

Mit dem rechten Schwung

Schutzrohr-Festigkeitsberechnung nach ASME PTC 19.3 TW-2010



Ein steigendes Sicherheitsbewusstsein der Anwender und schwere Unfälle in der Vergangenheit haben zu einer Revision der Schutzrohrberechnung ASME PTC 19.3 TW-2010 geführt. Durch signifikante Änderungen der Berechnungsgrundlagen wurde eine wesentlich verbesserte Abbildung der realen Einsatzbedingungen des Schutzrohres möglich.

Kontakt

Monika Adrian
Wika Alexander Wiegand SE & Co. KG,
Klingenberg
Tel.: +49 9372 132 9972
m.adrian@wika.de
www.wika.de



Mit dem rechten Schwung

Schutzrohr-Festigkeitsberechnung nach ASME PTC 19.3 TW-2010

Ein steigendes Sicherheitsbewusstsein der Anwender und schwere Unfälle in der Vergangenheit haben zu einer Revision der Schutzrohrberechnung ASME PTC 19.3 TW-2010 geführt. Durch signifikante Änderungen der Berechnungsgrundlagen wurde eine wesentlich verbesserte Abbildung der realen Einsatzbedingungen des Schutzrohres möglich.



Kai Grabenauer,
Produktmanager Schutzrohre
Elektrische Temperatur, Wika

Das Sicherheitsbewusstsein aller Anwender hat in den letzten Jahren zu einer ständig steigenden Nachfrage nach Schutzrohr-Festigkeitsberechnungen geführt. Weltweite Bedeutung erlangte hierfür die Berechnung der ASME PTC 19.3-1974, basierend auf Grundlagen von J. W. Murdock.

Im Dezember 1995 kam es in dem japanischen Atomkraftwerk in Monju zu einem schweren Unfall in einem Natrium-Kühlmittelekreislauf, der durch den Abriss eines Schutzrohres verursacht wurde, obwohl die Vorgaben der ASME PTC 19.3-1974 erfüllt waren. Als Folge hieraus wurden die Grundlagen der Schutzrohrberechnung nach ASME PTC 19.3-1974 neu überarbeitet und auf den aktuellsten Stand der Technik gebracht.

Inhalt der Schutzrohrberechnung

Die überarbeitete ASME PTC 19.3 TW-2010 betrachtet ausschließlich einteilige Schutz-

rohre in konischer, gerader oder gestufter Ausführung zum Einschweißen, zum Einschrauben, in Flansch- oder Van Stone Ausführung.

Als bedeutendste Neuerung zu den bisherigen Schutzrohrberechnungen ist die überlagerte Schwingung des Schutzrohres rechtwinklig zur Strömungsrichtung des Mediums in der Rohrleitung (Lift-Oszillation) und in Strömungsrichtung (Drag-Oszillation) zu nennen (Abb. 1). Beide Schwingungen überlagern sich mit einem ungefähren Amplitudenverhältnis 10:1, wobei das Verhältnis der Resonanzfrequenzen beider Schwingungen ca. 1:0,5 beträgt (Abb. 2)

Der Schutzrohrabriss im Kraftwerk in Monju beruhte auf einer Überlastung des Schutzrohres in der Resonanz der Drag-Oszillation in Prozess-Fließrichtung, die durch keine der bisher etablierten Berechnungsverfahren betrachtet wurde.

Weitere Neuerungen der ASME PTC 19.3 TW-2010 sind die Berücksichtigung der Ab-

schirmung durch den Flanschstützen des Schutzrohres und der Einfluss der Viskosität des Prozessmediums auf die Berechnung.

Bewertung der Berechnungsergebnisse

Die ASME PTC 19.3 TW-2010 unterteilt sich in dynamische und statische Berechnungsergebnisse. Die Bewertung der dynamischen Ergebnisse erfolgt über den Dämpfungsfaktor NSC (Scruton Number). Für gasförmige Medien ist ein charakteristischer Wert $NSC > 2,5$; Flüssigkeiten besitzen typischerweise einen $NSC < 2,5$. Die Scruton Number NSC hat einen direkten Bezug zu dem zulässigen Frequenzverhältnis „r max“ von Erregerfrequenz f_s zu Eigenfrequenz f_n . Während bei gasförmigen Medien in den meisten Fällen die bisherige Grenzfrequenz $r_{max} = 0,8$ weiterhin gültig ist, wird bei flüssigen Medien die neu eingeführte Grenz-

frequenz $r_{max} = 0,4$ für die In-Line Resonanz zur Anwendung kommen. (Abb. 3).

Ob auch bei flüssigen Prozessmedien das Frequenzverhältnis $r < 0,8$ als Bewertungsgrenze herangezogen werden kann, wird durch eine Betrachtung der zulässigen Spannungen im Schutzrohrwerkstoff zu den tatsächlichen Spannungen im Resonanzfall entschieden. Zusätzlich erfolgt eine Bewertung der Festigkeit des Schutzrohrwerkstoffes bezüglich der Biegewechselbeanspruchung (Fatigue stress) im Bereich der Einspannung des Schutzrohres.

Die statischen Ergebnisse der ASME PTC 19.3 TW-2010 sind der maximal zulässige Prozessdruck, abhängig von der Prozesstemperatur und den Geometriedaten des Schutzrohres sowie die Biegespannung im Bereich der Schutzrohrwurzel, verursacht durch die Anströmung des Schutzrohres abhängig von der abgeschirmten Länge des Flanschstützens.

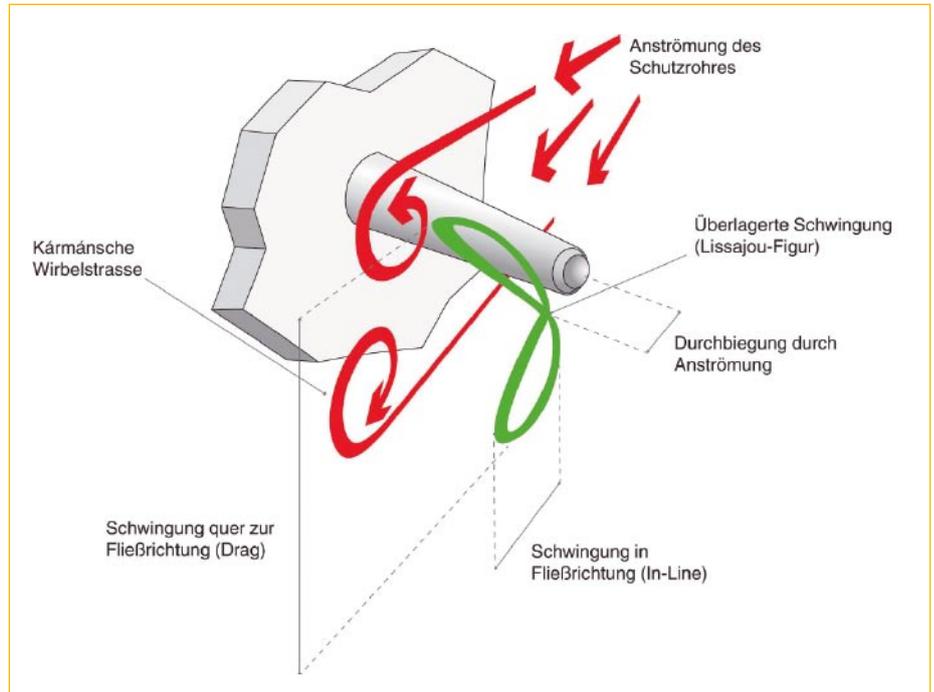


Abb. 1: Darstellung der Schwingungsrichtungen

Gegenüberstellung der Ergebnisse

Es wurden exemplarisch 2571 Schutzrohrberechnungen, basierend auf realen Daten in der Vergangenheit durchgeführter Schutzrohrberechnungen, ausgewertet. Die Ergebnisse der ASME PTC 19.3-1974 unterscheiden sich zur aktuellen ASME PTC 19.3 TW-2010 wie folgt:

	ASME PTC 19.3-1974	ASME PTC 19.3 TW-2010
Grenzfrequenz $r_{max} = 0,4$	n/a	76,7%
Grenzfrequenz $r_{max} = 0,8$	100%	23,3%
Nicht bestandene Berechnung	24,74%	31,66%

Die Gegenüberstellung der Ergebnisse zeigt, dass die Wahrscheinlichkeit einer nicht bestandenen Schutzrohrberechnung bezüglich der dynamischen Betrachtung bei den betrachteten Beispielen um 27,9% steigt.

