



Fachbereich Bauingenieurwesen
Lehrauftrag Rohrstatik und -sanierung

VERSUCHSBERICHT

Projekt: Innendruckprüfung an Quick-Lock
Linerendmanschetten der Nennweiten
DN 200 und DN 300

Auftraggeber: Uhrig Kanaltechnik GmbH
Am Roten Kreuz 2
78187 Geisingen

Auftragnehmer: Prof. Dr.-Ing. Bernhard Falter
Fachhochschule Münster
Fachbereich Bauingenieurwesen
Corrensstraße 25
48149 Münster

Prüfungen: 07. bis 08.09.2016

Berichtsdatum: 19.09.2016

1 Allgemeines, Vorbemerkungen

Im Auftrag der Uhrig Kanaltechnik GmbH wurden am 7. und 8. September 2016 Innendruckprüfungen an Quick-Lock Linerendmanschetten aus rostfreiem V4A-Stahl 1.4404 (AISI 316L) für die Nennweiten DN 200 und DN 300 durchgeführt, vgl. [1].

Ziel war, die Dichtheit der Manschetten für Nenndrücke von 16 bar und 20 bar nachzuweisen. Die Versuchsanordnung entsprach dem Altrohrzustand I nach Arbeitsblatt DWA-A 143-2 [2]. Den Versuchen lagen Erfahrungen aus früheren Untersuchungen der FH Münster an Quick-Lock Manschetten DN 200 bis DN 600 [6] für Altrohrzustand II sowie Untersuchungen des IKT [5] zugrunde.

Die Versuche wurden auf dem Firmengelände der Uhrig Kanaltechnik GmbH durchgeführt. Beteiligt an der Versuchen waren

Herr Michael Pfeffer (Uhrig Kanaltechnik GmbH)
 Herr Luca Arceri (Uhrig Kanaltechnik GmbH)
 Herr Prof. Dr.-Ing. Bernhard Falter (FH Münster)

2 Versuchsvorbereitung

2.1 Stahlrohre DN 200 und DN 300, Liner

Für die Versuche wurden längsgeschweißte Stahlrohre der Nennweiten DN 200 und DN 300 ohne Zementmörtelauskleidung verwendet. Die Rohre waren mit je einem Schlitz in Umfangsrichtung bei ca. 11 Uhr und mit Ventilen zum Aufbringen des Prüfdrucks versehen, vgl. Bild 1 und Tabelle 1.

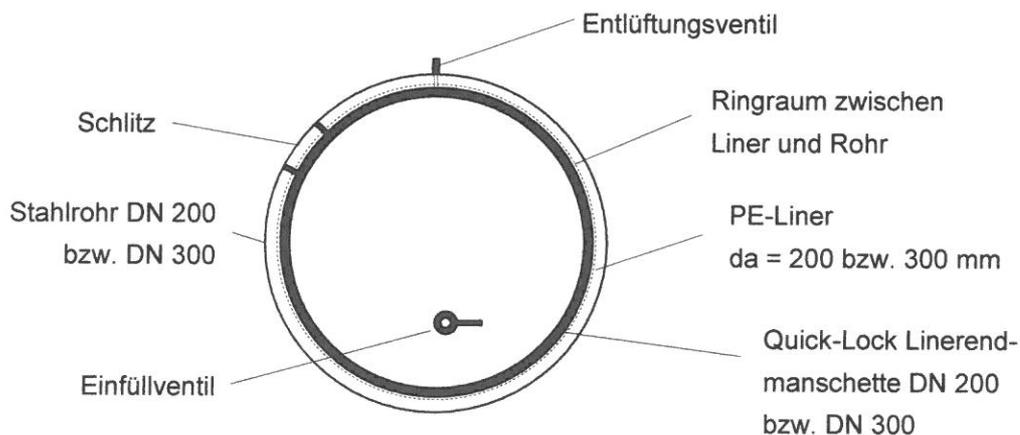


Abbildung 1: Prinzipskizze des Versuchsaufbaus (nicht maßstäblich)

Tabelle 1: Stahlrohrmaße (alle Maße in mm)

Nennweite	Rohrlänge	Wanddicke	Druckangaben lt. Hersteller in bar	Schlitzbreite	Schlitzlänge	Deckeldicke	Durchmesser bis Schraubenmitte
DN 200	720	4,5	20-22	7	110	10 ¹⁾	288 ¹⁾
DN 300	1030	4,1	16	9	125	15 ¹⁾	390 ¹⁾

¹⁾ Zur Ermittlung der Durchbiegung des Deckels als Kreisplatte

An den Rohrenden waren Flansche angeschweißt, die mit den beiden Deckeln mit je 20 Schrauben M10 der Güte 12.9 und einer Dichtung verschraubt werden konnten, s. Bild 2.



