

## Dokumentationsunterlage zum Regelvorhaben

KTA 3206

Nachweise zum Bruchausschluss für druckführende Komponenten in Kernkraftwerken

### Inhalt:

- 1 Auftrag des KTA
- 2 Beteiligte Fachleute
  - 2.1 Zusammensetzung des Arbeitsgremiums
  - 2.2 KTA-Unterausschuss MECHANISCHE KOMponentEN (UA-MK)
  - 2.3 Mitarbeiter der KTA-Geschäftsstelle
- 3 Erarbeitung des Regelentwurfs und der Regelvorlage
  - 3.1 Erarbeitung des Regelentwurfs
  - 3.2 Erarbeitung der Regelvorlage
- 4 Berücksichtigte Regeln und Unterlagen
  - 4.1 Abgleich mit den SiAnf und Interpretationen
  - 4.2 Nationale Regeln und Unterlagen
  - 4.3 Internationale Regeln und Unterlagen
- 5 Erläuterungen zu den in KTA 3206 getroffenen Festlegungen

### 1 Auftrag des KTA

Der Kerntechnische Ausschuss fasst am 10. November 2009 die folgenden Beschlüsse:

#### **Beschluss-Nr.: 64/4.1.1/1 vom 10.11.2009**

Der Unterausschuss MECHANISCHE KOMponentEN (UA-MK) wird beauftragt, federführend den Entwurf zur Regel  
KTA 3206 Nachweise zum Bruchausschluss für druckführende Komponenten in Kernkraftwerken  
mit einer Dokumentationsunterlage durch ein Arbeitsgremium erarbeiten zu lassen.

#### **Beschluss-Nr.: 64/4.1.1/2 vom 10.11.2009**

Der Unterausschuss MECHANISCHE KOMponentEN (UA-MK) wird beauftragt, den Entwurfsvorschlag für das Regelvorhaben KTA 3206 zu prüfen und eine Beschlussvorlage für den KTA zu erarbeiten.

Bei der Vorbereitung des Regelentwurfes war der im Beschlussvorschlag des Unterausschusses „Programm und Grundsatzfragen“ (UA-PG) enthaltene Konzeptvorschlag zugrunde zu legen.

## 2 Beteiligte Fachleute

### 2.1 Zusammensetzung des Arbeitsgremiums

- aus Datenschutzgründen in dieser Datei gelöscht

Zusätzlich wurden in die Erarbeitung des Regelentwurfs folgende Fachleute einbezogen:

- aus Datenschutzgründen in dieser Datei gelöscht

### 2.2 KTA-Unterausschuss MECHANISCHE KOMPONENTEN (UA-MK)

- aus Datenschutzgründen in dieser Datei gelöscht

### 2.3 Zuständiger Mitarbeiter der KTA-Geschäftsstelle

Dr. H.-R. Bath

KTA-GS beim BfS, Salzgitter

## 3 Erarbeitung des Regelentwurfs und der Regelvorlage

### 3.1 Erarbeitung des Regelentwurfes

(1) Am 22. April 2010 traf sich das Arbeitsgremium zu seiner konstituierenden Sitzung und begann mit der Erarbeitung des Regelentwurfsvorschlags.

(2) Die Erarbeitung des Regelentwurfsvorschlags erfolgte auf folgenden Sitzungen des Arbeitsgremiums:

1. Sitzung	am 22. April 2010	in Stuttgart
2. Sitzung	am 20. Mai 2010	in Stuttgart
3. Sitzung	am 28. und 29. Juni 2010	in München
4. Sitzung	am 22. September 2010	in Stuttgart
5. Sitzung	am 13. und 14. Oktober 2010	in Hamburg
6. Sitzung	am 25. November 2010	in Filderstadt
7. Sitzung	am 16. Dezember 2010	in Berlin
8. Sitzung	am 24. Januar 2011	in Hamburg
9. Sitzung	am 17. Februar 2011	in Essen
10. Sitzung	am 24. und 25. März 2011	in Erlangen
11. Sitzung	am 14. April 2011	in Köln
12. Sitzung	am 09. und 10. Juni 2011	in München
13. Sitzung	am 25. Juli 2011	in Essen
14. Sitzung	am 22. und 23. August 2011	in Berlin
15. Sitzung	am 20. Oktober 2011	in Köln
16. Sitzung	am 18. November 2011	in Hamburg
17. Sitzung	am 12. und 13. Dezember 2011	in Erlangen
18. Sitzung	am 30. und 31. Januar 2012	in München
19. Sitzung	am 28. und 29. Februar 2012	in Berlin
20. Sitzung	am 11. und 12. April 2012	in München
21. Sitzung	am 09. und 10. Mai 2012	in Köln
22. Sitzung	am 21. und 22. Juni 2012	in Erlangen
23. Sitzung	am 23. und 24. Juli 2012	in München
24. Sitzung	am 06. und 07. August 2012	in Mannheim

(3) Auf der Sitzung am 06./07. August 2012 beschloss das Arbeitsgremium einstimmig, den Regelentwurfsvorschlag - vorbehaltlich einiger im Nachgang zur Sitzung vorzunehmender Ergänzungen und einer abschließenden Durchsicht des Regelentwurfsvorschlags - dem zuständigen Unterausschuss MECHANISCHE KOMPONENTEN (UA-MK) mit der Empfehlung einer Freigabe für den Fraktionsumlauf vorzulegen. Die abschließende Durchsicht erfolgte bis zum 31.08.2012. Die nach der Sitzung vorgenommenen Ergänzungen wurden bis zum 03.09.12 im schriftlichen Verfahren abgestimmt.

(4) Der UA-MK hat den Regelentwurfsvorschlag auf seiner 45. Sitzung am 13./14.09.2012 behandelt und mit einer Präzisierung in der Fassung September 2012 für den Fraktionsumlauf freigegeben.

(5) Der Fraktionsumlauf erfolgte im Zeitraum 01. Oktober 2012 bis 31. Dezember 2012. Es wurden von folgenden Stellen Änderungsvorschläge eingereicht:

- Technische Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber e.V. (mit Schreiben vom 14. Dezember 2012)
- E.ON Kernkraft GmbH (mit Schreiben vom 20. Dezember 2012)
- Herr Vojtech Engel (mit Schreiben vom 21. Dezember 2012)

- TÜV SÜD Energietechnik GmbH (mit Schreiben vom 21. Dezember 2012)
- AREVA NP GmbH (mit Schreiben vom 21. Dezember 2012)
- Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH (mit Schreiben vom 21. Dezember 2012)
- amtec Messtechnischer Service GmbH (mit Schreiben vom 29. Januar 2013)
- RSK-Ausschuss DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE, 125. Sitzung am 12.12.2012 (mit Schreiben vom 30. Januar 2013)
- Dr. Pape (Stellungnahme vom 07.12.2012, vorgelegt vom RSK-Ausschuss DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE mit Schreiben vom 30. Januar 2013)

(6) Das Arbeitsgremium hat über die eingegangenen Änderungsvorschläge auf folgenden Sitzungen beraten und die Regelentwurfsvorlage KTA 3206 in der Fassung August 2013 erarbeitet:

25. Sitzung	am 11. und 12. März 2013	in Köln
26. Sitzung	am 25. und 26. April 2013	in München
27. Sitzung	am 14. und 15. Mai 2013	in Berlin
28. Sitzung	am 27. und 28. Juni 2013	in Erlangen
29. Sitzung	am 25. Juli 2013	in Filderstadt
30. Sitzung	am 09. August 2013	in Köln

(7) Auf der 30. Sitzung hat das Arbeitsgremium einstimmig beschlossen, die Regelentwurfsvorlage in der Fassung August 2013 dem UA-MK zur Prüfung mit der Empfehlung vorzulegen, dem KTA die Verabschiedung als Regelentwurf vorzuschlagen.

(8) Der UA-MK hat auf seiner 47. Sitzung am 12./13. September 2013 über die Regelentwurfsvorlage KTA 3206 beraten und einstimmig beschlossen, diese dem KTA zur Verabschiedung als Regelentwurf vorzulegen. Gleichzeitig beauftragte der UA-MK das zuständige Arbeitsgremium, im Rahmen der Bearbeitung des Gründruckes (Regelentwurfes) die Formulierung in Abschnitt 3 Absatz 4 in Verbindung mit der Begriffsdefinition „Basissicherheit“ zu überprüfen und gegebenenfalls unter Berücksichtigung des folgenden Formulierungsvorschlags zu überarbeiten:

#### *Basissicherheit*

*Die Basissicherheit eines Anlagenteils wird bestimmt durch folgende Anforderungen:*

- a) hochwertige Werkstoffeigenschaften, insbesondere Zähigkeit*
- b) konservative Begrenzung der Spannung*
- c) Vermeidung von Spannungsspitzen durch optimale Konstruktion*
- d) Gewährleistung der Anwendung optimierter Herstellungs- und Prüftechnologien*
- e) Kenntnis und Beurteilung ggf. vorliegender Fehlerzustände*
- f) Berücksichtigung des Betriebsmediums*

*Dadurch wird erreicht, dass ein katastrophales, aufgrund herstellungsbedingter Mängel eintretendes Versagen eines Anlagenteils ausgeschlossen ist.*

#### *Hinweis:*

*Die Anforderungen an die Basissicherheit sind z.B. dann erfüllt, wenn die in den Regeln KTA 3201.1 bis KTA 3201.3 oder KTA 3211.1 bis KTA 3211.3 festgeschriebenen Anforderungen eingehalten sind.*

...

