

Dokumentationsunterlage zur Regeländerung

KTA 3211.2

Druck- und aktivitätsführende Komponenten von Systemen außerhalb des Primärkreises

Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung

Inhalt:

- 1 Auftrag des KTA
- 2 Beteiligte an der Regeländerung
- 3 Erarbeitung des Regeländerungsentwurfs und der Regeländerungsvorlage

1 Auftrag des KTA

Auf seiner 51. Sitzung am 10. Juni 1997 beauftragte der KTA den Verband der Technischen Überwachungsvereine e.V., federführend einen Entwurfsvorschlag zur Änderung der Regel

KTA 3211.2 Druck- und aktivitätsführende Komponenten von Systemen außerhalb des Primärkreises;
Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung
(Fassung 1992-06)

mit einer Dokumentationsunterlage vorzubereiten.

Bei der Vorbereitung des Änderungsentwurfes war die Regel insbesondere in

- Abschnitt 1 „Anwendungsbereich“ (hinsichtlich der Anwendung auf Komponenten kleiner als oder gleich DN 50)
- Abschnitt 4 „Einwirkungen auf die Komponenten ...“ (hinsichtlich der Korrosionsbeeinflussung)
- Abschnitt 7 „Allgemeine Analyse des mechanischen Verhaltens“
- Abschnitt 8 „Komponentenspezifische Analyse des mechanischen Verhaltens“

an den in KTA 3201.2 (1996-06) enthaltenen aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik anzupassen.

Darüber hinaus war zu überprüfen, ob die Übernahme der Abschnitte 7.7.4 „Grenztragfähigkeitsanalyse“, 7.12 „Spannungs-, Verformungs- und Ermüdungsanalyse für Flanschverbindungen“, 7.13 „Vermeidung des Versagens infolge thermisch bedingter fortschreitender Deformation“ aus KTA 3201.2 zweckmäßig ist und die Regel KTA 3211.2 erforderlichenfalls entsprechend zu ergänzen.

Zusätzlich waren die Ergebnisse aus den Forschungsarbeiten

- von Prof. Dr. Hübel und der GRS zur Bestimmung realistischer K_e -Faktoren
- der MPA und dem Battelle-Institut zur Ableitung von Spannungserhöhungsfaktoren bei Temperaturschichtung in Rohrleitungen hinsichtlich ihrer Regelfähigkeit und Übernahme in KTA 3211.2 auszuwerten.

2 Beteiligte an der Regeländerung

2.1 Zusammensetzung des Arbeitsgremiums

- aus Datenschutzgründen in dieser Datei gelöscht

Die Anforderungen an die Ermüdungsanalyse austenitischer Stähle wurden durch einen ad-hoc-Arbeitskreis behandelt, dem folgende Mitglieder angehörten:

- aus Datenschutzgründen in dieser Datei gelöscht

Die Anforderungen an Flanschverbindungen mit Dichtungen im Kraftnebenschluss wurden durch einen ad-hoc-Arbeitskreis behandelt, dem folgende Mitglieder angehörten:

- aus Datenschutzgründen in dieser Datei gelöscht

Die Erarbeitung des Anhangs B erfolgte durch einen ad-hoc-Arbeitskreis, dem folgende Mitglieder angehörten:

- aus Datenschutzgründen in dieser Datei gelöscht

Zu einzelnen Fragen wurden folgende Fachleute zusätzlich hinzugezogen:

- aus Datenschutzgründen in dieser Datei gelöscht

2.2 KTA-Unterausschuss MECHANISCHE KOMPONENTEN (UA-MK)

- aus Datenschutzgründen in dieser Datei gelöscht

2.3 Mitarbeiter der Geschäftsstelle

Dr.-Ing. Bath KTA-GS beim BfS, Salzgitter

3 Erarbeitung des Regeländerungsentwurfs und der Regeländerungsvorlage

3.1 Erarbeitung des Regeländerungsentwurfes

(1) Das Arbeitsgremium hat zur Erarbeitung der Regeländerungsentwurfsvorlage folgende Sitzungen durchgeführt:

1. Sitzung	am 4. Dezember 1997	in Hamburg
2. Sitzung	am 18. Januar 1998	in München
3. Sitzung	am 1. April 1998	in Düsseldorf
4. Sitzung	am 2. September 1998	in Erlangen
5. Sitzung	am 10. November 1998	in Hannover
6. Sitzung	am 20./21. Januar 1999	in Düsseldorf
7. Sitzung	am 25./26. Februar 1999	in Hamburg
8. Sitzung	am 22. April 1999	in München
9. Sitzung	am 27. Juli 1999	in Mannheim
10. Sitzung	am 27. Oktober 1999	in München
11. Sitzung	am 16. März 2000	in Salzgitter
12. Sitzung	am 23. Mai 2000	in Hannover
13. Sitzung	am 29. Juni 2000	in Erlangen
14. Sitzung	am 25. Juli 2000	in Hamburg

(2) Die Festlegungen zur Berechnung von Flanschverbindungen wurden unter Einbeziehung der unter 2.1 genannten zusätzlichen Fachleute auf einer Sondersitzung

am 18. Juli 2000 in Stuttgart

diskutiert. Auf dieser Sitzung wurde zu den entsprechenden Regelabschnitten ein Änderungsvorschlag für das Arbeitsgremium verabschiedet, der vom Arbeitsgremium auf der 14. Sitzung behandelt wurde.

(3) Auf der 14. Sitzung am 25. Juli 2000 verabschiedete das Arbeitsgremium einstimmig den Regeländerungsentwurfsvorschlag zur Behandlung im zuständigen Unterausschuss MECHANISCHE KOMPONENTEN (UA-MK).

(4) Der UA-MK hat den Regeländerungsentwurfsvorschlag auf seiner 29. Sitzung am 10.10.2000 behandelt und mit geringfügigen Präzisierungen in der Fassung Oktober 2000 für den Fraktionsumlauf freigegeben.

