

Dokumentationsunterlage zur Regel

KTA 3101.3

Auslegung der Reaktorkerne von Druck- und Siedewasserreaktoren

Teil 3: Mechanische und thermische Auslegung

Fassung 2015-11

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 60. Sitzung am 7. November 2006 folgende Beschlüsse bezüglich der Regel KTA 3101.3 gefasst:

Beschluss-Nr.: 60/4.2.1/1 vom 07.11.2006

Der Unterausschuss REAKTORKERN UND SYSTEMAUSLEGUNG (UA-RS) wird beauftragt, federführend den Entwurf zur Regel

KTA 3101.3 Auslegung der Reaktorkerne von Druck- und Siedewasserreaktoren;
Teil 3: Mechanische und thermische Auslegung

mit einer Dokumentationsunterlage durch ein Arbeitsgremium erarbeiten zu lassen.

Folgende Sachgebiete sollen behandelt werden:

- Komponentenspezifische Auslegungsziele
- Belastungen
- Beanspruchungen
- Konstruktive Gestaltung
- Prüfungen
- Dokumentation

Die Geschäftsstelle wird beauftragt, den Beschluss zum Regelvorhaben KTA 3101.3 dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit zur Veröffentlichung im BAnz. zuzuleiten.

Beschluss-Nr.: 60/4.2.1/2 vom 07.11.2006

Der Unterausschuss REAKTORKERN UND SYSTEMAUSLEGUNG (UA-RS) wird beauftragt, den Entwurfsvorschlag für das Regelvorhaben KTA 3101.3 zu prüfen 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

- aus Datenschutzgründen in dieser Datei gelöscht

2.3 Hinzugezogene Fachleute

- aus Datenschutzgründen in dieser Datei gelöscht

2.4 Zuständige Mitarbeiter der KTA-Geschäftsstelle

Dr. M. Petri

KTA-GS, Salzgitter

3 Erarbeitung der Regel

3.1 Erstellung des Regelentwurfsvorschlags

(1) Der UA-RS setzte auf seiner 10. Sitzung am 7. Dezember 2006 ein Arbeitsgremium zur Erarbeitung der neuen Regel KTA 3101.3 „Auslegung der Reaktorkerne von Druck- und Siedewasserreaktoren; Teil 3: Mechanische und thermische Auslegung“ ein.

(2) Das Arbeitsgremium KTA 3101.3 erarbeitete den Regelentwurfsvorschlag in 34 Sitzungen; diese fanden statt:

1. Sitzung am 30. Mai 2007 bei AREVA in Erlangen
2. Sitzung am 19. und 20. Juli 2007 bei AREVA in Erlangen
3. Sitzung am 18. und 19. Oktober 2007 beim TÜV NORD in Hannover
4. Sitzung am 16. und 17. Januar 2008 im Kernkraftwerk Philippsburg (EnBW)
5. Sitzung am 16. und 17. April 2008 bei VENE in Hamburg
6. Sitzung am 29. und 30. Juli 2008 bei AREVA in Erlangen
- Sitzung der „Arbeitsgruppe Brennstab“ am 4. September 2008 beim TÜV NORD in Hannover
7. Sitzung am 20. und 21. November 2008 bei der GRS in Garching
8. Sitzung am 3. und 4. Februar 2009 bei AREVA in Erlangen
9. Sitzung am 14. und 15. April 2009 im Kernkraftwerk Philippsburg (EnBW)
10. Sitzung am 18. und 19. August 2009 bei VENE in Hamburg
11. Sitzung am 20. und 21. Oktober 2009 bei E.ON Kernkraft in Hannover
12. Sitzung am 23. und 24. November 2009 bei AREVA in Erlangen
13. Sitzung am 19. und 20. Januar 2010 beim TÜV SÜD in München
14. Sitzung am 2. und 3. März 2010 beim TÜV Nord in Hamburg
15. Sitzung am 20. und 21. April 2010 beim TÜV SÜD in Mannheim
16. Sitzung am 15. und 16. Juni 2010 beim TÜV NORD in Hannover
17. Sitzung am 8. und 9. September 2010 bei AREVA in Erlangen
18. Sitzung am 17. und 18. November 2010 bei VENE in Hamburg
19. Sitzung am 2. und 3. Februar 2011 bei der GRS in Garching
20. Sitzung am 5. und 6. April 2011 bei AREVA in Erlangen
21. Sitzung am 31. Mai und 1. Juni 2011 im Kernkraftwerk Philippsburg (EnBW)
22. Sitzung am 9. und 10. August 2011 beim TÜV SÜD in München
23. Sitzung am 7. bis 9. November 2011 bei der GRS in Garching
24. Sitzung am 6. bis 8. Dezember 2011 bei AREVA in Erlangen
25. Sitzung am 13. bis 15. Februar 2012 bei E.ON Kernkraft in Hannover
26. Sitzung am 2. bis 4. April 2012 bei der GRS in Garching
27. Sitzung am 11. bis 13. Juli 2012 bei Westinghouse in Mannheim
28. Sitzung am 19. bis 21. September 2012 im Kernkraftwerk Philippsburg (EnBW)
29. Sitzung am 24. bis 26. Oktober 2012 bei VENE in Hamburg
30. Sitzung am 12. bis 14. Dezember 2012 bei AREVA in Erlangen
31. Sitzung am 30. Januar bis 1. Februar 2013 bei E.ON Kernkraft in Hannover