Bild 2: geschlitztes Stahlrohr DN 300 mit Verschlussdeckeln, Packer, Linerendmanschetten



Bild 3: Stahlrohr ohne ZM-Auskleidung, Oberfläche Flugrost, eingeschobenes PE-Rohr als Liner

In die Stahlrohre wurden passgenaue PE-Rohre zur Simulation von Schlauchlinern eingeschoben (s. Bild 3). Maße und Ringraum der Liner zum jeweiligen Stahlrohr sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Der für die Montage der Linerendmanschetten erforderliche Rückschnitt des Liners ist in den Bildern 4 und 5 zu erkennen, die Maße sind [4] zu entnehmen.

Tabelle 2: Linermaße, Ringraum

Nennweite	Linerlänge	Wanddicke	Ringraum	Ringraum w_s , auf den Umfang umgerechnet ¹⁾	ω_s (w_s auf r bezogen)
	mm	mm	mm	mm	%
DN 200	720	5,1	eng anliegend	~ 0	~ 0
DN 300	ca. 400	5,1	ca. 1 mm über ca. 120°	~ 0,33	~ 0,22

¹⁾ Die Größe des Ringraums kann die Dichtheit der Linerendmanschetten beeinflussen.

Für eine statische Berechnung nach DWA-A 143-2 [2] ist ein Ringraum von mindestens 0,5% des Liner-radius anzunehmen. In der Praxis ist bei lichterhärtenden Linern ein geringerer Ringraum zu erwarten.



Bild 4: Quick-Lock Linerendmanschette mit EPDM-Dichtung, Rückschnitt des Liners um ca. 14 cm

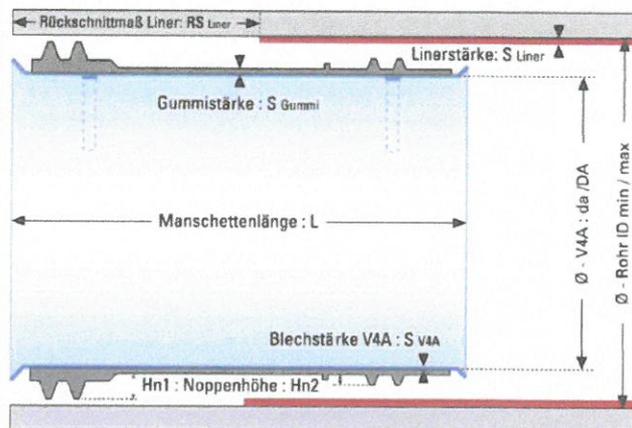


Bild 5: Querschnitt der Quick-Lock Linerendmanschette
 Quelle: Techn. Datenblatt Linerendmanschette [7]

2.2 Einbau der Linerendmanschetten

2.2.1 Allgemeines

Die Packerdrücke betragen an der innen liegenden Zahnleiste 3,5 bar, an der außen liegenden Zahnleiste zunächst ebenfalls 3,5 bar und anschließend bei etwa ca. 5 cm nach außen verschobenem Packer 5 bar, vgl. Bilder 6 und 7.

Der Schlitz im Stahlrohr lag im inneren Bereich der Rohrlänge zwischen den Linerendmanschetten, s. Bild 2.

2.2.2 Manschetten DN 200

Der PE-Liner hatte die Länge des Stahlrohres minus 2×Rückschnitt nach Einbauanleitung. Dadurch schloss das gebördelte Ende der Linerendmanschetten bündig mit den Stahlrohrenden ab.

2.2.3 Manschetten DN 300

Vor dem Einbau von je zwei Linerendmanschetten in die Rohre wurde der Liner im Stahlrohr so verschoben, dass der lt. Einbauanleitung erforderliche Rückschnitt realisiert werden konnte. Dies hatte zur Folge, dass eine Linerendmanschette bündig zum Stahlrohrende positioniert, die andere Manschette im Inneren des Stahlrohres montiert wurde, vgl. Bild 7.



