

Durchstrahlungstechnik in der Kerntechnik

Detlef SCHOMBACH,
TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG,
Große Bahnstraße 31,
22525 Hamburg

1. Einleitung

In diesem Beitrag werden die Anforderungen an die Durchstrahlungsprüfung von Schweißnähten in Kernkraftwerken dargestellt, die sich aus den in den letzten Jahren novellierten kerntechnischen Regeln ergeben.

Für kerntechnische Anlagen erfolgen Fertigungsendprüfungen, insbesondere auch Durchstrahlungsprüfungen, nach den Sicherheitstechnischen Regeln des KTA 3201.3 und 3211.3. Die KTA 3201.3 gilt für die Prüfung bei der Herstellung an „Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren“ (gültige Fassung 11/2007). Die KTA 3211.3 gilt für die Prüfung bei der Herstellung an „Druck- und aktivitätsführenden Komponenten von Systemen außerhalb des Primärkreises“ (gültige Fassung 11/2003). Weiterhin gelten projektspezifische Spezifikationen für verschiedene Halbzeuge und Geltungsbereiche. Geprüft wird bei Fertigungsprüfungen auf Fehler, die während des Herstellungsprozesses entstanden sind. Bei der Fertigungsprüfung wird das gesamte Volumen des Prüfgegenstandes bewertet.

Wiederkehrende zerstörungsfreie Prüfungen mit dem Durchstrahlungsverfahren werden nach den Vorgaben der KTA- Regeln 3201.4 (gültige Fassung 11/2010) für Prüfstellen an Komponenten der Druckführenden Umschließung und 3211.4 (gültige Fassung 11/1996) für den Bereich der Äußeren Systeme durchgeführt. Detaillierte Angaben zur Prüfdurchführung und Bewertung sind für jede kerntechnische Anlage separat in Standardprüfanweisungen geregelt. Durchstrahlungsprüfungen kommen als Ersatz für die Prüfung der inneren Oberflächen, die für eine Magnetpulver- und Eindringprüfung nicht zugänglich sind, zum Einsatz. Die Durchstrahlungsparameter werden so gewählt, dass Fehler, die während des Betriebes entstanden sind, gut zu erkennen sind.

2. Fertigungsendprüfungen

Aus den Vorgaben der KTA 3201.3 ergeben sich im Vergleich zum konventionellen Regelwerk zusätzliche Anforderungen an die Durchstrahlungsprüfung von Schweißnähten bei den Fertigungsendprüfungen, von denen im Folgenden beispielhaft einige vorgestellt werden.

Prüfgerechte Gestaltung

Konstruktionen mit Schweißnähten an drucktragenden Wandungen sind prüfgerecht zu gestalten, so dass eine eindeutige Prüfaussage (auch bei wiederkehrenden Prüfungen) erzielt werden kann. Dies bedeutet, dass Schweißnähte mehrlagig auszubilden sind und durchgeschweißt sein müssen. Zusätzlich gilt: „Bei nur einseitig schweißbaren Rohrrund- und Stutznähten sind Vorkehrungen zu treffen, die ein einwandfreies Durchschweißen

sicherstellen. Eine wurzelseitige Bearbeitung ist (auch unter Einsatz von Innenbearbeitungsgeräten) grundsätzlich vorzusehen.“

Rohrleitungen sind im Wurzelbereich so anzupassen, dass sich, bei Einsatz geeigneter Schweißverfahren, eine gleichmäßige, konturenarme Wurzel bildet, die Voraussetzung für eine einwandfreie Bewertung des Wurzelbereichs ist. Für die Ausführung von Stutznähten sind in der KTA 3201.3 beispielhafte Bilder dargestellt, die auf die Einhaltung von Prüflängen L^* hinweisen:

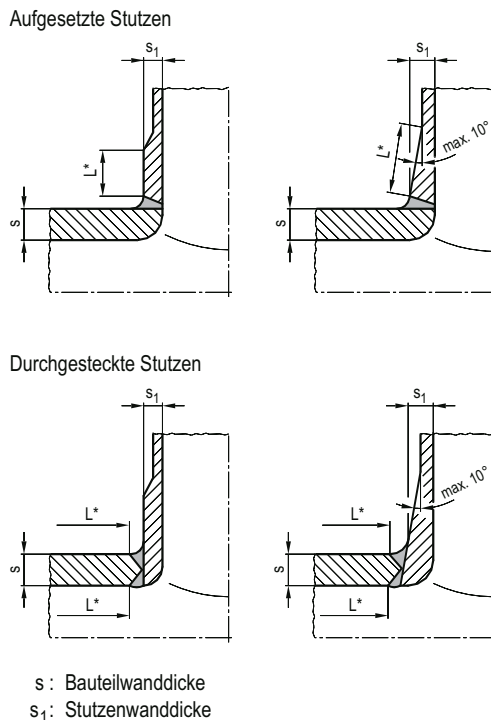


Bild 1 Beispiele für die Ausführung von Stutznähten (aus KTA 3201.3)

