

Einfach gelenkige Schachtanschlüsse bei Rohren aus duktilem Gußeisen

Von Bernhard Falter, Joachim Lenz, Martin Wielenberg

Die Erstellung von Abwasserkanälen erfordert hohe Investitionskosten. Aus diesem Grunde sind Betreiber von Entwässerungsnetzen besonders daran interessiert, bei Planung und Bau Kosten einzusparen. Ein Beitrag zur Kosteneinsparung ist der einfach gelenkige Anschluß von duktilen Gußrohren an Bauwerke des Entwässerungsnetzes.

Die konstruktiven Hinweise und rechnerischen Nachweise für DN 300 und DN 600 zeigen, daß ein einfach gelenkiger Anschluß von duktilen Gußrohren an Schächte vorteilhaft und ohne statische Überbeanspruchungen für das System möglich ist. Für die Ermittlung dieser Beanspruchungen auch bei anderen Nennweiten werden im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen die erforderlichen rechnerischen Grundlagen erarbeitet.

Einführung

Das gegenwärtige Regelwerk fordert, den Schachtanschluß von Rohren gelenkig auszuführen. Entsprechend der DIN 19549 [1] sind Anschlüsse mit Kurzrohren von Baulängen ≤ 1000 mm beidseitig doppelgelenkig herzustellen (Bild 1a). Das gleiche gilt für nachträgliche Anschlüsse. In DIN 4033 [2], die im Oktober 1997 von der DIN EN 1610 „Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen“ [3] abgelöst wurde, wird empfohlen, Rohre von größerer Baulänge mit einem Doppelgelenk an Bauwerke anzuschließen. Dabei soll das erste Gelenk möglichst in der Bauwerkswand angeordnet sein.

In den hier zitierten anerkannten Regeln der Technik erfolgt keine differenzierte Betrachtung der verschiedenen Rohrwerkstoffe und ihrer jeweiligen technischen Möglichkeiten für einen fachgerechten Bauwerksanschluß. Es wird also nicht berücksichtigt, daß unterschiedliche Rohrmaterialien zum Teil sehr verschiedene Werkstoffkennwerte und Bauteileigenschaften aufweisen. So wird beim Bauwerksanschluß von biegeweichen Rohren genauso ein Doppelgelenk verlangt wie beim Anschluß von biegesteifen Rohren.

In der neuen DIN EN 1610 [3] wird die Forderung nach einem Doppelgelenk allerdings relativiert. Zum Einbau eines zweiten Gelenks heißt es dort: „Zusätzliche Gelenkigkeit darf durch den Einbau kurzer Rohre oder Gelenkstücke ermöglicht werden. Die Länge dieser Rohre und die Einzelheiten der Planung sollten

auf Durchmesser und Art des Rohres und auf die Ausführung der Verbindungen bezogen werden.“ Hieraus kann geschlossen werden, daß bei einem Schachtanschluß auch eine volle Rohrlänge (bei Rohren aus duktilem Gußeisen 6 m, vgl. Tabelle 1) verwendet werden kann.

Der Anschluß von Gußrohren erfolgt in der Regel über Steckmuffenverbindungen. Ein oft eingesetztes Verbindungssystem ist dabei die Steckmuffe TYTON bzw. Standard. Sie wird im Nennweitenbereich DN 150 bis DN 1800 eingesetzt. Beim Anschluß von Rohren aus duktilem Gußeisen an Schächte ist sie als sogenanntes Schachtanschlußstück ausgebildet, d. h., das Muffenprofil des Anschlußstücks ist identisch mit der TYTON- bzw. Standard-Muffe. Das Schachtanschlußstück wird in die Schachtwand eingebaut und das Rohr dort mit dem Einsteckende angeschlossen (Bilder 1 und 2). Anfallende Rohrabschnitte können also wieder verwendet werden. Aus betrieblicher Sicht ist gegen eine solche Verlegepraxis nach dem derzeitigen Kenntnisstand nichts einzuwenden.

Der einfach gelenkige Bauwerksanschluß von duktilen Gußrohren, der in der Vergangenheit schon vielfach angewendet wurde, ist bisher bezüglich seines statischen Verhaltens noch nicht untersucht worden. Unterschiedliche Setzungen zwischen Rohrleitung und Schacht führen beim einfach gelenkigen Anschluß zu kleineren Abwinkelungen als beim Doppelgelenk. Allerdings vergrößern sich für diesen Fall die Beanspruchungen von Rohr und Schacht.

Aus diesem Grund wurden im Rahmen eines Forschungsauftrages der Gußrohrindustrie an das Institut für Rohrleitungsbau an der FH Oldenburg und die FH Münster [4] Untersuchungen zur statischen Trag-

Tabelle 1: Baulängen von duktilen Gußrohren

Nennweite DN	Baulänge m
125-600	6,0
700-1000	6,0/7,0
1200-1800	6,0/8,0

Nennweite	d_a	s	d_i	s_{ZM}	s_{id}	r_m
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
DN 300	326	4,0	318,0	3	4,50	161,0
DN 600	635	5,8	623,4	5	6,63	314,6

Tabelle 2: Rohrdurchmesser und -wanddicken, mittlerer Radius

fähigkeit des Systems durchgeführt, die im vorliegenden Aufsatz dargestellt werden. Den Berechnungen liegen realistische Randbedingungen, wie beispielsweise eine Setzungsdifferenz von 25 mm zwischen Schacht und Rohrleitung, zugrunde. Es werden die Beanspruchungen für Rohr und Schacht sowie die daraus resultierenden Spannungen ermittelt. Ferner wird überprüft, ob die Spannungen noch zulässig sind, und ob sie sich ungünstig mit den Spannungen aus der Belastung im Rohrgraben überlagern.

1. Berechnungsannahmen und -voraussetzungen

1.1 Rohrleitung

Es werden Gußrohre in den Abmessungen nach DIN EN 598 : 1994 zugrunde gelegt. Als Berechnungswanddicke gilt die in der Norm festgelegte „Mindest-Gußwanddicke“.