Grenzen der Berechnung

Analog zum Beiblatt 2 der DIN 43772 lässt auch die ASME PTC 19.3 TW-2010 ausdrücklich den Betrieb von Schutzrohren über der 1,2fachen der Hauptresonanz zu. Die hierzu notwendigen rechnerischen

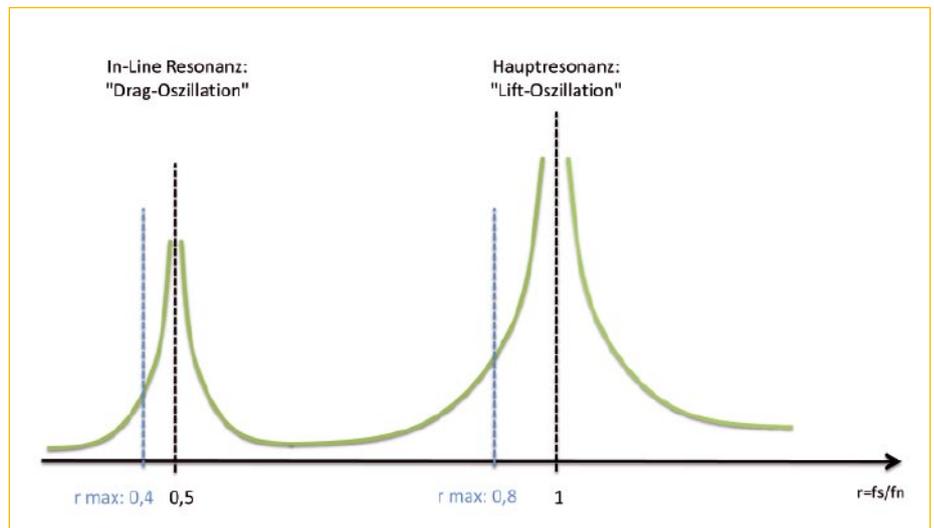


Abb. 2: Darstellung der Inline- und Hauptresonanz

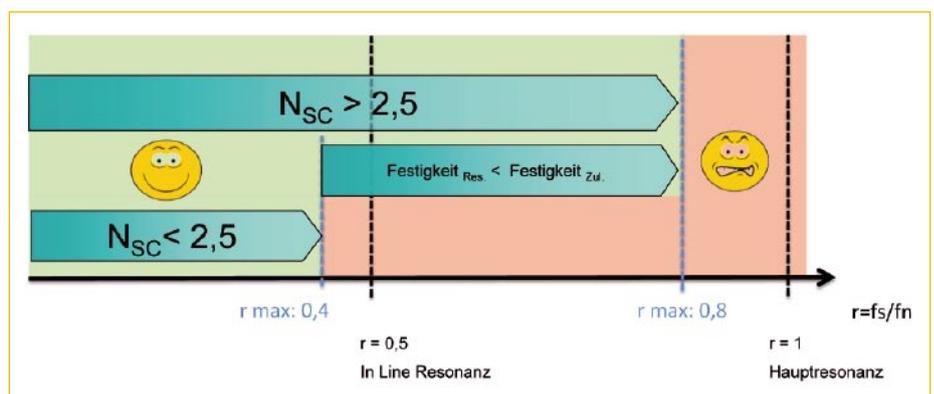


Abb. 3: Bewertung der Berechnungsergebnisse

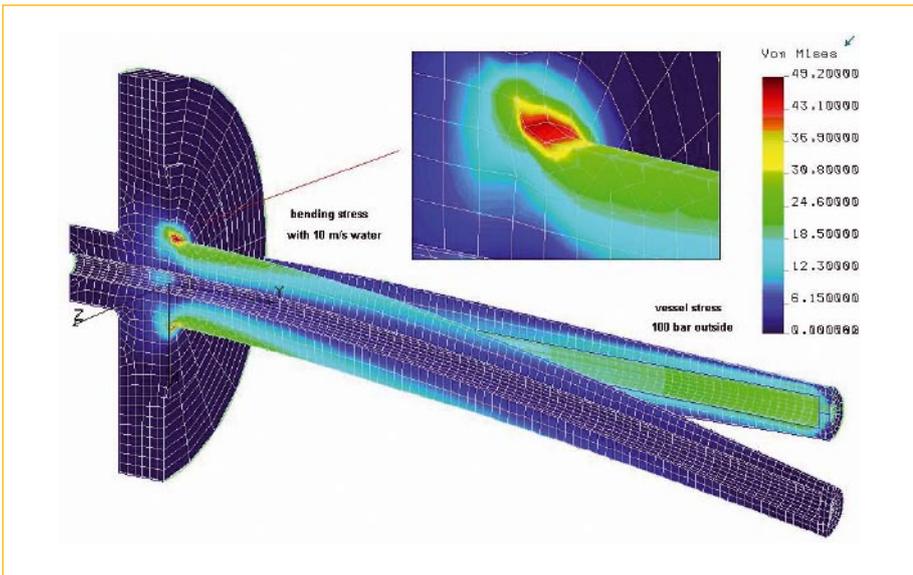


Abb. 4: Finite Elemente Darstellung bei seitlicher Anströmung



Abb. 5: Schutzrohr TW10

Nachweise werden jedoch nicht im diesem Standard erbracht und müssen über weitergehende Betrachtungen, wie zum Beispiel mittels Finite-Elemente-Berechnungen geführt werden (Abb. 4)

Die Abmessungen der über die ASME PTC 19.3 TW-2010 berechenbaren einteiligen Schutzrohre aus Vollmaterial sind in Tabelle 1 beschrieben. Schutzrohre, die im angeströmten Bereich eine erhöhte Oberflächenrauigkeit oder eine z.B. verschleißfeste Beschichtung besitzen, sind von der Berechnung ausgenommen.

ASME

Die American Society of Mechanical Engineers (ASME) erarbeitet den ASME-Code. Dieser regelt die Anforderungen an Herstellerzertifizierung, Qualitätssicherung, Konstruktion, Materialauswahl, Fertigung, Prüfung, Erprobung, Abnahme und Zertifizierung von Dampf- und Heizkesseln, Rohrleitungen, Druckbehältern und kerntechnischen Komponenten. Die ASME PTC 19.3 beschäftigt sich mit Temperaturmessinstrumenten und -apparaten.

Vergrößerung der Schutzrohrabmessungen zu einem besseren Ergebnis, wobei beide Änderungen negativen Einfluss auf die Ansprechzeit der Temperaturmessstelle haben können.

Während in der ASME PTC 19.3-1974 die Abstützung des Schutzrohres im Flanschstutzen durch einen Anker nicht explizit erwähnt wurde, wird in der ASME PTC 19.3 TW-2010 diese weit verbreitete konstruktive Lösung nicht generell empfohlen. Dies wird damit begründet, dass sich das Schutzrohr spielfrei mittels des Ankers im Stutzen abstützen muss, was nicht ohne weiteres bei der Montage zu realisieren ist. Falls in Sonderfällen doch die Schutzrohreinbaulänge durch einen Anker verkürzt werden soll, sind gegebenenfalls die dämpfenden Effekte der Flüssigkeit im Ringspalt zwischen Anker und Stutzenwand sowie die geänderte Eigenfrequenz des Schutzrohres mittels geeigneter Berechnungsmethoden, die außerhalb der ASME PTC 19.3 TW-2010 liegen, zu berücksichtigen.

Vorgehen bei negativen Berechnungsergebnissen

Im Falle einer nicht bestandenen Schutzrohrberechnung erschwert die nicht-Linea-

rität der Berechnungsformeln der ASME PTC 19.3 TW-2010 eine einfache Lösungsfindung durch Änderung der Schutzrohrabmessungen. Im Allgemeinen führt eine Verkürzung der Einbaulänge L sowie eine

Beschreibung	Konische und gerade Form		gestufte Form	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Einbaulänge L	63,5 mm	609,6 mm	127 mm	609,6 mm
Bohrungsdurchmesser d	3,175 mm	20,9 mm	6,1 mm	6,7 mm
Spitzendurchmesser B	9,2 mm	46,5 mm	...	...
Konusverhältnis B/A	0,58	1	...	...
Stufenverhältnis B/A für B = 12,7 mm	...	...	0,5	0,8
Stufenverhältnis B/A für B = 22,2 mm	...	...	0,583	0,875
Bohrungsverhältnis d/B	0,16	0,71	...	...
Querschnittsverhältnis L/B	2	...	2	...
Längenverhältnis Ls/L	...	...	0	0,6
Min. Wandstärke (B-d)/2	3 mm	...	3 mm	...

Abb. 6: Designvorgaben der ASME PTC 19.3 TW-2010

Kontakt
Monika Adrian
Wika Alexander Wiegand SE & Co. KG,
Klingenberg
 Tel.: +49 9372 132 9972
 m.adrian@wika.de
 www.wika.de