### **3 Grundlegende Anforderungen an Komponenten mit Bruchausschluss**

...

- (4) *Die Anforderungen an die Basissicherheit sind einzuhalten.*

(9) Der KTA entsprach der Empfehlung des UA-MK und hat auf seiner 68. Sitzung am 19. November 2013 den Regelentwurf in der Fassung 2013-11 beschlossen. Die Bekanntmachung im Bundesanzeiger erfolgte am 19. Dezember 2013.

## **3.2 Erarbeitung der Regelvorlage**

(1) Der Regelentwurf KTA 3206 (2013-11) hat vom 1. Januar 2014 bis 31. März 2014 der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegen. Zum Regelentwurf ist eine Stellungnahme eingegangen von:

- Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH (Schreiben vom 31.03.2014)

(2) Das Arbeitsgremium hat auf seiner

31. Sitzung	am 20. Mai 2014	in Köln
-------------	-----------------	---------

über den Regelentwurf KTA 3206 (2013-11), über den o.g. Änderungsvorschlag, über den unter 3.1 (8) genannten Prüfungsauftrag des UA-MK sowie über die sich aus dem Schreiben des KTA-Unterausschusses „Programm und Grundsatzfragen“ vom 25.04.14 ergebenden Konsequenzen für KTA 3206 beraten. Es wurden die erforderlichen Änderungen und Ergänzungen in die Regelvorlage eingearbeitet. Im Ergebnis der Sitzung wurde einstimmig beschlossen, die geänderte Regelvorlage dem UA-MK mit der Empfehlung vorzulegen, dem KTA die Aufstellung als Regel vorzuschlagen.

(3) Nach der 31. Sitzung des Arbeitsgremiums wurden noch einige redaktionelle Verbesserungen und Korrekturen vorgenommen, die auf schriftlichem Wege abgestimmt wurden.

(4) Auf seiner 49. Sitzung am 16./17. September 2014 beriet der UA-MK über die Regeländerungsvorlage. Er nahm eine Präzisierung im Titel der Tabelle A-1 vor und beschloss, dem KTA zu seiner 69. Sitzung am 11. November 2014 die Aufstellung der nach Einarbeitung dieser Änderung entstandenen Fassung September 2014 als Regel vorzuschlagen.

(6) Der KTA entsprach der Empfehlung und hat auf seiner 69. Sitzung am 11. November 2014 die Regelvorlage als Regel in der Fassung 2014-11 aufgestellt. Die Veröffentlichung der Regel im Bundesanzeiger erfolgte am 15. Januar 2015.

#### 4 Berücksichtigte Regeln und Unterlagen

##### 4.1 Abgleich mit den SiAnf und Interpretationen

(1) In den „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke sind folgende Anforderungen enthalten, die den Anwendungsbereich der Regel KTA 3206 betreffen:

- a) Anforderung 3.1 „Übergeordnete Anforderungen“,
- b) Anforderung 3.4 „Anforderungen an die Druckführende Umschließung und die drucktragende Wandung von Komponenten der Äußeren Systeme“,
- c) Anforderung Nr. 5 (3) b), wonach als Grundlage für die Nachweisführung eine Dokumentation vorliegen muss, dass der bestehende Zustand der betroffenen sicherheitstechnisch wichtigen Maßnahmen und Einrichtungen die aktuell geltenden Anforderungen erfüllt.

(2) Bei der Erarbeitung der KTA 3206 wurden gemäß Anforderung 3.1 Grundsätze und Verfahren angewendet, die den besonderen sicherheitstechnischen Erfordernissen der Kerntechnik entsprechen.

(3) Gemäß Anforderung 3.4 (4) ist für ausgewählte Rohrleitungssysteme und Komponenten nachzuweisen, dass anzunehmende Fehler in der drucktragenden Wandung nicht zu einem Leck oder Bruch der Rohrleitung oder Komponente führen können, die die in Anspruch genommenen eingeschränkten Leck- und Bruchannahmen in Frage stellen. Dabei darf bei basissicher ausgeführten Komponenten von generischen Nachweisen und Ergebnissen von experimentellen Untersuchungen Kredit genommen werden. Weiterhin dürfen für Armaturen- und Pumpengehäuse abdeckende Nachweise für die Gehäuse einschließlich der Stutzenbereiche für anschließende Rohrleitungen geführt werden. Die Einhaltung der dabei zugrunde gelegten Randbedingungen während des Betriebs ist durch geeignete Maßnahmen zur Überprüfung der Einwirkungen und wiederkehrende zerstörungsfreie Prüfungen der Komponenten zu verifizieren.

Durch die Festlegungen in den Abschnitten 3 und 4 sowie in den Anhängen der Regel KTA 3206 wird diese Sicherheitsanforderung konkretisiert.

(4) Die Anforderungen gemäß (1) a) und b) werden in der Interpretation I-2 „Anforderungen an die Ausführung der Druckführenden Umschließung, der Äußeren Systeme sowie des Sicherheitsbehälters“, Abschnitt 3 „Zusätzliche Anforderungen an Komponenten und Systeme zur Einschränkung von Bruchannahmen“, präzisiert. Die Umsetzung dieser Festlegungen in KTA 3206 ist in **Tabelle D-1** dargestellt.

Anforderung gemäß Interpretation I-2 Abschn. 3	Umsetzung in KTA 3206	Bewertung
3.1 (1) Werden für Rohrleitungssysteme und Komponenten der Druckführenden Umschließung oder der Äußeren Systeme im Sinne der „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“, Nummer 3.4 (4), im Rahmen des Auslegungskonzeptes eingeschränkte Leck- und Bruchannahmen in Anspruch genommen, so sind diese Rohrleitungssysteme und Komponenten durch bauliche Einrichtungen oder Entkopplung so gegen standortspezifisch zu unterstellende naturbedingte oder aus Notstandsfällen resultierende Einwirkungen von außen zu schützen und, unter Berücksichtigung der durch diese Ereignisse induzierten Erschütterungen, derart auszulegen, dass deren Integrität erhalten bleibt.	—	Für KTA 3206 nicht zutreffend. Der Schutz der betreffenden Rohrleitungssysteme und Komponenten gegen Einwirkungen von außen ist in den Regeln der Reihe KTA 2200 festgelegt.
3.1 (2) Zusätzlich zu den Anforderungen nach Abschnitt 2 ist eine Analyse durchzuführen, die alle möglichen Einwirkungen aus den Betriebszuständen und Ereignissen der Sicherheitsebenen 1 bis 4a und der standortspezifisch zu unterstellenden naturbedingten Einwirkungen von außen unter Berücksichtigung des Antwortverhaltens des Systems einschließt. Mit daraus ermittelten abdeckenden Lastannahmen ist unter der Annahme von Fehlern bruchmechanisch nachzuweisen, dass diese Fehler nicht zu einem Leck oder Bruch der Komponenten führen können, die die in Anspruch genommenen Leck- und Bruchannahmen in Frage stellen. Die Fehler sind dabei so zu wählen, dass sie sich unter den ergebenden Beanspruchungen im Hinblick auf die Integrität der Komponente ungünstiger verhalten, als möglicherweise in der Komponente vorhandene und sicher feststellbare Fehler.	Anhang A	Erfüllt
3.1 (3) Die Größe der zu postulierenden Fehler ist dabei so festzulegen, dass diese mit den spezifizierten Prüfverfahren sicher auffindbar sind. Die postulierten Fehler sind an der Stelle der Oberfläche und in der Orientierung anzunehmen, für die sich das größte Risswachstumspotenzial ergibt.	Anhang A	Erfüllt

**Tabelle D-1:** Umsetzung der „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ in KTA 3206 (Fortsetzung siehe Folgeseiten)