- (5) Im Rahmen des Fraktionsumlaufs wurden Änderungsvorschläge eingereicht seitens
- des TÜV Süddeutschland (Schreiben vom 3.1.2001)
 - der Siemens Nuclear Power GmbH (Schreiben vom 5.1.2001)
 - dem Verband der Technischen Überwachungs-Vereine e.V. (Schreiben vom 10.1.2001)
 - der Kernkraftwerke Lippe-Ems GmbH (Schreiben vom 10.1.2001)
 - der Technip Germany GmbH (Schreiben vom 11.1.2001)
 - der RWTÜV Anlagentechnik GmbH (Schreiben vom 15.1.2001)
 - der Technischen Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber e.V. (Schreiben vom 17.1.2001)
 - der Staatlichen Materialprüfungsanstalt Stuttgart (Schreiben vom 19.1.2001)
 - C. Backes, V. Engel, F. Linder und G. Pape (Schreiben vom 22.1.2001)

(6) Das Arbeitsgremium beriet über diese Änderungsvorschläge auf folgenden Sitzungen:

15. Sitzung	am 8./9. Februar 2001	in Hamburg
16. Sitzung	am 23. Februar 2001	in Stuttgart
17. Sitzung	am 6./7. März 2001	in Stuttgart
18. Sitzung	am 5. Juli 2001	in Hamburg
19. Sitzung	am 26. Juli 2001	in Hannover
20. Sitzung	am 18. September 2001	in Düsseldorf
21. Sitzung	am 7. Dezember 2001	in Hamburg
22. Sitzung	am 30. Januar 2002	in München
23. Sitzung	am 26. Februar 2002	in Hannover
24. Sitzung	am 20. Juni 2002	in Hannover
25. Sitzung	am 11. September 2002	in Erlangen
26. Sitzung	am 25. Oktober 2002	in Hamburg
27. Sitzung	am 23./24. Januar 2003	in Hannover
28. Sitzung	am 19. Februar 2003	in München

(7) Die von C. Backes, V. Engel, F. Linder und G. Pape eingereichten Änderungsvorschläge wurden zusätzlich
am 18. April 2001 in Köln

unter Hinzuziehung von Vertretern des BMU und der RSK mit den Einreichern und dem Obmann des UA-MK diskutiert.

(8) Zur Diskussion des Abschnitts „Allgemeine Grundsätze“ und zur Vorbereitung von Änderungsvorschlägen im Hinblick auf die Eindeutigkeit der Anforderungen wurde vom Arbeitsgremium ein Ad-hoc-Arbeitskreis gebildet, der

am 20. Februar 2002 in Hannover
am 14. März 2002 in Hannover

Sitzungen durchgeführt hat.

(9) Auf der 28. Sitzung am 19. Februar 2003 verabschiedete das Arbeitsgremium einstimmig eine unter Berücksichtigung der Änderungsvorschläge präzierte Textfassung zur Behandlung im UA-MK.

(10) Auf seiner 32. Sitzung am 4.4.2003 beriet der UA-MK die vorliegende Textfassung. Er nahm einige Präzisierungen und Klarstellungen vor und stellte fest,

- dass die Regeländerungsentwurfsvorlage in vielen Bereichen einen Qualitätszuwachs im Vergleich zur Regelfassung 6/92 aufweist,
- dass es aber auch nach wie vor einige kontrovers diskutierte Sachthemen gibt, die nicht nur für KTA 3211.2, sondern ebenso für die gegenwärtig im Änderungsverfahren befindliche KTA 3201.2 von Bedeutung sind.

Der UA-MK hielt die RÄEV für geeignet, sie als Regeländerungsentwurf der breiten Öffentlichkeit vorzustellen. Er berief gleichzeitig einen Arbeitskreis ein, der für die Regeln KTA 3211.2 und KTA 3201.2

- prüfen soll, ob es bei den noch kontrovers diskutierten Themen
 - Stellenwert der Dimensionierung
 - Zulassung der von-Mises-Festigkeitshypothese
 - Definition der lokalen primären Membranspannung
 einen Konsens aller beteiligten Fachleute gibt und
- Formulierungen für eine einheitliche Vorgehensweise für beide KTA-Regeln vorschlagen soll.

Die Ergebnisse des Arbeitskreises sollen in die Regeländerungsvorlage KTA 3211.2 einfließen.

Der UA-MK beschloss auf der 32. Sitzung, dem KTA die Verabschiedung der Fassung April 2003 als Regeländerungsentwurf zu empfehlen.

(11) Der Vorschlag des UA-MK fand auf der 57. Sitzung des KTA am 11. November 2003 nicht die erforderliche 5/6-Mehrheit. Die Regeländerungsentwurfsvorlage wurde somit zur weiteren Bearbeitung an den UA-MK zurück verwiesen.

(12) Der UA-MK legte anschließend fest, dass die inhaltlichen Diskussionen zunächst im Arbeitsgremium KTA 3201.2 fortgesetzt werden sollen. Die Bearbeitung von KTA 3211.2 ruhte deshalb von 2003 bis 2009. Nachdem die Regeländerungsentwurfsvorlage KTA 3201.2 im April 2009 den im KTA vertretenen Organisationen zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt

worden war, wurden die Arbeiten zur Fertigstellung der Regeländerungsentwurfsvorlage KTA 3211.2 wieder aufgenommen. Auf der

29. Sitzung am 16. Juni 2009 in Berlin

wurden die seit 2003 im Arbeitsgremium KTA 3201.2 vereinbarten Festlegungen diskutiert und in KTA 3211.2 eingearbeitet.

(13) Für die weitere Bearbeitung der Regeländerungsvorlagen KTA 3211.2 und KTA 3201.2 wurden folgende Sitzungen gemeinsam mit dem Arbeitsgremium KTA 3201.2 durchgeführt:

30. Sitzung am 9. und 10. Juli 2009 in München

31. Sitzung am 13. und 14. August 2009 in Hannover.

(14) Es wurde festgestellt, dass zu den Themen

a) Anwendung von KTA 3211.2 auf bereits eingebaute Komponenten (Nachbewertung)

b) Auslegung von Flanschverbindungen mit Dichtungen im Kraftnebenschluss

noch weiterer Klärungsbedarf besteht. Zur Anwendung von KTA 3211.2 auf bereits eingebaute Komponenten (Nachbewertung) wurde der KTA-Unterausschuss „Programm und Grundsatzfragen“ (UA-PG) um eine Klärung gebeten, der am 10.3.2010 hierzu den Beschluss „Zum Verständnis von KTA-Regeln“ fasste.