- 32. Sitzung am 20. bis 22. März 2013 bei der GRS in Garching
- 33. Sitzung am 24. bis 26. April 2013 beim TÜV-SÜD in Mannheim
- 34. Sitzung am 5. bis 7. Juni 2013 bei AREVA in Erlangen

- (3) Auf seiner 34. Sitzung am 7. Juni 2013 beschloss das Arbeitsgremium einstimmig, dem UA-RS den erarbeiteten Regelentwurfsvorschlag mit der Empfehlung vorzulegen, diesen für den Fraktionsumlauf freizugeben.
- (4) Auf seiner 19. Sitzung am 10. September 2013 beschloss der UA-RS einstimmig, den Regelentwurfsvorschlag für den Fraktionsumlauf freizugeben.

3.2 Erstellung des Regelentwurfs

- (1) Aus dem Fraktionsumlauf gingen 121 Einwendungen ein, die vom Arbeitsgremium KTA 3101.3 in drei weiteren Sitzungen des Arbeitsgremiums KTA 3101.3 behandelt wurden. Die Sitzungen fanden statt:

- 35. Sitzung am 10. bis 12. Februar 2014 bei AREVA in Erlangen
- 36. Sitzung am 17. bis 19. März 2014 beim TÜV-SÜD in München
- 37. Sitzung am 28. und 29. Juli 2014 bei E.ON in Hannover

- (2) Das Arbeitsgremium beschloss auf seiner 37. Sitzung am 29. Juli 2014 einstimmig, dem UA-RS den vorliegenden Regelentwurfsvorschlag vorzulegen, mit der Empfehlung, diesen an den KTA zur Verabschiedung als Regelentwurf (Gründruck) weiterzuleiten.

- (3) Auf seiner 21. Sitzung am 3. September 2014 nahm der UA-RS eine geringfügige Änderung am Regeltext vor und beschloss mit 13 von 15 Stimmen, dem KTA den abgeänderten Regelentwurfstext in der Fassung vom 3. September 2014 zur Verabschiedung als Gründruck (Regelentwurf) vorzulegen.

- (4) Auf seiner 69. Sitzung am 11. November 2014 hat der KTA die vorgelegte Regelentwurfsvorlage einstimmig als Regelentwurf in der Fassung 2014-11 verabschiedet. Die Bekanntmachung des BMUB erfolgte im Bundesanzeiger am 05.12.2014. Im KTA wurde aber festgestellt, dass es bezüglich der Absätze 4.2.3.1 (2), 4.4.3.2 (4) und 4.4.3.2 (5) noch erheblichen Diskussionsbedarf gibt. Im Rahmen der Auslegung des Reaktorkerns ist der Nachweis zu führen, dass auch bei Störfällen (mit Ausnahme von Lecks größer als 0,1F beim DWR) die mechanische Abschaltbarkeit des Reaktorkerns nicht in Frage gestellt ist. Zu den diesbezüglichen Regelungen im Regelentwurf wird im Rahmen der Gründruckphase noch erheblicher Beratungsbedarf gesehen. Der KTA beauftragte deshalb den UA-RS und das zuständige Arbeitsgremium KTA 3101.3, die von der RSK geäußerten starken Vorbehalte gegen die Absätze 4.2.3.1 (2), 4.4.3.2 (4) und 4.4.3.2 (5) im Rahmen des Gründruckverfahrens einvernehmlich zu klären. Hierzu ist im März 2015 beim UA-PG ein Zwischenbericht zu erstatten.

3.3 Erstellung der Regel

- (1) Das Arbeitsgremium KTA 3101.3 behandelte auf seiner

- 38. Sitzung am 5. Februar 2015 bei E.ON in Hannover

gemeinsam mit Vertretern der RSK und des RSK-Ausschusses DKW die vom KTA auf der 69. KTA-Sitzung angesprochenen Vorbehalte. Als Ergebnis der Sitzung wurden die von der RSK beanstandeten Absätze gestrichen sowie weitere inhaltliche Anpassungen aufgrund von Vorbehalten des RSK-DKW vorgenommen.