Beispielhaft werden Gußrohre mit den Nennweiten DN 300 ZM und DN 600 ZM, die mit und ohne Doppelgelenk an einen Schacht angeschlossen sind, untersucht. Es gelten die geometrischen Größen nach **Tabelle 2**.

Die Dicke s_{ZM} der Zementmörtelschicht wird bei den Steifigkeiten auf der sicheren Seite mit 1/6 des Wertes

berücksichtigt, nicht jedoch in den Spannungsnachweisen.

1.2 Schachtanschluss

Anschlüsse von Gußrohren an Betonschächte werden meist gemäß **Bild 2** ausgeführt. Die Einleitung der Auflagerkräfte erfolgt über ein Paßstück, das einer TYTON-Muffe entspricht.

2. Werkstoffkennwerte

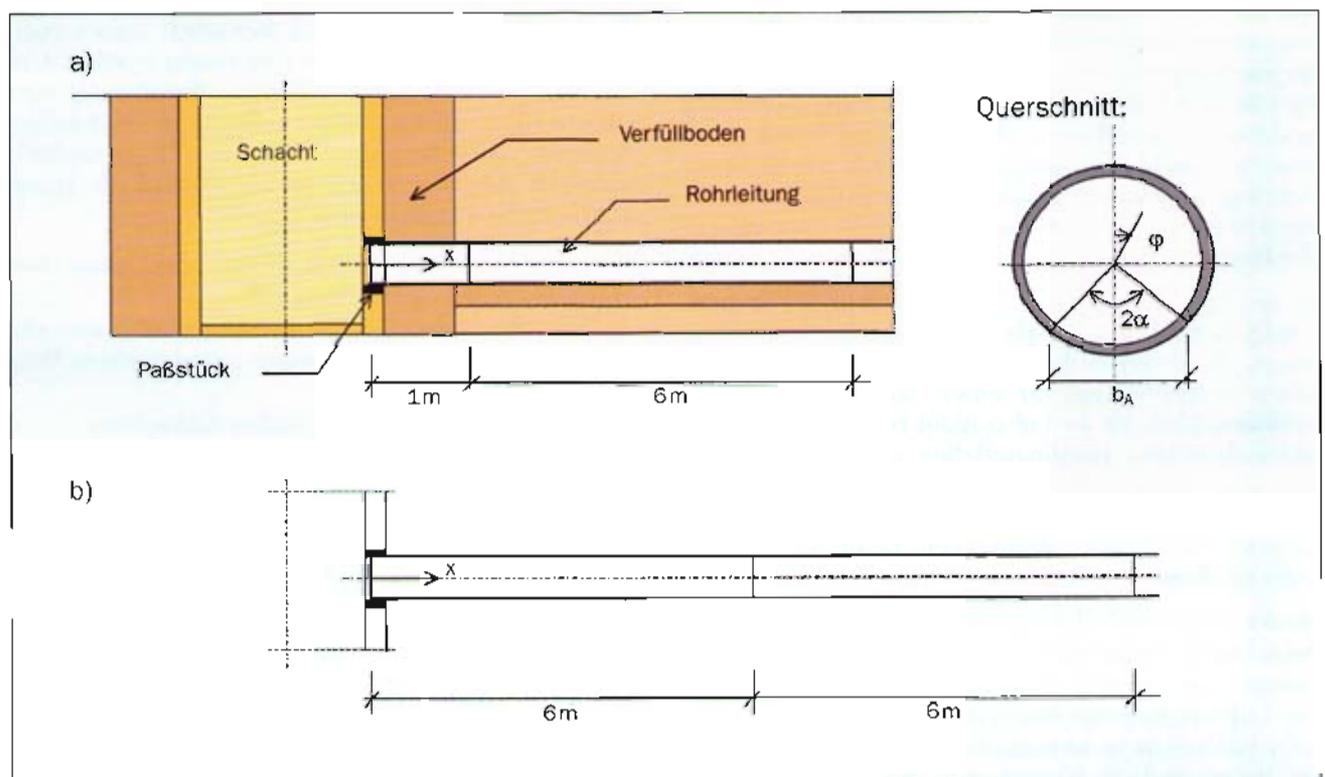
Nach ATV-Arbeitsblatt A127 [5] gilt für duktilen Gußeisen mit Zementmörtelauskleidung der Elastizitätsmodul $E = 1,7 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ und die Biegezugfestigkeit $\sigma_R = 550 \text{ N/mm}^2$. Die Streckgrenze wird nach DIN EN 598 mit 300 MPa bei 0,2 % Dehnung angenommen. Für die Querkontraktionszahl gilt $\mu = 0,3$.

3. Spannungen in Umfangsrichtung (φ -Richtung)

3.1 Berechnungsmodell

Das Berechnungsmodell für die Spannungen in Umfangsrichtung beruht gemäß dem für Abwasserleitungen eingeführten Regelwerk ATV-A 127 auf der Theorie des elastischen Kreisringes. Die Bela-

Bild 1: a) doppelt gelenkiger Anschluß von Gußrohren an einen Schacht, Querschnitt
b) einfach gelenkiger Anschluß



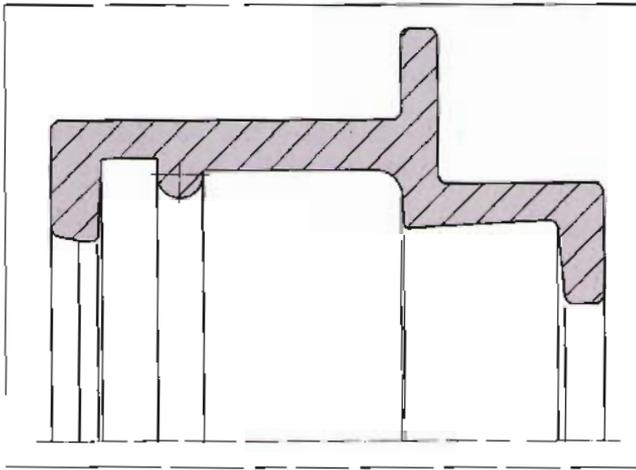


Bild 2: Schachtanschluß durch ein Paßstück

stungen werden unter Berücksichtigung der Bodeneigenschaften und der Einbaubedingungen als Vertikallasten q_v , seitliche Lasten q_h und im Fall biege-weicher Rohre ($V_{RB} < 0,1$) als Bettungsreaktionsdruck q_h^* ermittelt.