Die Präzisierung und Aktualisierung der Anforderungen an die Auslegung von Flanschverbindungen mit Dichtungen im Kraftnebenschluss wurde durch einen Arbeitskreis „Schrauben- und Flanschverbindungen“ vorgenommen, der die Abschnitte A 2.9 bis A 2.11 auf folgenden Sitzungen diskutierte:

1. Sitzung am 9. März 2010 in Hannover

2. Sitzung am 15. April 2010 in Hannover

3. Sitzung am 30. April 2010 in Hannover

4. Sitzung am 31. Mai 2010 in Hannover

5. Sitzung am 27. Juli 2010 in Hamburg.

(15) Die Regelbearbeitung wurde auf Basis des UA-PG-Beschlusses „Zum Verständnis von KTA-Regeln“ und der Ergebnisse des Arbeitskreises „Schrauben- und Flanschverbindungen“ auf folgenden Sitzungen fortgesetzt:

32. Sitzung am 11. Juni 2010 in München

33. Sitzung am 29. und 30. Juli 2010 in Düsseldorf.

(16) Auf der 33. Sitzung beschloss das Arbeitsgremium, die Regeländerungsentwurfsvorlage KTA 3211.2 in der Fassung Juli 2010 dem UA-MK zur Prüfung vorzulegen.

(17) Auf seiner 41. Sitzung am 13./14. September 2010 beriet der UA-MK über die Regeländerungsentwurfsvorlage in der Fassung Juli 2010. Er nahm einige geringfügige Änderungen vor und beschloss, dem KTA zu seiner 65. Sitzung am 16. November 2010 die Verabschiedung der Fassung September 2010 als Regeländerungsentwurf zu empfehlen.

(18) Der KTA hat die Regeländerungsentwurfsvorlage (Fassung September 2010) auf seiner 65. Sitzung am 16.11.2010 behandelt und als Regeländerungsentwurf in der Fassung 2010-11 beschlossen. Die Bekanntmachung des BMU erfolgte im Bundesanzeiger Nr. 190 am 15.12.2010.

3.2 Erarbeitung der Regeländerungsvorlage

(1) Der Regeländerungsentwurf KTA 3211.2 (2010-11) hat vom 1. Januar 2011 bis 31. März 2011 der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegen. Zum Regeländerungsentwurf sind Stellungnahmen eingegangen seitens:

- Westinghouse Electric Germany GmbH (Schreiben vom 20.01.2011 und vom 09.03.2011)
- TÜV SÜD Industrie Service GmbH (Schreiben vom 09.02.2011)
- G. Müller, TÜV NORD EnSys Hannover GmbH & Co. KG (Schreiben vom 12.01.2011 und vom 28.02.2011)
- F. Mittermüller, TÜV SÜD ET GmbH Baden-Württemberg (Schreiben vom 28.03.2011)
- S. Dittmar (Schreiben vom 07.04.2011)
- Verband der Technischen Überwachungs-Vereine e.V. (Schreiben vom 08.04.2011)

(2) Das Arbeitsgremium hat auf seiner

34. Sitzung am 04. Juli 2011 in München

35. Sitzung am 10. August 2011 in Köln

über den Regeländerungsentwurf KTA 3211.2 (2010-11) und über die o.g. Änderungsvorschläge beraten. Es wurde festgestellt, dass zu einzelnen Fragen, insbesondere zu den Anforderungen an den Ermüdungsnachweis für austenitische Stähle, noch kein Konsens besteht und die Beratungen unter Einbeziehung von Forschungseinrichtungen fortgesetzt werden müssen.

(3) Entsprechend den Festlegungen der 43. Sitzung des UA-MK am 12.09.11 wurde eine Arbeitsgruppe von Fachleuten einberufen um zu klären, welche Auslegungs-Ermüdungskurven das Ermüdungsverhalten der nach KTA 3201.1 und KTA 3211.1 zugelassenen austenitischen Stähle richtig repräsentieren. Die Arbeitsgruppe hat auf Sitzungen

am 22. Februar 2012 in Stuttgart

am 20. Juni 2012 in Stuttgart

am 12. Juli 2012 in Hannover

am 21. August 2012 in München

eine Auswertung der vorliegenden Ermüdungsversuche für die Stähle 1.4550 und 1.4541 vorgenommen und einen Vorschlag für die in KTA 3201.2 und KTA 3211.2 aufzunehmenden Auslegungsermüdungskurven für austenitische Stähle sowie für die daraus resultierende Anpassung der Festlegungen zu Aufmerksamkeitsschwellen erarbeitet.

(4) Das Arbeitsgremium hat auf seiner

36. Sitzung	am 21. September 2012	in Berlin
37. Sitzung	am 08. November 2012	in Hannover
38. Sitzung	am 30. und 31. Januar 2013	in Köln
39. Sitzung	am 13. Mai 2013	in Berlin

über den Vorschlag der Arbeitsgruppe Ermüdungsanalyse und über weitere erforderliche Änderungen in KTA 3201.2 beraten.

(5) Auf der 39. Sitzung wurden die Anforderungen an die Ermüdungsanalyse für austenitische Stähle einvernehmlich neu festgelegt. Auf der 39. Sitzung wurde außerdem Konsens darüber erzielt, einen normativen Anhang mit Anforderungen an den Primärspannungsnachweis bei erneuten rechnerischen Nachweisen zu erstellen. Für die Erstellung eines Entwurfs dieses Anhangs wurde ein Arbeitskreis gebildet.

(6) Der vom Arbeitsgremium benannte Arbeitskreis hat

am 03. Juni 2012 in München

den Entwurf für einen neuen Anhang B „Anforderungen an den Primärspannungsnachweis bei erneuten rechnerischen Nachweisen“ sowie für die zugehörigen Erläuterungen in informativen Anhang und in der Dokumentationsunterlage erarbeitet. Eine abschließende Abstimmung des Entwurfs fand im schriftlichen Verfahren bis zum 12.06.2013 statt.

(7) Das Arbeitsgremium hat auf seiner

40. Sitzung am 11. Juli 2013 in München

über den Vorschlag des Arbeitskreises über den neuen Anhang B „Anforderungen an den Primärspannungsnachweis bei erneuten rechnerischen Nachweisen“ beraten und eine abschließende Durchsicht der Regeländerungsvorlage vorgenommen. Das Arbeitsgremium beschloss auf dieser Sitzung, die nach Einarbeitung des neuen Anhangs B sowie einiger Klarstellungen und Präzisierungen entstandene Regeländerungsvorlage KTA 3211.2 in der Fassung Juli 2013 vorbehaltlich einer abschließenden Durchsicht dem UA-MK mit der Empfehlung vorzulegen, dem KTA die Aufstellung dieser Fassung als Regel vorzuschlagen. Die abschließende Durchsicht erfolgte bis zum 31.08.2013. Im Ergebnis der Durchsicht wurden einige redaktionelle Verbesserungen vorgenommen.

