

RSK - STELLUNGNAHME

24.07.2008 (410. Sitzung)

Festigkeithypothesen im Anwendungsbereich des KTA-Regelwerks bei der Nachbewertung von Komponenten und Systemen

Bewertung sicherheitstechnischer Aspekte zur Frage der wahlweisen Verwendbarkeit der Festigkeithypothesen nach Mises und Tresca im KTA-Regelwerk

hier: Zur Frage der wahlweisen Verwendbarkeit der Festigkeithypothesen nach von Mises (Gestaltänderungsenergiehypothese, GEH) und Tresca (Schubspannungshypothese, SH) im KTA-Regelwerk für Rohrleitungen

1	Beratungsauftrag	2
2	Sachverhalt und sicherheitstechnischer Hintergrund	3
3	Bewertungsmaßstäbe	3
4	Bewertungsumfang	3
5	Beratungsgang.....	4
6	Ergebnisse der Beratungen der RSK.....	5
7	Zusammenfassung.....	8
8	Empfehlung.....	9

1 Beratungsauftrag

Die RSK war vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) mit dem Schreiben (Az.: RS I 3-17018/1) vom 25.04.2006 (Beratungsunterlage [2.1] der 64. Sitzung des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE und [1] der Beratungsunterlagen dieser Stellungnahme) um eine Stellungnahme bezüglich der Anwendung von Festigkeitshypothesen für die Berechnung von unter Innendruck stehenden zylindrischen Rohrleitungen in Kernkraftwerken gebeten worden. Mit dieser Stellungnahme beantwortet die RSK die folgenden Fragen des BMU aus dem Beratungsauftrag:

- Welche Festigkeitshypothese für die Ermittlung der erforderlichen Wanddicke von Rohrleitungen für deutsche Kernkraftwerke darf nach dem Stand von Wissenschaft und Technik zur Anwendung kommen?
- Unter welchen Voraussetzungen und Randbedingungen darf nach dem Stand von Wissenschaft und Technik hiervon abgewichen werden?

Die restlichen Fragen des Beratungsauftrags

- Welche dieser Festigkeitshypothesen sind auch für eine Nachbewertung von Schweißnähten nach dem Stand von Wissenschaft und Technik mit realen Gefügeeigenschaften anwendbar?
- Sind die bei der Ermittlung der Werkstoffkennwerte durchgeführten zerstörenden Prüfungen für die Gewährleistung der Werkstoffeigenschaften nach längerem Betrieb unter Einfluss aller vorkommenden Alterungsmechanismen und Belastungsfälle in einem Kernkraftwerk noch repräsentativ für eine Nachbewertung? Müssen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik zusätzliche Sicherheitszuschläge vorgesehen werden?
- Sind die WKP geeignet, sicherzustellen, dass die bei der Herstellung gewährleisteten Werkstoff- und Bauteileigenschaften nach längerem Betrieb unter Einfluss aller vorkommenden Alterungsmechanismen und Belastungsfälle in einem Kernkraftwerk repräsentativ für eine Nachbewertung herangezogen werden können? Müssen Sicherheitszuschläge vorgesehen werden?
- Entspricht das kerntechnische Regelwerk insoweit dem Stand von Wissenschaft und Technik?

und in der Stellungnahme nicht behandelte Teile der Äußeren Systeme werden in einer weiteren Stellungnahme behandelt.

Die RSK beschränkt sich in ihrer Stellungnahme auf Rohrleitungen der Druckführenden Umschließung und der Äußeren Systeme der Prüfgruppe A 1 nach der KTA-Regel 3211.2.

2 Sachverhalt und sicherheitstechnischer Hintergrund

Die Verwendung der beiden Festigkeitshypothesen nach von Mises (Gestaltänderungsenergiehypothese, GEH) und Tresca (Schubspannungshypothese, SH), wie in der KTA-Regel 3201.2 vorgesehen, führte zu erheblichen Diskussionen, insbesondere zum sicherheitstechnischen Hintergrund bei der wahlweisen Verwendung dieser Hypothesen, z. B. im Rahmen der Dimensionierung und der Nachbewertung von Komponenten. Es ist unbestritten, dass bei der Verwendung der GEH und SH Unterschiede in den Vergleichsspannungen von 0 bis 15 % auftreten können (s. z. B. [2]). Weiterhin ist nach Auffassung der RSK unbestritten, dass im Rahmen der klassifizierten Spannungsbewertung bei der wahlweisen Anwendung der Hypothesen nach der KTA-Regel 3201.2 deutlich größere Unterschiede in den Bewertungsergebnissen auftreten können (z. B. bei der Bewertung von Primärspannungen und Ermüdung). Darüber hinaus wird bei der Bewertung vorhandener Rohrleitungssysteme (Nachbewertungen) teilweise auf den Nachweis der Auslegungsstufe 0 (KTA-Regel 3201.2) verzichtet.