Anforderung gemäß Interpretation I-2 Abschn. 3	Umsetzung in KTA 3206	Bewertung
<p>3.1 (4) Die betroffenen Komponenten müssen die Anforderungen nach Abschnitt 2 erfüllen. Dabei sind die Voraussetzungen für die Inanspruchnahme eingeschränkter Leck- und Bruchannahmen zu gewährleisten, d. h. durch Auslegung und Herstellung muss für den Betrieb sichergestellt sein, dass</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Schädigungsmechanismen wie Korrosions- und Erosionsvorgänge, Ermüdung durch Schwingungen bzw. dynamische Belastungen sowie betriebliche Werkstoffveränderungen so begrenzt und feststellbar sind, dass sie nicht zu einer unzulässigen Beeinträchtigung der Qualität führen können und</li> <li>– die zulässigen Spannungen auch nicht durch Drucküberschreitungen, thermische und mechanische Zusatzlasten sowie Fehlfunktionen der Unterstützungen überschritten werden.</li> </ul>	Abschnitt 3	Erfüllt
<p>3.2 Bruchsicherheitsnachweis für den Reaktordruckbehälter</p> <p>3.2 (1) Für den Reaktordruckbehälter, dessen Integrität für die Sicherstellung aller Schutzziele gemäß den „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ erforderlich ist, sind für den Nachweis des Ausschlusses von Brüchen alle über die vorgesehene Betriebsdauer zu erwartenden Veränderungen der Werkstoffeigenschaften konservativ zu berücksichtigen.</p>	Abschnitt 3	Für KTA 3206 nur teilweise zutreffend. Anforderungen an die Überwachung des Bestrahlungsverhaltens der RDB-Werkstoffe sind in KTA 3203 festgelegt.
<p>3.2 (2) Für die der Neutronenstrahlung ausgesetzten Bereiche der Druckbehälterwand sind durch konstruktive Vorgaben die Fluenzen zu begrenzen sowie Anforderungen an die chemische Zusammensetzung von Grundwerkstoff und Schweißgut einzuhalten, so dass die Veränderung der Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften infolge der Bestrahlung innerhalb zulässiger Grenzen bleibt.</p>	—	Für KTA 3206 nicht zutreffend. Anforderungen sind in KTA 3201.1 und in KTA 3203 festgelegt.
<p>3.2 (3) Zur Charakterisierung der durch Bestrahlung veränderten Werkstoffeigenschaften ist in Abhängigkeit von der akkumulierten Neutronenfluenz ein abgestuftes Überwachungsprogramm mit voreilend bestrahlten Einhängeproben (Grundwerkstoffe, Schweißverbindungen) durchzuführen.</p>	—	Für KTA 3206 nicht zutreffend. Anforderungen sind in KTA 3203 festgelegt.
<p>3.2 (4) Für postulierte Oberflächenfehler und ggf. für im Volumen festgestellte herstellungsbedingte Fehlergrößen ist für alle Beanspruchungen aus den relevanten Belastungen nachzuweisen, dass bei Verwendung bruchmechanischer Nachweismethoden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– bei Betriebszuständen der Sicherheitsebenen 1 und 2 keine Rissinitiierung und</li> <li>– bei Ereignissen der Sicherheitsebenen 3 und 4a sowie bei standortspezifisch zu unterstellenden naturbedingten Einwirkungen von außen kein instabiles Risswachstum in Wanddickenrichtung stattfindet.</li> </ul> <p>Bei Ereignissen der Sicherheitsebenen 3 und 4a sowie bei standortspezifisch zu unterstellenden naturbedingten Einwirkungen von außen ist nur ein begrenztes, in Bezug auf die Wanddicke nicht signifikantes, stabiles Risswachstum nur in der Hochlage der Zähigkeit zulässig.</p> <p>Darüber hinaus ist rechnerisch nachzuweisen, dass aus Wechselbelastungen auf die betrachteten Fehlergrößen kein in Bezug auf die Wanddicke signifikantes Risswachstum auftritt.</p>	Abschnitt 3, Abschnitt 4 und Anhang A, Abschnitt A 3	Für KTA 3206 nur teilweise zutreffend. Der Sprödbrechtsicherheitsnachweis des RDB ist in KTA 3201.2 Abschnitt 7.9 geregelt.
<p>3.3 Bruchausschluss für Rohrleitungen</p> <p>Wird für Rohrleitungssysteme gemäß Abschnitt 3.1 Bruchausschluss in Anspruch genommen, so ist nachzuweisen, dass</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– postulierte Fehler in der drucktragenden Wand bei den auf den Sicherheitsebenen 1 und 2 zu unterstellenden Betriebszuständen und Ereignissen kein in Bezug auf die Wanddicke signifikantes Wachstum zeigen und</li> <li>– weiterhin ein postulierter Durchriss der drucktragenden Wand bei Belastungen aus Ereignissen der Sicherheitsebenen 3 und 4a sowie standortspezifisch zu unterstellenden naturbedingten Einwirkungen von außen stabil bleibt, d. h. ein Leckvor-Bruch-Verhalten zeigt. Es ist nachzuweisen, dass unter Berücksichtigung der aus dem Leckfall resultierenden Belastungen und der Karenzzeiten für die Erkennung des Lecks bis zur Außerbetriebnahme des betroffenen Systems ein ausreichender Abstand zu kritischen Rissgrößen erhalten bleibt. Die Größe der postulierten Risse ist so zu wählen, dass eine rechtzeitige Erkennung der durch diese Risse verursachten Lecks im Betrieb sichergestellt ist. Die Leckerkennung ist mit hoher Zuverlässigkeit auszuführen. Dies ist insbesondere durch den Einsatz diversitärer Messmethoden sicherzustellen.</li> </ul>	Abschnitt 3, Abschnitt 4 und Anhang A, Abschnitt A 2	Erfüllt

**Tabelle D-1:** Umsetzung der „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ in KTA 3206 (Fortsetzung)

Anforderung gemäß Interpretation I-2 Abschn. 3	Umsetzung in KTA 3206	Bewertung
<p>3.4 Bruchsicherheitsnachweis für Behälter</p> <p>Wird für Behälter gemäß Abschnitt 3.1 Bruchausschluss in Anspruch genommen, so ist nachzuweisen, dass bei Betriebszuständen und Ereignissen der Sicherheitsebenen 1 bis 4a sowie bei standortspezifisch zu unterstellenden naturbedingten Einwirkungen von außen Einwirkungen kein instabiles Risswachstum in Wanddickenrichtung stattfindet. Ein begrenztes, stabiles Risswachstum ist nur in der Hochlage der Zähigkeit zulässig, wobei ein Abstand zu kritischen Rissgrößen einzuhalten ist.</p>	Abschnitt 3, Abschnitt 4 und Anhang A, Abschnitt A 3	Erfüllt
<p>3.5 Bruchsicherheitsnachweis für Gehäuse</p> <p>Wird für Gehäuse von Armaturen gemäß Abschnitt 3.1 Bruchausschluss in Anspruch genommen, so ist nachzuweisen, dass bei Betriebszuständen und Ereignissen der Sicherheitsebenen 1 bis 4a sowie bei standortspezifisch zu unterstellenden naturbedingten Einwirkungen von außen kein instabiles Risswachstum in Wanddickenrichtung stattfindet. Ein begrenztes, stabiles Risswachstum ist nur in der Hochlage der Zähigkeit zulässig, wobei ein Abstand zu kritischen Rissgrößen einzuhalten ist.</p>	Abschnitt 3, Abschnitt 4 und Anhang A, Abschnitt A 3	Erfüllt
<p>3.6 Vorsorgemaßnahmen zum Lecksicherheitsnachweis</p> <p>Für Abschnitte hochenergetischer Rohrleitungen der Druckführenden Umschließung und der Äußeren Systeme zwischen Sicherheitsbehälter und äußerer Absperreinrichtung, die im Falle eines Lecks zu</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– einem unzulässigen Druckaufbau im umgebenden Gebäude oder</li> <li>– unzulässigen Einwirkungen auf sicherheitstechnisch wichtige Einrichtungen (z. B. Überflutung, Strahlkräfte, Temperatur, Feuchte) oder</li> <li>– einer unzulässigen Freisetzung von Reaktorkühlmittel außerhalb des Gebäudes</li> </ul> <p>führen könnten, für die im Sicherheitsnachweis aber keine Folgeschäden aus Lecks an ihnen untersucht werden, sind über den Nachweis des Bruchausschlusses gemäß Abschnitt 3.3 hinaus folgende Anforderungen zu erfüllen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Zur Vermeidung von Spannungsspitzen sind insbesondere die konstruktiven Kriterien der Basissicherheit umzusetzen.</li> <li>– Die räumliche Ausdehnung der betroffenen Bereiche ist eng zu begrenzen.</li> <li>– Abzweigende Rohrleitungen oder Anschweißstellen sind nicht zulässig.</li> <li>– Zur Absicherung des Integritätsnachweises sind sie so zu überwachen, dass die lokal auftretenden Einwirkungen bekannt sind.</li> <li>– Für die anschließenden Gebäude- (bei Druckwasserreaktoren) bzw. Durchdringungs- (bei Siedewasserreaktoren) Abschlussarmaturen ist ein Bruchsicherheitsnachweis gemäß Abschnitt 3.5 zu führen.</li> </ul>	—	Die über den Nachweis des Bruchausschlusses hinaus gehenden Anforderungen sind nicht Gegenstand der Regel KTA 3206.
<p>3.7 Bruchausschluss für niederenergetische, selten oder gering beanspruchte Komponenten</p> <p>Werden für niederenergetische, selten oder gering beanspruchte Rohrleitungen, Behälter oder Gehäuse der Äußeren Systeme größer oder gleich DN 50, die in den „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“, Anhang 2, im Abschnitt 4.2 von Anlage 2 angesprochen sind, entsprechend den dort genannten Kriterien nur unterkritische Risse angenommen, so sind die Anforderungen gemäß Abschnitt 3.1 für die Inanspruchnahme von Bruchausschluss einzuhalten.</p> <p>Die bruchmechanischen Analysen nach 3.1 (2) und (3) können dabei entfallen.</p>	Abschnitt 3, Abschnitt 4 und Anhang A, Abschnitt A 1	Erfüllt

**Tabelle D-1:** Umsetzung der „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ in KTA 3206 (Fortsetzung)

## 4.2 Nationale Regeln und Unterlagen

### Hinweis:

Die im Anhang E dieser Regel zitierten Unterlagen wurden bei der Erarbeitung des Regeltextes ebenfalls berücksichtigt; sind jedoch hier nicht nochmals aufgeführt.