3.2 Berechnungsparameter

Die Standsicherheitsnachweise nach ATV-A127 werden mit den folgenden ungünstigen Ansätzen geführt:

- Dammbedingung
- Verformungsmodul des Bodens $E_{RB} = 3 \text{ N/mm}^2$ bei DN 300 bzw. $E_{RB} = 4 \text{ N/mm}^2$ bei DN 600
- Überdeckungshöhe $h = 2,5 \text{ m}$
- Grundwasser max $h_{GW} = 2 \text{ m}$ über Rohrscheitel
- Verkehrsbelastung durch SIAW 60 am Schachtrand (s. auch Abschnitt 4)
- Einbettungs-/Überschüttungsbedingung B2/A2

- Auflagerwinkel des Rohres für den Spannungsnachweis $2\alpha = 90^\circ$

Die Berechnungen nach ATV-A127 zeigen, daß für das Rohr DN 300 das Steifigkeitsverhältnis $V_{RB} = S_R / S_{RB} = 0,229 > 0,1$ wird und es daher als biege-steifes Rohr zu behandeln ist. Es braucht also in diesem Fall nur der Spannungsnachweis geführt zu werden, obgleich die Verformungen duktiler Gußrohre üblicherweise stets nachgewiesen werden.

Dagegen wird bei der Nennweite DN 600 das Steifigkeitsverhältnis $V_{RB} = 0,065 < 0,1$ – es ist also biegeweich. Daher muß zusätzlich der Verformungs- und der Stabilitätsnachweis geführt werden. Alle nach ATV-A127 erforderlichen Sicherheiten der Sicherheitsklasse A werden eingehalten, vgl. Tabelle 3, Spalte 5.

4. Spannungen in Rohrlängsrichtung (x-Richtung)

4.1 Berechnungsmodell

Beanspruchungen in Längsrichtung der Leitung treten u. a. in den folgenden Fällen auf:

1. bei großen Überdeckungshöhen h durch unterschiedliche Setzungen zwischen Rohrleitung und Schacht,
2. bei geringen Überdeckungshöhen h durch Verkehrslasten in unmittelbarer Schachtmähe und ggf. zusätzliche Setzungsunterschiede.

Die Bodensetzungen im Fall 1 bewirken Zwängungsbeanspruchungen, d. h., die Rohrleitung muß der Bodenbewegung folgen, während die Höhe des Rohrauf-lagers am Schacht unverändert bleibt.

Durch die Verkehrsbelastung im Fall 2 wird der – ggf. unzureichend verdichtete – Boden unter dem Rohr elastisch und/oder plastisch verformt. Es kommt zu Setzungen, die nach Erreichen eines Gleichgewichtszustandes abklingen.

Tabelle 3: Spannungs-, Verformungs- und Stabilitätsnachweis nach ATV-A127, Überdeckung $h = 2,5 \text{ m}$

	Spannungen		Verformungen	Stabilität
	V_{RB}	λ_R	σ_φ	γ
	-	-	N/mm ²	%
1	2	3	4	5
6	7			
DN 300	0,229	1,160		
Scheitel			+164,1	3,35
Kämpfer			-173,0	3,18
Sohle			-197,6	2,77
DN 600	0,065	0,975		2,39
Scheitel			+162,6	3,35
Kämpfer			-157,5	3,49
Sohle			-224,0	2,46

Der im Boden elastisch gebettete Rohrstrang ist ein statisch unbestimmtes System mit unbekannter „Einspannlänge L_E “. Röhre mit größerer Nennweite (großer Wert des Flächenmomentes 2. Grades I nach Gl. (1)) und größerer Wanddicke verhalten sich steif gegenüber dem Boden und haben eine große Einspannlänge L_E , die auch über die Rohrlänge von 6 m hinwegreichen kann. Bei kleineren Röhrennweiten klingen die Biegeverformungen dagegen schneller ab.

Um weitere Effekte wie Nachgiebigkeit des Bodens, in Längsrichtung veränderliche Lasten, gelenkige Verbindungen usw. erfassen zu können, wird die elastisch auf Druck gebettete Rohrleitung als Stabwerk mit dem Programm GUSSAN 1.3 berechnet, eine Weiterentwicklung des Stabwerkprogramms FEM3M 5.0 [6].

Die Biegesteifigkeit der Rohrleitung wird mit dem Flächenmoment 2. Grades des Kreisringes ermittelt:

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot (d_a^4 - d_i^4) \quad (1)$$

Die Verbindungen der Einzelrohre werden durch Momentengelenke simuliert. Die Länge L_G des ersten Rohres (Schachtanschlußrohr) ist variabel, um die beiden Fälle „mit Gelenkstück“ ($L_G = 1$ m) und „ohne Gelenkstück“ ($L_G = 6$ m) zu erfassen.

Der Bettungsparameter c kann näherungsweise aus dem Verformungsmodul E_d des Bodens unter dem Rohr berechnet werden:

$$c = 1,4 \cdot \frac{E_d}{b_A} \quad (2)$$

Der Faktor 1,4 wird in Analogie zu elastisch eingespannten Pfählen nach [7] gewählt. Die Größe b_A ist die Breite des Rohrauflegers, (Bild 1a). Die an diskreten Stellen angesetzten Bettungsstäbe werden in einem iterativen Verfahren dort entfernt, wo die Berechnung Zugkräfte ergibt (Bild 3a).

4.2 Berechnungsparameter

Für die folgenden Untersuchungen werden einheitlich 25 mm Setzungsunterschiede angenommen. Die Länge der Gußrohre beträgt stets 6 m, die des Kurzrohres bei einfach gelenkigem Anschluß 1 m.

Die Konzentrationsfaktoren aus der Berechnung nach ATV-A127 werden auf der sicheren Seite um ca. 30 % erhöht, um Lasterhöhungen aus den Setzungen anzunähern: Bei DN 300 von $\lambda_R = 1,16$ auf 1,5 und bei DN 600 von $\lambda_R = 0,98$ auf 1,3.

4.3 Spannungsnachweise

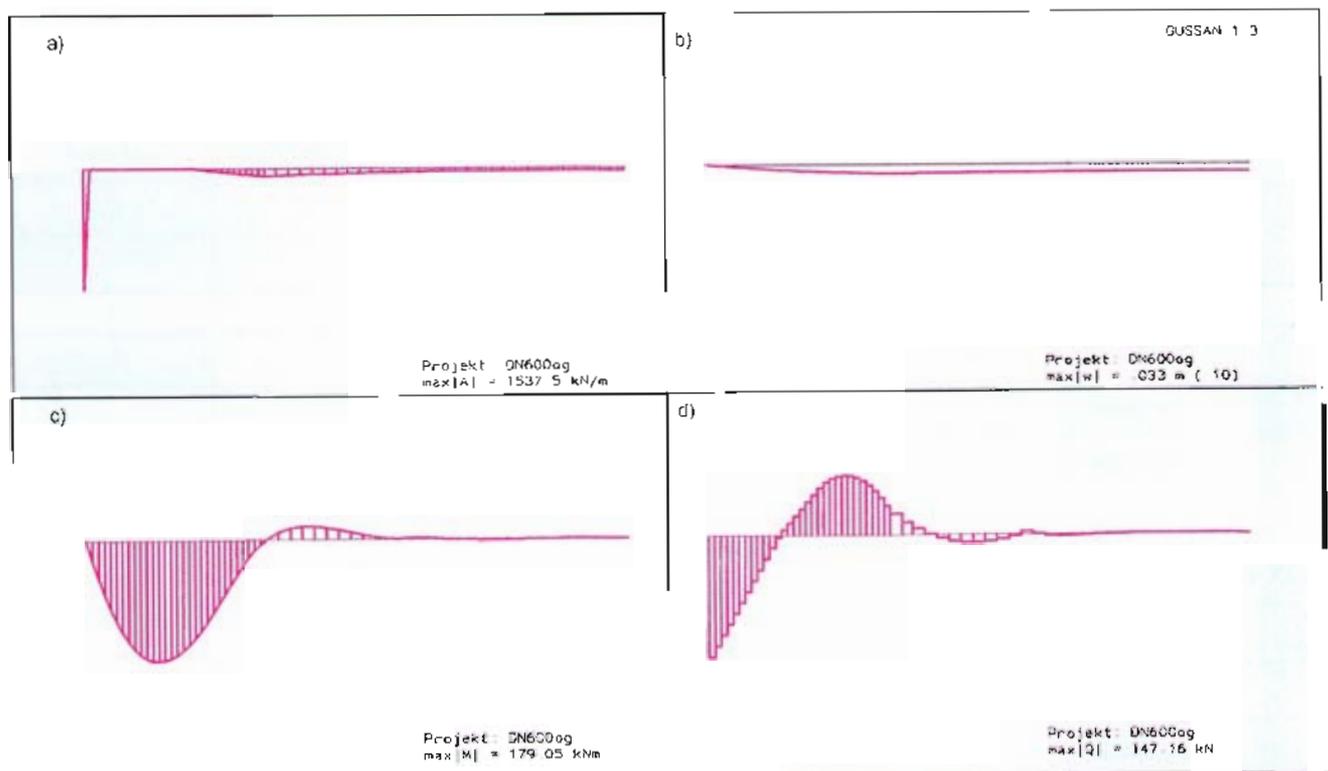
In Tabelle 4 werden die Ergebnisse für Anschlüsse mit Doppelgelenk und einfach gelenkiger Ausführung verglichen.

Es ist eine deutliche Erhöhung der Auflagerkräfte A_z und der Biegemomente M sowie der Querkräfte Q zu erkennen. Die Verformung $\max v$ enthält die Setzungsdifferenz ($\Delta v = 25$ mm) und die elastischen Verformungen (Bild 3c).

Mit den Schnittgrößen der Tabelle 4 werden die Spannungen des Rohres in Längsrichtung ermittelt:

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad \text{mit} \quad W = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_a^4 - d_i^4}{d_a} \quad (3)$$

Bild 3 Ergebnisse der Berechnungen in Rohrlängsrichtung (DN 600, einfach gelenkiger Anschluß)
a) Auflagerkräfte (Bettungsreaktionen) b) Verformungen
c) Biegemomentenverlauf d) Querkraftverlauf



Anschluß	A_z	max M	min M	Q	max v
	kN	kNm	kNm	kN	mm
1	2	3	4	5	6
DN 300 - Doppelgelenk	16,7	4,6	-6,0	16,7	28
einfach gelenkig	61,0	56,5	-1,8	-29,3	27
DN 600 - Doppelgelenk	29,6	8,1	-26,8	-27,6	30
einfach gelenkig	147,1	179,0	-19,0	-71,9	33

Tabelle 4: Vergleich der Auflagerkräfte A_z und der Schnittgrößen M und Q in Rohrleitungen mit Doppelgelenk und einfach gelenkigem Anschluß, Überdeckung $h = 2,5$ m, Setzungsdifferenz $\Delta v = 25$ mm

Ort	DN 300		DN 600	
	σ_x	τ	σ_x	τ
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
1	2	3	4	5
Scheitel	-171,3 ¹⁾	0	-99,2 ¹⁾	0
Kämpfer	0	59,5	0	51,1
Sohle	+171,3	0	+99,2	0

¹⁾ Beulnachweis maßgebend, vgl. Abschnitt 5.2

Tabelle 5: Längs- und Schubspannungen für Rohrleitungen mit einfach gelenkigem Schachtanschluß, Überdeckung $h = 2,5$ m, Setzungsdifferenz $\Delta v = 25$ mm

$$\text{und } \tau = \frac{Q \cdot S}{I \cdot s} \quad \text{mit } S = \frac{2}{3} \cdot (r_a^3 - r_i^3) \quad (4)$$

Die Werte der Vergleichsspannungen sind Spalte 2 und 4 in **Tabelle 6** zu entnehmen.

Die erforderliche Sicherheit von 1,5 wird in allen Fällen erreicht. Bei Anwendung des Teilsicherheitskonzeptes können Zwängungen aus Setzungen mit kleineren Sicherheitsbeiwerten belegt werden [8], was zu einer günstigeren Beurteilung des Lastfalles „Setzungsdifferenz zwischen Schacht und Rohrleitung“ führen würde.

5. Nachweise für die Spannungen in Umfangs- und Längsrichtung

5.1 Vergleichsspannungen

Aus den Spannungen der Berechnungen in Umfangsrichtung (Abschnitt 3) und in Längsrichtung (Abschnitt 4) sind die Vergleichsspannungen zu berechnen.

5.2 Stabilitätsnachweise

Der Beulnachweis für Erd- und Verkehrslasten sowie Wasseraußendruck ($\max h_w = 2$ m über Rohr Scheitel) in der Umfangsrichtung ist nicht maßgebend, da auch bei der Nennweite DN 600 der Sicherheitsbeiwert mit $\gamma = 8,5$ wesentlich größer als $2,5 = \text{erf } \gamma$ ist.

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \cdot \sigma_\varphi + \sigma_\varphi^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad (5)$$

Tabelle 6: Vergleichsspannungen und Sicherheiten für Rohrleitungen mit einfach gelenkigem Schachtanschluß; Überdeckung $h = 2,5$ m, Setzungsdifferenz $\Delta v = 25$ mm

Ort	DN 300		DN 600	
	σ_v	γ	σ_v	γ
	N/mm ²	-	N/mm ²	-
1	2	3	4	5
Scheitel	"		"	
Kämpfer	201,4	2,73	180,7	3,04
Sohle	319,7	1,73	286,8	1,92

" nicht maßgebend

Aus den Beanspruchungen infolge Setzungsdifferenzen ergeben sich in der Rohrschale Bereiche mit längsgerichteten Druckspannungen. Hierfür wird näherungsweise der Beulnachweis für Schalentragwerke nach [9] geführt. Die folgenden Berechnungen gelten für Leitungen ohne Gelenkstück.

Nach Element (408) aus [9] handelt es sich bei beiden Rohren um „lange Schalen“, da das Kriterium

$$\frac{l}{r_m} > 0,5 \cdot \sqrt{\frac{r_m}{s_{id}}} \quad (6)$$

erfüllt ist.

Element	Gleichung	DN 300	DN 600
1	2	3	4
El. (408) Beiwert C_x für $\eta = 1$	$1 - 0,4 \cdot \frac{1}{r_m} \sqrt{\frac{s_{id}}{r_m}} + 0,2$	$1 - 0,4 \cdot \frac{6000}{161} \cdot \frac{\sqrt{4,5}}{\sqrt{161}} + 0,2$ $= -1,29 \rightarrow C_x = 0,6$	$1 - 0,4 \cdot \frac{6000}{314,6} \cdot \frac{\sqrt{6,63}}{\sqrt{314,6}} + 0,2$ $= -0,09 \rightarrow C_x = 0,6$
El. (406) ideale Beulspannung	$\sigma_{ss} = 0,605 \cdot C_x \cdot E \cdot \frac{s_{id}}{r_m}$	$0,605 \cdot 0,6 \cdot 1,7 \cdot 10^5 \cdot \frac{4,5}{161}$ $= 1725 \text{ N/mm}^2$	$0,605 \cdot 0,6 \cdot 1,7 \cdot 10^5 \cdot \frac{6,63}{314,6}$ $= 1300 \text{ N/mm}^2$
El. (202) bezogener Schlankheitsgrad	$\bar{\lambda}_{sx} = \sqrt{\frac{f_{y,k}}{\sigma_{ssi}}}$	$\sqrt{\frac{300}{1725}} = 0,42$	$\sqrt{\frac{300}{1300}} = 0,48$
sehr imperfektionsempfindliche Schalenbeulfälle und $0,25 \leq \bar{\lambda}_s \leq 1,0$:			
El. (204) Abminderungsfaktor	$0,4 \leq \bar{\lambda}_s \leq 1,2$: $\kappa_2 = 1,233 - 0,933 \cdot \bar{\lambda}_s$	$1,233 - 0,933 \cdot 0,42$ $= 0,84$	$1,233 - 0,933 \cdot 0,48$ $= 0,79$
El. (203) abgeminderte Beulspannung	$\sigma_{ss,Rk} = \kappa_2 \cdot f_{ck}$	$0,84 \cdot 300$ $= 252 \text{ N/mm}^2$	$0,79 \cdot 300$ $= 237 \text{ N/mm}^2$
El. (206) Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand	$0,25 \leq \bar{\lambda}_s \leq 2,0$: $\gamma_{M2} = 1,1$ $\cdot (1 + 0,318 \cdot \frac{\bar{\lambda}_s - 0,25}{1,75})$	$1,1 \cdot (1 + 0,318 \cdot \frac{0,42 - 0,25}{1,75})$ $= 1,13$	$1,1 \cdot (1 + 0,318 \cdot \frac{0,48 - 0,25}{1,75})$ $= 1,15$
El. (205) reale Beulspannung	$\sigma_{ss,Rd} = \frac{\sigma_{ss,Rk}}{\gamma_{M1}}$	$\frac{252}{1,13} = 223 \text{ N/mm}^2$	$\frac{237}{1,15} = 206 \text{ N/mm}^2$
El. (112) Bemessungswert der Spannung	$\sigma_{sd} = \sigma_x \cdot \gamma_F$ σ_x nach Tab. 5 $\gamma_F = 1,35$	$\sigma_{sd} = -171,3 \cdot 1,35$ $= -231 \text{ N/mm}^2$	$\sigma_{sd} = -99,2 \cdot 1,35$ $= -134 \text{ N/mm}^2$
El. (207) Beulnachweis	$\frac{\sigma_{sd}}{\sigma_{ss,Rd}} < 1$	$\frac{231}{223} = 1,03 \cong 1$	$\frac{134}{206} = 0,65 < 1$

Tabelle 7: Beulnachweise für Spannungen in Rohrlängsrichtung nach DIN 18800-4 [9]

Damit ist für beide Nennweiten DN 300 und DN 600 eine ausreichende Sicherheit gegen Beulen infolge Spannungen (σ_x) nachgewiesen.

6. Örtliche Beanspruchungen und Verformungen am Schachtauflager

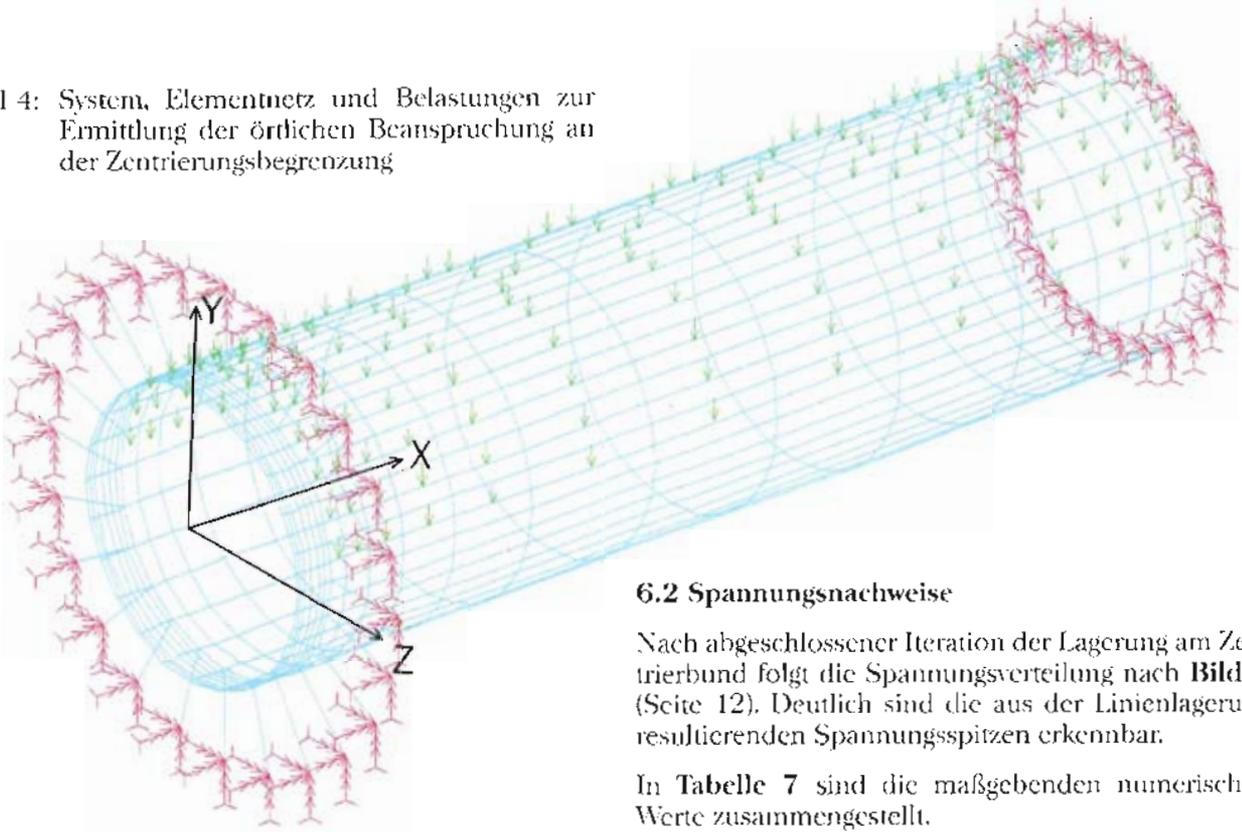
6.1 Berechnungsmodell

Beim einfach gelenkigen Anschluß ergeben sich bei Setzungsunterschieden zwischen Rohrleitung und

Schacht im Schachtausflußstück deutlich vergrößerte Auflagerkräfte A_x (Tabelle 4). Ungünstig wird angenommen, daß die Rückstellspannungen der Gummidichtung überschritten werden und das Rohr auf der Zentrierungsbegrenzung im Schachtausflußstück aufliegt.

Für die Berechnung der örtlichen Beanspruchungen am Schachtausflußlager ist die Finite Element Methode (FEM) zweckmäßig, da das Schalentragwerk mit unbekanntem Winkel linienförmig aufliegt. In Auflager-

Bild 4: System, Elementnetz und Belastungen zur Ermittlung der örtlichen Beanspruchung an der Zentrierbegrenzung



nähe wird das Elementnetz verfeinert, um den Fehler bei den lokalen Spannungsspitzen zu verringern (Bild 4).

Die Untersuchung wird auf die Nennweite DN 600 beschränkt, da bei DN 300 kleinere Spannungen zu erwarten sind. Bei der Nennweite DN 600 beträgt die Ringspaltweite zwischen dem Spitzende des Rohres und der Zentrierbegrenzung $(637,5 - 635) / 2 = 1,25$ mm.