3 Bewertungsmaßstäbe

Die allgemeinen Sicherheitsanforderungen ergeben sich aus den BMI-Sicherheitskriterien, den RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren und der Gesamtheit der KTA-Regeln. Die Bewertung des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE gründet sich darüber hinaus auf den in internationalen Regelwerken sowie in der Fachliteratur veröffentlichten Stand von Wissenschaft und Technik.

Die Nachweisziele sind im vorliegenden Fall:

- die Sicherstellung der Integrität der Druckführenden Umschließung (DFU) und der Äußeren Systeme der Prüfgruppe A 1 nach der KTA-Regel 3211.2 für alle zu unterstellenden Belastungszustände inklusive der einzuhaltenden Sicherheitsabstände und
- die anforderungsgerechte konstruktive und festigkeitsmäßige Auslegung.

4 Bewertungsumfang

Es sollte geklärt werden, ob die beiden Festigkeitshypothesen (GEH, SH), wie sie nach der KTA-Regel 3201.2 für die Dimensionierung und Analyse des mechanischen Verhaltens angewendet werden können, gleichwertig sind oder ob sicherheitstechnische Defizite bei der wahlweisen Anwendung auftreten. Des Weiteren ist auch die Bedeutung der Anforderungen der Stufe 0 darzustellen.

5 Beratungsgang

Die Diskussion zu dieser Thematik geht auf das Jahr 2000 zurück, nahezu zeitgleich mit den Beratungen in den KTA-Ausschüssen, die sich mit dieser Sachlage befassten. Der RSK-Ausschuss DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE führte Beratungen mit Anhörungen in den folgenden Sitzungen durch [3 – 18]:

- 65. Sitzung am 26.07.2006,
- 66. Sitzung am 06.09.2006,
- 67. Sitzung am 04.10.2006,
- 68. Sitzung am 08.11.2006,
- 75. Sitzung am 11.07.2007,
- 76. Sitzung am 19.09.2007,
- 77. Sitzung am 10.10.2007,
- 79. Sitzung am 05.12.2007,
- 80. Sitzung am 12.03.2008 und
- 81. Sitzung am 09.04.2008.

Die RSK beriet in der 409. und 410. Sitzung am 24.06.2008 und am 24.07.2008.

6 Ergebnisse der Beratungen der RSK

Es sind die Unterschiede der beiden Festigkeitshypothesen ausgearbeitet worden, und es wurden Unterschiede bei Anwendung der SH und GEH festgestellt. Bei bestimmten Spannungszuständen im Bauteil liefert die GEH kleinere Vergleichsspannungswerte als die SH. Daraus lassen sich nicht generell sicherheitstechnische Defizite bei der Anwendung der GEH ableiten. Dies bedeutet, dass beide Hypothesen unter Beachtung spezifischer Anwendungsgrenzen grundsätzlich anwendbar sind. Auch ist ihre Anwendbarkeit über experimentelle Untersuchungen bereits vielfach bestätigt.

Der Sachstand lässt sich durch zwei grundsätzliche Positionen beschreiben, die beide in sich schlüssig sind. Die eine Position orientiert sich an dem derzeitigen Stand der KTA-Regeln 3201.2 und 3211.2 und leitet daraus unterschiedliche Vorgehensweisen für neu zu errichtende Rohrleitungssysteme beziehungsweise für die Bewertung vorhandener Rohrleitungssysteme (Nachbewertung) ab.

Die andere Position sieht die Erfüllung der Anforderungen des KTA-Regelwerks sowohl für die Errichtung als auch bei einer Nachbewertung als erforderlich an. Sie sieht daher in der bei Nachbewertungen spezifischen Vorgehensweise, die im Ergebnis möglicherweise relevante Unterschiede bei den erforderlichen Wanddicken zulässt, einen Bruch im Bewertungsmaßstab bzw. ein Defizit im Regelwerk. Weiterhin wird argumentiert, dass sich diese Stellungnahme sowohl auf Systeme mit als auch ohne eingeschränkte Bruchannahmen bezieht. Die technische Berechtigung für den Nachweisweg mit Einschränkung von Bruchannahmen zur Beherrschung von Störfällen stützt sich auf die hohe Aussagesicherheit in allen beteiligten Fachgebieten (u. a. Systemtechnik, Werkstofftechnik, Konstruktion, Bauteilform, Festigkeit, Prüftechnik, Messtechnik). Daher müssen die technischen Standards (z. B. die KTA-Regel 3201.2) sicherheitstechnisch eindeutige und abgesicherte Anforderungen formulieren.

