelle 3.1c</p> <p>SE2: Nachweisziel: Erhalt der Barrierenintegrität Nachweiskriterien: a) PCI, b) Einhaltung spezifizierter Drücke und Temperaturen im SHB</p> <p>SE 3 und 4a Nachweisziel: Erhalt der Barrierenintegrität Nachweiskriterien: a) Begrenzung der Zirkon-Wasser-Reaktion b) Begrenzung des Drucks im SHB</p>		<p>Die den Reaktorkern betreffenden Anforderungen auf Sicherheitsebene 2 sind in KTA 3101.3 geregelt. Die Auslegung des SHB ist unabhängig von der Kernausslegung und ist anderweitig geregelt. Grundsätzlich ist in KTA 3101.1 bereits der Druck in der vorgelagerten Barriere (DFU) gemäß 3.1 (6) auf zulässige Werte zu begrenzen</p> <p>3.4 (1)</p> <p>3.1 (6)</p>	erfüllt

Anforderungen nach SiAnf	Anforderungen nach den Interpretationen	Umsetzung in KTA 3101.1	Bewertung bezüglich KTA 3101.1
<p>Anhang 2, Tabellen 5.1 und 5.2 (zu betrachtende Ereignisse)</p> <p>D2.1.1 – D2-07 D2.1.2 – D2-05 D2.1.3 – D2-01, D2-02 D2.1.4 – D2-28 D2.1.5 – D2-06, D2-08, D2-09 D2.2.1 – D2-10 D2.2.2 – D2-11 D2.3.1 – D2-21, D2-22, D2-23 D2.3.2 – D2-24 D2.3.3 – D2-25 D2.4.1 – D2-12 D3.1.1 – D3-05 bis D3-09 D3.2.1 – D3-03 D3.2.2 – D3-10 D3.3.1 – D3-15 D3.3.2 – D3-19 bis D3-21 D3.3.3 – D3-16 D3.4.1 – D3-22, D3-23 D3.4.2 – D3-24 D3.4.3 – D3-25, D3-31 D3.4.4 – D3-32 bis D3-35 D3.5.1 – EVA D.4.1.x – D4a-x D4.2.1 Notstandsfall (FLAB) D4.2.2 EVA (Explosion, Brand)</p> <p>S2.1.1 – S2-04 S2.1.2 – S2-05 S2.2.1 – S2-21 S2.3.1 – S2-09 S2.4.1 – S2-22 (Abweichung in angenommener Länge des Notstromfalls) S2.4.2 – S2-07, S2-08 S2.5.1 – S2-02 S2.6.1 – S2-16, S2-16, S2-19 S2.6.2 – S2-18 S2.6.3 – S2-17 S2.6.4 – S2-20 S3.1.1 – S3-02 S3.1.2 – S3-02 S3.2.1 – S3-02 S3.3.1 – S3-08 S3.3.2 – S3-07 S3.3.3 – S3-08 bis S3-10 S3.4.1 – S3-18 S3.4.2 – S3-19 S3.4.3 – S3-20 S3.5.1 – EVA S4.1.x – S4a-x S4.2.1 Notstandsfall (FLAB) S4.2.2 EVA (Explosion, Brand)</p>		<p>3.1 (4) Anhang A</p> <p>Anmerkung: KTA 3101.1 enthält eine Untermenge der in den SiAnf festgelegten Ereignisse, die repräsentativ für die Kernausslegung sind. Diese Ereignisse stehen unter dem Vorbehalt der allgemeinen Festlegung in 3.1 (4), demgemäß auf allen Sicherheitsebenen die Vorgaben des übergeordneten Regelwerks zu berücksichtigen sind.</p> <p>Die in Anhang A betrachteten Ereignisse besitzen - bis auf EVA und Notstandsfälle (Erdbeben, Flugzeugabsturz, äußere Explosionsdruckwelle, äußerer Brand) - Entsprechungen in den SiAnf. Die Aufteilung auf die Sicherheitsebenen entspricht - bis auf EVA und Notstandsfälle - den Vorgaben der SiAnf.</p> <p>Es bestehen keine inhaltlichen Inkonsistenzen. Die unterschiedliche Einordnung der Ereignisse Erdbeben, FLAB, Explosionsdruckwelle, anlagenexterner Brand in die Sicherheitsebenen 3 bzw. 4a im Anhang A der KTA 3101.1 einerseits, sowie EVA und Notstandsfälle in den SiAnf andererseits, haben keine inhaltliche Inkompatibilität in den relevanten Anforderungen zur Folge, zumal die Anforderungen auf Sicherheitsebene 3 teilweise höher sind als die Anforderungen an EVA und Notstandsfälle..</p>	erfüllt