- (2) Aus der Öffentlichkeitsbeteiligung zum Regelentwurf der KTA 3101.3 (Gründruck) gingen 49 Einwendungen von zwei Einwandergruppen ein, die vom Arbeitsgremium KTA 3101.3 in einer weiteren Sitzung des Arbeitsgremiums KTA 3101.3, gemeinsam mit Vertretern des UA-MK, behandelt wurden:

- 39. Sitzung am 23. und 24. April 2015 bei AREVA in Erlangen

- (3) Auf seiner 39. Sitzung am 24. April 2015 beschloss das Arbeitsgremium gemeinsam mit den Vertretern des KTA-Unterausschusses MK einstimmig, dem UA-RS den erarbeiteten Regelvorschlag mit der Empfehlung vorzulegen, diesen dem KTA zur Verabschiedung als Regel (Weißdruck) vorzulegen.

- (4) Auf seiner 22. Sitzung am 10. September 2015 nahm der UA-RS noch einige Änderungen am Regelvorschlag vor und beschloss einstimmig, den Regelvorschlag in der Fassung 2015-09-10 dem KTA zur Verabschiedung als Regel (Weißdruck) vorzulegen.

- (5) Auf seiner 70. Sitzung am 10. November 2015 hat der KTA einstimmig die Regelvorlage als Regel KTA 3101.3 in der Fassung 2015-11 verabschiedet. Die Bekanntmachung des BMUB im Bundesanzeiger erfolgte am 26. November 2015. Der Volltext der Regel wurde durch das BMUB im Bundesanzeiger vom 8. Januar 2016 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 3101.3 durchgängig berücksichtigt sind. Hierzu gehören insbesondere
 - a) das in SiAnf 2.1 beschriebene „Konzept der gestaffelten Sicherheitsebenen“. In KTA 3101.3 werden die auf den Sicherheitsebenen 1 bis 4a gemäß SiAnf 2.1 einzuhaltenden Anforderungen eingehalten und im Hinblick auf die thermomechanische

Auslegung der Kernbauteile konkretisiert. Durch die gestaffelten Sicherheitsebenen ergeben sich auf den verschiedenen Sicherheitsebenen teilweise unterschiedliche Anforderungen, welches sich in der Gliederung von KTA 3101.3 widerspiegelt.

- b) das in SiAnf 2.2 „Konzept des gestaffelten Einschlusses der radioaktiven Inventare (Barrierenkonzept)“. Der in den Brennstäben enthaltene Kernbrennstoff sowie die in den Steuerstäben enthaltenen Neutronenabsorber werden im Leistungsbetrieb in hohem Maße aktiviert und stellen einen wesentlichen Beitrag zu radioaktiven Inventar bei. Durch die Anforderungen an die Brennstabhüllrohre und an den konstruktiven Aufbau der Steuerstäbe wird sichergestellt, dass die die erste Barriere des gestaffelten Einschlusses ihre Rückhaltefunktion auf allen betrachteten Sicherheitsebenen behält. Dabei wurde auch berücksichtigt, dass die Rückhaltefunktion nicht allein durch die Hüllrohreigenschaften, sondern auch durch die Wechselwirkung zwischen dem eingeschlossenen radioaktiven Inventar mit dem Hüllrohr sowie durch die äußeren Umgebungsbedingungen (Eigenschaften des Kühlmediums, Neutronenfluss) beeinflusst wird.
- c) das in SiAnf 2.3 beschriebene „Schutzzielkonzept“. Alle in KTA 3101.3 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. Anhang A der Regel KTA 3101.3 enthält eine Gegenüberstellung der jeweiligen übergeordneten Anforderungen aus den SiAnf (einschließlich Nachweiszielen) zu den in KTA 3101.3 vorgenommenen - auf die Brennelement und Steuerelemente bezogenen – Konkretisierungen.

Die weiteren in SiAnf 2.4 bis 2.5 enthaltenen allgemeinen Anforderungen wurden ebenfalls in KTA 3101.3 berücksichtigt und erfüllt bzw. konkretisiert.