(8) Auf seiner 47. Sitzung am 12./13. September 2013 beriet der UA-MK über die Regeländerungsvorlage in der Fassung August 2013. Er nahm eine Änderung im Abschnitt 7.7.4 vor und beschloss, dem KTA zu seiner 68. Sitzung am 19. November 2013 die Aufstellung der nach Einarbeitung dieser Änderung entstandenen Fassung September 2013 als Regel (Regeländerung) vorzuschlagen.

(9) Der KTA-Unterausschuss „Programm und Grundsatzfragen“ (41. Sitzung) und das KTA-Präsidium (92. Sitzung) haben am 17. September 2013 über die Regelvorhaben KTA 3201.2 und KTA 3211.2 sowie über die Tagesordnung der 68. Sitzung des KTA am 19. November 2013 beraten. Es wurde festgelegt, in den vom UA-MK zur Beschlussfassung im KTA vorbereiteten Regeländerungsvorlagen KTA 3201.2 und KTA 3211.2 den jeweils im Abschnitt 6.1 befindlichen Hinweis auf den Anhang B zu ändern und die Regeländerungsvorlagen dem KTA mit der geänderten Formulierung dieses Hinweises zur Beschlussfassung vorzulegen.

(10) Der KTA hat auf seiner 68. Sitzung am 19. November 2013 die Regeländerungsvorlage als Regel (Regeländerung) in der Fassung 2013-11 aufgestellt. Die Veröffentlichung der Regel erfolgte im Bundesanzeiger vom 17. Januar 2014.

3.3 Änderungen gegenüber der Regel KTA 3211.2 (1992-06)

3.3.1 Allgemeines

(1) Um die wichtigsten inhaltlichen Aussagen der Dokumentationsunterlage auch dem Anwender der Regel verfügbar zu machen, wurde ein informativer Anhang D neu in die Regel aufgenommen. Die wesentlichen Änderungen sind dort genannt. In den nachfolgenden Absätzen werden über die Angaben in Anhang D hinaus weitergehende Erläuterungen zu vorgenommenen Änderungen gegeben.

(2) Es bestehen Unterschiede zwischen dem Geltungsbereich der RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren, Abschnitt 4.2.1, und dem Anwendungsbereich der Regeln der Reihe KTA 3211 in Bezug auf Systeme zur Nachwärmeabfuhr.

Im Abschnitt 1 (1) a) des Anwendungsbereichs der genannten Regeln des KTA wird zwischen Systemen, die unmittelbar und mittelbar der Nachwärmeabfuhr dienen, unterschieden. Die Anforderungen an Systeme, die nur mittelbar der Nachwärmeabfuhr dienen - dies sind die nicht aktivitätsführenden Zwischenkühlwassersysteme und Nebenkühlwassersysteme -, sind in Abhängigkeit von ihrer systemtechnischen und bautechnischen Ausführung anlagenspezifisch festgelegt.

(3) Im Rahmen des Regeländerungsverfahrens wurde geprüft, ob die in Abschnitt 3.3.3.6 (3) enthaltene Festlegung des Prüfdrucks bei der Druckprüfung an die Richtlinie EG/97/23 (Druckgeräterichtlinie) und an das Produktsicherheitsgesetz angepasst werden muss.

Es wurde festgestellt, dass die Komponenten im Anwendungsbereich der Regel KTA 3211.2 aufgrund entsprechender Ausschlussklauseln weder in den Anwendungsbereich der Druckgeräterichtlinie noch in den Anwendungsbereich des Produktsicherheitsgesetzes fallen.

Es wurde weiter festgestellt, dass die in KTA 3211.2 festgelegte Höhe des Prüfdrucks in Verbindung mit

- den Einschränkungen hinsichtlich der zugelassenen Werkstoffe (nur Werkstoffe mit hoher Zähigkeit, guter Verarbeitbarkeit, günstigem Streckgrenzenverhältnis)
- den hohen Anforderungen an die Herstellungsüberwachung und -prüfung,

- dem reduzierten Beanspruchungsniveau (Berücksichtigung von R_m) und
- den umfangreichen wiederkehrenden zerstörungsfreien Prüfungen

ein Bestandteil des in sich geschlossenen kerntechnischen deutschen Regelwerks ist und dadurch die erforderliche Schadensvorsorge auch bei Beibehaltung der in KTA 3211.2 festgelegten Höhe des Prüfdrucks sichergestellt ist.

Eine Anpassung des Prüfdrucks an die Anforderungen der Richtlinie EG/97/23 ist deshalb nicht erforderlich.

(4) Im Abschnitt 4 wurde die Tabelle 4-1 mit KTA 3201.2 (1996-06) in Übereinstimmung gebracht. Außerdem wurde die Fußnote 2 ergänzt um klarzustellen, dass die für den jeweiligen Lastfall zutreffende Temperatur gemeint ist.

(5) Im Abschnitt 5 wurden mehrere Aktualisierungen und Anpassungen an KTA 3211.3 sowie an KTA 3201.2 vorgenommen. Dies betrifft im Einzelnen die folgenden Abschnitte:

- In Abschnitt 5.1.4.1 Aufzählung b wurde „Vorwärmung“ durch „Wärmebehandlung“ ersetzt. Dadurch wird das Glühen nach dem Schweißen mit erfasst.
- In Abschnitt 5.1.4.2 Absatz 2 b) und in Abschnitt 5.3.2.3 wurde der Regeltext mit den Anforderungen in KTA 3211.3 in Übereinstimmung gebracht. Die Anforderungen hinsichtlich der Notwendigkeit einer Bearbeitung und zum erforderlichen Oberflächenzustand sind Fertigungsanforderungen und in KTA 3211.3 bereits enthalten. In KTA 3211.2 gehört allerdings die Forderung, dass die Konstruktion eine Bearbeitung ermöglichen muss.
- Die Tabelle 5.2-1 wurde in Anlehnung an KTA 3201.2 (1996-06) redaktionell überarbeitet.
- In Abschnitt 5.2.4 Absatz 2 wurde die Formulierung an die Vorgaben des KTA-Merkblatts zum Gebrauch modaler Hilfsverb und DIN 820-2 angepasst. Die gleiche Formulierung wurde in A 2.10.3 (3) übernommen.
- In 5.2.4 (4) und 5.2.5 (4) wurden die Anforderungen gemäß AD-Merkblatt B 7 eingearbeitet.
- In Abschnitt 5.2.6 wurden die Durchmesserangaben an die DIN-Normmaße angepasst.

(6) Die zulässigen Spannungen nach Tabelle 6.7-1 wurden im Rahmen des Änderungsverfahrens eingehend geprüft. Hierbei erfolgte auch ein Vergleich mit den entsprechenden Festlegungen im ASME Code. Es wurden folgende Feststellungen getroffen:

- Der ASME Code hat den geforderten Sicherheitsabstand zur Zugfestigkeit mit der Addenda 1999 verringert (Faktor 1/3,5 anstelle bisher 1/4), was zu einer Erhöhung der zulässigen Spannungen führt.
- Mit den bisherigen Anforderungen ist in bestimmten Fällen (sowohl in KTA 3211.2 als auch im ASME Code) nicht sichergestellt, dass die zulässigen Spannungen für die Prüfgruppen A 2 und A 3 stets geringer sind als die zulässigen Spannungen für die Prüfgruppe A 1. Dies betrifft insbesondere den Einsatz duktiler Werkstoffe bei hohen Temperaturen.

Da die zulässigen Spannungen für die Prüfgruppen A 2 und A 3 in den dimensionierungsbestimmenden Anwendungsfällen aufgrund der Festlegungen zur Bildung der Spannungsvergleichswerte in Tabelle 6.6-1 normalerweise geringer sind als die zulässigen Spannungen für die Prüfgruppe A 1 und weil nach dem Auftreten von Lastfällen der Beanspruchungsstufen C oder D stets entsprechende Inspektionen erforderlich sind, bedürfen die Festlegungen zur zulässigen Spannung für die Prüfgruppen A 2 und A 3 in Tabelle 6.7-1 keiner grundlegenden Änderung.

Um sicherzustellen, dass die zulässigen Spannungen für die Prüfgruppen A 2 und A 3 in keinem Fall über denen der Prüfgruppe A 1 liegen können, wurde in Tabelle 6.7-1 eine entsprechende Fußnote ergänzt.

Die mit der Addenda 1999 geänderten Dimensionierungsanforderungen des ASME-Code wurden nicht in KTA 3211.2 übernommen.

(7) Im Abschnitt 7 „Allgemeine Analyse des mechanischen Verhaltens“ wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- In Abschnitt 7.1.1 wurde der bisherige Absatz 7 gestrichen. In Abschnitt 6 wird ausgeführt, dass die Dimensionierung als Primärspannungsnachweis erfolgen kann. In Abschnitt 7 ist der Primärspannungsnachweis geregelt (unter Einschluss der Stufe 0). Zur Vermeidung eines logischen Widerspruchs musste deshalb der Absatz 7 gestrichen werden.
- In Abschnitt 7.1.3 wurde der Absatz 2 um Festlegungen zur thermischen Analyse und zur Spannungskategorisierung ergänzt und damit an die in KTA 3201.2 (1996-06) enthaltenen Anforderungen angepasst.
- Die Anforderungen an die Ermüdungsanalyse im Abschnitt 7.8 wurden umfassend aktualisiert (siehe Erläuterungen in 3.3.2).

(8) An zahlreichen Stellen des Textes sind redaktionelle Berichtigungen und Verbesserungen eingearbeitet und eine Anpassung an den aktuellen Stand der Normung vorgenommen worden. Hierbei wurden u.a. folgende Änderungen vorgenommen:

- Die Temperaturangaben wurden durchgängig mit „T“ bezeichnet. Dadurch entfällt die gesonderte Temperaturangabe für die Druckprüfung.
- Die Formulierung „komponentenspezifisch“ wurde durchgängig in „komponentenbezogen“ geändert, die Bezeichnung „komponentenspezifische Analyse des mechanischen Verhaltens“ wurde jedoch als feststehender Begriff beibehalten.
- Bisher wurde sowohl der aus TRD/AD übernommene Begriff „Vollschaftschraube“ als auch der aus DIN-Normen übernommene Begriff „Starrschraube“ verwendet. Nunmehr wird einheitlich den Begriff „Starrschraube“ verwendet.
- In Bild A 5-14 wurde entsprechend der Regelung in TRD „ s_v “ durch „ s_{H0} “ ersetzt

3.3.2 Erläuterung zu den Änderungen in Abschnitt 7.8 „Ermüdungsanalyse“

Die Entscheidung zu den in Abschnitt 7.8.3 aufgenommenen Aufmerksamkeitsschwellen erfolgte

- nach gründlicher Prüfung des internationalen Standes von Wissenschaft und Technik zur Berücksichtigung des Medieneinflusses bei der Ermüdungsanalyse mit dem Ziel,
- eine praktikable Vorgehensweise zur Sicherstellung der erforderlichen Schadensvorsorge festzulegen.

Die Ermittlung und Festlegung der in Abschnitt 7.8.3 aufgenommenen Werte basiert auf den nachfolgend beschriebenen Untersuchungen.

3.3.2.1 Herleitung neuer Auslegungskurven für die Werkstoffe 1.4541 / 1.4550 in Luftumgebung

3.3.2.1.1 Vorgehensweise

(1) Zur Ermittlung von Ermüdungskurven in Luftumgebung für die in den deutschen Kernkraftwerken eingesetzten stabilisierten austenitischen Stähle 1.4550 und 1.4541 wurden Daten aus Ermüdungsversuchen in Luftumgebung von der MPA Universität Stuttgart, der TU Darmstadt und von E.ON zusammengestellt und ausgewertet. Die Auswertung erfolgte getrennt nach Versuchen bei Raumtemperatur (RT) und Versuchen bei erhöhter Temperatur (200 °C bis 350 °C). Die Datenbasis der dehnungskontrolliert durchgeführten Versuche umfasst für Raumtemperatur 149 Datensätze und für erhöhte Temperaturen 129 Datensätze. Zusätzlich lagen noch weitere Ergebnisse aus zwei Versuchsreihen (je eine Versuchsreihe bei RT und bei 288 °C) mit lastkontrollierten Versuchen vor, die nach dem Treppenstufenverfahren zur Ermittlung einer technischen Dauerfestigkeit bei 10^7 Lastzyklen durchgeführt wurden. Über die für diese Versuche verfügbaren zyklischen Spannungs-Dehnungs-Kurven konnten die Dehnungsamplituden aus den Spannungsamplituden für jeweils 9 Versuche bestimmt werden. Somit standen für die Auswertung insgesamt 158 Datensätze für RT und 138 Datensätze für erhöhte Temperaturen zur Verfügung.