- RSK-Leitlinien DWR (1981-10) Leitlinien der Reaktor-Sicherheitskommission für Druckwasserreaktoren, 3. Ausgabe vom 14. Oktober 1981 mit Änderungen von Kap. 21.1 vom 3/1984, von Kap. 21.2 vom 12/1983 und mit Änderungen vom November 1996 sowie zugehöriger Anhang 2: Rahmenspezifikation Basissicherheit; Basissicherheit von druckführenden Komponenten: Behälter, Apparate, Rohrleitungen, Pumpen und Armaturen
- „Leitlinie zum Alterungsmanagement in Kernkraftwerken“. Techn.-wiss. Bericht MPA Stuttgart (2007), Heft 07-03. 1. Überarb. Auflage, Dezember 2007, ISSN 0721-4529
- VdTÜV-Bericht 62 (Rev. a) „Bruchmechanische Nachweise zur Absicherung eingeschränkter Leckannahmen bei Rohrleitungen (Bruchausschluss)“, Herausgeber: Verband der TÜV e. V. (VdTÜV), Berlin 02.02.2009
- MPA/VGB Forschungsvorhaben SA“AT“ 29/05: Integritätskonzept für Druckführende Komponenten – Teilbericht 1: Stoffsammlung zum Integritätskonzept, Mai 2009

- MPA/VGB Forschungsvorhaben SA"AT" 29/05: Integritätskonzept für Druckführende Komponenten – Teilbericht 2: Nutzungspapier zum Integritätsnachweis von Rohrleitungen, März 2009
- MPA/VGB Forschungsvorhaben SA"AT" 29/05: Integritätskonzept für Druckführende Komponenten – Teilbericht 3: Erstellung einer Richtlinie zur Durchführung eines Integritätsnachweises für druckführende Komponenten, Oktober 2009.
- Bruchmechanischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile (FKM -Richtlinie), Forschungskuratorium Maschinenbau, VDMA Verlag GmbH, Frankfurt, 2006
- H. Hoffmann, U. Ilg, G. König, W. Mayinger, G. Nagel, D. Schümann, M. Widera: Das Integritätskonzept für Rohrleitungen sowie Leck- und Bruchpostulate in deutschen Kernkraftwerken. VGB PowerTech, Int.J.o.Electricity and Heat Generation, 87. Jahrgang, Heft 7/2007, Seite 78-91
- RSK-Stellungnahme „Festlegung von Versagenspostulaten für Komponenten“ vom 08.09.2005 (386. Sitzung), Bonn, 2005
- Integritätskonzept für Rohrleitungen sowie Leck- und Bruchpostulate in deutschen Kernkraftwerken, Technisch-wissenschaftlicher Bericht VGB-TW 520, Juli 2007, VGB PowerTech e.V.
- Kußmaul, K., D. Blind: Basis Safety – A Challenge to Nuclear Technology". IAEA Spec. Meeting, Madrid, March 5.-8.1979. Ed. In „Trends in Reactor Pressure Vessel and Circuit Development“ by R.W. Nichols 1979, Applied Science Publishers LTD, Barking Essex, England
- Stäbler, K.: Einführung in die Basissicherheit. VGB Kraftwerkstechnik 60, Heft 6, Juni 1980, S. 428/437
- Kußmaul, K.: German Basis Safety Concept Rules out Possibility of Catastrophic Failure. Nuclear Engineering International 12 (1984), pp.41/46

#### 4.3 Internationale Regeln und Unterlagen

- NS-G-2.12 „Ageing Management for Nuclear Power Plants“, SAFETY GUIDE, IAEA, 2009-03
- British Standard BS 7910:2005: "Guide to Methods for Assessing the Acceptability of Flaws in Metallic Structures". BSI British Standards ICS 25.160.40, Edition July 2005
- "Survey of European Leak-Before-Break Procedures and Requirements related to the Structural Integrity of Nuclear Power Plant Components, comparative Analyses for Harmonisation Purposes". Contract with the European Commission, DG XI, Study Contract B7-5200/97/000782/MAR/C2. Final Report: Comparison of National Leak-Before-Break Procedures and Practices - Summary of Results and Potential for greater Harmonisation, Revision 2, April 2000
- Wilkowski G.M., R.J. Olson, P.M. Scott: "State -of-the-art report on piping fracture mechanics". Report NUREG/CR-6540, BMI-2196, January 1998
- BS 7910: Guide on Methods for Assessing the Acceptability of Flaws in Metallic Structures, British Standards Institution, 2005
- Assessment of the Integrity of Structures Containing Defects (R6 - Revision 4), British Energy Generation Ltd., 2006
- NUREG/CR-3464: Application of fracture-proof design methods using tearing-instability theory to nuclear piping postulating circumferential through-wall cracks, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, 1983
- NUREG/CR-3475: Critical discharge of initially subcooled water through slits, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, 1983
- NUREG/CR-4572: NRC leak-before-break (LBB.NRC) analysis method for circumferentially through-wall cracked pipes under axial plus bending loads, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, 1986
- NUREG/CR-4853: Approximate methods for fracture analyses of through-wall cracked pipes, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, 1987
- NUREG/CR-5128: Evaluation and Refinement of Leak-Rate Estimation Models, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, 1994
- NUREG/CR-6300: Refinement and evaluation of crack-opening-area analyses for circumferential through-wall cracks in pipes, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, 1995
- NUREG/CR-6861: Barrier Integrity Research Program - Final Report, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, 2004
- SSM: A Combined Deterministic and Probabilistic Procedure for Safety Assessment of Components with Cracks – Handbook RSE R&D Report No. 2008:01. Det Norske Veritas (DNV), 2008

## 5 Erläuterungen zu den in KTA 3206 getroffenen Festlegungen

### Konzept der Regel:

(1) Ergänzend zu den Forderungen der Sicherheitskriterien 1.1, 2.1 und 4.1 werden in KTA 3206 ergänzende Maßnahmen und Nachweise für Komponenten und Rohrleitungen festgelegt, für die entweder im Rahmen der Auslegung der Anlage oder nachträglich (d. h. im Laufe der Betriebszeit, also nach der Auslegung und Herstellung) eingeschränkte Bruch- und Leckannahmen (Bruchausschluss) in Anspruch genommen werden. Die in KTA 3206 festgelegten Anforderungen beziehen sich im Wesentlichen auf Bruchausschlussnachweise im Rahmen der Auslegung, da bei Komponenten und Systemen, die später eingebaut werden und eine kürzere Betriebszeit als die Gesamtanlage aufweisen, gesonderte Festlegungen unter Zugrundelegung der tatsächlichen Betriebszeit zu treffen sind.

(2) Der Konzeptvorschlag zur Erarbeitung eines Regelentwurfs KTA 3206 enthielt folgende Vorgabe:

„Die Regel sollte neben den grundlegenden Anforderungen für den Bruchausschluss und der Darstellung des Integritätskonzepts die dabei zu führenden Nachweise präzisieren und geeignete Vorgehensweisen bei der Bewertung von Rohrleitungen und Komponenten mit Bruchausschluss festlegen. Dies beinhaltet auch erforderliche Ersatzmaßnahmen für nicht nach den Grundsätzen der Basissicherheit gefertigte Rohrleitungen und Komponenten.“

Die grundlegenden Anforderungen an den Bruchausschluss sind in Abschnitt 3 von KTA 3206 aufgeführt und gelten generell. Grundsätzlich sind bei Inanspruchnahme eingeschränkter Bruch- und Leckannahmen die Anforderungen an die Basissicherheit einzuhalten. Im Rahmen der Regelerarbeitung hat sich gezeigt, dass Ausnahmen hiervon nicht generell in KTA 3206 behandelt werden können, sondern im Einzelfall im Rahmen des Genehmigungs- und Aufsichtsverfahrens entschieden werden müssen. KTA 3206 enthält deshalb keine Anforderungen an Ersatzmaßnahmen für nicht nach den Grundsätzen der Basissicherheit gefertigte Rohrleitungen und Komponenten.

(3) KTA 3206 legt geeignete Vorgehensweisen bei der Bewertung von Rohrleitungen und Komponenten mit Bruchausschluss fest. Im Ergebnis der in KTA 3206 festgelegten Nachweise zum Bruchausschluss kann entschieden werden, ob eingeschränkte Bruch- und Leckannahmen in Anspruch genommen werden dürfen. Es gehört nicht zum Gegenstand der Regel KTA 3206, Festlegungen darüber zu treffen, für welche Komponenten Bruchausschluss in Anspruch genommen wird.

(4) Das Vorgehen nach KTA 3206 berücksichtigt die Konservativität der anzuwendenden Berechnungsverfahren, die Größe des Fehlerpostulats und die wiederkehrenden Prüfungen sowie die Betriebsüberwachung gemäß KTA 3201.4 und ist somit eingebunden in das Gesamtkonzept zur Absicherung der Komponentenintegrität im Betrieb.

(5) Die Anforderungen in der Regel KTA 3206 wurden nicht aufgrund eines neuen Kenntnisstands gegenüber den existierenden Nachweisen festgelegt. Ziel der in KTA 3206 festgelegten Anforderungen ist es, durch Harmonisierung der bisher angewendeten Nachweiskonzepte eine einheitliche Vorgehensweise bei Bruchausschluss-Nachweisen festzulegen.

(6) Festlegungen, die bereits in anderen KTA-Regeln enthalten sind, wurden nicht in KTA 3206 aufgenommen.

(7) Da technische und organisatorische Maßnahmen zur Beherrschung der für die Sicherheit eines Kernkraftwerkes relevanten Alterungsphänomene und zum Erhalt des anforderungsgerechten Qualitätszustandes als wesentliche Voraussetzungen für einen Bruchausschluss angesehen werden, sind die Anforderungen unter Berücksichtigung der Festlegungen in KTA 1403 formuliert.

#### Zu 1 Anwendungsbereich:

(1) Der Anwendungsbereich umfasst alle Komponenten des Primärkreises als auch der äußeren Systeme, für die eingeschränkte Bruch- und Leckannahmen in Anspruch genommen werden.

(2) Wenn für eine Komponente Bruchausschluss in Anspruch genommen wird, fallen sie in die Gruppe M1 gemäß KTA 1403 (Komponenten und Bauteile, für die ein Versagen nicht zulässig ist).

#### Zu 2 Begriffe:

(1) Es wurden die zum Verständnis der Regel erforderlichen Begriffe definiert oder - soweit möglich - aus anderen Regeln des KTA übernommen.

(2) Im Begriff „Basissicherheit“ erfolgt bei Komponenten der Äußeren Systeme keine Einschränkung auf bestimmte Prüfgruppen, weil den Prüfgruppen A1, A2 und A3 entsprechend dem unterschiedlichen Gefährdungspotenzial (Beanspruchung, Abmessung) und unter Beachtung der verwendeten Werkstoffe die gleiche Basissicherheit zugrunde liegt und weil die für eine Inanspruchnahme von Bruchausschluss erforderlichen Zusatzanforderungen in KTA 3211.3 Abschnitt 14 bereits formuliert sind.

(3) Zum Begriff „Leck-vor-Bruch“ ist anzumerken, dass der international häufig verwendete Leck-vor-Bruch-Nachweis nicht mit dem Bruchausschluss-Nachweis gleichzusetzen ist. Der Leck-vor-Bruch-Nachweis ist Bestandteil der bruchmechanischen Analyse im Rahmen des Bruchausschlussnachweises. Die Voraussetzungen für Bruchausschluss sind im Abschnitt 3 genannt.

Das deutsche Vorgehen beruht auf einem im Wesentlichen deterministisch formulierten Ansatz:

- a) Vermeidung von Fehlerentstehung,
- b) Überwachung auf Fehlerentstehung,
- c) bruchmechanische Absicherung.

Im deutschen Vorgehen ist die Leck-vor-Bruch-Analyse Teil der bruchmechanischen Absicherung und hat eine sehr viel geringere Gewichtung als die anderen Bausteine. Im Gegensatz dazu haben bruchmechanische Berechnungen z. B. im amerikanischen Vorgehen nach SRP 3.6.3 eine sehr viel höhere Gewichtung, die ergänzende Sicherheitsfaktoren im bruchmechanischen Nachweis erfordert.

Wesentliche Unterschiede zwischen Bruchausschluss und Leck-vor-Bruch sind:

- Die Grundlagen für Bruchausschluss sind die Abwesenheit von herstellungsbedingten kritischen Fehlern durch Einhaltung der Grundsätze der Basissicherheit und die Vermeidung und Begrenzung der Ursachen von Schädigungsmechanismen, die zur Entstehung von Schädigungen unter betrieblichen Belastungen (z. B. Rissbildungen) oder Störfallbelastungen (z. B. übermäßige plastische Verformungen) führen und somit die Integrität der Komponente gefährden könnten. Dies bedeutet, dass Folgen von Schädigungsmechanismen, z. B. Rissbildungen nicht zulässig sind und in diesem Fall Bruchausschluss nicht mehr in Anspruch genommen werden kann.
- Im Gegensatz dazu können mit dem Leck-vor-Bruch (LvB) Konzept (LBB Konzept entsprechend SRP 3.6.3) nicht nur Komponenten mit postulierten Rissen, sondern auch mit tatsächlich vorhanden und betrieblich entstandenen Rissen abgesichert werden. Das LvB Konzept basiert im Wesentlichen auf der Beherrschung der Folgen von Schädigungsmechanismen und stützt sich vor allem auf die Leckageüberwachung, mit der sichergestellt werden soll, dass ein Leck möglichst frühzeitig erkannt und die Anlage rechtzeitig in einen sicheren Zustand abgefahren werden kann.
- Im Rahmen des Bruchausschlusses sind wiederkehrende zerstörungsfreie Prüfungen und die Leckageüberwachung lediglich zusätzliche Maßnahmen.
- In diesem Zusammenhang sind auch die bruchmechanischen Nachweise, die im Rahmen des Bruchausschlusses geführt werden, zu sehen. Obwohl bei Einhaltung der Voraussetzungen für die Inanspruchnahme von Bruchausschluss keine Risse zu unterstellen sind, ist im Rahmen einer bruchmechanischen Analyse zu zeigen, dass postulierte Risse kein signifikantes betriebliches Risswachstumspotenzial besitzen und für Rohrleitungen Leck-vor-Bruch nachgewiesen ist.



### Zu 3 Grundlegende Anforderungen an Komponenten mit Bruchausschluss:

(1) Die Anforderungen im Abschnitt 3 wurden auf wirklich grundsätzliche Festlegungen zum Integritätskonzept beschränkt. Detailanforderungen sind im Abschnitt 4 und in den normativen Anhängen festgelegt.

(2) Es wurde diskutiert, ob in KTA 3206 auch Festlegungen zu probabilistischen Bewertungsverfahren aufgenommen werden sollen. Es wurde für zweckmäßig gehalten, die Anforderungen in KTA 3206 zunächst auf deterministische Bewertungen zu beschränken. Eine Bewertung der Datenstreuungen kann bei einem realistischen Vorgehen unter Verwendung von Ist-Werten notwendig sein, ist jedoch bei einem konservativen Vorgehen unter Verwendung von spezifizierten Daten nicht erforderlich und auch nicht möglich, da normalerweise nur Mindestkennwerte spezifiziert werden.

(3) Die wesentlichen Anforderungen des Integritätskonzeptes sind in zahlreichen Veröffentlichungen, Forschungsvorhaben und Richtlinien eindeutig beschrieben. Beispielhaft seien folgende Unterlagen genannt:

- Roos, E., Herter, H.-H., Bartonicek, J., Erve, M.: Ein Gesamtkonzept zur Gewährleistung der Komponentenintegrität", 25. MPA Seminar, 1999.
- MPA/VGB Forschungsvorhaben SA"AT" 06/06: Integritätskonzept für Rohrleitungen des Frischdampf- und Hauptspeisewassersystem des Kraftwerks Biblis, Block B. Ergebnisdokumentation, Sept. 2006
- Techn.-wiss. Ber. der MPA Stuttgart: Leitlinie zum Alterungsmanagement in Kernkraftwerken. Heft 07-03, 2007
- Otremba, F., Schuler, X., Altstadt, E.: German concept of break exclusion. RSK Beitrag beim Quadripartite Meeting, Paris, 2008

(4) Die Anforderung in Abschnitt 3 (7) wurde unter Berücksichtigung der Stellungnahme der RSK „Festlegung von Versagenspostulaten für Komponenten“ (386. Sitzung der RSK am 08.09.2005) formuliert. Geeignete Maßnahmen bei Auslegung und Herstellung sind in den Regeln KTA 3201.1, KTA 3201.2 und KTA 3201.3 sowie in KTA 3211.1, KTA 3211.2 und KTA 3211.3 festgelegt. In KTA 3206 werden deshalb lediglich die aus Auslegung und Herstellung resultierenden Voraussetzungen für Nachweise zum Bruchausschluss genannt.

Durch die Herstellungsqualität gemäß den Anforderungen der Basissicherheit wird ein technisch fehlerfreier und korrosionsbeständiger Zustand der medienberührten Oberfläche erzeugt. Damit ist sichergestellt, dass unter den spezifizierten Randbedingungen des Anlagenbetriebes ein korrosionsgestütztes Risswachstum nicht auftritt, weshalb eine Berücksichtigung korrosionsgestützten Risswachstums in den bruchmechanischen Analysen nicht erforderlich ist. Für die nach Umsetzung der Anforderungen der Basissicherheit gemäß KTA 3201.3 und KTA 3211.3 zulässigen Fehler ist auch zyklisches Ermüdungsrisswachstum nicht zu unterstellen.