Anforderungen nach SiAnf	Anforderungen nach den Interpretationen	Umsetzung in KTA 3101.1	Bewertung bezüglich KTA 3101.1
<p>Anhang 5, 1 (2) Zur Nachweisführung sind gemäß den „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ Nummer 5 (2) deterministische sowie probabilistische Methoden heranzuziehen: Die deterministischen Methoden umfassen</p> <ul style="list-style-type: none"> a) die rechnerische Analyse von Ereignissen oder Zuständen, b) die Messung oder das Experiment, c) die ingenieurmäßige Bewertung. 		4.3 6	erfüllt
<p>Anhang 5, 2 (1) Durch die Systembewertung ist zu zeigen, dass die geforderte Wirksamkeit und Zuverlässigkeit von Maßnahmen und Einrichtungen sowie deren wesentlichen Qualitätsmerkmale erfüllt werden. Die Bedingungen, die sich aus der rechnerischen Analyse von Ereignissen oder Zuständen ergeben, sind dabei zu berücksichtigen.</p>		Abschnitte 4 und 5	erfüllt
<p>Anhang 5, 3 (2) Bei Nachweisführungen durch die Analyse von Ereignissen oder Zuständen sind</p> <ul style="list-style-type: none"> a) aktuelle Zusammenstellungen der sicherheitstechnisch wichtigen Informationen über den bestehenden Zustand der betroffenen sicherheitstechnisch wichtigen Maßnahmen und Einrichtungen heranzuziehen, gegebenenfalls unter Einbeziehung geplanter Änderungsvorhaben; b) für den jeweiligen Anwendungsbereich validierte Analyseverfahren gemäß den in Nummer 3.1 dargestellten Anforderungen zu verwenden; c) den Analysen hinsichtlich ausgewählter Anfangs- und Randbedingungen die in Nummer 3.2 aufgelisteten Vorgaben zu Grunde zu legen; d) für die Sicherheitsebenen 1 bis 3 die Unsicherheiten, die mit dem jeweiligen Analyseergebnis für das jeweilige Nachweiskriterium verbunden sind, in ihrer Gesamtheit gemäß Nummer 3.3 zu quantifizieren und zu berücksichtigen oder gemäß Nummer 3.4 zu berücksichtigen; e) für die Sicherheitsebene 4 die Unsicherheiten des Analyseergebnisses im Hinblick auf das Nachweisziel zu bewerten 		<p>KTA 3101.1 regelt nicht direkt die Anforderungen an die Dokumentation, zeigt jedoch zu beachtende Zusammenhänge und Zustände in folgenden Abschnitten auf:</p> <p>3.1 (5) 4.1, 4.2 5.3 bis 5.8</p> <p>4.5, insbesondere 4.5.2</p> <p>Siehe auch Ausführungen zur Umsetzung von SiAnf, Anhang 5, 3.2</p> <p>Siehe auch Ausführungen zur Umsetzung von SiAnf, Anhang 5, 3.3 und 3.4</p> <p>4.3.1 (2) 4.5.3 (3)</p>	erfüllt
<p>Anhang 5, 3.1.1 (1) Analyseverfahren, die für die sicherheitstechnische Nachweisführung zur Einhaltung der Nachweiskriterien eingesetzt werden, müssen für den jeweiligen Anwendungsbereich validiert sein.</p>		4.5	erfüllt