(2) Unter Verwendung dieser Datensätze wurden Mittelwertkurven nach dem in NUREG/CR-6335 beschriebenen Verfahren ermittelt. Da bei erhöhter Temperatur nur wenige Datenpunkte über 10^6 Lastzyklen vorliegen, wurde für Lastzyklen $> 2 \cdot 10^6$ der Verlauf der ANL Mittelwertkurve abgesenkt auf den Mittelwert bei $2 \cdot 10^6$ Lastzyklen verwendet.

(3) Die Auslegungskurven wurden durch Verschiebung der Mittelwertkurven um den Faktor $S_N = 12$ zu niedrigeren Zyklenzahlen und um den Faktor S_σ zu niedrigeren Dehnungsamplituden und Bildung der unteren Einhüllenden dieser beiden verschobenen Kurven bestimmt. Der Faktor $S_N = 12$ entspricht dem in NUREG/CR-6909 abgeleiteten Faktor bezüglich der Zyklenzahl zur Berücksichtigung der Einflussfaktoren Datenstreuung, Oberflächenbeschaffenheit, Größeneinfluss und Belastungsreihenfolge. Der Faktor S_σ setzt sich zusammen aus der Datenstreuung der Raumtemperaturdaten, der Oberflächenbeschaffenheit, dem Größeneinfluss und dem Mittelspannungseinfluss. Der Faktor zur Datenstreuung entspricht der 2-fachen Standardabweichung der Dehnungsamplitude der Raumtemperaturdaten. Die übrigen Faktoren wurden nach DIN EN 13445-3 für eine Rauigkeit von $R_z = 20 \mu\text{m}$, einer Wanddicke von 40 mm und einer Mittelspannung von 100 MPa bestimmt.

3.3.2.1.2 Mittelwertkurve für Raumtemperatur

Die Mittelwertkurve wird durch folgende Beziehung beschrieben:

$$\ln(N) = a - b \ln(\epsilon_a - c); \epsilon_a \text{ in } \%$$

mit

$$a = 6,706275$$

$$b = 2,171777$$

$$c = 0,135888$$

3.3.2.1.3 Mittelwertkurve für Temperaturen größer als 80 °C

Die Mittelwertkurve wird bis $N = 2 \cdot 10^6$ durch folgende Beziehung beschrieben:

$$\ln(N) = a - b \ln(\epsilon_a - c); \epsilon_a \text{ in } \%$$

mit

$$a = 6,849779$$

$$b = 2,254745$$

$$c = 0,078128$$

Für Werte $N > 2 \cdot 10^6$ entspricht die Kurve der um den Wert von $\Delta\epsilon_a = 0.0193 \%$ abgesenkten ANL Mittelwertkurve.

3.3.2.1.4 Auslegungskurve für kaltgehende Komponenten bis 80 °C

Die Auslegungskurve bildet die Einhüllende der um den Faktor $S_N = 12$ und $S_\sigma = 1,88$ verschobenen Mittelwertkurve. Der Faktor $S_\sigma = 1,88$ setzt sich zusammen aus der Datenstreuung der Raumtemperaturdaten (1,27), der Oberflächenbeschaffenheit (1,27), dem Größeneinfluss (1,09) und dem Mittelspannungseinfluss (1,07). Dabei wurde als Zugfestigkeit der Mittelwert der Unter- (500 MPa) und Obergrenze (740 MPa) der Anforderungswerte mit $R_m = 620 \text{ MPa}$ zugrunde gelegt.

Die Auslegungskurve wird durch folgende Beziehung beschrieben:

$$\ln(N) = a - b \ln(\epsilon_a - c); \epsilon_a \text{ in } \%$$

mit

$$a = 4,400$$

$$b = 2,450$$

$$c = 0,071$$

3.3.2.1.5 Auslegungskurve für Temperaturen größer als 80 °C

Die Auslegungskurve bildet die Einhüllende der um den Faktor $S_N = 12$ und $S_\sigma = 1,79$ verschobenen Mittelwertkurve. Der Faktor $S_\sigma = 1,79$ setzt sich zusammen aus der Datenstreuung der Raumtemperaturdaten (1,27), der Oberflächenbeschaffenheit (1,23), dem Größeneinfluss (1,09) und dem Mittelspannungseinfluss (1,05). Dabei wurde ein abdeckender Wert für die Zugfestigkeit von 510 MPa (Mindestzugfestigkeit bei RT von 1.4550) zugrunde gelegt.

Die Auslegungskurve wird durch folgende Beziehung beschrieben:

$$\ln(N) = a - b \ln(\epsilon_a - c); \epsilon_a \text{ in } \%$$

mit

$$a = 4,5000$$

$$b = 2,3650$$

$$c = 0,0478$$

Diese Kurve verläuft im Bereich $N > 10^7$ etwas unterhalb der um den Faktor $S_\sigma = 1,79$ verschobenen Mittelwertkurve und entspricht bei $N = 10^{11}$ in etwa dem Wert der ASME 2010 Auslegungskurve. Der leichte Abfall in diesem Bereich trägt auch dem Sachverhalt Rechnung, dass bei erhöhter Temperatur eventuell keine ausgeprägte Dauerfestigkeit mehr vorliegt.

3.3.2.1.6 Auslegungskurven ausgedrückt in fiktiv elastischen Spannungen

Unter Verwendung des E-Moduls von $1,79 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ ergeben sich aus den in Dehnungen ausgedrückten Kurven nach Abschnitt 3.3.2.1.4 und 3.3.2.1.5 die in Bild 7.8-2 dargestellten Kurven.

3.3.2.2 Auslegungskurve für sonstige austenitische Werkstoffe

Für andere austenitische Werkstoffe als 1.4550 und 1.4541 wird die Auslegungskurve des ASME Code 2010 (ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section III, Div. 1, 2011a Addenda July 1, App. I, Fig. I-9.2M and Table I-9.2) verwendet.

Die Werte der Vergleichsspannungsamplituden S_a werden dabei auf den in KTA 3211.2 für austenitische Werkstoffe verwendeten Elastizitätsmodul (E) von $E_{KTA} = 179 \text{ GPa}$ angepasst.

Hierzu werden die S_a Werte des ASME Code (Basis $E_{ASME} = 195 \text{ GPa}$) mit dem Faktor

$$E_{KTA}/E_{ASME} = 179/195 = 0,918$$

multipliziert. Das Ergebnis ist in **Tabelle D-1** und in **Bild D-1** vergleichend dargestellt.