Ausgehend von diesen Positionen kommt die RSK zu den folgenden Ergebnissen:

Für die Spannungsbewertung stellt die RSK fest: Bei der Neufertigung von Rohrleitungskomponenten entspricht das Vorgehen gemäß der KTA-Regel 3201.2 unter Einhaltung der entsprechenden Anforderungen an die konstruktive Gestaltung nach den Abschnitten 5 (Konstruktive Gestaltung) und 6 mit Dimensionierung (Ermittlung der Mindestwanddicke) nach Anhang A unter Zugrundelegung der Auslegungswerte der Stufe 0 auch unter wahlweiser Nutzung der Festigkeitshypothesen GEH und SH dem Stand von Wissenschaft und Technik.

Für die Ermüdungsbewertung stellt die RSK fest, dass die diesbezüglichen Anforderungen der KTA-Regel 3201.2 unter wahlweiser Nutzung der Festigkeitshypothesen nicht dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen, und verweist auf ihre Stellungnahme „Untersuchungsvorhaben SR 2392 des BMU „Einsatz von Thermoelementen zur Erfassung der Temperatur von Rohrleitungswandungen in Kernkraftwerken im Rahmen der Ermüdungsanalyse“ und Berücksichtigung des Medieinflusses bei Ermüdungsanalysen nach dem KTA-Regelwerk“ vom 28.04.2005 (382. RSK-Sitzung).

Bei der Nachbewertung von im Betrieb befindlichen Komponenten gelten die gleichen Anforderungen. Bei Abweichungen von der konstruktiven Gestaltung nach Abschnitt 5 und/oder der Dimensionierung nach Abschnitt 6 mit Anhang A der KTA-Regel 3201.2 ist eine vertiefende Nachweisführung erforderlich. Es ist mit analytischen und/oder experimentellen Untersuchungen zu zeigen, dass für die maßgeblichen Versagensarten einschließlich eventueller Wechselwirkungen ausreichende Abstände vorliegen. Dabei ist auch die Stufe 0 zu bewerten. Bei Verwendung des vereinfachten Nachweisverfahrens nach KTA auf Grundlage eines elastisch angesetzten Werkstoffverhaltens mittels klassifizierter Spannungsanteile ist die Gültigkeit der Anwendungsvoraussetzungen zu zeigen. Bei Verwendung von Verfahren auf der Grundlage eines elastisch-plastisch angesetzten Werkstoffverhaltens sind die Akzeptanzkriterien auszuweisen.

Die SH in Verbindung mit dem vereinfachten Nachweisverfahren mittels klassifizierter Spannungsanteile hat sich als zuverlässig bewährt. Sollte wegen der Einhaltung von Nachweiskriterien die GEH angewendet werden, sind Kompensationsmaßnahmen erforderlich, um die gleiche Aussagesicherheit wie bei der standardmäßigen Vorgehensweise zu erreichen. Hierzu ist insbesondere die Verifizierung der Spannungsklassifizierung und der Gültigkeit der linear-elastischen Näherung des Werkstoffverhaltens erforderlich.

Kompensationsmaßnahmen zur Erhöhung der Aussagesicherheit sind z. B. die genauere Erfassung von Eingangsdaten (z. B. Wanddicken, gemessene Einwirkungen aus dem Betrieb) und eine vertiefte Verifizierung von Analyseergebnissen durch Messungen am Rohrleitungssystem (Dehnungen, Leitungsbewegungen, Beschleunigungen, Halterungskräfte).

Im Einzelfall können die hier geforderten Kompensationsmaßnahmen zur Erzielung der gleichen Aussagesicherheit wie bei der standardmäßigen Vorgehensweise auch für neue Bauteile angewendet werden.

7 Zusammenfassung

Die sicherheitstechnischen Anforderungen an eine Komponente eines Systems sind unabhängig von dem Merkmal „altes“ oder „neues“ Bauteil. Daraus folgt, dass keine sicherheitstechnischen Defizite für „alte“ und „neue“ Bauteile vorhanden sein dürfen. Von sicherheitstechnischer Bedeutung ist neben der konstruktiven Gestaltung die Mindestwanddicke (Dimensionierung) eines drucktragenden Bauteils.

Für die Spannungsbewertung stellt die RSK fest, dass für Rohrleitungsbauteile, die die Anforderungen an die konstruktive Gestaltung nach den Abschnitten 5 (Konstruktive Gestaltung) und 6 mit Dimensionierung (Ermittlung der Mindestwanddicke) nach Anhang A unter Zugrundelegung der Auslegungswerte der Stufe 0 erfüllen, beide Festigkeitshypothesen zur Anwendung kommen können.

Sind Bauteile zu bewerten, die die konstruktiven Anforderungen bzw. die Anforderungen an die Wanddicke nicht erfüllen, kann im Einzelfall eine andere Vorgehensweise, z. B. auch unter Einbeziehung der GEH-Methode, einschließlich der geforderten Kompensationsmaßnahmen festgelegt werden.