In Längsrichtung wird ein 4500 mm langer Rohrabchnitt betrachtet. Diese Ersatzlänge wird durch Annahme eines Balkens auf zwei Stützen bestimmt, der unter den Vertikallasten aus Boden und Verkehr die gleiche Auflagerkraft A , nach Tabelle 4 wie das Stabwerkmodell hat. Die Symmetrie zur Mittelebene wird durch eine entsprechende Lagerung bei 2250 mm berücksichtigt – damit wird das FE-Modell verkleinert (Bild 4).

6.2 Spannungsnachweise

Nach abgeschlossener Iteration der Lagerung am Zentrierbund folgt die Spannungsverteilung nach Bild 5 (Seite 12). Deutlich sind die aus der Linienlagerung resultierenden Spannungsspitzen erkennbar.

In Tabelle 7 sind die maßgebenden numerischen Werte zusammengestellt.

Eine Überlagerung der mit der FEM berechneten Spannungen σ_x mit den Spannungen in Umfangsrichtung ist nicht erforderlich, da diese wegen der kreisförmigen Lagerung des Rohres in der Paßstücksohle unbedeutend sind. Damit beträgt die Sicherheit gegen Erreichen der Grenzspannungen $550 / 323 = 1,70$ – die im ATV-Arbeitsblatt A 127 geforderte Sicherheit von 1,5 wird also erreicht.

6.3 Verformungen

Aus der FE-Analyse folgt bei Vertikallasten aus Boden und Verkehr eine maximale vertikale Scheitelverformung des Rohres im Bereich der Zentrierbegrenzung von $-7,82$ mm, (Tabelle 7). Die zugehörige Abwinklung beträgt $0,5^\circ$.

Die Mitte der Gummidichtung hat einen Abstand von ca. 60 mm zum Drehpunkt der Zentrierbegrenzung. Damit ergeben sich die folgenden Verschiebungswege der Dichtung gegenüber einer zentrischen Lagerung:

Tabelle 7: Längsspannungen eines Gußrohres DN 600 in Feldmitte und an der Zentrierbegrenzung ($\varphi = 180^\circ =$ Sohle) bei 25 mm Setzungsdifferenz sowie Verformungen

	σ_x	γ
Spannungen am Schachtauflager		
Schaleninnenseite, Bild 5	+310 N/mm ²	
Schalenaußenseite	-323 N/mm ²	1,70
Verformungen am Schachtauflager		
vertikal, $\varphi = 0^\circ$	-7,82 mm	
horizontal, $\varphi = 90^\circ$	-1,29 mm ¹⁾	

¹⁾ entspricht der Radiusdifferenz von 1,25 mm (zur Kontrolle)

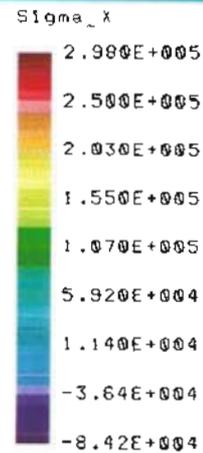
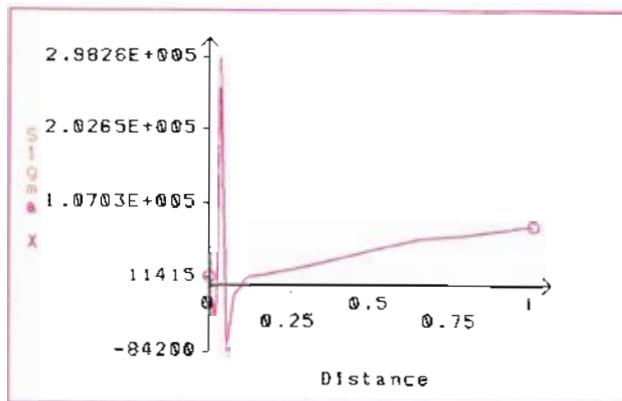


Bild 5: Örtliche Beanspruchungen σ_x auf der Schaleninnenseite eines Gußrohres DN 600 mit einfach gelenkigem Schachtaanschluß

$$\Delta s_u = -1,25 + 60 \cdot \tan 0,5^\circ = -1,25 + 0,52 = -0,73 \text{ mm (= Pressung)}$$

$$\Delta s_o = +7,82 - 1,25 - 60 \cdot \tan 0,5^\circ = +6,57 - 0,52 = +6,05 \text{ mm (= Dehnung)}$$

(Index u = Sohle, o = Scheitel)

Um die Größenordnung dieser Verschiebungswege einzuordnen, werden sie mit den entsprechenden Werten bei maximaler Abwinkelung von 3° verglichen:

$$\Delta s_u = -1,25 + 60 \cdot \tan 3^\circ = -1,25 + 3,14 = +1,89 \text{ mm (= Dehnung)}$$

$$\Delta s_o = +1,25 - 60 \cdot \tan 3^\circ = +1,25 - 3,14 = -1,89 \text{ mm (= Pressung)}$$

Es zeigt sich, daß die bei maximaler Abwinkelung auftretenden Dehnungen in der Dichtung (+1,89 mm) von den Dehnungen bei einfach gelenkigem Schachtaanschluß (+6,05 mm) deutlich überschritten werden. Die Dehnung der Dichtung fällt allerdings geringer aus, wenn im FE-Modell nach Bild 4 nicht nur die Vertikallasten, sondern auch die seitlichen Erddrücke berücksichtigt werden.