Zusätzliche Anforderungen zu DIN EN 1435

Durchstrahlungsprüfungen haben nach DIN EN 1435 (Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen Durchstrahlungsprüfung von Schmelzschweißverbindungen; Fassung 10/1997) zu erfolgen. Dabei sind die Bedingungen der Klasse B einzuhalten. Die in DIN EN 1435 Abschnitt 4 genannte Ersatzlösung soll dabei nicht in Anspruch genommen werden. Bei Wanddicken gleich oder größer als 8 mm sind die Einstrahlparameter so zu wählen, dass auf das Auffinden von Flankenbindefehlern ermöglicht wird.

Begrenzung der Wanddicke

Bei Stumpfschweißnähten und Stutznähten an ferritischen Werkstoffen ist die durchstrahlende Nennwanddicke auf kleiner als oder gleich 40 mm begrenzt (für aufgesetzte und angesetzte Stutzen ist hierfür die Wanddicke des Stutzens, für durchgesteckte und eingesetzte Stutzen die Dicke des Bauteils maßgebend). Eine Einwanddurchstrahlung ist zu bevorzugen.

Prüfung der Oberflächen nach dem Schweißen

Die Schweißnähte sind an der äußeren und inneren Oberfläche mit dem Eindringverfahren zu prüfen. Ist die innere Oberfläche für eine Eindringprüfung nicht zugänglich, so ist diese bei Schweißnähten mit Wanddicken s gleich oder größer als 8 mm mittels Ultraschall zu prüfen, bei Wanddicken kleiner als 8 mm hat eine Durchstrahlungsprüfung zu erfolgen. Dabei ist bei Stumpfnähten senkrecht zur Achse des Prüfgegenstandes einzustrahlen, es

sind die Anforderungen nach DIN 25435-7 einzuhalten. Bei Außendurchmessern kleiner als 100 mm ist gemäß DIN EN 1435 Bild 12 mit drei um 120 Grad versetzten Einstrahlpositionen zu prüfen.

Prüfung auf Bindung von Pufferungen

Bei der Prüfung von Mischnähten ist die Grenzfläche zum ferritischen Grundwerkstoff auf Bindung zu prüfen (bei Wanddicken gleich oder größer als 16 mm UT; gleich oder größer als 8 mm und kleiner als 16 mm UT oder RT; kleiner als 8 mm RT). Bei der Durchstrahlungsprüfung ist in Richtung der Grenzfläche einzustrahlen. Die Einstrahlrichtung darf hierbei nicht mehr als 5 Grad von der Richtung der Grenzfläche abweichen.

Ergänzende Durchstrahlungsprüfungen

Ist eine vorgesehene Ultraschallprüfung nur eingeschränkt möglich, so hat dafür eine ergänzende Durchstrahlungsprüfung zu erfolgen.

3. Wiederkehrende Prüfungen

Aus den Vorgaben der KTA 3201.4 ergeben sich im Vergleich zum konventionellen Regelwerk zusätzliche Anforderungen an die Durchstrahlungsprüfung von Schweißnähten bei wiederkehrenden Prüfungen, von denen im Folgenden beispielhaft einige vorgestellt werden.

Bei der Durchstrahlungsprüfung sind die Anforderungen nach DIN 25435-7 (Wiederkehrende Prüfungen der Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren; Teil 7: Durchstrahlungsprüfung; Fassung 05/2003) einzuhalten. Durchstrahlungsprüfungen sind nach DIN EN 1435, Prüftechnik Klasse B, mit zusätzlichen Anforderungen durchzuführen. Diese sind insbesondere:

Aufnahmeanordnung bei Durchstrahlungsaufnahmen an Schweißnähten

Für den Nachweis von senkrecht zur Oberfläche orientierten Fehlern ist bei größer oder gleich DN 100 abweichend von DIN EN 1435 die Strahlenquelle möglichst in der Nahtebene anzuordnen (Beispiel siehe Bild 1, aus DIN 25435-7).

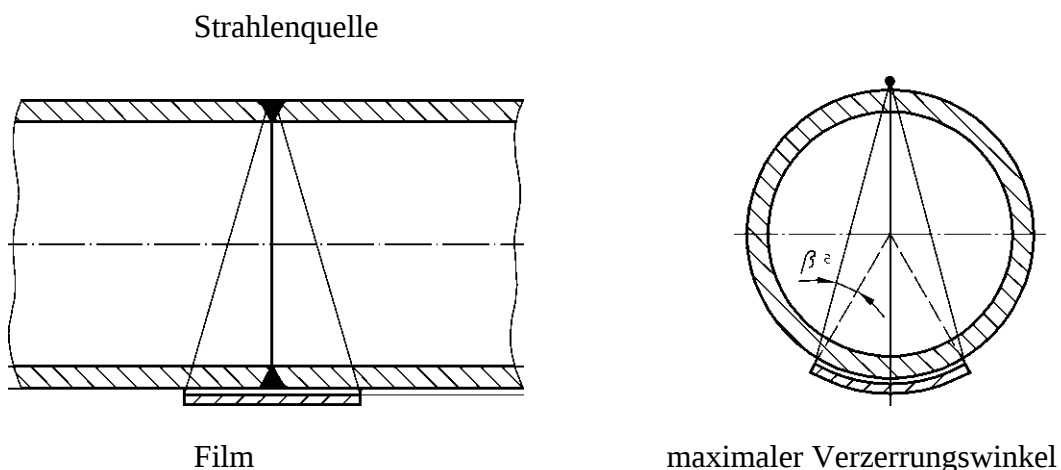


Bild 2 Aufnahmeanordnung für doppelwandige Durchstrahlung (Einbild) zur Prüfung der filmnahen Wand (Senkrechtdurchstrahlung, Strahlenquelle aufgesetzt, aus DIN 25435-7)

Anzahl Teilaufnahmen

Die Mindestanzahl der Teilaufnahmen ist in Abhängigkeit der Wanddicke und des Rohrdurchmessers erhöht im Vergleich zur DIN EN 1435.

Positionsprüfkörper/ Dokumentation

Zur Kontrolle der Position der Strahlenquelle sollten bei Rundschweißnähten an Rohrleitungen größer oder gleich DN 150 Maßbänder mit Positionsprüfkörpern verwendet werden. Werden keine Positionsprüfkörper verwendet, muss die Position der Strahlenquelle vom Prüfungsbeauftragten protokolliert und dokumentiert werden.

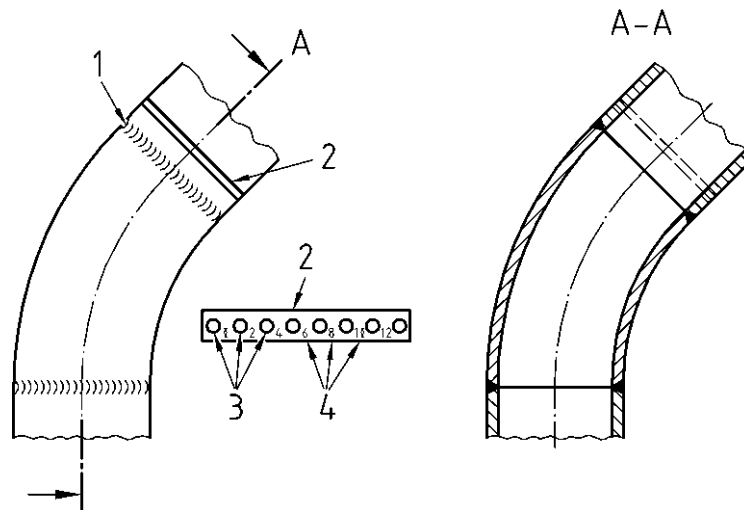


Bild 3 Maßband mit integrierten Bleizahlen zur Markierung des Prüfbereiches und mit Positionsprüfkörpern zur Überprüfung der Position der Strahlenquelle (aus DIN 25435-7)

Anforderungen an die Qualifikation des Prüfpersonals

Der Prüfungsbeauftragte muss in Stufe 3 nach DIN EN 473 zertifiziert sein, über ausreichende Auswerteerfahrung verfügen und mit den charakteristischen Erscheinungsformen betrieblich bedingter Fehler vertraut sein. Für den Prüfteamleiter ist Stufe 2 und für den Prüfer Stufe 1 vorgeschrieben. Ein Filmauswerter muss neben der Zertifizierung in Stufe 2 zusätzliche Erfahrung von mindestens 100 h in der Filmbewertung von Schweißnähten besitzen, er muss mit den charakteristischen Erscheinungsformen betrieblich bedingter Fehler vertraut sein und vom Arbeitgeber autorisiert sein.

