

# ERFAHRUNGEN ZU SPANNUNGSÜBERHÖHUNGS- FAKTOREN AN ROHRBOGENANFÄNGEN

Johannes Studener<sup>(1)</sup>, Johannes Seichter<sup>(1)</sup>, Sven Reese<sup>(2)</sup>, Lutz Zieger<sup>(2)</sup>,  
Florian Ohser<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Siempelkamp Prüf- und Gutachter-Gesellschaft mbH,  
Am Lagerplatz 6a, 01099 Dresden

<sup>(2)</sup> E.ON Kernkraft GmbH, Tresckowstraße 5, 30457 Hannover

<sup>(3)</sup> Technische Universität Dresden, 01062 Dresden

## 1. Einführung

Im Rahmen von Rohrleitungsanalysen erfolgt der Spannungsnachweis für Rohrbögen nach KTA ([2] und [3]) i. allg. mit Hilfe von Spannungsüberhöhungsfaktoren (Bogenbeiwerten), die das gegenüber dem geraden Rohr lokal erhöhte Spannungsniveau in der Rohrbogenmitte berücksichtigen. Im Übergang vom Rohrbogen zum Geradrohr, dem sogenannten „Rohrbogenanfang“, befinden sich häufig Rundschweißnähte. So muss beispielsweise beim Vorliegen von Befunden für diese Stellen eine Bewertung der lokalen Spannungen vorgenommen werden. Das kann über 3 Wege geschehen:

1. deutlich konservativ mit Hilfe der globalen Bogenbeiwerte für die Rohrbogenmitte gemäß KTA 3201.2 und 3211.2 ([2] und [3]),
2. abdeckend unter Berücksichtigung abgeminderter Beiwerte für den Rohrbogenanfang gemäß [1] oder
3. lokal abdeckend unter Verwendung eines auf den Einzelfall zugeschnittenen Finite-Elemente Rohrbogenmodells.

Nachfolgend werden die einzelnen Methoden vorgestellt und bewertet.

## 2. Analytische Bewertung mittels Spannungsüberhöhungsfaktoren

Geht man vom Nachweis mittels Bogenbeiwerten gem. der o. g. Punkte 1 und 2 aus, so gilt für den Spannungsüberhöhungsfaktor:

$$B, C = \frac{\sigma_e}{\sigma}$$

mit:

$\sigma_e$  ideal-elastische Spannung, Vergleichsspannung, Vergleichsspannungsschwingbreite infolge Belastung

$\sigma$  Nennspannung infolge Belastung (für das gerade Rohr)

Entsprechend der Belastung unterscheidet man zwischen Bogenbeiwerten für Innendruck und Biegemoment. Für Innendruck geht man davon aus, dass die Beiwerte für Rohrbogenanfang und Bogenmitte (Scheitelpunkt des Rohrbogens) identisch sind. Bei der Biegemomentenbelastung kann dagegen für den Rohrbogenanfang eine Abminderung vorgenommen werden. In der nachfolgenden Tabelle sind die üblichen Beiwerte zusammengefasst.

	Beiwert B		Beiwert C		R - Biegeradius $d_m$ - mittlerer Rohrdurchmesser $r_m = \frac{d_m}{2}$ $s_c$ - Wandstärke $h = \frac{4 s_c R}{d_m^2}$
	Rohrbogenmitte ([2] und [3])	Rohrbogenanfang [1]	Rohrbogenmitte ([2] und [3])	Rohrbogenanfang [1]	
Innendruck (Index 1)	0,5		$\frac{(2 \cdot R - r_m)}{2 \cdot (R - r_m)}$		
Biegemoment (Index 2)	$\frac{1,3}{2} \geq 1,0$ $h^3$	$\frac{0,7}{2} \geq 1,0$ $h^3$	$\frac{1,95}{2} \geq 1,5$ $h^3$	$\frac{1,05}{2} \geq 1,5$ $h^3$	

Mit Hilfe von Traglastberechnungen und Versuchen wurde ermittelt, dass bei Biegebelastung das Traglastmoment (Fließen im gesamten Bogenquerschnitt) das 1,5-fache des elastischen Grenzmomentes (Fließgrenze wird in einem Punkt des Querschnittes erreicht) beträgt. Daraus folgt, dass zwischen den  $B_2$ - und den  $C_2$ -Beiwerten folgender Zusammenhang besteht:

$$B_2 = \frac{2}{3} C_2$$

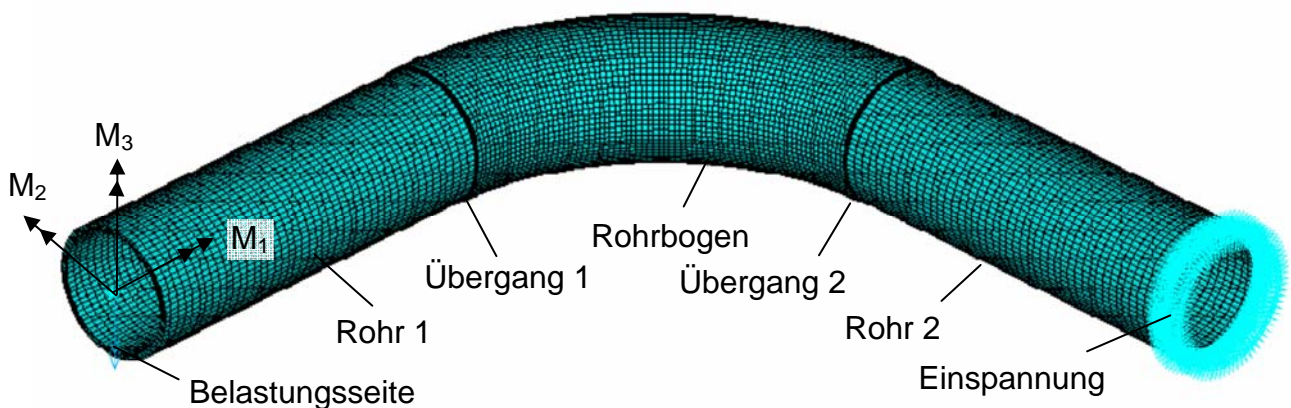
Die  $C_2$  – Beiwerte beziehen sich somit auf den elastischen Spannungszustand beim erstmaligen Erreichen der Fließgrenze im Rohrbogen, während die  $B_2$ -Werte plastische Tragreserven beinhalten.

### 3. Parametrisiertes FE-Modell

Da es sich bei der analytischen Spannungsberechnung mittels Bogenbeiwerten um ein sehr pauschales Verfahren handelt, wurde für genauere Untersuchungen ein parametrisiertes Finite-Elemente-Volumenmodell eingesetzt, mit dem auf einfache Weise folgende Parameter zusätzlich variiert und bewertet werden können:

- Länge der anschließenden Geradrohre,
- Wanddickenübergänge am Rohrbogenanfang / Rohrbogenende (Übergänge),
- lokale Wanddickenunterschiede (mit Angabe des Ortes und der Ausdehnung des Bereiches),
- Richtung der Momentenbelastung und
- Rohrbogenwinkel.

In nachfolgender Abbildung ist ein solches Bogenmodell exemplarisch dargestellt:



Die Spannungsauswertung erfolgt durch Linearisierung der berechneten Spannungen über die Wanddicke an der betreffenden Stelle.

### 4. Ergebnisse und Zusammenfassung

Die analytische Bewertung mit Spannungsüberhöhungsfaktoren an Schweißnähten ist stark vereinfacht und führt damit zu konservativen Ergebnissen. Die folgenden Einflüsse bleiben bei dieser Methode unberücksichtigt:

- lokale Spannungsverteilung in Umfangsrichtung (komponentenabhängig),
- Spannungsverteilung bei Wanddickenübergängen zwischen Geradrohr und Rohrbogen oder ungleichmäßiger Wanddickenverteilung,
- Stützwirkung anschließender Bauteile (z. B. Armaturen),
- Spannungen bei Rohrbögen  $< 90^\circ$  und
- richtungsabhängige Biegemomentenbelastung.

Die Berücksichtigung der o.g. Einflüsse bei FE-Berechnungen führt in der Praxis häufig zu geringeren Spannungsüberhöhungen am Bogenanfang als bei Anwendung der analytischen Methode. Andererseits führt eine Spannungsberechnung mit FE-Modellen und linear-elastischem Materialverhalten beim Primärspannungsnachweis zu großen Konservativitäten, weil insbesondere bei Biegebelastung die Reserven bis zum Erreichen der Traglast (theoretisch bis zu Faktor 1,5) unberücksichtigt bleiben.

Ein Abbau dieser Konservativitäten ist auf 2 Arten möglich:

1. Eine Abminderung der elastisch berechneten Spannungen mit dem „Traglastfaktor“ 1,5
2. Eine FE-Berechnung unter Berücksichtigung des elastisch-plastischen Materialverhaltens

## 5. Referenzen

- [1] W. Holzer, R. Kauer, Ch. Hüttner  
Assessment of Local Decreases in Wall Thickness at the Connection Straight Pipe/Bend Using Stress Concentration Factors  
Transactions, SMiRT 16, Aug. 2001, Paper 1961
- [2] KTA 3201.2, Fassung 06/96  
Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren; Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung
- [3] KTA 3211.2, Fassung 07/92  
Druck- und aktivitätsführende Komponenten von Systemen außerhalb des Primärkreises; Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung