

Über die Hydraulik des duktilen Gußrohres für die Trinkwasserversorgung

Von ERWIN NIEDERSCHUH

Für die hydraulische Berechnung von Rohren für die Trinkwasserversorgung hat der Hauptausschuß Wasserverteilung im DVGW einheitliche Richtlinien aufgestellt, die in dem DVGW-Arbeitsblatt W 302 niedergelegt sind. Dieses Arbeitsblatt enthält Druckverlusttafeln sowie Tabellen, aus denen für bestimmte Wassermengen der Druckverlust bzw. das Druckgefälle in mWS/km abgelesen werden kann. Die Druckverlustberechnung erfolgte dabei nach den neuesten Erkenntnissen der Strömungslehre unter Verwendung der Formel von Prandtl-Colebrook für die Bestimmung der Rohrreibungszahl.

Bei stationärer Strömung ermittelt man den Druckverlust in waagerechten Leitungen von kreisförmigem Querschnitt aus der Formel:

$$P_1 - P_2 = \lambda \frac{l v^2}{d 2 g} \gamma \text{ [kp/m}^2\text{]}$$

Hierin bedeuten:

P_1, P_2 = Druck am Anfang bzw. Ende der Leitung in kp/m^2

l = Leitungslänge in m

d = lichter Rohrdurchmesser in m

v = mittlere Geschwindigkeit in m/s

g = Erdbeschleunigung in m/s^2

γ = Wichte des Wassers in kp/m^3

λ = Rohrreibungszahl

Setzt man in obiger Gleichung $\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = h$, dann

stellt h den Druckhöhenverlust in mWS dar. Den auf die Rohrleitungslänge l bezogenen Druckhöhenverlust bezeichnet man mit Gefälle J . Es wird also:

$$J = \frac{h}{l} = \frac{\lambda v^2}{d 2 g} \text{ [mWS/m]}$$

Da man in der Praxis häufiger mit der Durchflußmenge Q in l/s rechnet und das Gefälle J auf 1 km Länge angibt, erhält man nach entsprechender Umformung für das Gefälle

$$J_v = 825 \cdot 10^3 \frac{\lambda Q^2}{(100 d)^5} \text{ [mWS/km]} \quad (1)$$

Die Rohrreibungszahl λ läßt sich berechnen. Sie hängt ab von der Wandrauigkeit, also von dem Grad der Unebenheiten der Rohrwand und von der Reynoldszahl Re , d. h. von dem Verhältnis der Massenträgheitskräfte zu den inneren Reibungskräften, die durch die Viskosität des strömenden Mediums gegeben sind. Für diesen allgemeinen Fall gibt Colebrook folgende Formel an:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71 d} \right) \quad (2)$$

k ist die Größe der Rauigkeitserhebung, den Wert k/d bezeichnet man mit relativer Wandrauigkeit,

wenn d der lichte Rohrdurchmesser ist. Die Reynoldszahl Re ermittelt man aus $Re = \frac{v d}{\nu}$

ν ist die kinematische Viskosität.

Aus dieser Formel lassen sich zwei Sonderfälle ableiten.

1. Für $k = 0$, d. h. für ein glattes Rohr, erhält man die schon vor Colebrook von Prandtl angegebene Formel

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg \left(\frac{Re \sqrt{\lambda}}{2,51} \right) \quad (3)$$

Die Rohrreibungszahl λ ist also nur von Re abhängig, man spricht vom glatten Verhalten des Rohres.

2. Bei großen Geschwindigkeiten, d. h. bei hohen Reynoldszahlen, wird der Einfluß von Re auf λ in Gleichung 2 immer kleiner, es überwiegt die Wandrauigkeit, wir haben es mit dem vollkommen rauhen Verhalten des Rohres zu tun. Setzt man in Gleichung 2 daher $Re = \infty$, so geht die Gleichung 2 über in

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \frac{k}{3,71 d} = 2 \lg \frac{d}{k} + 2 \lg 3,71$$

$$\sqrt{\lambda} = \frac{1}{2 \lg \frac{d}{k} + 1,14}$$

$$\lambda = \frac{1}{\left(2 \lg \frac{d}{k} + 1,14 \right)^2} \quad (4)$$

Die Rohrreibungszahl λ ist bei vollkommen rauhem Verhalten des Rohres nur noch von der relativen Wandrauigkeit des Rohres abhängig. Auch diese Formel 4 wurde bereits vor Colebrook von Prandtl angegeben.

Zwischen dem glatten Verhalten und dem vollkommen rauhen Verhalten der Rohre liegt das sog. Übergangsgebiet, in dem also λ sowohl von der Wandrauigkeit als auch von Re abhängt. In diesem Gebiet liegen die λ -Werte, die für die hydraulische Berechnung der Rohre in der Trinkwasserversorgung in Frage kommen. Bild 1 zeigt die Rohrreibungszahlen λ , die sich aus den Gleichungen 2, 3 und 4 ergeben, in Abhängigkeit von der Reynoldszahl Re und dem Parameter d/k .

Für die Ermittlung von λ ist die Kenntnis der Wandrauigkeit erforderlich. Im Arbeitsblatt W 302 wird hierzu ausgeführt, daß für Gußrohre, Stahl-, AZ- und Kunststoffrohre mit einem k -Wert von 0,1 zu rechnen ist, sofern es sich um Hauptleitungen handelt. Für Verteilungsleitungen ist mit Rücksicht auf die Widerstände in Krümmern, Formstücken, Absperrorganen usw. ein k -Wert von 0,4 zugrunde zu legen. Mit die-

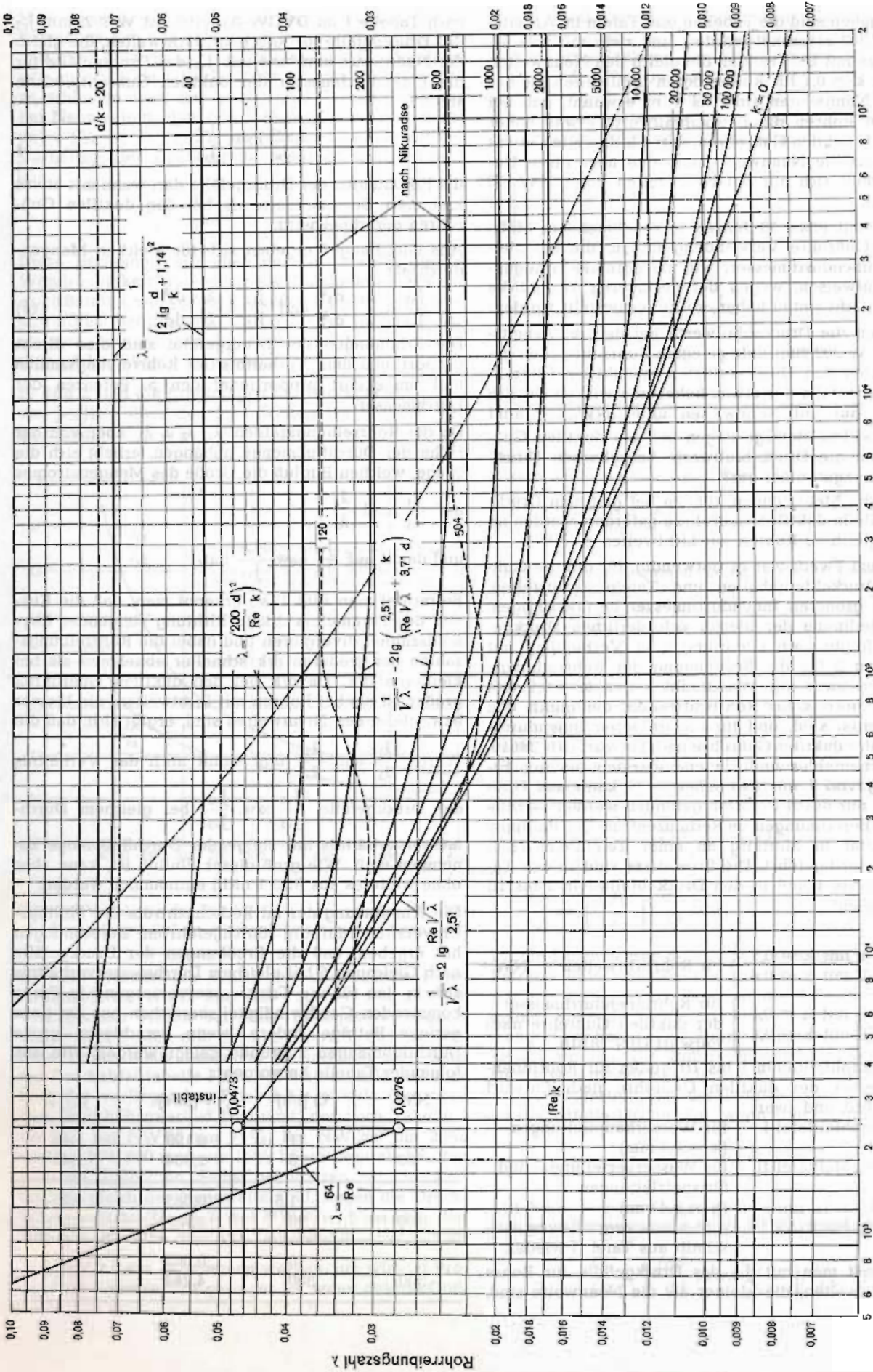


Bild 1: Rohrreibungszahlen λ in Abhängigkeit von der Reynoldszahl Re und dem Parameter d/k

sen Angaben sind die Tabellen und Tafeln im Arbeitsblatt W 302 errechnet worden, und zwar mit $k = 0,4$ für Rohre mit Lichtweiten, die gleich den Nennweiten und mit $k = 0,1$ für Rohre, deren Lichtweiten kleiner als die Nennweiten sind. Es wird erwähnt, daß bei letzteren Rohren die Druckabfallwerte etwas höher liegen als bei den Gußrohren, deren Lichtweiten etwas größer als die Nennweite sind, daß aber diese Ungenauigkeit sich nur bei Nennweiten unter NW 150 auswirkt.

Da nun seit etwa 10 Jahren in zunehmendem Maße duktile Gußrohre Verwendung finden, die bei gleichem Außendurchmesser, wie sie normale Graugußrohre aufweisen, wegen der geringeren Wanddicke größere Lichtweiten haben, sollte festgestellt werden:

1. Liegen die Druckabfallwerte bei den im Arbeitsblatt W 302 zugrunde gelegten Rohrlichtweiten gegenüber den Druckverlusten in duktilen Gußrohren ebenfalls nur etwas höher und wirken sie sich auch nur auf Nennweiten unter NW 150 aus?
2. Um welche Beträge liegen bei den duktilen Gußrohren die Druckabfallwerte bei gleichen Durchflußmengen niedriger?
3. Welche Mehrmengen können bei gleichem Druckgefälle in duktilen Gußrohren gefördert werden im Vergleich zu Rohren mit Lichtweiten \leq NW?

Zu diesem Zweck war es notwendig, für duktile Gußrohre Druckabfalltabellen und Tafeln aufzustellen, die den größeren Innendurchmesser berücksichtigen. Die Berechnung der hierfür erforderlichen Druckgefälle erfolgte nach Gleichung 1 in Verbindung mit Gleichung 2 für die Bestimmung der Rohrreibungszahl, und zwar mit Wandrauigkeiten $k = 0,1$ und $k = 0,4$ jeweils für Rohrlichtweiten, die gleich den Nennweiten sind, und für die größeren Innendurchmesser der duktilen Gußrohre nach Entwurf DIN 28610. Um Rechenfehler und Ungenauigkeiten bei der Ermittlung von λ auszuschließen — λ kann aus Gleichung 2 nur durch Iteration gefunden werden — wurden die Berechnungen im Rechenzentrum der Philipps-Universität in Marburg an einer Telefunken TR 4-Anlage durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 1 bis 4 und in den Druckabfalltafeln I bis III niedergelegt.

Es gelten:

Tab. 1 mit $k = 0,1$	} für Rohrlichtweiten = NW
Tab. 2 mit $k = 0,4$	
Tab. 3 mit $k = 0,1$	} für Rohrinne Durchmesser der duktilen Gußrohre nach Entwurf DIN 28610
Tab. 4 mit $k = 0,4$	

Die Druckabfalltafeln I bis III gelten für Rohrinne Durchmesser der duktilen Gußrohre nach Entwurf DIN 28610, und zwar:

Druckabfalltafel I	für Wasserhauptleitungen ($k = 0,1$ mm)
Druckabfalltafel II	für Wasserverteilungs- und Ortsnetzleitungen ($k = 0,4$ mm)
Druckabfalltafel III	gibt einen vergrößerten Ausschnitt aus Tafel II wieder.

Bezeichnet man mit J_{v1} das Druckgefälle für Rohre mit Lichtweiten, die kleiner als die Nennweite sind,

nach Tabelle I im DVGW-Arbeitsblatt W 302, mit J_{v2} das Druckgefälle für Rohre mit Lichtweiten, die gleich der Nennweite sind und mit J_{v3} das Druckgefälle für die Innendurchmesser der duktilen Gußrohre, dann stellen

$$\frac{J_{v1}}{J_{v3}} \text{ bzw. } \frac{J_{v2}}{J_{v3}}$$

die Erhöhungen der Druckgefälle dar, wenn mit etwas kleineren Durchmessern als bei den duktilen Gußrohren gerechnet wird.

Aus Gleichung 1 ergeben sich für gleichen Mengendurchsatz

$$\frac{J_{v1}}{J_{v3}} = \frac{\lambda_1}{\lambda_3} \frac{d_3^5}{d_1^5} \text{ und } \frac{J_{v2}}{J_{v3}} = \frac{\lambda_2}{\lambda_3} \frac{d_3^5}{d_2^5} \quad (5)$$

Die Erhöhungen der Druckgefälle sind also direkt proportional dem Verhältnis der Rohrreibungszahlen und umgekehrt proportional den 5. Potenzen der Durchmesser.

Da die Rohrreibungszahlen λ_1, λ_2 u. λ_3 aber von der Höhe der Durchflußmenge abhängen, erhebt sich die Frage, welchen Einfluß die Größe des Mengendurchsatzes

$$\text{auf } \frac{\lambda_1}{\lambda_3} \text{ und } \frac{\lambda_2}{\lambda_3}$$

und damit auf $\frac{J_{v1}}{J_{v3}}$ bzw. $\frac{J_{v2}}{J_{v3}}$ hat.

Betrachtet man Bild 1, so erkennt man, daß die Kurven des Parameters d/k in Richtung steigender Reynoldszahlen divergieren und dabei die Rohrreibungszahlen bei größeren d/k schneller abnehmen als bei kleineren d/k . Da d/k bei den duktilen Gußrohren größer ist als bei Rohren mit Lichtweiten, die kleiner bzw. gleich den Nennweiten sind, ergibt sich, daß die

Werte $\frac{\lambda_1}{\lambda_3}$ und $\frac{\lambda_2}{\lambda_3}$ und damit auch das Verhältnis

der Druckgefälle $\frac{J_{v1}}{J_{v3}}$ bzw. $\frac{J_{v2}}{J_{v3}}$ bei gleichem Durch-

messerverhältnis mit steigender Durchflußmenge zunehmen muß. Wie groß dieser Einfluß ist, kann aber ohne weiteres aus Bild 1 nicht entnommen werden.

Die Auswertung der im Rechenzentrum der Philipps-Universität Marburg durchgeführten Berechnungen hat ergeben, daß die Erhöhungen der Druckgefälle nach Gleichung 5 bei gleichem Durchmesser Verhältnis sich in den für die Trinkwasserversorgung in Frage kommenden Geschwindigkeitsbereichen nur um ganz geringe Beträge ändern, wenn verschieden große Durchflußmengen zugrunde gelegt werden, wie aus folgender Tabelle hervorgeht:

NW	Q [l/s]	v [m/s]	J_{v2}/J_{v3}
80	1	0,199	1,42
	15	2,984	1,45
150	1,5	0,085	1,25
	60	3,395	1,27
300	6	0,085	1,17
	300	4,244	1,18

Man erkennt, daß der Einfluß der Größe der Durchflußmenge sich nur bei kleinen Nennweiten auswirkt, und zwar nehmen die Verhältnisse der Druckgefälle, wie auch aus dem Verlauf der Parameterkurven d/k zu schließen war, mit wachsender Fördermenge zu. Bei Nennweiten über NW 300 liegt die Abweichung unter 1%, so daß mit ausreichender Genauigkeit das Verhältnis der Druckgefälle ermittelt werden kann aus:

$$\frac{J_{v1}}{J_{v3}} = \frac{d_3^5}{d_1^5} \text{ und } \frac{J_{v2}}{J_{v3}} = \frac{d_3^5}{d_2^5}$$

Diese Beziehung gilt aber nur für jeweils gleiche Wandrauigkeit und wenn die Durchmesser um geringe Beträge, wie im vorliegenden Falle, voneinander abweichen. Bei größeren Unterschieden in den Durchmessern müssen die Rohrreibungszahlen in Gleichung 5 berücksichtigt werden.

In Bild 2 sind die Erhöhungen der Druckgefälle J_{v1}/J_{v3} und J_{v2}/J_{v3} über den Nennweiten bis NW 600 aufgetragen.

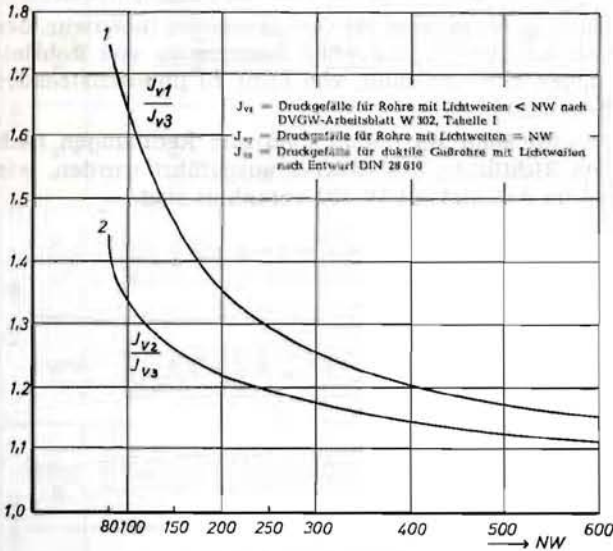


Bild 2: Verhältnis der Druckgefälle J_{v1}/J_{v3} und J_{v2}/J_{v3} bei gleichem Mengenfluß in Abhängigkeit von der Nennweite

Gewählt wurden die Werte aus der Tabelle I des Arbeitsblattes W 302 und den Tabellen 1 und 3 der vorliegenden Arbeit für eine Fließgeschwindigkeit von ~ 1 m/s. Man erkennt aus Kurve 1, daß wesentliche Unterschiede bestehen, je nachdem man nach der Druckabfalltabelle I des Arbeitsblattes W 302 oder nach der vorliegenden Tafel 3 für duktile Gußrohre den Druckhöhenverlust bestimmt, der nach Tabelle I (W 302) bei NW 80 um 75%, bei NW 300 um 25% und bei NW 600 noch um 15% höher liegt als bei den duktilen Gußrohren. Selbst bei Rohren mit Lichtweiten, die gleich der Nennweite sind, liegen die Druckhöhenverluste (Kurve 2) bei NW 80 noch um 44%, bei NW 300 um 17% und bei NW 600 um 11% höher.

Aus Bild 3 kann entnommen werden, um wieviel Prozent der Druckverlust geringer ist, wenn duktile Guß-

rohre gewählt werden. Gegenüber den Druckverlusten im Arbeitsblatt W 302, Tabelle I, ergibt sich bei NW 80 eine Senkung des erforderlichen Druckgefälles um rd. 43%, bei NW 200 um rd. 26% und bei NW 600 um rd. 13% (Kurve 1), entsprechend bei Rohren mit Lichtweiten, die gleich den Nennweiten sind, rd. 31%, rd. 18% und rd. 10% (Kurve 2).

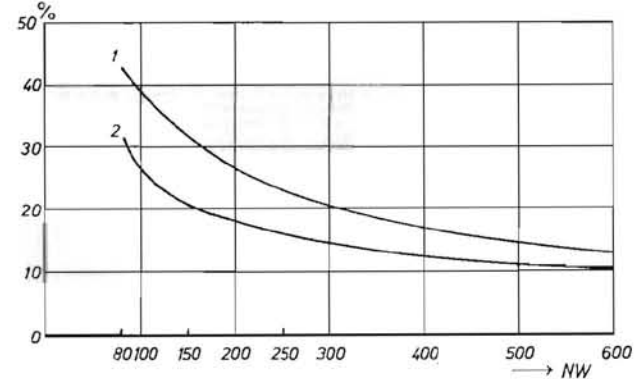


Bild 3: Prozentuale Verringerung der Druckgefälle in duktilen Gußrohren gegenüber Rohren mit Lichtweiten < NW nach DVGW-Arbeitsblatt W 302, Tabelle I (Kurve 1) und Lichtweiten = NW (Kurve 2) bei gleichem Mengenfluß in Abhängigkeit von der Nennweite

Liegt der Versorgungsbereich in einer Ebene, dann sind bei duktilen Gußrohren auch der Energiebedarf für den Antrieb der Pumpen und damit die Energiekosten für den Wassertransport um die gleichen Prozentsätze niedriger.

Die vorangegangenen Betrachtungen bezogen sich auf die Änderung der Druckgefälle bei konstantem Mengendurchsatz. Im Folgenden soll noch kurz untersucht werden, welche Mehrmengen durch eine Leitung aus duktilen Gußrohren fließen, wenn man gleichen Druckverlust zugrunde legt. Aus Gleichung 1 ergibt sich dabei:

$$\frac{\lambda_1 Q_1^2}{(100 d_1)^5} = \frac{\lambda_2 Q_2^2}{(100 d_2)^5} = \frac{\lambda_3 Q_3^2}{(100 d_3)^5}$$

$$\frac{Q_3}{Q_1} = \sqrt{\frac{\lambda_1}{\lambda_3}} \sqrt{\frac{d_3^5}{d_1^5}} \text{ bzw. } \frac{Q_3}{Q_2} = \sqrt{\frac{\lambda_2}{\lambda_3}} \sqrt{\frac{d_3^5}{d_2^5}} \quad (6)$$

Da die Durchmesser d_1 , d_2 und d_3 sich nur um geringe Beträge unterscheiden und die Rohrreibungszahlen nur mit ihrem Wurzelwert in die Mehrmenge eingehen, kann die Änderung der von der Durchflußmenge Q abhängenden Rohrreibungszahl λ vernachlässigt werden. Die Rohrreibungszahlen λ_1 bzw. λ_2 sind etwas größer als λ_3 . Durch Kontrollrechnungen wurde festgestellt, daß der dadurch begangene Fehler im Höchsfalle 1% beträgt, wenn man setzt:

$$\sqrt{\frac{\lambda_1}{\lambda_3}} \text{ und } \sqrt{\frac{\lambda_2}{\lambda_3}} = 1$$

Mit hinreichender Genauigkeit kann also die Mehrmenge errechnet werden aus:

$$\frac{Q_3}{Q_1} = \sqrt{\frac{d_3^5}{d_1^5}} \text{ bzw. } \frac{Q_3}{Q_2} = \sqrt{\frac{d_3^5}{d_2^5}}$$

Auch diese Beziehung gilt nur für jeweils gleiche Wandrauigkeit und wenn die Durchmesser um geringe Beträge voneinander abweichen. Bei größeren Unterschieden in den Durchmessern müssen die Rohrreibungszahlen in Gleichung 6 berücksichtigt werden.

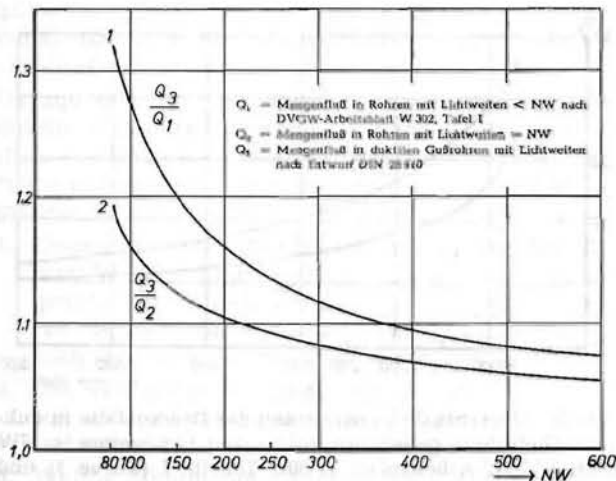


Bild 4: Erhöhung des Mengenflusses in duktilen Gußrohren gegenüber Rohren < NW nach DVGW-Arbeitsblatt W 302, Tabelle I (Kurve 1) und Lichtweiten = NW (Kurve 2) bei gleichem Druckverlust in Abhängigkeit von der Nennweite

Die auf diese Art und Weise errechneten Mehrmengen sind in Bild 4 über den Nennweiten aufgetragen. Man sieht, daß vor allem bei kleineren Nennweiten erhebliche Mehrmengen bei gleichen Druckgefällen durch duktile Gußrohre fließen, als bei Rohren mit den Lichtweiten, die kleiner als die Nennweiten sind, nach Tabelle I im Arbeitsblatt W 302 (Kurve 1) bzw. bei Rohren mit Lichtweiten, die gleich den Nennweiten sind (Kurve 2). Sie betragen nach Kurve 1 für Q_3/Q_1 bei NW 80 rd. 32%, bei NW 150 rd. 20%, bei NW 300 rd. 12% und bei NW 600 rd. 8%. Die entsprechenden Werte liegen nach Kurve 2 für Q_3/Q_2 bei rd. 20%, 12%, 9% und 6%.

Die vorliegenden Berechnungen haben gezeigt, welche Vorteile die duktilen Gußrohre auch in hydraulischer Hinsicht haben, die sich daraus ableiten lassen, daß die Innendurchmesser größer sind als die entsprechenden Nennweitenangaben. In besonderem Maße wirken sich die größeren Innendurchmesser der duktilen Gußrohre auf das Druckgefälle bei konstantem Mengendurchfluß aus, da bei der Ermittlung der Druckgefälle die Lichtweiten der Rohre, wie dargelegt, mit der 5. Potenz in die Rechnung eingehen.

Die Ergebnisse sind für den planenden Ingenieur, der sich mit der hydraulischen Berechnung von Rohrleitungen befassen muß, von nicht zu unterschätzender Bedeutung.

Abschließend sei betont, daß alle Rechnungen nach den Richtlinien des DVGW ausgeführt wurden, wie sie im Arbeitsblatt W 302 verankert sind.

Druckabfalltabelle 1 für Wasserhauptleitungen. Rauigkeit $k = 0,1 \text{ mm}$ (Lichtweite der Rohre = NW)

Q l/s	NW 80			NW 100			NW 125			NW 150			NW 200			NW 250			NW 300			NW 350		
	v m/s	Jv m WS/km	Jv m WS/km	v m/s	Jv m WS/km	Jv m WS/km	v m/s	Jv m WS/km	Jv m WS/km	v m/s	Jv m WS/km	Jv m WS/km	v m/s	Jv m WS/km	Jv m WS/km	v m/s	Jv m WS/km	Jv m WS/km	v m/s	Jv m WS/km	Jv m WS/km	v m/s	Jv m WS/km	
1,0	0,199	0,791	0,269	0,081	0,092	0,079	0,085	0,067	0,081	0,038	0,057	0,085	0,033	0,043	0,083	0,026								
1,5	0,298	1,040	0,554	0,122	0,189	0,131	0,113	0,131	0,122	0,102	0,127	0,102	0,079	0,082	0,094	0,032								
2,0	0,398	2,769	0,928	0,163	0,314	0,289	0,170	0,289	0,167	0,122	0,143	0,113	0,104	0,082	0,104	0,039								
3,0	0,597	5,844	1,940	0,244	0,651	0,451	0,266	0,451	0,159	0,143	0,163	0,113	0,132	0,068	0,156	0,080								
4,0	0,796	9,591	3,292	0,326	1,098	0,675	0,283	0,167	0,191	0,122	0,143	0,113	0,104	0,082	0,104	0,039								
5,0	0,995	15,201	4,979	0,407	1,651	0,942	0,340	0,306	0,223	0,143	0,163	0,113	0,132	0,068	0,156	0,080								
6,0	1,194	21,468	6,999	0,489	2,310	1,249	0,396	0,306	0,223	0,143	0,163	0,113	0,132	0,068	0,156	0,080								
7,0	1,393	28,788	9,348	0,570	3,073	1,597	0,453	0,390	0,255	0,163	0,183	0,113	0,132	0,068	0,156	0,080								
8,0	1,592	37,160	12,025	0,652	3,940	1,985	0,509	0,483	0,286	0,183	0,204	0,113	0,132	0,068	0,156	0,080								
9,0	1,790	46,581	15,031	0,733	4,909	2,414	0,566	0,585	0,318	0,204	0,204	0,113	0,132	0,068	0,156	0,080								
10,0	1,989	57,052	18,363	0,815	5,982	2,910	0,623	0,675	0,349	0,223	0,223	0,113	0,132	0,068	0,156	0,080								
15,0	2,984	125,119	39,915	1,222	12,874	5,152	0,849	1,234	0,477	0,306	0,306	0,113	0,132	0,068	0,156	0,080								
20,0				1,630	22,304	8,875	1,132	2,107	0,637	0,412	0,412	0,113	0,132	0,068	0,156	0,080								
30,0				2,445	48,746	19,253	1,698	4,513	0,955	0,484	0,484	0,113	0,132	0,068	0,156	0,080								
40,0				3,259	85,278	33,526	2,264	7,792	1,273	0,566	0,566	0,113	0,132	0,068	0,156	0,080								
50,0							2,829	11,940	1,592	0,611	0,611	0,113	0,132	0,068	0,156	0,080								
60,0							3,395	16,954	1,910	0,815	0,815	0,113	0,132	0,068	0,156	0,080								
70,0								22,832	2,222	0,815	0,815	0,113	0,132	0,068	0,156	0,080								
80,0								29,574	2,546	0,815	0,815	0,113	0,132	0,068	0,156	0,080								
90,0								37,180	2,865	0,815	0,815	0,113	0,132	0,068	0,156	0,080								
100,0								45,648	3,183	0,815	0,815	0,113	0,132	0,068	0,156	0,080								
150,0										0,099	0,099	0,099	0,010	0,010	0,133	0,013								
200,0										0,110	0,110	0,110	0,013	0,013	0,177	0,022								
300,0										0,126	0,126	0,126	0,017	0,017	0,265	0,047								
400,0										0,141	0,141	0,141	0,021	0,021	0,354	0,080								
500,0										0,157	0,157	0,157	0,026	0,026	0,442	0,122								
600,0										0,172	0,172	0,172	0,032	0,032	0,531	0,171								
700,0										0,188	0,188	0,188	0,039	0,039	0,619	0,228								
800,0										0,204	0,204	0,204	0,045	0,045	0,707	0,293								
900,0										0,220	0,220	0,220	0,051	0,051	0,796	0,366								
1000,0										0,236	0,236	0,236	0,057	0,057	0,884	0,447								
1500,0										0,283	0,283	0,283	0,069	0,069	1,326	0,969								
2000,0										0,330	0,330	0,330	0,081	0,081	1,768	1,684								
3000,0										0,377	0,377	0,377	0,093	0,093	2,653	3,092								
4000,0										0,424	0,424	0,424	0,105	0,105	3,537	6,471								

Druckabfalltabelle 3 für Wasserhauptleitungen, Rauigkeit $k = 0,1 \text{ mm}$ (Lichtweite der duktilen Gufrohre nach Entwurf DIN 28 610)

Q l/s	NW 80		NW 100		NW 125		NW 150		NW 200		NW 250		NW 300		NW 350	
	v m/s	Jv m WS/km	v m/s	Jv m WS/km	v m/s	Jv m WS/km	v m/s	Jv m WS/km	v m/s	Jv m WS/km	v m/s	Jv m WS/km	v m/s	Jv m WS/km	v m/s	Jv m WS/km
1,0	0,172	0,557	0,114	0,204	0,074	0,072	0,077	0,063	0,088	0,056	0,032	0,076	0,079	0,028	0,078	0,023
1,5	0,258	1,152	0,170	0,420	0,110	0,147	0,103	0,105	0,118	0,093	0,048	0,095	0,093	0,037	0,088	0,028
2,0	0,344	1,941	0,227	0,702	0,147	0,245	0,155	0,216	0,147	0,138	0,048	0,114	0,106	0,047	0,098	0,033
3,0	0,516	4,082	0,341	1,464	0,221	0,507	0,207	0,361	0,206	0,253	0,066	0,133	0,132	0,070	0,098	0,048
4,0	0,689	6,962	0,454	2,480	0,294	0,853	0,258	0,541	0,294	0,483	0,076	0,177	0,139	0,099	0,116	0,069
5,0	0,861	10,573	0,568	3,746	0,368	1,282	0,310	0,753	0,441	1,017	0,085	0,235	0,265	0,145	0,147	0,116
6,0	1,033	14,908	0,681	5,258	0,441	1,792	0,362	0,998	0,589	1,734	0,098	0,322	0,244	0,145	0,195	0,116
7,0	1,205	19,966	0,795	7,016	0,515	2,382	0,465	1,276	0,662	2,308	0,111	0,465	0,265	0,153	0,293	0,116
8,0	1,377	25,745	0,908	9,017	0,588	3,051	0,465	1,585	0,735	3,083	0,111	0,585	0,265	0,153	0,293	0,116
9,0	1,549	32,243	1,022	11,262	0,662	3,799	0,465	1,926	0,883	3,708	0,111	0,735	0,265	0,153	0,293	0,116
10,0	1,722	39,460	1,135	13,750	0,735	4,627	0,517	2,275	1,017	4,382	0,111	0,922	0,265	0,153	0,293	0,116
15,0	2,582	86,302	1,703	29,814	1,103	9,934	0,775	4,102	1,471	6,396	0,111	1,399	0,265	0,153	0,293	0,116
20,0			2,271	51,903	1,470	17,183	1,550	15,278	1,766	13,893	0,111	1,949	0,265	0,153	0,293	0,116
30,0					2,206	37,478	1,550	26,570	2,060	18,699	0,111	2,617	0,265	0,153	0,293	0,116
40,0					2,941	65,484	2,066	40,925	2,584	24,210	0,111	3,492	0,265	0,153	0,293	0,116
50,0							2,583	40,925	3,099	30,424	0,111	4,591	0,265	0,153	0,293	0,116
60,0							3,099	58,340	3,643	37,342	0,111	5,847	0,265	0,153	0,293	0,116
70,0											0,091	7,399	0,265	0,153	0,293	0,116
80,0											0,106	9,329	0,265	0,153	0,293	0,116
90,0											0,121	11,659	0,265	0,153	0,293	0,116
100,0											0,136	14,390	0,265	0,153	0,293	0,116
150,0											0,151	22,847	0,265	0,153	0,293	0,116
200,0											0,227	42,617	0,265	0,153	0,293	0,116
300,0											0,303	74,387	0,265	0,153	0,293	0,116
400,0											0,382	118,949	0,265	0,153	0,293	0,116
500,0											0,454	168,806	0,265	0,153	0,293	0,116
600,0											0,539	235,461	0,265	0,153	0,293	0,116
700,0											0,634	325,414	0,265	0,153	0,293	0,116
800,0											0,749	445,271	0,265	0,153	0,293	0,116
900,0											0,882	602,441	0,265	0,153	0,293	0,116
1000,0											1,035	804,514	0,265	0,153	0,293	0,116
1500,0											1,499	1,416,399	0,265	0,153	0,293	0,116
2000,0											2,017	2,227,514	0,265	0,153	0,293	0,116
3000,0											2,943	3,492,414	0,265	0,153	0,293	0,116
4000,0											4,128	5,041,414	0,265	0,153	0,293	0,116

Druckabfalltabelle 3 für Wasserhauptleitungen, Rauigkeit k = 0,1 mm (Lichtweite der duktilen Gufrohre nach Entwurf DIN 28 610)

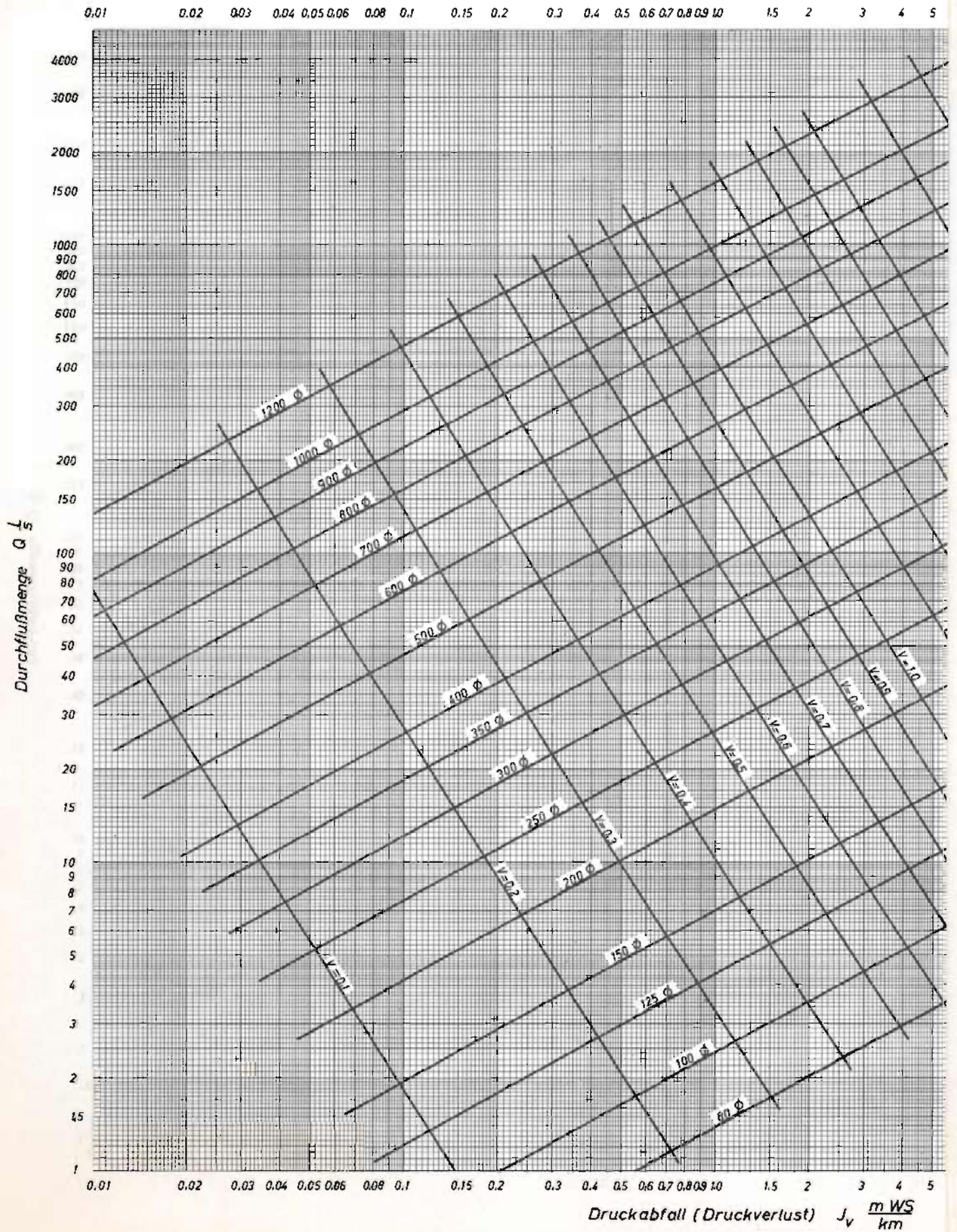
Druckabfalltabelle 4 für Wasser-Verteilungs- und Ortsnetzleitungen. Rauigkeit $k = 0,4 \text{ mm}$ (Lichtweite der duktilen Gufrohre nach Entwurf DIN 28 610)

Q l/s	NW 80			NW 100			NW 125			NW 150			NW 200			NW 250			NW 300			NW 350		
	v m/s	Jv m WS km	v m/s	Jv m WS km	v m/s	Jv m WS km	v m/s	Jv m WS km	v m/s	Jv m WS km	v m/s	Jv m WS km	v m/s	Jv m WS km	v m/s	Jv m WS km	v m/s	Jv m WS km	v m/s	Jv m WS km	v m/s	Jv m WS km		
1,0	0,172	0,641	0,114	0,227	0,074	0,078	0,077	0,068	0,088	0,060	0,076	0,035	0,079	0,030	0,078	0,024								
1,5	0,258	1,367	0,170	0,479	0,110	0,163	0,103	0,115	0,147	0,102	0,154	0,095	0,133	0,093	0,088	0,030								
2,0	0,344	2,356	0,227	0,819	0,147	0,276	0,155	0,242	0,215	0,154	0,215	0,114	0,177	0,106	0,098	0,030								
3,0	0,516	5,119	0,341	1,761	0,221	0,586	0,207	0,413	0,369	0,287	0,413	0,177	0,287	0,132	0,119	0,030								
4,0	0,689	8,926	0,454	3,051	0,294	1,007	0,258	0,629	0,539	0,369	0,629	0,215	0,413	0,199	0,132	0,030								
5,0	0,861	13,778	0,568	4,689	0,368	1,539	0,310	0,888	0,729	0,461	0,888	0,287	0,539	0,265	0,147	0,030								
6,0	1,033	19,673	0,681	6,673	0,441	2,182	0,362	1,190	1,536	0,539	1,190	0,362	0,629	0,330	0,162	0,030								
7,0	1,205	26,612	0,795	9,004	0,515	2,934	0,465	1,536	1,925	0,629	1,536	0,465	0,819	0,400	0,195	0,030								
8,0	1,377	34,593	0,908	11,681	0,588	3,797	0,517	1,925	2,358	0,729	1,925	0,588	1,007	0,461	0,235	0,030								
9,0	1,549	43,618	1,022	14,705	0,662	4,770	0,662	2,358	2,883	0,819	2,358	0,662	1,291	0,539	0,287	0,030								
10,0	1,722	53,686	1,135	18,076	0,735	5,852	0,775	2,883	3,511	0,908	2,883	0,775	1,615	0,629	0,330	0,030								
15,0	2,582	119,670	1,703	40,125	1,103	12,915	1,033	5,009	5,172	1,291	5,009	1,033	2,122	0,819	0,400	0,030								
20,0			2,271	70,833	1,470	22,724	1,033	9,009	7,920	1,615	9,009	1,033	2,883	0,908	0,461	0,030								
30,0					2,206	50,585	1,550	20,111	20,111	1,777	12,707	1,550	3,511	0,908	0,539	0,030								
40,0					2,941	69,433	2,066	35,482	35,482	2,066	17,707	2,066	4,667	0,908	0,629	0,030								
50,0							2,583	55,181	55,181	2,583	18,203	2,583	5,825	0,908	0,729	0,030								
60,0							3,089	79,209	79,209		20,600	3,089	7,884	0,908	0,819	0,030								
70,0										2,060	24,681	3,299	10,253	0,908	0,908	0,030								
80,0										2,354	32,142	4,038	12,932	0,908	1,007	0,030								
90,0										2,640	40,587	4,927	15,922	0,908	1,106	0,030								
100,0										2,943	50,015	5,825	18,912	0,908	1,205	0,030								
150,0												8,912	28,847	1,466	1,954	0,030								
200,0												13,917	24,993	2,650	2,931	0,030								
300,0												20,912	54,993	3,975	4,882	0,030								
400,0												28,847	91,912	5,825	7,411	0,030								

Q l/s	NW 400			NW 500			NW 600			NW 700			NW 800			NW 900			NW 1000			NW 1200		
	v m/s	Jv m WS km	v m/s	Jv m WS km	v m/s	Jv m WS km	v m/s	Jv m WS km	v m/s	Jv m WS km	v m/s	Jv m WS km	v m/s	Jv m WS km	v m/s	Jv m WS km	v m/s	Jv m WS km	v m/s	Jv m WS km	v m/s	Jv m WS km		
10,0	0,075	0,019	0,097	0,024	0,102	0,020	0,100	0,016	0,096	0,013	0,091	0,010	0,098	0,010	0,128	0,013								
15,0	0,113	0,040	0,146	0,049	0,136	0,034	0,125	0,024	0,115	0,018	0,106	0,013	0,111	0,011	0,171	0,022								
20,0	0,151	0,068	0,194	0,083	0,169	0,051	0,150	0,034	0,134	0,023	0,121	0,017	0,123	0,012	0,256	0,048								
30,0	0,226	0,145	0,283	0,126	0,203	0,072	0,175	0,045	0,153	0,030	0,136	0,021	0,148	0,015	0,341	0,083								
40,0	0,301	0,250	0,363	0,179	0,239	0,097	0,200	0,058	0,171	0,045	0,151	0,025	0,162	0,015	0,426	0,127								
50,0	0,377	0,363	0,437	0,239	0,271	0,125	0,225	0,072	0,191	0,045	0,151	0,025	0,177	0,015	0,511	0,180								
60,0	0,452	0,543	0,521	0,309	0,305	0,156	0,250	0,088	0,227	0,045	0,151	0,025	0,184	0,015	0,597	0,243								
70,0	0,528	0,731	0,603	0,389	0,339	0,190	0,275	0,101	0,287	0,045	0,151	0,025	0,192	0,015	0,682	0,315								
80,0	0,603	0,946	0,678	0,474	0,369	0,225	0,299	0,129	0,308	0,045	0,151	0,025	0,200	0,015	0,767	0,396								
90,0	0,678	1,189	0,729	0,567	0,355	0,250	0,318	0,147	0,324	0,045	0,151	0,025	0,209	0,015	0,852	0,487								
100,0	0,754	1,460	0,811	0,664	0,340	0,275	0,338	0,165	0,341	0,045	0,151	0,025	0,218	0,015	0,937	0,571								
150,0	1,131	3,224	1,249	1,086	0,355	0,287	0,355	0,181	0,355	0,045	0,151	0,025	0,227	0,015	1,022	0,656								
200,0	1,507	5,676	1,634	1,486	0,355	0,287	0,355	0,181	0,355	0,045	0,151	0,025	0,236	0,015	1,106	0,741								
300,0	2,261	12,639	2,429	2,130	0,355	0,287	0,355	0,181	0,355	0,045	0,151	0,025	0,245	0,015	1,191	0,826								
400,0	3,015	22,349	3,193	2,811	0,355	0,287	0,355	0,181	0,355	0,045	0,151	0,025	0,254	0,015	1,276	0,911								
500,0			3,400	3,050	0,355	0,287	0,355	0,181	0,355	0,045	0,151	0,025	0,263	0,015	1,361	0,996								
600,0				3,388	0,355	0,287	0,355	0,181	0,355	0,045	0,151	0,025	0,272	0,015	1,446	1,081								
700,0					0,355	0,287	0,355	0,181	0,355	0,045	0,151	0,025	0,281	0,015	1,531	1,166								
800,0					0,355	0,287	0,355	0,181	0,355	0,045	0,151	0,025	0,290	0,015	1,616	1,251								
900,0					0,355	0,287	0,355	0,181	0,355	0,045	0,151	0,025	0,299	0,015	1,701	1,336								
1000,0					0,355	0,287	0,355	0,181	0,355	0,045	0,151	0,025	0,308	0,015	1,786	1,421								
1500,0					0,355	0,287	0,355	0,181	0,355	0,045	0,151	0,025	0,317	0,015	1,871	1,506								
2000,0					0,355	0,287	0,355	0,181	0,355	0,045	0,151	0,025	0,326	0,015	1,956	1,591								
3000,0					0,355	0,287	0,355	0,181	0,355	0,045	0,151	0,025	0,335	0,015	2,041	1,676								
4000,0					0,355	0,287	0,355	0,181	0,355	0,045	0,151	0,025	0,344	0,015	2,126	1,761								

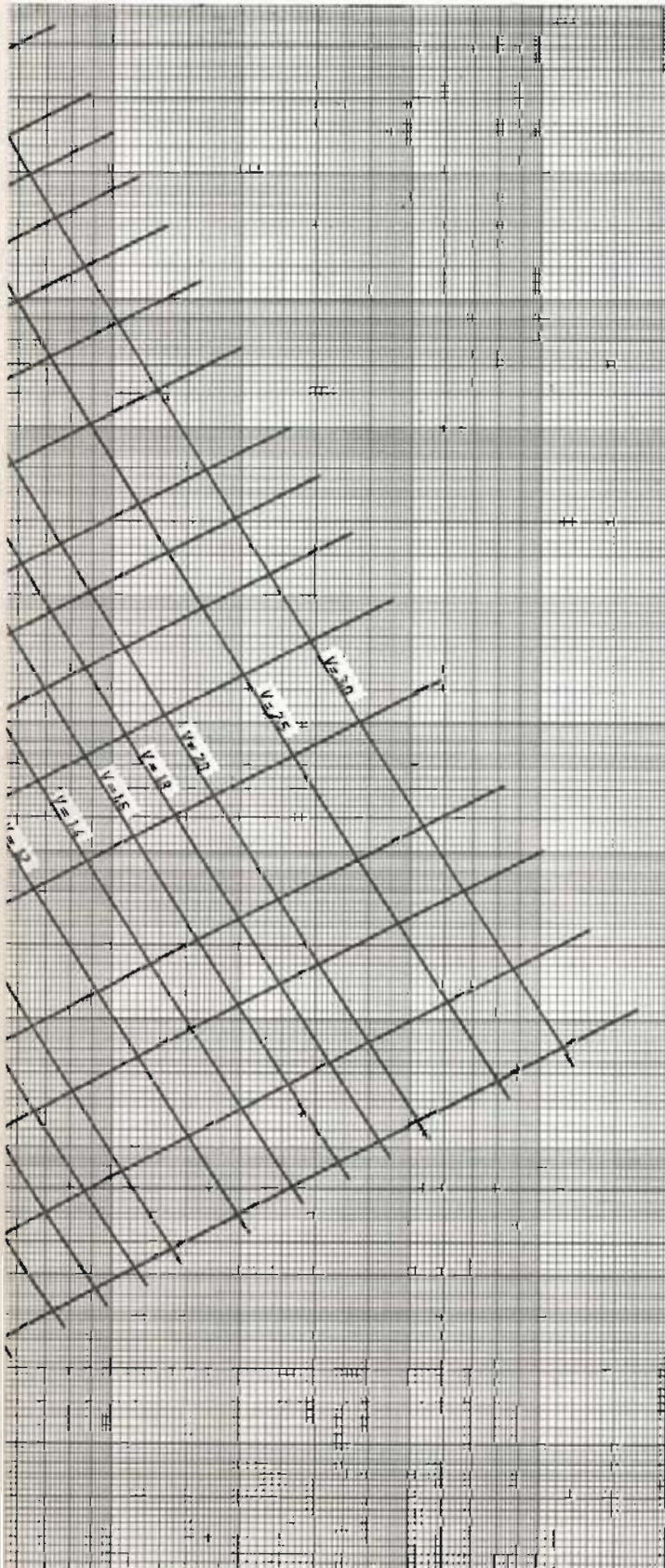
Druckabfalltafel I für Wasserhauptleitungen aus duktilen Gußro

Druckabfall (Druckverlust) $J_v \frac{m WS}{km}$



öhren ($k = 0,1 \text{ mm}$)

6 7 8 9 10 15 20 30 40 50 60 70 80 90 100 150 200



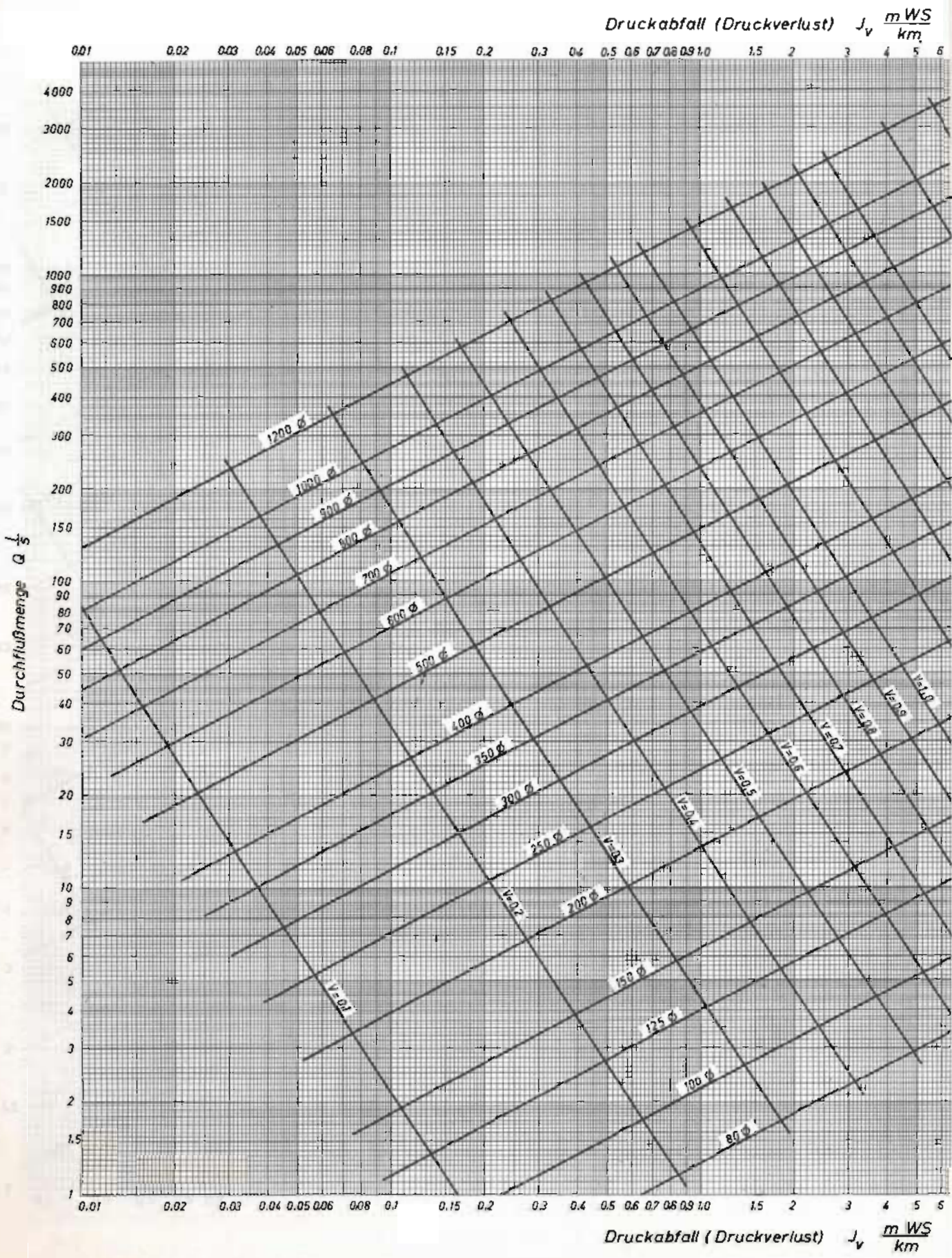
4000
3000
2000
1500
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
150
100
90
80
70
60
50
40
30
20
15
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1,5
1

Durchflußmenge $Q \frac{1}{s}$

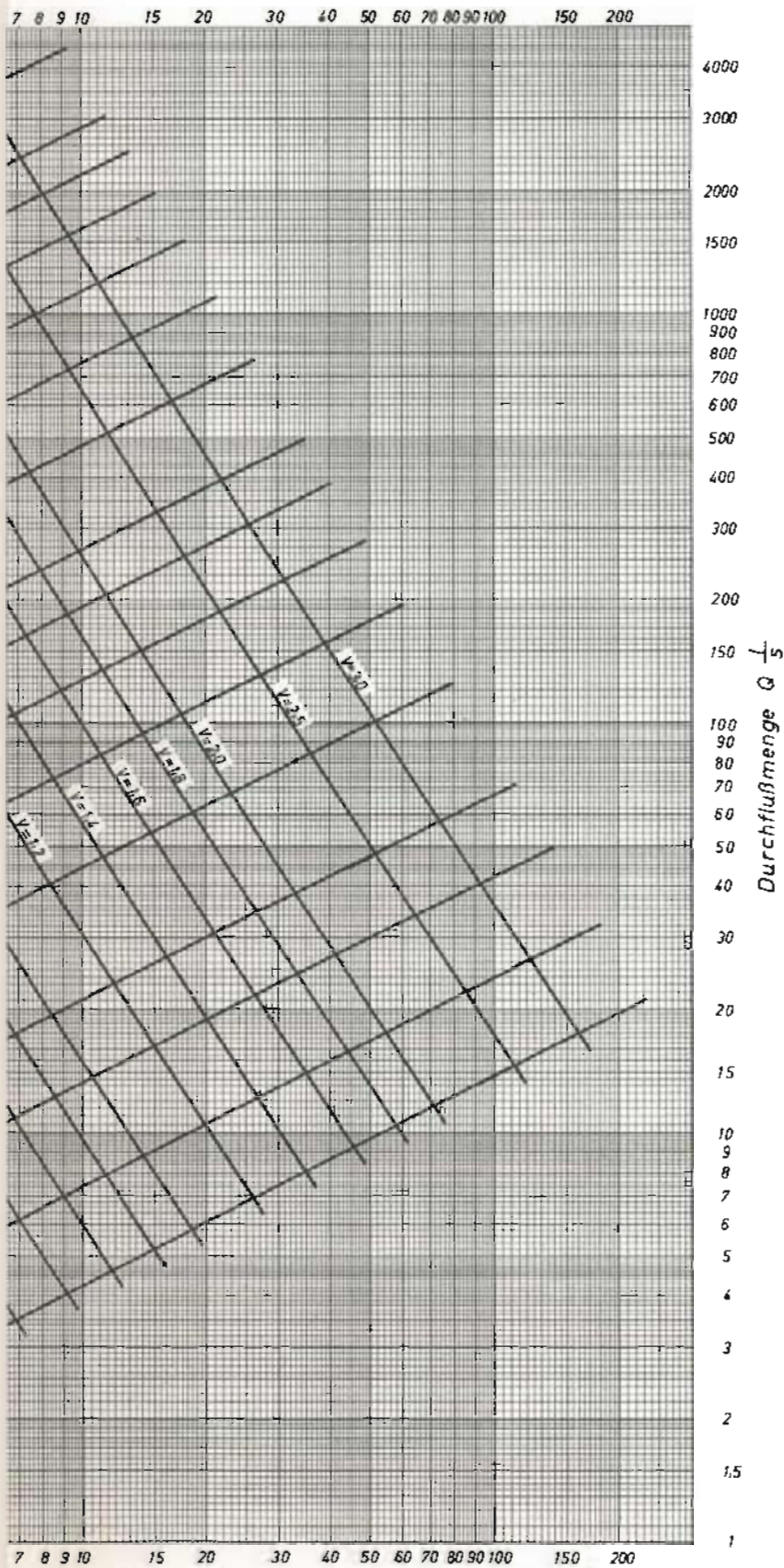
6 7 8 9 10 15 20 30 40 50 60 70 80 90 100 150 200



Druckabfalltafel II für Wasserleitungs- und Ortsnetzleitungen aus duktil

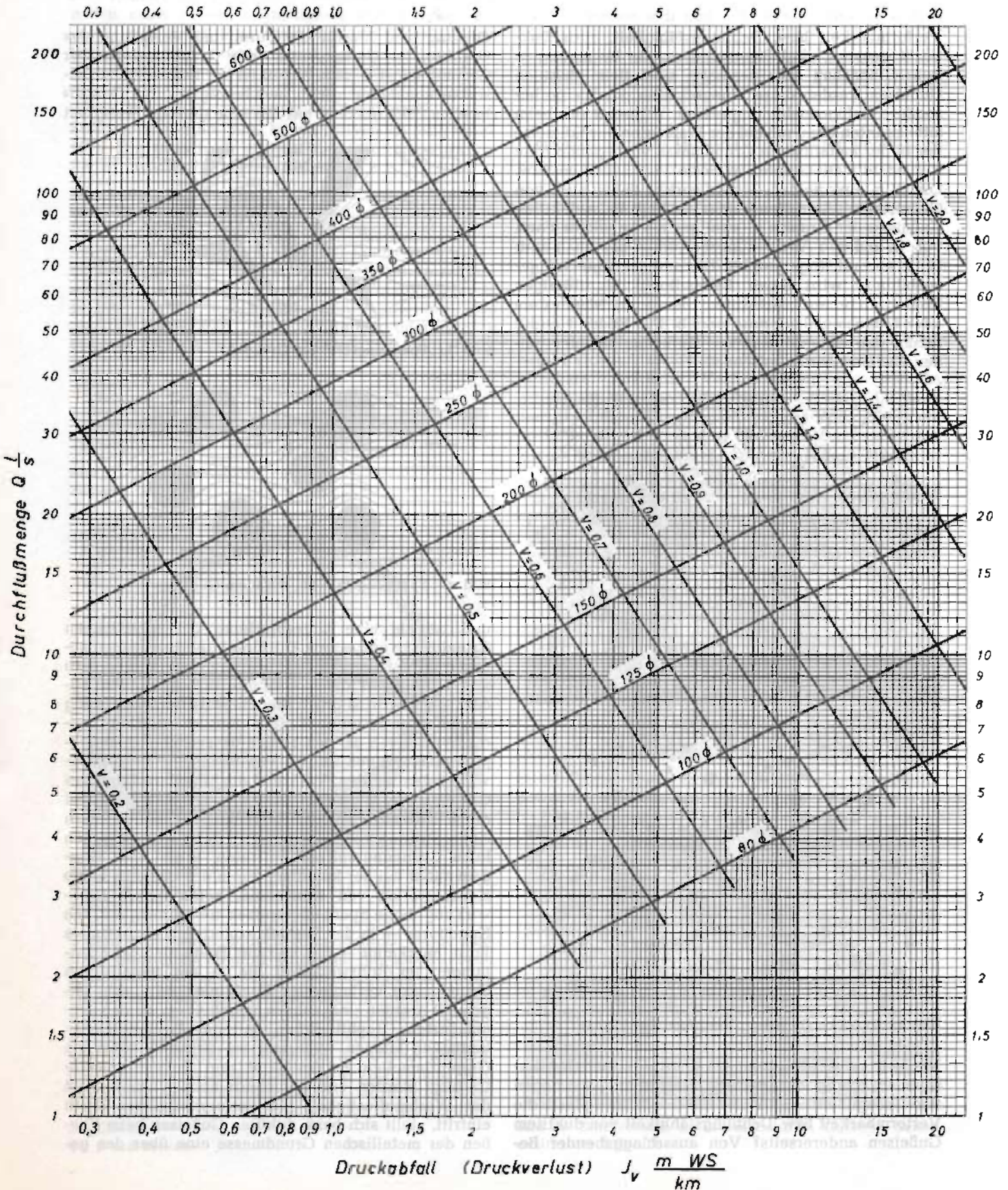


en Gußrohren (k = 0,4 mm)



Druckabfalltafel III. Vergrößerter Ausschnitt aus Tafel II

Druckabfall (Druckverlust) $J_v \frac{m WS}{km}$



Verformungsvermögen duktiler Gußrohre

Von NORBERT RAFFENBERG

Verformbarkeit bzw. Dehnungsfähigkeit, auch Duktilität genannt, sind Eigenschaften, die im modernen Rohrleitungsbau sehr geschätzt sind. Beim duktilen Gußeisen werden diese Eigenschaften durch eine besondere Gefügeausbildung erzielt. Während sich beim altbekannten Grauguß bei der Erstarrung der Schmelze der in der metallischen Grundmasse vorliegende freie Kohlenstoff als Graphit in Form von Blättchen bzw. Lamellen ausscheidet — man spricht daher auch von Gußeisen mit Lamellengraphit —, liegt beim duktilen Gußeisen der Graphit in knotiger bis kugeliger Form vor; in anderen Anwendungsbereichen sagt man auch Gußeisen mit Kugelgraphit. Die andersartige Gefügeausbildung wird durch Behandlung des flüssigen Eisens mit einer bestimmten Menge an Magnesium oder Magnesiumlegierung erzielt. Die Bilder 1 und 2 lassen den unterschiedlichen Gefügebau der beiden Gußeisensorten erkennen.

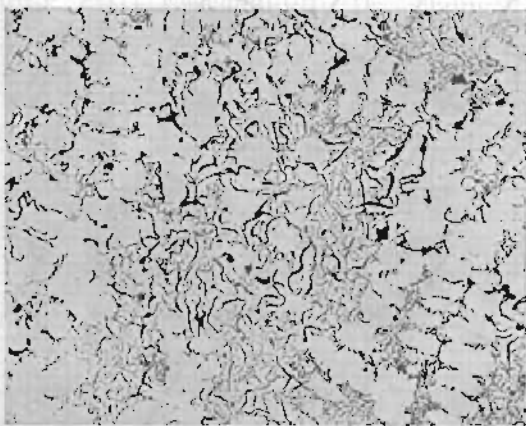


Bild 1: Grauguß (Vergrößerung 100 : 1)

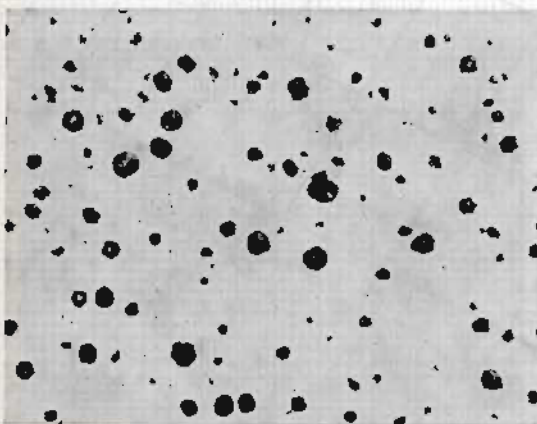


Bild 2: Duktiler Gußeisen (Vergrößerung 100 : 1)

Wie erklärt sich trotz nahezu gleicher chemischer Zusammensetzung das geringe Verformungsvermögen von Grauguß einerseits und die beachtliche plastische Verformbarkeit bzw. Dehnungsfähigkeit von duktiler Gußeisen andererseits? Von ausschlaggebender Be-

deutung sind hierfür die Form und Verteilung des Graphits im Gefüge, nicht die Graphitmenge. Der Graphit selbst — sein Anteil ist bei beiden Gußeisensorten annähernd gleich und beträgt ca. 3,5 Gew.-% bzw. ca. 10 Vol.-% — hat nur eine geringe Festigkeit

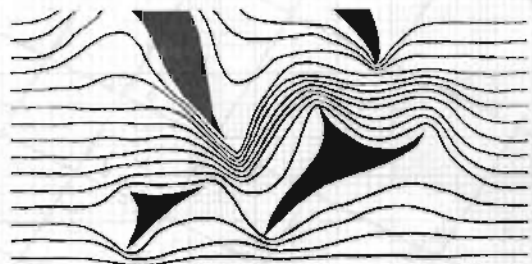


Bild 3: Spannungsbild bei Grauguß

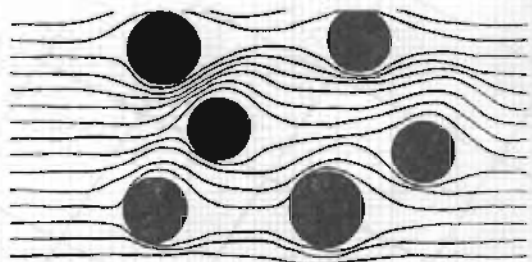


Bild 4: Spannungsbild bei duktiler Gußeisen

und ist als eine Unterbrechung der metallischen Grundmasse anzusehen. Die Graphiteinlagerungen bedeuten eine Querschnittsschwächung und sind so auch von Einfluß auf die Werkstofffestigkeit. In den Bildern 3 und 4 wird durch die schematische Darstellung sogenannter Spannungsbilder deutlich gemacht, welche Wirkungen bei den beiden unterschiedlichen Graphiteinlagerungen infolge von Beanspruchungen hervorgerufen werden. Während die lamellare Form des Graphits die Wirkung von Innenkerben hat, wobei durch Störung des Kraftlinienverlaufs sowie durch Konzentration von Kraftlinien an den Lamellenkanten hohe Spannungsspitzen auftreten, ergibt sich demgegenüber bei der kugelförmigen Form des Graphits keine Konzentration von Kraftlinien, keine innere Kerbwirkung; hohe Spannungsspitzen treten nicht auf. Die Kugelform — in der Technik schlechthin als optimale Form anerkannt — hat hier zur Folge, daß bei Spannungen im Rohrwerkstoff die in der metallischen Grundmasse verlaufenden Kraftlinien nur leicht abgelenkt werden und nahezu ungehindert an den eingelagerten Graphitteilchen geringer Festigkeit vorbeifließen können. Während bei Grauguß durch die Graphitlamellen Zugfestigkeit und Dehnung beeinträchtigt werden und schließlich beim Überschreiten der Werkstofffestigkeit ein verformungsloser Bruch eintritt, stellt sich beim duktilen Gußeisen beim Fließen der metallischen Grundmasse eine über den ge-

samen Querschnitt gleichmäßige plastische Verformung ein und demzufolge eine beachtliche Dehnungsfähigkeit.

Der Rohrwerkstoff duktiles Gußeisen zeichnet sich neben einer hohen Zugfestigkeit und Streckgrenze durch eine beachtliche Dehnung aus. In der Norm DIN 28 600¹⁾ „Druckrohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen für Gas- und Wasserleitungen — Technische Lieferbedingungen“ sind folgende Mindestwerte festgelegt: Zugfestigkeit mind. 4000 kp/cm², Streckgrenze mind. 3000 kp/cm², Bruchdehnung mind. 10%. Die tatsächlich erreichten Werkstoffkennwerte liegen im Mittel erheblich höher.

Wie äußert sich die beachtliche Verformungsfähigkeit bzw. Dehnungsfähigkeit des duktilen Rohrwerkstoffes? Hierfür zunächst zwei einfache Beispiele: Schneidet man z. B. aus einem duktilen Gußrohr in Achsrichtung einen Stab heraus und unterwirft diesen anschließend in kaltem Zustand einem Torsionsversuch, so läßt sich der Stab mehrmals in sich drehen, also plastisch verformen, ohne anzureißen oder gar zu brechen. Einen derart kalt gedrehten Stab zeigt Bild 5.



Bild 5: Stab aus einem duktilen Gußrohr, in kaltem Zustand gedreht

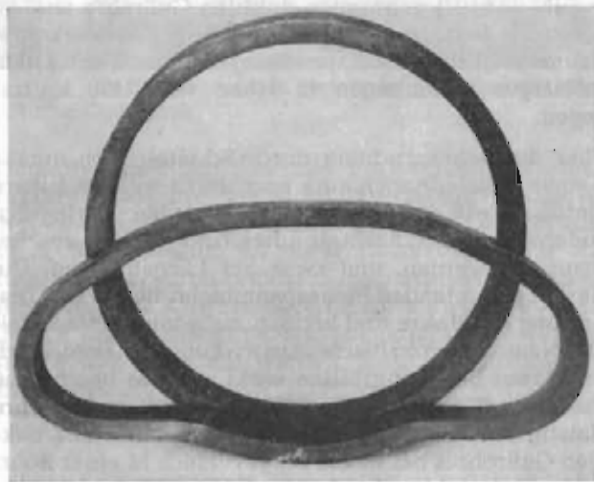


Bild 6: Ringabschnitt aus einem duktilen Gußrohr, senkrecht zur Rohrachse aufgeschnitten und vorderer Teil kalt verformt

Trennt man einen ganzen Ringabschnitt eines duktilen Gußrohres ab und schneidet ihn anschließend senkrecht zur Rohrachse so weit ein, daß nur noch ein kleines Verbindungsstück verbleibt, und verformt schließlich den vorderen Teil des Ringes in kaltem Zustand unter einer Presse, so erhält man ein Ergebnis, wie es im Bild 6 dargestellt ist. Die Größenordnung der hier erzielten plastischen Verformung wird beim Vergleich des vorderen kalt verformten Ringteiles mit dem unverformten hinteren Ringteil offen-

¹⁾ z. Z. noch Entwurf

sichtlich. Wie diese beiden einfachen Beispiele schon zeigen, läßt sich der Rohrwerkstoff duktiles Gußeisen infolge seines zähen Verhaltens plastisch verformen, ohne zu brechen.

Wie verhalten sich nun duktile Gußrohre in erdverlegten Rohrleitungen?

Erdverlegte Druckrohrleitungen sind vielfältigen Beanspruchungen von innen und außen ausgesetzt, die es auf die Dauer ohne Bruch auszuhalten gilt.

Verhalten duktiler Gußrohre bei inneren Belastungen

Erdverlegte Druckrohrleitungen werden im wesentlichen durch den Betriebsdruck des in ihnen geförderten Mediums beansprucht. Bei der Belastung durch Innendruck entstehen Spannungen in Umfangsrichtung, in radialer und — je nach Verlegeart — auch in achsialer Richtung. Um das Verhalten duktiler Gußrohre bei inneren Belastungen zu ermitteln, wurden Versuche bei Wasserinnendruck durchgeführt, bei denen der Druck jeweils bis zum Bersten der Rohre gesteigert wurde. Bei solchen Berstversuchen ergibt sich mit steigendem Innendruck, daß zunächst sichtbare plastische Verformungen eintreten, bis schließlich bei Überbeanspruchungen über die Berstfestigkeit hinaus eine Trennung des Werkstoffes eintritt. Aus Bild 7 ist das Berstverhalten eines duktilen Gußrohres mit der typischen Rißausbildung er-

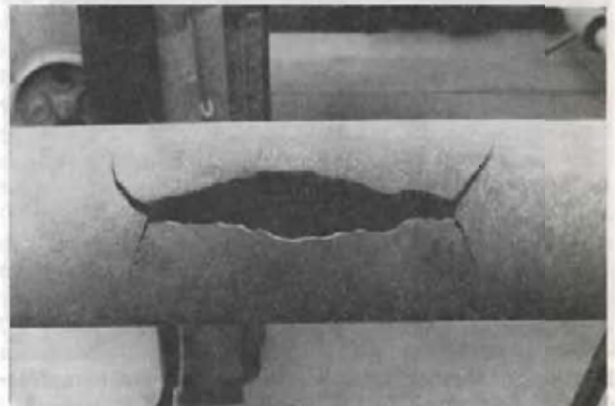


Bild 7: Berstversuch an einem duktilen Gußrohr, Vorderansicht der Rißstelle



Bild 8: Berstversuch an einem duktilen Gußrohr, Seitenansicht der Rißstelle

sichtlich; ein Längsriß mit kleinen Rißausläufern an seinen Enden. Bild 8 gibt die Ansicht des gleichen, aber um 90° gedrehten Rohres wieder; es läßt eindeutig erkennen, daß dem letztlich eintretenden Aufreißen des Rohres plastische Verformungen in Form von Aufweitungen infolge der guten Dehnungsfähigkeit des Rohrwerkstoffes vorausgegangen sind. Die zum Bersten erforderlichen Drücke²⁾ liegen bei duktilen Gußrohren in einem Bereich weit oberhalb üblicher Betriebsdrücke. Selbst Wasserschläge bzw. Druckstöße, die ein Vielfaches des Betriebsdruckes ausmachen können, erreichen nicht die Größenordnung der zur Zerstörung der Rohre erforderlichen Berstdrücke. In der Norm DIN 28 600³⁾ ist festgelegt, daß bei einem auf besondere Vereinbarung durchzuführenden Berstversuch die ermittelte Berstfestigkeit mind. 3000 kp/cm^2 betragen muß. Die Mindestberstfestigkeit duktiler Gußrohre liegt damit in der Größenordnung der ebenfalls genormten Mindeststreckgrenze des Rohrwerkstoffes.

Um zu erforschen, ob bei Innendruckbeanspruchungen die Belastungsgeschwindigkeit einen besonderen Einfluß auf das Verhalten duktiler Gußrohre hat, wurden sog. Sprengversuche durchgeführt. Im Innern duktiler Gußrohre wurden Sprengladungen in einer Größe angebracht, die ein Aufreißen der Rohre zur Folge hatte.

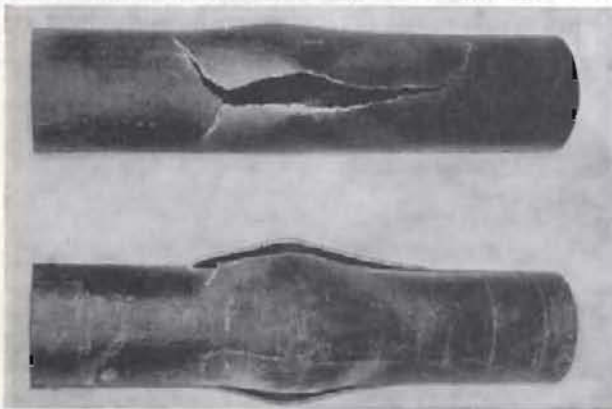


Bild 9: Sprengversuch an einem duktilen Gußrohr, Vorder- und Seitenansicht der Rißstellen

Ein derart zerstörtes Rohr zeigt Bild 9. Es ist zu erkennen, daß bei plötzlicher Überbeanspruchung praktisch das gleiche Bruchverhalten vorliegt wie bei einem Berstversuch, bei dem der Wasserinnendruck gleichsam stetig über einen Zeitraum von Sekunden bis Minuten auf den erforderlichen Berstdruck gesteigert wird. Um einen Begriff von der Größe der zum Aufreißen erforderlichen Sprengladung zu vermitteln, sei erwähnt, daß gegenüber Rohrwerkstoffen ohne sichtbare plastische Verformung die beim duktilen Gußeisen benötigten Sprengsätze mehr als das 10-fache betragen. Berst- und Sprengversuche haben eindeutig bewiesen, daß nur weit über den üblichen Betriebsdruckbereichen liegende Berstdrücke bzw. nur besonders große Sprengladungen duktile Gußrohre zum Bruch führen können, daß dem eintretenden Bruch jedoch beachtliche Verformungen vorausgehen

²⁾ z. B. bei NW 100: Berstdrücke bis zu 500 kp/cm^2
³⁾ z. Z. noch Entwurf

und daß das Verformungsvermögen praktisch unabhängig ist von der Belastungsgeschwindigkeit. Die nach Berst- und Sprengversuchen ermittelten Umfangsdehnungen liegen ebenfalls in einer vergleichsweise gleichen Größenordnung.

Verhalten duktiler Gußrohre bei äußeren Belastungen

Außer durch innere Belastungen wie durch Betriebsdruck, Wasserschläge bzw. Druckstöße werden erdverlegte Druckrohrleitungen auch noch durch äußere Lasten beansprucht, und zwar in der Hauptsache durch Erd- und Verkehrslasten. Während sich erstgenannte je nach Bodenart und Verlegetiefe in der Regel leicht erfassen lassen und diese auch über längere Zeit praktisch gleich bleiben, können letztgenannte insbesondere durch die sich ausweitende Bebauung und Besiedlung sowie durch den stetig wachsenden Verkehr nicht immer genau erfaßt werden. Die z. Z. des Baues einer Rohrleitung angenommene Verkehrsbelastung braucht nicht immer mit den zu einer späteren Zeit tatsächlich auftretenden Belastungen übereinzustimmen. Es muß mit neuen und steigenden Lasten gerechnet werden. Erd- und Verkehrslasten zusammen wirken als Scheitellasten auf die Rohrleitung ein und rufen im Rohr Spannungen in Umfangsrichtung hervor. Die Scheitellasten verursachen bestimmte Durchmesseränderungen, d. h. Verformungen des Rohres. Es liegt auf der Hand, daß duktiler Gußeisen diesen Belastungen eher gewachsen ist als ein nicht bzw. wenig verformungsfähiger Werkstoff. Die in DIN 28 610³⁾ genormten duktilen Gußrohre sind so berechnet worden, daß die durch Erd- und Verkehrslasten möglichen Beanspruchungen immer unter den zulässigen Spannungen in Höhe von 2400 kp/cm^2 liegen.

Über die Beanspruchung durch Scheitellasten hinaus können Rohrleitungen auch noch durch weitere äußere Einflüsse wie z. B. durch unsachgemäße Verlegung, Bodensenkungen, nachträgliches Untergraben etc. beansprucht werden, und zwar auf Längsbiegung. Die hierbei auftretenden Biegespannungen liegen in Achsrichtung der Rohre und können insbesondere bei kleinen Nennweiten kritische Auswirkungen haben. Auch bei diesen Belastungsfällen wirkt sich das beachtliche plastische Verformungsvermögen duktiler Gußrohre günstig aus. Bild 10 zeigt das Verhalten eines duktilen Gußrohres bei einem Biegeversuch in einer Rohrprüfpresse.



Bild 10: Biegeversuch an einem duktilen Gußrohr in einer Rohrprüfpresse

Die Verformbarkeit duktiler Gußrohre unter äußeren Belastungen läßt sich am besten durch einen sog. Ringfaltversuch bzw. Scheiteldruck-Biegeversuch an Ringen aus duktilen Gußrohren demonstrieren. In DIN 28 600^{*)} ist als eine Prüfung auf besondere Vereinbarung ein Ringfaltversuch an 30 mm breiten Rohrabschnitten vorgesehen. Der Rohrabschnitt wird beim Versuch, dessen Durchführung DIN 50 136 entspricht, zwischen zwei parallele Druckplatten gelegt und senkrecht zur Rohrachse so lange verformt, bis ein erster Anriß entsteht. Die bei der Versuchsauswertung ermittelte Bruchverformung läßt einen Schluß auf die mögliche Dehnungsfähigkeit zu. Bild 11 zeigt neben der Belastungsanordnung einen im Ringfaltversuch verformten Rohrabschnitt eines duktilen Gußrohres, bei dem jedoch noch kein Anriß erfolgte. Der

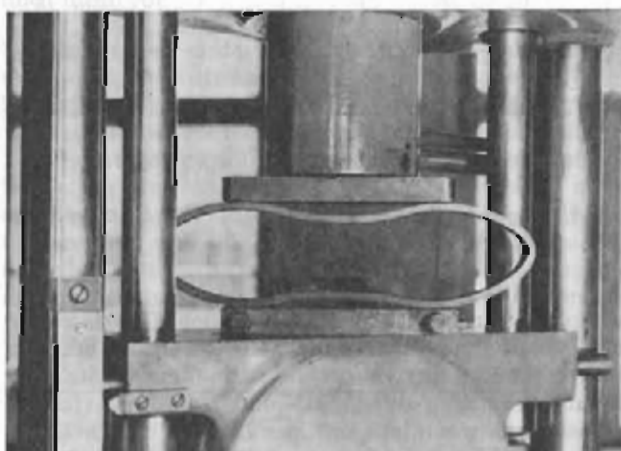


Bild 11: Im Ringfaltversuch verformter Ringabschnitt eines duktilen Gußrohres

Ringfaltversuch läßt das gute Verformungsvermögen duktiler Gußrohre bei Scheitelbelastung erkennen. Die Versuchsergebnisse machen deutlich, daß Brüche durch Scheitellasten an einer Druckrohrleitung aus duktilen Gußrohren praktisch ausgeschlossen sind, da derartig große Verformungen nicht auftreten können. Ortlich auftretende Spannungen, welche die Streckgrenze überschreiten, werden durch plastische Verformungen abgebaut.

Verhalten duktiler Gußrohre bei kombinierten Belastungen

Bei erdverlegten Druckrohrleitungen überlagern sich die Spannungen aus den äußeren Belastungen mit den Spannungen aus der Innendruckbelastung. Um das Zusammenwirken innerer und äußerer Belastungen, wie sie in der Praxis vorkommen, näher zu erfassen, wurden kombinierte Scheiteldruck-Innendruckversuche an Graugußrohren und duktilen Gußrohren durchgeführt. Bild 12 gibt das Schema der gewählten Prüfanordnung sowie den Versuchsaufbau selbst wieder. Die Versuchsergebnisse sind in Bild 13 in einem Diagramm zusammengetragen. Diese Versuche haben eindeutig bewiesen, daß mit steigendem Innendruck

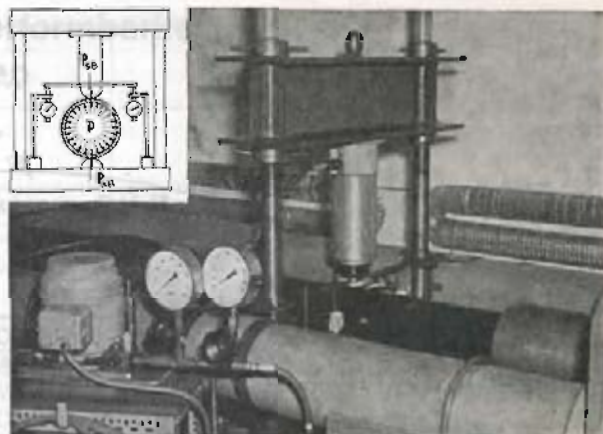


Bild 12: Prüfanordnung der Scheiteldruck-Innendruckversuche

die ertragbare Scheitellast zwar bei Graugußrohren infolge der geringen Verformbarkeit abnimmt, aber bei duktilen Gußrohren wegen ihres guten Verformungsvermögens bis zu einer bestimmten Innendruckspannung ansteigt, um erst bei relativ hohen Spannungen aus dem Innendruck auf den Ausgangswert zurückzugehen. Bei duktilen Gußrohren wirkt der Innendruck den möglichen Verformungen aus der Scheitellast entgegen, d. h. der Innendruck versucht, das Rohr aus der im Anfangsstadium der Belastung annähernd elliptischen Form in seine ursprüngliche kreisrunde Form zurückzubringen. Es entsteht ein mit Innendruck und Verformung wachsender Widerstand, welcher der Scheitelbelastung entgegenwirkt. Es baut sich gleichsam ein entgegengesetztes äußeres Stützmoment auf, so daß die ertragbare Scheitellast praktisch mit steigendem Innendruck wächst. Aus dem Diagramm Bild 13 geht hervor, daß das Maximum der Scheitellast bei einer aus dem Innendruck errechneten Spannung von etwa 1300 kp/cm² liegt. Mit diesem Wert als zulässigem Spannungswert sind die in DIN 28 610^{*)} genormten duktilen Gußrohre unter Berücksichtigung eines entsprechenden Sicherheitsbeiwertes gegen Innendruck berechnet worden. Aus dem Diagramm ist der positive Einfluß des guten Verformungsvermögens duktiler Gußrohre auf das Verhalten bei Einwirkungen von Scheitellasten eindeutig ersichtlich. Außerdem läßt sich erkennen, daß selbst im Laufe der Zeit ansteigende Betriebsdrücke von duktilen Gußrohren ohne weiteres aufgenommen werden können.

Zusammenfassung

Duktile Gußrohre sind eine echte Weiterentwicklung der altbekannten und bewährten Graugußrohre. Konnten letztere schon im Laufe der Jahrzehnte mit immer höheren Zugfestigkeiten ausgestattet werden, so ist bei den modernen duktilen Gußrohren der entscheidende Schritt gelungen, durch eine andersartige Gefügeausbildung einen Rohrwerkstoff herzustellen, der neben einer weiter erhöhten Zugfestigkeit zusätzlich noch eine große Zähigkeit und beachtliche Dehnung aufweist. Das gute Verformungsvermögen

^{*)} v. Z. Loch Entwurf

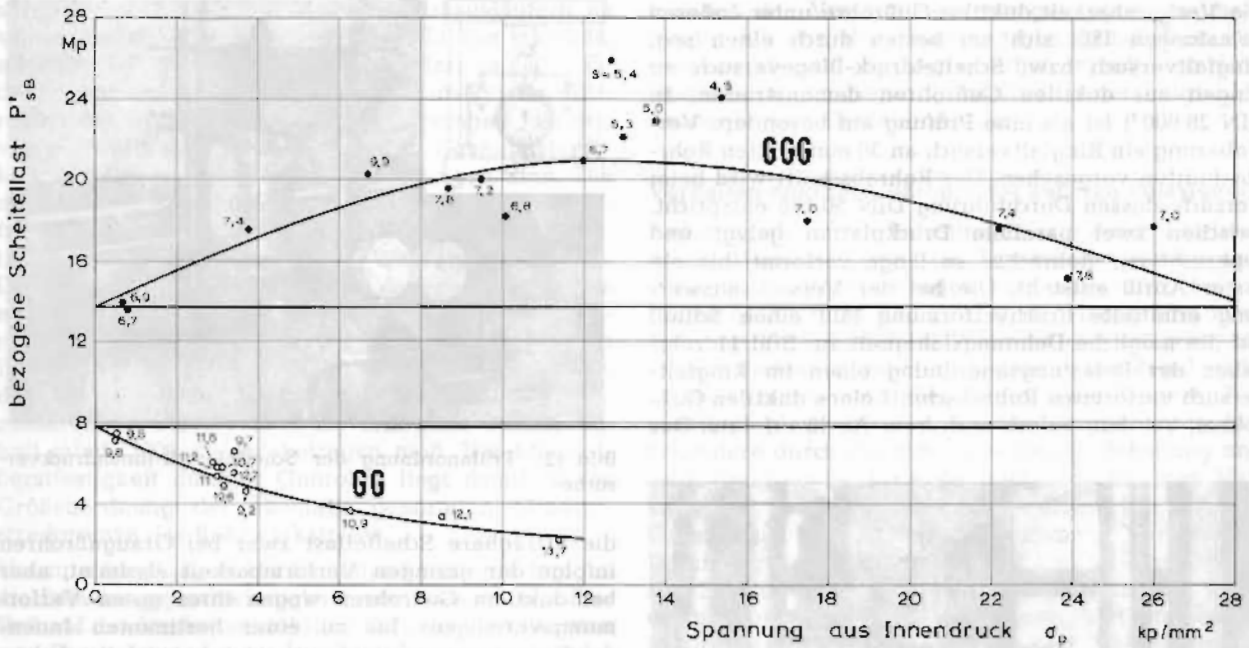


Bild 13: Abhängigkeit der bezogenen Bruchscheitellast von der Spannung aus dem Innendruck

duktiler Gußrohre erweist sich in bezug auf das Verhalten gegenüber inneren und äußeren sowie den daraus resultierenden kombinierten Belastungen als ausgesprochen günstig. Die bei erdverlegten Druckrohrleitungen vorkommenden Betriebsdrücke einschließlich möglicher Druckstöße sowie die durch Erd- und Verkehrslasten zusätzlich hervorgerufenen Scheitellasten bewegen sich in Größenordnungen, die von duktilen Gußrohren bei hinreichenden Sicherheitsreserven ohne weiteres aufgenommen werden. Gute Dehnungsfähigkeit bzw. Verformbarkeit kennzeichnen den zähen Charakter des Werkstoffes duktilen Guß-

eisen. Druckrohrleitungen aus duktilem Gußeisen, die mit hohen Innendrücken betrieben werden, besitzen hinreichende Reserven für die Aufnahme zusätzlicher Beanspruchungen durch Erd- und Verkehrslasten, ja selbst dann, wenn im Laufe der Zeit mit noch höheren Betriebsdrücken gefahren wird. Duktile Gußrohre sind in der Lage, örtliche Überbeanspruchungen durch sichtbare plastische Verformungen abzubauen. Sie verfügen damit über hervorragende Betriebseigenschaften und werden dem mit Recht bestehenden Sicherheitsbedürfnis in der Gas- und Wasserversorgung in jeder Weise — heute und in Zukunft — gerecht.

Die in den vergangenen Jahren durchgeführten Untersuchungen haben ergeben, daß die durch die innere und äußere Belastung hervorgerufenen Spannungen in den Rohrwänden bei den üblichen Betriebsdrücken und den durch die Erd- und Verkehrslasten verursachten Überbeanspruchungen im Bereich der dünnwandigen Rohrwände nicht die zulässigen Werte überschreiten. Die durch die innere und äußere Belastung hervorgerufenen Spannungen in den Rohrwänden sind bei den üblichen Betriebsdrücken und den durch die Erd- und Verkehrslasten verursachten Überbeanspruchungen im Bereich der dünnwandigen Rohrwände nicht die zulässigen Werte überschreiten.

Die durch die innere und äußere Belastung hervorgerufenen Spannungen in den Rohrwänden sind bei den üblichen Betriebsdrücken und den durch die Erd- und Verkehrslasten verursachten Überbeanspruchungen im Bereich der dünnwandigen Rohrwände nicht die zulässigen Werte überschreiten. Die durch die innere und äußere Belastung hervorgerufenen Spannungen in den Rohrwänden sind bei den üblichen Betriebsdrücken und den durch die Erd- und Verkehrslasten verursachten Überbeanspruchungen im Bereich der dünnwandigen Rohrwände nicht die zulässigen Werte überschreiten.

Beitrag zur Frage der Ermittlung der Verformbarkeit von Druckrohren aus duktilem Gußeisen

Von HEINZ LOITZENBAUER

Die Verformbarkeit eines metallischen Werkstoffes wird im allgemeinen nach der im Zugversuch an bearbeiteten Proben ermittelten Bruchdehnung beurteilt. Mit diesem Wert kann man unterschiedliche Werkstoffe oder Werkstoffsorten miteinander vergleichen. Soll die Verformbarkeit eines Werkstückes gekennzeichnet werden, so muß im Prüfverfahren der Einfluß der geometrischen Form und der Oberflächenbeschaffenheit im Gebrauchszustand berücksichtigt werden. Ein technologisches Prüfverfahren hierzu liegt noch nicht vor.

Wegen seiner einfachen Durchführung und wegen des geringen Aufwandes bei der Probenherstellung bietet sich für diesen Zweck der genormte [1] Ringfaltversuch an. Bei dieser Prüfung wird ein Rohrabschnitt zwischen zwei parallele Druckplatten gelegt und so lange verformt bis ein Anriß entsteht. Dabei muß ein bestimmter Plattenabstand z in mm unterschritten werden, um ein Rohr als frei von unzulässigen Oberflächenfehlern an den Stellen hoher Beanspruchung und als ausreichend verformbar bezeichnen zu

können. Der Plattenabstand z errechnet sich aus der Gleichung

$$z = \frac{(1+c)s}{c + \frac{s}{D_a}} \quad [1] [2] [3] [4] \quad (1)$$

Dabei bedeuten s die Rohrwanddicke in mm, D_a den Außendurchmesser des Rohres in mm und c eine Werkstoffkenngröße [2]. Nach der Erläuterung in DIN 50136 bezeichnet c rechnerisch die Dehnung des Werkstoffes in der äußeren Faser an der Stelle I (Bild 1). Wie sich jedoch zeigen läßt, gilt Gleichung (1) nur dann, wenn sich der Rohrabschnitt beim Versuch so verformt, wie in Bild 1 angedeutet. Danach wäre das Biegemoment in den beiden äußeren Halbkreisen gleichmäßig hoch und würde sich an den Übergangsstellen zum geraden Teil sprunghaft in seiner Drehrichtung umkehren. Tatsächlich verformt sich jedoch der Ring unter Scheitellast ähnlich, wie im Bild 2 schematisch dargestellt. An den Stellen I und II bilden sich zwei entgegengesetzt gerichtete Höchstwerte des Biegemomentes aus. Dazwischen verändert es sich stetig.

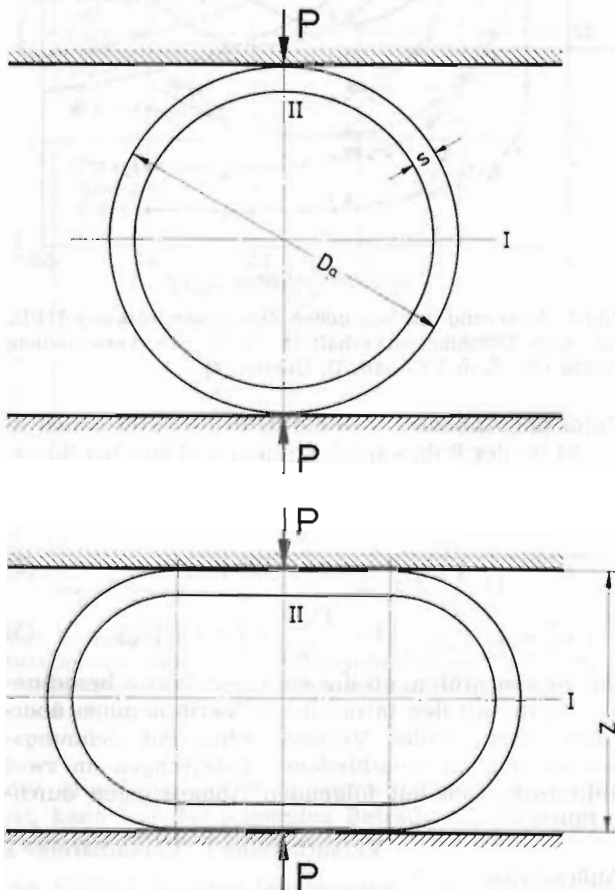
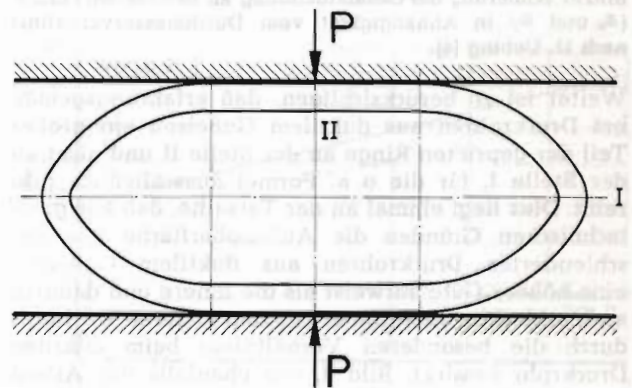


Bild 1: Für die Berechnung der Zusammendrückung nach DIN 50 136, Erläuterungen, angenommene Verformung eines Ringes bei Scheitellast (schematisch)

a.) Kleine Last



b.) Große Last

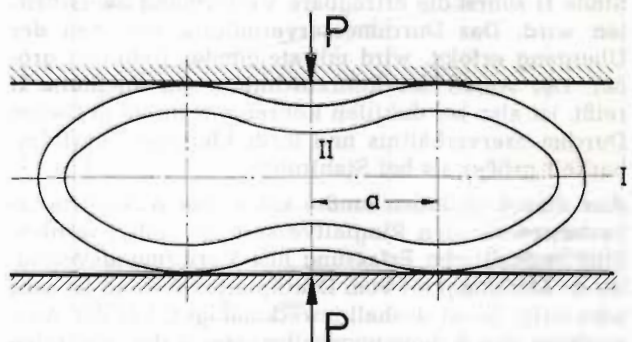


Bild 2: Tatsächliche Verformung eines Ringes bei Scheitellast (schematisch)

D. Uebing [4] hat die tatsächlich auftretenden Dehnungen an den Stellen I und II bei Erreichen des Soll-Plattenabstandes ermittelt. Wie Bild 3 zeigt, hängen sie stark vom Durchmesser Verhältnis des geprüften Rohres ab. Abschnitte aus dünnwandigen Rohren werden an der Stelle I stärker beansprucht, solche aus dickwandigen Rohren an der Stelle II. Daraus ergibt sich, daß verschiedene dickwandige Rohre unterschiedlich geprüft werden, die Schärfe der Prüfung aber nicht in einem Verhältnis zur Verformungsfähigkeit steht. Dies ist beim herkömmlichen Ringfaltversuch von untergeordneter Bedeutung, da er in erster Linie der Feststellung von makroskopischen Außen- und Innenfehlern dient. Soll jedoch, wie im vorliegenden Fall, ein Kennwert für die Verformbarkeit ermittelt werden, so ist eine Auswertung der Versuche unter Verwendung der oben angegebenen Formel, nach c aufgelöst, zu ungenau.

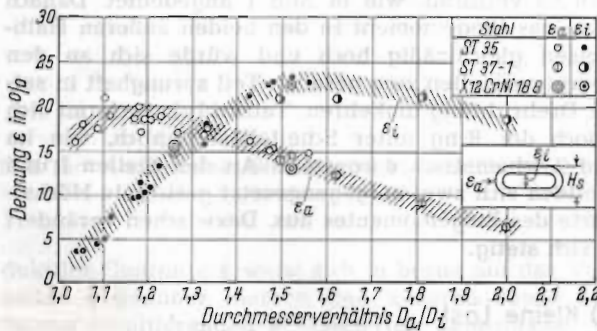


Bild 3: Änderung der Gesamtdehnung an den Stellen I und II (ϵ_a und ϵ_i) in Abhängigkeit vom Durchmesser Verhältnis nach D. Uebing [4].

Weiter ist zu berücksichtigen, daß erfahrungsgemäß bei Druckrohren aus duktilem Gußeisen ein großer Teil der geprüften Ringe an der Stelle II und nicht an der Stelle I, für die o. a. Formel ausschließlich gilt, reißt. Dies liegt einmal an der Tatsache, daß aus gießtechnischen Gründen die Außenoberfläche von geschleuderten Druckrohren aus duktilem Gußeisen eine höhere Güte aufweist als die innere und dadurch auch schlechter verformbar ist, zum anderen wird dies durch die besonderen Verhältnisse beim duktilen Druckrohr bewirkt. Bild 4, das ebenfalls der Arbeit von D. Uebing [4] entnommen ist, zeigt, daß bei Steigerung der Zusammendrückung bei kleinem Durchmesser Verhältnis an Stelle I und bei großem an Stelle II zuerst die ertragbare Verformung überschritten wird. Das Durchmesser Verhältnis, bei dem der Übergang erfolgt, wird mit steigender Dehnung größer. Der Anteil der Rohrabschnitte, der an Stelle II reißt, ist also bei duktilen Rohren mit ihrem größeren Durchmesser Verhältnis und ihrer kleineren Verformbarkeit größer als bei Stahlrohren.

Aus diesen Gründen mußte ein neues Auswertungsverfahren für den Ringfaltversuch gefunden werden. Eine rechnerische Erfassung des Verformungsverlaufes in Abhängigkeit vom Druckplattenabstand ist sehr schwierig. Es ist deshalb zweckmäßiger, bei der Auswertung den Krümmungshalbmesser ρ der neutralen Faser an der Stelle des ersten Anrisses nach Entlastung zu messen und daraus die bleibende Ver-

formung ϵ_a' bzw. ϵ_i' , je nachdem der Riß an Stelle I oder Stelle II auftritt, zu berechnen. Zu bemerken ist, daß davon unterschiedlich bei Stahlrohren durch Messung des Plattenabstandes beim ersten Anriß die Gesamtverformung und nicht die bleibende berücksichtigt wird.

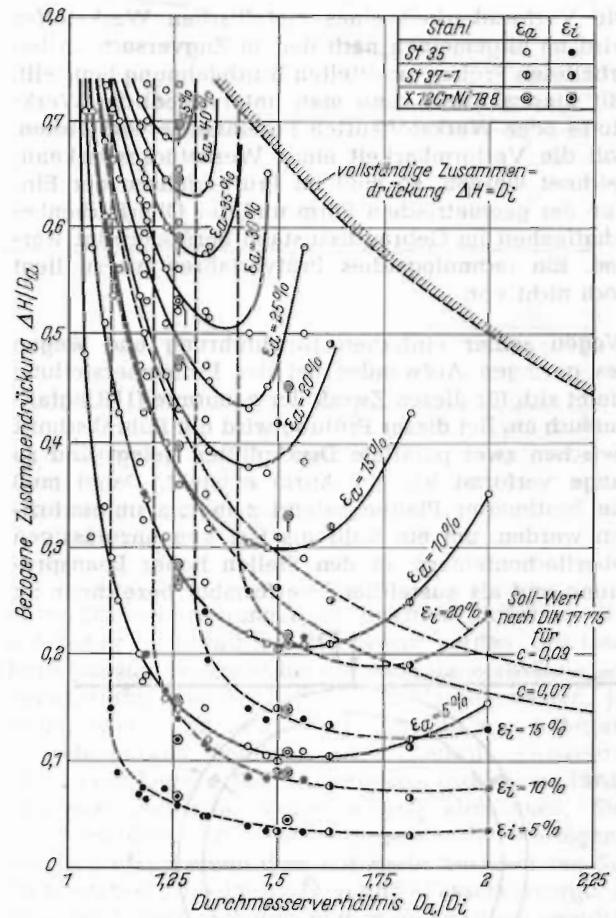


Bild 4: Änderung der bezogenen Zusammendrückung $\Delta H/D_a$ mit dem Durchmesser Verhältnis D_a/D_i für verschiedene Werte von ϵ_a und ϵ_i nach D. Uebing [4].