(2) In folgenden Abschnitten der SiAnf sind Festlegungen enthalten, die den Anwendungsbereich der Regel KTA 3101.3 direkt betreffen:

- a) Nummer 3.2 „Anforderungen an den Reaktorkern und die Abschaltvorrichtungen“
Die in SiAnf 3.2 enthaltenen Anforderungen betreffen die Auslegung des Reaktorkerns in seiner Gesamtheit. KTA-seitig werden diese Anforderungen durch die Regelreihe KTA 3101, Teil 1 bis 3 abgedeckt. Die spezifischen neutronenphysikalischen und thermohydraulischen Aspekte sind in den KTA-Regeln 3101.1 und 3101.2 enthalten. Die gemäß 3.2 (3) und (4) geforderte inhärent sichere Auslegung des Reaktorkerns kann jedoch nur im Zusammenspiel von der neutronenphysikalischen Auslegung (KTA 3101.2), thermohydraulischen Auslegung (KTA 3101.2) und thermomechanischer Auslegung (LTA 3101.3) gewährleistet werden. Die in KTA 3101.3 enthaltenen Anforderungen stellen sicher, dass die Kernbauteile die Eigenschaften an mechanische Stabilität, thermische Leitfähigkeit, Kompatibilität etc. besitzen und auch unter den jeweiligen Umgebungsbedingungen behalten, die in den Regeln KTA 3101.1 und 3101.2 vorausgesetzt werden.
- b) Nummer 3.3 „Anforderungen an die Einrichtungen zur Kühlung der Brennelemente im Reaktorkern“
Relevant ist hier insbesondere 3.3 (1), demgemäß die im Brennelement erzeugte Wärme unter Einhaltung aller Nachweisziele und Nachweiskriterien abgeführt werden muss. Dies wird insbesondere durch die Anforderungen an den Brennstab in KTA 3101.3, Abschnitte 4.3.2.6 (Begrenzung der Hüllrohrkorrosion) und 4.3.2.7 (Begrenzung des Brennstab-Innendruckes) auf den Sicherheitsebenen 1 und 2 sowie Abschnitt 4.3.3.3 (Begrenzung der Brennstofftemperatur) auf der Sicherheitsebene 3 sichergestellt.
- c) Nummer 3.5 „Anforderungen an bauliche Anlagenteile“
Die Anlagenteile müssen gemäß SiAnf 3.5 (1) den für die jeweilige Sicherheitsebene spezifizierten Lastabtrag gewährleisten. In KTA 3101.3 sind die entsprechenden Anforderungen im Abschnitt 3 „Grundsätzliche Anforderungen“ aufgeführt und werden in Abschnitt 4 – nach Komponenten und Sicherheitsebenen getrennt – konkretisiert. Weiterhin enthält der Anhang B Anforderungen an den analytischen Nachweis sowie in den Tabellen des Abschnitts B 4 (Tabellen der Sicherheitsbeiwerte) komponentenspezifische Konkretisierungen für die anzusetzenden Sicherheitsbeiwerte.
- d) Nummer 3.10 „Anforderungen an die Handhabung und Lagerung der Brennelemente“
Der Fokus der Anforderungen zur Handhabung und Lagerung gemäß SiAnf liegt auf der Kritikalitätssicherheit und Kühlung. Die Anforderungen in KTA 3101.3 zur Handhabung und Lagerung haben diese Aspekte im Auge, in KTA 3101.3 liegt der Schwerpunkt jedoch auf der Gewährleistung der Qualität und der relevanten Eigenschaften der Brennelemente vor und während ihres Einsatzes. Entsprechende Anforderungen sind in KTA 3101.3 in den Abschnitten 4.2.4 und 4.4.4 enthalten.
- e) Nummer 3.11 „Anforderungen an den Strahlenschutz“
Die in den SiAnf genannten Anforderungen an den Strahlenschutz gelten allgemein. Die Kernbauteile sind hohen Neutronenflüssen ausgesetzt, welches zu einer Aktivierung der verwendeten Werkstoffe (einschließlich der Brennstabpellets und der Neutronenabsorber in den Steuerstäben) führt. Bei der Auswahl der Werkstoffe spielen auch Strahlenschutzaspekte eine Rolle. Weiterhin ist stellen die Brennelementhüllrohre bzw. die Steuerstabkonstruktion eine Aktivitätsbarriere dar, deren Integrität auch aus Strahlenschutzaspekten gewährleistet werden muss. Entsprechende Anforderungen sind in KTA 3101.3 in den Abschnitten 3.2.1.1 (1) e) und f), 3.2.1.2 (1) c), 3.2.2.1 (1) d) und e), 3.2.2.2 (1) d) und 4.2.1 (3) enthalten.

(3) In SiAnf, Abschnitt 4 „Zu berücksichtigende Betriebszustände und Ereignisse“, sind die gemäß SiAnf zu Grunde zu legenden Betriebszustände und Ereignisse, einschließlich der jeweils geltenden Randbedingungen, festgelegt. SiAnf, Anhang 2 enthält hierzu weitere Konkretisierungen, einschließlich einzuhaltender Nachweisziele und Nachweiskriterien. Die Anforderungen in KTA 3101.3 berücksichtigen alle in den SiAnf auf den Sicherheitsebenen 1 bis 4a enthaltene Ereignisse. Weiterhin sind Einwirkungen von Innen und Außen und Notstandsfälle berücksichtigt, für die gemäß KTA 3101.3, 4.1.1 (3) die Anforderungen der Sicherheitsebene 3 gelten. Für eine Gegenüberstellung der der Anforderungen und Nachweisziele aus den SiAnf zu den in KTA 3101.3 vorgenommenen - auf die Brennelement und Steuerelemente bezogenen – Konkretisierungen siehe auch Anhang A der Regel KTA 3101.3.