Prüfgegenstand

Die Außenoberflächen von Schweißnähten müssen für die Durchstrahlungsprüfung kerbfrei und annähernd rohreben bearbeiten sein. Sichtbare Oberflächenfehler (z. B. Riefen, Kerben, Verunreinigungen) sind vor der Durchstrahlungsprüfung zu beseitigen. Die Oberfläche muss deshalb geglättet sein, damit die Auswertung der Durchstrahlungsaufnahmen nicht beeinträchtigt wird.

Rohrleitungen haben für die Durchstrahlungsprüfung entleert zu sein. In begründeten Fällen (z. B. Rohrleitungen, die aus sicherheitstechnischen oder anlagenbezogenen Gründen nicht entleerbar sind) darf dann abgewichen werden, wenn durch Vergleichsaufnahmen nachgewiesen wird, dass die geforderte Bildgütezahl erreicht wird.

Strahlenquellen

Es sind Gleichspannungsröntgenanlagen zu verwenden. Es dürfen nur Röntgenanlagen eingesetzt werden, für die ein Zertifikat über die Messung der Brennfleckgröße vorliegt. In besonderen Fällen dürfen in Absprache mit den Beteiligten Gammastrahler eingesetzt werden. Röntgenanlagen müssen im Hinblick auf ihre Eigenschaften (Brennfleckgröße, Lage des Brennflecks und Röntgenröhrenspannung) zertifiziert sein. Gammastrahler müssen im Hinblick auf die physikalischen Abmessungen des Strahlers, dessen Aktivität und die Lage der Strahlerkapsel (ausgefahrener Zustand) zertifiziert sein.

Die maximal anzuwendende Röhrenspannung von Röntgenstrahlern für Stahl ist in Abhängigkeit der zu durchstrahlenden Dicken vorgegeben.

Wenn in besonderen Fällen digitale Radiographie eingesetzt werden soll, so ist deren Eignung nachzuweisen.

Begrenzung des Wanddickenbereiches

Gemäß KTA 3201.4 ist die Anwendung der Durchstrahlungsprüfung auf den Wanddickenbereich $s < 20 \text{ mm}$ (bei Doppelwanddurchstrahlung durchstrahlte Wanddicke $w < 40 \text{ mm}$) begrenzt.

Bewertung

Nach der KTA- Regel sind Anzeigen, die auf Risse oder Bindefehler schließen lassen, sowie Wanddickenschwächungen infolge Korrosion als Befunde zu behandeln.

Analyseprüfungen

Analyseprüfungen (z.B. gezielte Durchstrahlungsprüfungen, ergänzende Ultraschallprüfungen) sind beim erstmaligen Auftreten oder der Vergrößerung von Befunden durchzuführen. Die Eignung der einzusetzenden Analysetechniken ist an Hand von Vergleichskörpermessungen nachzuweisen, wobei für die Qualifizierung entsprechend der Methodik der Richtlinie VGB-R 516 (VGB-ENIQ-Richtlinie) vorzugehen ist.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Für Fertigungsprüfungen und wiederkehrenden Prüfungen mit dem Durchstrahlungsverfahren in kerntechnischen Anlagen sind in den kerntechnischen Regeln Anforderungen spezifiziert, die erhöht im Vergleich zum konventionellen Regelwerk sind. Die wichtigsten Anforderungen wurden beispielhaft für den Bereich der Druckführenden Umschließung, für die die KTA- Regeln 3201.3 (Fertigung) und 3201.4 (Wiederkehrende Prüfungen) gelten, dargestellt. Die KTA- Regeln 3211.3 und 3211.4, die für die Bereiche der Äußeren Systeme gelten, befinden sich zurzeit in Überarbeitung. Es ist zu erwarten, dass für die dort vorhandenen Systembereiche vergleichbare Anforderungen, wie sie bereits für den Bereich der Druckführenden Umschließung gelten, festgelegt werden. Auch die DIN 25435-7 wird zurzeit aktualisiert. Hier sind auch einige Präzisierungen für die Durchführung von Durchstrahlungsprüfungen in der Kerntechnik zu erwarten.