6.4 Betonspannungen

Aus der FE-Analyse ergibt sich die maximale Stützstabkraft bei $\varphi = 180^\circ$ zu $A_z = 21,9 \text{ kN}$. Die Auflagerlänge folgt aus dem Stützstababstand von 15° zu

$b = 637,5 / 2 \cdot 15 \cdot \pi / 180 = 83,4 \text{ mm}$. Bei Annahme einer Lastverteilung unter 45° folgt eine Auflagertiefe von $a \approx 11 + 10 = 21 \text{ mm}$ und damit näherungsweise (mit Rechteckverteilung) die Betonspannung von

$$\sigma_b = \frac{21900}{83,4 \cdot 21} = 12,5 \text{ N/mm}^2$$

Die zulässige Betonpressung beträgt bei einer Betongüte B 45 und ohne Ansatz der Teilflächenpressung

$$\text{zul } \sigma_b = \frac{\sigma_b}{\gamma} = \frac{27}{2,1} = 12,5 \text{ N/mm}^2$$

Die zulässigen Spannungen werden zwar knapp eingehalten, aufgrund von Näherungen bei den Systemannahmen und der konstruktiv erforderlichen Kräfteinleitung an der Schachtaußenfläche ist eine sorgfältige Ausführung des Kräfteinleitungsbereichs durch den Schachthersteller geboten. Die Gefahr von Rissen und Betonabplatzungen kann im vorliegenden Fall nur durch eine gute Verdichtung des Betons verringert werden.

7. Zusammenfassung der Nachweise

Die Berechnungen der Standsicherheit nach AIV-A127 und der Zwängungen aus Setzungsunterschieden bei einfach gelenkiger Ausführung des Schacht-

anschlusses ergeben auch unter den ungünstigen Annahmen

- Dämmverlegung
- Bodengruppe 2, Proctordichte 90%
- Setzungsunterschied 25 mm

ausreichende Sicherheiten bei den Spannungs- und Stabilitätsnachweisen, vgl. **Tabelle 8**.

Die zusätzliche Untersuchung der örtlichen Rohrspannungen am Schacht ergeben für die ungünstige Annahme der direkten Auflagerung des Rohres auf der Zentrierungsbegrenzung hohe Spannungen. Diese haben jedoch im untersuchten Fall noch einen ausreichenden Sicherheitsabstand zu den Grenzspannungen.

Zusammenfassung

Die konstruktiven Hinweise und rechnerischen Nachweise für DN 300 und DN 600 zeigen, daß ein einfach gelenkiger Anschluß von duktilen Gußrohren an Schächte vorteilhaft und ohne statische Überbeanspruchungen für das System möglich ist. Für die Ermittlung dieser Beanspruchungen auch bei anderen

Nennweiten werden im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen die erforderlichen rechnerischen Grundlagen erarbeitet.

Das Rechenverfahren ist wie folgt gegliedert:

1. Berechnung der „globalen“ Schnittgrößen infolge Setzungen des Rohrstranges (ohne Gelenkstück) und Durchführung der Spannungs- und Stabilitätsnachweise
2. Berechnung der „lokalen“ Spannungen und Verformungen im Bereich der Krafteinleitung infolge der durch die Setzungsdifferenz deutlich erhöhten Querkkräfte.

Ergänzend zu den oben beschriebenen Untersuchungen ist vorgesehen, die analytischen Ergebnisse experimentell zu stützen. Dabei sollen durch gezielte Versuche mit hohen Querkräften am Schachtanschluß die rechnerisch ermittelten Spannungen überprüft werden. Ein entsprechendes Folgeprojekt wird in naher Zukunft in Zusammenarbeit zwischen der Gußrohrindustrie, der Fachhochschule Münster und dem Institut für Rohrleitungsbau an der Fachhochschule Oldenburg realisiert.

Tabelle 8: Zusammenfassung der Nachweise, Überdeckung $h = 2,5$ mm, Setzungsdifferenz $\Delta v = 25$ mm

Beanspruchung		vorhandene Sicherheit, Verformung		
		DN 300	DN 600	Nachweis
Umfangsspannungen	Tab. 3	2,77	2,46	> 1,5
Längsspannungen	Tab. 5	3,21	5,54	> 1,5 ¹⁾
Vergleichsspannungen	Tab. 6	1,73	1,92	> 1,5 ¹⁾
Stabilität (Nachweisformat DIN 18800-4)	Abschnitt 5.2	1,03 ¹⁾	0,65 ¹⁾	≤ 1,0
Örtliche Lasteinleitungsspannungen (Sohle)	Tab. 7	- ²⁾	1,70	> 1,50 ¹⁾
Verformung im Scheitel	Tab. 7	- ²⁾	-7,82 mm	-

¹⁾ Aufgrund der Werkstofflokilität können bei Zwängungsspannungen auch kleinere Sicherheitsbeiwerte angesetzt werden.

²⁾ nicht untersucht

Literatur

[1] DIN 19 549, Schächte für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen, Allgemeine Anforderungen und Prüfungen, 2/89

[2] DIN 4033, Entwässerungskanäle und -leitungen, Richtlinien für die Ausführung, 11/79, ersetzt durch [3]

[3] DIN EN 1610, Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen, 10/97

[4] Schachtanschlüsse bei Gußrohren. Forschungsauftrag der Thyssen Guß AG an das Institut für Rohrleitungsbau der FH Oldenburg und die FH Münster, Bericht vom 17.09.1996

[5] AIV-Arbeitsblatt A 127: Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungskanälen und -leitungen, 2. Aufl. 1988, St. Augustin

[6] Falter, B. Statikprogramme für Personalcomputer, 4. Aufl. 1992, Werner-Verlag, Düsseldorf

[7] Rübener, R.H.; Stiegler, W.: Einführung in Theorie und Praxis der Grundbautechnik, Teil 1. Werner-Verlag, Düsseldorf 1978

[8] Falter, B.; Veenker, M.: Standsicherheit bei der Ertüchtigung, Sanierung und Erneuerung von Druckrohrleitungen. In: Ertüchtigung, Sanierung und Erneuerung von Druckrohrleitungen (Hrsg. John. Lenz). Vulkan-Verlag, Essen 1995

[9] DIN 18 800-4, Stahlbauten, Stabilitätsfälle, Schalenbeulen. Beuth Verlag, Berlin 1990

[10] COSMOS/M Finite Element Analysis System, User Guide 1.75 (1995)