N	ASME		N	KTA
	S_a MPa	ϵ_a %		S_a MPa
1,0E+01	6000	3,076923	1,0E+01	5507,7
2,0E+01	4300	2,205128	2,0E+01	3947,2
5,0E+01	2748	1,409231	5,0E+01	2522,5
1,0E+02	1978	1,014359	1,0E+02	1815,7
2,0E+02	1440	0,738462	2,0E+02	1321,8
5,0E+02	974	0,499487	5,0E+02	894,1
1,0E+03	745	0,382051	1,0E+03	683,9
2,0E+03	590	0,302564	2,0E+03	541,6
5,0E+03	450	0,230769	5,0E+03	413,1
1,0E+04	368	0,188718	1,0E+04	337,8
2,0E+04	300	0,153846	2,0E+04	275,4
5,0E+04	235	0,120513	5,0E+04	215,7
1,0E+05	196	0,100513	1,0E+05	179,9
2,0E+05	168	0,086154	2,0E+05	154,2
5,0E+05	142	0,072821	5,0E+05	130,3
1,0E+06	126	0,064615	1,0E+06	115,7
2,0E+06	113	0,057949	2,0E+06	103,7
5,0E+06	102	0,052308	5,0E+06	93,6
1,0E+07	99	0,050769	1,0E+07	90,9
1,0E+08	97,1	0,049795	1,0E+08	89,1
1,0E+09	95,8	0,049128	1,0E+09	87,9
1,0E+10	94,4	0,048410	1,0E+10	86,7
1,0E+11	93,7	0,048051	1,0E+11	86,0

Tabelle D-1: Auslegungskurve für austenitische Werkstoffe in Luftumgebung (gilt nicht für die Werkstoffe 1.4550 und 1.4541)

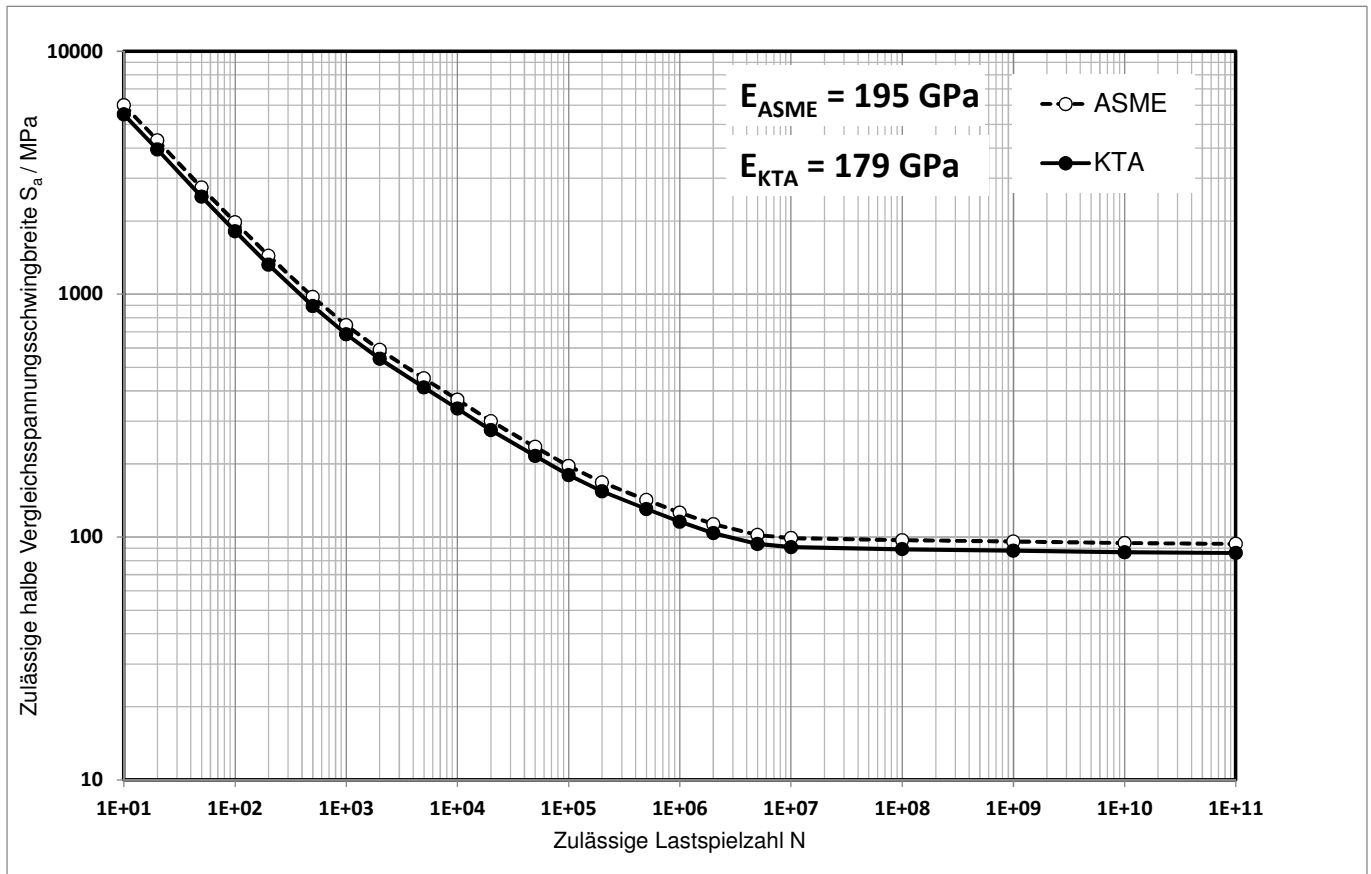


Bild D-1: Auslegungskurve für sonstige austenitische Werkstoffe in Luftumgebung
(E-Modul, KTA = 179 GPa, E-Modul, ASME = 195 GPa)

3.3.2.3 Ermittlung von Aufmerksamkeitsschwellen

Zur Ermittlung von Aufmerksamkeitsschwellen wurden exemplarisch für eine DWR und SWR-Anlage die Betriebsüberwachungsaufzeichnungen ermüdungsrelevanter Systeme gesichtet und gemäß den Vorgaben von NUREG/CR 6909, ANL-LWRS47 und aus dem ASME Code Meeting, „Section III Subgroup on Fatigue Strength“, Nashville, TN May 15, 2012 die Transienten hinsichtlich des zu postulierenden Einflusses des Mediums bewertet.

So wird der Einfluss des Mediums auf die Ermüdung bei ferritischen Werkstoffen durch den Schwefelgehalt, den Sauerstoffgehalt, die Dehnungsänderungsgeschwindigkeit und die Temperatur beschrieben.