Anforderungen nach SiAnf	Anforderungen nach den Interpretationen	Umsetzung in KTA 3101.1	Bewertung bezüglich KTA 3101.1
<p>Anhang 5, 3.1.1 (3) Die Validierung eines Analyseverfahrens muss die Überprüfung des Anwendungsbe- reichs des Verfahrens umfassen sowie die Überprüfung der Übereinstimmung der mit dem Verfahren erzielbaren Ergebnisse mit Vergleichswerten aus a) Experimenten, Prüfergebnissen, dem An- lagenbetrieb, Anlagentransienten oder ande- ren Ereignissen, b) analytischen Lösungen oder c) anderen validierten Analyseverfahren.</p>		<p>4.5.2 4.5.3</p>	<p>erfüllt</p>
<p>Anhang 5, 3.1.2 (1) Der Validierung ist eine ausreichende Zahl von Vergleichswerten zu Grunde zu legen. Der notwendige Umfang sowie die erforderli- che Qualität (siehe Nummer 3.1.2 (2)) der Vergleichswerte hängen vom Anwendungs- bereich des Analyseverfahrens ab.</p>		<p>4.5.1 (2) 4.5.2 (2) und (3) b) 6.2 (2) und (3)</p>	<p>erfüllt</p>
<p>Anhang 5, 3.1.2 (2) Für die Validierung herangezogene Experi- mente sollen hinsichtlich der wesentlichen Parameter grundsätzlich den Bereich von Be- dingungen abdecken, in dem das Analyse- verfahren angewendet werden soll. Andern- falls ist die Übertragbarkeit der experimentel- len Ergebnisse auf den Anwendungsbereich zu zeigen.</p>		<p>4.5.2 (2) und (3) c) 6.2 (2) 6.4</p>	<p>erfüllt</p>
<p>Anhang 5, 3.2.5 (1) Bei der Analyse von Transienten mit unter- stelltem Ausfall der Reaktorschnellabschal- tung a) können realistische Anfangs- und Randbe- dingungen gewählt werden; als Anfangszu- stand des Reaktorkerns ist jedoch beladungs- und ereignisspezifisch vom Betriebs- zustand zum ungünstigsten Zykluszeitpunkt (im Xenon Gleichgewicht) auszugehen; zu- dem sind hinsichtlich der Reaktivitätsrückwir- kung Werte zu verwenden, die bestehende Unsicherheiten abdeckend berücksichtigen; b) können alle Maßnahmen und Einrichtun- gen als verfügbar angenommen werden, die nicht durch das unterstellte Ereignis ausgefal- len sind; sofern im Kurzzeitbereich (Zeit bis zum Erreichen des Druckmaximums) vom Abschalten der Hauptkühlmittelpumpen (DWR) Kredit genommen wird, muss das Ab- schalten mit Leittechnik-Funktionen der Kate- gorie A oder B angesteuert sein; c) sind die durch Steuerungs- und Rege- lungsvorgänge verursachten Änderungen von Betriebsparametern und Betriebszuständen mit zu berücksichtigen.</p>		<p>4.3.4</p>	<p>erfüllt</p>