Unter der Annahme, daß die neutrale Faser genau in der Mitte der Rohrwanddicke liegt und sich bei Biegebeanspruchung nicht verschiebt, ergeben sich aus geometrischen Überlegungen folgende Gleichungen:

$$\epsilon_a' = \frac{s}{D_a} \left(\frac{D_a - s}{2 \rho} - 1 \right) \cdot 100 [\%] \quad (2)$$

$$\epsilon_i' = \frac{s}{D_a - 2s} \left(1 - \frac{D_a - s}{2 \rho} \right) \cdot 100 [\%] \quad (3)$$

Um zu überprüfen, ob die auf diese Weise berechneten Werte mit den tatsächlichen Verformungen übereinstimmen, wurden Versuchsreihen mit Dehnungsmeßstreifen bei verschiedenen Belastungen an zwei Rohrabschnitten mit folgenden Abmessungen durchgeführt:

	Versuchsreihe 1	Versuchsreihe 2
Außendurchmesser D_a in mm	169,7	219,8
Wanddicke s in mm	5,4	6,6
Ringbreite in mm	37,3	26,1

Da mit Dehnungsmeßstreifen eine Messung der bleibenden Verformung nach dem Bruch nicht möglich ist, wurde bei verschiedenen Belastungen die Gesamtverformung und gleichzeitig der Krümmungshalbmesser gemessen. Die daraus berechneten Dehnungswerte stimmen, wie Bild 5 zeigt, gut mit den gemessenen überein. Die Punkte streuen gleichmäßig um die 45°-Gerade. Wie weit diese Streuung durch Fehler bei

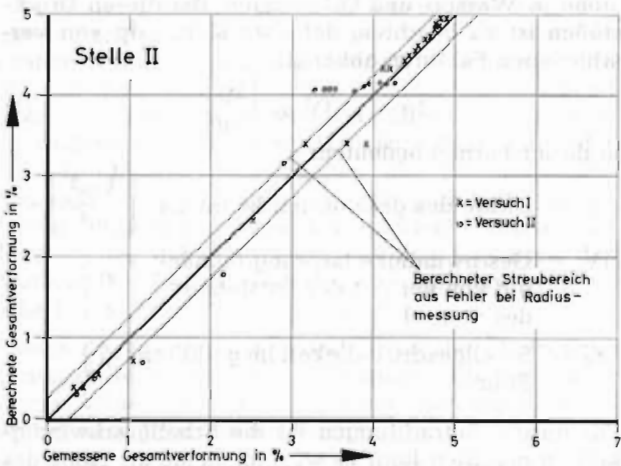
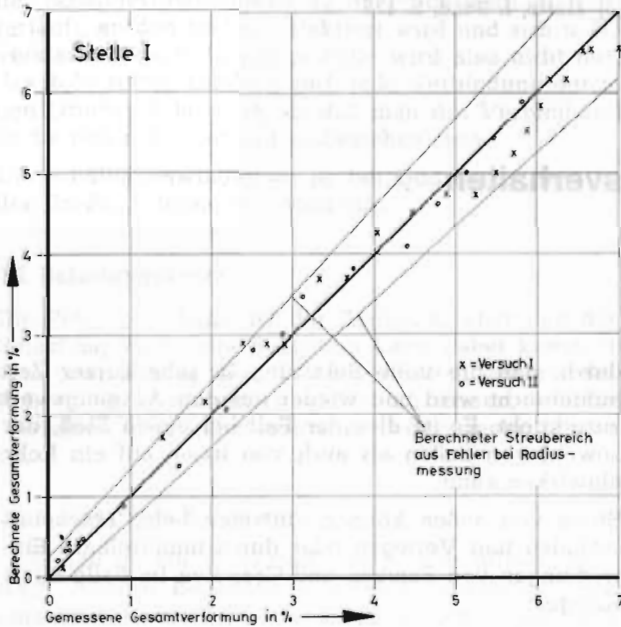


Bild 5: Gegenüberstellung der aus dem Krümmungsradius berechneten und mit Dehnungsmeßstreifen gemessenen Verformungswerte an Rohrabschnitten von Druckrohren aus duktilem Gußeisen

der Ermittlung des Krümmungshalbmessers bedingt ist, kann aus der folgenden Betrachtung abgeschätzt werden:

An Stelle I ist nach Schätzungen der Fehler für die Radiusmessung f_{ρ} etwa 8 v. H.

$$f_{\rho} = 0,08 \rho \quad (4)$$

An Stelle II wurden folgende absolute Fehler geschätzt:

ρ	f_{ρ}
100	± 8
200	± 30
500	± 200
1000	± 500

Diesen Werten entspricht etwa die Gleichung

$$f_{\rho} = 8 \cdot 10^{-4} \rho^2 \quad (5)$$

Mit Hilfe der Fehlerfortpflanzungsformel [5] kann man daraus die Fehler von ϵ_1' und ϵ_2' berechnen.

$$f_{\epsilon_1'} = 0,08 \epsilon_1 + 0,0025 \quad (6)$$

$$f_{\epsilon_2'} = 0,003 \quad (7)$$

Wie aus Bild 5 ersichtlich ist, liegen fast sämtliche Meßwerte in diesem Streubereich.

Im Bild 6 kommt es bei der Stelle II zu einem Ab-schwenken der Kurve nach oben. Dies erklärt sich aus der Tatsache, daß sich die Scheitellinie des Ringes von der Druckplatte abhebt (Bild 2). Dabei teilt sich die Kräfteinbringungslinie, und die beiden neuen Linien wandern nach außen. Dadurch wirkt auf Stelle II ein Moment, das sich aus der Kraft $P/2$ und dem Abstand a ergibt und dem Biegemoment an Stelle I entgegengerichtet ist. Die Kurve erhält dadurch eine größere Steigung. Im Versuch ist zu beobachten, daß das Abknicken der Kurve auch genau mit dem Abheben der Scheitellinie zusammenfällt.

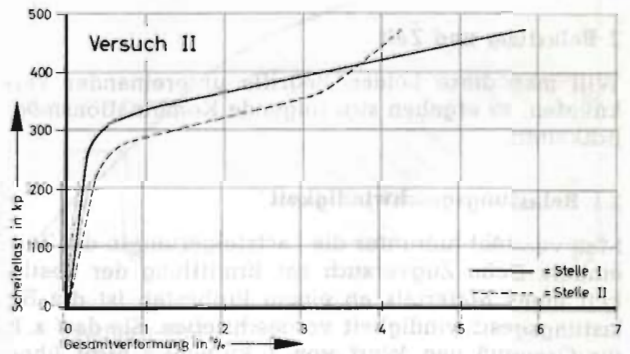
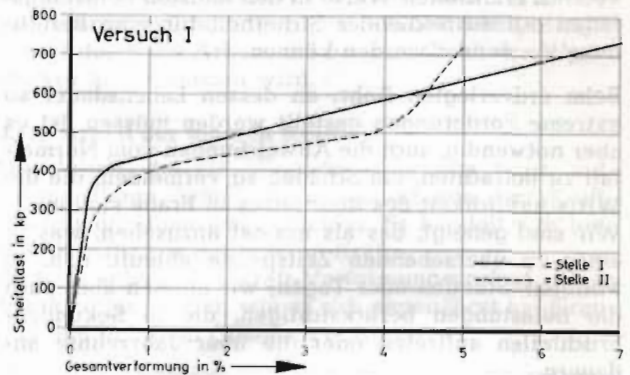


Bild 6: Scheitellast-Verformungs-Bild der Versuche I und II mit Rohrabschnitten von Druckrohren aus duktilem Gußeisen

Zusammenfassung:

Die Anwendbarkeit des Ringfaltversuches nach DIN 50136 zur Ermittlung eines technologischen Kennwertes für die Verformbarkeit von Druckrohren aus duktilem Gußeisen wird untersucht. Mit einem auf diesen Zweck abgestimmten Auswerteverfahren kann man durch Messung des Krümmungshalbmessers beim 1. Anriß nach Entlastung die bleibende Dehnung als Kenngröße für die Verformbarkeit des Rohres mit ausreichender Genauigkeit berechnen.

Schrifttum:

- [1] DIN 50136 — Prüfung metallischer Werkstoffe, Ringfaltversuch an Rohren —, Ausgabe Juli 1964
- [2] DIN 17175 — Nahtlose Rohre aus warmfesten Stählen, Technische Lieferbedingungen —, Ausgabe Januar 1959
- [3] K. Wellinger u. D. Uebing, Mitt. Verein. Großkesselbes. Nr. 66, 1960, S. 148/150
- [4] D. Uebing, Arch. Eisenhüttenwes. 38 (1967), S. 729/734
- [5] Hütte, I. Band, S. 175

Der Einfluß der Zeit auf das Festigkeitsverhalten am Beispiel gußeiserner Rohre

Von HANSGEORG HEIN

1 Einleitung

Das Festigkeitsverhalten eines Werkstoffes wird im allgemeinen durch Zahlen gekennzeichnet, die die Spannung eines Prüfkörpers bei einem bestimmten Verformungszustand wiedergeben. Diese Zahlen sind statischer Natur, und man kann ihnen in den meisten Fällen nicht ansehen, wie sie sich bei verschiedener Dauer der Beanspruchungen verändern. Es muß allerdings gesagt werden, daß die statisch im Kurzzeitversuch ermittelten Werte in den meisten Belastungsfällen mit ausreichender Sicherheit für eine Berechnung verwendet werden können.

Beim erdverlegten Rohr, an dessen Lebensdauer so extreme Forderungen gestellt werden müssen, ist es aber notwendig, auch die Abweichungen vom Normalfall zu betrachten, um Schäden zu vermeiden, die die Wirtschaftlichkeit des Rohrnetzes in Frage stellen.

Wir sind geneigt, das als normal anzusehen, was in einer zu übersiehenden Zeitspanne abläuft, d. h. in Minuten, Stunden oder Tagen; wir müssen aber auch die Belastungen berücksichtigen, die in Sekundenbruchteilen auftreten oder die über Jahrzehnte andauern.

2 Belastung und Zeit

Will man diese beiden Begriffe untereinander verknüpfen, so ergeben sich folgende Kombinationsmöglichkeiten.

2.1 Belastungsgeschwindigkeit

Man versteht hierunter die Laststeigerung in der Zeiteinheit. Beim Zugversuch zur Ermittlung der Festigkeit eines Materials an einem Probestab ist die Belastungsgeschwindigkeit vorgeschrieben. Sie darf z. B. für Grauguß den Wert von 1 kp/mm²/s nicht überschreiten (siehe DIN 50 109), da sonst die Ergebnisse verfälscht würden. In der Praxis treten aber nun Werte auf, die um Zehnerpotenzen höher liegen, da-

durch, daß die volle Belastung in sehr kurzer Zeit aufgebracht wird und wieder auf den Ausgangswert zurückgeht. Es ist dies der Fall bei einem Stoß, der sowohl von außen als auch von innen auf ein Rohr einwirken kann.

Stöße von außen können auftreten beim Transport, Abladen und Verlegen oder durch unmittelbare Einwirkungen von Bomben und Granaten im Falle eines Krieges.

Stöße im Innern eines Rohres sind in der Regel Druckstöße in Wasser- und Ölleitungen. Bei diesen Druckstößen ist zu beachten, daß ihre Höhe Δp von verschiedenen Faktoren abhängt:

$$\Delta p = \rho \Delta V a_R \left[\frac{\text{kp}}{\text{m}^2} \right] \quad (1)$$

In dieser Formel bedeuten:

$$\begin{aligned} \rho &= \text{Dichte des geförderten Mediums} \left[\frac{\text{kps}^2}{\text{m}^4} \right] \\ \Delta V &= \text{Geschwindigkeitssprung (abhängig von der Art der Entstehung des Stoßes)} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \\ a_R &= \text{Schallgeschwindigkeit im gefüllten Rohr} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \end{aligned}$$

Für unsere Betrachtungen ist die Schallgeschwindigkeit im gefüllten Rohr a_R wichtig, da sie die Höhe des Druckstoßes direkt bestimmt:

$$a_R = \sqrt{\frac{1}{1/E_w + d/ES} \frac{1}{\rho}} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (2)$$

hierin ist

$$\begin{aligned} E_w &= \text{E-Modul des Mediums} \left[\frac{\text{kp}}{\text{m}^2} \right] \\ E &= \text{E-Modul des Rohrmaterials} \left[\frac{\text{kp}}{\text{m}^2} \right] \\ d &= \text{Rohrdurchmesser} \quad [\text{m}] \\ s &= \text{Rohrwalldicke} \quad [\text{m}] \end{aligned}$$

Zusammenfassung:

Die Anwendbarkeit des Ringfaltversuches nach DIN 50136 zur Ermittlung eines technologischen Kennwertes für die Verformbarkeit von Druckrohren aus duktilem Gußeisen wird untersucht. Mit einem auf diesen Zweck abgestimmten Auswerteverfahren kann man durch Messung des Krümmungshalbmessers beim 1. Anriß nach Entlastung die bleibende Dehnung als Kenngröße für die Verformbarkeit des Rohres mit ausreichender Genauigkeit berechnen.

Schrifttum:

- [1] DIN 50136 — Prüfung metallischer Werkstoffe, Ringfaltversuch an Rohren —, Ausgabe Juli 1964
- [2] DIN 17175 — Nahtlose Rohre aus warmfesten Stählen, Technische Lieferbedingungen —, Ausgabe Januar 1959
- [3] K. Wellinger u. D. Uebing, Mitt. Verein. Großkesselbes. Nr. 66, 1960, S. 148/150
- [4] D. Uebing, Arch. Eisenhüttenwes. 38 (1967), S. 729/734
- [5] Hütte, I. Band, S. 175

Der Einfluß der Zeit auf das Festigkeitsverhalten am Beispiel gußeiserner Rohre

Von HANSGEORG HEIN

1 Einleitung

Das Festigkeitsverhalten eines Werkstoffes wird im allgemeinen durch Zahlen gekennzeichnet, die die Spannung eines Prüfkörpers bei einem bestimmten Verformungszustand wiedergeben. Diese Zahlen sind statischer Natur, und man kann ihnen in den meisten Fällen nicht ansehen, wie sie sich bei verschiedener Dauer der Beanspruchungen verändern. Es muß allerdings gesagt werden, daß die statisch im Kurzzeitversuch ermittelten Werte in den meisten Belastungsfällen mit ausreichender Sicherheit für eine Berechnung verwendet werden können.

Beim erdverlegten Rohr, an dessen Lebensdauer so extreme Forderungen gestellt werden müssen, ist es aber notwendig, auch die Abweichungen vom Normalfall zu betrachten, um Schäden zu vermeiden, die die Wirtschaftlichkeit des Rohrnetzes in Frage stellen.

Wir sind geneigt, das als normal anzusehen, was in einer zu übersiehenden Zeitspanne abläuft, d. h. in Minuten, Stunden oder Tagen; wir müssen aber auch die Belastungen berücksichtigen, die in Sekundenbruchteilen auftreten oder die über Jahrzehnte andauern.

2 Belastung und Zeit

Will man diese beiden Begriffe untereinander verknüpfen, so ergeben sich folgende Kombinationsmöglichkeiten.

2.1 Belastungsgeschwindigkeit

Man versteht hierunter die Laststeigerung in der Zeiteinheit. Beim Zugversuch zur Ermittlung der Festigkeit eines Materials an einem Probestab ist die Belastungsgeschwindigkeit vorgeschrieben. Sie darf z. B. für Grauguß den Wert von 1 kp/mm²/s nicht überschreiten (siehe DIN 50 109), da sonst die Ergebnisse verfälscht würden. In der Praxis treten aber nun Werte auf, die um Zehnerpotenzen höher liegen, da-

durch, daß die volle Belastung in sehr kurzer Zeit aufgebracht wird und wieder auf den Ausgangswert zurückgeht. Es ist dies der Fall bei einem Stoß, der sowohl von außen als auch von innen auf ein Rohr einwirken kann.

Stöße von außen können auftreten beim Transport, Abladen und Verlegen oder durch unmittelbare Einwirkungen von Bomben und Granaten im Falle eines Krieges.

Stöße im Innern eines Rohres sind in der Regel Druckstöße in Wasser- und Ölleitungen. Bei diesen Druckstößen ist zu beachten, daß ihre Höhe Δp von verschiedenen Faktoren abhängt:

$$\Delta p = \rho \Delta V a_R \left[\frac{\text{kp}}{\text{m}^2} \right] \quad (1)$$

In dieser Formel bedeuten:

$$\begin{aligned} \rho &= \text{Dichte des geförderten Mediums} \left[\frac{\text{kps}^2}{\text{m}^4} \right] \\ \Delta V &= \text{Geschwindigkeitssprung (abhängig von der Art der Entstehung des Stoßes)} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \\ a_R &= \text{Schallgeschwindigkeit im gefüllten Rohr} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \end{aligned}$$

Für unsere Betrachtungen ist die Schallgeschwindigkeit im gefüllten Rohr a_R wichtig, da sie die Höhe des Druckstoßes direkt bestimmt:

$$a_R = \sqrt{\frac{1}{1/E_w + d/ES} \frac{1}{\rho}} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (2)$$

hierin ist

$$\begin{aligned} E_w &= \text{E-Modul des Mediums} \left[\frac{\text{kp}}{\text{m}^2} \right] \\ E &= \text{E-Modul des Rohrmaterials} \left[\frac{\text{kp}}{\text{m}^2} \right] \\ d &= \text{Rohrdurchmesser} \quad [\text{m}] \\ s &= \text{Rohrwanddicke} \quad [\text{m}] \end{aligned}$$

Man sieht, daß die Höhe der Schallgeschwindigkeit a_R und damit die Höhe des Druckstoßes Δp nicht nur von dem E-Modul des Rohres, sondern auch von den Abmessungen des Rohres abhängt. Es wäre allerdings falsch, von der Höhe des im Rohr entstehenden Druckstoßes auf die Eignung eines Rohres gegenüber stoßartiger Belastung zu schließen; hierfür sind ausschließlich die Festigkeiten maßgebend (s. u.).

Eine Besonderheit des Druckstoßes ist die, daß er mit der Schallgeschwindigkeit a_R im Fördermedium weiterläuft, an den Enden reflektiert wird und sich u. U. verstärken kann. In jedem Falle wird also nicht nur das Rohr selbst, sondern auch jede Verbindung durch den Druckstoß belastet, so daß man die Verbindung in die Betrachtungen mit einbeziehen muß.

Die Schallgeschwindigkeit a_R bei Gußrohren liegt in der Größenordnung von 1000 m/s.

2.2 Belastungsdauer

Die Belastungsdauer ist der Zeitraum, über den die Belastung wirkt; die Belastung kann dabei konstant sein oder sich in ihrer Höhe periodisch ändern. Bei Rohren ist es besonders wichtig zu wissen, wie ihr Verhalten über Zeiträume von 50 oder mehr Jahren ist.

2.2.1 Konstante Belastung

Gußeisen ist ein Werkstoff, der in Kristallform vorliegt. Äußere Belastungen werden innerhalb jedes einzelnen Kristalles dadurch aufgefangen, daß sich die Molekülschichten elastisch gegeneinander verschieben und dadurch die Anziehungskräfte zwischen den einzelnen Molekülen verstärken. Bei weiterer Laststeigerung werden die inneren Anziehungskräfte überschritten, und es kommt zu einer Verschiebung von Molekülschichten gegeneinander, bis eine neue Gleichgewichtslage erreicht ist. Dies führt entweder zum Bruch oder zum Fließen des Materials. Die Spannung, bei der dieser Vorgang eintritt, ist bei Grauguß die Bruchgrenze, bei duktilem Gußeisen die Fließgrenze; d. h. daß beim duktilen Gußeisen das Material zu fließen beginnt, ohne daß eine wesentliche Laststeigerung notwendig ist.

Liegen die Spannungen jedoch unter der Fließ- bzw. Bruchgrenze, so wird eine Belastung auch über lange Zeiten keine Verformung oder ein Nachlassen der zu ertragenden Spannungen bewirken.

Bei Werkstoffen, deren Aufbau nicht oder nur wenig kristallin ist, kann es vorkommen, daß das Material unter der Last fließt oder daß die zu ertragende Spannung mit der Zeit abnimmt. Für diese Stoffe ist es wichtig, die Zeitfunktion der Abnahme der Festigkeit zu kennen, da sich danach die Dimensionierung für einen fernen Zeitraum richten muß.

2.2.2 Wechselnde Belastung

Neben der konstanten Belastung tritt sehr oft der Fall der periodisch wechselnden Belastung auf. Die Anzahl der Lastwechsel nennt man die Lastspielzahl, und es ist bekannt, daß die Bruchfestigkeit eines

Materials mit wachsender Lastspielzahl abnimmt und ab einer bestimmten Lastspielzahl einen konstanten Wert hat.

Solche periodischen Belastungen treten in Leitungen dann auf, wenn diskontinuierlich gefördert wird. Die Zeit für ein Lastspiel kann dabei zwischen Minuten, Stunden und Wochen schwanken.

3 Dimensionierung und Sicherheitsbeiwert

Aus den vorgegebenen Belastungen lassen sich meist in einfacher Form die Spannungen berechnen, denen ein Bauteil unterworfen ist. Diese Spannungen müssen nun mit denjenigen verglichen werden, die für die jeweilige Beanspruchungsart und Dauer für den einzelnen Werkstoff charakteristisch sind. Der Quotient der vorgegebenen und der errechneten Spannung ist der Sicherheitsbeiwert, dessen Größe von den verschiedensten Faktoren abhängt.

Der Sicherheitsbeiwert soll die Unsicherheiten in der Ermittlung der Spannung, der Werkstoffkennwerte und Ungenauigkeiten in der Fertigung abdecken. Bei Leitungen ist er abhängig vom geförderten Medium, d. h. von der Gefahr, die beim Versagen einer Leitung von diesem ausgeht. Ferner ist für den Sicherheitsbeiwert die Beanspruchungsart und die geforderte Lebensdauer von Einfluß; seine obere Grenze ist durch die Wirtschaftlichkeit des Bauteiles gegeben.

3.1 Einfluß der Belastungsgeschwindigkeit

Es sei hier, wie in 2.1 erwähnt, besonders das Problem des Stoßes behandelt. Es hat sich herausgestellt, daß für die Beurteilung des Verhaltens eines Werkstoffes bei stoßartigen Belastungen sein Formänderungsvermögen herangezogen werden kann, ausgedrückt durch die Arbeit, die bis zum Bruch des Werkstückes aufgenommen wird.

3.1.1 Arbeit der inneren Kräfte U

Die Arbeit, die ein Werkstück bis zum Bruch aufnehmen kann, läßt sich angenähert aus dem Kraft-Verformungsdiagramm ableiten. Es handelt sich hier um die Arbeit U der inneren Kräfte.

Bild 1 gibt den Kraft-Verformungsverlauf eines Werkstoffes wieder, wie er sich angenähert bei Grauguß und duktilem Gußeisen einstellt.

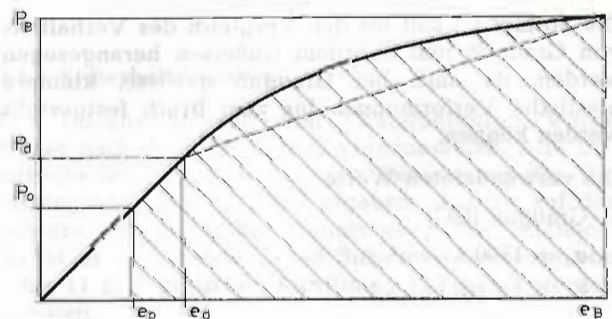


Bild 1

P_B = Bruchlast [kp]

P_d = Last bis zum Bereich an der Elastizitätsgrenze [kp]

P_0 = Last aus Betrieb [kp]

e = entsprechende Verformung [cm]

Aus der Definition der Arbeit als $\int_{P_0}^{P_B} P \, de$ ergibt sich

$$U = \frac{1}{2} (P_d \epsilon_d - P_0 \epsilon_0) + \frac{1}{2} (P_B + P_d) (\epsilon_B - \epsilon_d) \text{ [cm kp]} \quad (3)$$

Der erste Ausdruck ist der elastische Anteil der aufgenommenen Arbeit, der zweite Ausdruck ist der angenäherte Anteil an Arbeit, der sich aus der Duktilität des Materials ergibt.

Führt man in die Gleichung (3) die Spannungen σ , die Dehnungen ϵ und die Abmessungen des Rohres ein, so erhält man

$$U = \frac{1}{2} V_R [(\sigma_d \epsilon_d - \sigma_0 \epsilon_0) + (\sigma_B + \sigma_d) (\epsilon_B - \epsilon_d)] \text{ [cm kp]} \quad (4)$$

Die Indizes haben die gleiche Bedeutung wie in Gleichung (3). V_R ist das Volumen des betrachteten Rohrstückes der Länge l .

$$V_R = \pi d s l \text{ [cm}^3\text{]}$$

Bezieht man die innere Arbeit U auf das in Betracht gezogene Volumen V_R und ersetzt gleichzeitig ϵ nach dem Hookeschen Gesetz durch den Elastizitätsmodul E , so erhält man

$$\frac{U}{V_R} = \frac{1}{2} \left[\frac{\sigma_d^2}{E} - \frac{\sigma_0^2}{E} + (\sigma_B + \sigma_d) (\epsilon_B - \epsilon_d) \right] \left[\frac{\text{cm kp}}{\text{cm}^3} \right] \quad (5)$$

Für die Untersuchung eines kurzzeitigen Schlages soll die Formel etwas vereinfacht werden.

Für spröde Werkstoffe soll gelten:

$$\sigma_d = \sigma_B; \epsilon_d = \epsilon_B, \text{ hiermit wird}$$

$$\frac{U}{V_R} = \frac{1}{2} \left[\frac{\sigma_d^2}{E} - \frac{\sigma_0^2}{E} \right] \left[\frac{\text{cm kp}}{\text{cm}^3} \right] \quad (6)$$

Für plastisch verformbare Werkstoffe kann man angenähert setzen:

$$\sigma_B = \sigma_d$$

$$\epsilon_d \ll \epsilon_B$$

so daß sich für

$$\frac{U}{V_R} = \frac{1}{2} \left[\frac{\sigma_d^2}{E} - \frac{\sigma_0^2}{E} \right] + \sigma_d \epsilon_B \left[\frac{\text{cm kp}}{\text{cm}^3} \right] \quad (7)$$

ergibt.

Die Formel (7) soll für den Vergleich des Verhaltens von Grauguß und duktilem Gußeisen herangezogen werden, da auch bei Grauguß gewisse, kleinere plastische Verformungen bis zum Bruch festgestellt werden können.

Die verwendeten Werte:

a) Grauguß (GG)

$$\sigma_d = 1500 \text{ kp/cm}^2$$

$$E = 1 \cdot 10^6 \text{ kp/cm}^2$$

$$\epsilon_B = 0,5 \% \rightarrow 5 \cdot 10^{-3}$$

b) Duktilen Gußeisen (GGG)

$$\sigma_d = 3000 \text{ kp/cm}^2$$

$$E = 1,7 \cdot 10^6 \text{ kp/cm}^2$$

$$\epsilon_B = 2,0 \% \rightarrow 20 \cdot 10^{-3}$$

Da die Spannung beim normalen Betriebsdruck von Graugußrohren oder duktilen Gußrohren gegenüber der beim Bersten oder Fließen relativ klein ist, kann in diesem Falle der Wert σ_0^2/E gegenüber σ_d^2/E vernachlässigt werden.

Dann ergeben sich die Werte für die relative Arbeitsaufnahme U/V_R zu:

a) (GG)

$$\frac{U}{V_R} \approx 9 \frac{\text{cm kp}}{\text{cm}^3}$$

b) (GGG)

$$\frac{U}{V_R} \approx 63 \frac{\text{cm kp}}{\text{cm}^3}$$

3.1.2 Arbeit der äußeren Kräfte A

Die Arbeit der äußeren Kräfte resultiert bei einem Druckstoß aus der Drucksteigerung von p_0 — dem Betriebsdruck — auf die Höhe des Druckes im Augenblick des Stoßes p .

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \int_{P_0}^P p \, dl \text{ [cm kp]} \quad (8)$$

dl ist das Wegstück in Rohrachsrichtung, um das ein Kolben mit dem Innendurchmesser des Rohres in dieses hineingeschoben werden müßte, um den Druck von p_0 auf p zu steigern (Bild 2).

Dabei ist die Kompression des Wassers und die Aufweitung des Rohres zu berücksichtigen.

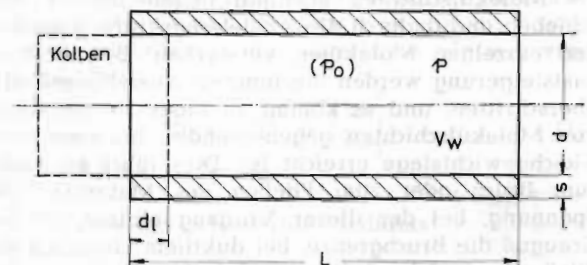


Bild 2

$$V_w = \frac{\pi d^2}{4} l = \text{Wasservolumen}$$

Die relative Längenänderung dl/l entspricht der relativen Volumenänderung dV/V_w , die ihrerseits

$$\frac{dV}{V_w} = \frac{dp}{E_{ges}} \text{ ist.}$$

dp ist die Drucksteigerung, E_{ges} ist der E-Modul von Wasser und Rohrmantel zusammen.

$$E_{ges} = \frac{1}{\frac{1}{E_w} + \frac{d}{s} \frac{1}{E}} \left[\frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} \right] \quad (9)$$

Aus den Gleichungen (8) und (9) läßt sich nach Integration

$$A = \frac{\pi d^2}{4} l \frac{1}{E_{ges}} \frac{1}{2} [p^2 - p_0^2] \text{ [cm kp]} \quad (10)$$

ermitteln. (p_0^2 kann gegen p^2 vernachlässigt werden).

3.1.3 Bersten unter dynamischer Belastung

Durch Gleichsetzen der Arbeit der inneren Kräfte U und der äußeren Kräfte A erhält man den Berstdruck p für dynamische Beanspruchung

$$p \approx \sqrt{\frac{8E_{ges} U}{d V_R}} \left[\frac{kp}{cm^2} \right] \quad (11)$$

Wegen der Vernachlässigungen hinsichtlich p_0 und der damit verbundenen Arbeit $\frac{1}{2} \frac{\sigma_0^2}{E}$ ist für das Gleichheitszeichen angenähert (\approx) gesetzt worden. Es handelt sich auch lediglich um eine Abschätzung, da der Wert E_{ges} durch das E des Werkstoffes beeinflusst wird. Das E des Werkstoffes dürfte sich im Augenblick des Fließens etwas ändern, wenn die Druckspitze des Druckstoßes sehr lange anhält und die Belastung statisch wirkt.

Bei Druckstößen handelt es sich jedoch meist um eine kurzzeitige Spitze der Belastung, so daß die plastische Verformung der Belastung nachläuft.

Unter diesen Annahmen wurden für Graugußrohre der Klasse B und für duktile Gußrohre die dynamischen Drücke p und die Berstdrücke p_B ermittelt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt und in Bild 3 graphisch aufgetragen.

NW	GG			GGG		
	$\frac{d}{s_{min}}$ *)	p dynam. kp/cm^2	p_B **) kp/cm^2	$\frac{d}{s_{min}}$ *)	p dynam. kp/cm^2	p_B **) kp/cm^2
100	13,5	294	206	23	590	249
300	26,6	190	109	49	365	120
500	33,0	164	88	63	306	94
1000	40,4	142	72	80,5	256	73,5

*) $d = d_1 - 2 s_{min}$; $E_{Wasser} = 2,07 \cdot 10^4 \text{ kp/cm}^2$

**) $p_B = \frac{2 \sigma_{s_{min}}}{d_m}$; $\sigma_{GG} = 1500 \text{ kp/cm}^2$; $\sigma_{GGG} = 3000 \text{ kp/cm}^2$;
 $d_m = d_1 - s_{min}$

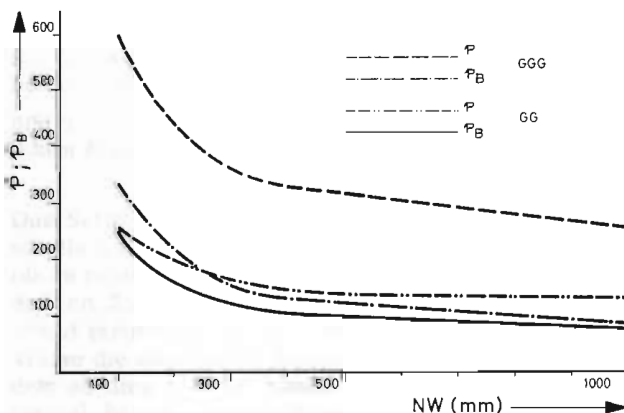


Bild 3

Die Werte für kurzzeitige Belastung p — verglichen mit dem Berstdruck p_B — liegen beim duktilen Gußeisen also wesentlich höher als beim Grauguß.

Es wurden Versuche durchgeführt, bei denen sowohl Graugußrohre als auch duktile Gußrohre schlagartigen Innendruckbeanspruchungen ausgesetzt wurden. Dies geschah auf die Weise, daß man in einem wassergefüllten, senkrecht stehenden Rohrstück eine gewisse Menge Sprengstoff zur Explosion brachte.

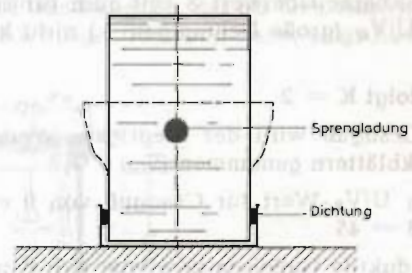


Bild 4

Die Versuche ergaben, daß das Graugußrohr schon bei einer sehr geringen Ladung von 2 Gramm Sprengstoff vollständig zu Bruch gegangen ist, während das dünnwandigere duktile Gußrohr bei 10 Gramm Sprengstoff lediglich eine Beule davongetragen hat. Durch die Verformung wurde die Überbelastung aufgefangen und das Rohr blieb funktionsfähig.

Da eine Leitung aber nur so gut ist wie ihr schwächster Teil, wurden auch die Verbindungen — in diesem Falle Union- und Tyton-Muffen — geprüft, und zwar mit der Sprengladung in Höhe der Verbindung. Es zeigte sich, daß die Sprengladungen beträchtlich gegenüber denen, die das Rohr selbst beschädigten, erhöht werden mußten, um Undichtheiten an den Verbindungsteilen zu erzielen. Die gummigedichteten Muffen sind also keinesfalls schwache Stellen in der Leitung; sie sind genauso zuverlässig wie das Rohr selbst und haben dazu noch den Vorteil, starke Bodenbewegungen auszugleichen.

3.1.4 Sicherheitsbeiwert

Die Dimensionierung von Graugußrohren wurde früher nach dem Innendruck vorgenommen. Alle Unsicherheiten, die sich aus der Berechnung der Belastung und dem Material ergaben, wurden auf das letztere abgewälzt, die damals einfachste Methode. So ist es zu verstehen, daß Sicherheitsbeiwerte von 7 bis 11 in technischen Richtlinien verankert werden konnten.

Bei einem Werkstoff wie dem duktilen Gußeisen sind diese Werte nicht mehr zu vertreten. In den Abschnitten 3.1.1 bis 3.1.3 ist die Bedeutung der Duktilität aufgezeigt worden, mit dem Ergebnis, daß mit zunehmendem Arbeitsaufnahmevermögen — gleich Duktilität — die Beanspruchbarkeit heraufgeht.

Es ist daher sinnvoll, auch den Sicherheitsbeiwert S mit der Arbeitsaufnahme U/V_R zu verknüpfen nach der Formel

$$S = K + \frac{B}{U/V_R} \quad (12)$$

worin K und B aus Anfangsbedingungen zu bestimmende Konstanten sind. Für Graugußrohre und duktile Gußrohre kann man folgende Annahmen zu ihrer Bestimmung machen:

1. Der Sicherheitsbeiwert S soll auch für sehr große Werte U/V_R (große Dehnungen ε) nicht kleiner als 2 sein.

Daraus folgt $K = 2$

2. Für Grauguß wird der niedrigste Wert aus den AD-Merkblättern genommen ($S_{GG} = 7$).

Mit dem U/V_R -Wert für Grauguß von 9 ergibt sich daraus $B = 45$

Für das duktile Gußeisen errechnet sich dann je nach der Größe der Dehnung ε der Sicherheitsbeiwert S zu:

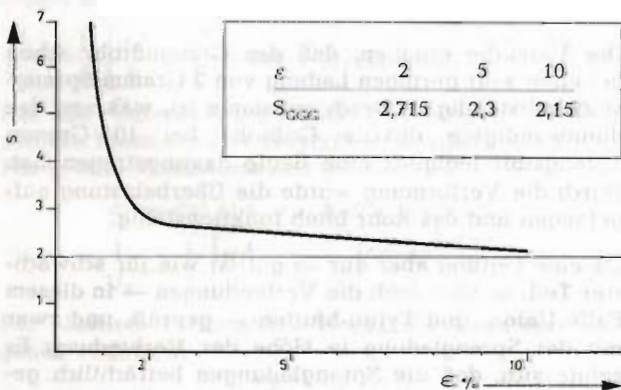


Bild 5

3.2 Einfluß der Belastungsdauer

3.2.1 Sicherheitsbeiwert bei konstanter Belastung

Wie in Abschnitt 2.2.1 erläutert, ändern der Grauguß und das duktile Gußeisen bei Belastung die Konfiguration nicht, soweit die resultierende Spannung die Fließspannung nicht überschreitet. Bei duktilem Gußeisen muß noch erwähnt werden, daß örtliche Überbeanspruchungen abgebaut werden können, ohne daß der Bauteil versagt.

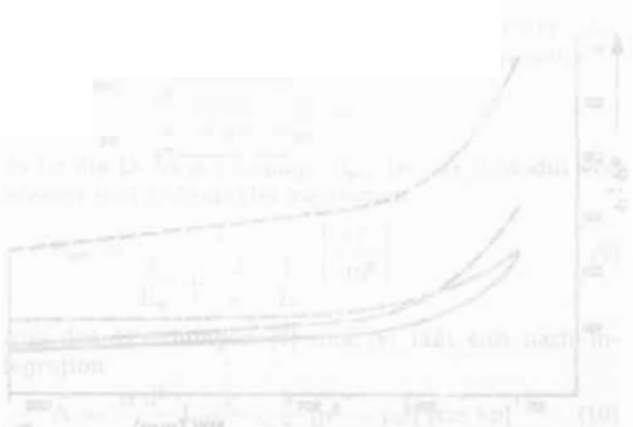
Die Dimensionierung kann also genauso erfolgen, wie im Kapitel vorher beschrieben; sie ist von der Dauer der Belastung *nicht* abhängig.

3.2.2 Sicherheitsbeiwert bei wechselnder Belastung

Hier geht man einen etwas anderen Weg. Die Sicherheitsbeiwerte werden beibehalten. Aus Versuchen, die der Wirklichkeit angepaßt sind, ermittelt man die charakteristischen Materialwerte, die eine Funktion der Anzahl der Beanspruchungen (Lastspielzahl) und der Höhe der Schwankungen, also der Differenz aus maximaler und der normalen Belastung sind. Nähere Angaben sind dem Gutachten von Professor Wellinger zu entnehmen.

4 Zusammenfassung

Der Einfluß der Zeit auf das Festigkeitsverhalten von Rohrleitungen wird am Beispiel von Rohren aus Grauguß und duktilem Gußeisen erläutert. Für Belastungen über sehr lange Zeiträume wird festgestellt, daß die Kennwerte der Festigkeit unabhängig von der Dauer der Beanspruchung sind. Bei kurzzeitiger, schlagartiger Beanspruchung stellt man fest, daß die plastische Verformbarkeit zu einer wesentlichen Steigerung der Berstdrücke bei stoßartiger Belastung beiträgt.



Anbohrschellen und Anbohrüberschieber als Hilfsmittel für die Herstellung von Hausanschlüssen an das Wasser- und Gasrohrnetz

Von HANS VON REZORI

Der Anschluß von Verbrauchern an Gas- oder Wasser-Verteilungsleitungen erfolgt in der Regel, wenn nicht von vornherein in den Verteilungsleitungen Abzweigstücke vorgesehen sind, über Anbohrschellen oder geteilte Anbohrüberschieber. Über die gebräuchlichen Anbohrschellen und einige Neuentwicklungen, die bereits in der Praxis eingeführt sind, soll ein Überblick gegeben werden.

Man unterscheidet grundsätzlich zwei Arten von Anbohrschellen, und zwar Anbohrschellen zum oberen Anbohren und solche zum seitlichen Anbohren des Hauptrohres.

Die Standard-Ausführung von Anbohrschellen zum oberen Anbohren von Guß- oder Stahlrohren besteht aus einem gußeisernen Sattelstück mit seitlichem Abgang und mit einem oberen gußeisernen Verschlussstopfen sowie aus einem Vierkantbügel mit Muttern zum Festklemmen der Anbohrschelle auf dem Hauptrohr (Bilder 1 und 2). Die Abdichtung erfolgt durch eine Gummi-Flachdichtung zwischen Sattelstück und Hauptrohr. Neuerdings verdrängt der Rundschnurring auf Grund seiner besseren Abdichtungsfunktion und Anpassungsfähigkeit an den Rohraußendurchmesser die Flachdichtung weitgehendst.

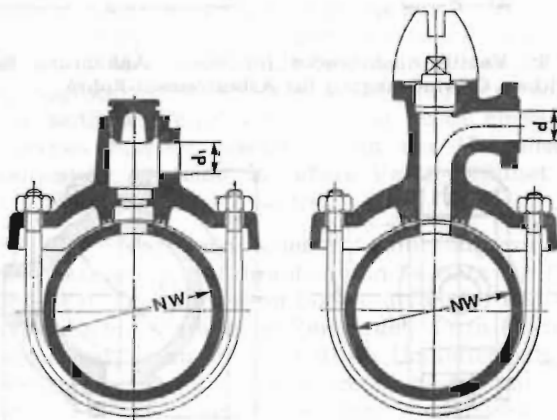


Bild 1: Anbohrschelle für obere Anbohrung mit seitlichem Gewindeabgang für Einbauventil

Bild 2: Anbohrschelle für obere Anbohrung mit seitlichem Flanschabgang für Schieberanschluß

Das Sattelstück der in Bild 1 dargestellten Anbohrschelle hat einen seitlichen Gewindeanschluß und der obere runde Kopf des Sattelstückes ist so ausgebildet, daß an Stelle der Sechskantschraube ein Abschlußventil eingesetzt werden kann. Man erhält auf diese Weise die sogenannte Ventil-Anbohrschelle. Je nachdem ob dieses Ventil häufiger betätigt wird oder nur einmal bei der Herstellung des Anschlusses unter Druck, wird die Ventil-Anbohrschelle mit einer Ein-

baugarnitur mit Straßenkappe versehen eingebaut, siehe Bild 3, oder aber mit einer gußeisernen Abschlußkappe, siehe Bild 4.

Eine Anbohrschelle zum oberen Anbohren mit einem seitlichen Flanschabgang, der als Ovalflansch oder als Rundflansch ausgebildet sein kann, zeigt Bild 2.

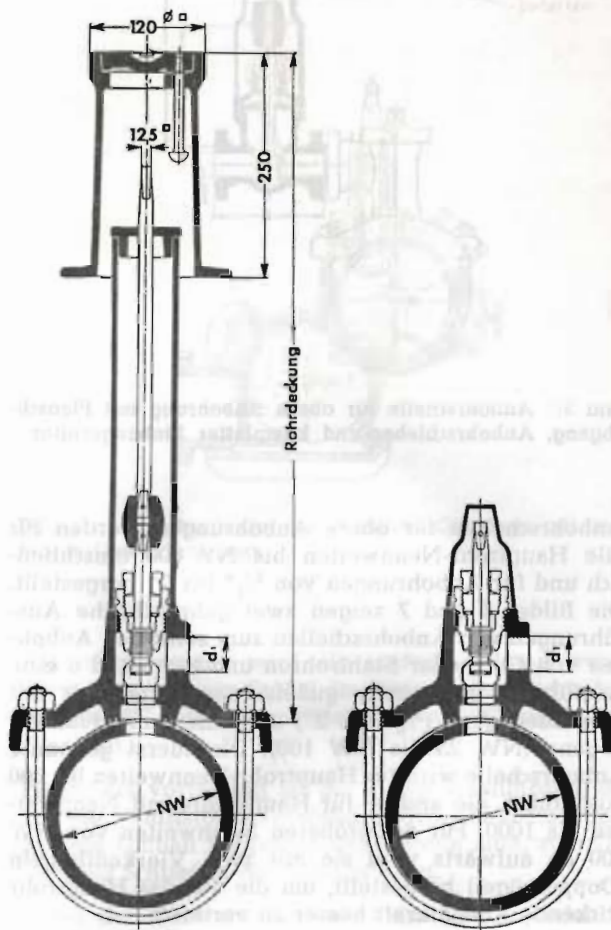


Bild 3: Ventil-Anbohrschelle für obere Anbohrung mit Einbaugarnitur und Straßenkappe

Bild 4: Ventil-Anbohrschelle für obere Anbohrung mit Abschlußkappe

An diesen Flanschabgang wird ein Anbohrschieber und daran anschließend die Anschlußleitung angebracht. Bild 5 zeigt die Gesamtanordnung einer Anbohrschelle mit seitlichem Flanschabgang, mit Anbohrschieber und der kompletten Einbaugarnitur.

Diese Anbohrschellen können auch mit einem Sattelstück mit seitlichem Gewindeabgang für den Anschluß eines Anbohrhahnes versehen sein.

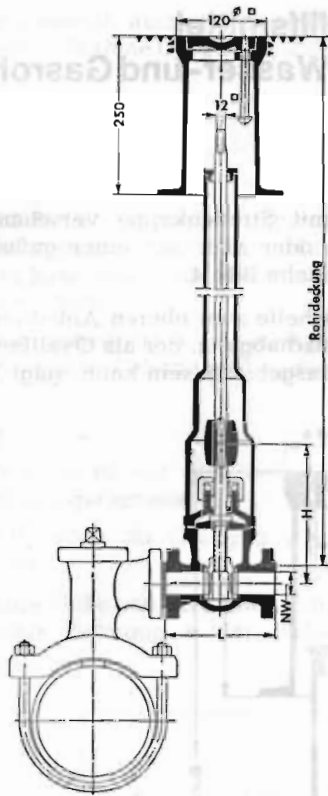


Bild 5: Anbohrschelle für obere Anbohrung mit Flanschabgang, Anbohrschieber und kompletter Einbaugarnitur

Anbohrschellen für obere Anbohrungen werden für alle Hauptrohr-Nennweiten bis NW 600 einschließlich und für Anbohrungen von 3/4" bis 2" hergestellt. Die Bilder 6 und 7 zeigen zwei gebräuchliche Ausführungen von Anbohrschellen zum seitlichen Anbohren von Guß- oder Stahlrohren und zwar Bild 6 eine Ausführung mit einem gußeisernen Sattelstück mit Gewindeabgang (3/4" bis 2") und Bild 7 mit Flanschabgang (NW 25 bis NW 100). Die zuerst genannte Anbohrschelle wird für Hauptrohr-Nennweiten bis 600 ausgeführt, die andere für Hauptrohre mit Nennweiten bis 1000. Für die größeren Nennweiten von NW 300 an aufwärts wird sie mit zwei Vierkantbügeln (Doppelbügel) hergestellt, um die auf das Hauptrohr wirkende Klemmkraft besser zu verteilen.

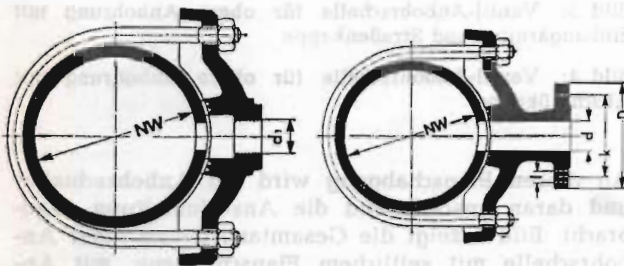


Bild 6: Anbohrschelle für seitliche Anbohrung mit Gewindeabgang

Bild 7: Anbohrschelle für seitliche Anbohrung mit Flanschabgang

Um die örtlich konzentrierten Klemmkräfte, die durch den Vierkantbügel auf das Hauptrohr ausgeübt werden, zu vermeiden, hat man auch Anbohrschellen für obere und für seitliche Anbohrungen, insbesondere für die Herstellung von Anschlüssen an Asbestzement-Rohrleitungen entwickelt, die aus zwei ca. 80 bis 100 mm breiten gußeisernen Sattelstücken bestehen, von denen eines mit dem Abgang versehen ist. Sie werden durch Sechskantschrauben mit Muttern aus Stahl zusammengeschaubt. Bild 8 zeigt eine solche Anbohrschelle, auch Anbohrbrücke genannt, mit Anbohrventil und mit seitlichem Gewindeabgang für obere Anbohrungen von Asbestzement-Rohren. Bild 9 zeigt die Ausführung einer Anbohrbrücke für seitliche Anbohrungen mit Gewindeabgang.

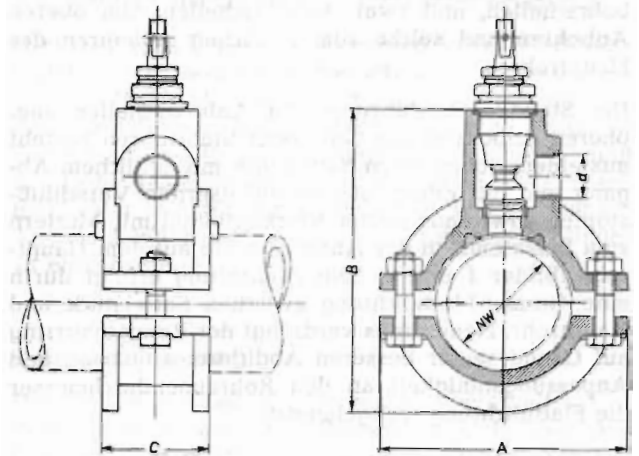


Bild 8: Ventil-Anbohrbrücke für obere Anbohrung mit seitlichem Gewindeabgang für Asbestzement-Röhre

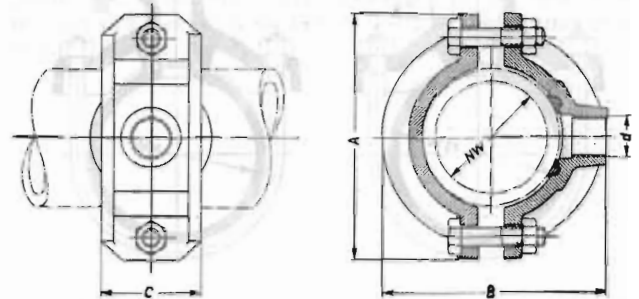


Bild 9: Ventil-Anbohrbrücke für seitliche Anbohrung mit Gewindeabgang für Asbestzement-Röhre

Schließlich sei noch eine neuere Ventil-Anbohrschelle für obere Anbohrungen beschrieben, deren Sattelstück V-förmig ausgebildet ist und durch eine Rundgummidichtung gegen das Hauptrohr abgedichtet wird, Bild 10 (DBP angemeldet). Für den Anbohrvorgang werden zunächst zwei Anbohrventile benötigt, eines der beiden Anbohrventile kann jedoch nach Beendigung der Montage entfernt und durch einen gußeisernen Stopfen ersetzt werden. Zunächst wird ein An-

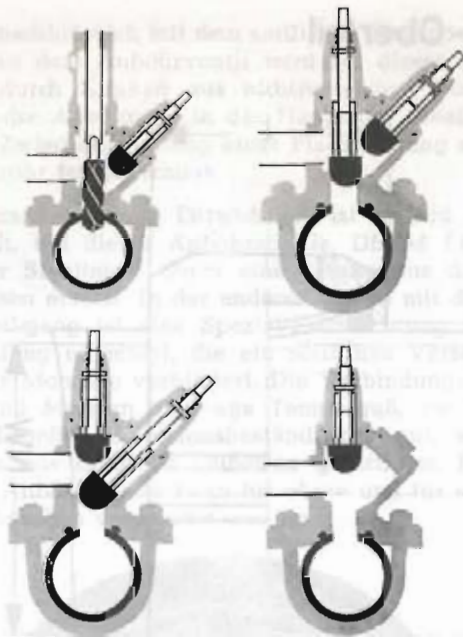


Bild 10: Ventil-Anbohrschelle für obere Anbohrung V-Form

bohrventil in den seitlichen schrägen Stutzen eingesetzt und die Anbohrung durch den oberen Stutzen durchgeführt. Der Bohrer wird sodann zurückgezogen und die Anbohrung durch das seitlich eingesetzte Ventil abgeschlossen. Jetzt kann man den Anbohrapparat entfernen und an seiner Stelle das zweite Ventil einsetzen. Dann wird das seitliche Ventil zurückgezogen und die Anbohrschelle mit dem oberen, zweiten Ventil abgeschlossen. Als letzter Vorgang wird sodann das seitliche Ventil entfernt und durch einen gußeisernen Stopfen ersetzt. Wenn der Hausanschluß hergestellt ist, kann das obere Ventil geöffnet werden und der Anschluß ist frei.

Bei allen bisher beschriebenen Ausführungsarten sind die Vierkantbügel, Schrauben und Muttern aus Stahl, besonders in aggressiven Böden, gefährdet und einer gegebenenfalls schnellen Zerstörung durch Korrosion ausgesetzt, wenn sie nicht durch Umhüllen mit Korrosionsschutzmitteln, z. B. durch Umgießen mit plastischen Massen geschützt werden. Die Gußrohr- und Armaturenindustrie hat sich daher frühzeitig bemüht, Anbohr-Rohranschlüsse und Anbohrschellen ohne Stahlbügel bzw. ohne Schrauben und Muttern aus Stahl zu entwickeln, um von vornherein die Gefährdung durch Korrosion zu vermeiden. Eine Weiterentwicklung der Ventilanbohrschelle, bei der die Gefahr der Korrosion als gelöst betrachtet werden kann und zum Anbohren unter Druck nur ein Ventilstößel benötigt wird, stellt das Bild 11 dar.

Das Anbohrschellenoberteil stellt gleichzeitig das Ventilgehäuse dar, welches durch das Unterteil mittels Druckplatte und Schraubring auf dem Rohr befestigt wird. Die Abdichtung zwischen Rohr und Schellenoberteil wird durch einen Dichtring, der zentrisch um die Anbohrschelle zu liegen kommt, erreicht.

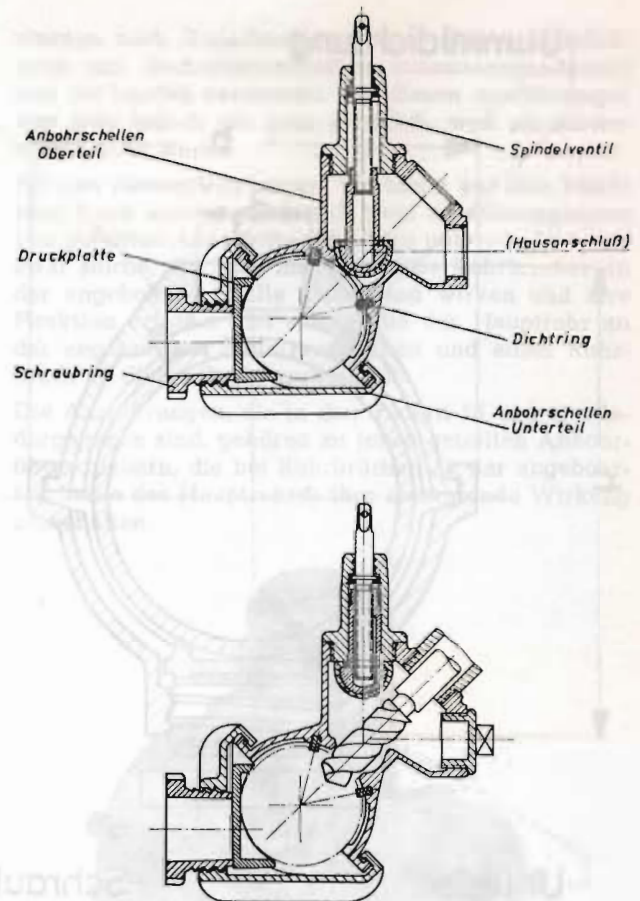


Bild 11: Anbohrschelle aus duktilem Gußeisen mit seitlichem Gewindeabgang

Als Absperrorgan wird ein einfaches Spindelventil verwendet, dessen Stößel im Bereich des Dichtsitzes halbkugelförmig ausgebildet und mit Gummi überzogen ist.

Besonders vorteilhaft ist bei dieser Ausführung, daß nur ein Ventilstößel verwendet wird, der später, ohne daß ein Umbau vorgenommen werden muß, zum Öffnen und Schließen des Ventils dient.

Unter der Voraussetzung, daß die Ventilschindel für die spätere Bedienung senkrecht stehen muß, wird die Anbohrung schräg von oben vorgenommen.

Vor Montage der Anbohrschelle auf dem Rohr wird das Ventil ganz geöffnet. Die 2"-Öffnung für die Hausanschlußleitung muß mit einem Blindstopfen verschlossen werden. Nach dem Aufschrauben des Anbohrgerätes kann nun unter Druck die Anbohrung erfolgen. Nach Beendigung dieses Vorganges wird vorerst nur die Bohrspindel zurückgedreht und das Ventil geschlossen. Danach kann das Anbohrgerät demontiert werden.

Der Blindstopfen wird von dem Abgang der Anschlußleitung wieder entfernt und an Stelle des Anbohrgerätes abdichtend verschraubt. Die Montage der Anschlußleitung kann beginnen.

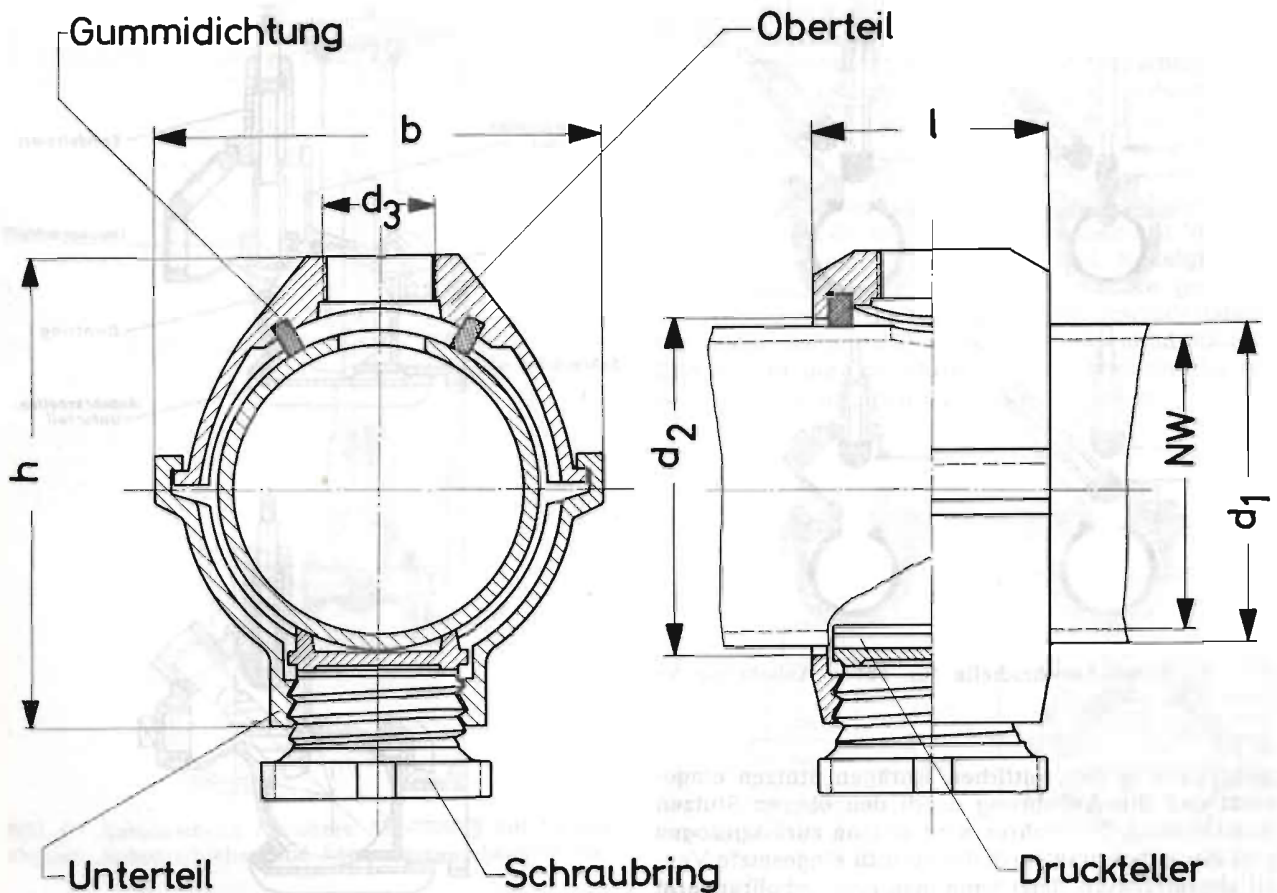


Bild 12: Anbohrschelle aus duktilem Gußeisen, DBGM 1921 783, für obere und seitliche Anbohrung

Die immer wieder vertretene Ansicht von Fachleuten, bei Verlegung solcher Armaturen unter der Erde möglichst Einbauteile gleicher Materialien zu verwenden, wurde bei dieser Konstruktion berücksichtigt. Alle Teile, die mit dem Erdreich in Verbindung stehen, werden aus duktilem Gußeisen gefertigt. Die Funktionsteile des Ventils sind ebenfalls aus korrosionsbeständigem Material hergestellt.

Eine weitere Neuentwicklung zeigt Bild 12. Die beiden Halbschalen dieser Anbohrschelle, DBGM 1921 783, sind aus duktilem Gußeisen gefertigt, sie werden an der anzubohrenden Stelle des Hauptrohres durch gegenseitiges Verschieben und durch Anziehen eines Schraubringes, der sich in der einen Hälfte befindet, montiert. In der anderen oberen Halbschale befindet sich der Gewindeabgang und ein in eine ringförmige Vertiefung eingelegter Perbunandichtung von rechteckigem Querschnitt. In der ersterwähnten Hälfte befindet sich außer dem gußeisernen Schraubring noch ein gußeiserner Druckteller mit 2 Druckleisten. Durch das Anziehen des Schraubringes wird der Druckteller gegen das Hauptrohr gedrückt, wodurch beide Hälften gegeneinander verspannt und der Perbunandichtungsring um die anzubohrende Stelle an das Hauptrohr angepreßt und die Anbohrstelle abgedichtet wird. Diese Anbohrschelle wird für Hauptrohr-Nennweiten von 80 bis 300 hergestellt und sie kann für obere und für seitliche Anbohrungen in Gas- und Wasserrohrleitungen verwendet werden.

Ferner zeigt Bild 13 einen bügellosen Ventil-Anbohr-Rohranschluß zum Herstellen von Anschlüssen an Guß- oder Stahlrohre von Wasser- und Gasleitungen.

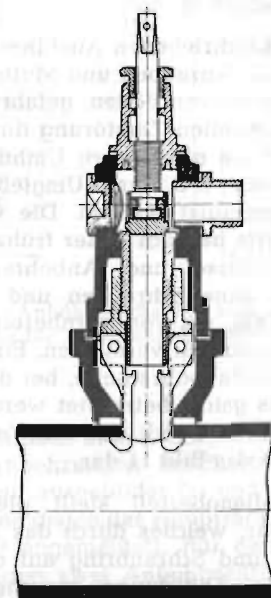


Bild 13: Bügelloser Anbohr-Rohranschluß für obere Anbohrung mit seitlichem Gewindeabgang

Das Anschlußstück mit dem seitlichen Gewindeabgang und mit dem Anbohrventil wird bei dieser Ausführung durch Klinken aus nichtrostendem Stahl, die durch die Anbohrung in das Hauptrohr hineinragen, unter Zwischenschaltung einer Flachdichtung auf dem Hauptrohr festgeklemmt.

Eine andere neuere Entwicklung ist in Bild 14 dargestellt. Bei dieser Anbohrschelle, DBGM 1 860 423, ist der Stahlbügel durch eine Brücke aus duktilem Gußeisen ersetzt. In der anderen Hälfte mit dem Gewindeabgang ist eine Spezial-Flachdichtung in eine Vertiefung eingelegt, die ein seitliches Verschieben bei der Montage verhindert. Die Verbindungsschrauben und Muttern sind aus Temperguß, sie weisen also dieselbe Korrosionsbeständigkeit auf, wie die beiden aus duktilem Gußeisen gefertigten Hälften. Diese Anbohrschelle kann für obere und für seitliche Anbohrungen verwendet werden.

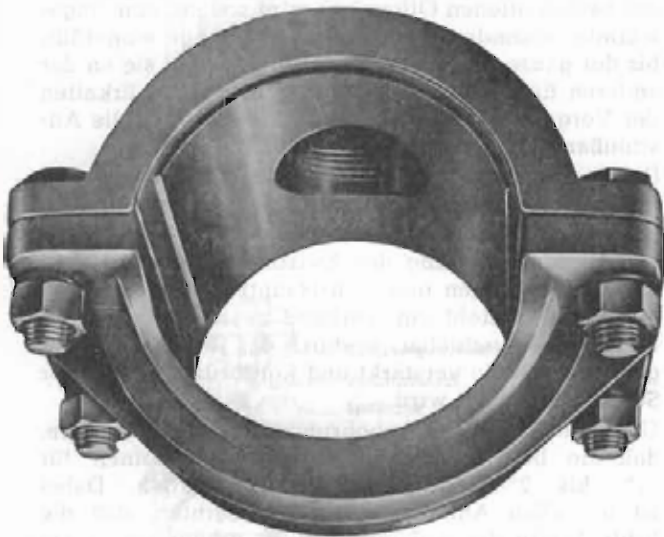


Bild 14: Anbohrschelle aus duktilem Gußeisen, DBGM 1 860 423, für obere und seitliche Anbohrung

Neben den Anbohrschellen werden auch zweiteilige Anbohrüberschieber mit Gewinde- oder Flanschabgängen für die Herstellung von Hausanschlüssen verwendet. Allerdings sind diese geteilten Anbohrüberschieber wesentlich teurer als Anbohrschellen. Sie sind eine Weiterentwicklung der früher gebräuchlichen geteilten Überschiebmuffen mit Stemmuffen und mit Flanschstutzen oder Muffenstutzen, siehe z. B. Bild 15. Die beiden Hälften dieser Überschiebmuffen

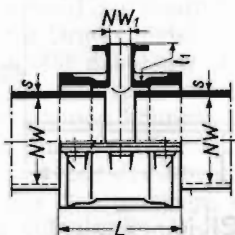


Bild 15: Geteilte Überschiebmuffe (Stemmuffen) mit Flanschstutzen

wurden nach Zwischenlegen einer Gummiflachdichtung mit Sechskantschrauben zusammengeschraubt und die Muffen verstemmt. Mit diesen Ausführungen war man jedoch nie ganz glücklich, weil sie schwer abzudichten waren.

Bei den Neuentwicklungen, die heute auf dem Markt sind, kann man grundsätzlich zwei Ausführungsarten von geteilten Anbohrüberschiebern unterscheiden und zwar solche, die auch im Falle eines Rohrbruchs an der angebohrten Stelle abdichtend wirken und ihre Funktion erfüllen und solche, die das Hauptrohr an der angebohrten Stelle verstärken und einen Rohrbruch an dieser Stelle verhindern.

Die Ausführungen, die in den Bildern 16 und 17 wiedergegeben sind, gehören zu jenen geteilten Anbohrüberschiebern, die bei Rohrbrüchen an der angebohrten Stelle des Hauptrohres ihre abdichtende Wirkung beibehalten.



Bild 16: Geteilter Anbohrüberschieber für obere Anbohrung mit seitlichem Gewindeabgang

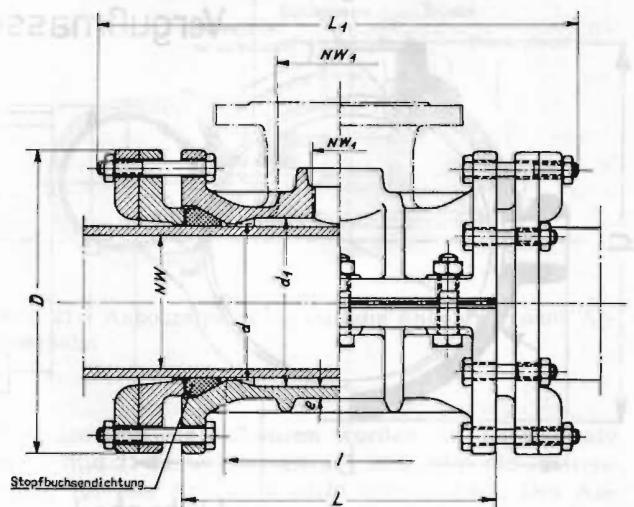


Bild 17: Geteilter Anbohrüberschieber für obere oder seitliche Anbohrung mit Gewinde- oder Flanschabgang

Bei der Ausführung nach Bild 16 erfolgt die Abdichtung der Rundspalte gegenüber dem Hauptrohr durch je einen aufgeschnittenen, über dem Hauptrohr zusammengeklebten Dichtring mit dreieckförmigem Querschnitt, der durch Druckschrauben, die durch die Gehäuseflansche hindurchgehen, über je einen zweiteiligen Druckring in der Dichtkammer komprimiert wird. Die Abdichtung der beiden gußeisernen Halbschalen gegeneinander erfolgt durch eingelegte Gummi-Längsdichtungen. Das Bild zeigt die Ausführung für obere Anbohrungen an Gasleitungs-Hauptrohren mit seitlichem Gewindeabgang (2", 2 1/2" oder 3") am Anbohrstutzen. Es gibt auch Ausführungen für seitliche Anbohrungen mit Gewindeabgang und mit Flanschabgang.

Bild 17 zeigt eine andere Ausführungsart von geteilten Anbohrüberschiebern, die auch nach einem Bruch der Hauptleitung an der angebohrten Stelle zuverlässig abdichtet. Sie unterscheidet sich von der Ausführung Bild 16 vor allem dadurch, daß die beiden Enden mit normalen Stopfbuchsenmuffen versehen sind, deren Gegenflansche zweiteilig ausgeführt sind. Dieser geteilte Anbohrüberschieber kann sowohl mit Flanschstutzen als auch mit Gewindeabgangsstutzen ausgeführt werden.

Zur zweiten Art von geteilten Anbohrüberschiebern, die das Hauptrohr an der angebohrten Stelle verstärken und einen Bruch an dieser Stelle verhindern sollen, sei schließlich die Ausführung Bild 18 angeführt. Dieser Anbohrüberschieber besteht aus zwei gußeisernen Schalenhälften, die so ausgebildet sind, daß sie im zusammengeschobenen Zustand einen Hohlraum zwischen dem Hauptrohr und dem Anbohrüberschiebergehäuse frei lassen. An einer der beiden Schalenhälften ist ein Gewindeabgang für die Anbohrung und den Anschluß vorgesehen. Im Innern dieser Hälfte ist rund um den Gewindeabgang in eine ringförmige Nut ein Gummidichtring mit rechteckigem Querschnitt eingeklebt; auf der inneren, der Anbohrung zugekehrten Seite besteht er aus einer härteren

Gummisorte. Vor dem Zusammenschieben der beiden Hälften wird das Hauptrohr an der anzubohrenden Stelle und die Innenflächen der Anbohrüberschieberhälften mit einer Drahtbürste und einem Handfeiger gründlich gereinigt und mit einem besonderen Vorstreichlack gleichmäßig angestrichen. Nachdem der Vorstreichlack getrocknet ist, werden die beiden Hälften, je nachdem ob eine obere oder seitliche Anbohrung angebracht werden soll, auf dem Hauptrohr so zusammengeschoben, daß der Gewindeabgang in der gewünschten Richtung steht. Sodann werden auf jeder Seite zwischen die der Anbohrung gegenüberliegenden Schalenhälfte und dem Hauptrohr zwei imprägnierte Holzkeile mit einem Hammer kräftig eingetrieben. Dadurch erhält der Dichtring in der gegenüberliegenden Hälfte die für die Abdichtung erforderliche Pressung. Dann werden die Spalte zwischen dem Hauptrohr und dem Überschieber und an den seitlichen Hakenleisten mit Lehm abgedichtet. Durch eine der beiden offenen Öffnungen wird sodann eine angewärmte, besondere Vergußmasse so lange eingefüllt, bis der ganze Innenraum ausgefüllt ist und sie an der anderen Eingußöffnung ausfließt. Nach dem Erkalten der Vergußmasse können die Anbohrung und die Anschlußarbeiten vorgenommen werden.

Dieser Anbohrüberschieber eignet sich für Gasniederdrucknetze. Dichtheitsprüfungen mit Luft haben ergeben, daß er bis 2 atü Luftdruck dicht bleibt.

Durch die Ausfüllung des Zwischenraumes zwischen den Gehäuseteilen und dem Hauptrohr mit der Vergußmasse entsteht ein Verbund zwischen dem Rohr und dem Überschieber, wodurch das Rohr an der angebohrten Stelle verstärkt und Rohrbrüchen an dieser Stelle vorgebeugt wird.

Über die Größe der Anbohrungen ist noch zu sagen, daß sie bei Hausanschlüssen im allgemeinen für 3/4"- bis 2"-Abgänge ausgeführt werden. Dabei ist bei allen Anbohrschellen zu beachten, daß die lichte Weite der Anbohrung nicht größer als 1/3 der Nennweite des angebohrten Hauptrohres sein darf.

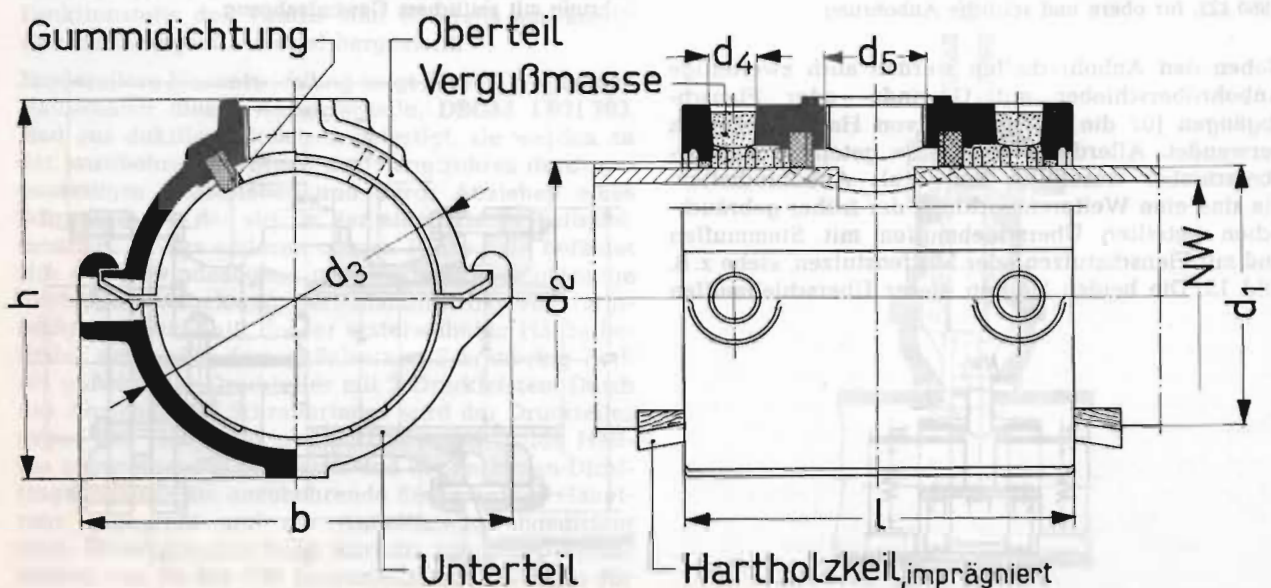


Bild 18: Geteilter Anbohrüberschieber für obere oder seitliche Anbohrung mit Gewindeabgang zum Vergießen mit Vergußmasse für Gasniederdruckleitungen

Soll eine größere Anschlußleitung abgezweigt werden, so ist in einem Abstand von mindestens $\frac{1}{2}$ m eine zweite Anbohrung mit dem zulässigen Durchmesser anzubringen und die beiden abgehenden Leitungen können dann zu einer Leitung mit der größeren Lichtweite zusammengelegt werden. Anbohrungen, die unter Verwendung von Anbohrüberschiebern, z. B. nach Bild 16 und 17, hergestellt werden, können je nach den Angaben der Hersteller mit Durchmessern bis zur vollen Nennweite des Hauptrohres ausgeführt werden.

Zum Abschluß der Ausführungen noch kurz einige Angaben über die Anbohrapparate und den Anbohrvorgang.

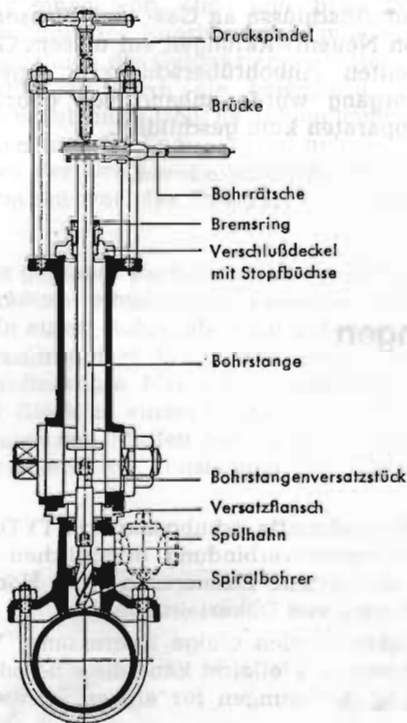


Bild 19: Anbohrapparat für obere Anbohrung mit Bohrgestänge

Bild 19 zeigt die Anordnung eines Anbohrapparates zum oberen Anbohren unter Druck zu Anbohrschellen z. B. in den Ausführungen nach Bild 1 und 2. Der Anbohrapparat wird auf der bereits auf dem Hauptrohr befestigten (Ventil-) Anbohrschelle aufgesetzt und mit den beiden Gelenkketten, die das Rohr umfassen, festgezogen. Sodann wird das Bohrgestänge durch den geöffneten Anbohrhahn hindurch eingeführt und das Anbohren des Rohres unter gleichzeitigem Nachstellen der Druckspindel vorgenommen. Bei Wasserleitungen bleibt dabei der seitliche Spülhahn geöffnet, so daß die Bohrspäne durch das Leitungswasser ausgespült werden können. Sodann wird das Bohrgestänge bis zum Anschlag an den Verschußdeckel zurückgezogen und der Absperrhahn geschlossen. Dann wird das Bohrgestänge entfernt und an seiner Stelle die sogenannte Ventilgarnitur aufgesteckt und der Verschußdeckel wieder befestigt, siehe Bild 20. Anschließend wird der Abschlußhahn wieder

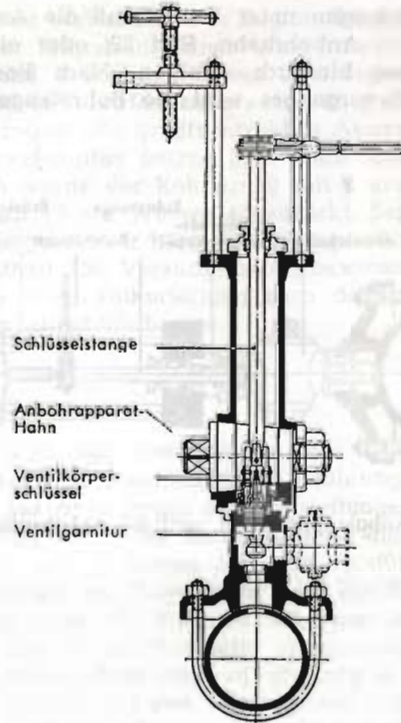


Bild 20: Anbohrapparat für obere Anbohrung mit Ventil-Einsatzgestänge

geöffnet und die Ventilgarnitur durch den offenen Hahn bis zum Aufsitzen auf dem Sattelstück der Anbohrschelle abgesenkt. Dann wird durch Linksdrehen der Bohrrätsche die Ventilgarnitur im Sattelstück fest eingeschraubt, wonach die Anbohrgarnitur entfernt werden kann. Das Ventil wird geschlossen, der seitliche Abschlußhahn (Spülhahn) entfernt und der Hausanschluß hergestellt. Nach Aufsetzen der Einbaugarnitur kann der Rohrgraben wieder aufgefüllt werden.

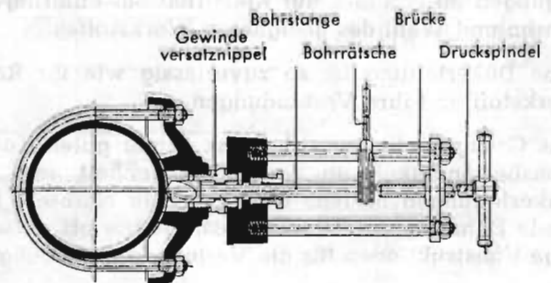


Bild 21: Anbohrapparat für seitliche Anbohrung ohne Anbohrhahn

Für das seitliche Anbohren werden Anbohrapparate nach Bild 21 verwendet. Dieses Bild zeigt die Anwendung für das Anbohren *nicht* unter Druck. Der Anbohrapparat ist in diesem Fall direkt (über einen Gewindeversatznippel) mit der Anbohrschelle verbunden.

Bei Anbohrungen unter Druck muß die Anbohrung durch einen Anbohrhahn, Bild 22, oder einen Anbohrschieber hindurch erfolgen. Nach Beendigung des Anbohrvorganges wird die Bohrstange zurück-

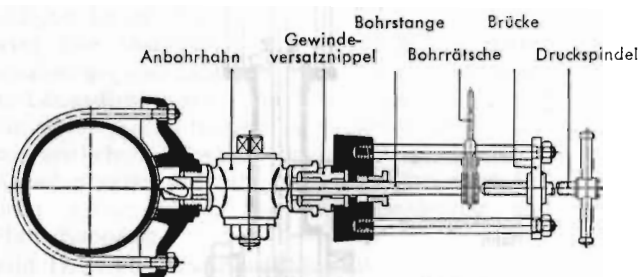


Bild 22: Anbohrapparat für seitliche Anbohrung mit Anbohrhahn

gezogen und der Anbohrhahn geschlossen. Dann kann die Anbohrung entfernt und der Anschluß hergestellt werden.

Bei der Vielzahl der auf dem Markt befindlichen Fabrikate war es nur möglich, einzelne nach den unterschiedlichen Systemen ausgewählte Ausführungsarten von Anbohrschellen und Anbohrüberschiebern zu berücksichtigen, wodurch aber nicht eine Bevorzugung der aufgezeigten Ausführungsbeispiele zum Ausdruck gebracht werden sollte.

Zusammenfassung

Es wurde eine gedrängte Übersicht über gebräuchliche Anbohrschellen für obere und seitliche Anbohrungen für Anschlüsse an Gas- und Wasserleitungen sowie von Neuentwicklungen auf diesem Gebiet und von geteilten Anbohrüberschiebern gegeben. Der Anbohrvorgang wurde anhand von gebräuchlichen Anbohrapparaten kurz geschildert.

Konstruktion und Verlegung von Dükerleitungen aus duktilen Gußrohren

Von WERNER HARTMANN

Einleitung

Für den Rohrnetzfachmann ist die Konstruktion und Verlegung von Dükerleitungen eine der interessantesten Ingenieuraufgaben. Mit einem Düker (niederdeutsch: ducken = sich bücken) muß, wie schon das Wort sagt, ein Hindernis unterfahren werden. Jeder Düker muß also den örtlichen Gegebenheiten angepaßt werden. Jedes Bauvorhaben erfordert neue Überlegungen im Hinblick auf Konstruktion, Einbringverfahren und Wahl des geeigneten Werkstoffes.

Eine Dükerleitung ist so zuverlässig wie ihr Rohrwerkstoff und ihre Verbindungen.

Das Graugußrohr hat sich, dank seiner guten Korrosionsbeständigkeit, in der Vergangenheit auch bei Dükerleitungen bestens bewährt. Sein Nachteil, fehlende Dehnung des Werkstoffes, machte oft aufwendige Konstruktionen für die Verlegung notwendig.

Mit dem duktilen Gußrohr (duktil = dehnbar, streckbar) steht dem Rohrnetzfachmann ein idealer Rohrwerkstoff für den Bau von Dükerleitungen zur Verfügung. Neben der erwiesenen Korrosionsbeständigkeit des Graugußrohres bietet das duktile Rohr eine garantierte Zugfestigkeit von mind. 4000 kp/cm², eine Streckgrenze von mind. 3000 kp/cm² und eine Bruchdehnung von mind. 10%. Diese Materialeigenschaften und die zur Verfügung stehenden, im Rohrleitungsbau bestens bewährten, Verbindungen wie Schraub-, Schraublang-, TYTON-, Stopfbuchsenmuffe, schubge-

sicherte Schraubmuffe, schubgesicherte TYTON-Muffe und API-Gewindeverbindung ermöglichen technisch elegante und sichere Lösungen bei der Konstruktion und Verlegung von Dükerleitungen.

Im folgenden werden einige interessante Verlegungen beschrieben. Vielleicht kann die eine oder andere Ausführung Anregungen für eigene Planungen vermitteln.

Doppeldüker durch den Main in Würzburg

Zusammen mit einer Wasserleitung NW 500 für 8 atü Betriebsdruck und einer Gashochdruckleitung NW 200 für 10 atü Betriebsdruck wurden ein 20-kV-Stromkabel und drei Meß- und Steuerkabel zur Dükerung vorgesehen. Der Düker hat eine Länge von 120 m und wurde im Mai 1960 verlegt.

Planung

Als bekannte Verfahren für den Bau eines Dükers standen zur Überlegung:

- das Spundwandverfahren,
- das Einschwimmverfahren,
- das Durchzugverfahren.

Gegen das Spundwand- und Einschwimmverfahren sprachen die zu hohen Baukosten und die nicht vermeidbare erhebliche Störung der Schifffahrt. Nachdem die Frage der Verlegung geklärt war, mußte die nicht weniger wichtige Frage des Rohrwerkstoffes entschieden werden. Sowohl für die Wasserleitung

Bei Anbohrungen unter Druck muß die Anbohrung durch einen Anbohrhahn, Bild 22, oder einen Anbohrschieber hindurch erfolgen. Nach Beendigung des Anbohrvorganges wird die Bohrstange zurück-

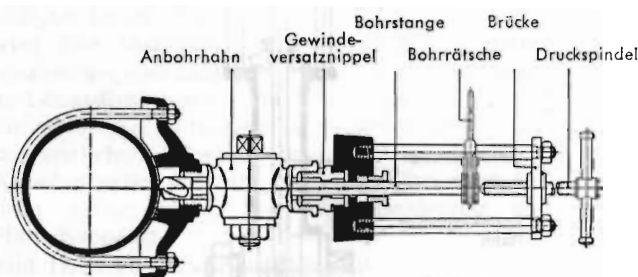


Bild 22: Anbohrapparat für seitliche Anbohrung mit Anbohrhahn

gezogen und der Anbohrhahn geschlossen. Dann kann die Anbohrung entfernt und der Anschluß hergestellt werden.

Bei der Vielzahl der auf dem Markt befindlichen Fabrikate war es nur möglich, einzelne nach den unterschiedlichen Systemen ausgewählte Ausführungsarten von Anbohrschellen und Anbohrüberschiebern zu berücksichtigen, wodurch aber nicht eine Bevorzugung der aufgezeigten Ausführungsbeispiele zum Ausdruck gebracht werden sollte.

Zusammenfassung

Es wurde eine gedrängte Übersicht über gebräuchliche Anbohrschellen für obere und seitliche Anbohrungen für Anschlüsse an Gas- und Wasserleitungen sowie von Neuentwicklungen auf diesem Gebiet und von geteilten Anbohrüberschiebern gegeben. Der Anbohrvorgang wurde anhand von gebräuchlichen Anbohrapparaten kurz geschildert.

Konstruktion und Verlegung von Dükerleitungen aus duktilen Gußrohren

Von WERNER HARTMANN

Einleitung

Für den Rohrnetzfachmann ist die Konstruktion und Verlegung von Dükerleitungen eine der interessantesten Ingenieuraufgaben. Mit einem Düker (niederdeutsch: ducken = sich bücken) muß, wie schon das Wort sagt, ein Hindernis unterfahren werden. Jeder Düker muß also den örtlichen Gegebenheiten angepaßt werden. Jedes Bauvorhaben erfordert neue Überlegungen im Hinblick auf Konstruktion, Einbringverfahren und Wahl des geeigneten Werkstoffes.

Eine Dükerleitung ist so zuverlässig wie ihr Rohrwerkstoff und ihre Verbindungen.

Das Graugußrohr hat sich, dank seiner guten Korrosionsbeständigkeit, in der Vergangenheit auch bei Dükerleitungen bestens bewährt. Sein Nachteil, fehlende Dehnung des Werkstoffes, machte oft aufwendige Konstruktionen für die Verlegung notwendig.

Mit dem duktilen Gußrohr (duktil = dehnbar, streckbar) steht dem Rohrnetzfachmann ein idealer Rohrwerkstoff für den Bau von Dükerleitungen zur Verfügung. Neben der erwiesenen Korrosionsbeständigkeit des Graugußrohres bietet das duktile Rohr eine garantierte Zugfestigkeit von mind. 4000 kp/cm², eine Streckgrenze von mind. 3000 kp/cm² und eine Bruchdehnung von mind. 10%. Diese Materialeigenschaften und die zur Verfügung stehenden, im Rohrleitungsbau bestens bewährten, Verbindungen wie Schraub-, Schraublang-, TYTON-, Stopfbuchsenmuffe, schubge-

sicherte Schraubmuffe, schubgesicherte TYTON-Muffe und API-Gewindeverbindung ermöglichen technisch elegante und sichere Lösungen bei der Konstruktion und Verlegung von Dükerleitungen.

Im folgenden werden einige interessante Verlegungen beschrieben. Vielleicht kann die eine oder andere Ausführung Anregungen für eigene Planungen vermitteln.

Doppeldüker durch den Main in Würzburg

Zusammen mit einer Wasserleitung NW 500 für 8 atü Betriebsdruck und einer Gashochdruckleitung NW 200 für 10 atü Betriebsdruck wurden ein 20-kV-Stromkabel und drei Meß- und Steuerkabel zur Dükerung vorgesehen. Der Düker hat eine Länge von 120 m und wurde im Mai 1960 verlegt.

Planung

Als bekannte Verfahren für den Bau eines Dükers standen zur Überlegung:

- das Spundwandverfahren,
- das Einschwimmverfahren,
- das Durchzugverfahren.

Gegen das Spundwand- und Einschwimmverfahren sprachen die zu hohen Baukosten und die nicht vermeidbare erhebliche Störung der Schifffahrt. Nachdem die Frage der Verlegung geklärt war, mußte die nicht weniger wichtige Frage des Rohrwerkstoffes entschieden werden. Sowohl für die Wasserleitung

NW 500 als auch für die Gashochdruckleitung NW 200 wurden Rohre aus duktilem Gußeisen mit Schraublangmuffen-Verbindungen gewählt. Ausschlaggebend für die Wahl von Gußrohren waren eigene Erfahrungen der Stadtwerke. Gußeiserne Rohrleitungen, die nach 30 Jahren Liegezeit aus dem Main ausgebaut wurden, waren praktisch neuwertig. Auch im Stadtrohrnetz tun bis 100 Jahre alte Gußrohrleitungen noch heute ihren Dienst.

Nach einer Idee von Herrn Direktor Schön, Würzburg, sollte das Rohrbündel auf Schlitten gespannt und durch seitlich angebrachte, gelenkig miteinander verbundene Zugstangen über die Sohle der Baggerinne gezogen werden. Dieses „Anhängeverfahren“ ermöglicht einen von Zug- und Biegespannungen freien Durchzug des Rohrbündels. Zugbeanspruchungen werden durch die Gelenkstangenkette und Biegebeanspruchungen durch die bewegliche, gummigedichtete Schraubmuffe UNION aufgenommen. Die Gelenkstangen und die Endtraversen nehmen gleichzeitig die bei der Druckprobe auftretenden Kräfte auf. Ein Endverbau vor der Druckprobe ist nicht erforderlich.

Da für das geplante Verfahren keine Erfahrungen vorlagen, mußten eingehende Versuche durchgeführt werden. In einem Rohrgraben mit auf- und absteigender Kurvenlinie, $r = 175$ m, wurden vier gußeiserne Schraubmuffenrohre NW 500, Baulänge 6 m, ein E- und ein F-Stück zu einem Rohrstrang verbunden, die Rohre hinter den Muffen auf Schlitten befestigt und diese durch seitliche Zugstangen mit Gabelgelenken

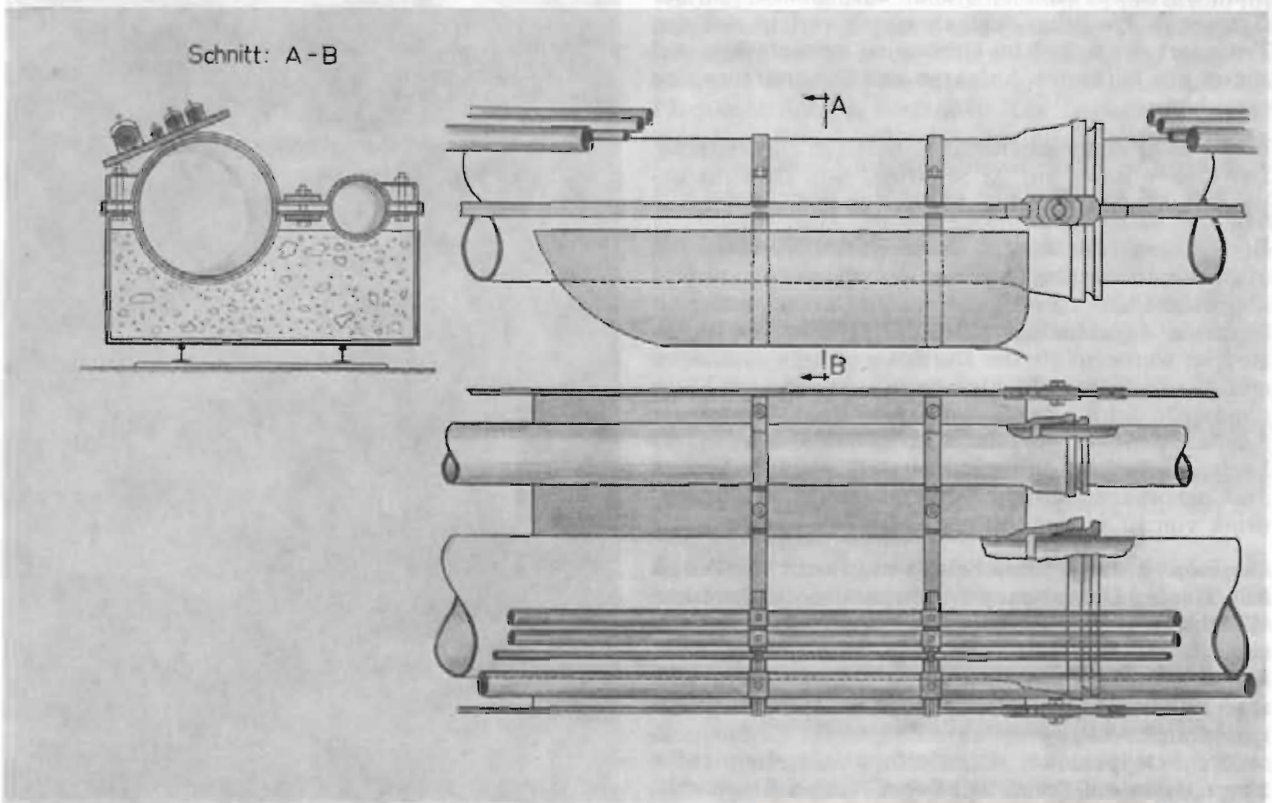
miteinander verbunden. Vor Beginn der Zugversuche wurde der Rohrstrang einer Wasserdruckprobe von 10 atü und 3 Stunden Dauer unterzogen und anschließend mittels Handkabelwinde über die Grabensohle gezogen. Die größte erreichte Abwinkelung in den Schraubmuffen betrug $3,5^\circ$. Nach Abschluß der Versuche wurde der Rohrstrang mit 4 atü Luft und danach mit 15 atü Wasser abgedrückt. Beide Druckproben zeigten trotz härtester Beanspruchungen völlige Dichtheit. Die Versuche haben bewiesen, daß der Durchzug einer Dükerleitung nach dem „Anhängeverfahren“ durchführbar ist.

Bauausführung

Bild 1 zeigt die Konstruktion der Gleitschlitten, Schnitt A-B veranschaulicht die Ausführung der Rohrschellen zur Befestigung der Rohrleitungen und die Anbringung der Träger für die Kabelstränge. Die Seitenansicht des Schlittens läßt die Ausführung der Gabelgelenke der Zugstangen und die Befestigung der Zugstangen am Schlitten erkennen (siehe auch Bild 2). Das an der Rückseite angeschweißte, gebogene Flacheisenstück dient zur Führung der Schlitten auf den Gleisen bis zum Wasser. Am letzten Schienenstoß wird es nach oben gebogen, um eine Bremswirkung auf der Grabensohle zu verhindern.

In die Gashochdruckleitung NW 200 wurde ein Kugelwassertopf aus duktilem Gußeisen eingebaut und die Ausspumpleitung für diesen Wassertopf in der Gashochdruckleitung bis zum Ufer geführt. Senkrecht zum

Bild 1



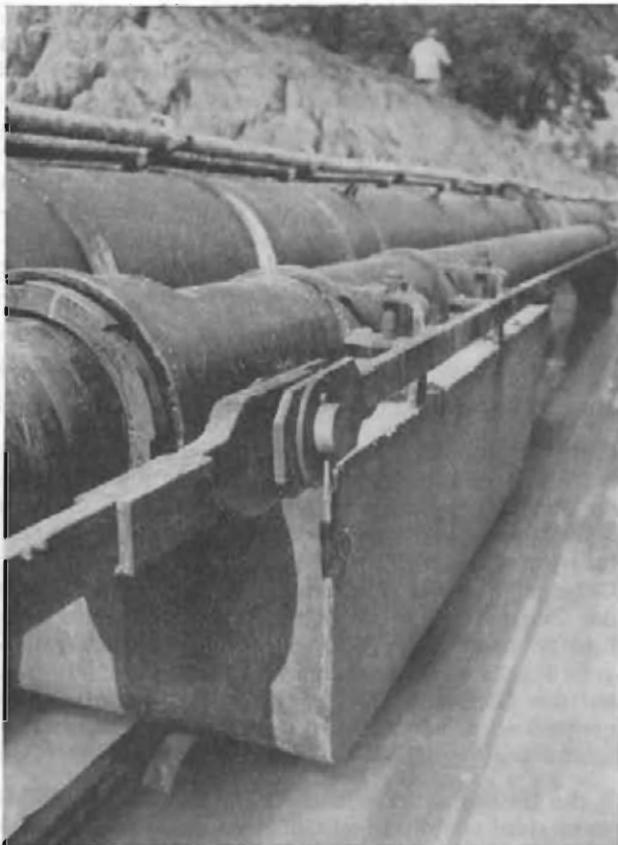


Bild 2

Main wurde ein Montagegraben ausgehoben. Auf der Grabensohle wurden Feldbahngleise verlegt, um den Transport der Röhre im Graben zu vereinfachen und später ein leichteres Anfahren des Düklerstranges zu erreichen.

Bild 3 zeigt den zum Durchzug bereiten Düklerstrang. Der Dükler ruhte auf 23 Schlitten, sein Gewicht beträgt an Land 80 t und im Wasser 30 t.

Die Leitung NW 500 für Wasser wurde mit 15 atü Wasser und die Gashochdruckleitung mit 16 atü Luft abgedrückt und als einwandfrei dicht abgenommen. Nachdem der Montagegraben zum Main hin durchstochen war, erfolgte der Durchzug mittels einer feinstufig regelbaren Elektrowinde genau nach Plan ohne jede Schwierigkeit und ohne Behinderung der Schifffahrt in 34 Minuten. Anschließend wurden die beiden Leitungen nochmals mit Luft abgedrückt und die Gashochdruckleitung vom TÜV für einen Betriebsdruck von 10 atü geprüft und abgenommen.

Die Bauzeit des Düklers betrug insgesamt 4 Wochen. Mit diesem Düklerbau wurde von den Stadtwerken Würzburg eine Pionierleistung vollbracht, die von zahlreichen bei der Verlegung anwesenden Fachleuten anerkannt wurde und die Grundlage für weitere Dükerverlegungen nach dem in Würzburg entwickelten „Anhängeverfahren“ bildete. U. a. wurde 1960 ein Doppeldükler NW 500 für Wasser von 134 m Länge durch die Donau bei Regensburg verlegt.

Dükler durch den Main in Schweinfurt

Der Dükler hat eine Länge von 205 m und besteht aus duktilen Gußrohren NW 400 mit Schraubmuffenverbindungen.

Planung

Nach den ausgezeichneten Erfahrungen mit dem Durchzug von Dükern nach dem Anhängeverfahren lag es nahe, nach Vereinfachungen in der Konstruktion und Montage zu suchen.

Ein der Fa. Mayr, Köln, geschütztes Verfahren bietet hier eine Lösung. Die Aufgaben von Gleitschlitten und Zuggestänge werden einem neuen Konstruktionselement, dem Gleit- und Zugblech, übertragen. Die Röhre werden in hölzernen Auflagen auf einem Blechband festgespannt. Dieses Blechband liegt auf einer Blechbahn. Zwischen beiden wird eine Fettschicht aufgebracht. Bei einem Reibungsbeiwert von 0,3—0,4 für Stahlblech/Stahlblech mit Fettschicht kann mit einer geringeren Zugkraft und einem leichteren und ruckfreieren Anfahren des Düklers gerechnet werden.

Bauausführung

Am Ufer, senkrecht zum Main und in der Verlängerung der Düklerachse, wurde eine Blechbahn von 1 m

Bild 3



Breite und 3 mm Stärke aus einzelnen Blechen ausgelegt und an den Stoßstellen durch Laschen verschweißt. Auf diese Blechbahn wurde eine Fettschicht aufgetragen und darauf das eigentliche Gleit- und Zugblech von 1 m Breite und 5 mm Stärke durch Elektroschweißung zu einem durchlaufenden Blechband verbunden. Auf dem Blechband wurden an beiden Seiten in Abständen von 1 m Rundeisenbügel angeschweißt. Zwischen diesen Bügeln wurden hölzerne Rohrauflegeböcke aufgestellt. Durch an den Rundeisenbügeln befestigte und über das Rohr laufende Stahlbänder wurde die Dükerleitung auf dem Blechband verspannt (Bild 4). An den Dükerenden wurden Böcke aus Doppel-T-Eisen mit dem Zugband verschweißt, um die bei der Druckprobe auftretenden Schubkräfte aufzunehmen und auf das Zugband zu übertragen (Bild 5).

Nach einer Druckprobe mit 15 atü Wasser konnte mit dem Durchzug begonnen werden. Wie erwartet, lief der Düker leicht und ohne nennenswerte Rucker an. Vor dem Eintauchen des Dükerstranges in den Main wurden die Rohre durch Säcke mit Magerbeton belastet. Da bei diesem Einziehverfahren die mit Beton gefüllten Gleitschlitten fehlen, muß die zusätzliche Auflast für den erforderlichen Abtrieb sorgen und eine sichere Führung des Zugbandes auf der Grabensohle bewirken. Ein weiterer Vorteil dieser Abdeckung mit Magerbetonsäcken ist die sicherere und einfachere Verfüllung des Dükergrabens. Bei einer Ge-

Bild 4



Bild 5

schwindigkeit von 4—5 m pro Minute war der Durchgang nach ca. 45 Minuten beendet. Eine nochmalige Druckprobe bestätigte die erfolgreiche Dükerverlegung.

Düker durch die Fulda bei Bad Hersfeld

Der Düker ist 102 m lang und besteht aus duktilen Gußrohren NW 200 mit TYTON-VERBINDUNGEN. Auch die TYTON-VERBINDUNG wurde mit Erfolg für den Dükerbau eingesetzt und dabei ein Verfahren angewendet, bei dem die Rohre ebenfalls auf Schlitten montiert wurden, die aber nur aus einer leichten Blechkonstruktion bestanden. Die Distanzierung der einzelnen Rohre untereinander erfolgte durch Schellen, die mit Zugbändern verschweißt wurden. Am Dükerkopf wurde vor den Kopfschlitten ein Ballastschlitten gesetzt, der mit Beton ausgegossen war und beim Einziehen in den Rohrgraben evtl. eingeschwenktes Material zur Seite schieben sollte. Vor dem Einziehen des Dükers wurde dieser Ballastschlitten allein als Räumschlitten durch den Graben gezogen.

Da die Blechschlitten nur ein verhältnismäßig geringes Gewicht hatten, wurde der Düker vor dem Einziehen geflutet. Die Verlegung erfolgte also ohne Gleitschienen oder Gleitbleche und ohne Verwendung von Ballastklötzen. Dadurch war es möglich, den Düker mit relativ geringen Kosten zu verlegen.

Das Gesamtgewicht des gefluteten Dükers betrug an Land rund 12 t und im Wasser annähernd 4 t. Um das Verhalten des einfahrenden Dükers und seine Lage in der Dükerrinne kontrollieren zu können, waren an jeder Muffe abnehmbare Peilstangen angebracht. Sowohl an Land als auch vor Verfüllung des Grabens wurde der Düker einer Hauptdruckprobe mit Wasser von 16 atü unterzogen, die eine einwandfreie Dichtheit der TYTON-VERBINDUNGEN ergab.