8 Empfehlung

Aus Sicht der RSK ist in der KTA-Regel 3201.2 die Eindeutigkeit der Vorgehensweise bei der Spannungsbewertung und damit die Eindeutigkeit der Vorgehensweise nach den Abschnitten 5 und 6 und Anhang A nicht interpretationsfrei dargestellt. Es wird empfohlen, die Interpretationsspielräume im KTA-Regelwerk zu beseitigen. Ziel dabei ist die Vorgabe eines einheitlichen Bewertungsmaßstabs, dessen Anwendung die erforderliche hohe Aussagesicherheit gewährleistet. Dementsprechend soll auch das Thema „Nachbewertung“ aufgearbeitet werden.

Beratungsunterlagen

- [1] Schreiben (Az.: RS I 3 – 17018/1) vom 25.04.2006 des BMU an die RSK-Geschäftsstelle, betr.: Anwendung von Festigkeitshypothesen für die Berechnung von unter Innendruck stehender zylindrischer Rohrleitungen in Kernkraftwerken; Beratungsauftrag an die Reaktor-Sicherheitskommission (Beratungsauftrag des BMU)

- [2] Festigkeitshypothesen im Anwendungsbereich des KTA-Regelwerks, Bewertung sicherheitstechnischer Aspekte zur Frage der wahlweisen Verwendbarkeit der beiden Vergleichsspannungshypothesen Schubspannungshypothese (SH, Tresca) und Gestaltänderungsenergiehypothese (GEH, von Mises), MPA Stuttgart, 53100/Shr, 26.07.2006 (65. Sitzung am 26.07.2006)

- [3] Schreiben der VGB Power Tech e. V. vom 30.11.2006 (Az. Ho/ha), betr. Beratungen des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE zum Thema Festigkeitshypothesen im Anwendungsbereich des KTA-Regelwerks mit Anlage 1 Schreiben des KTA vom 12.02.2002 (Az. Ba/UA-MK/3211.2), Anlage 2 Entwurf der Ergebnismünderschrift der 13. Sitzung des Arbeitsgremiums KTA 3201.2 am 10.08.2004 in Hamburg

- [4] Check Zusammenhang, Analytik - FE am Hohlzylinder, Kopien von Folien (66. Sitzung am 06.09.2006)

- [5] Konflikte infolge der Verwendung von zwei Spannungshypothesen in KTA 3201.2, Kopien von Folien (66. Sitzung am 06.09.2006)

- [6] Beratungsunterlagen zur KTA-Regel 3201.2, 2000
Kopien von Folien (66. Sitzung am 06.09.2006)

- [7] Kesselformel, Regelwerk, Kopien von Folien, 04.09.2006 (66. Sitzung am 06.09.2006)

- [8] Vorab-Zusammenstellung der Aussagen zu Mises/Tresca aus den KTA-Gremien UAK-MK und 3201.2 (67. Sitzung am 04.10.2006)

- [9] Bericht des Arbeitsgremiums zur Überarbeitung der KTA-Regel 3201.2 zu den Fragen des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE (67. Sitzung am 04.10.2006)

- [10] Kopien von Folien zum Bericht des Arbeitsgremiums zur Überarbeitung der KTA-Regel 3201.2 (67. Sitzung am 04.10.2006)

- [11] Kopien der Folien zum Bericht AREVA in der 68. Sitzung des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE am 08.11.2006

- [12] Zusammenstellung der GEH-Historie in der KTA-Regel 3211.2, KTA-Geschäftsstelle, 10.11.2006
- [13] Einführung der GE-Hypothese in die KTA-Regel 3211.2, 1.2 Verbesserungsvorschlag Siemens 9/90, 11.06.2001 (70. Sitzung am 08.02.2007)
- [14] Fragen zur technischen Bedeutung der „Sicherheitsreserve“ für Rohre ohne relevanter Fehler, 10.04.2007 (72. Sitzung am 18.04.2007)
- [15] Aspekte zur Verwendung der SH und GEH im KTA-Regelwerk, Bericht zu den Fragen des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE, Kopien von Folien, (74. Sitzung am 20./21.06.2006)
- [16] Nach dem Beratungsergebnis der 75. Sitzung des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE am 11.07.2007) überarbeitete Beschlussvorlage, (Beratungsunterlage [9.33] der 77. Sitzung des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE am 10.10.2007
- [17] Nach dem Beratungsergebnis der 75. Sitzung des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE am 11.07.2007) überarbeitete Beschlussvorlage, (Beratungsunterlage [9.34] der 77. Sitzung des RSK-Ausschusses DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE am 10.10.2007)
- [18] KTA 3201.2
Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren
Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung
Fassung 6/96