Anforderungen nach SiAnf	Anforderungen nach den Interpretationen	Umsetzung in KTA 3101.1	Bewertung bezüglich KTA 3101.1
<p>Anhang 5, 3.3 (1) Bei der Verwendung statistischer Verfahren ist die Gesamtunsicherheit des jeweiligen Analyseergebnisses gemäß Nummer 3 (2) Buchstabe d zu quantifizieren. Hierfür sind</p> <p>a) die Parameter (Anfangs- und Randbedingungen sowie Modellparameter) und Modelle zu identifizieren, die die Ergebnisunsicherheiten wesentlich beeinflussen;</p> <p>b) die gemäß dem aktuellen Kenntnisstand vorhandenen Unsicherheitsbandbreiten der identifizierten Parameter zu quantifizieren, bei Einsatz von statistischen Verfahren mitsamt den Verteilungen der Parameter;</p> <p>c) falls erforderlich, Abhängigkeiten oder Wechselwirkungen zwischen einzelnen Eingangsparametern festzustellen und zu berücksichtigen.</p>		4.3, insbesondere 4.3.3	erfüllt
<p>Anhang 5, 3.3 (2) Unsicherheiten einzelner Modelle im Rechenprogramm, die nicht über eine Variation von Parametern erfasst werden, sind durch Zuschläge auf das Ergebnis abzudecken, die aus der Validierung des Analyseverfahrens abgeleitet sein sollten.</p>		4.3.1 (3) 4.3.3.1 (3)	erfüllt
<p>Anhang 5, 3.3 (3) Werden bei der Ermittlung der Gesamtunsicherheit statistische Verfahren angewandt, ist die in Richtung des Nachweiskriteriums gehende einseitige Toleranzgrenze zu ermitteln, wobei für die Einhaltung des Nachweiskriteriums eine Wahrscheinlichkeit von mindestens 95 % mit einer statistischen Sicherheit von mindestens 95 % nachzuweisen ist.</p>		4.3.3.2 (2) in Verbindung mit 3.1 (4)	erfüllt
<p>Anhang 5, 3.4 (1) Auf die Ermittlung der Gesamtunsicherheit gemäß Nummer 3.3 kann verzichtet werden,</p> <p>a) falls durch Standardisierung abgesicherte Verfahren oder Daten vorliegen, aus denen die Unsicherheit oder ein gesicherter Abstand zur Auslegungsgrenze oder zum Nachweiskriterium abgeleitet werden kann oder</p> <p>b) falls die Unsicherheit durch Zuschläge auf das Analyseergebnis abgedeckt werden kann oder</p> <p>c) falls bezüglich des jeweiligen Nachweiskriteriums</p> <ul style="list-style-type: none"> – ungünstigste innerhalb realistischer Zustände liegende Parameterkombinationen verwendet werden, oder – ungünstige Werte des Unsicherheitsbereichs einzelner Parameter so kombiniert werden, dass das Analyseergebnis mit mindestens 95 % Wahrscheinlichkeit nicht überschritten wird, oder <p>d) falls Berechnungsverfahren oder hinreichend konservativ gewählte Einzelparameter verwendet werden, für welche in einem vergleichbaren Fall nachgewiesen ist, dass die gemäß Nummer 3.3 quantifizierten Unsicherheiten bezüglich des jeweiligen Nachweiskriteriums abgedeckt werden.</p>		4.3.2	erfüllt

Tabelle D-1: Abgleich der KTA 3101.1 mit den „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ und deren Interpretationen

4.2 Nationale Unterlagen

- siehe Anhänge C und D

4.3 Internationale Unterlagen

- keine

5 Ausführungen zur Regeländerung

(1) Der Grundlagenabschnitt wurde in Absatz (1) an die einheitliche KTA-Vorgabe angepasst. In Absatz (3) wurden die grundlegenden Anforderungen des übergeordneten kerntechnischen Regelwerks, die sich auf die BMI-Sicherheitskriterien bezogen, durch die grundlegenden Anforderungen aus den „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ ersetzt.

(2) Die leittechnischen Ansteuerungen der Kategorien 1 und 2 gemäß RSK-Leitlinien in 4.3.4 (2) b) wurden in Ansteuerrungen der Kategorien A und B gemäß SiAnf, Anhang 5, Nr. 3.2.5 (1) b) abgeändert.

(3) Die Dauer des kurzfristigen Notstromfalls in den Ereignissen D2.1.4 und S2.4.1 des Anhangs A wurde von 2h auf 10h korrigiert.

(4) Die Verweise im Anhang B wurden überprüft, aktualisiert und ergänzt.

(5) Es wurde ein Abgleich mit den „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke (SiAnf)“ durchgeführt und in die Dokumentationsunterlage aufgenommen.