Bild 6: Aufstellen der Quick-Lock Linerendmanschette durch Packerdruck

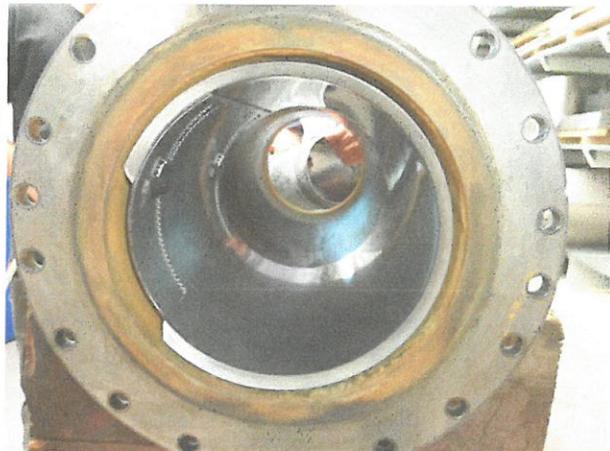


Bild 7: Quick-Lock Linerendmanschette, vorn: fertig eingebaut, hinten: Einführen der zweiten Manschette

3. Versuchsdurchführung

3.1 Allgemeines

Die beiden Prüfkörper wurden am 7.9.2016 gegen 15 Uhr verschlossen, mit Wasser gefüllt, entlüftet und mit 16 bar Druck beaufschlagt, s. Bild 8. Vor Abschluss der Arbeiten am 7.9.2016 wurde der Druck in den Prüfkörpern durch Messung der Deckelverformung grob mit Lineal und Zollstock überprüft, s. Bild 9 (Genauigkeit $\pm 0,5$ mm). Diese Messungen wurden auch bei den weiteren Druckprüfungen durchgeführt, um eine vom Manometerdruck unabhängige Bestätigung zu erhalten, vgl. Tab. 3 und 4.



Bild 8: manuelle Aufbringen des Drucks
im Stahlrohr (links oben: Schlitz)



Bild 9: Messung der Deckelverformung
nach Druckaufbringung

Der Druck in den Prüfkörpern und die Deckelverformungen wurden am Morgen des Folgetages (8.9.2016) gegen 8.30 Uhr überprüft.

3.2 Prüfungen DN 200: 16 bar und 22 bar Prüfdruck

Der Druck im Prüfkörper DN 200 wurde am 8.9.2016 gegen 8.40 Uhr nachgelassen. Die Deckelverformungen wurden erneut gemessen. Da sie nach dem Druckabbau nicht auf null zurückgegangen sind, handelt es sich um plastische Verformungen, vgl. die rechnerischen Spannungen im Anhang A.



Bild 10: Prüfdruck 22 bar im Rohr DN 200
als Dauerbeanspruchung

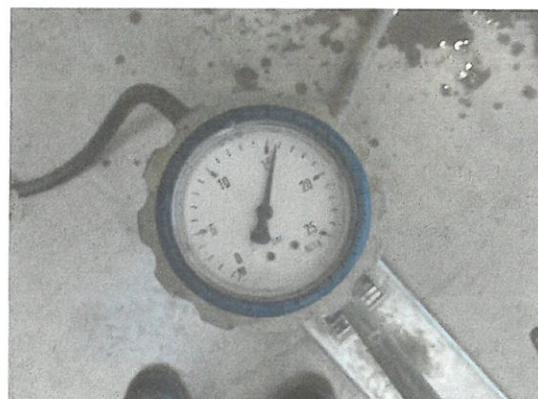


Bild 11: Prüfdruck 16 bar im Rohr DN 300
für zyklische Beanspruchung

Anschließend wurde der Prüfkörper mit 22 bar Prüfdruck beaufschlagt, s. Bild 10.