(4) SiAnf, Abschnitt 5 enthält „Anforderungen an die Nachweisführung“, welche in KTA 3101.3 in Abschnitt 5.1 erfüllt und konkretisiert sind.

(5) In den Interpretationen zu den SiAnf sind folgende den Anwendungsbereich von KTA 3101.3 betreffende Anforderungen enthalten:

- a) Interpretation I-1 enthält in 2 (2) und 2 (3) weitere Konkretisierungen hinsichtlich der Kriterien zum Ausschluss von Defekten an Brennstäben, der Brennelementstruktur sowie an Steuerelementen einschließlich Strukturteilen. Diese Anforderungen sind

in KTA 3101.3 in den Abschnitten 3.2.1.1 (1) e), 3.2.1.2 (1) c), 4.2.2.4 (1), 4.3.2.5 (1), 4.3.3.2 und 4.3.3.5 in Verbindung mit den Anforderungen des Abschnitts 5.1 erfüllt und konkretisiert.

- b) Interpretation I-5 enthält in 7.1. (1) Anforderungen an die zu berücksichtigenden Lastfälle und in 7.1. (2) Anforderungen an die zu berücksichtigenden Einwirkungen (mechanisch, chemisch, radiologisch, thermisch, Korrosion, Erosion). 7.1 (1) ist in KTA 3101.3 durch die Anforderungen an die Ermüdungsanalyse für die Kernbauteile (Abschnitte 4.2.2.3, 4.3.2.4, 4.4.2.4 sowie Anhang B 2.4) umgesetzt. Die gemäß SiAnf I-5, 7.1 (2) zu berücksichtigenden Einwirkungen sind in KTA 3101.3 in den Abschnitten 3.1 (5), 4.1.1. (2) sowie 4.1.2 erfüllt und konkretisiert.
- c) Interpretation I-6 enthält in 4 (1) Anforderungen an die Inspizierbarkeit der Brennelemente, die in KTA 3101.3 in Abschnitt 4.1.4 erfüllt und konkretisiert sind.

4.2 Nationale Unterlagen

- Wiehr, K.: REBEKA-Bündelversuche - Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen aufblähenden Zircaloyhüllen und einsetzender Kernnotkühlung (Abschlussbericht), Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe, KfK 4407, Mai 1998, ISSN 0303-4003
- Hübel, H.: Erhöhungsfaktor K_e zur Ermittlung plastischer Dehnungen aus elastischer Berechnung, Technische Überwachung 35 (1994) Nr. 6, S. 268-278
- Niemann, G. et al.: Maschinenelemente Band 1: Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Lagern, Wellen; Springer Verlag Berlin/Göttingen/Heidelberg 2005, 4. Auflage
- für weitere hinzugezogene Unterlagen siehe auch Anhang C

4.3 Internationale Unterlagen

- Fuel Safety Criteria in NEA Member Countries, 2003-03
- US-NRC Draft Regulatory Guide DG-1263
- Nuclear Fuel Behaviour in Loss-of-coolant Accident (LOCA) Conditions, 2009, NEA No. 6846, ISBN 978-92-64-99091-3
- CSNI Technical Opinion Papers No.13, LOCA Criteria Basis and Test Methodology, 2011, ISBN 978-92-64-99154-5
- Nuclear Fuel Safety Criteria Technical Review 2nd Ed., 2012, NEA No. 7072, ISBN 978-92-64-99178-1
- G. Hache, K. M. Chung; The History of LOCA Embrittlement Criteria

5 Ausführungen zur Regel

Die Regel KTA 3101.3 behandelt erstmals die Anforderungen an die thermomechanische Auslegung von Kernbauteilen in einem geschlossenen Regelwerk. Bisher erfolgte die thermomechanische Auslegung von Kernbauteilen in Anlehnung an verschiedene andere Regeln (z. B. KTA 3103, 3201, 3204, ...), mit teilweise voneinander abweichenden Anforderungen.

Abschnitt „Grundlagen“

Dieser Abschnitt stellt die Einbettung der Regel KTA 3101.3 in das übergeordnete Regelwerk (Atomgesetz, Strahlenschutzverordnung sowie übergeordnete behördliche Festlegungen) dar. Dabei wurden auch die neuen Entwicklungen im übergeordneten behördlichen Regelwerk berücksichtigt, die in den vom BMU am 24. Januar 2013 im BANz veröffentlichten und am 30. März 2015 aktualisierten „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke (SiAnf)“ sowie deren Interpretationen ihren Abschluss gefunden haben.

Abschnitt 1 „Anwendungsbereich“

Die Regel behandelt die thermomechanische Auslegung von Kernbauteilen für ortsfeste Kernkraftwerke mit Druck- oder Siedewasserreaktor.

Hinweis:

Soweit dies möglich war, wurden übergeordnete Anforderungen unabhängig vom Reaktortyp formuliert. Insbesondere die komponentenspezifischen Auslegungsanforderungen können jedoch nur sinnvoll bei Kenntnis des Reaktortyps bzw. der konkreten Ausführungsform der jeweiligen im Reaktorkern verbauten Komponenten formuliert werden.

Der Anwendungsbereich dieser Regel erstreckt sich auf den bestimmungsgemäßen Betrieb (Sicherheitsebene 1 und 2), Störfälle (Sicherheitsebene 3) und sehr seltene Ereignisse (Sicherheitsebene 4a). Als weitere Ereignisse, die der Auslegung zu Grunde zu legen sind, werden Einwirkungen von Innen (EVI) und Außen (EVA) - auslegungsrelevant ist hier insbesondere das Bemessungserdbeben – sowie Notstandsfälle behandelt, die in den „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ (SiAnf) nicht mehr den Sicherheitsebenen zugeordnet sind. Diese Ereignisse werden in KTA 3101.3 analog zur Sicherheitsebene 3 behandelt.

Zum Geltungsbereich dieser Regel gehören auch Anforderungen an die Fertigung, den Transport, die Einsatzplanung und den Betrieb von Kernbauteilen, die sich aus der Auslegung ergeben. Hierdurch soll sichergestellt werden, dass die Kernbauteile in der erforderlichen Qualität entsprechend den Vorgaben der Auslegung gefertigt werden und ihre auslegungsgemäßen Eigenschaften beim Transport und beim Betrieb nicht verlieren.

Vom Geltungsbereich ausgenommen sind Themen, die in anderen KTA-Regeln behandelt werden, z. B. KTA 3101.1 und KTA 3101.2 hinsichtlich der thermohydraulischen und neutronenphysikalischen Kernausslegung. Auf diese Regelwerke wird – sofern erforderlich – verwiesen. Weiterhin sind Aspekte der Zwischenlagerung von Kernbauteilen in kraftwerksexternen Einrichtungen und Aspekte der Entsorgung von Kernbauteilen ausgenommen. Ebenfalls nicht behandelt werden Anforderungen an Neutronenquellen, Absorberelemente und die Kerninstrumentierung.

Abschnitt 2 „Begriffe“

In diesem Abschnitt werden die wesentlichen im Regeltext verwendeten Begriffe definiert.

Abschnitt 3 „Grundsätzliche Anforderungen an die thermische und mechanische Auslegung von Kernbauteilen“

Abschnitt 3.1 „Allgemeines“

In diesem Abschnitt werden die grundsätzlichen Auslegungsprinzipien vorgestellt, die der Erstellung dieser Regel zu Grunde lagen, und aufgrund derer die übergeordneten „Sicherheitstechnischen Anforderungen“ (siehe Abschnitt 3.2), die - im allgemeinen komponentenspezifischen - „Nachweiskriterien“ (siehe Abschnitt 4) sowie weitere im Rahmen der Auslegung zu beachtende Randbedingungen (siehe Abschnitt 5) entsprechend dem gestaffelten Sicherheitskonzept abgeleitet wurden.

Alle Anforderungen leiten sich aus dem Atomgesetz und seinen Verordnungen ab. Das übergeordnete Sicherheitskonzept wird durch Schutzziele, daraus abgeleitete sicherheitstechnische Anforderungen sowie (in der Regel komponentenspezifische) Nachweisziele und Nachweiskriterien für unterschiedliche Sicherheitsebenen (Klassen von Anlagenzuständen) konkretisiert.

Schutzziele sind:

- a) Kontrolle der Reaktivität (R),
- b) Kühlung der Brennelemente (K),
- c) Einschluss der radioaktiven Stoffe (B)

Das grundlegende radiologische Sicherheitsziel ist

- d) Begrenzung der Strahlenexposition (S)

Die betrachteten Sicherheitsebenen (SE) sind:

- a) Normalbetrieb (SE 1)
- b) Anomaler Betrieb (SE 2)
- c) Störfälle (SE 3)
- d) sehr seltene Ereignisse (ATWS) (SE 4a)

Weiterhin werden Einwirkungen von Innen und Außen (EVI und EVA) sowie Notstandsfälle in dieser Regel analog zur Sicherheitsebene 3 behandelt.