Im Sinne einer ergänzenden Absicherung wird gemäß den Festlegungen in Anhang A rechnerisch nachgewiesen, dass ein relevantes zyklisches Ermüdungsrisswachstum unter Berücksichtigung des Medieneinflusses (z. B. gemäß ASME Boiler & Pressure Vessel Code Section XI Appendix A für ferritische Stähle, ASME Boiler & Pressure Vessel Code Section XI Appendix C in Verbindung mit NUREG 6176 für austenitische Stähle) auch bei Unterstellung eines Fehlers, der der Bewertungsgrenze der bei wiederkehrenden Prüfungen eingesetzten zerstörungsfreien Prüfverfahren entspricht (als konservative Rissannahme), nicht zu erwarten ist. Siehe hierzu auch

Weißenberg, T.: Rissverhalten ferritischer Druckbehälterstähle in sauerstoffhaltigem Hochtemperaturwasser bei transienten Vorgängen, Risskorrosion Phase 1: Rissinitiation und Risswachstum, Abschlussbericht Forschungsvorhaben 1501319 (Teilbericht A), MPA Universität Stuttgart, November 2010

(5) Komponenten und Systeme unterliegen einer Alterung, die mit einer Änderung der Qualität verbunden ist. Die Bewertung der vorhandenen Qualität im Vergleich zur erforderlichen Qualität ist ein ständiger Vorgang, der durch das in KTA 3201.4 dargestellte Integritätskonzept umgesetzt wird. Hierbei werden Änderungen des Kenntnisstandes, z. B. aufgrund von Schadensfällen, berücksichtigt. Bei Komponenten der Äußeren Systeme, für die Bruchausschluss in Anspruch genommen wird, kommt - wie auch bei Komponenten des Primärkreises - das Integritätskonzept gemäß KTA 3201.4, Bild 3-1, zur Anwendung. In KTA 3206 sind zusätzlich zur allgemeinen Anforderung in Abschnitt 3 (3) keine Festlegungen erforderlich, weil die Anforderungen in Bezug auf die während des Betriebes erforderliche Bewertung der vorhandenen Qualität bereits in KTA 3201.4 festgelegt sind.

(6) Die im Abschnitt 3 (9) für den Fall des Auftretens betriebsbedingter Befunde geforderte Neufestlegung der Maßnahmen zur Erfüllung der Voraussetzungen von Bruchausschluss muss eine Entscheidung einschließen, ob bzw. wann die Wiederherstellung eines befundfreien Zustandes durch Reparatur oder Austausch der Komponente erforderlich ist. Diese Entscheidung muss im Rahmen des aufsichtlichen Verfahrens getroffen werden. KTA 3206 enthält deshalb hierzu keine Festlegungen.

### Zu 4 Vorgehensweise bei Nachweisen zum Bruchausschluss:

(1) Die im Abschnitt 4 geforderten Nachweise orientieren sich an der in Deutschland üblichen Praxis und stellen den nach Stand von Wissenschaft und Technik für Bruchausschlussnachweise erforderlichen Nachweisumfang dar.

(2) Grundsätzlich wird für alle Komponenten mit Bruchausschluss eine bruchmechanische Analyse als Bestandteil des Integritätskonzeptes gefordert. Eine bruchmechanische Analyse ist bei Einhaltung bestimmter Kriterien, die im Anhang A festgelegt sind, nicht erforderlich. Diese Kriterien entsprechen den in der „Rahmenspezifikation Basissicherheit“ für niederenergetische Systeme enthaltenen Festlegungen.

(3) Die Durchführung einer bruchmechanischen Analyse wird in KTA 3206 detailliert beschrieben, da hierfür auf keine vorhandenen Vorschriften zurückgegriffen werden konnte. Bei den übrigen Analysen (z. B. Spannungs- und Ermüdungsanalysen) konnte auf eine detaillierte Beschreibung verzichtet werden, da diese Analysen in KTA 3201.2 und KTA 3211.2 geregelt sind.

(4) Der in 4.2 (2) verwendete Begriff „höherbeanspruchte Grundwerkstoffbereiche“ wurde aus NUREG-0800 übernommen und an die in KTA 3206 verwendeten Begriffe angepasst.

### Zu 5 Dokumentation und Berichtswesen:

Die im Abschnitt 5 festgelegten Anforderungen berücksichtigen die in KTA 1403 sowie in KTA 3201.4 und KTA 3211.4 festgelegten Anforderungen.

Zu Anhang A: Durchführung einer bruchmechanischen Analyse:

(1) Grundsätzlich wird für alle Komponenten mit Bruchausschluss eine bruchmechanische Analyse als Bestandteil des Integritätskonzeptes gefordert, wobei

- a) bei Rohrleitungen nachzuweisen ist, dass
  - aa) das Risswachstumspotenzial begrenzt ist,
  - ab) die abzusichernde Risslänge unterhalb der bei Betrieb und Störfällen kritischen Länge eines wanddurchdringenden Risses liegt,
  - ac) die Leckagerisslänge, die mit dem eingesetzten Verfahren zur Leckerkennung sicher erkannt wird, kleiner ist als die kritische Länge eines wanddurchdringenden Risses.
- b) bei Druckbehältern nachzuweisen ist, dass
  - ba) unter den Belastungen der Beanspruchungsstufen A und B keine Rissinitiierung erfolgt,
  - bb) in den Stufen C und D nur begrenztes stabiles Risswachstum möglich ist.
- c) eine bruchmechanische Analyse für die drucktragende Umschließung von Armaturen- und Pumpengehäusen entsprechend den Vorgaben für Druckbehälter erfolgt und nur dann erforderlich ist, wenn die bruchmechanische Analyse für die an die Rohrleitung anschließende Schweißnaht nicht für das Gehäuse der Pumpe oder Armatur abdeckend ist (wenn relevante zusätzliche Belastungen - z. B. Schwingungsanregungen oder thermische Zusatzlasten - oder abweichende Randbedingungen für das zu betrachtende Ermüdungsrisswachstum oder zusätzliche Schädigungsmechanismen zu berücksichtigen sind).

(2) Die ausreichende Schadensvorsorge ist dann sichergestellt, wenn

- durch entsprechende Vorgaben zu den Berechnungsmethoden sichergestellt ist, dass die in den Nachweis eingehenden Belastungen und Werkstoffkennwerte zu einer konservativen Bestimmung der kritischen Rissgröße führen,
- zusätzlich eine ausreichende zeitliche Sicherheit gegeben ist, dass ein Leck vor Erreichen der kritischen Rissgröße erkannt wird.

Der Anhang B enthält die hierfür erforderlichen Vorgaben zu den Berechnungsmethoden.

(3) Die in Abschnitt A 1 (2) und A 1 (3) festgelegten Kriterien für den möglichen Verzicht auf eine bruchmechanische Analyse wurden aus der „Rahmenspezifikation Basissicherheit“ übernommen und um die zusätzliche Anforderung ergänzt wurde, dass der Erschöpfungsgrad gleich oder kleiner als die in KTA 3201.4 festgelegten Aufmerksamkeitsschwellen sein muss. Diese Kriterien betreffen lediglich den Verzicht auf einen bruchmechanischen Nachweis. Alle übrigen Anforderungen an die Qualität nach Auslegung und Herstellung sowie an die Absicherung der erforderlichen Qualität im Betrieb sind auch bei Erfüllung der in A 1 (2) und A 1 (3) genannten Kriterien einzuhalten. Hierzu gehören u.a. Spannungs- und Ermüdungsanalysen und die Nachweise zur Beherrschung der möglichen Schädigungsmechanismen (z. B. Korrosion).

Bei der Festlegung der Kriterien für den möglichen Verzicht auf eine bruchmechanische Analyse wurde berücksichtigt, dass bei einer geringen Anzahl von Lastwechseln und einer geringen Beanspruchung ein Risswachstum nicht unterstellt werden muss.

Bei Druckbehältern wurde zusätzlich berücksichtigt, dass entsprechend den in Abschnitt 4.1.2 der RSK-Leitlinien für DWR dargelegten Grundsätzen für eine basissichere Auslegung in Deutschland umfangreiche experimentelle Untersuchungen durchgeführt wurden, insbesondere im Rahmen des FKS-Programms. Im FKS-Programm wurden alle in deutschen Kernkraftwerken eingesetzten basissicheren und auch nicht basissichere Behälter untersucht. Die wichtigsten Ergebnisse sind in der Veröffentlichung

K. Kußmaul, J. Föhl, E. Roos: Some conclusions with regard to the safety assessment of cracked components drawn from the research programme "Integrity of components" (FKS II) at the present state; Nuclear Engineering and Design 102 (1987) 397-418

zusammengefasst. Bei den in diesen Untersuchungen erfassten Behältern kann auf eine rechnerische bruchmechanische Analyse verzichtet werden.

Bei Anwendung der Kriterien für den möglichen Verzicht auf eine bruchmechanische Analyse muss beachtet werden, dass es nicht Gegenstand von KTA 3206 ist, Festlegungen zur systemtechnischen Auslegung zu treffen. Die Festlegungen in Abschnitt A 1 (2) und A 1 (3) dürfen nicht ohne Weiteres für systemtechnische Schlussfolgerungen (z. B. im Hinblick auf zu unterstellende Leckgrößen bzw. erforderliche Nachspeisemengen) verwendet werden.

(4) Bei den Festlegungen in den Abschnitten A 2 bis A 4 wird berücksichtigt, dass postulierte Risse und (nicht rissartige) herstellungsbedingte Fehler unterschiedlich zu behandeln sind.

Nachweise mit herstellungsbedingten Fehlern stellen eine Befundbewertung dar mit dem Ziel, die Integrität des Bauteils nachzuweisen.