Tabelle 3: Deckelverformungen DN 200 (Verformungen in mm)

Datum	Zeit	Druck bar	Verformung Seite 1	Verformung Seite 2	Rechnerische Verformung ¹⁾	Überprüfung Stahlrohrschlitz
7.9.2016	16:15	0 16	0 9,5	0 8,5	0 > 1,76	dicht
8.9.2016	8:40	0 22	~9,5 ¹⁾ 13,5	~8,5 ²⁾ 13,5	> 0 > 2,42	dicht dicht
8.9.2016	10:25	22	10	10,5	> 2,42	dicht
8.9.2016	10:50	0	-	-	> 0	geöffnet

¹⁾ Berechnung s. Anhang A

²⁾ Verformung geht nicht zurück: plastische Verformung

Der Prüfkörper DN 200 blieb während der gesamten Prüfzeit bis ca. 11 Uhr dicht.

3.3 Prüfungen DN 300: 10 Belastungszyklen 16 bar / 0

Für die Nennweite DN 300 wurden zyklische Prüfdrücke von jeweils 16 bar in Zeiträumen von 10 bis 20 Minuten Abstand aufgebracht, s. Bild 11. Dazwischen wurden die Prüfkörper entlastet (0 bar) und die Deckelverformungen gemessen.

Tabelle 4: Deckelverformungen DN 300 (Verformungen in mm)

Zyklus	Datum	Zeit	Druck bar	Verformung Seite 1	Verformung Seite 2	Überprüfung Stahlrohrschlitz
1	7.9.2016	16:15	0 16	0 3	0 3	dicht
1	8.9.2016	8:30	0/16	2	2	dicht
2	"	8:40 8:50	0 16	1 3	1 3	dicht
3	"	9:15	0/16	3	3	dicht
4	"	9:30	0/16	2	2	dicht
5	"	9:40	0/16	2	2	dicht
6	"	10:05 10:10	0 16	1 2,5	1 2,5	dicht
7	"	10:30	0/16	2,5	2,5	dicht
8	"	10:50	0/16	2,5	2	dicht
9	"	11:10	0/16	-	-	dicht
10	"	11:25	0	-	-	geöffnet

Die rechnerische Verformung nach Anhang B beträgt $w = 1,96$ mm – sie liegt damit im Bereich der gemessenen Werte nach Tabelle 4. Es handelt sich um elastische Verformungen, da die Streckgrenze des Werkstoffs S235 der Deckel nur unwesentlich überschritten wird.

Der Prüfkörper DN 300 blieb während der gesamten Prüfzeit und der Prüfzyklen von Null auf 16 bar bis ca. 11:15 Uhr dicht.

4. Überprüfung der Zahnleisten und Ritzel auf Beschädigungen

Nach dem Ablassen des Prüfdrucks und dem vollständigen Entleeren des Prüfkörpers wurden die Verschraubungen gelöst und die Deckel abgenommen. Danach erfolgte zunächst eine optische Begutachtung der Manschetten und der Sperrmechanismen.

Anschließend wurden der Sperrmechanismus, mit dem die jeweils drei Ritzel fixiert werden, durchtrennt (Bild 12), um die Ritzel und Zahnleisten visuell auf Beschädigung überprüfen zu können.



Bild 12: Öffnen der Rohre, Arretierungen abgeschlagen (im Hintergrund liegend)

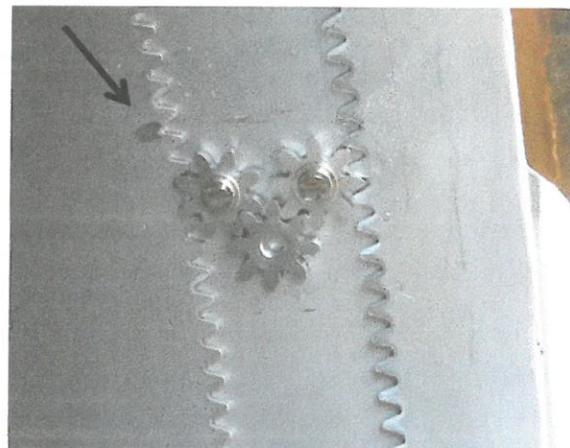


Bild 13: Rohr DN 200 nach Dauerbeanspruchung geöffnet, Inspektion Zahnleisten und Ritzel (Ort der Arretierung ist markiert)

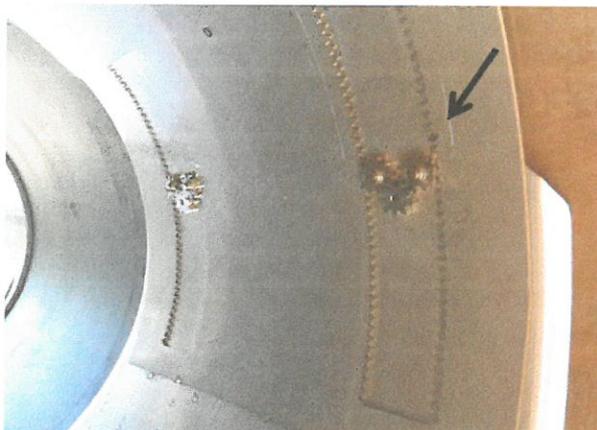


Bild 14: Rohr DN 300 nach zyklischer Beanspruchung geöffnet, Inspektion Zahnleisten und Ritzel (Ort der Arretierung markiert)

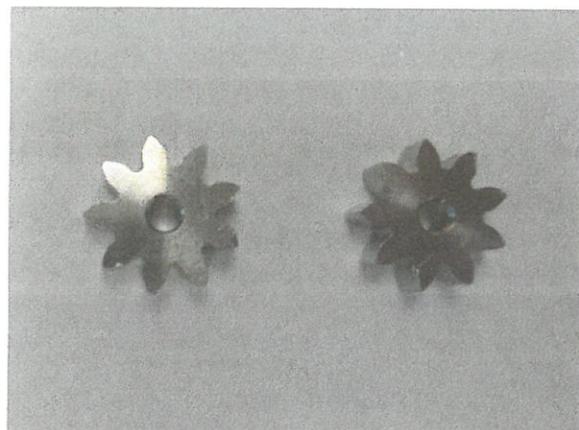


Bild 15: Nach dem Öffnen des Rohres DN 300 aus der Manschette herausgenommene Ritzel

Bei allen Linerendmanschetten (insgesamt vier Manschetten der Nennweiten DN 200 und DN 300) und den zugehörigen Sperrmechanismen wurden im Bereich der höchsten Beanspruchung (s. Markierung in den Bildern 13 und 14) keine Beschädigungen und keine plastischen Verformungen der Ritzel und der Zahnleisten festgestellt, vgl. Bilder 12 bis 15. Die Funktionsfähigkeit der Manschetten ist damit für statische Belastungen bis 22 bar und Belastungszyklen bis 16 bar (10 Zyklen) nachgewiesen.

5. Zusammenfassung

Es wurden Innendruckprüfungen an Quick-Lock Linerendmanschetten DN 200 und DN 300 aus rostfreiem Stahl und EPDM-Dichtungen zum Nachweis der Dichtheit der Manschetten und der Gebrauchstauglichkeit ihrer Sperrmechanismen durchgeführt. Die Manschetten wurden in neue und nahezu starre Stahlrohre der Nennweiten DN 200 und DN 300 eingebaut, d. h., die Versuche repräsentieren den Altrohrzustand I nach Arbeitsblatt DWA-A 143-2 [2], d. h., die Altröhre weisen keine Längsrisse auf.

Die Manschetten aus nichtrostendem Stahl blieben während der Versuche bis zum Öffnen der Stahlrohre dicht. Nach dem Einbau durch Packerdruck und den Belastungszyklen nach Tabelle 3 und 4 wurden am Sperrmechanismus der Manschetten keine Beschädigungen und keine plastischen Verformungen festgestellt.



(Prof. Dr.-Ing. B. Falter)

Anhang

Rechnerische Ermittlung der Deckelverformungen
Nachweis der Schrauben im Deckel DN 300