Abschnitt 3.2 „Sicherheitstechnische Anforderungen“

In diesem Abschnitt werden die übergeordneten Schutzziele in sog. „Sicherheitstechnischen Anforderungen“ konkretisiert, die auf den unterschiedlichen Sicherheitsebenen unterschiedlich ausfallen können. Die Anforderungen an die

- a) Brennelemente (beim SWR einschließlich Brennelementkasten)
- b) Steuerelemente und
- c) Drosselkörper

sind in unterschiedlichen Abschnitten zusammengefasst und nach Sicherheitsebenen (SE 1 bis SE 4a) differenziert.

Die Anforderungen an EVA, EVI und Notstandsfälle, die in den SiAnf keinen Sicherheitsebenen zugeordnet sind, werden in dieser Regel in Anlehnung an die Sicherheitsebene 3 behandelt.

Abschnitt 4 „Auslegungsanforderungen“

In diesem Abschnitt werden die (übergeordneten) „Sicherheitstechnischen Anforderungen“ aus Abschnitt 3 durch sog. „Auslegungsanforderungen“ konkretisiert.

Abschnitt 4.1 „Komponentenübergreifende Anforderungen“

In Unterabschnitt 4.1.1 werden zunächst die Auslegungsgrundsätze vorgestellt, die den im Folgenden aufgeführten (komponentenspezifischen) Auslegungsanforderungen zu Grunde lagen. In Absatz (1) wird klargestellt, dass die nachfolgenden Auslegungsanforderungen aus den „sicherheitstechnischen Anforderungen“ (siehe Abschnitt 3.2) abgeleitet sind und die konkrete Ausführungsform der Komponente berücksichtigen. In den Absätzen (2) bis (6) werden die wesentlichen Auslegungsgrundsätze genannt (z. B. Berücksichtigung aller relevanter physikalisch/chemischer Einflüsse), die generell bei der Auslegung zu berücksichtigen sind. In Absatz (7) wird ergänzt, dass der der Erfahrungsrückfluss z. B. aus Betrieb oder Experimenten zu berücksichtigen ist. In Absatz (8) wird klargestellt, dass sich die in den nachfolgenden Abschnitten aufgeführten (oftmals komponentenspezifischen) Auslegungsanforderungen auf den gegenwärtigen Stand der konstruktiven Ausführung beziehen und dass bei anderen Ausführungsformen die Auslegungsanforderungen analog zu den Absätzen (1) bis (7) zu ermitteln sind.

In den folgenden Unterabschnitten 4.1.2 bis 4.1.5 werden weitere allgemeine – d. h. nicht komponentenspezifische - Anforderungen aufgeführt, welche insbesondere die Themenbereiche

- a) Verwendung geeigneter Werkstoffe,
- b) Kompatibilität,
- c) Inspizierbarkeit und
- d) Vermeidung loser Teile

abdecken.

Abschnitt 4.2 „Brennelementstruktur, einschließlich Brennelementkasten beim SWR“

Dieser Abschnitt enthält die Auslegungsanforderungen an die Brennelementstruktur, die beim SWR den Brennelementkasten beinhaltet. Auslegungsaspekte für Brennstäbe, die aufgrund der *Wechselwirkungen* zwischen den Brennelementstrukturteilen und den Brennstäben eine integrale Nachweisführung erfordern, werden in diesem Kapitel 4.2 mit behandelt.

Im Einzelnen werden folgende Themen behandelt:

- a) Begrenzung von Spannungen und Dehnungen,
- b) Geometrische Stabilität,
- c) Ermüdung,
- d) Begrenzung der Korrosion,
- e) Sicherstellung einer ausreichenden Duktilität,
- f) Sicherstellung der Lage des Brennstoffs
- g) Brennstablagerung
- h) DWR-spezifische Anforderungen.

Abschnitt 4.3 „Brennstab“

Dieser Abschnitt enthält Auslegungsanforderungen an den (einzelnen) Brennstab. Sofern für gewisse Aspekte (z. B. Fretting an den Abstandshaltern) der Brennstab nicht isoliert betrachtet werden kann, sind die diesbezüglichen Anforderungen aus Abschnitt 4.3 „ausgelagert“ und in Abschnitt 4.2 enthalten.

Neben den bereits in Abschnitt 4.2 behandelten Themenbereichen

- a) Begrenzung von Spannungen und Dehnungen im Hüllrohr,
- b) Sicherstellung einer ausreichenden Duktilität,
- c) Geometrische Stabilität,
- d) Ermüdung,
- e) Begrenzung der Korrosion,

werden folgende brennstabspezifische Aspekte behandelt:

- f) Begrenzung von Beanspruchungen durch chemisch mechanische Wechselwirkung (PCI) und Spannungsrissskorrosion (SCC),
- g) Begrenzung des Innendrucks sowie
- h) Begrenzung der Brennstofftemperatur.

Abschnitt 4.4 „Steuerelemente“

Dieser Abschnitt enthält Auslegungsanforderungen an die Steuerelemente.

In Abschnitt 4.4.1 „Allgemeines“ sind allgemeine Auslegungsanforderungen an die Steuerelemente aufgeführt, die vornehmlich dazu dienen, dass die Steuerelemente ihre neutronenphysikalische Wirkung (Abschaltung des Reaktors) entsprechend KTA 3103 und 3101.2 erfüllen können.

In den nachfolgenden Unterabschnitten werden folgende Themen behandelt:

- a) Verwendung geeigneten Absorbermaterials,
- b) Begrenzung der Temperatur des Absorbermaterials,
- c) Begrenzung der Spannungen in der Absorberhülle,
- d) Ermüdung der Absorberhülle, der Steuerelement-Strukturteile und der Verbindungen,
- e) Geometrische Stabilität,
- f) Begrenzung der plastischen Dehnung der Absorberhülle,
- g) Begrenzung der Spannungen und Dehnungen in den Strukturteilen und Verbindungen sowie
- h) Sicherstellung einer ausreichenden Duktilität.

Abschnitt 4.5 „Drosselkörper“

Die wesentliche Funktion der Drosselkörper ist ein thermohydraulischer Abgleich. Diese Aufgaben sind KTA 3101.1 geregelt. Die thermomechanische Auslegung der Drosselkörper hat im Wesentlichen sicherzustellen, dass Qualitäts- und Kompatibilitätsanforderungen eingehalten werden. Entsprechende Anforderungen sind in diesem Abschnitt enthalten.

Abschnitt 5 „Weitere allgemeine Auslegungsanforderungen“

Hier werden weitere allgemeine Auslegungsanforderungen bzw. Randbedingungen für die Auslegung behandelt, die nicht in die hierarchische Struktur der Abschnitte 3 und 4 passen.

Abschnitt 5.1 „Anforderungen an die Nachweisführung bei der Auslegung

Dieser Abschnitt gibt vor, wie die Nachweise im Rahmen der Auslegung zu führen sind.

Abschnitt 5.2 „Anforderungen an die Herstellung

Dieser Abschnitt beschreibt die Schnittstelle zwischen Auslegung und Herstellung, um Überschneidungen mit anderen KTA Regeln (z. B. KTA 1401 und KTA 1404) zu vermeiden.

Abschnitt 5.3 „Anforderungen an den Transport“

Die hier aufgeführten Anforderungen stellen sicher, dass in den Qualitätsnachweisen bescheinigte Qualität sowie die Funktionalität der Kernbauteile auch bei den im Rahmen des Transports auftretenden Belastungen erhalten bleibt.

Abschnitt 5.4 „Anforderungen an Einsatzplanung und Betrieb“

Kernbauteile können ihre auslegungsgemäßen Eigenschaften nur dann erhalten, wenn durch den Betrieb und die Einsatzplanung sichergestellt ist, dass die bei der Auslegung angenommenen Grenzen tatsächlich eingehalten werden. In diesem Abschnitt sind die diesbezüglichen Anforderungen zusammengefasst.

Anhang A: „Tabellarische Übersicht der sicherheitstechnischen Anforderungen“

In Anhang A sind die sich für die verschiedenen Sicherheitsebenen aus den Schutzziele bzw. dem grundlegenden radiologischen Sicherheitsziel ergebenden sicherheitstechnischen Anforderungen für Brennelemente und Steuerelemente getrennt in tabellarischer Form zusammengefasst.

Anhang B: „Anforderungen an analytische und experimentelle Festigkeitsnachweise“

Anhang B enthält Anforderungen an die Vorgehensweise bei analytischen und experimentellen Festigkeitsnachweisen. Die bei unterschiedlichen Nachweisen anzuwendenden Sicherheitsbeiwerte, die teilweise für die einzelnen Kernbauteile unterschiedlich ausfallen können, sind in zwei gesonderten Tabellen zusammengestellt (eine für die Sicherheitsebenen 1 und 2, eine für die Sicherheitsebene 3). Weiterhin enthält dieser Anhang Ermüdungskurven für die üblicherweise bei Kernbauteilen eingesetzten Werkstoffe.

Der Anhang B der Regel KTA 3101.3 ersetzt den Anhang B „Mechanische und thermische Auslegung der Steuerelemente“ aus der veralteten Fassung der KTA 3103 des Jahres 1984.