Bei austenitischen Werkstoffen sind die Dehnungsänderungsgeschwindigkeit, und die Temperatur zu berücksichtigen.

Der Einfluss des Mediums wird in Form von Abminderungsfaktoren F_{en} auf die zulässige Lastspielzahl berücksichtigt.

Es liegt kein Einfluss des Mediums auf die Ermüdung vor, wenn die Dehnungsamplitude $\epsilon_a \leq 0,1\%$ ($\approx \sigma_a = 195$ MPa) für Austenit und $\epsilon_a \leq 0,07\%$ ($\approx \sigma_a = 145$ MPa) für Ferrit ist (Schwellenwerte).

Für den Sauerstoffgehalt wurde den Bewertungen die spezifizierten oberen Grenzwerte der VGB-Richtlinie VGB-R 401J (DWR 0,1 ppm, SWR 0,2 ppm) zugrunde gelegt.

Für den Schwefelgehalt wurde nach KTA 3201.1 der obere Grenzwert für 20 MnMoNi 5 5 herangezogen. Die Dehnungsänderungsgeschwindigkeiten wurden unabhängig von der realen Transiente so gewählt, dass jeweils der größte Einflussfaktor für die F_{en} -Bestimmung berücksichtigt wird ($d\epsilon / dt = 0,0004$ %/s für Austenit und $d\epsilon / dt = 0,001$ %/s für Ferrit).

Die Temperatur wurde gemäß den Vorgaben als Mittelwert der maximal und minimal auftretenden Temperatur der Transiente aus den Betriebsaufzeichnungen ermittelt.

Für die DWR-Anlage wurden repräsentativ die Speisewasserleitung, die Sprühleitung, die Volumenausgleichsleitung und das Volumenregelsystem bewertet, für die SWR-Anlage die Speisewasserleitung und das Reaktorwasserreinigungssystem.

Hinsichtlich der Anwendung der Aufmerksamkeitsschwellen ist grundsätzlich zu unterscheiden, welche Auslegungskurven der Ermüdungsanalyse zu Grunde gelegt werden.

Die in der vorliegenden Fassung KTA 3211.2 verwendeten Auslegungskurven spiegeln den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik wider. Hintergründe hierzu sind dem informativen Anhang D zu dieser KTA Regel zu entnehmen. Im Folgenden erfolgt eine Differenzierung der Methoden.

a) Auswertung nach aktueller KTA 3211.2

Die Auswertung nach den Vorgaben liefert für die ferritischen Komponenten einen Einflussfaktor des Mediums von $F_{en} = 4$.

Von Chopra wurde für die Bestimmung der neuen ANL-Auslegungskurven der Faktor auf die Lastwechselzahl nach statistischen Verfahren neu bewertet, für die Dehnungsamplitude wurde der Faktor 2 beibehalten. Für die Einflussgrößen (Werk-

stoffstreuung, Größeneinfluss, Oberflächenbearbeitung sowie Reihenfolgeeffekte) ergibt sich nach Chopra eine Marge von 12 auf die Lastspielzahl anstelle von 20 wie in der alten und neuen ASME Auslegungskurve für ferritische Stähle, so dass in den ASME Auslegungskurven nominell ein Faktor von 1,7 ($\cong 20/12$) für den Einfluss des Mediums beinhaltet ist.

Die Auswertung nach den Vorgaben liefert für die austenitischen Komponenten einen Einflussfaktor des Mediums von $F_{en} = 2,7$. In diesem Wert ist kein nomineller Faktor enthalten, da eigenständig ermittelte Auslegungskurven zu Grunde liegen.

b) Auswertung nach KTA 3211.2 in der Fassung 1992-06

Die Auswertung nach den Vorgaben liefert für die ferritischen Komponenten einen Einflussfaktor des Mediums von $F_{en} = 4$ und für austenitische Komponenten von $F_{en} = 2,7$.

Von Chopra wurde für die Bestimmung der neuen ANL-Auslegungskurven der Faktor auf die Lastwechselzahl nach statistischen Verfahren neu bewertet, für die Dehnungsamplitude wurde der Faktor 2 beibehalten. Für die Einflussgrößen (Werkstoffstreuung, Größeneinfluss, Oberflächenbearbeitung sowie Reihenfolgeeffekte) ergibt sich nach Chopra eine Marge von 12 auf die Lastspielzahl anstelle von 20 wie in der alten ASME Auslegungskurve, so dass in den alten ASME Auslegungskurven nominell ein Faktor von 1,7 ($\cong 20/12$) für den Einfluss des Mediums beinhaltet ist.

3.3.2.4 Festlegung der Aufmerksamkeitsschwellen

a) Auswertung nach aktueller KTA 3211.2

Die Festlegung der Aufmerksamkeitsschwelle wurde anhand der repräsentativen Auswertung für ferritische Komponenten zu $D = 1/(4/1,7) = 0,4$ gewählt.

Für austenitische Komponenten wurde die Aufmerksamkeitsschwelle unter Berücksichtigung des aktuellen Standes von Wissenschaft und Technik zu $D = 1/2,7 = 0,4$ gewählt, sofern die Berechnung des Erschöpfungsgrades auf dem Kenntnisstand mit Veröffentlichung der Ausgabe ASME 2009b Appendix I-9 basiert. Damit ergeben sich identische Aufmerksamkeitsschwellen für ferritische und austenitische Werkstoffe.

b) Auswertung nach KTA 3211.2 in der Fassung 1992-06

Die Festlegung der Aufmerksamkeitsschwelle wurde anhand der repräsentativen Auswertung für ferritische Komponenten zu $D = 1/(4/1,7) = 0,4$

gewählt. Es ergibt sich nominell kein Unterschied zur Aufmerksamkeitsschwelle nach aktueller KTA.

Auf Grund des in der aktuellen Fassung KTA 3211.2 beschriebenen Standes von Wissenschaft und Technik wird der Faktor 1,7 für moderaten Medieneinfluss in der ASME Auslegungskurve bei austenitischen Komponenten nicht berücksichtigt. Darüber hinaus wird die Aufmerksamkeitsschwelle im Sinne der Schaffung zusätzlicher Konservativitäten anstatt dem sich aus der Auswertung ergebenden Wert $D = 1/3 = 0,3$ zu

$D = 0,2$

gewählt. Damit unterscheiden sich die Aufmerksamkeitsschwellen für austenitische Werkstoffe nach der aktuellen Fassung KTA 3211.2 und nach KTA 3211.2 in der Fassung 1992-06.