A1-A2
A3

Unterlagen und Literatur

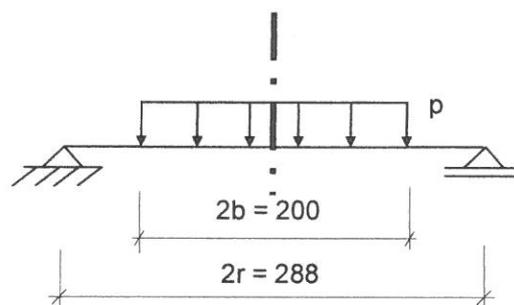
- [1] Uhrig Kanaltechnik GmbH: Auftrag vom 24.08.2016
- [2] Arbeitsblatt DWA-A 143-2 (07.2015): Statische Berechnung zur Sanierung von Abwasserkanälen und -leitungen mit Lining- und Montageverfahren, Hennef
- [3] Merkblatt DWA-M 143-5 (02.2014): Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen durch Innenmanschetten, Hennef
- [4] Uhrig Kanaltechnik GmbH: Einbauanleitung Quick-Lock Endmanschette, Stand 05/2012
- [5] IKT gGmbH: Prüfungen an Quick-Lock Linerend-Manschetten. Prüfbericht P04022-T01 vom 11. Nov. 2011
- [6] FH Münster: Dichtheitsprüfungen an Quick-Lock Manschetten DN 200 bis DN 600 für Altrohrzustand II. Bericht vom 31.03.2008
- [7] Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung Z-42.3-374 vom 02. März 2012: Verfahren mit der Bezeichnung „Quick-Lock“ zum Einsatz als innenrohr- oder Schlauchlinerendmanschette zur Sanierung erdverlegter Abwasserleitungen der Nennweiten DN 150 bis DN 700.
- [8] Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6 vom 20. April 2009: „Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen. Sonderdruck 862 der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf

Anhang A Deckelverformungen DN 200

Berechnung als gelenkig gelagerte Kreisplatte mit $r = 288/2 = 144$ mm und der Dicke $t = 10$ mm (Tabelle 1) unter Gleichlast nach Marcus [A1], **Fall 2k**.

Belastung $p = 22$ bar = $2,2$ N/mm² im inneren Kreis DN 200.

System und Belastung der Kreisplatte:



Parameter $\beta = b/r = 100/144 = 0,694$

Biegemomente: $M_r = M_\phi = c_2 \cdot p \cdot r^2 / 16$

mit $c_2 = [c_1 - 4(1 + \mu) \cdot \ln \beta] \cdot \beta^2$ und $c_1 = 4 - (1 - \mu) \cdot \beta^2$

Durchbiegung: $w = c_3 \cdot p \cdot r^2 \cdot b^2 / (64 \cdot K) / (1 + \mu)$

mit $K = E \cdot t^3 / 12 / (1 - \mu^2)$

und $c_3 = 4(3 + \mu) - (7 + 3\mu) \cdot \beta^2 + 4(1 + \mu) \cdot \beta^2 \cdot \ln \beta$

Damit folgen Biegemoment und Spannung

$$c_1 = 4 - (1 - 0,3) \cdot 0,694^2 = 3,663$$

$$c_2 = [3,663 - 4(1 + 0,3) \cdot \ln 0,694] \cdot 0,694^2 = 2,679$$

$$M_r = 2,679 \cdot 2,2 \cdot 144^2 / 16 = 7639 \text{ Nmm/mm}$$

$$W = t^2 / 6 = 10^2 / 6 = 16,7 \text{ mm}^3/\text{mm}$$

$$\sigma = M_r / W = 7639 / 16,7 = \mathbf{457 \text{ N/mm}^2} > 235 \text{ N/mm}^2 = f_y \text{ (Streckgrenze S235)}$$

und die Verschiebung in Plattenmitte

$$K = 210.000 \cdot 10^3 / 12 / (1 - 0,3^2) = 19,23 \cdot 10^6 \text{ Nmm/mm}$$

$$c_3 = 4(3 + 0,3) - (7 + 3 \cdot 0,3) \cdot 0,694^2 + 4(1 + 0,3) \cdot 0,694^2 \cdot \ln 0,694 = 13,2 - 3,805 - 0,915 = 8,480$$

$$w = 8,480 \cdot 2,2 \cdot 144^2 \cdot 100^2 / (64 \cdot 19,23 \cdot 10^6) / (1 + 0,3) = \mathbf{2,42 \text{ mm}}$$

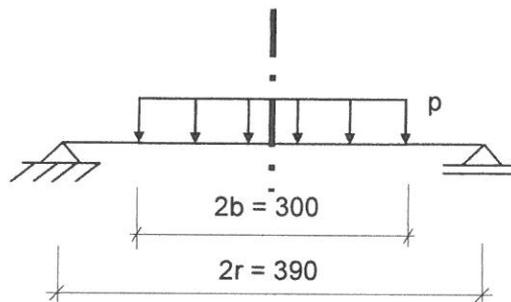
Hinweis: Die Streckgrenze f_y wird erheblich überschritten. Obwohl die Stahlsorte nicht genau bekannt ist und Schwankungen der Streckgrenze üblich sind, ist ein plastisches Verhalten der Deckel wahrscheinlich.