Bei Nachweisen mit postulierten Rissen enthalten sowohl die Wahl der Postulate als auch der geforderte zeitliche Abstand zwischen Detektion des Lecks im Rahmen der Betriebsüberwachung oder eines Befundes im Rahmen wiederkehrender Prüfungen und der kritischen Rissgröße bereits Sicherheiten. In diesem Fall ist die erforderliche Schadensvorsorge dadurch sichergestellt, dass

- bei Einhaltung der allgemeinen Grundsätze gemäß Abschnitt 3 keine Risse zu unterstellen sind,
- die Vorgaben zu den Berechnungsmethoden in KTA 3206 fordern, dass die in den Nachweis eingehenden Belastungen und Werkstoffkennwerte zu einer konservativen Bestimmung des Leck-vor-Bruch-Verhaltens führen; dies beinhaltet z. B. die Vorgabe der zu verwendenden Fließspannung,
- eine ausreichende zeitliche Sicherheit gegeben ist, dass ein Leck vor Erreichen der kritischen Rissgröße erkannt wird,
- zusätzlich nachgewiesen wird, dass der postulierte Riss kein signifikantes Wachstumspotenzial besitzt.

Die zusätzliche Festlegung pauschaler Sicherheitsbeiwerte ist bei Nachweisen mit postulierten Rissen nicht erforderlich.

(5) Die bei Zugrundelegung postulierter Risse in den Abschnitten A 2 und A 3 enthaltenen Sicherheiten wurden entsprechend den Festlegungen im Dokument IIW-1823-07 als zeitlicher Sicherheitsabstand festgelegt.

(6) Die im Abschnitt A 2 festgelegten Anforderungen sehen neben einem Leck-vor-Bruch-Nachweis auch die Möglichkeit vor, dass ein Riss im Sinne einer gestaffelten Vorsorge durch die wiederkehrende Prüfung so rechtzeitig erkannt wird, bevor über-

haupt ein Leck entsteht. Durch die zusätzlich geforderte Begrenzung der Fehlerlänge des unterstellten Oberflächenfehlers ist sichergestellt, dass auch ein wanddurchdringender Riss dieser Länge immer stabil ist.

(7) Im Regelwerk ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section XI sind Anforderungen an die Bewertung von herstellungs- und betriebsbedingten Fehlern enthalten. Diese Anforderungen stellen ein international etabliertes Verfahren dar, das eine zuverlässige sicherheitstechnische Bewertung fehlerbehafteter Komponenten ermöglicht.

Die für die Bewertung herstellungsbedingter Fehler im Abschnitt A 4 festgelegten Sicherheitsbeiwerte wurden aus dem ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section XI übernommen. Diese Sicherheitsbeiwerte stellen sicher, dass ein fehlerbehaftetes Rohr gegenüber Versagen in den jeweiligen Beanspruchungsstufen vergleichbar hohe Sicherheitsabstände bezogen auf die Spannungen hat wie ein fehlerfreies Rohr, das die nach KTA 3201.2 für Rohrleitungen zulässigen Spannungen ausnützt.

Abweichend von den Festlegungen im ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section XI werden in KTA 3206 für die Bewertung herstellungsbedingter Fehler in Komponenten mit Bruchausschluss diejenigen Fließspannungen verwendet, die für Komponenten aus den in deutschen Kernkraftwerken eingesetzten Stählen experimentell ermittelt und so ausgewertet wurden, dass deren Versagensverhalten unter Berücksichtigung der Streuung konservativ beschrieben wird.

Diese experimentell abgesicherte Vorgehensweise sichert eine zuverlässige Beschreibung des Versagensverhaltens von Komponenten mit Bruchausschluss ab und liefert in der Regel im Vergleich zum ASME Boiler & Pressure Vessel Code konservative Ergebnisse. Diese zusätzliche Konservativität trägt den erhöhten Sicherheitsanforderungen bei Komponenten mit Bruchausschluss Rechnung.

#### Zu Anhang B: Verfahren für die bruchmechanische Analyse:

(1) Im Anhang B werden die für eine bruchmechanische Analyse zugelassenen konservativen Verfahren beschrieben und die jeweils zutreffenden

- Grundlagen
- anzuwendende Formeln
- erforderlichen Eingangsdaten
- Anwendungsgrenzen

angegeben. In den Anhang B wurden nur solche Verfahren aufgenommen, die auf die spezifischen Gegebenheiten der deutschen KKW anwendbar und durch entsprechende Forschungsergebnisse oder anderweitige Untersuchungen abgesichert sind. Die einzelnen Verfahren zur Berechnung der kritischen Risslänge liefern unterschiedliche Ergebnisse, die jedoch alle auf der sicheren Seite liegen.

Neben den im Anhang B beschriebenen Verfahren dürfen auch andere Vorgehensweisen angewendet werden, allerdings muss deren Eignung im Einzelfall nachgewiesen werden.

(2) Die in den Abschnitten B 2.1 bis B 2.5 sowie B 3.1 und B 3.2 beschriebenen Verfahren basieren auf nationalen und internationalen Veröffentlichungen. In diesem Zusammenhang wurde von Dr. Estorf speziell zu den Leckratenmodellen eine Auswertung der einschlägigen Fachliteratur vorgenommen, u.a.

- Gardner, G. C.; Tyrrell, R. J., The flow resistance of experimental models of naturally occurring cracks, Proc. Instn. Mech. Engrs., Vol 200, No. C4, pp. 245-250, (1986)
- John, H.; Reimann, J.; Westphal, F.; Friedel, L., Critical two-phase flow through rough slits, Int. J. Multiphase Flow, Vol. 14, No. 2, pp. 155-174, (1988)
- Button, B. L.; Grogan, A. F.; Chivers, T. C.; Manning, P. T., Gas Flow Through Cracks, Trans. ASME J. Fluids Eng., Vol. 100, pp. 453-458, (1978)
- Chivers, T. C., Assessments of Fluid Friction Factors for Use in Leak Rate Calculation, Proc. Seminar on Leak Before Break in Reactor Piping and Vessels, NUREG CP-0155, pp. 349-358, Lyon, (1997)

Die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) hat darauf basierend eine umfassendere Auswertung der für den Anwendungsbereich von KTA 3206 relevanten experimentellen Daten zu Leckausströmraten vorgenommen und in dem Bericht [66] dokumentiert. Dieser Bericht bildet die Grundlage für die in KTA 3206 aufgenommenen vereinfachten konservativen Verfahren zur Bestimmung von Leckflächen und Leckausströmraten.

#### Zu Anhang C: Werkstoffdaten für die bruchmechanische Analyse:

(1) Der Anhang C enthält Vorgaben zur Ermittlung der zu verwendenden Spannungs-Dehnungs-Kurven, Rissinitiierungskennwerte und Risswiderstandskurven.

(2) In den Tabellen C 2-1 bis C 2-4 wurden die aus Forschungsvorhaben und sonstigen Werkstoffuntersuchungen verfügbaren physikalischen Rissinitiierungskennwerte  $J_i$ , die zugehörigen Risswiderstandskurven und die technischen Rissinitiierungskennwerte  $J_{IC}$  zusammengestellt. Die Angaben gelten für Werkstoffe in der Hochlage der Schlagenergie im Kerbschlagbiegeversuch. Die Auswertung der verfügbaren Daten erfolgte unter Berücksichtigung folgender Parameter:

- a) Werkstoffe:
  - aa) für Rohrleitungen: 20MnMoNi5-5 (1.6310), X6CrNiNb18-10 (1.4550), X6CrNiTi18-10 (1.4541), 15NiCuMoNb5 (1.6368), Schweißgut aus der Nickellegierung NiCr70Nb und
  - ab) für Druckbehälter: 20MnMoNi5-5 (1.6310), 22NiMoCr3-7 (1.6751), 15NiCuMoNb5 (1.6368) und 15MnNi6-3 (1.6210)
- b) Bauteil für Rohre und Druckbehälter
- c) Typ: Grundwerkstoff (GW) oder Schweißgut (SG)
- d) Prüftemperatur (Raumtemperatur und Temperaturen bis max. 350 °C)
- e) Fehlerkonfiguration (Längs- und Umfangsrisse, Oberflächenrisse und wanddurchdringende Risse)
- f) Probenorientierung (T-S, T-L, L-S, L-T)

(3) In den Tabellen sind jeweils die Zahl der verfügbaren Versuche, die Schlagenergie KV, der physikalische Rissinitiationskennwert  $J_i$ , die Größe der „Stretched Zone Width“  $\Delta a_i$  bei Rissinitiation, die maximal im Versuch erreichte Risserweiterung sowie die  $J_R$ -Kurvengleichung angegeben.

(4) Da für die einzelnen Parameterkombinationen nur wenige zugeordnete Datensätze verfügbar waren, konnte keine statistische Auswertung vorgenommen werden. Wenn für eine Parameterkombination Ergebnisse aus mehreren Versuchen vorlagen, wurde die Gleichung der Risswiderstandskurve mit der kleinsten Steigung in die Tabelle eingetragen.

(5) Die Anwendung der in den Tabellen aufgeführten Größen für die bruchmechanische Analyse setzt für den zu beurteilenden Werkstoff voraus, dass die Schlagenergie im Kerbschlagbiegeversuch bekannt und gleich oder größer als der in der jeweiligen Tabelle angegebene Wert ist. Die experimentellen Untersuchungen erfolgten an Werkstoffen, die den Spezifikationen des deutschen kerntechnischen Regelwerks entsprechen oder diese konservativ abdecken. Somit können sie als repräsentativ für die in den deutschen Kernkraftwerken für Rohrleitungen und Druckbehälter eingesetzten Werkstoffe betrachtet werden. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die in den Tabellen angegebenen Werte nicht statistisch abgesichert sind und keine „lower bound“ Werte darstellen.

(6) Die Schlagenergie im Kerbschlagbiegeversuch in der Hochlage, KV, kann für eine erste Schätzung der Risswiderstandskurve verwendet werden. Die Grundlage dafür bildet eine Korrelationsbeziehung nach Wallin [1]

$$J_R(\Delta a) = C_1 \cdot \Delta a^{C_2} \quad (D-1)$$

$$C_1 = 0,53 \cdot KV^{1,28} \cdot \exp\left(\frac{20-T}{400}\right) \quad (D-2)$$

$$C_2 = 0,133 \cdot KV^{0,254} \cdot \exp\left(\frac{20-T}{2000}\right) - \frac{\sigma_y}{4664} + 0,03 \quad (D-3)$$

mit

$J_R$  : Risswiderstand in N/mm

$\Delta a$  : Risserweiterung in mm

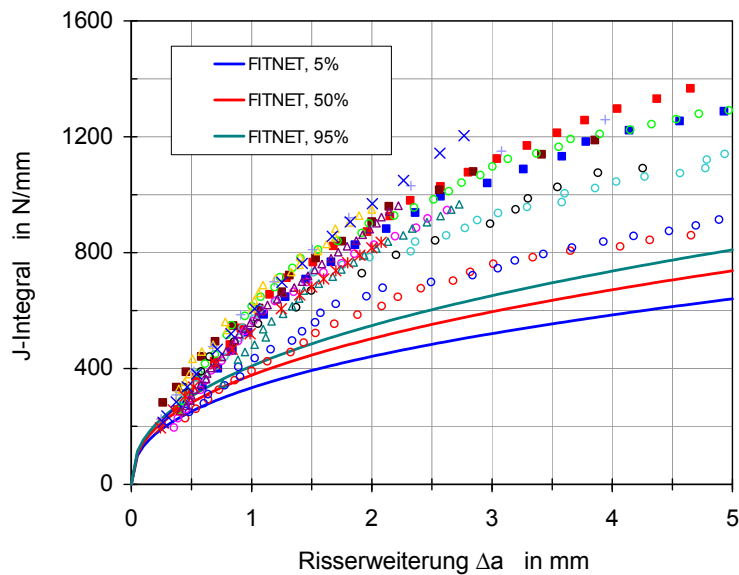
T : Temperatur in °C

KV : Schlagenergie im Kerbschlagbiegeversuch in J

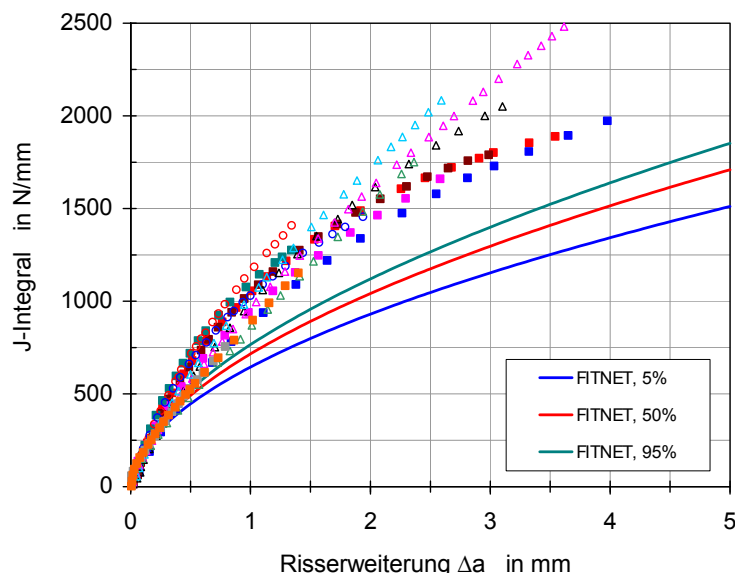
$\sigma_y$  : Streckgrenze  $R_e$  oder  $R_{p0,2}$  in N/mm<sup>2</sup>

Die Beziehung Gleichung (D-1) ermöglicht die Abschätzung von J-R Kurven aus vorliegenden KV-Werten für verschiedene metallische Werkstoffe und wird in mehreren bruchmechanischen Regelwerken, u.a. FITNET [2], empfohlen.

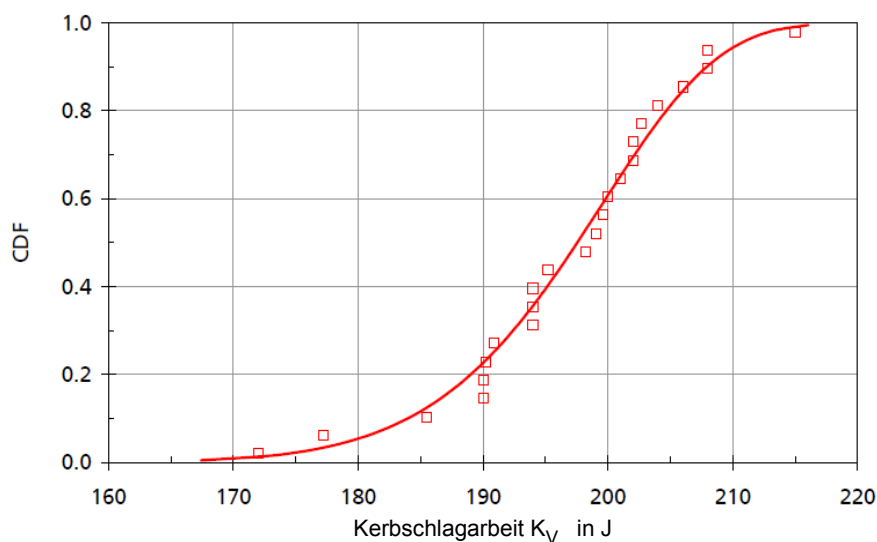
Die Konservativität der Gleichung (D-1) wurde in mehreren Untersuchungen gezeigt, siehe z.B. [3], [4]. In [5] konnte durch einen Vergleich der Korrelationen mit gemessenen J-R Kurven die Konservativität der Korrelation für die Werkstoffe 20MnMoNi5-5 und X6CrNiNb18-10 (1.4550) für Risserweiterungen größer als 1,0 mm gezeigt werden (vergleiche die Bilder 1 und 2 aus [5]). Die in den **Bildern D-1** und **D-2** dargestellten Fraktile der Korrelationskurven beziehen sich auf die statistische Verteilung der Schlagenergie im Kerbschlagbiegeversuch, wie beispielhaft in **Bild D-3** aus [5] für den Werkstoff 20MnMoNi5-5 dargestellt.



**Bild D-1:** Gemessene Risswiderstandskurven für den Werkstoff 20MnMoNi5-5 (1.6310) bei 100 °C im Vergleich zu aus der Korrelation (D-1) abgeleiteten Kurven mit den entsprechenden Fraktile der Schlagenergie im Kerbschlagbiegeversuch



**Bild D-2:** Gemessene Risswiderstandkurven für den Werkstoff X6CrNiNb18-10 (1.4550) bei RT im Vergleich zu aus der Korrelation (D-1) abgeleiteten Kurven mit den entsprechenden Fraktile der Schlagenergie im Kerbschlagbiegeversuch



**Bild D-3:** Statistische Verteilung der Schlagenergie im Kerbschlagbiegeversuch in der Hochlage für den Werkstoff 20MnMoNi5-5

- [1] Wallin, K.: Low cost J-R curve estimation based on CVN upper shelf energy, *Fatigue Frac. Eng. Mat. Struct.* 24 (2001) 537-549.
- [2] FITNET: Fitness-for-Service Procedure, M. Kocak, et al., Eds., GKSS Research Center Geesthacht, 2008
- [3] Hohe, J., Siegele, D., Nagel, G., On the correlation of crack resistance curves on upper shelf energy for German RPV steels, ASME PVP Conference, July 22-26, 2007, San Antonio, Texas, USA, Paper PVP 2007-265832007, 2007
- [4] Walz, G., Riesch-Oppermann, H., Probabilistic fracture mechanics assessment of flaws in turbine disks including quality assurance procedures, *Struct. Safety* 28, 273-288, 2006
- [5] D. Ivanov, I. Varfolomeev, S. Moroz, D. Siegele: Weiterentwicklung von Rechenmethoden zur probabilistischen Fehlerbewertung von Kraftwerkskomponenten, Abschlussbericht des RS-Vorhabens 1501350, Fraunhofer IWM-Bericht S9/2011, 2011.

#### Zu Anhang D: Beispiele für eine bruchmechanische Analyse:

Der Anhang D beschreibt das Vorgehen bei der bruchmechanischen Analyse für den Anwender der Regel KTA 3206 nachvollziehbar anhand von zwei Beispielen. Hierbei wurde jeweils eine austenitische und eine ferritische Komponente betrachtet und die nach KTA 3206 zugelassenen und in der Praxis häufig eingesetzten Verfahren für die bruchmechanische Analyse angewendet.