Anhang B Deckelverformungen DN 300

Berechnung als gelenkig gelagerte Kreisplatte mit $r = 390/2 = 195$ mm und der Dicke $t = 15$ mm (Tabelle 1) unter Gleichlast nach Marcus [A1], **Fall 2k**.

Belastung $p = 16$ bar = $1,6$ N/mm² im inneren Kreis DN 300.

System und Belastung der Kreisplatte:



Parameter $\beta = b/r = 150/195 = 0,769$

Biegemomente: $M_r = M_\phi = c_2 \cdot p \cdot r^2 / 16$

mit $c_2 = [c_1 - 4(1 + \mu) \cdot \ln \beta] \cdot \beta^2$ und $c_1 = 4 - (1 - \mu) \cdot \beta^2$

Durchbiegung: $w = c_3 \cdot p \cdot r^2 \cdot b^2 / (64 \cdot K) / (1 + \mu)$

mit $K = E \cdot t^3 / 12 / (1 - \mu^2)$

und $c_3 = 4(3 + \mu) - (7 + 3\mu) \cdot \beta^2 + 4(1 + \mu) \cdot \beta^2 \cdot \ln \beta$

Damit folgen Biegemoment und Spannung

$$c_1 = 4 - (1 - 0,3) \cdot 0,769^2 = 3,586$$

$$c_2 = [3,586 - 4(1 + 0,3) \cdot \ln 0,769] \cdot 0,769^2 = 2,928$$

$$M_r = 2,928 \cdot 1,6 \cdot 195^2 / 16 = 11.135 \text{ Nmm/mm}$$

$$W = t^2 / 6 = 15^2 / 6 = 37,5 \text{ mm}^3/\text{mm}$$

$$\sigma = M_r / W = 11.135 / 37,5 = \mathbf{297 \text{ N/mm}^2} > 235 \text{ N/mm}^2 = f_y \text{ (Streckgrenze S235)}$$

und die Verschiebung in Plattenmitte

$$K = 210.000 \cdot 15^3 / 12 / (1 - 0,3^2) = 64,9 \cdot 10^6 \text{ Nmm/mm}$$

$$c_3 = 4(3 + 0,3) - (7 + 3 \cdot 0,3) \cdot 0,769^2 + 4(1 + 0,3) \cdot 0,769^2 \cdot \ln 0,769 = 13,2 - 4,672 - 0,808 = 7,720$$

$$w = 7,720 \cdot 1,6 \cdot 195^2 \cdot 150^2 / (64 \cdot 64,9 \cdot 10^6) / (1 + 0,3) = \mathbf{1,96 \text{ mm}}$$

Hinweis: Die Streckgrenze f_y wird rechnerisch um 26% überschritten. Da die Stahlsorte nicht genau bekannt ist und Schwankungen der Streckgrenze üblich sind, ist ein elastisches Verhalten der Deckel anzunehmen.

Anhang C Nachweis der Schrauben im Deckel DN 300

Da beide Stahlrohre DN 200 und DN 300 mit jeweils 20 Schrauben M10 der Güte 12.9 durch Deckel verschlossen wurden, ist ein Nachweis für DN 300 ausreichend.

Kraft infolge $p_i = 16 \text{ bar} = 1,6 \text{ N/mm}^2$:

$$F = p_i \cdot r^2 \cdot \pi = 1,6 \cdot 150^2 \cdot \pi = 113.040 \text{ N} \cong 113 \text{ kN}$$

Grenzzugkraft einer Schraube nach [A2]:

$$F_{t,Rd} = k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2} = 0,9 \cdot 1200 \cdot 78,5 \cdot 0,74 / 1,25 = 50.190 \text{ N} \cong 50,2 \text{ kN}$$

Nachweis:

$$\gamma_F \cdot F / (n \cdot F_{t,Rd}) = 1,5 \cdot 113 / (20 \cdot 50,2) = 0,17 < 1 \rightarrow \text{Der Nachweis ist erbracht.}$$

Literatur

- [A1] Márkus, G.: Theorie und Berechnung rotationssymmetrischer Bauwerke, 3. Aufl. 1978. Werner-Verlag, Düsseldorf
- [A2] Schneider: Bautabellen für Ingenieure. 21. Auflage 2014. Bundesanzeiger Verlag, Köln