

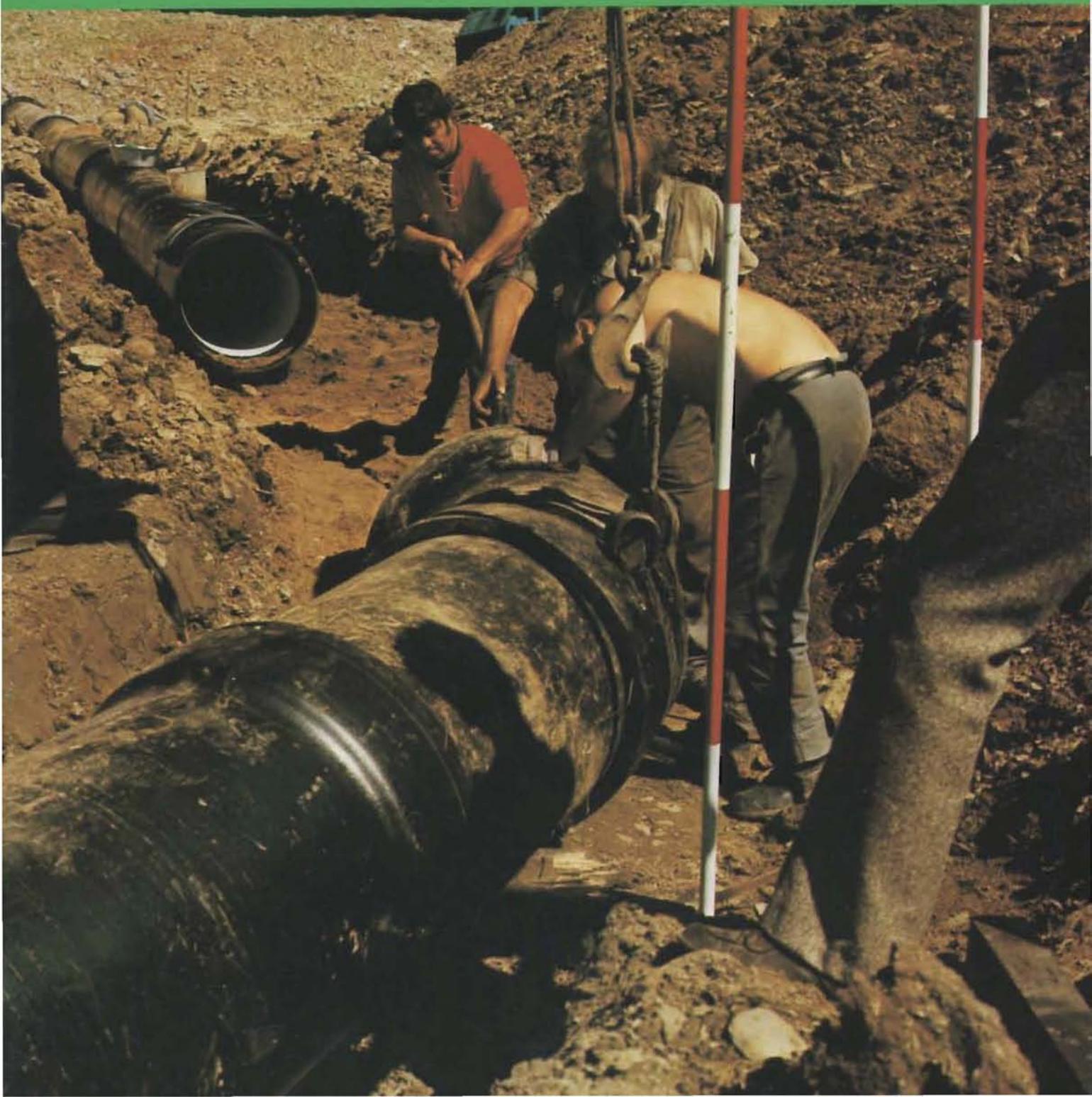
ROHRE für GAS und WASSER

fgr

Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre

9

Informationen für das
Gas- und Wasserfach



Inhalt

Seite

DIPL.-ING. REINHARD SCHAFFLAND
DR.-ING. ERICH THEIS UND
DIPL.-ING. ADOLF WOLF

**Anschweißstutzen aus duktilem Gußeisen für Hausanschluß-
leitungen**

I. Erläuterungen zu den FGR-Normen 37 Blatt 1 bis 4

II. Versuche zum Anschweißen von Anschlußstutzen an duk-
tile Gußrohre

2

DIPL.-ING. NORBERT RAFFENBERG

**Festigkeitsuntersuchungen an Druckrohren aus duktilem
Gußeisen**

11

DIPL.-ING. ADOLF WOLF UND
ING. ERICH IMHOF

Schubsicherungen für Rohrleitungen aus duktilem Gußeisen

20

DIPL.-ING. HERWIG HERBERT

**Inndüker aus duktilen Gußrohren für Abwasser, Trinkwas-
ser und Gas**

23

WERNER ZIMMERMANN

Duktile Gußrohre im Kraftwerksbau

34

DR. RER. NAT. WERNER WOLF

**Normung von Dichtringen für Gußrohr-Muffenverbindungen
in Gas- und Wasserleitungen**

(Erläuterungen zu den Normentwürfen DIN 3535 Blatt 3 und
DIN 28617)

38

DR.-ING. ERWIN NIEDERSCHUH

**Die strömungstechnische Berechnung von Leitungen aus duk-
tilen Gußrohren für den Gastransport**

44

DR.-ING. WOLF-DIETRICH GRAS UND
ING. HORST HIRSCH

**Eigenschaften von Schrauben und Muttern aus Gußeisen mit
Kugelgraphit für Rohrverbindungen in duktilen Gußrohr-
leitungen**

58

Herausgeber: Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre,
5 Köln 1, Konrad-Adenauer-Ufer 33, Postfach 160 176
Fernruf (02 21) 72 04 64 / 65

Nachdruck mit Quellenangabe erlaubt

Druck: J. & A. Temming, Bocholt

Februar 1974

Titelbild:

Duktile Gußrohre NW 600 mit zugfesten Verbin-
dungen

Anschweißstutzen aus duktilem Gußeisen für Hausanschlußleitungen

Von REINHARD SCHAFFLAND, ERICH THEIS und ADOLF WOLF

I. Erläuterungen zu den FGR-Normen 37 Blatt 1 bis 4

Bei Verteilerleitungen für Gas und Wasser ist eine große Anzahl von Hausanschlüssen erforderlich. Diese Anschlüsse können bei Stahlleitungen mittels Anschweißstutzen hergestellt werden, die in verschiedener Form, meist aus weißem Temperguß, im Handel sind. Bei Gußrohren werden bis heute stattdessen fast ausschließlich Anbohrschellen benutzt, die aufwendiger in der Beschaffung und weniger sicher im Betrieb sind. Daher ist es ein alter, durchaus verständlicher Kundenwunsch, auch bei Gußrohren Stutzen auf der Baustelle ohne oder nur mit geringer Vorwärmung anschweißen zu können. Bei Grauguß war dieser Wunsch unmöglich zu erfüllen, beim duktilen Gußeisen ist es jedoch jetzt gelungen.

Voraussetzung dafür war die Entwicklung von Nickel-Eisen-Elektroden, die eine einwandfreie Schweißung ohne anschließende Wärmebehandlung ermöglichen. Mit diesen Elektroden wurde zuerst ein Verfahren entwickelt, handelsübliche Tempergußstutzen anzuschweißen. Leider erforderten die Werkstoffunterschiede von Rohr und Stutzen dabei einen aufwendigen Schweißvorgang mit Puffernaht. Es lag der Gedanke nahe, die Tempergußstutzen durch entsprechende Konstruktionen aus duktilem Gußeisen zu ersetzen. Solche Stutzen sind in der FGR-Norm 37 festgelegt.

FGR 37 Blatt 1 „Schweißanleitung“ beschreibt in übersichtlicher Form alle Fakten, die beim Anschweißen von duktilen Stutzen an duktile Rohre zu beachten sind. Dabei muß dem Verleger dringend geraten werden, alle Punkte dieser Anleitung genau einzuhalten, da nur dann betriebssichere, dauerhafte Anschlüsse gewährleistet werden können.

Die Blätter 2 bis 4 der FGR 37 normen 3 Typen von Anschweißstutzen, und zwar, „gerade Stutzen mit Innengewinde“, „T-Stutzen mit Innengewinde“ und „gerade Stutzen mit Flansch“. Dabei wurden Abgangsnennweiten von 1, 1 $\frac{1}{4}$, 1 $\frac{1}{2}$ und 2 Zoll gewählt bzw. 25, 32, 40 und 50 mm für die Flanschenabgänge. Die Anschweißpartien der Stutzen sind gruppenweise dem Durchmesser der Hauptrohre angepaßt und mit einer Schweißfase versehen. Bei einer Bestellung ist also die Stutzenart, die Abgangsnennweite und die Nennweite des Hauptrohres anzugeben, z. B. „gerader Stutzen mit Innengewinde, 1 $\frac{1}{2}$ Zoll für Rohr NW 200“.

Die Stutzen können ohne Unterbrechung des Betriebes sowohl an Gas- als auch an Wasserleitungen angeschweißt werden, und zwar sowohl im Scheitelpunkt als auch seitlich. Sie sind genau so korrosionsbeständig wie die duktilen Rohre. Auch an der Schweißnaht findet kein Korrosionsangriff statt, weil zwischen dem verwendeten, extrem beständigen Nickel-Eisen-Schweißgut und dem Grundwerkstoff die Potentialdifferenz ausreichend klein ist. Gegenüber mechanischen Beanspruchungen zeigen die angeschweißten

Stutzen eine sehr hohe Sicherheit, wie aus dem folgenden Aufsatz über eine Prüfung durch die Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt Mannheim hervorgeht.

II. Versuche zum Anschweißen von Anschlußstutzen an duktile Gußrohre

Die Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt Mannheim hat im Oktober 1973 den Prüfbericht über das Anschweißen von duktilen Anschlußstutzen an duktile Gußrohre fertiggestellt.

Im nachfolgenden ist dieser Bericht in Kurzfassung wiedergegeben. Die Zusammenfassung entspricht wörtlich dem Prüfbericht.

1. Gegenstand der Untersuchung

Rohre NW 100 nach DIN 28 610
Stutzen 1 $\frac{1}{2}$ “ nach FGR 37 Blatt 2, mit Werkstoffkennwerten nach DIN 28 600.

Schweißnahtvorbereitung

Die Schweißnahtvorbereitung erfolgte entsprechend FGR 37 Blatt 1.

Schweißbedingungen

Lichtbogenhandschweißung in Zwangslage, eine Wurzel- und eine Decklage. Als Schweißzusatzwerkstoff wurde eine basisch-graphitisch umhüllte Stabelektrode mit Nickel-Eisen-Kerndraht nach DIN 8573 verwendet (Gricast 31). Die Stromart war Wechsel- und Gleichstrom (Minus-Pol). Eine Wärmevor- bzw. Wärmenachbehandlung wurde nicht durchgeführt.

Schweißvorgang

Nach der Schweißnahtvorbereitung wurde das Rohr waagrecht in einen Schraubstock eingespannt und der Stutzen seitlich angesetzt und angeheftet. Anschließend wurde die Wurzel- und Decklage geschweißt, wobei jeweils von der 6-Uhr-Position ausgegangen wurde (Bild 1).

Die Gesamtzahl der geschweißten Proben betrug 30, wobei 20 mit Wechselstrom und 10 mit Gleichstrom geschweißt wurden. Die Stromstärke war bei Gleichstrom 105 A, bei Wechselstrom 110 A.

2. Durchgeführte Untersuchungen

- a) Prüfung **aller** Proben ohne Verbindungsbohrung zwischen Stutzen und Rohr (Bild 2):
 1. Dichtheitsprüfung mit Luft.
Prüfdruck $p = 2$ bar.
 2. Dichtheitsprüfung mit Wasser.
Prüfdruck $p = 40$ bar.
 3. Durchstrahlungsprüfung mittels Röntgenstrahlen
 4. Magnetpulverprüfung
 - a) mit Hilfsdurchflutung
 - b) mit Spulenmagnetisierung.



Druckrohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen für Gas- und Wasserleitungen

Anschweißstutzen

Schweißanleitung

F G R
37
Blatt 1

1. Grundsätzliches

Anschweißstutzen nach FGR 37 Blatt 2 bis Blatt 4 dürfen nur an Druckrohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen nach DIN 28600 angeschweißt werden. Sie sind bestimmt für Gasleitungen mit einem zulässigen Betriebsdruck bis 1 bar und für Wasserleitungen bis 40 bar.

Vor der erstmaligen Anwendung muß die Beratung des Rohrherstellers in Anspruch genommen werden.

Es wird empfohlen, geprüfte Schweißer einzusetzen.

Die Leitung kann bei Gas und Wasser unter Druck bleiben.

2. Vorbereitung der Schweißstelle

Alle Stellen, die mit dem Schweißgut in Berührung kommen, müssen metallisch blank, zinkfrei und trocken sein. Das Säubern kann durch Schleifen oder Feilen erfolgen. Schutzüberzüge, die sich in den Werkzeugen festsetzen und sie stumpf machen, sollten vorher durch Schaben oder mit chemischen Mitteln (z.B. Terpentin oder Terpentinersatz) entfernt werden. Sind die Rohre bereits verlegt, ist die Montagegrube so groß auszuheben, daß ungehindert geschweißt werden kann und keine Verunreinigungen auf den Schweißbereich fallen können. Bei Regen z.B. sollte die Grube mit einer Plane abgedeckt werden, um den Schweißbereich trocken zu halten.

3. Schweißverfahren und Zusatzmittel

Es darf nur nach dem Lichtbogen-Hand-Verfahren mit Stabelektroden geschweißt werden. Am besten haben sich bisher die Nickel-Eisen-Elektroden mit ca. 50 % Nickel bewährt. Stromart und Polung wirken sich sehr stark auf das Schweißverhalten aus und müssen deshalb der Schweißaufgabe angepaßt werden. Grundsätzlich ist zu beachten, daß die Gleichstrom-Schweißung die größere Abschmelzleistung erbringt. Die Wechselstrom-Schweißung ist durch ihren feintropfigeren Werkstoffübergang besonders für die Zwangslagenschweißung geeignet. Aber auch in Wannelage zeigt sie ein sehr gutes Schweißverhalten.

4. Das Schweißen

Bei Temperaturen $< 5^{\circ} \text{C}$ sollte nicht geschweißt werden.

4.1 Vorwärmen

Es wird ohne Vorwärmung geschweißt. Bei hoher Luftfeuchtigkeit und bei Gefahr von Schwitzwasser muß der Schweißbereich getrocknet werden.

Fortsetzung Seite 2
und Blatt 2

4.2 Ermittlung der günstigsten Schweißdaten

Die vom Hersteller angegebenen Stromstärken sind nur Richtwerte. Da die Meßgeräte meistens nicht geeicht sind, die Länge der Schweißkabel zu einem Spannungsabfall führen kann und die Charakteristik der Stromquelle von Einfluß ist, muß die geeignete Stromstärke durch Schweißen an einem Rohrabchnitt aus duktilem Gußeisen visuell eingestellt werden. Es wird eine Elektrodenlänge zu einer Strichraupe ausgezogen. Glühen die letzten 50 bis 60 mm der Elektrode dunkelrot auf, ist die Stromstärke richtig eingestellt. Glüht durch zu hohe Stromstärke die Elektrode hellrot auf, besteht die Gefahr, daß die Umhüllung ihre guten Schweißigenschaften verliert oder auch teilweise abfällt. Die Reststücke sind deshalb wegzuerwerfen. Bei Gleichstrom-Schweißung muß der Lichtbogen kurz gehalten, bei Wechselstrom-Schweißung etwas länger gezogen werden. Das Bad muß klar zu sehen sein. Weiterhin ist zu beachten, daß sich die Schlacke gut löst. Elektroden bzw. Schweißbedingungen, bei denen die beiden letzten Voraussetzungen nicht gegeben sind, sollten vermieden werden.

4.3 Schweißdurchführung

4.3.1 Heften

Die Stutzen werden an zwei gegenüberliegenden Stellen geheftet. Nach dem ersten Heften wird der Stutzen wieder an das Rohr angedrückt und die zweite Heftstelle angebracht. Um ein Reißen der Heftstellen zu verhindern, dürfen diese nicht zu dünn ausgeführt werden. Sie sollten einem a-Maß von etwa 4 bis 6 mm entsprechen, etwa 10 mm lang sein und unter einem kleinen Winkel beidseitig zur Fuge hin auslaufen, damit beim Schweißen der Kehlnaht am Auslauf keine Wurzelfehler durch vorlaufende Schlacke auftreten. Außerdem wird dadurch auch das Überschweißen von Heftstellen erleichtert und es braucht an der höchsten Stelle nur noch leicht angeschmolzen zu werden. Der flache Auslauf läßt sich durch entsprechende Schweißtechnik oder nach dem Erkalten durch Schleifen erreichen.

4.3.2 Nahtausführung und Schweißfolge

Die Kehlnaht soll in möglichst wenig Lagen auf ein a-Maß von ca. 4 bis 6 mm gebracht werden, da bei dünnen Nähten und geringen Wärmeeinbringen Risse auftreten können. Am Schweißbeginn muß das Bad gut flüssig sein. Um dies zu erreichen, wird zunächst etwa 10 mm in entgegengesetzter Richtung geschweißt und dann ohne Absetzen in der beabsichtigten Richtung über den Nahtanfang hinweg geschweißt. Grundsätzlich sollten Stehnahte geschweißt werden, da sich bei Fallnähten weniger Schweißgut pro Lage einbringen läßt. Sofern entsprechend dem Verhältnis von Stutzen- zu Rohr-Durchmesser die Gefahr des Vorlaufens von Schweißschlacke nicht besteht, kann von Heftstelle zu Heftstelle durchgeschweißt werden. Geeignet sind Elektroden mit 3,25 mm Durchmesser.

5. Nachbehandlung

Naht an ruhiger Luft abkühlen lassen. Schlacke entfernen. Mit Bitumenlack nachstreichen.

6. Prüfen

Abgänge verschließen. Mit Nenndruck + 5 bar, mindestens jedoch mit 21 bar Wasser prüfen, bei Gas zusätzlich noch mit 2 bar Luft. Dann erst anbohren. Falls noch weitere Prüfungen durchgeführt werden sollten, müssen diese ebenfalls vor dem Anbohren erfolgen.



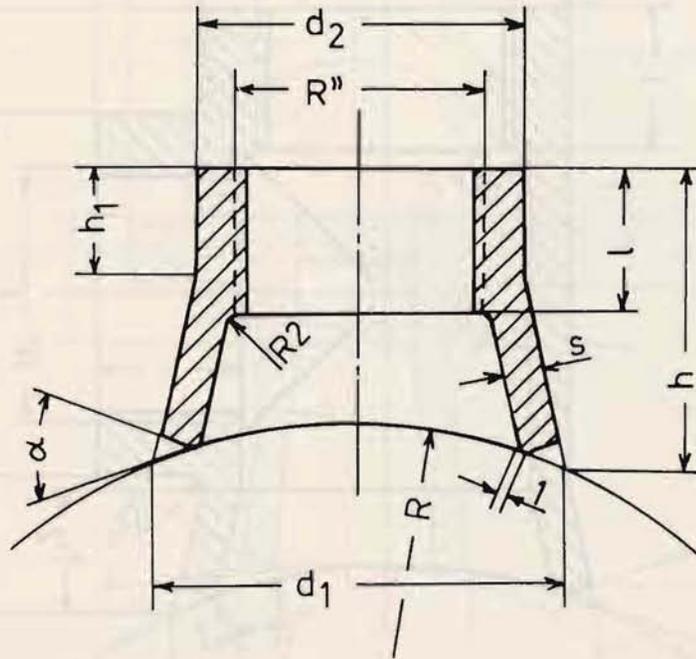
Druckrohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen für Gas- und Wasserleitungen

F G R
37
Blatt 2

Anschweißstutzen
gerader Stutzen mit Innengewinde

Schweißanleitung FGR 37 Blatt 1

Maße in mm



R''	d ₁	d ₂	s	h	h ₁	l	R	für Rohr NW	Gewicht ≈ kg
1	55	43	5	40	14	19	58	80-125	0,25
							125	150-500	
1 1/4"	65	52		45	16	21	53	80-100	0,4
							87	125-200	
							185	250-500	
1 1/2"	75	58		50	16	21	49	80	0,5
							65	100-125	
							98	150-200	
							180	250-500	
2"	90	71		55	19	24	59	100	0,7
							78	125-150	
							125	200-250	
							200	300-500	

α umlaufend 60° zur Rohroberfläche

Werkstoff: duktiles Gußeisen nach DIN 28600

Fortsetzung Blatt 3

für diese technische Unterlage behalten wir uns alle Rechte vor. Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre



Druckrohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen für Gas und Wasserleitungen

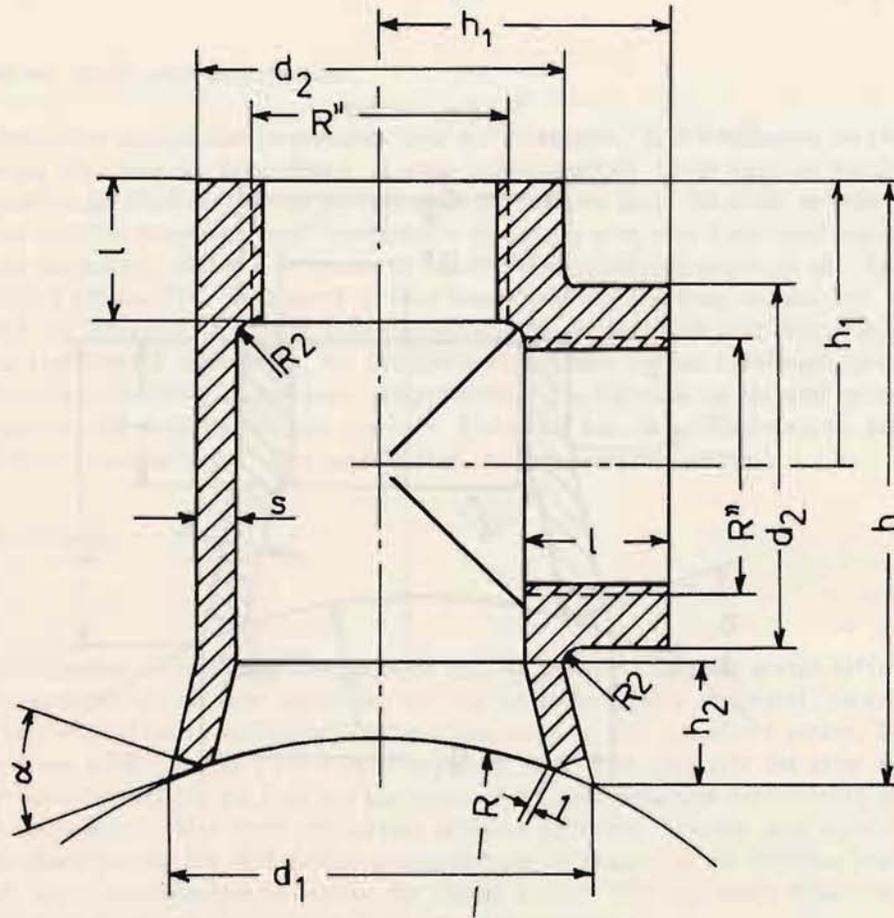
FGR
37
Blatt 3

Anschweißstutzen

T-Stutzen mit Innengewinde

Schweißanleitung FGR 37 Blatt 1

Maße in mm



R''	d ₁	d ₂	s	h	h ₁	h ₂	l	R	für Rohr NW	Gewicht ≈ kg		
1''	55	52	5	80	38	15	19	58	80 - 125	0,7		
											125	150 - 500
1 1/4''	65	58	5	95	43	20	21	53	80 - 100	0,9		
											87	125 - 200
											185	250 - 500
1 1/2''	75	64	5	105	46	25	21	49	80	1,15		
											65	100 - 125
											98	150 - 200
											180	250 - 500
2''	90	76	5	120	55	25	24	59	100	1,6		
											78	125 - 150
											125	200 - 250
											200	300 - 500

α umlaufend 60° zur Rohroberfläche

Werkstoff: duktiler Gußeisen nach DIN 28600

Fortsetzung Blatt 4

für diese technische Unterlage behalten wir uns alle Rechte vor. Fachgemeinschaft Gusseiserne Rohre



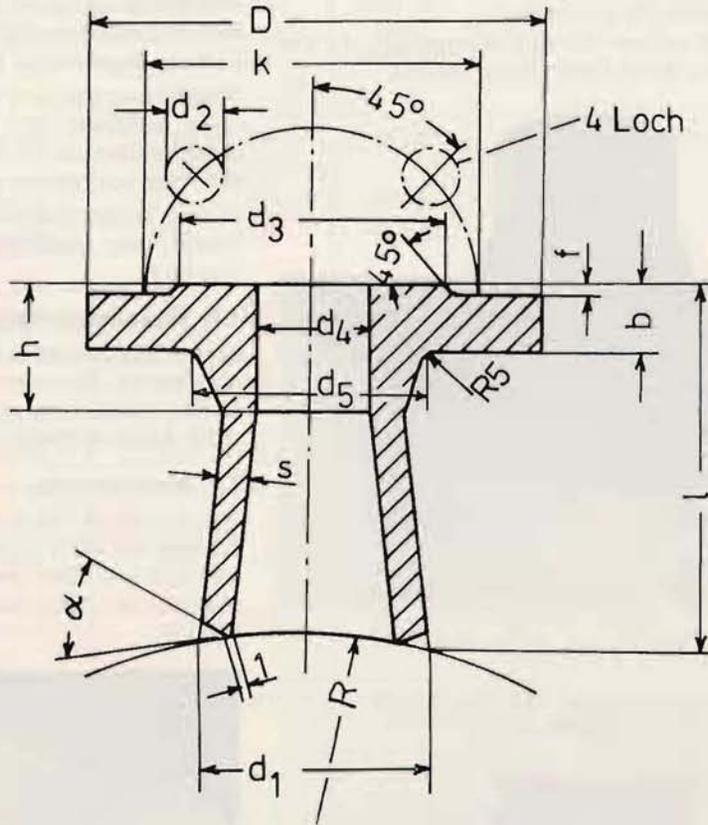
Druckrohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen für Gas und Wasserleitungen

FGR
37
Blatt 4

Anschweißstutzen
gerader Stutzen mit Flansch

Schweißanleitung FGR 37 Blatt 1

Maße in mm



für diese technische Unterlage behalten wir uns alle Rechte vor. Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre

NW	d ₁	l	s	D	b	k	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	h	f	R	für Rohr NW	Gewicht ≈ kg
25	55	80	5	115	16	85	14	68	25	50	37,5	2	58	80 - 125	1,2
													125	150 - 500	
32	65	85		140	19	100	19	78	32	60	38,5	3	53	80 - 100	2,0
													87	125 - 200	
													185	250 - 500	
40	75			150		110		83	40	73	39		49	80	2,4
													65	100 - 125	
													98	150 - 200	
													180	250 - 300	
50	90			165		125		98	50	83	40		59	100	3,0
													78	125 - 150	
													125	200 - 250	
													200	300 - 500	

α umlaufend 60° zur Rohroberfläche

Werkstoff: duktilem Gußeisen nach DIN 28600

- b) Weitere Prüfung der Proben:
 40 % Berstversuche (mit Verbindung zwischen Rohr und Stutzen).
 27 % Biegewechselversuche.
 30 % Metallographische Untersuchung (zusätzliche Untersuchungen an Proben aus Berst- und Biegewechselversuchen).
 3 % Maximales Biegemoment (wurde nach einem Versuch eingestellt, da das Gewinde des Anschlußstutzens ausriß).



Bild 1: Angeschweißter Stutzen mit Decklage

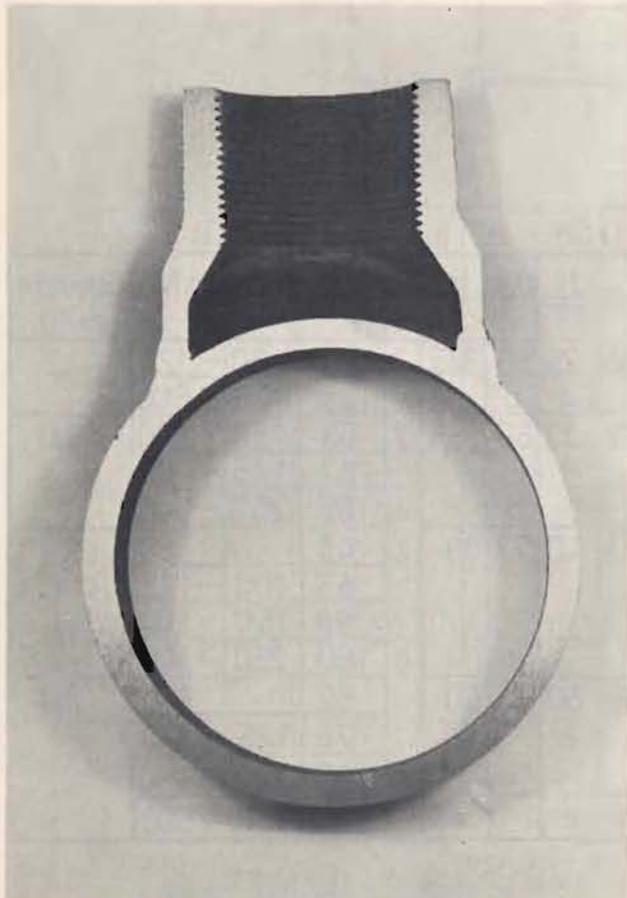


Bild 2: Querschnitt durch das Prüfstück

3. Ergebnisse der Untersuchungen

3.1. Dichtheitsprüfung mit Luft und Wasser

Sämtliche Prüfstücke mit Ausnahme einer Probe (Lunker im Anschlußstutzen) zeigten keine Undichtheiten.

3.2. Durchstrahlungsprüfung mittels Röntgenstrahlen

Die für die Festlegung der Schliffebene hergestellten Röntgenfilme ließen folgende Schweißfehler erkennen: Poren, Schlackeneinschlüsse, Wurzelfehler, Einbrandkerben, Bindefehler (Bild 3).

Eine Bewertung und Benotung der Gußschweißverbindung aufgrund der Fehlerbeurteilung wurde nicht durchgeführt, da zur Zeit noch keine Normen oder Vorschriften vorhanden sind.

(Anmerkung: Fehlerart und Fehlergröße entsprechen denen von gleichartigen Verbindungen von Stahlrohren.)

3.3. Magnetpulverprüfung

Bei der Rißuntersuchung mittels Magnetpulverprüfung, die nur im Bereich Schweißnaht-Rohrgrundwerkstoff durchgeführt werden konnte, traten an keinem Prüfstück Risse in Erscheinung.

3.4. Berstversuche

Die geprüften Stücke mit Wanddicken zwischen 5 und 7,5 mm am Rohr erreichten Berstdrücke zwischen 250 und 410 bar. (Der rechnerische Mindestberstdruck für ein Rohr mit 5 mm Wanddicke beträgt 186 bar.) (Bild 4).

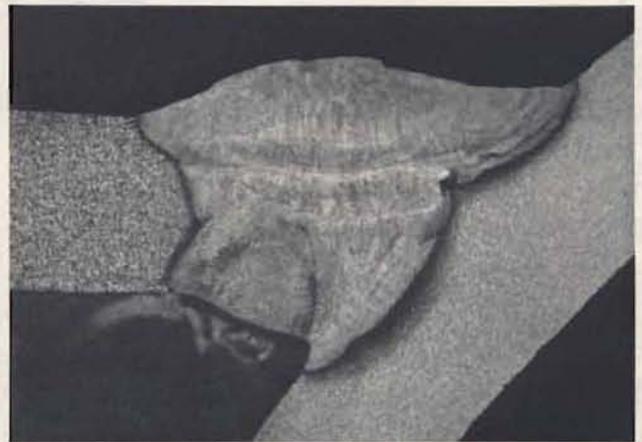


Bild 3: 6-Uhr-Lage, Berstdruck 365 bar, Flankenbindefehler, Schlackeneinschluß



Bild 4: Berstdruck 300 bar, Wanddicke 5,0 mm

3.5. Biegewechselversuche

Die obere Lastwechselzahl wurde zu 60 000 festgelegt, entsprechend hoch mußte dann die Grund- und Wechselast gewählt werden, um an den Proben einen Anriß herbeizuführen. Die Versuche wurden an einem

Zug-Druck-Pulsator Bauart Schenk durchgeführt. (Bild 5).

Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle festgehalten:

Prüfstück	Rohr- wanddicke mm	Anzahl der Versuche	Biegemoment Grund- Wechsel- last last kpm	Zahl der Last- wechsel	Befund
W. 14	6,5	1. Versuch	63 ± 54	6 200	Lastwahl zu nahe der Nullastung ohne Anriß Riß im Übergang Schweißnaht-Rohr (12-Uhr-Lage)
		2. Versuch	99 ± 81	60 000	
		3. Versuch	135 ± 117	50 300	
W. 15	6,5	1. Versuch	126 ± 90	56 500	Riß im Übergang Schweißnaht-Rohr (12-Uhr-Lage)
W. 17	7,0	1. Versuch	126 ± 90	60 000	Riß im Übergang Schweißnaht-Rohr (12-Uhr-Lage)
W. 20	7,2	1. Versuch	135 ± 108	6 100	ohne Anriß Riß im Übergang Schweißnaht-Rohr (12-Uhr-Lage)
		2. Versuch	126 ± 90	39 900	
W. 22	6,1	1. Versuch	135 ± 117	12 000	Riß im Übergang Schweißnaht-Rohr (12-Uhr-Lage)
G. 25	6,0	1. Versuch	99 ± 81	58 200	Riß im Übergang Schweißnaht-Rohr (12-Uhr-Lage)
G. 28	5,5	1. Versuch	126 ± 90	12 400	Riß im Übergang Schweißnaht-Rohr (12-Uhr-Lage)
G. 29	7,8	1. Versuch	126 ± 90	47 800	Risse im Übergang Schweißnaht-Rohr (12-Uhr-Lage)

Die Anrisse traten im Bereich der maximalen Biegemomente auf. Die Risse verliefen meistens entlang der schmalen, scharfbegrenzten Aufhärtungszone im Übergang Schweißnaht — Gußrohre. Nur die Rißenden dringen in den Grundwerkstoff des Schleudergußrohres ein (Bild 6).

3.6. Metallographische Untersuchung

Die metallographische Untersuchung zeigte, daß die Wärmeeinflußzone in der 6-Uhr-Lage (Schweißanfang)

wesentlich schmaler und schärfer begrenzt ist als in der 12-Uhr-Lage (Schweißnahtende) (Bild 7 und 8).

Der Einbrand sowie das Aussehen der Schweißnaht können im großen und ganzen als gut bezeichnet werden.

Aus den Makroschliffen wurde der Härteverlauf über die Schweißnaht ermittelt. (Härteprüfung nach Vickers, DIN 50 133, Belastung 10 kp).

Das Schweißgut selbst hatte eine Härte von HV 10 =

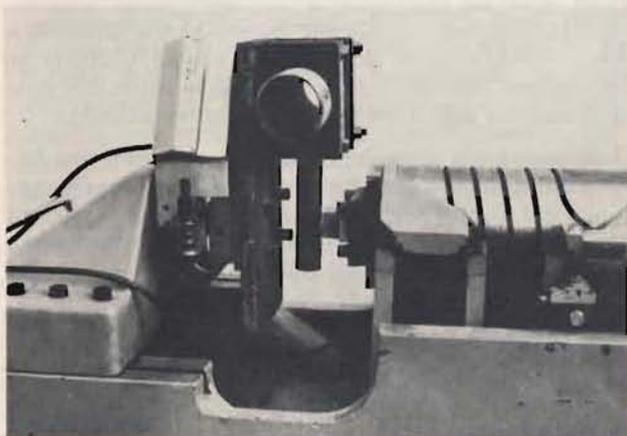


Bild 5: Versuchsanordnung zu den Biegewechselversuchen



Bild 6: Rißverlauf beim Biegewechselversuch

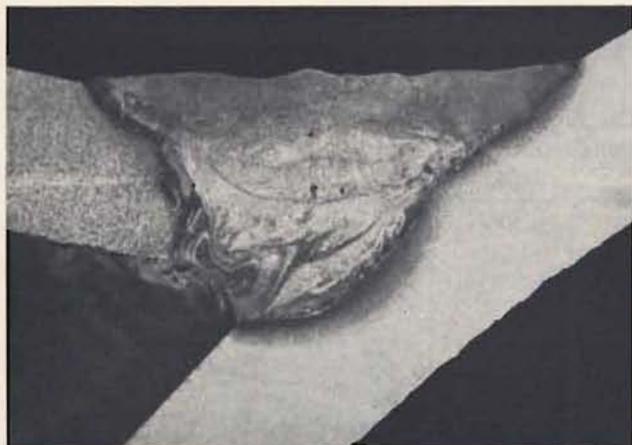


Bild 7: 6-Uhr-Lage



Bild 8: 12-Uhr-Lage

180 bis 250 kp/mm^2 , wobei die Decklage meist den höheren Wert liefert. In den Übergangszonen wurden weder rohr- noch stutzenseitig die Härte von HV 10 = 550 kp/mm^2 überschritten. Für die schmale, scharfbegrenzte Aufhärtungszone zwischen Schweißgut und Grundwerkstoff wurde eine Mikrohärteprüfung nach Vickers (Belastung 200 p) durchgeführt. Die höchsten hierbei gefundenen Werte lagen bei HV 200 p = 760 kp/mm^2 . (Dieser Wert tritt auch bei Stählen mit höherem Kohlenstoffgehalt auf.)

Die im Schweißgut gefundenen Werte lagen bei HV 200 p = 300 kp/mm^2 , d. h. die mit der Kleinlastprüfung ermittelten Härtewerte liegen höher als die mit den üblichen Prüflasten einer Vickersprüfung.

Ein auffällender Unterschied zwischen den mit Gleichstrom und den mit Wechselstrom geschweißten Anschlußstutzen konnte nicht festgestellt werden.

Die weiteren metallographischen Untersuchungen im Prüfbericht beschäftigen sich mit dem Gefügeaufbau der Grundwerkstoffe, der Wärmeinflußzone sowie des Schweißgutes, was auch in der nachfolgenden Originalzusammenfassung enthalten ist.

4. Zusammenfassung

Die vorliegende Untersuchung umfaßt das Anschweißen von duktilen Anschlußstutzen an duktile Schleudergußrohre, die aus ferritischem Gußeisen mit Kugelgraphit bestehen. Es handelt sich dabei um eine Guß-

eisenkaltschweißung, wobei als Schweißverfahren die Lichtbogenhandschweißung mit Gleichstrom und Wechselstrom zur Anwendung kam.

Die Schweißverbindung ist in Zwangslage hergestellt worden, um die gleichen Verhältnisse und Bedingungen zu erhalten, wie sie in der Praxis auftreten.

Bei der Luft- und Wasserdruckprüfung zeigte sich, daß von den 30 geschweißten Anschlüssen nur ein Prüfstück undicht war. Die Leckstelle konnte auf einen Gußlunker im Anschlußstutzen zurückgeführt werden. Durch die Magnetpulverprüfung im Bereich Schweißnaht—Rohrgrundwerkstoff konnten keine Härterisse nachgewiesen werden, die von der Oberfläche ausgehen oder sich dicht unter ihr befinden.

Bei den Berstversuchen ergab sich, daß an den beiden Rohrbrüchen die Risse parallel zur Rohrachse verlaufen, ohne daß dabei das ganze Rohr aufgerissen ist.

Die restlichen Proben hatten ihre Berststellen im Übergang Schweißgut—Schleudergußrohr. Die Berstdrücke schwanken zwischen 250 bar und 410 bar und überschreiten daher bei weitem die erforderlichen Mindestberstdrücke der Schleudergußrohre, die nach Wellinger bei einer Wandstärke von $s = 5,0 \text{ mm}$ zu 186 bar errechnet wurden.

Die Anrisse beim Biegewechselversuch befinden sich ausnahmslos in der Übergangszone Schweißgut—Rohrgrundwerkstoff. Außerdem war ein weit über der tatsächlich auftretenden Belastung liegendes Biegemoment notwendig, um bei einer Lastwechselzahl von 60 000 einen Riß entstehen zu lassen. Die mit Wechselstrom geschweißten Anschlußstutzen zeigten dabei ein günstigeres Verhalten gegen die Biegewechselbeanspruchung als die mit Gleichstrom (Minus-Pol) geschweißten Prüfstücke.

Aufgrund der metallographischen Untersuchungsergebnisse kann gesagt werden, daß die festgestellten Schweißfehler keine Minderung der Berstdrücke und Biegewechselfestigkeiten zur Folge hatten. Beim Verschweißen der basisch-graphitisch umhüllten Stabelektrode mit Gleichstrom (es sollte wie in der Versuchsreihe der Minus-Pol bevorzugt werden) ergab sich eine gröbere Kornbildung im Schweißgut gegenüber dem Verschweißen mit Wechselstrom.

In den schmalen, harten Übergangszonen mit einer Breite von ca. 0,2 mm zu beiden Seiten des Schweißgutes konnten keine Härterisse festgestellt werden. Die Härtespitzen in diesen Zonen haben nicht den Wert von HV 10 = 550 kp/mm^2 bzw. HV 200 p = 766 kp/mm^2 überschritten und wurden durch den dort auftretenden Ledeburit und Martensit verursacht.

Zwar traten die Risse beim Berstversuch und die Anrisse beim Biegewechselversuch in diesen Übergangszonen auf, da im Bereich des Ledeburit und Martensit der Werkstoff ein geringeres Verformungsvermögen besitzt, aber der sphärolitische Charakter des Gefüges ging trotzdem nicht ganz verloren. Da sich beim Erstarren des Schweißgutes in der harten Ledeburit-Martensit-Schicht der Graphit wieder in Kugelform auschied, konnte die innere Kerbwirkung herabgesetzt werden, und die Berührungsfläche der Sphäroliten mit dem Werkstoff erreichte einen Kleinstwert. Es ergeben sich daher keine Hinweise, daß durch das Auftre-

ten der schmalen Ledeburit-Martensit-Zone eine merkliche Verschlechterung der Gebrauchseigenschaften eingetreten ist, da die Berstdrücke und Biegewechselbeanspruchungen um ein Vielfaches über den tatsächlich auftretenden Belastungen liegen.

Die Versuche haben gezeigt, daß ein Anschweißen der duktilen Stutzen an die Schleudergußrohre möglich ist. Die ermittelten Untersuchungsergebnisse können jedoch nur im Zusammenhang mit den untersuchten

Werkstoffen, Schweißzusatzwerkstoffen, Dimensionen und Schweißbedingungen gesehen werden.

Es wäre empfehlenswert, das Anschweißen der Anschlußstutzen durch geprüfte Schweißer ausführen zu lassen. Außerdem sollten vor allem bei Änderung der Abmessungen (bei größeren Wanddicken ist eine Härtesteigerung in der Übergangszone zu erwarten) zusätzliche Prüfungen (z. B. Arbeits- und Verfahrensprüfungen) vorgenommen werden.

Festigkeitsuntersuchungen an Druckrohren aus duktilem Gußeisen

Von NORBERT RAFFENBERG

Im Laufe des letzten Jahrzehnts sind etliche Untersuchungen an duktilen Gußrohren NW 100 bis NW 500 durchgeführt worden, um das Festigkeitsverhalten dieser Rohre bei ihrem Einsatz in erdverlegten Leitungen für Gas und Wasser möglichst praxisnah zu erforschen. Bekanntlich sind erdverlegte Druckrohrleitungen vielfältigen Beanspruchungen ausgesetzt, und zwar durch Einflüsse von innen und außen. Diese Belastungen sind von der Rohrleitung über viele Jahrzehnte ohne Bruch auszuhalten.

Von innen werden Druckrohrleitungen im wesentlichen durch den Betriebsdruck des in ihnen geförderten Mediums (Gas, Wasser etc.) und durch eventuell auftretende Druckstöße, die ein Vielfaches des Betriebsdruckes ausmachen können, beansprucht. Aus dem Innendruck entstehen bei Gußrohrleitungen, die im allgemeinen aus beweglichen gummigedichteten Muffenrohren bestehen, Spannungen in Umfangsrichtung und in radialer Richtung.

Außer durch innere Belastungen (Betriebsdruck und eventuelle Druckstöße) werden erdverlegte Druckrohrleitungen auch durch äußere Lasten beansprucht, und zwar vor allem durch Scheitellasten, die durch Erd- und Verkehrslasten hervorgerufen werden. Durch diese Scheitellasten entstehen im Rohr zusätzliche Spannungen in Umfangsrichtung; dadurch können bestimmte Durchmesseränderungen, d. h. Verformungen des Rohres, verursacht werden.

Über die Beanspruchung durch Scheitellasten hinaus können Rohrleitungen aber 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 infolge Zwangsverformung des Rohres kritische Auswirkungen haben.

In der Regel überlagern sich bei erdverlegten Druckrohrleitungen die Spannungen aus den äußeren Belastungen mit den Spannungen aus der Innendruckbelastung; es treten sogenannte kombinierte Beanspruchungen auf.

Nicht zuletzt können bei der Lagerung, beim Transport und Einbau der Rohre sowie auch während des Betriebes der Rohrleitung bei Grabenarbeiten zusätz-

lich noch gewisse Schlageinwirkungen auftreten, die zu einer Schädigung der Rohre führen können.

Einen umfassenden Katalog über die möglichen Beanspruchungen durch den Bau und Betrieb von erdverlegten Wasserleitungen hat im übrigen der DVGW Frankfurt in Form einer besonderen Studie erarbeitet [1].

Nachstehend werden nun einige, insbesondere in drei Literaturstellen [2], [3], [4] bereits näher beschriebenen Untersuchungen an duktilen Gußrohren sowie ergänzende Versuche der Gußrohrwerke selbst kurz zusammenfassend dargelegt. In diesem Zusammenhang sei erwähnt, daß die von [3] durchgeführten Versuche auch im Bericht II der DVGW-Studie über erdverlegte Trinkwasserleitungen aus verschiedenen Werkstoffen [5] erfaßt sind, und zwar in der zur DVGW-Studie gehörenden Anlage 2 „Versuche mit Rohren aus metallischen Werkstoffen“.

Im einzelnen handelt es sich um folgende Versuchsthemen:

- 1.) Innendruckversuche
- 2.) Scheiteldruckversuche
- 3.) Längsbiegeversuche
- 4.) Schlagversuche

Die folgenden Ausführungen dienen dem Zweck, einen Gesamtüberblick über die zu den vorgenannten vier Themen bisher vorliegenden Versuchsergebnisse über duktile Gußrohre zu vermitteln, damit gleichsam ein abgerundetes Bild über das Betriebsverhalten dieser Rohre entsteht.

1. Innendruckversuche

Berstversuche an duktilen Gußrohren, d. h. Versuche mit statischer Belastung bei Beanspruchung durch Innendruck sind von Wellinger und Gaßmann [2] sowie auch von den Gußrohrwerken selbst durchgeführt worden.

Innendruck-Schwellversuche an duktilen Rohren, d. h. Versuche mit schwellender Belastung bei Beanspruchung durch Innendruck hat Fahrenwaldt [3] unter-
nommen.

Ferner sind Sprengversuche an wassergefüllten Rohren in einem Gußrohrwerk durchgeführt worden.

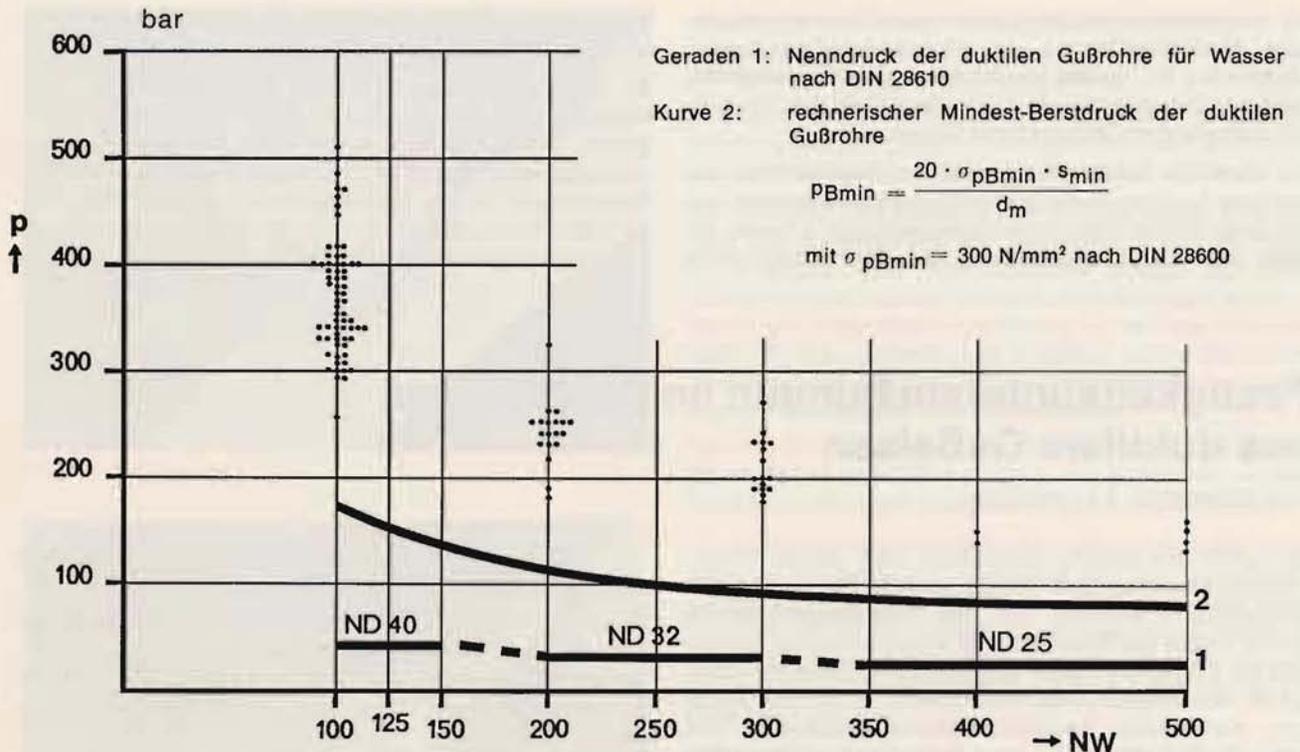


Bild 1: Berstdrücke duktiler Gußrohre NW 100 bis NW 500

1.1 Berstversuche

Von [2] sowie von den Gußrohrwerken selbst wurden Berstversuche an duktilen Gußrohren NW 100 und NW 200 durchgeführt, darüber hinaus von den Gußrohrwerken aber auch noch an Rohren NW 300, NW 400 und NW 500. Die Ergebnisse dieser Berstversuche, d. h. die bei den Versuchen erzielten Berstdrücke sind in Bild 1 zusammengestellt. Aus dem gezeigten Diagramm geht hervor, daß die effektiv zum Bersten duktiler Rohre erforderlichen Innendrucke in jedem Falle weit über den für Druckrohre aus duktilem Gußeisen in DIN 28610 für Wasser genormten Nenndrücken liegen (Geraden 1: ND 40 bis NW 150, ND 32 von NW 200 bis NW 300 und ND 25 ab NW 350), aber auch noch wesentlich über den rechnerisch ermittelten Mindest-Berstdrücken der Rohre (Kurve 2). Die aus den Berstdrücken resultierenden Berstfestigkeiten sind jeweils größer als die in DIN 28600 festgelegte Mindest-Berstfestigkeit von 300 N/mm^2 ($\approx 30 \text{ kp/mm}^2$).

Unter Zugrundelegung der bei den Versuchen je nach Nennweite festgestellten niedrigsten Berstdrücke ergeben sich gegenüber den für Wasser genormten Nenndrücken folgende Sicherheitsbeiwerte S:

- Bei NW 100: $S \geq 6,4$
- Bei NW 200: $S \geq 5,6$
- Bei NW 300: $S \geq 5,5$
- Bei NW 400: $S \geq 5,4$
- Bei NW 500: $S \geq 5,2$

Diese effektiven Sicherheitsbeiwerte liegen generell höher als der im Gutachten der MPA Stuttgart [2] festgelegte Sicherheitsbeiwert von $S = 2,3$.

Bild 2 zeigt das Berstverhalten eines Rohres NW 200 mit der für duktile Gußrohre typischen Rißausbildung: kurzer Längsriß mit kleinen schräg zur Rohrlängsachse

sich verzweigenden Rißausläufern an seinen Enden. Auf dem unteren Foto ist deutlich zu erkennen, daß dem letztlich durch Überbeanspruchung verursachten

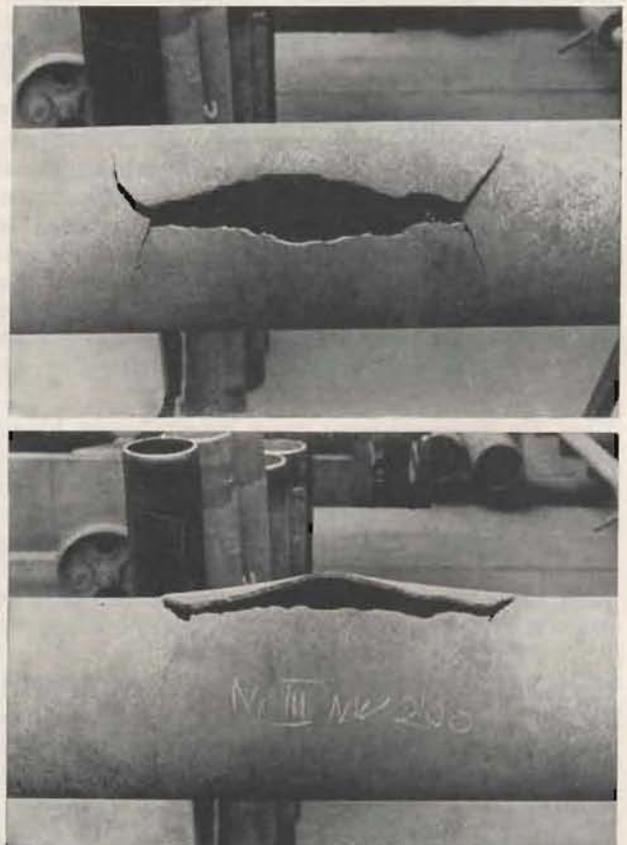


Bild 2: Duktiles Gußrohr NW 200 nach einem Berstversuch Vorder- und Seitenansicht der Rißstelle (nach [2])

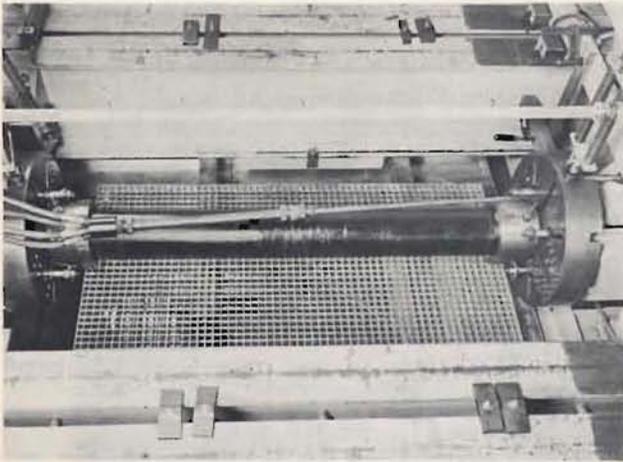


Bild 3: Prüfvorrichtung für die Innendruck-Schwellversuche an duktilen Gußrohren NW 200 (nach [3])

Aufreißen des Rohres plastische Verformungen in Form von kräftigen Aufweitungen im Bereich des Längsrisse infolge der beachtlichen Dehnungsfähigkeit des Rohrwerkstoffes vorausgegangen sind.

1.2 Innendruck-Schwellversuche

Von [3] wurden Innendruck-Schwellversuche an 2 m langen duktilen Rohren NW 200 (Länge der Rohrabschnitte also = 10 x NW) und an ca. 80 mm hohen Ringabschnitten NW 300 durchgeführt. Bild 3 zeigt die Prüfvorrichtung für die Rohrabschnitte NW 200, Bild 4 das Schema der Versuchseinrichtung für die kurzen Ringabschnitte NW 300. Als Schwelldruck-Erzeuger wurden Anlagen verwendet, mit denen bei NW 200 ca. 20 Lastspiele je Minute und bei NW 300 bis zu 250 Lastspiele je Minute erreicht wurden. Nach [3] ist jedoch im Gebiet der Zeitfestigkeit die Prüffrequenz ohne größeren Einfluß auf die Festigkeit.

Die bei den Innendruck-Schwellversuchen erzielten Ergebnisse gehen aus Bild 5 hervor; sie sind in Form einer Wöhlerlinie aufgetragen. Daraus läßt sich für duktile Gußrohre eine Zeitfestigkeit σ_{sch-10^5} von ca. 150 N/mm² (≈ 16 kp/mm²) ablesen.

Bei den Innendruck-Schwellversuchen wurde im übrigen festgestellt, daß ein größerer Unterschied zwischen der Festigkeit langer Rohrabschnitte und der von kurzen Ringabschnitten praktisch nicht besteht

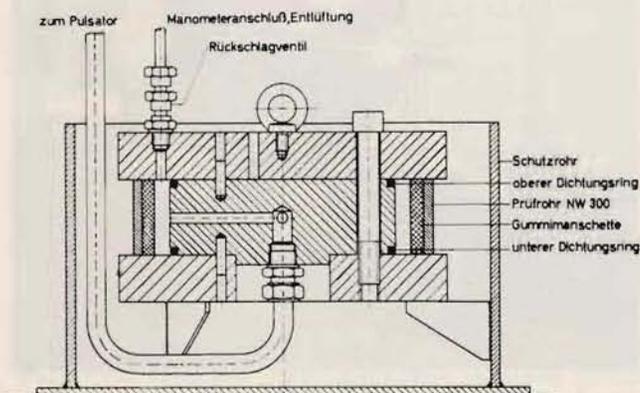


Bild 4: Prüfvorrichtung für die Innendruck-Schwellversuche an duktilen Ringabschnitten NW 300 (nach [3])

und daß die Rißausbildung der bei Innendruck-Schwellversuchen geborstenen Rohre im wesentlichen mit der in Berstversuchen festgestellten übereinstimmt.

1.3 Sprengversuche

In einem Gußrohrwerk wurden Sprengversuche an duktilen Rohrabschnitten NW 200 durchgeführt, um zu erforschen, ob bei Innendruckbeanspruchungen die Belastungsgeschwindigkeit einen besonderen Einfluß auf das Verhalten der Rohre hat. Dabei wurden im Innern der senkrecht stehenden, wassergefüllten Rohrstücke Sprengladungen unterschiedlicher Größenordnung angebracht. Die Versuche haben ergeben, daß bei bestimmten Mengen Sprengstoff das duktile Rohr lediglich eine Ausbeulung erfährt, wobei es aber noch voll funktionsfähig bleibt. Erst bei Anwendung be-

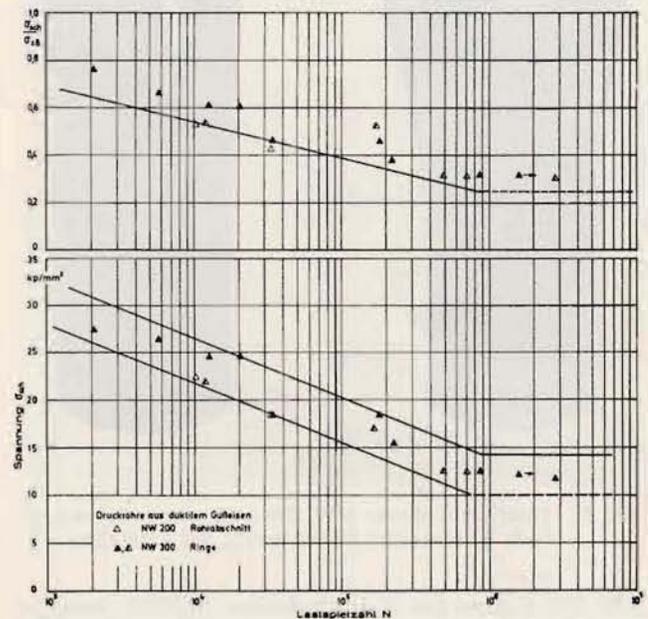


Bild 5: Innendruck-Schwellfestigkeit von duktilen Gußrohren NW 200 und NW 300 (nach [3])

trächtlicher Sprengladungen konnte ein Aufreißen des Rohres erreicht werden.

Aus Bild 6 ist klar zu erkennen, daß bei Überbeanspruchung des Rohres durch schlagartige Innendruckbeanspruchung 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, d. h. vor dem Aufreißen hat sich das Rohr infolge seines guten Verformungsvermögens beachtlich ausgebeult.

2. Scheiteldruckversuche

Scheiteldruckversuche ohne Innendruck sind von Fahrenwaldt [3] durchgeführt worden.

Scheiteldruck-Schwellversuche sowie Scheiteldruckversuche mit Innendruck wurden von Wellinger und Gaßmann [2] sowie von Fahrenwaldt [3] vorgenommen.

2.1 Scheiteldruckversuche ohne Innendruck

Von [3] wurden statische Scheiteldruckversuche ohne Innendruck an duktilen Rohrabschnitten NW 200 und

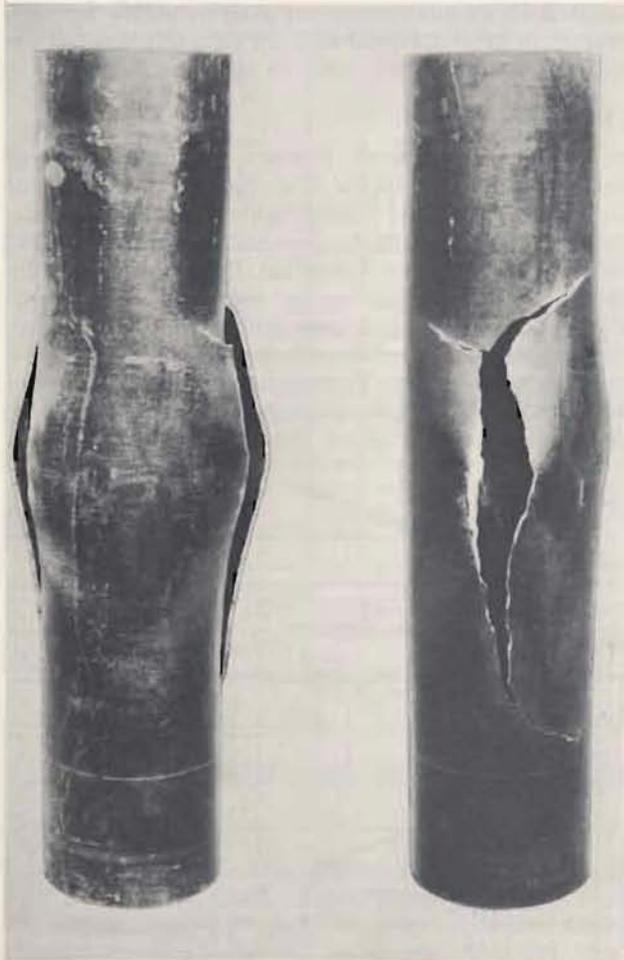


Bild 6: Duktiles Gußrohr NW 200 nach einem Sprengversuch, Vorder- und Seitenansicht der Rißstellen

NW 500 (Länge der Rohrabschnitte = NW) durchgeführt. Bild 7 zeigt beispielsweise die Versuchsanordnung für die Versuche an den 200 mm langen Rohrabschnitten NW 200. Bei den Versuchen mit NW 200 wurde eine Zweiliniens-Auflagerung verwendet, bei den Versuchen mit NW 500 eine Dreiliniens-Auflagerung. Nach [3] zeigt jedoch ein Vergleich der aus diesen beiden Auflagerungsarten resultierenden Momentenverteilung (die Momentenverteilung entspricht der Dehnungsverteilung), daß die für den Versuch maßgebenden maximalen Momente am Rohrscheitel im Rahmen der Genauigkeit übereinstimmen, so daß beide Versuchsanordnungen praktisch als gleichwertig zu betrachten sind.

Die Scheiteldruckversuche ohne Innendruck haben ergeben, daß sowohl bei der Dehnung als auch bei der erzielten Durchmesseränderung zwischen einem lastproportionalen (elastischen) und einem überproportionalen (teilplastischen) Bereich unterschieden werden kann.

Die geprüften duktilen Rohrabschnitte verformten sich unter der Scheitellast beträchtlich, wie aus Bild 8 hervorgeht. Während sich bei den Rohren NW 200 nach Erreichen der Höchstlast im höchstbeanspruchten Teil ein sich langsam ausbreitender Riß bildete, trat bei den Rohren NW 500 lediglich in einem Fall ein Bruch

ein, und zwar ebenfalls an der höchstbeanspruchten Stelle des Rohres.

2.2 Scheiteldruck-Schwellversuche

Die Ergebnisse der von [3] durchgeführten Scheiteldruck-Schwellversuche an duktilen Gußrohrabschnitten NW 200 und NW 500 (Länge der Rohrabschnitte = NW) gehen aus Bild 9 hervor; sie sind in Form einer Wöhlerlinie dargestellt. In dieses Bild sind auch die von [2] unter ähnlichen Versuchsbedingungen ermittelten Werte eingetragen. Daraus läßt sich für duktile Rohre eine Zeitfestigkeit $\sigma_{\text{schl-10}^5}$ von ca. 250 N/mm² (≈ 25 kp/mm²) ablesen, und zwar übereinstimmend aus beiden Versuchsreihen.

2.3 Scheiteldruckversuche mit Innendruck

Ebenfalls von [3] und von [2] wurden Scheiteldruckversuche mit Innendruck durchgeführt, und zwar an duktilen Gußrohren NW 200, jedoch bei unterschiedlicher Versuchsanordnung.

Bild 10 gibt das Schema der von [2] gewählten Prüf-anordnung sowie den Aufbau der kombinierten Scheiteldruck-Innendruckversuche an duktilen Rohren wieder. Bei den Versuchen wurde der Innendruck in der gewünschten Höhe aufgegeben und jeweils konstant gehalten; sodann wurde die Scheitellast aufgebracht und bis zum Bruch der Rohre gesteigert. Die erzielten Versuchsergebnisse sind in Bild 11 in Form eines Diagramms zusammengetragen. Um die Schwankungen des Widerstandsmoments infolge der unterschiedlichen Rohrwanddicken zu berücksichtigen, wurden die Scheitellasten auf eine Wanddicke von 10 mm umgerechnet. Daraus ergaben sich die bezogenen Bruch-

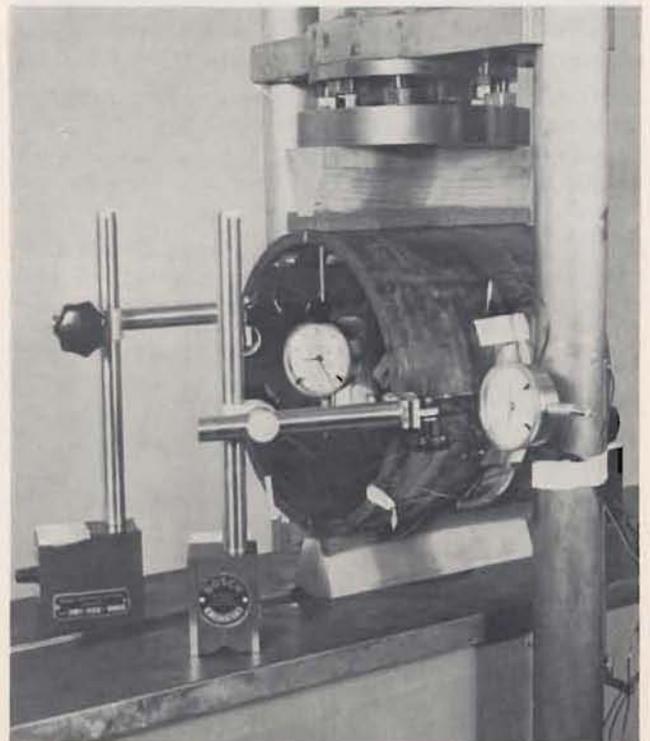


Bild 7: Prüfvorrichtung für die Scheiteldruckversuche ohne Innendruck an duktilen Gußrohren NW 200 (nach [3])



Bild 8: Duktiles Gußrohr NW 200 nach einem Scheiteldruckversuch ohne Innendruck (nach [3])

scheitellasten. Aus dem Diagramm ist ersichtlich, daß bei duktilen Gußrohren mit steigendem Innendruck die ertragbare Scheitellast bis zu einer bestimmten Innendruckspannung ansteigt, um erst bei relativ hohen Spannungen aus dem Innendruck auf den Ausgangswert zurückzugehen. Bei duktilen Gußrohren wirkt demnach 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 wieder in seine ursprüngliche kreisrunde Form zurückzubringen. Es entsteht ein mit Innendruck und Verformung wachsender Widerstand, welcher der Scheitelbelastung entgegenwirkt. Aus Bild 11 geht ferner hervor, daß das Maximum der bezogenen Scheitellast bei einer aus dem Innendruck errechneten Spannung von etwa 130 N/mm^2 ($\approx 13 \text{ kp/mm}^2$) liegt; diese Spannung entspricht praktisch der für duktile Gußrohre zulässigen Spannung aus dem Innendruck.

Bild 12 zeigt eine Schnittzeichnung der von [3] gewählten Versuchsvorrichtung für die kombinierten Scheiteldruck-Innendruckversuche an duktilen Gußrohrabschnitten NW 200. Die Versuchsdurchführung entsprach im übrigen der von [2] vorgenommenen. Die erzielten Versuchsergebnisse sind in Bild 13 in Form eines Diagramms zusammengetragen. Auch hier wurde wegen der unterschiedlichen Rohrwanddicken eine Umrechnung auf bezogene Größen vorgenommen, d. h. die Scheitellast beim Versuch mit Innendruck bezogen auf die Scheitellast beim Versuch ohne Innendruck wurde über dem Verhältnis des Innendrucks beim Versuch zum rechnerischen Berstdruck aufgetragen. Das Diagramm zeigt die Zusammenhänge zwischen Bruch-scheitellast und Innendruck. Es ist — in etwas abgewandelter Darstellung — wie nach [2] ein starkes An-

steigen der Bruch-scheitellast mit zunehmenden Innendrücken zu erkennen, und zwar etwa bis zu Drücken in Höhe von ca. $0,5 \times$ Berstdruck. Auch ist eine Abhängigkeit der Festigkeit vom Verhältnis Rohrradius zur Rohrwanddicke ersichtlich. Das Absinken der ertragbaren Scheitellast bei noch höheren Drücken wurde bei diesen Versuchen jedoch nicht erfaßt.

Letztlich sind von [3] also praktisch die Zusammenhänge, wie sie sich bei den von [2] durchgeführten Versuchen ergeben haben, bestätigt worden.

3. Längsbiegeversuche

Statische Längsbiegeversuche ohne Innendruck an duktilen Gußrohren sind von Reeh [4] durchgeführt worden, Längsbiege-Schwellversuche von Fahrwaldt [3].

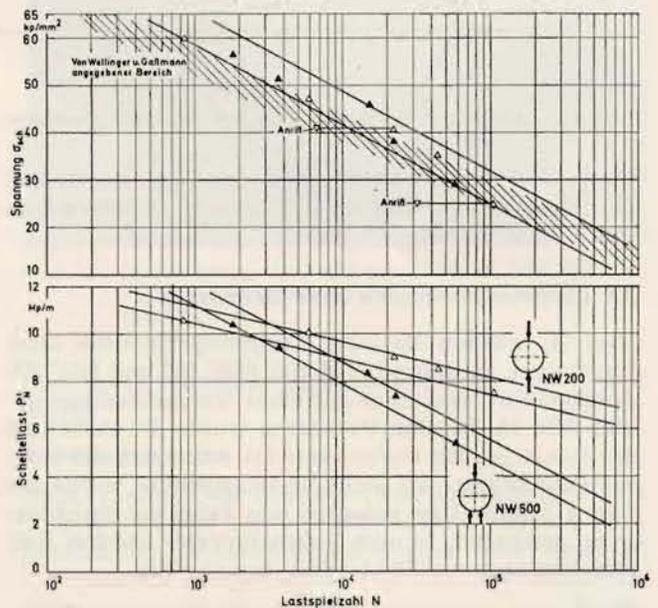


Bild 9: Scheiteldruck-Schwellfestigkeit von duktilen Gußrohren NW 200 und NW 500 (nach [3])

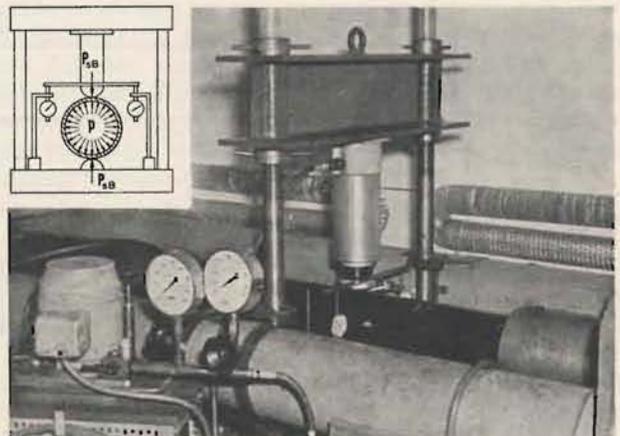


Bild 10: Prüfvorrichtung für die Scheiteldruckversuche mit Innendruck an duktilen Gußrohren NW 200 (nach [2])

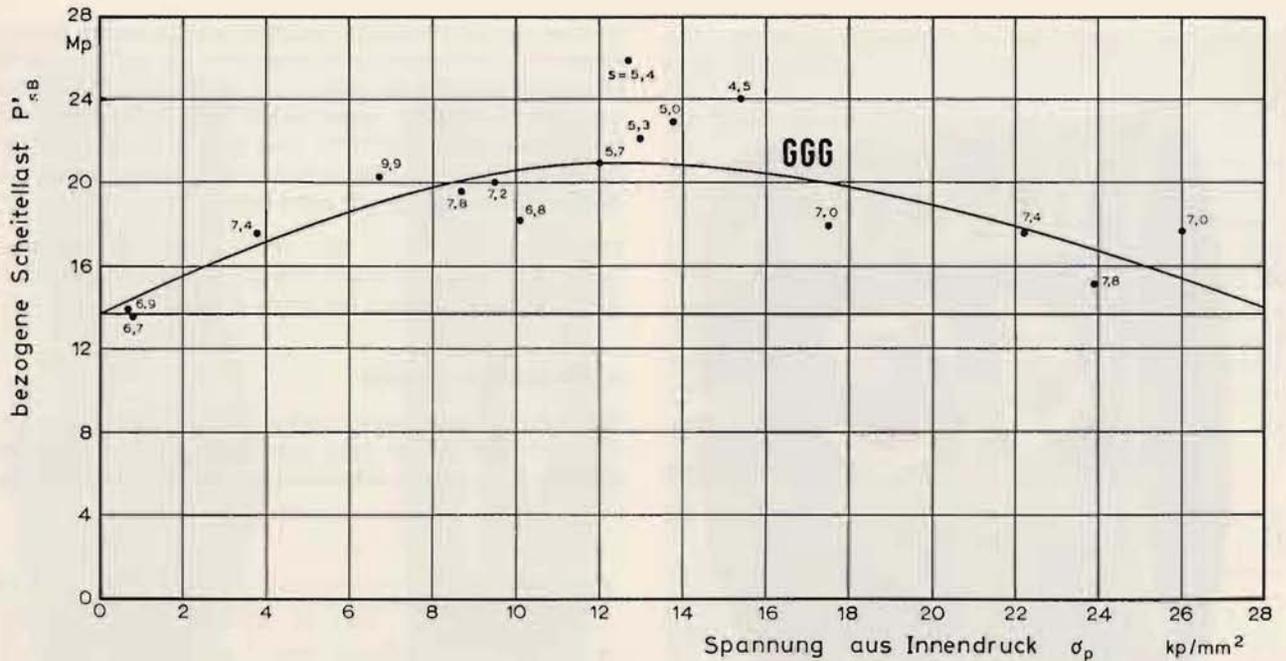


Bild 11: Abhängigkeit der bezogenen Bruchsheitellast von der Spannung aus dem Innendruck (nach [2])

Über Längsbiegeversuche mit Innendruck liegen von [2], [3] und [4] für duktile Gußrohre keine Ergebnisse vor.

3.1 Längsbiegeversuche ohne Innendruck

Von [4] wurden statische Längsbiegeversuche ohne Innendruck an Rohren NW 100, NW 150 und NW 200 durchgeführt, und zwar auf einer Versuchsanlage gemäß Bild 14. Bei den Versuchen wurde die Belastung der Rohre jeweils stufenweise bis zum Bruch des Rohres aufgebracht; bei jeder Belastungsstufe wurde die Last 1 Minute lang gehalten und dabei die Durchbiegung gemessen. Je nach Rohrenweite wurden Auflagerabstände von 750 bis 5500 mm gewählt.

Bei dem in Bild 14 gezeigten Längsbiegeversuch betrug bei einer Auflagerlänge des Rohres NW 100 von 4500 mm die Durchbiegung 578 mm, ohne daß ein Bruch eingetreten war.

An allen geprüften Rohren wurden im Bereich des Lastangriffes bleibende Durchmesserdehnungen festgestellt; Bild 15 vermittelt einen Eindruck von der Größenordnung der erzielten Verformung. Der Bruch infolge Überbeanspruchung verlief bei allen Rohren im wesentlichen senkrecht zur Rohrachse.

Aufgrund der Versuche ergaben sich folgende Festigkeitswerte:

Biegebruchspannung $\sigma_{bB} =$
 $553 \pm 51 \text{ N/mm}^2 (\approx 55,3 \pm 5,1 \text{ kp/mm}^2)$

Biegedehngrenze $\sigma_{b0,2} =$
 $455 \pm 30 \text{ N/mm}^2 (\approx 45,5 \pm 3,0 \text{ kp/mm}^2)$

Bei den geprüften duktilen Rohren konnte nach Überschreiten der Biegedehngrenze und vor Eintreten des Biegebruchs jeweils ein beachtliches Verformungsvermögen festgestellt werden. Die maximalen Durchbiegungen beim Bruch waren um vier- bis zehnmals größer als die bei der Biegedehngrenze gemessenen

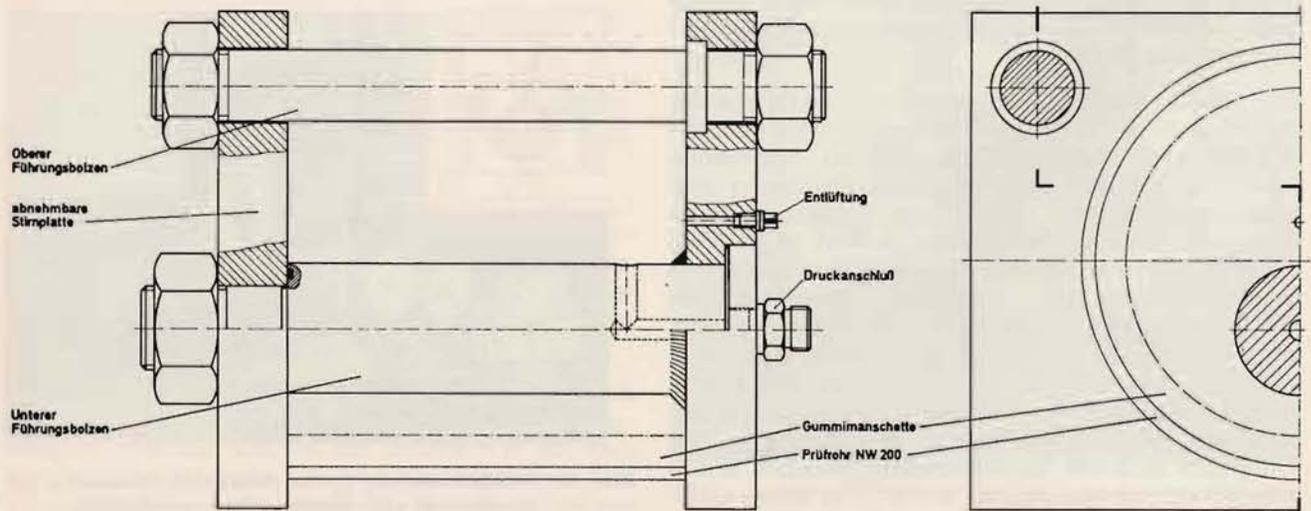


Bild 12: Prüfvorrichtung für die Scheiteldruckversuche mit Innendruck an duktilen Gußrohren NW 200 (nach [3])

Durchbiegungen. Dies bedeutet eine zusätzliche Sicherheit, falls die Rohre einmal — durch die Einbauverhältnisse in der Leitung bedingt — über den elastischen Bereich hinaus beansprucht werden sollten.

3.2 Längsbiege-Schwellversuche

Von [3] wurden Längsbiege-Schwellversuche an 6 m langen duktilen Gußrohren NW 200 bei einer Auflagerlänge von 5 m durchgeführt. Die sich aus diesen Versuchen ergebenden Biegeschwellfestigkeiten sind in Bild 16 aufgetragen; daraus läßt sich für duktile Gußrohre eine Zeitfestigkeit $\sigma_{sch \cdot 10^5}$ von rund 190 N/mm² (≈ 19 kp/mm²) ablesen.

Auch bei den Längsbiege-Schwellversuchen trat — wie bei den Längsbiegeversuchen ohne Innendruck — der Bruch der Rohre infolge Überbeanspruchung in allen Fällen unter der mittleren Kräfteinleitungsstelle ein und verlief im wesentlichen senkrecht zur Rohrachse.

3.3 Längsbiegeversuche mit Innendruck

Wie bereits erwähnt, sind von [2], [3] und [4] keine Längsbiegeversuche mit Innendruck an duktilen Gußrohren durchgeführt worden. Aufgrund der von [3] an Graugußrohren NW 100 und NW 200 durchgeführten Versuche kann jedoch angenommen werden, daß ein

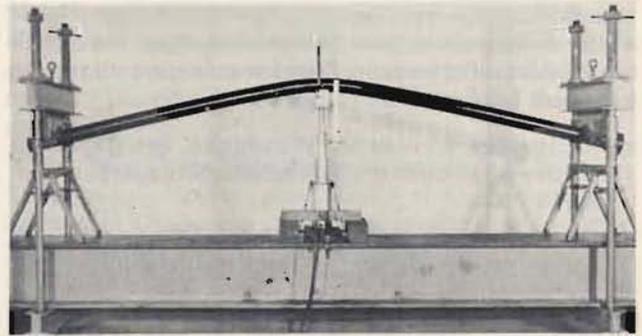


Bild 14: Duktiles Gußrohr NW 100 bei einem Längsbiegeversuch (nach [4])



Bild 15: Verformung eines duktilen Rohres NW 200 beim Längsbiegeversuch an der Lastangriffsstelle (nach [4])

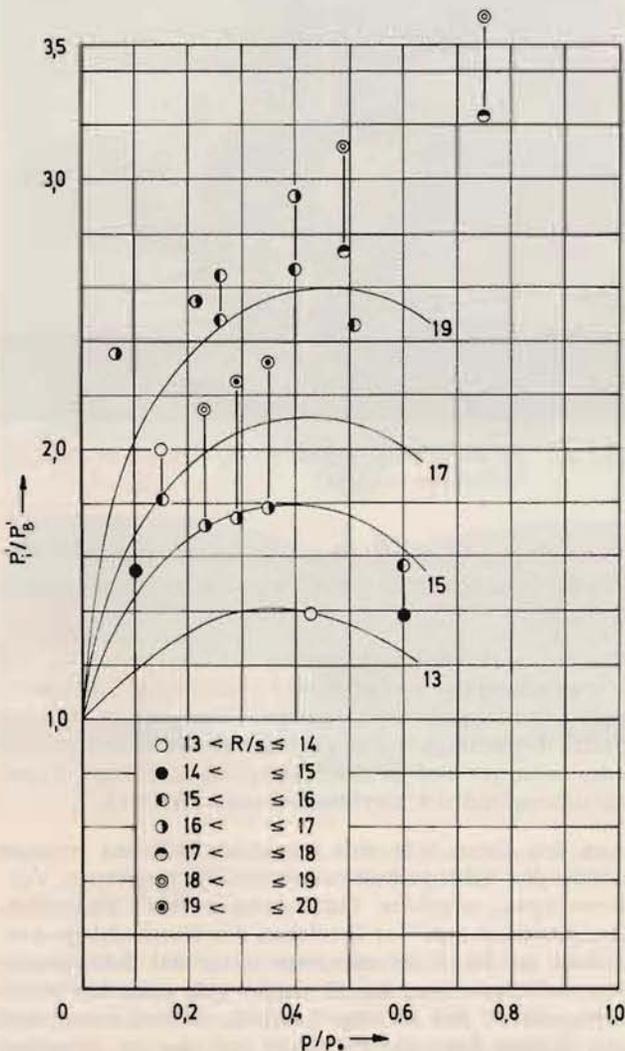


Bild 13: Zusammenhang zwischen Bruchseittelast und Innendruck (nach [3])

überlagerter Innendruck ohne größeren Einfluß sein dürfte.

4. Schlagversuche

Schlagversuche an duktilen Gußrohrabschnitten NW 50, NW 100, NW 200, NW 300 und NW 500 sind unter praxisnahen Belastungsanordnungen von Reeh [4] durchgeführt worden, um das Verhalten der Rohre bei Schlageinwirkungen mittels Spitzhacke oder Bagger sowie bei Schlageinwirkungen, die bei Lagerung, beim Transport und Einbau der Rohre vorkommen können, näher zu erforschen.

Bild 17 zeigt die für die Versuche verwendete Schlagprüfvorrichtung; im allgemeinen wurden 500 mm lange Rohrabschnitte geprüft. Bei Einhaltung einer konstanten Fallhöhe von 1,25 m sind die erforderlichen unterschiedlichen Schlagarbeiten durch Änderung des jeweiligen Schlagkörpergewichtes erreicht worden. Jedes Rohrstück wurde an einer Schlagstelle jeweils nur einmal beaufschlagt.

Um die in der Praxis vorkommenden Beanspruchungsarten im einzelnen zu erfassen, sind bei den Schlagversuchen Schlagkörper unterschiedlichster Form benutzt worden: eine vierseitige Pyramide mit einem Spitzenwinkel von 45° und einem Spitzenradius von 2 mm (zur Nachahmung des Profils einer Spitzhacke), ein 50 mm breiter Baggerzahn (Typ 862 740 ML der Firma Massey-Ferguson) sowie verschiedene Abschnitte aus Rohrmuffen der untersuchten Rohrnennweiten (zur Nachahmung von Beanspruchungen beim Transport). Bild 18 zeigt die verschiedenen Formen der benutzten Schlagkörper.

Von [4] sind die Einflüsse von Rohrwanddicke, Nennweite, Auflagerung, Schlagkörperform und Innendruck näher untersucht worden. Dabei wurde ganz allgemein folgendes festgestellt:

- Mit größer werdender Wanddicke des geprüften Rohres wird auch die ertragbare Schlagarbeit größer.
- Die Rohrnennweite hat keinen größeren Einfluß auf die ertragbare Schlagarbeit, da — bedingt durch die infolge der Schlageinwirkung örtlich sehr begrenzt auftretenden Verformungen — die unterschiedliche Wölbung der Rohroberfläche bei den verschiedenen Rohrnennweiten praktisch ohne besonderen Einfluß ist.
- Mit zunehmend weicherer Auflagerung kann eine größere Schlagarbeit ohne Schädigung aufgenommen werden, da ein zunehmender Teil der Schlagenergie in der Auflagerung in Verformungsarbeit umgewandelt wird.
- Die ertragbare Schlagarbeit ist bei der Pyramide als Schlagkörper (Nachahmung des Spitzhackenprofils) am niedrigsten und bei den Muffenabschnitten unterschiedlicher Nennweiten als Schlagkörper (zur Nachahmung von Beanspruchungen beim Transport) mit zunehmender Nennweite um etliche 10 % bis ca. 100 % größer. Der Baggerzahn als Schlagkörper liegt etwa im Bereich des Muffenabschnitts NW 50.
- Der Innendruck von wassergefüllten Prüfrohren — es wurden Innendrucke von 25, 50, 100 bzw. 200 bar gefahren — übt keinen sichtbaren Einfluß auf die Höhe der ertragbaren Schlagarbeit aus.

Neben diesen vorstehend aufgeführten allgemeinen Feststellungen sollen im folgenden einige spezielle

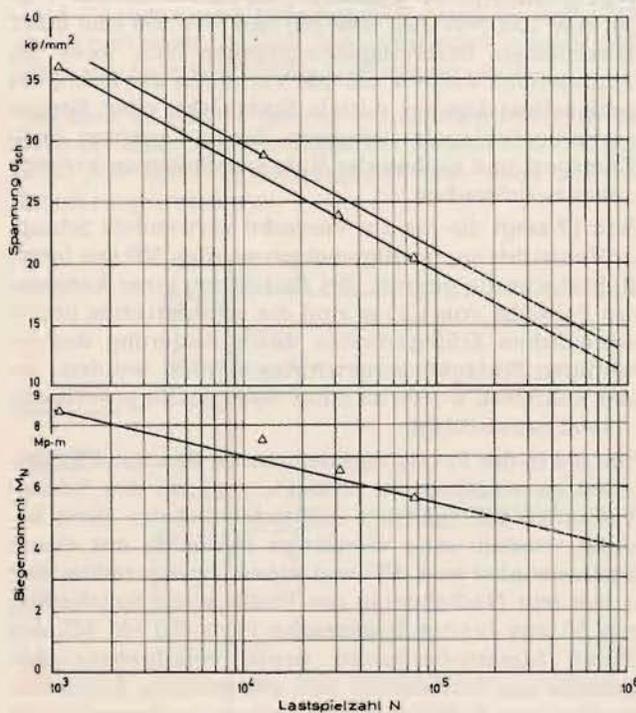


Bild 16: Biegeschwellfestigkeit von duktilen Rohren NW 200 (nach [3])

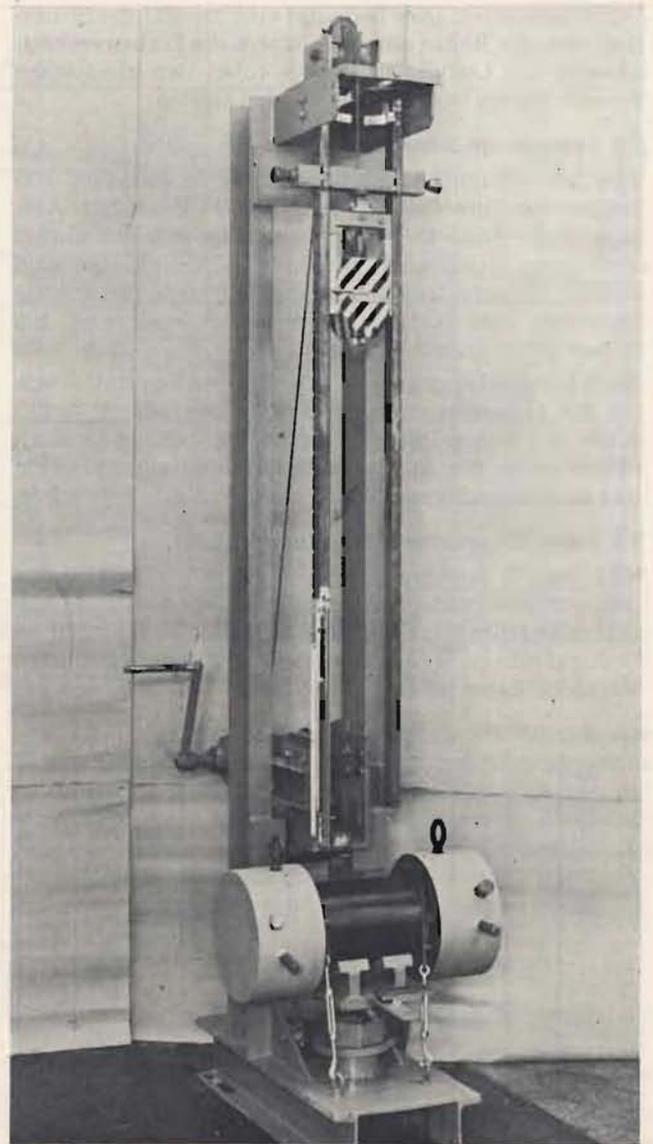


Bild 17: Prüfvorrichtung für die Schlagversuche an duktilen Gußrohren (nach [4])

Versuchsergebnisse, die bei den Schlagversuchen mittels Spitzhackenprofil erzielt wurden, näher dargelegt werden.

Die mit unterschiedlich großen Schlagarbeiten — bei Verwendung der vierseitigen Pyramide als Schlagkörper — durchgeführten Versuche haben gezeigt, daß die Spitze des Schlagkörpers je nach Schlagbelastung mehr oder weniger tief in die Rohrwand eindringt. Einen optischen Eindruck hierüber vermittelt Bild 19.

Aus den Fotos läßt sich folgendes ablesen: je nach Größe der Schlagarbeit treten örtlich begrenzte Verformungen, sichtbare Einbeulungen bzw. schließlich Durchschläge auf. Vor Erreichen des Durchschlags entstehen an der Rohrinneiseite unter der Schlagstelle Anrisse. Ein erster Anriß zeigte sich etwa bei einer Schlagarbeit von 40 mkp. Letztlich ist ersichtlich, daß das duktile Rohr die Fähigkeit hat, die aufgebrachte Schlagenergie in plastische Verformungsarbeit umzuwandeln.

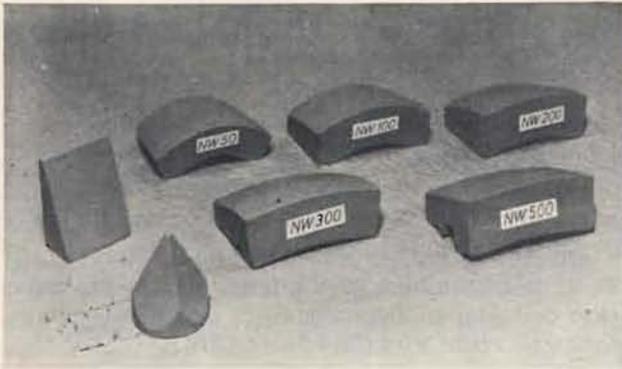


Bild 18: Zusammenstellung der bei den Schlagversuchen verwendeten Schlagkörper (nach [4])

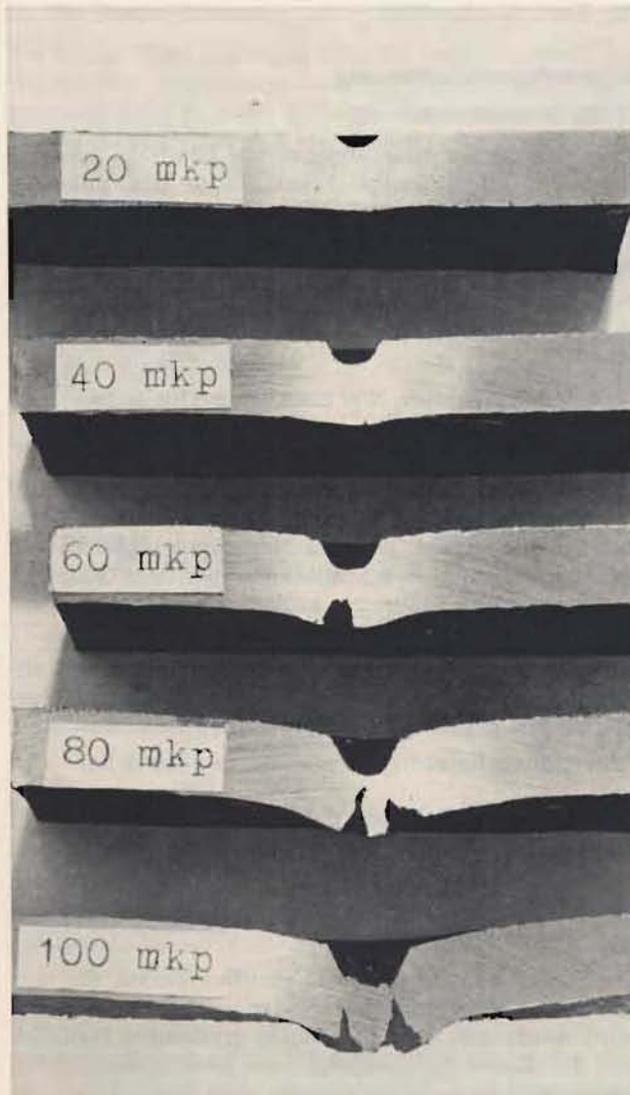


Bild 19: Schlageindrücke bei duktilen Gußrohren infolge unterschiedlicher Schlagarbeiten mittels Pyramide (nach [4])

Wasserinnendruckprüfungen, die im Anschluß an die Schlagversuche an schlagbeanspruchten Rohren vorgenommen wurden, haben ergeben, daß bis zu einer gewissen Schlagarbeit noch die Berstfestigkeit des nicht schlagbeanspruchten Rohres erreicht wird, wobei der Bersttrieb im allgemeinen unabhängig von der

Schlagstelle verläuft. Das bedeutet, daß duktile Rohre mit örtlich begrenzten Verformungen bzw. Einbeulungen noch ohne weiteres in der Lage sind, Innendrucke bis zum Berstdruck der nicht beanspruchten Rohre zu ertragen.

In der Praxis kann man davon ausgehen, daß bei einer Schlagbeanspruchung durch eine Spitzhacke die Schlagarbeit eine Größe von ca. 200 mN (≈ 20 mkp) erreichen kann. Hierbei ist die Annahme zugrunde gelegt, daß ein Spitzhackengewicht von 100 N (≈ 10 kp) aus einer Höhe von 2 m auf das im Rohrgraben liegende Rohr aufschlägt. Bild 19 läßt klar erkennen, daß duktile Gußrohre bei dieser möglichen Schlagarbeit lediglich eine örtlich begrenzte Verformung erfahren, die ohne Einfluß auf die Funktionstüchtigkeit des Rohres oder auf sein Berstverhalten ist.

Zusammenfassung

Die im Laufe des letzten Jahrzehnts an duktilen Gußrohren NW 100 bis NW 500 von verschiedenen Stellen durchgeführten Untersuchungen über das Festigkeitsverhalten dieser Rohre bei ihrem Einsatz in erdverlegten Gas- und Wasserleitungen werden kurz zusammenfassend dargelegt. Diese Zusammenfassung dient dem Zweck, einen guten Gesamtüberblick über die bisher zu den Themen Innendruck-, Scheiteldruck-, Längsbiege- und Schlagbeanspruchung vorliegenden Versuchsergebnisse über duktile Gußrohre zu vermitteln. Die dargelegten Innendruck-, Scheiteldruck-, Längsbiege- und Schlagversuche haben gezeigt, daß die in der Praxis vorkommenden inneren und äußeren Beanspruchungen (Betriebsdruck einschließlich möglicher Druckstöße; Scheitellasten durch Erd- und Verkehrslasten; Biege- und Schlagbeanspruchungen; kombinierte Beanspruchungen aus inneren und äußeren Belastungen) von duktilen Gußrohren infolge ihres beachtlichen Verformungsvermögens und wegen ihrer hohen Sicherheitsreserven voll und ganz aufgenommen werden. Duktile Gußrohre sind in der Lage, örtliche Überbeanspruchungen durch plastische Verformungen abzubauen; sie weisen damit ein gutes Festigkeitsverhalten gegenüber allen in der Praxis möglichen Belastungen auf.

Literatur

- [1] Deutscher Verein von Gas- und Wasserfachmännern e. V. (DVGW):
„Studie über erdverlegte Trinkwasserleitungen aus verschiedenen Werkstoffen“
Bericht I „Katalog der Beanspruchungen“ (1966)
- [2] K. Wellinger und H. Gaßmann:
„Die Berechnung duktiler Schleudergußrohre“
Techn.-wiss. Ber. MPA Stuttgart (1965), Heft 65-01
- [3] H. J. Fahrenwaldt:
„Festigkeitsuntersuchungen an Rohren für erdverlegte Trinkwasserleitungen“
Dissertation Universität Stuttgart (1968)
- [4] K. Reeh:
„Das Betriebsverhalten von Druckrohren aus duktilem Gußeisen“
Dissertation Universität Stuttgart (1971)
- [5] Deutscher Verein von Gas- und Wasserfachmännern e. V. (DVGW):
„Studie über erdverlegte Trinkwasserleitungen aus verschiedenen Werkstoffen“
Bericht II „Druckrohre, Normung — Prüfung — Belastungsannahmen — Festigkeitsnachweise — Korrosion und Rohrschutz“ (1971)

Schubsicherungen für Rohrleitungen aus duktilem Gußeisen

Von ADOLF WOLF und ERICH IMHOF

Rohrleitungssysteme aus duktilem Gußeisen, in welchen Medien unter Druck transportiert werden, haben bei oberirdischer Verlegung meist starre längskraftschlüssige Flanschverbindungen; bei erdverlegten Leitungen dagegen abwinkelbare nicht längskraftschlüssige Muffenverbindungen, die jedoch in bezug auf Herstellung und Verlegung wirtschaftlicher sind.

Die an Bogen, Endverschlüssen und Abzweigungen von Muffenrohrleitungen auftretenden Schubkräfte werden von Beton-Widerlagern oder direkt durch schubgesicherte Muffenverbindungen aufgenommen.

Für die Schubsicherungen ergibt sich eine breite Palette von Anwendungsfällen wie

- Verlegung in instabilen Böden (z. B. Moore, Bergsenkungsgebiete)
- im innerstädtischen Bereich mit einer Vielzahl von Rohrleitungssystemen
- beim Einziehen von Dükerleitungen in Flüsse oder Seen
- beim Einziehen von Leitungen in Schutzrohre, Stollen oder Tunnel
- Notwendigkeit der kurzfristigen Inbetriebnahme der Leitung (keine Abbindezeit für Beton).

Darüber hinaus kann die Schubsicherung allgemein anstelle von Beton-Widerlagern verwendet werden, wobei hier die Wirtschaftlichkeit in Betracht gezogen werden muß; diese ist abhängig von den Anforderungen, die an die Schubsicherung gestellt werden.

Bedingt durch diese Anforderungen sind in neuerer Zeit mehrere Schubsicherungslösungen entwickelt worden, die im nachfolgenden dargestellt werden:

Rund- und Längskeilschubsicherung

Diese Schubsicherungen besitzen bei TYTON- und Schraubmuffen den gleichen Aufbau, so daß für beide Verbindungen die gleichen Keile verwendet werden können.

In die etwas verlängerte Stirnpartie der TYTON-Muffe bzw. in den Schraubringbund sind Keilsitze eingegossen, die in Achs- und Umfangsrichtung zum eingeschobenen Spitzende hin geneigt sind.

a) Rundkeilschubsicherung

Anwendungsbereich bis NW 500. Je nach Nennweite sind 4 bis 8 Keilsitze eingegossen. Diese nehmen entsprechend geformte Keile aus duktilem Gußeisen auf, die sich beim Einschlagen mit ihrer hinteren scharfen und harten Kante in das Spitzende eindrücken (Bild 1 a und 1 b).

Nachstehende Tabelle gibt die Betriebsdrücke in Abhängigkeit der Nennweite an:

NW	80—150	200—350	400—500
Druck (bar)	40	25	16

b) Längskeilschubsicherung

Anwendungsbereich bis NW 400. Bis NW 125 sind zwei Keile, von NW 150—300 vier Keile und bis NW 400 sechs Keile notwendig.

Die Keile tragen eine zur Umfangsrichtung der Rohrachse verlaufende Zahnung, durch die Verriegelungswirkung erreicht wird (Bild 2 a und 2 b).

Die Montage dieser beiden Schubsicherungsarten erfolgt nach Herstellung der Verbindung. Eventuell notwendige Abwinkelungen werden vor dem Einschlagen der Keile durchgeführt.

Klemmringschubsicherung

a) für Schraubmuffe

Eine am Schraubring angebrachte Gleitfase bewirkt über die kugelförmige Mantelfläche des geteilten Klemmrings eine radial wirkende Kraft, wodurch die Zähne des Klemmrings sich mit der Oberfläche des Spitzendes verriegeln (Bild 3). Durch den Innendruck wird die Verriegelungskraft erhöht.

Die Verbindung ist auch nach Montage voll abwinkelbar.

Anwendungsbereich: NW 80—300 und bis 16 bar.

b) Für TYTON-Muffe

Über die mit einem Außenwulst versehene Muffe wird ein Haltering aus duktilem Gußeisen mit drei Haltekrallen eingehängt. Bei den Nennweiten 250 bis 400 wird zusätzlich eine Schraube aus duktilem Gußeisen angebracht. Der Haltering nimmt den Klemmring mit den Verriegelungszargen auf (Bild 4).

Die Verriegelung erfolgt selbsttätig durch die Keilwirkung im Bereich der Verriegelungszargen. Die Verbindung ist auch nach Montage voll abwinkelbar.

Anwendungsbereich: NW 80—400 und bis 16 bar.

Verankerungsschelle aus duktilem Gußeisen

Die Verankerungsschelle ist speziell für die TYTON-Muffe ausgelegt, wodurch sie in den Abmessungen kleiner als eine Universal-Klemmschelle ist und somit auch wirtschaftlicher.

Die Schelle besteht aus zwei gleichen Teilen, die mittels Schrauben verbunden werden. Die Schubsicherung wird durch den über die Muffe greifenden Halteteil und die in den Aussparungen der Schelle eingelegten gezahnten Druckplatten erreicht (Bild 5).

Die Auflagefläche für die Druckplatten ist ballig ausgeführt, so daß beim Anziehen der Schrauben gewährleistet wird, daß die Verankerungszähne voll aufliegen.

Für die Nennweiten 80—200 wird je Schellenhälfte eine Druckplatte und für 250 und 300 werden zwei Druckplatten verwendet. Die Montage der Schelle erfolgt nach Herstellung der Verbindung. Eventuell notwendige Abwinkelungen erfolgen vor der Montage.

Auch an bereits verlegten Leitungen kann die Schelle ohne Schwierigkeiten angebracht werden. Anwendungsbereich NW 80—300 und bis 16 bar.

TYTON-Schubsicherung mittels aufgeschweißtem Wulst am Spitzende

a) TYS-Schubsicherung

Die Funktion dieser Schubsicherung ist bereits im FGR-Heft Nr. 6 ausführlich dargestellt (Bild 6).

Der Anwendungsbereich geht bis NW 1000 und ist für alle Nenndrücke nach DIN 28610 geeignet. Die zulässige Abwinkelung wird durch die Schubsicherung nicht beeinträchtigt.

b) SV-Schubsicherung

Bei dieser Schubsicherung wird die Sicherungskammer bei Rohren angegossen und bei Formstücken angeschweißt (Bild 7). Nach Einlegen des Sicherungsrings in die Kammer ist die Herstellung der Verbindung ohne Mehraufwand an Zeit für die Schubsicherung durchzuführen.

Der Anwendungsbereich ist ebenfalls bis NW 1000 und Nenndrücke nach DIN 28610. Die Verbindung ist auch nach Montage abwinkelbar

- bis NW 250 um 3°
- bis NW 400 um 2°
- bis NW 600 um 1°
- bis NW 1000 um 1/2°

Eine Demontage der Schubsicherung kann durch Eintreiben eines Keiles in den geschlitzten Sicherungsring geschehen.

UNION-Schubsicherung mit eingedrehter Nut

Diese Schubsicherung wird im Bereich NW 80—200 angewendet (Bild 8). Sie ist für Drücke bis 40 bar geeignet. Nach der Montage der Verbindung ist eine Abwinkelung bis 3° möglich. Wegen der am Spitzende vorhandenen Nut kommen Rohre mit größerer Wanddicke zur Anwendung.

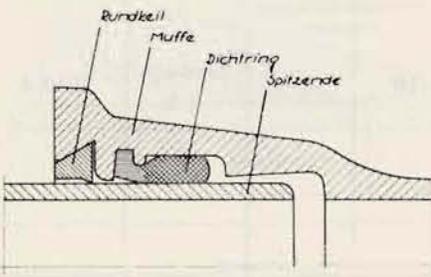
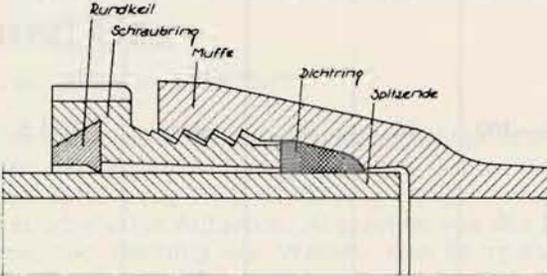
UNION-Schubsicherung mit Schweißwulst

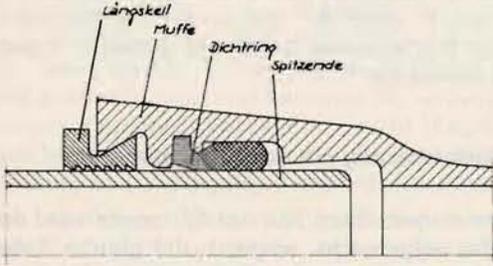
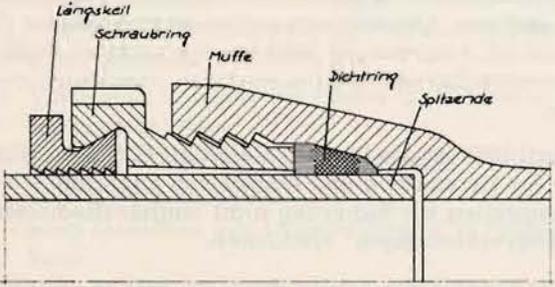
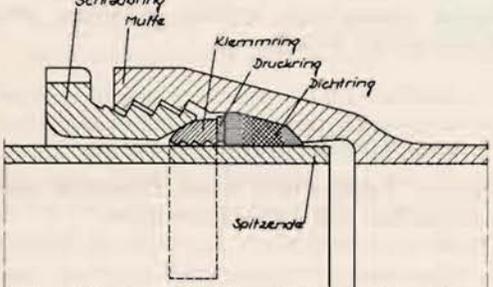
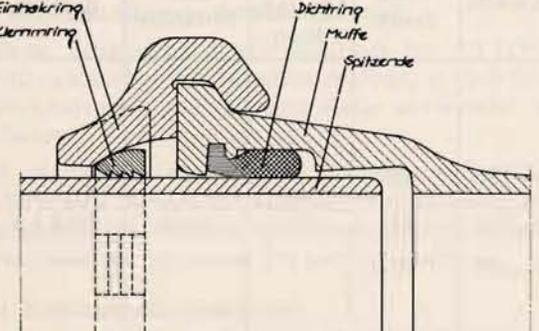
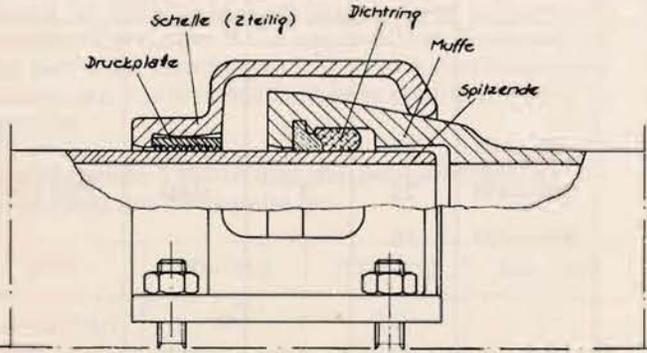
Anstelle der eingedrehten Nut am Spitzende wird der Schweißwulst aufgebracht, wodurch die gleiche Rohrwanddicke verwendet werden kann (Bild 9). Der über dem Schweißwulst angebrachte Haltering hat soviel Spiel, daß eine Abwinkelung auch nach Montage bis 1° möglich ist. Angewendet wird die Verbindung in den Nennweiten 250 und 300 bis zu einem Nenndruck von 40 bar.

Im April 1973 ist das DVGW-Merkblatt GW 368 „Hinweise für Herstellung und Einbau von zugfesten Verbindungsteilen zur Sicherung nicht längskraftschlüssiger Rohrverbindungen“ erschienen.

Die hier angeführten Schubsicherungssysteme entsprechen voll diesem Merkblatt. In Bezug auf den höchsten zulässigen Innendruck werden teilweise weit höhere Anforderungen erfüllt.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Ausführungsarten und deren Kenndaten:

Verbindung	Nennweite	Nenn- druck	max. Abwink- lung	nach Montage	Bild Nr.
 <p>Rundkeil Muffe Dichtring Spitzende</p>	80—150	40	3°	starr	Bild 1 a
	200—350	25			
	400—500	16			
 <p>Rundkeil Schraubring Muffe Dichtring Spitzende</p>	80—150	40	3°	starr	Bild 1 b
	200—350	25			
	400—500	16			

Verbindung	Nennweite	Nenn- druck	max. Abwink- lung	nach Montage	Bild Nr.
 <p>Längskeil Muffe Dichtring Spitze</p>	80—400	16	3°	starr	Bild 2 a
 <p>Längskeil Schraubring Muffe Dichtring Spitze</p>	80—400	16	3°	starr	Bild 2 b
 <p>Schraubring Muffe Klemmring Druckring Dichtring Spitze</p>	80—300	16	3°	beweg- lich	Bild 3
 <p>Einhaltring Klemmring Dichtring Muffe Spitze</p>	80—400	16	3°	beweg- lich	Bild 4
 <p>Schelle (zweiteilig) Dichtring Muffe Druckplatte Spitze</p>	80—300	16	3°	starr	Bild 5

Verbindung	Nennweite	Nenn- druck	max. Abwink- lung	nach Montage	Bild Nr.
<p>Schraube mit Mutter, Haltering, Schubsicherungsring, aufgeschweißter Wulst, Dichttring, Muffe, Spitzende</p>	80—700 800—1000	entspr. DIN 28610	3° 2°	beweg- lich	Bild 6
<p>Haltering, aufgeschweißter Wulst, Muffe, Dichttring, Spitzende</p>	80—250 300—400 500—600 700—1000	entspr. DIN 28610	3° 2° 1° 0,3°	beweg- lich	Bild 7
<p>Schraubtring, Muffe, Haltering, Dichttring, Spitzende</p>	80—200	40	3°	beweg- lich	Bild 8
<p>Schraubtring, Muffe, Haltering, aufgeschweißter Wulst, Dichttring, Spitzende</p>	250—300	40	1°	beweg- lich	Bild 9

Inndüker aus duktilen Gußrohren für Abwasser, Trinkwasser und Gas

Von HERWIG HERBERT

Die durch die Entwicklung unserer Städte immer größer werdenden Aufgaben auf dem Gebiet der Ver- und Entsorgung stellt den Planer solcher Anlagen oft vor schwierige Aufgaben. Abgesehen von den Problemen der Deckung des Wasser- und Energiebedarfs, den Fragen der Wasseraufbereitung, dem Bau der Abwasserreinigungsanlagen kommt den Versorgungs-

und Entsorgungsnetzen schon von der Sicht der investierten Kapitalien, die 40 bis 70 % der gesamten Investitionen betragen, große Bedeutung zu. Beim Ausbau der Versorgungsnetze stößt man immer wieder auf Hindernisse wie etwa Wasserläufe, die dann in Ermangelung geeigneter Überbrückungen die Errichtung von Dükerleitungen erfordern. Besonders die

Konstruktion und Verlegung solcher Leitungen gehören zu den interessantesten Ingenieuraufgaben. Obwohl schon viel über Dükerleitungen geschrieben wurde, erscheint es doch wichtig, die Palette solcher Veröffentlichungen zu ergänzen, da für eine wirtschaftliche und technisch gute Lösung jeweils die Kenntnis bereits verlegter Dükerleitungen erforderlich ist. Bevor jedoch näher auf die Planung und Ausführung des Inndükers Neu Arzl-Roßau der Stadtgemeinde Innsbruck eingegangen wird, soll kurz auf bekannte Verfahren über den Bau von Dükerleitungen hingewiesen werden.

Der Düker der Stadtgemeinde Innsbruck ermöglicht die Überleitung des Abwassers vom linken auf das rechte Innufer, sichert die Wasserversorgung als auch die Stromversorgung und erlaubt die Aufnahme der Gasversorgung im Olympischen Dorf. Der vom Dükerbündel aus gesehen derzeit größte Düker in Mitteleuropa gehört von seiner Bauweise als auch vom verwendeten Rohrwerkstoff sicher zu den bisher interessantesten ausgeführten Dükerleitungen.

1. Allgemeines

Jedes Dükerbauvorhaben erfordert neue Überlegungen hinsichtlich der Konstruktion, des Bauverfahrens als auch des Werkstoffes. Im Laufe von Jahrzehnten entwickelten sich ganz bestimmte Bauverfahren, die in der Folge mit Literaturhinweisen geordnet angeführt werden:

1.1 Spundwandverfahren

Verlegung des Dükers in offener trocken gelegter Baugruppe [1] [2]

1.2 Versenkungsverfahren

nach Herstellung einer Dükerrinne

- 1.2.1 Lotrechtversenkung vom Gerüst oder Schiff aus oder durch Absenken des eingeschwommenen Dükerbündels [2] [3] [4]

- 1.2.2 Klappverfahren, d. h. Absenken des eingeschwommenen Dükerbündels nach unten und gleichzeitig zur Seite [5]

- 1.2.3 Versenkung mit Biege- oder Polygonalverformung:

Durchzieh- oder Schleppverfahren mit Kopfschlitten [6]—[17]

Parabelförmige Versenkung nach der elastischen Linie [18]

S-förmige Versenkung [18]

1.3 Tunnel-Vortriebsverfahren

1.4 Sonderverfahren

z. B. Einspülverfahren [18] [19] [20] [21]

Neben der Frage des Verfahrens der Dükerverlegung, die wesentlich von der Wasserhaltung, der Bauzeit im Flußbereich (Störungen der Schifffahrt), somit von den Kosten beeinflußt wird, muß auch die nicht weniger wichtige Frage des Rohrwerkstoffes entschieden werden. Nach dem Leitsatz für jede Dükerplanung „eine Dükerleitung ist so zuverlässig wie ihr Rohrwerkstoff und ihre Verbindung“ sind gewissenhafte Überlegungen in dieser Richtung notwendig. In jedem Fall ist das Verlegeverfahren mit der Wahl des Rohrwerkstoffes eng verknüpft und dieser Fragenkomplex auch gemeinsam zu betrachten.

2. Planung

Die Notwendigkeit der Ableitung der Abwässer aus dem Stadtteil „linkes Innufer“ im Bereich des alten und nunmehr für die Olympischen Winterspiele 1976 neu entstehenden Olympischen Dorfes zum rechtsufrig gelegenen Hauptklärwerk, führte zur Erstellung eines Entwurfes für einen Abwasserdüker. Die Stadtwerke planten hingegen zur Verbesserung der Wasser- und Stromversorgung sowie zur Aufnahme der Gasversorgung im Stadtteil Neu Arzl (Olympisches Dorf) die

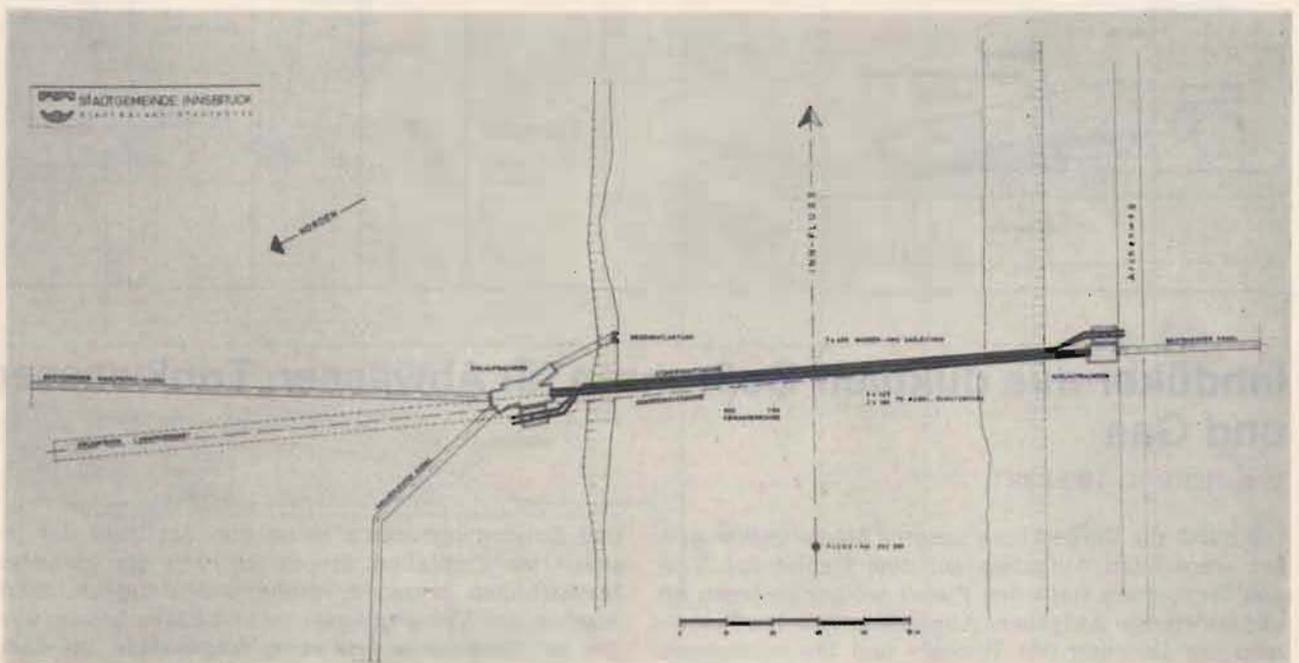


Bild 1: Lageplan mit eingetragener Querungsstelle bei Flußkilometer 292.563

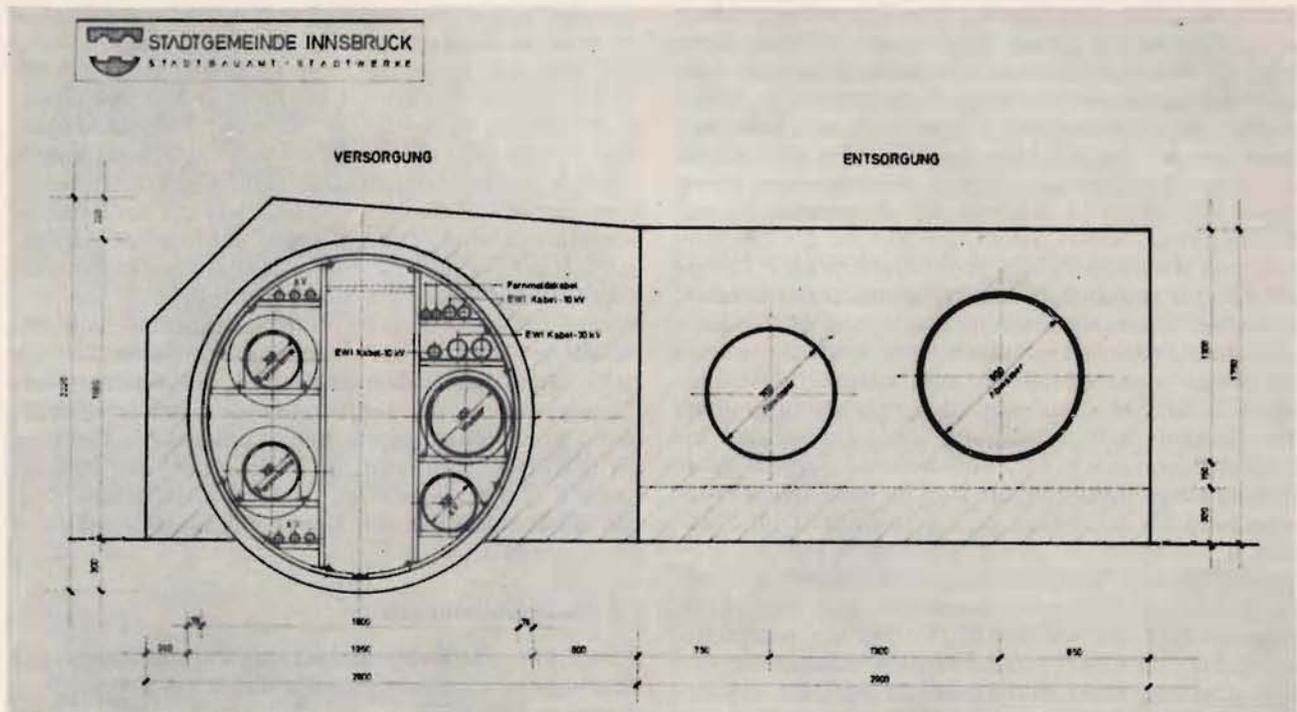


Bild 2: Kollektorlösung

Verlegung von Leitungen und Kabeln über den Inn. Es lag daher nahe, die notwendigen Querungen des Inn im Gebiet „Olympisches Dorf“ des Stadtteiles Neu Arzl durch gemeinsame Erstellung eines Dükers bei Flußkilometer 292.563 (Bild 1) zu verwirklichen. An der festgelegten Querungsstelle war gerade die Zufahrt als auch der für den Bau erforderliche Bauplatz gesichert. Auch von den Bodenverhältnissen her waren keine Schwierigkeiten zu erwarten, dies zeigte eine im Rahmen der Vorarbeiten niedergebrachte Bohrung zur Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwertes k , der bei einer eventuell durchzuführenden Grundwasserabsenkung von Bedeutung gewesen wäre.

Für die gesamte Planung war allein schon von den Betriebsverhältnissen her die Auslegung der Abwasserrohre entscheidend, da die Druckhöhenverluste die Höhenlage der Anschlußkanäle im Einlauf- und Auslaufbauwerk bestimmten. Den Grundsätzen jeder Abwasserdükerauslegung, daß zur störungsfreien Funktion die Durchflußgeschwindigkeit bei Tagesmittel von 0,8 bis 1,0 m/s nicht unterschritten werden soll und daß schon wegen der Revisionsmöglichkeit mindestens 2 Rohrstränge zur Verlegung kommen sollen, wurde dabei Rechnung getragen. Die Berechnung der Druckhöhenverluste, für die es verschiedene rechnerische und graphische Verfahren [22] [23] [24] gibt, wurde nach Prandtl-Colebrook vorgenommen. Im Zuge der Detailplanung erwies sich die Verlegung eines NW 900- und eines NW 700-Rohrstranges für den Mischwasserabfluß als zweckmäßig. Bei Vollausbau werden bei einem max. Schmutzwasseranfall von 900 l/s in beiden Dükerrohren Durchflußgeschwindigkeiten von 1,0 m/s auftreten. Derzeit beträgt der Schmutzwasseranfall jedoch nur rd. 200 l/s. Durch die Errichtung eines Schwemmwassereinlaufes besteht jedoch die Möglichkeit, noch zusätzlich bis zu 200 l/s ins Kanalnetz einzuleiten. Bis zu der dann abzuführenden Wassermenge

von 400 l/s wird allein das Rohr NW 700 beaufschlagt. Dadurch wird im Dükerrohr eine Geschwindigkeit von rd. 1,0 m/s erreicht und Ablagerungen hintangehalten. Für den Regenwetterabfluß sind wieder beide Dükerrohre vorgesehen. Sie leiten eine max. Wassermenge von rd. 1 800 l/s bei einer Verdünnung von 1:1 zum Klärwerk

$$\begin{aligned} \text{NW 900} &— 1\,170 \text{ l/s bei } v = 1,64 \text{ m/s,} \\ \text{NW 700} &— 630 \text{ l/s bei } v = 1,84 \text{ m/s.} \end{aligned}$$

Die Austauschbarkeit der beiden Abwasserrohre ist gegeben. Die Beaufschlagung erfolgt durch entsprechende Schieber bzw. Schuberstellung im Einlaufbauwerk, wo auch die Überfälle für die Regenentlastung untergebracht sind.

Zur Sicherung der Trinkwasserversorgung wurde eine Leitung NW 400 — ND 16 — erforderlich, deren Durchmesser sich aus dem max. Stundenbedarf an verbrauchsreichen Tagen in der Höhe von 260 l/s, ausreichend zur Versorgung der im Gebiet Olympisches Dorf erwarteten 20 000 Einwohner, ergab.

Die für die Gasversorgung vorzusehende Leitung NW 400 — ND 4 — ermöglicht die Förderung von 16 000 m³/h Mischgas mit einem Heizwert von 26,8 M J/m³ (6 400 kcal/m³) bzw. von 22 500 m³/h Erdgas mit einem Heizwert von 37,7 M J/m³ (9 000 kcal/m³).

Zusätzlich waren für die Stromversorgung noch 4 Kabelschutzrohre vorzusehen.

Im Hinblick auf die Wahl der Nennweite war dabei zu berücksichtigen, daß ein Dükerbauwerk viele Jahrzehnte funktionsmäßig entsprechen soll und sich in dieser Zeit die Ansprüche gewaltig ändern können.

2.1 Wahl des Bauverfahrens

Vor allem die Leistungsfähigkeit der inländischen Bauunternehmer war ausschlaggebend für die Ausarbeitung eines Entwurfes, der die Verlegung des Dükers

in offener, durch eine Grundwasserabsenkung trocken gelegter Baugrube vorsah. Die Abwasserrohre sollten dabei vollkommen getrennt von einem Kollektor, d. h. einer 1,80 m Innendurchmesser aufweisenden Großrohrleitung, verlegt werden, in dem, je nach Erfordernis, neben den beiden Leitungen NW 400 noch Kabel und Fernwärmeleitungen hätten Platz finden können. Dieser Entwurf (Bild 2) wurde der Ausschreibung zugrunde gelegt, wobei jedoch den Bietern die Einbringung von Wahlvorschlägen zugestanden wurde. Lediglich 2 Bieter schlugen, in Zusammenarbeit mit bundesdeutschen Unternehmen, eine Verlegung des Dükers nach dem Durchziehverfahren vor. Beide Entwürfe, von denen einer schließlich auch ausgeführt wurde, sahen das Einziehen eines an Land zusammengebauten Dükerbündels nach Freilegung einer Dükerrinne im Naßbaggerverfahren vor. Entscheidend für die Ausführung eines Wahlentwurfs war die entfallende Wasserhaltung als auch eine geringere Bauzeit im Flußbereich, vor allem jedoch das geringere Risiko bei Auftreten eines unvorhergesehenen Hochwassers als auch die geringeren Baukosten gegenüber dem Ausschreibungsentwurf, der wieder den Vorteil der jederzeitigen Rohr- und Kabelerweiterung im Rahmen der bereits aufgezeigten Möglichkeiten als auch der Reparatur und Revisionsmöglichkeit für sich hätte buchen können.

2.2 Wahl des Rohrwerkstoffes

Im zur Ausführung gelangenden Wahlentwurf wurden

sowohl für die Abwasserrohre NW 900 und NW 700 als auch für die Trinkwasser- und Gasleitungen, beide NW 400, Rohre aus duktilem Gußeisen mit TYTON-Verbindungen, die bis auf die Leitung NW 900 längskraftschlüssig ausgebildet wurden, vorgeschlagen. Ausschlaggebend für die Wahl von Gußrohren waren letztlich eigene Erfahrungen. Neben der erwiesenen Korrosionsbeständigkeit — besonders mit der Zementmörtelauskleidung (Schutz gegen aggressives Abwasser, gute hydraulische Eigenschaften) — bietet das duktile Rohr eine garantierte Zugfestigkeit von 400 N/mm^2 ($\approx 4000 \text{ kp/cm}^2$), eine Streckgrenze von 300 N/mm^2 ($\approx 3000 \text{ kp/cm}^2$) und eine Bruchdehnung von 10% . Diese Materialeigenschaften, mit den zur Verfügung stehenden längskraftschlüssigen abwinkelbaren Rohrverbindungen, ließen das duktile Gußrohr für Dükerverbindungen auch im Hinblick auf die Reparaturanfälligkeit als sehr gut geeignet erscheinen [25]. Als Schutzrohre für die Kabel wurden Polyäthylenrohre gewählt.

2.3 Rohrverbindungen

Durch die längskraftschlüssigen Verbindungen der Gußrohre — ausgenommen der Rohrstrang NW 900 — wurde es erst möglich, den Dükerverstrang ohne äußere Widerlager und Verankerungen einer Druckprobe zu unterziehen und schließlich vom gegenüberliegenden Ufer in die Dükerrinne einzuziehen. Von den TYTON-Steckmuffenverbindungen (Bild 3) mußten besonders

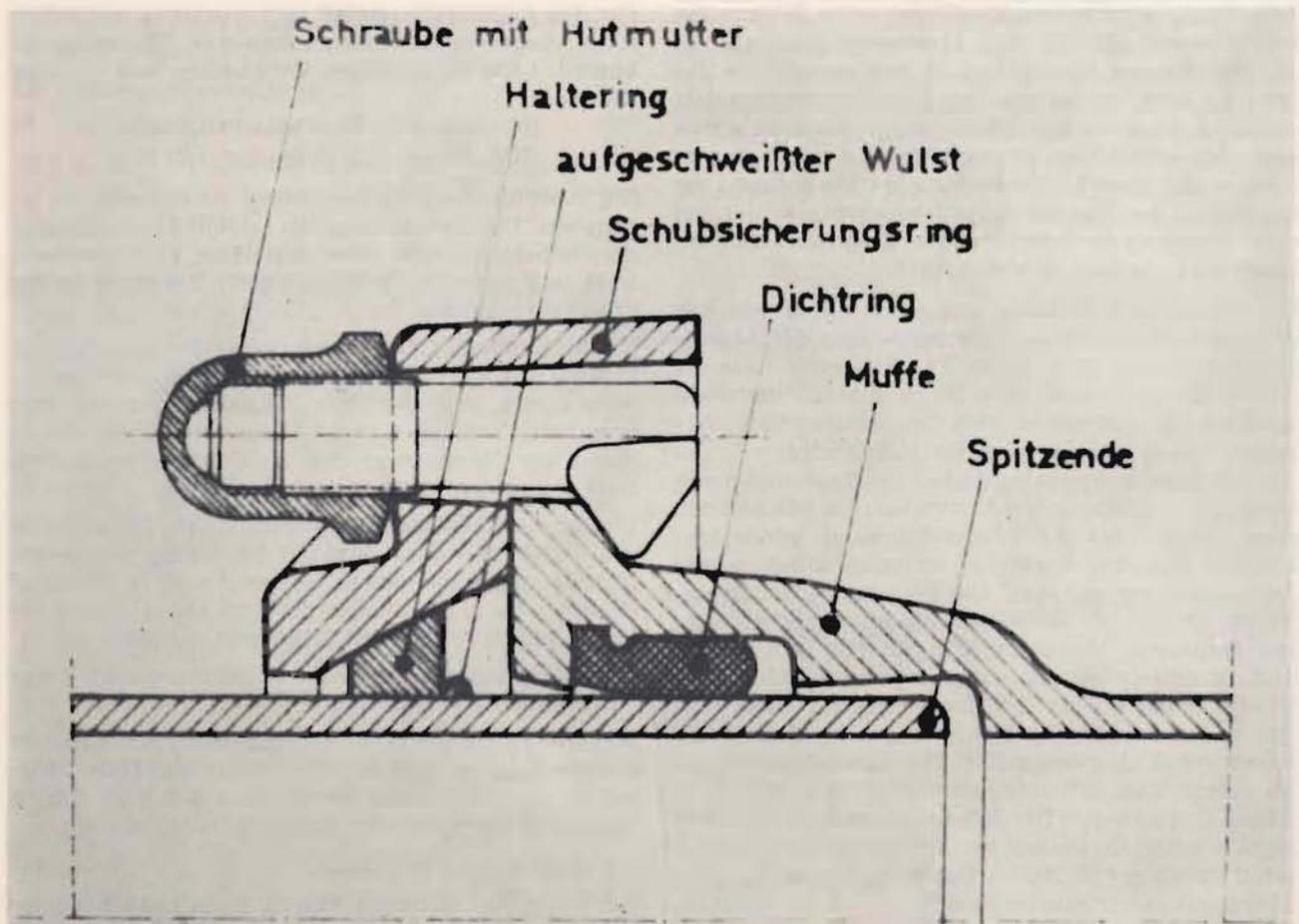


Bild 3: Längskraftschlüssige Steckmuffenverbindung TYTON

große Kräfte bei der Druckprobe, bei der der Einzugsvorgang simuliert wurde, aufgenommen werden.

Die Axialkräfte werden bei den längskraftschlüssigen TYTON-Steckmuffenverbindungen über einen Haltering, den Gegenring und schließlich über die Schrauben vom Ende des einen Rohres auf die Muffe des benachbarten Rohres übertragen. Der Haltering ist geschlitzt, er wird vor der Verlegung eines Rohres auf das Rohrende über die Schweißbraupe des anderen Rohres hinweg aufgeschoben und paßt sich dem in Grenzen tolerierenden Rohraußendurchmesser an.

Die auftretenden Kräfte infolge der Längskraftschlüssigkeit werden, wie aus Bild 4 ersichtlich, wie folgt aufgenommen:

Bei einer Kraft $P_A = 1\,150\text{ kN}$ ($\approx 115\text{ Mp}$) (Längskraft bei der Druckprobe — 2 x NW 400, 1 x NW 700) ist

$$P_R = P_A \cdot \cotg. 18^\circ = P_A \cdot 3,1 = 1\,150 \cdot 3,1 = 3\,570\text{ kN} (\approx 357\text{ Mp})$$

$$P_{RA} = P_R \cdot \mu = P_A \cdot 3,1 \cdot 0,25 = P_A \cdot 0,775 = 891\text{ kN} (\approx 89,1\text{ Mp})$$

$$\mu = \text{Reibungsfaktor Gußrohroberfläche} = 0,25$$

Die auf die Wülste wirkende Axialkraft

$$P_{AW} = P_A - P_{RA} = 0,225 \cdot P_A = 259\text{ kN} (\approx 25,9\text{ Mp})$$

Die Beanspruchung der Schweißnähte beträgt daher

$$\sigma = \frac{P_{AW}}{\pi \Sigma da} = \frac{259}{\pi (42,9 + 42,9 + 73,8)} = \frac{259}{500} \approx 0,52\text{ kN/cm} (\approx 52\text{ kp/cm})$$

d. h., die Beanspruchung der Schweißnähte ist sehr gering und wird selbst bei ungleichmäßiger Beanspruchung der drei Rohre noch unter dem zulässigen Wert liegen.

Durch die Abwinklung der längskraftschlüssigen TYTON-Steckmuffenverbindungen wird die Übertragung der auftretenden Kräfte nicht beeinträchtigt, die Verlegung des Dükers nach einer Kettenlinie jedoch erst ermöglicht.

Die Rohrverbindungen der Polyäthylenrohre waren von sekundärer Bedeutung, da sie keine Längskräfte übernehmen müssen. Während die Rohre NW 225 nach dem Spiegelschweißverfahren mit Hilfe eines Schweißspiegels verbunden wurden, wurden die beiden Rohre NW 160 durch Elektroschweißmuffen, in denen Heizdrahtspiralen eingelegt waren, verschweißt.

Art und Anzahl der Rohrverbindungen

Abwasserleitung, NW 900

23 TYTON-Verbindungen, davon 19 Verbindungen im für den Einzug vorgesehenen Teilstück

Abwasserleitung, NW 700

23 schubgesicherte TYTON-Verbindungen, davon

19 Verbindungen im Einzugsteilstück

Wasserleitung, NW 400

23 schubgesicherte TYTON-Verbindungen, davon

19 Verbindungen im Einzugsteilstück

Gasleitung, NW 400

23 schubgesicherte TYTON-Verbindungen, davon

19 Verbindungen im Einzugsteilstück

Kabelschutzrohre 2 x NW 225

je 9 Schweißstellen nach dem Spiegelschweißverfahren (Heizelement-Schweißmethode), davon

7 Schweißstellen im Einzugsteilstück
2 x NW 160

je 9 Elektro-Schweißmuffen, davon

7 Schweißmuffen im Einzugsteilstück

2.4 Erfüllung der Randbedingungen

Diese können das Bauvorhaben entscheidend beeinflussen, wenn nicht sogar bestimmen. Es kommt ihnen

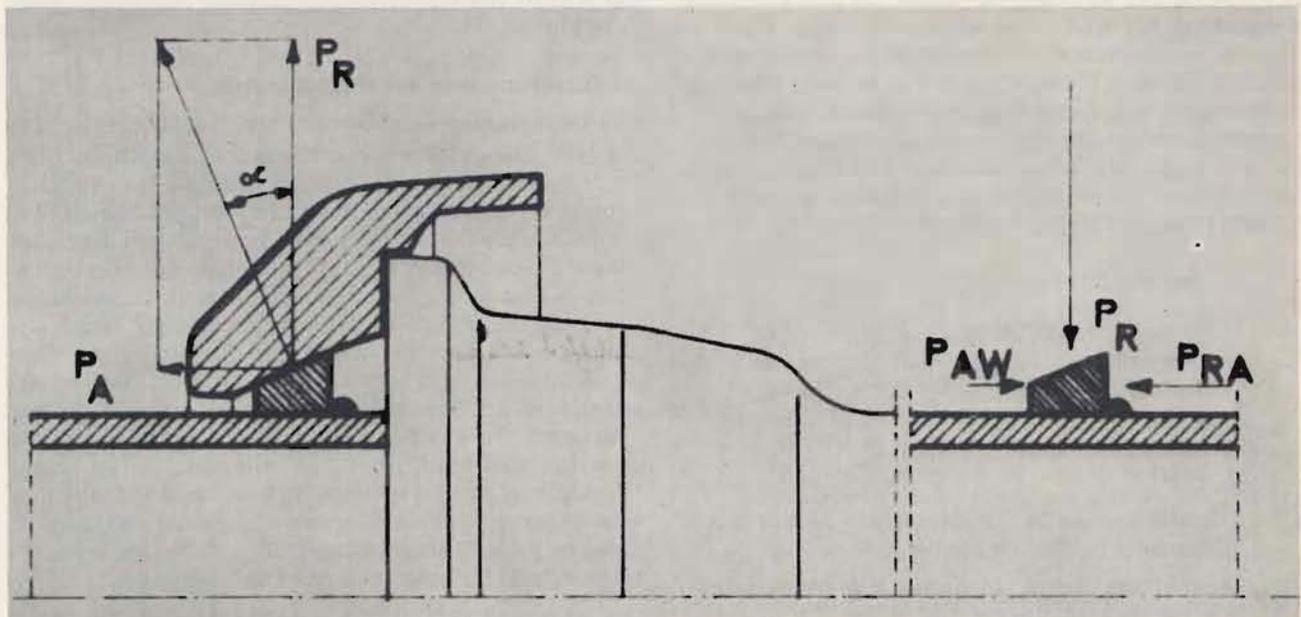


Bild 4: Kräftespiel bei Übertragung der Längskraft bei längskraftschlüssigen Steckmuffenverbindungen

daher bei der Planung große Bedeutung zu. So wurde die im Einvernehmen mit dem Amt der Tiroler Landesregierung festgelegte Verlegetiefe von mind. 1,5 m unter dem tiefsten Innsohlenpunkt nach Festliegen des Einbringverfahrens auf 1,75 m erhöht. Dadurch konnte dem Umstand Rechnung getragen werden, daß beim Dükereinzug in der Trasse Wasser steht und keine einwandfreie Prüfung der Tiefenlage während des Einziehvorganges möglich war.

Um bei eventuellen Flußsohlenvertiefungen den Bestand des Bauwerkes zu garantieren, wurde neben der Festlegung der Verlegetiefe noch eine volle Auftriebssicherung verlangt. Als Sicherheit gegen den Auftrieb wurde der Wert 1,2 festgelegt. Die aufzuliegende Belastung hat außerdem noch eine zweite Funktion, und zwar den Schutz des Bauwerkes vor mechanischer Beschädigung zu erfüllen.

Als eine der einschränkendsten Bedingungen war die Forderung der Erhaltung des linksufrig in Dükerachse gelegenen bestehenden Maulprofilkanales, der bis zur Inbetriebnahme des Dükers das Abwasser ungereinigt dem Inn zuführte, anzusehen. Da das an Land montierte Dükereinzugsstück nur linksufrig aufgebaut werden konnte, mußte beim Durchziehverfahren ein Verschwenken des gesamten Dükerbündels um rd. 5 m vorgesehen werden.

2.5 Günstigster Zeitpunkt der Dükerverlegung

Daß sich die Wasserführung und damit die Geschiebebrucht im Inn auch während des für den Bau des Dükers vorgesehenen Zeitraumes von November bis März ändern kann, war aus den Wasserstandsbeobachtungen beim Innpegel Innsbruck-Innbrücke zu ersehen. Um das Risiko beim Bau möglichst gering zu halten, war es daher notwendig, den günstigsten Zeitraum für den Dükerbau zu ermitteln. Eine grobe Wahrscheinlichkeitsanalyse ergab als beste Möglichkeit für den Bau und das Verlegen die Monate Januar und Februar. Dazu wurden die Wasserstands-Ganglinien als Monatsmittelwerte der Monate November bis März (Niederrwasserzeit) für den Beobachtungszeitraum 1961 bis 1972 des Pegels Innsbruck-Innbrücke bei Flußkilometer 298.60 mit einem Einzugsgebiet von nahezu 5 800 km² aufgetragen. Der Schnittpunkt der Dauerlinie für die einzelnen untersuchten Monate November bis März mit der Linie des Wasserstandes $MMW_{(61-72)}$, d. h. dem arithmetischen Mittel der betrachteten Monate, brachte folgendes Ergebnis:

Beobachteter Monat	Jahre	
	a	b
November	10	2
Dezember	6	6
Januar	3	9
Februar	3	9
März	4	8

a ... Anzahl der Jahre, in denen die Monatsmittel gleich oder größer als $MMW_{(61-72)}$

b ... Anzahl der Jahre, in denen die Monatsmittel kleiner als $MMW_{(61-72)}$ waren.

Die so ermittelte Aussage konnte nur im statistischen Sinn gedeutet werden, sie gab keinerlei Garantie für eine hundertprozentige Sicherheit beim Bau, da es sich um eine quantitative Aussage handelte. Außerdem war noch zu beachten, daß aufgrund der Monatsmittelwerte die für den Naßbaggeraushub kurzfristig auftretenden gefährlichen Hochwasser nicht erfaßt wurden. Über die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines solchen Hochwassers in dem erwähnten Zeitraum wurden keine Betrachtungen angestellt, da eine Ausbaggerung der Dükerinne nach Auftreten eines Hochwassers bei einem Fluß wie dem Inn ohne wesentliche Schwierigkeiten möglich gewesen wäre. Außerdem hätte durch entsprechenden Einsatz des im Schwellbetrieb arbeitenden Innkraftwerkes Imsterau der Schwall weitgehend aufgefangen werden können.

Da zwischen dem betrachteten Innpegel und dem Inndüker die Sill in den Inn mündet, war auch deren Einfluß zu berücksichtigen. Durch Auswertungen aus dem hydrographischen Jahrbuch wurde die auf der sicheren Seite liegende Annahme getroffen, daß die Abflußmenge des Inn unterhalb der Sillmündung $7/10$ der Abflußmenge oberhalb der Sillmündung beträgt und die so ermittelten Werte der Planung zugrunde gelegt.

Im Bezug auf den Geschiebetrieb wurde auf ausgewertete Erfahrungen zurückgegriffen. Da selbst beim größten Abfluß in den Monaten November bis März der Jahre 1951 bis 1972 in der Höhe von rd. 250 m³/s nur eine Fließgeschwindigkeit v_m von 1,5 m/s zu erwarten war, konnte der Einfluß des Geschiebetriebes bei der Betrachtung vernachlässigt werden.

3. Bauausführung

Die Ausführung der Arbeiten wurde an eine Arbeitsgemeinschaft, bestehend aus einer für die Tiefbauarbeiten verantwortlichen einheimischen Firma (Innerebner & Mayer) und zwei für den Rohrleitungsbau verantwortlich zeichnenden deutschen Fachfirmen (Gebr. Abt KG, Franz Lohr KG) vergeben. Das von Land aus eingezogene Dükerbündel ist allein von der Größe und der Anzahl der Gußrohre her gesehen das bisher größte in Europa.

3.1 Zusammenbau des Dükerbündels

Die Dükerleitungen NW 900, NW 700, 2 x NW 400, 2 x NW 225 und 2 x NW 160 aus 6 m langen duktilen Gußrohren und 12 m langen Polyäthylen-Kabelschutzrohren wurden auf dem linken Innufer auf vorbereiteter Montagebahn entlang dem bestehenden Kanal in einem Dükerbündel (Bild 5) mit einer Länge von ca. 95 m — dem Einzugzwischenstück — vereint. Die Lagerfixierung der Rohre untereinander erfolgte durch Distanzschellen unmittelbar an den Verbindungsstellen der Rohre, die ihrerseits auf den an diesen Stellen vorgesehenen Schlitten (Bild 6) aufgelegt wurden. In den Uferbereichen war der Anstieg der Leitungen, wie aus dem Längenschnitt (Bild 7) ersichtlich, unter einem Winkel von 30° vorzusehen. Die an Land aufgebauten ansteigenden Rohrstäbe wurden nach Abstützung in eigenen Endschlitten, in denen die Krümmer nach erfolgter Druckprobe einbetoniert wurden, gelegt.

Der schwere Kopfschlitten mit den ansteigenden rechten Rohrstäben und den Seilverankerungen hatte die

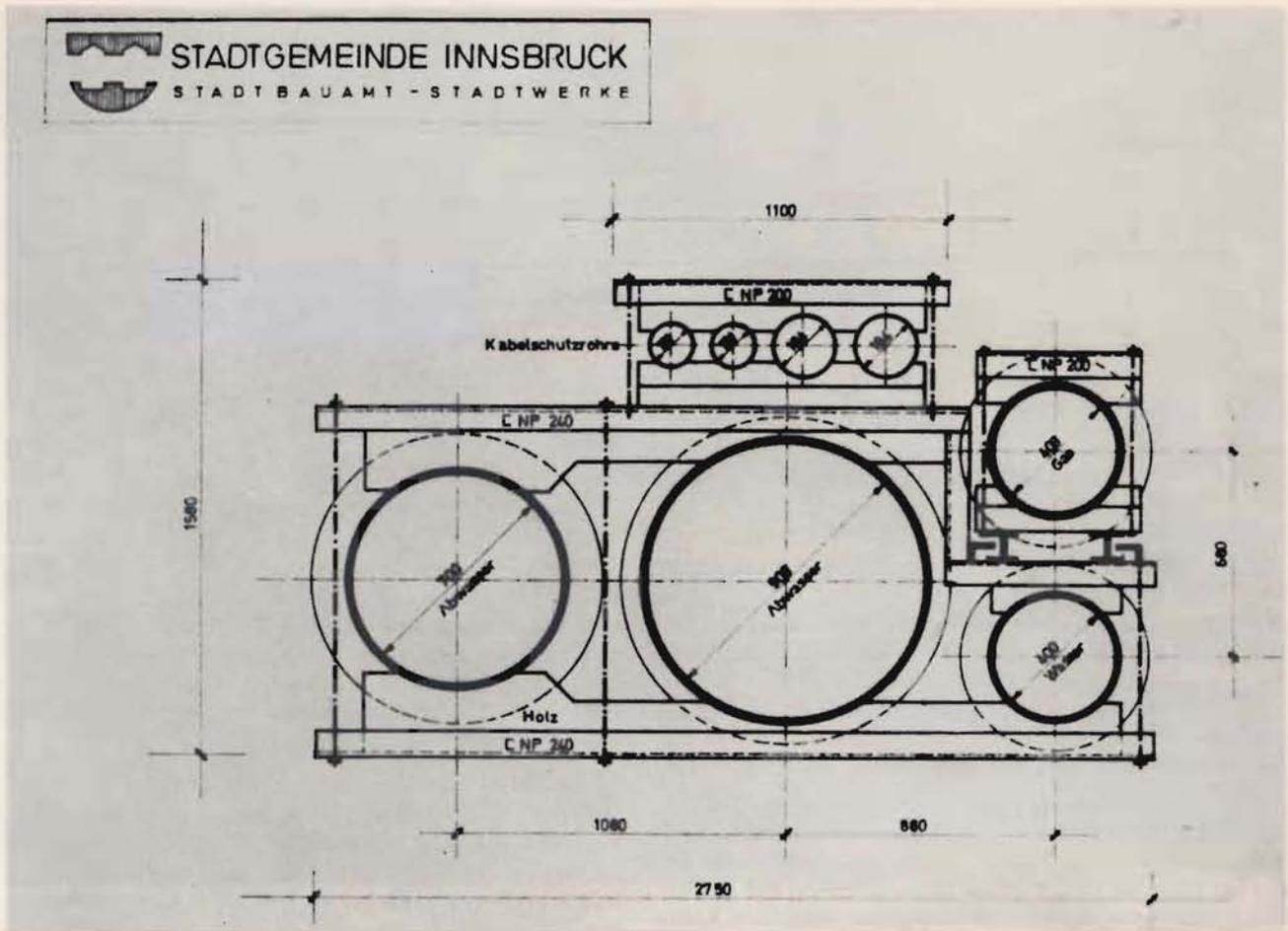


Bild 5: Lage der mit Schellen verbundenen Rohre im Dükerbündel

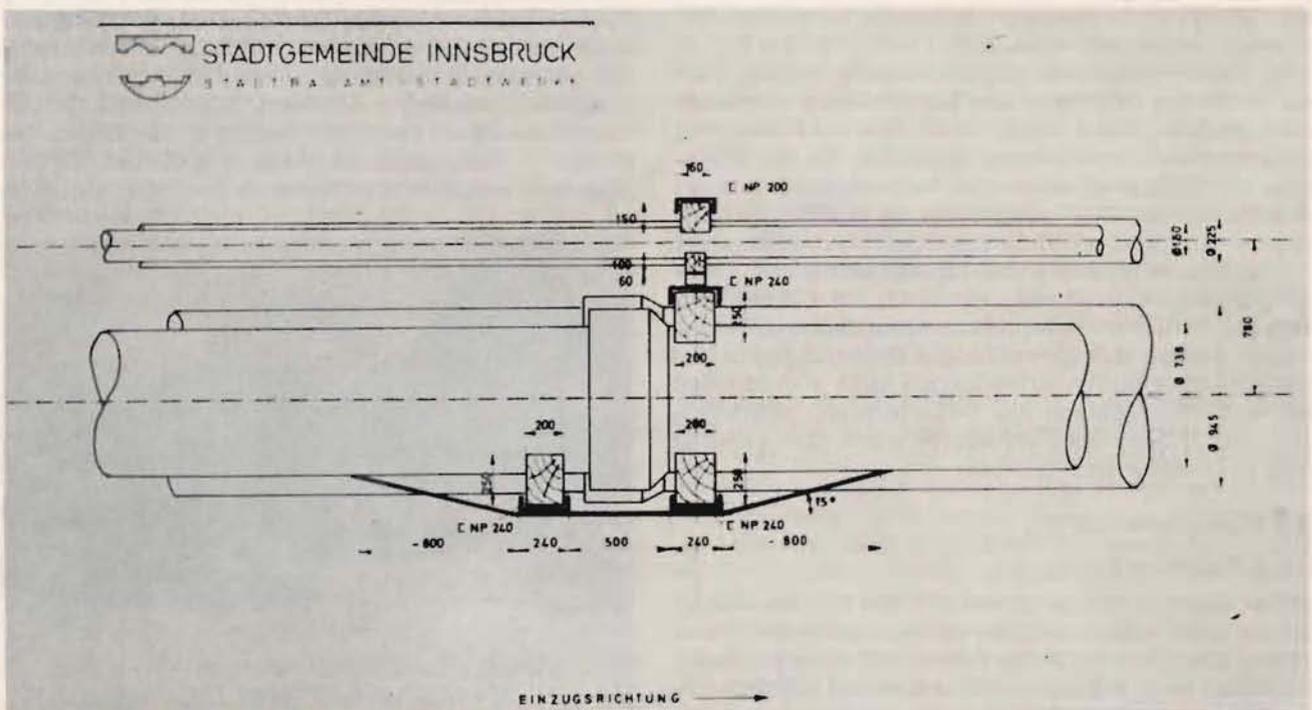


Bild 6: Ausbildung der Gleitschlitten

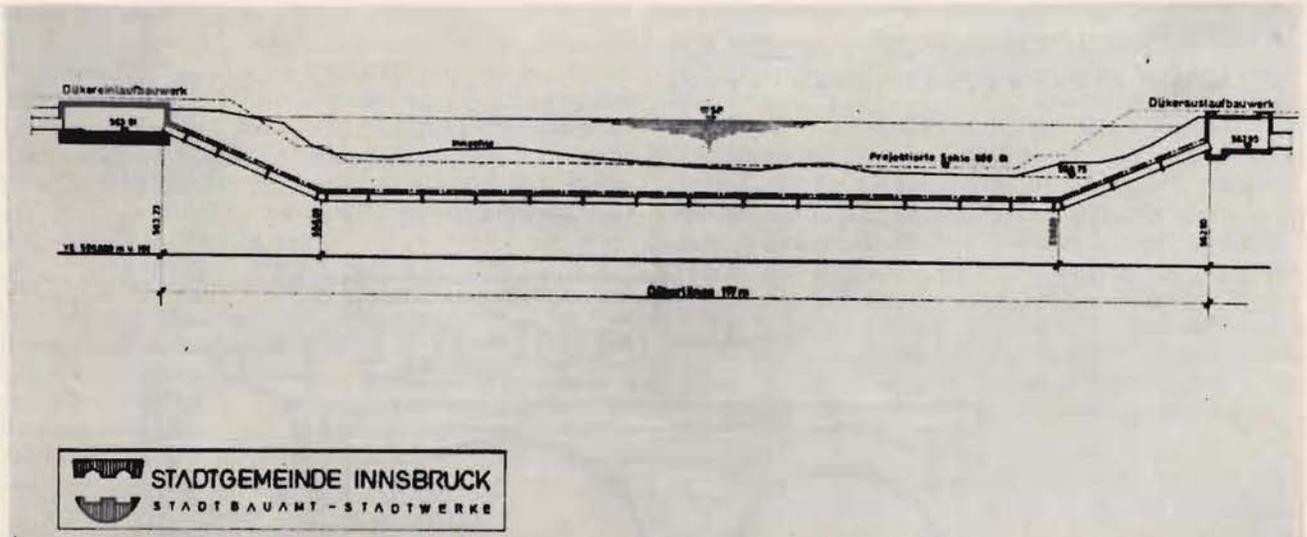


Bild 7: Längenschnitt des Dükers durch die Abwasserrohre

Aufgabe, den Dükerstrang beim Einziehen an der Rohrgrabensohle zu halten und in die Dükerrinne eingeschwenktes Material zur Seite zu schieben. Eingelegte Seilschlingen in den Endschlitten (Bild 8) mit den linken ansteigenden Rohrkräften sollten bei Bedarf ein Rückziehen des Dükerstranges ermöglichen.

Der für den Durchzug an Land zusammengebaute Dükerstrang ruhte auf dem Kopf-, 13 Gleit- und dem Endschlitten (Bild 9), sein Gewicht betrug an Land 1.460 kN (≈ 146 Mp). Sofort nach dem Zusammenbau des Dükerstranges folgten die Vorprüfungen der einzelnen Rohrleitungen. Um die Verhältnisse beim Einzug zu simulieren, wurden die beiden am Dükerbündelrand liegenden Leitungen NW 400 einem Druck von 25 bar (≈ 25 kp/cm²) sowie die ebenfalls am Rande des Dükerbündels liegende Leitung NW 700 einem solchen von 10 bar (≈ 10 kp/cm²) gleichzeitig ausgesetzt. Zusammen ergab dies einen Schub von 1.150 kN (≈ 115 Mp). Bei der erfolgreich abgeschlossenen Prüfung wurde unter der Wirkung des Innendruckes außerdem der gesamte Dükerstrang unter Hintanhaltung von Zwangsspannungen solange gestreckt, bis der Haltering der längskraftschlüssigen Verbindungen fest am Schubsicherungsring anlag. Die nicht längskraftschlüssige — jedoch in der Mitte des Dükerbündels liegende — Leitung NW 900 wurde anschließend mit 1 bar (≈ 1 kp/cm²) geprüft; dies entsprach einer Schubkraft von ca. 700 kN (≈ 70 Mp). Besonders mußte dabei beachtet werden, daß die zulässigen Bewegungen in den TYTON-Steckmuffenverbindungen nicht überschritten wurden. Die Montage des Dükerbündels, einschließlich der Druckprobe, erforderte einen Zeitaufwand von etwas mehr als 5 Wochen.

3.2 Tiefbauarbeiten

3.2.1 Ablaufbahn

Diese mußte so ausgelegt werden, daß sich der Dükerstrang unter Ausnutzung der je Verbindung möglichen Abwinklung von ca. 3° der Krümmung der Ablaufbahn anpassen konnte. Die zunächst horizontal liegende Ablaufbahn, auf der die Montage erfolgte, wurde zur Dükerrinne hin langsam abgezogen und auf der Seite des

bestehenden Abwasserkanals durch Spundwände abgesichert. Da nach Abhub des Humus bereits Innschotter aus früheren Anlandungen anstand, waren abgesehen von der Planierung und der Abwalgung, keine besonderen Erdbaumaßnahmen erforderlich.

3.2.2 Ufereinschnitte

Wenn auch ein Teil des Aushubes trocken ausgeführt werden konnte, so lag doch der größte Teil unter Wasser. Um den Uferverbau nicht zu weit zu öffnen, erfolgte im Bereich des bis zu 7 m unter Gelände liegenden Dükerbündels die seitliche Böschungssicherung mit Stahlspundwänden (Larssen), die nach Abschluß der Arbeiten wieder gezogen wurden.

3.2.3 Dükerrinne

Von der ursprünglich vorgesehenen Art der Freilegung der Dükerrinne mit einer Schrapperanlage wurde Abstand genommen, da der erforderliche Quertransport des gefördert Materials zur auf der linken Seite flußabwärts liegenden Sandbank zusätzlichen Geräteeinsatz erfordert hätte. Da weiterhin die Breite des Flusses in der Niederwasserzeit, d. h. in den für den Dükerbau vorgesehenen Monaten, bei einer mittleren



Bild 8: Endschlitten mit den ansteigenden Rohrkräften vor der Betonierung mit noch fehlenden aufgelegten Polyäthylen-Rohren



Bild 9: Dükcrstrang unmittelbar vor Montageabschluß

Fließe von $65 \text{ m}^3/\text{s}$ nur etwa 40 m beträgt, wurde der Aushub der Dükerrinne unter Einsatz von Schleppe-schaufelbaggern von den Ufern her durchgeführt. Durch die außerdem noch erforderliche Verswenkung des gesamten Dükcrbündels von der Dükereinzugsachse in die geplante Hauptachse wurde besonders auf der linken Seite eine breite Dükerrinne erforderlich. Dadurch ergab sich unter Berücksichtigung der sich einstellenden Böschungswinkel eine Breite auf Höhe der Flußsohle von 12 bis 25 m . Keine Schwierigkeiten bereitete beim Aushub die Einhaltung der Dükereinzugsachse, da der Rohrgraben bereits vor Beginn der Arbeiten geringfügig oberwasserseitig verschoben wurde. Die Förderung des etwa 6.000 m^3 Flußkiesmaterials erforderte einen Zeitaufwand von rd. 12 Wochen.

3.3 Einziehen des Dükcrs

Nach mehrmaligem Durchzug eines Schrapferschlittens, der noch vorhandene Unebenheiten an der Sohle ausglich, und der Kontrolle der Sohllage mit Meßstangen konnte am 7. März 1973 an das Einziehen des Dükcrbündels herangegangen werden. Für das Einziehen des am linken Ufer an Land montierten Dükcrbündels wurden am rechten Ufer zwei feinstufig hydraulisch regelbare Winden mit einer Zugkraft von je 1.000 kN ($\approx 100 \text{ Mp}$) in Einzugsachse installiert. Vom Seilquerschnitt her gesehen wurde jedoch die Zugkraft auf 750 kN ($\approx 75 \text{ Mp}$) begrenzt. Die durchschnittlich aufzuwendende Zugkraft des an Land 1.460 kN ($\approx 146 \text{ Mp}$) schweren Dükcrbündels errechnet sich bei einer

Reibungsziffer von Stahl auf Kiesgrund von $0,5$ mit 730 kN ($\approx 73 \text{ Mp}$). Während des Einziehens war die Flutung der Abwasserleitung NW 900 — um den erforderlichen Abtrieb zu erreichen, als auch zur Stabilisierung des Bündels — vorgesehen. Trotzdem war noch eine Gewichtsverminderung des schweren Kopf- und Endschlittens im Wasser durch Schwimmkörperauflagen zu vertreten. Das Gewicht des gesamten Dükcrbündels verringerte sich unter Berücksichtigung des Auftriebes der luftgefüllt verbliebenen Rohre als auch der Schwimmkörper auf ca. 400 kN (ca. 40.000 kp), das sind rd. 4 kN/m (rd. 400 kp/m). Die errechnete theoretische Zugkraft bei eingetauchtem Dükcrbündel bei einer Reibungsziffer im Wasser von rd. $0,3$ stellte sich auf 120 kN ($\approx 12 \text{ Mp}$). Die tatsächlich zu erwartende Zugkraft hätte sich demnach zwischen 120 und 730 kN (≈ 12 und $\approx 73 \text{ Mp}$) bewegen müssen,

Als jedoch der Dükcrstrang, der vorerst leicht anließ, mit dem Kopfschlitten ca. 25 m ins Wasser vorgezogen war, d. h. bereits auf der Dükerrinnensohle und teilweise auf der Ablaufbahn lag, mußten zur Fortbewegung wesentlich höhere Zugkräfte aufgewendet werden. Zusätzlich zu den Winden wurde daher noch der Einsatz einer Schubraupe notwendig. Die Ursache der Zugkrafteerhöhung konnte selbst durch Taucher nicht einwandfrei geklärt werden, doch dürfte sich der Kopf- als auch die Gleitschlitten in den Flußkies mehr als erwartet eingegraben haben oder aber sie haben viel zu viel Material vor sich hergeschoben. Von den Winden her war eine Dükereinzugsgeschwindigkeit

von 1,1 m/s gegeben. Dadurch hätte bei einer Einzugslänge von rd. 140 m der Einzug theoretisch in ca. 2 Stunden beendet werden können. Ein Seilriß, der den Einsatz eines Tauchers erforderte, die Verzögerung durch die erforderliche Mithilfe der Schubraupe als auch notwendiges Umspulen des Zugseiles der hydraulischen Winde, deren Seiltrommel ein 60 m langes Seil aufnehmen konnte, verzögerte das vorgesehene Einziehen. Fünf Stunden nach dem ersten Anzug konnte jedoch der Einzugsvorgang abgeschlossen werden.

Anschließend folgte der schwierigste Teil, die Verschwenkung des eingezogenen Dükerbündels von der Einzugsachse in die Dükerrinne. Mit Hilfe von Hebezeugen konnte das Dükerbündel am Endschlitten angehoben und um rd. 5 m versetzt werden. Um die Lage in der Dükerrinne kontrollieren zu können, waren an jeder Muffe abnehmbare Peilstangen montiert. Außerdem schwamm nach Erreichen der endgültigen Lage erneut ein Taucher das Dükerbündel ab. Zusätzliche Lotungen bestätigten die richtige Lage. Ein wesentlicher Faktor des einwandfreien und ungestörten Arbeitsablaufes war die Möglichkeit der Beibehaltung einer gleichmäßigen Wasserführung im Inn durch entsprechend konstante Abarbeitung des Speichers beim Innkraftwerk Imsterau durch die TIWAG.

3.4 Verfüllen der Dükerrinne und Inbetriebnahme der Dükerränge

Vor Beginn dieser Arbeiten wurden die Rohre des Dükerbündels den Hauptprüfungen unterworfen, die beiden Abwasserstränge einem Wasserdruck von 1 bar ($\approx 1 \text{ kp/cm}^2$) ausgesetzt, der Wasser- und Gasleitungsstrang mit 25 bar ($\approx 25 \text{ kp/cm}^2$) auf Dichtheit geprüft, die Kabelschutzrohre lediglich gemolcht. Nach Abnahme der Rohrstränge wurde sofort mit der Verfüllung des Grabens im unmittelbaren Flußbereich mit Aushubmaterial, das Wochen vorher an die Ufer gebracht worden war, begonnen. Vorerst erfolgte das Verfüllen des Rohrgrabens von der Oberwasserseite her bis Oberkante Dükerbündel. Daraufhin wurden die vorbereiteten Drahtnetzsinkkörper als Auftriebssicherung, die letztlich auch als Schutz gegen mechanische Beschädigung dienen, gezielt aufgebracht, anschließend die Dükerrinne zur Gänze geschlossen. Die folgende Montage der ansteigenden Rohräste in den gespundeten Ufer einschnitten erforderte einige Zeit, da das Verziehen der Rohrstränge aus dem verschlossenen Dükerbündel zu den Bauwerken nur mit Formstücken, die bis auf die Leitung NW 900 wieder längskraftschlüssige Verbindungen erhielten und auf Bestellung angefertigt werden mußten, erfolgen konnte. Zudem bereitete nun das Ansteigen des Inn in der wärmeren Jahreszeit zusätzliche Schwierigkeiten. In die Gasleitung wurde noch eine Auspumpleitung aus SBS-Edelstahlrohren eingelegt, die bis nahe zum Ufer geführt und dort durch die Gußrohre zum Bauwerk herangeführt wurde. Die Möglichkeit des Verschweißens mit duktilem Gußeisen gestattete diese Lösung. Dabei wurde das Durchgangsrohr jedoch nicht unmittelbar, sondern über eine sogenannte Puffernaht mit der Rohrwand verschweißt, um einerseits den Unterschied im Verhalten des kohlenstoffreicheren Gußeisens zum Stahl überbrücken und andererseits die Übergangszone vom Schweißgut zum Grundmaterial

zur Vermeidung von Gefügeveränderungen möglichst schmal halten zu können. Die Puffernaht wurde unter Zuhilfenahme eines Kupferdornes, dessen Durchmesser dem Außendurchmesser des Anschweißstutzens entspricht, gezogen. Über die Festigkeitsuntersuchungen des Anschweißens vom Anschlußstutzen wurde schon an anderer Stelle berichtet [26].

Die Anlage der Ablaufbahn für den Dükereinzug als auch der erforderliche Aushub im Bereich der Ufer einschnitte erforderte den vorübergehenden Aushub unter den Uferbauwerken. Mit der Errichtung der Bauwerke konnte daher erst nach erfolgtem Dükereinzug, einem teilweisen Aufbau der ansteigenden Äste mit dem damit verbundenen Wiederaufbau der Uferböschungen, begonnen werden. Selbstverständlich war vor Herstellung der Sohlenbauwerke eine gewissenhafte Verdichtung des Schüttmaterials erforderlich. Die Errichtung der Bauwerke für Gas, Wasser und Abwasser — besonders des sehr großen Einlaufbauwerkes für den Abwasserdüker mit allen Einbauten zur Erfüllung aller notwendigen betrieblichen Funktionen (Spülung, Umleitung) — nahm nahezu 12 Wochen in Anspruch, d. h. fast genauso lange wie alle Arbeiten für die Erstellung des eigentlichen Dükers. Die Inbetriebnahme der vordringlichsten Abwasserrohre konnte Anfang Juli erfolgen. Der Wasserleitungsstrang wird demnächst in Betrieb gehen, wobei vorerst auch die als Gasleitung vorgesehene Leitung bis zur betrieblichen Notwendigkeit parallel mitgeführt werden wird.

4. Kritische Betrachtung des angewandten Bauverfahrens

Nur durch die Kenntnis aufgetretener Fragen und Probleme bei der Planung und Ausführung kann eine Wiederholung von unvorhergesehenen Schwierigkeiten bei ähnlichen Vorhaben vermieden werden.

Die Zusammenfassung der acht Leitungen, teilweise großer Dimension in einem Dükerbündel aus duktilem Gußeisen war vorerst neu und erforderte hinsichtlich der Beweglichkeit einige Überlegungen. So konnte die für den Einzug notwendige volle Abwinkelbarkeit in der Lotrechten durch entsprechende Gleitauflagerung sichergestellt werden. Die durch die nebeneinanderliegenden Rohre geringe Seitenabwinkelung im Hinblick auf eine mögliche Lageverschiebung in der Dükerrinne — hervorgerufen durch hydrodynamische Kräfte — war eher ein Vorteil. Die längskraftschlüssigen Verbindungen konnten alle auftretenden Kräfte aufnehmen. Wenn auch der im Zentrum des Bündels gelegene nicht längskraftschlüssig verbundene Abwasserstrang NW 900 aufgrund seiner Lage zwischen schubgesicherten Leitungen keine Schwierigkeiten bereitete, sollte doch in einem Dükerbündel darauf geachtet werden, da beim unter Wasser liegenden Dükerbündel nur mehr eine beschränkte Kontrollmöglichkeit gegeben ist.

Die Verschwenkung des Dükerbündels konnte nur mit großem Kraftaufwand durchgeführt werden. Es sollte daher in der Regel von einem Verschwenken des bereits auf der Dükersohle liegenden Dükerbündels abgesehen werden, da das Risiko einfach zu groß und der Bestand des Bauwerkes dadurch gefährdet sein kann.

Außerdem muß beachtet werden, daß die Verschwenkung eine breite Rohrgrabensohle mit dementsprechend größeren Erdbewegungen erfordert. Hinsichtlich der Herstellung der Dükerrinne sind wirtschaftliche Überlegungen, ob die Dükerrinnenwände geböschet oder aber mit im Flußbett ab Flußsohle verbleibenden Stahlspundwänden ausgeführt werden sollen, anzustellen. Bei einer Spundung ist darauf zu achten, daß die Einfahrtschneisen genügend breit sind, da der Kopfschlitten, bedingt durch den Seilzug, genügend Spiel haben muß.

Beim Einziehen des Dükerbündels zeigte sich, daß der Befestigung der Ablaufbahn, auf der sich die Gleitschlitten bewegen mußten, trotz des festgelagerten Flußkieses zu wenig Beachtung geschenkt wurde. Durch das Schürfen der Gleitschlitten auf der Ablaufbahn kam es zum Abtragen von Flußkies und somit zu einem Transport in die Dükerrinne mit den nachteiligen Anlandungen und dadurch zu einer Erhöhung der erforderlichen Zugkraft für den weiteren Einziehvorgang. Die Ablaufbahn sollte daher, wenn von einer Auflage des Dükerbündels auf Gleisen abgesehen wird, auf jeden Fall eine Ausbuchtung erhalten.

Schon vor der Festlegung der Rohrlagen im Dükerbündel ist den Ver- und Entflechtungen nahe den Uferbauwerken besonders Augenmerk zu schenken, da überschneidende Rohrleitungen im unmittelbaren Dükerbereich längskraftschlüssige Formstücke verlangen sowie zu erhöhten Kosten und Ausführungsschwierigkeiten führen. Besonders zu beachten ist, daß bei der notwendigen Hauptdruckprüfung auch die ansteigenden Rohrstöße bis zu den Bauwerken mit einbezogen werden. Außerdem ist zu bemerken, daß die Dichtringe bei leerem Rohrstrang durch vorhandenen hohen Wasseraußendruck verlagert werden können.

Bauzeitmäßig ist noch zu berücksichtigen, daß mit der Errichtung der Bauwerke bei an Land in Verlängerung der Dükerrinne zusammengesetzten Dükern erst nach erfolgtem Einzug des Dükerbündels begonnen werden kann. Dies führt zwangsläufig zu einer Verlängerung der Bauzeit, die vielleicht nicht in jedem Fall hingenommen werden kann.

Trotz dieser geringen Mängel muß jedoch festgestellt werden, daß das gewählte Verfahren für die Verlegung des vorgesehenen Inndükers das richtige war. Die angeführten Betrachtungen beziehen sich nur auf einige wenige, jedoch für den Bestand des Bauwerkes entscheidende Fragen und Probleme, die während der Planung und der folgenden Dükerausführung aufgetreten sind. Die Beachtung dieser Umstände bei Folgevorhaben erleichtert die Ausführung, erspart aber dem Planer nicht Überlegungen, die er bei ähnlichen Dükerausführungen hinsichtlich Planung, Konstruktion und Einbringverfahren anzustellen hat.

5. Schlußbemerkungen

Nach Inbetriebnahme des Inndükers Rossau-Neu Arzl für Abwasser, Trinkwasser, Gas und Strom können nun mehrere Versorgungs- und Entsorgungsaufgaben gemeinsam gelöst werden. Vor allem können die auf der linken Seite des Inn anfallenden Abwässer zur rechtsufrig gelegenen zentralen Kläranlage gebracht werden und so die Abwassereinleitung in den Inn ent-

fallen. Für das gesamte Bauvorhaben waren Mittel in Höhe von 7,7 Millionen Schilling erforderlich, von denen allein rd. 6,0 Millionen Schilling auf die eigentliche Dükerausführung entfielen. Von den Kosten her waren demnach die Überlegungen für die weitgehende Planung und das Einbringverfahren mehr als berechtigt, um so mehr, als Reparaturen am Düker nicht mehr vorgenommen werden können. Die in Innsbruck angewandte Baumethode der Versenkung des Dükers nach dem Durchziehverfahren ist als eine elegante Methode und in diesem Fall als die wirtschaftlichste und sicherste Lösung anzusehen. Es sei jedoch nochmals darauf hingewiesen, daß jedes Dükervorhaben neben der Kenntnis der bereits mit Erfolg durchgeführten Verfahren jeweils neue Überlegungen hinsichtlich der Konstruktion, des Einbringverfahrens als auch des Werkstoffes erforderlich macht.

Literatur

- [1] Otter:
„Hauptsammelkanäle in Graz — fertiggestellt“
Österreichische Gemeindezeitung 36 (1970) Heft 19, S. 486
- [2] Binder, Kurzweil:
„Abwasserdüker“
Österreichische Abwasserrundschau 1972 — Folge 5
- [3] Drobek:
„Die Methode der Dükerversenkung und der Bau des Köhlbrand-Dükers in Hamburg“
GWf 100 (1959) Heft 20, S. 499
- [4] Salisko:
„Verlegen eines Dükers durch den Inn für die Wasserversorgung der Stadt Rosenheim (Obb.)“
GWf 104 (1963) Heft 38, S. 1088
- [5] Drobek:
„Die Methode der Dükerversenkung und des Baues des Köhlbrand-Dükers in Hamburg“
GWf 100 (1959) Heft 22, S. 551
- [6] Zimmer:
„Düker aus duktilen Gußrohren durch den Neckar“
GWf 104 (1963) Heft 38, S. 1091
- [7] „Maidüker Lohr/Main“
TDR-Bericht 1/65
- [8] „Maidüker Miltenberg“
TDR-Bericht 3/65
- [9] Henning:
„Gemeinsamer Rheindüker für Abwasser, Trinkwasser und Gas“
GWf 107 (1966) Heft 32, S. 909
- [10] „Erläuterungsbericht für die Verlegung eines Trinkwasserdükers durch den Main in Aschaffenburg“
- [11] Zimmer:
„Duktile Gußrohre für Dükerausführungen“
GWf 109 (1968), Heft 16, S. 433
- [12] Hartmann:
„Konstruktion und Verlegung von Dükerausführungen aus duktilen Gußrohren“
Schriftenreihe der Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre Heft 3
- [13] Hugelmann:
„Löschwasser-Düker aus duktilen Gußrohren NW 250 durch die Fulda“
Schriftenreihe der Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre Heft 7
- [14] Zenz:
„Trinkwasser-Düker aus duktilen Gußrohren NW 250 durch die Mosel“
Schriftenreihe der Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre Heft 7

- [15] Weber:
„Abwasser-Düker aus duktilen Gußrohren NW 1250 und NW 800 durch die Mosel“
Schriftenreihe der Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre Heft 7
- [16] Beier:
„Doppelrohrdüker durch die Donau“
GWV 27 (1973) Heft 4, S. 67
- [17] Drobek:
„Düker und Unterwasserleitungen aus biegefesten Stahlrohren“
GWV 106 (1965) Heft 22, S. 626
- [18] Klotz:
„Zwei Trinkwasserdüker durch die Donau für die Fernwasserversorgung Bayerischer Wald“
WW 55 (1965) Heft 1, S. 17
- [19] Knäpper:
„Dükerverlegung mit Schlittengeräten“
GWV 107 (1966) Heft 12, S. 325
- [20] Ruttert:
„Die Verwendung von Polyäthylen-Rohren für Düker“
Neue DELIWA-Zeitschrift 1966, Heft 2
- [21] Knäpper:
„Verlegen von Dükern für Kabel, Trink-, Abwasser, Öl und Gas nach dem Vibro-Einspülverfahren“
Neue DELIWA-Zeitschrift 1966, Heft 5
- [22] Genal:
„Faustwerte für den Kanal- und Klärwerksbau, Abwassertechnische Tabellen“
Bauverlag GmbH, Wiesbaden-Berlin, 3. Auflage
- [23] Press:
„Hilfstafeln zur Bearbeitung von wasserbaulichen und wasserwirtschaftlichen Entwürfen und Anlagen“
Verlag Paul Parey, Berlin-Hamburg, 9. Auflage
- [24] Weyrauch:
„Hydraulisches Rechnen“
Verlag Konrad Wittner, Stuttgart (1921)
- [25] Zimmer:
„Duktile Gußrohre für Dükerleitungen“
GWV 109 (1968) Heft 16, S. 433
- [26] Zimmer:
„Duktile Gußrohre für Wasser- und Gasleitungen“
Neue DELIWA-Zeitschrift 1973, Heft 2

Duktile Gußrohre im Kraftwerksbau

Von WERNER ZIMMERMANN

Gußrohre wurden schon zu Beginn der Elektrifizierung häufig für Turbinenleitungen verwendet. So gibt es noch sehr zahlreiche Kleinkraftwerke im alpenländischen Raum, deren Turbinenleitungen schon vor der Jahrhundertwende mit Gußrohren ausgeführt wurden und noch heute in Betrieb sind.

Aber auch in jüngerer Zeit wurden noch Graugußrohre für Turbinenleitungen im Kraftwerksbau eingesetzt, wie z. B. für die Bachbeleitungen bei der Errichtung des Kaunertal-Kraftwerkes in Tirol, für die Überlaufleitungen beim Spullersee-Kraftwerk der Österreichischen Bundesbahnen in Wald am Arlberg, die Turbinenleitung NW 400 des Kraftwerkes der Gemeinde Inzing in Tirol.

Mit der Entwicklung des duktilen Gußeisens, des Werkstoffes mit den hohen Festigkeiten und dem guten Korrosionsverhalten, trat der Wunsch nach Verwendung dieses Werkstoffes als Turbinenleitung im Kraftwerksbau auf. Durch den Einsatz von duktilem Gußeisen wird vor allem bei Kraftwerksbauten die Wirtschaftlichkeit des Betriebes aufgrund des Wegfalles von Erhaltungskosten ganz entscheidend erhöht. Neben dem guten Festigkeits- und Korrosionsverhalten ist ein weiterer interessanter Aspekt die weitgehende Immunität von Gußrohren gegenüber Streuströmen, die von Gleichstromanlagen (z. B. Straßenbahnen usw.) ausgehen. Da die gummigedichteten Rohrverbindungen (in der Regel alle 6 m) eine elektrische Trennung bewirken, ist der Leitungswiderstand für den Eintritt von Streuströmen in der Regel zu hoch. Auch aufgrund dieser Eigenschaften lassen sich duktile Gußrohre vorteilhaft für oberirdisch zu verlegende Turbinenleitungen verwenden.

Gemeinsam mit einer bedeutenden österreichischen Kraftwerksgruppe wurden in den letzten Jahren auch

Sprengversuche mit duktilen Gußrohrabschnitten NW 500 gemacht, um aus der Art und Größe der Ausbuchtungen und am schließlich sich ergebenden Bruchbild genauen Aufschluß über die Schlagfestigkeit bei solchen brisanten Beanspruchungen geben zu können.

Die Sprengungen wurden so vorgenommen, daß die Sprengladungsmenge bei jedem Versuch gesteigert wurde. Die Sprengladung wurde in ein aufrecht stehendes mit Wasser gefülltes Rohr jeweils konzentrisch genau in die Mitte eingebracht und elektrisch gezündet. Es wurde mit 10 g Gelatine-Donarit 1 begonnen, wobei bei dieser Menge das Rohr noch keine Veränderung nach der Detonation zeigte. Auch bei 20 g erfolgte noch keine Veränderung. Bei der weiteren Verdoppelung auf 40 g erfolgte eine Umfangerweiterung des Rohres um 8 mm. Die weitere Steigerung der Sprengstoffmenge auf 60 g ergab eine etwas stärkere Ausbauchung im Gebiet der Sprengladung, aber immer noch ohne Anriß. Erst bei 80 g Gelatine-Donarit 1 wurde die Festigkeitsgrenze überschritten.

Die mechanischen Eigenschaftswerte des geprüften Rohres — es handelte sich um ein Rohr, das aus einer Serie von Rohren, die bei einer Turbinenleitung eingebaut wurden — waren, wie nach Beendigung der Sprengversuche festgestellt wurde, wie folgt:

Streckgrenze:	414 N/mm ² (≈ 41,4 kp/mm ²)
Zugfestigkeit:	509 N/mm ² (≈ 50,9 kp/mm ²)
Dehnung:	21,3 %

Diese positiven Ergebnisse waren zweifellos mit maßgebend, daß in Tirol im Jahre 1967 beim Stuiben-Kraftwerk im Ötztal der Tiroler Wasserkraftwerke AG duktile Gußrohre NW 500 mit Schraubmuffe (Bild 1) und im Jahre 1972 beim Kraftwerk Silz der Tiroler Wasserkraftwerke AG duktile Gußrohre NW 200 mit TYTON-

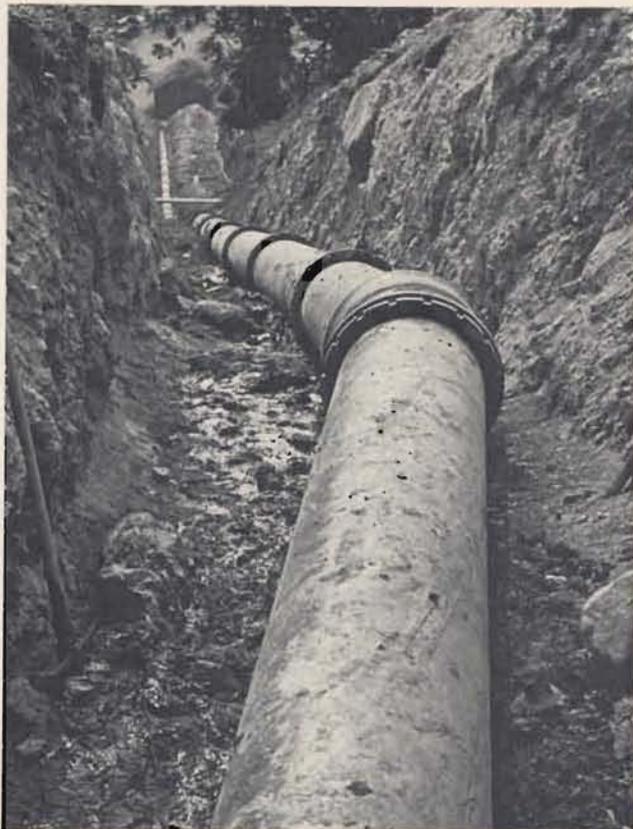


Bild 1

Steckmuffe (Bild 2 und 3) für die Turbinenleitungen zum Einbau kamen.

Auf die Errichtung der letztgenannten Turbinenleitung Silz soll hier näher eingegangen werden, um die Probleme einigermaßen aufzuzeigen, die mit der Errichtung von Turbinenleitungen in steilem Felsgelände verbunden sind. Südlich von Silz im oberen Inntal besitzt eine österreichische Kraftwerksgruppe ein Kleinkraftwerk, welches seit dem Jahre 1930 in Betrieb ist. Die Druckrohrleitung dieses Kraftwerkes weist eine Länge von 765 m und die beträchtliche Fallhöhe von 382 m auf (Bild 4). Die Rohrleitung ist in felsigem, zum Teil extrem steilem Gelände auf betonierten Rohrsockeln frei verlegt.

Der durch Inkrustierungen verursachte Leistungsverlust war Anlaß zur Erneuerung der Rohrleitung, die in zwei Bauabschnitten 1972 und 1973 vorgenommen wurde.

Nach eingehenden Untersuchungen entschloß man sich, duktile Gußrohre im wesentlichen aus folgenden Gründen zu verwenden:

1. Guter Korrosionswiderstand
2. Gute mechanische Eigenschaften
3. Einfache Verlegung
4. Wirtschaftlichkeit

Nach Abtragen der alten Rohrleitung und Abschrämen der Krümmerfixpunkte bis knapp unter die Rohrsohle wurden duktile Gußrohre NW 200 mit Steckmuffe TYTON von unten nach oben verlegt. Um die vorhandenen Auflagesättel, welche einen unterschiedlichen Abstand von etwa 5 bis 6 m aufwiesen, möglichst wie-

der verwenden zu können, kamen Muffenrohre mit 5 m sowie 6 m Baulänge zur Verlegung.

In die bestehenden Betonsockel wurden je zwei Löcher gebohrt, in welche die Bolzen zur Befestigung von massiven, verzinkten Rohrschellen eingegossen wurden. Statisch ist das System derart aufgebaut, daß jedes Rohr unterhalb der Muffe von einer Schelle gehalten



Bild 2



Bild 3

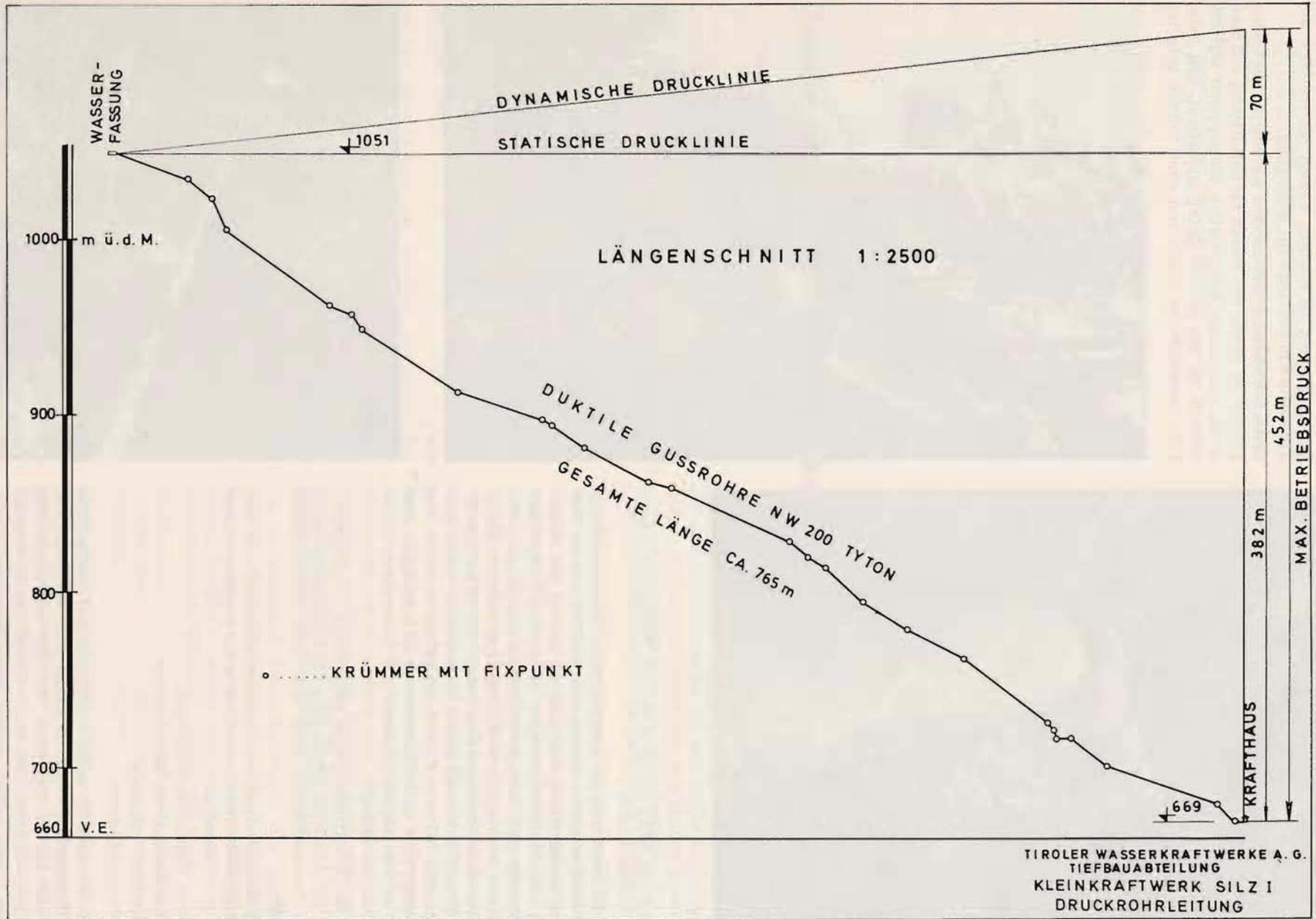


Bild 4

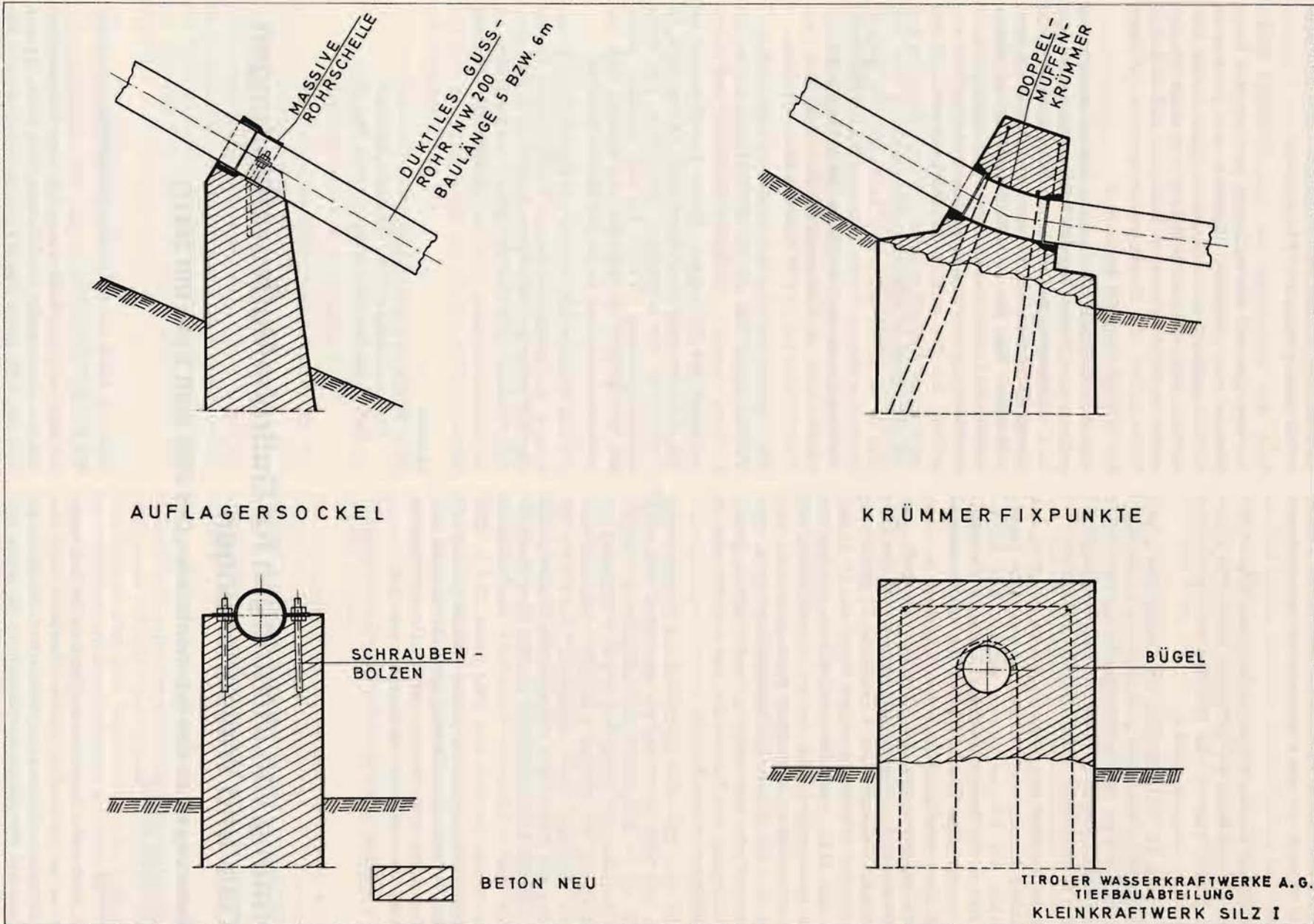


Bild 5

wird, so daß die Krümmerfestpunkte keine Längskräfte, sondern nur die Krümmerkräfte aufzunehmen haben.

Als Krümmer wurden Doppelmuffenkrümmer gewählt, welche mit dem Beton der mit Bügeln bewehrten Krümmerfixpunkte eine in jede Richtung unverschiebbare Verbindung eingehen (Bild 5).

Zum Zweck der Durchführung der Druckprobe sowie für eine spätere Kontrolle wurden an den beiden Endpunkten sowie im oberen Drittelpunkt der Druckrohrleitung Ausbaustücke in Form von Doppelflanschstücken mit benachbarten Einflanschstücken eingebaut.

Trotz der Steilheit des Geländes konnte aufgrund des gewählten Befestigungssystems bzw. wegen der Standfestigkeit des felsigen Bodens auf spezielle Schub Sicherungen der Rohrverbindungen verzichtet werden. Dem Druckverlauf gemäß wurden die Rohre entsprechend den erforderlichen Betriebsdrücken in ihrer Wanddicke genau den Erfordernissen angepaßt. Die Berechnungen der Wanddicken wurden nach der Formel von K. Wellinger und H. Gaßmann [1] vorgenommen. Die Betriebsdrücke reichen bis 45 bar ($\approx 45 \text{ kp/cm}^2$). Mit Hilfe einer Materialeilbahn wurden die Rohre transportiert und verlegt. Einschließlich der Seilbahnbedienung erbrachten dabei insgesamt acht Mann für die reinen Rohrverlegungsarbeiten eine durchschnittliche Tagesleistung von 80 bis 90 m, wobei die Verlegung der Formstücke, insbesondere der 25 Rohrkrümmer, inbegriffen ist.

Bei der nach DIN 4279 durchgeführten Druckprüfung ergab sich beim Krafthaus ein maximaler Prüfdruck von 50 bar ($\approx 50 \text{ kp/cm}^2$) (max. auftretender dynamischer Betriebsdruck von 45 bar + 5 bar). Während der Druckprüfung war nicht der geringste Druckabfall feststellbar. Besonders hervorzuheben ist, daß die zur Erreichung des Prüfdruckes eingepumpte Wassermenge innerhalb der Meßgenauigkeit mit der nach Druckablaß am oberen Ende der Prüfstrecke ausfließenden Wassermenge identisch war (29,1 l bzw. 28,7 l). Eine theoretische Nachrechnung obigen Wasserverbrauches aus der Volumenvergrößerung des Rohrmaterials und der Kompression des Wassers infolge Drucksteigerung erbrachte das befriedigende Ergebnis von 29,6 l.

Nach Feststellung des Bauherrn wird mit der Erneue-

rung der Turbinenleitung mit duktilen Gußrohren eine Leistungssteigerung um 74 % erwartet.

Nach den Erfahrungen der österreichischen Kraftwerksgruppe wird die Auffassung bestätigt, daß Rohrmaterial aus duktilem Gußeisen mit Steckmuffe TYTON aufgrund seiner positiven Eigenschaften hinsichtlich Korrosionsbeständigkeit, vor allem bei aggressiven Betriebswässern, Festigkeit und einfacher Verlegbarkeit für Druckrohrleitungen von Wasserkraftwerken durchaus geeignet ist.

Bei einem weiteren in der letzten Zeit zur Ausführung gekommenen Projekt wurden duktile Gußrohre eingebaut, und zwar bei der Errichtung der Beileitungen Süd für die Stubachkraftwerke der Österreichischen Bundesbahnen. Um die wirtschaftliche Nutzung dieser Kraftwerke zu erhöhen, wurde das Einzugsgebiet durch die Errichtung von sogenannten Beileitungen Süd vergrößert. Bei der unteren Landeckbachfassung/Pumpwerk wurde eine 250 m lange, in Pumprohrstollen und -schacht verlegte duktile Gußdruckleitung NW 600 zum 88 m höher gelegenen Seebachstollen gebaut. Durch eine weitere Druckrohrleitung aus duktilen Gußmuffendruckrohren NW 600 im 394 m langen Schrägschacht wird im Kavernenkraftwerk Süd über eine Peltonturbine ein 1,2 MW Maschinensatz betrieben.

Die Verwendung von modernen gummigedichteten Verbindungen, wie sie die TYTON-Steckmuffenverbindung darstellt, ermöglicht rascheste und daher wirtschaftliche Verlegung. Dieser Gesichtspunkt ist vor allem bei witterungsabhängigen Verlegungen im Hochgebirge von besonderer Wichtigkeit. Die Steckmuffenverbindung TYTON hat sich nunmehr schon seit Jahrzehnten in Amerika und Europa auch bei höchstbeanspruchten Leitungen bestens bewährt.

Die nun vorliegenden, bereits jahrzehntelangen Erfahrungen mit gummigedichteten Verbindungen beweisen, daß diese Art von Verbindung nicht nur im üblichen Wasser- und Gasleitungsbau, sondern auch im Turbinenleitungsbau voll zur Anwendung kommen kann.

Literatur

- [1] K. Wellinger und H. Gaßmann:
„Die Berechnung duktiler Schleudergußrohre“
Techn.-wiss. Ber. MPA Stuttgart (1965), Heft 65-01

Normung von Dichtringen für Gußrohr-Muffenverbindungen in Gas- und Wasserleitungen

(Erläuterungen zu den Normentwürfen DIN 3535 Blatt 3 und DIN 28617)

Von WERNER WOLF

Einführung

Mit zunehmender Technisierung wird es für den Ingenieur immer schwieriger, einen Überblick über die Vielfalt des Angebotes an technischem Material zu behalten und Vergleiche durchzuführen. Es wuchs die Tendenz im In- und Ausland, durch Normung Qualitätsmaßstäbe zu setzen. Unterstützt wurde diese Ent-

wicklung durch die steigenden Sicherheitsanforderungen auf allen Gebieten.

Die Normung des Rohres aus duktilem Gußeisen hat mit der Herausgabe der Normen DIN 28600 [1] und DIN 28610 [2] sowie des DVGW-Arbeitsblattes G 461 [3] einen vorläufigen Abschluß gefunden. Parallel zu diesen Normungsarbeiten hatten die Bemühungen zur

Schaffung von Normen für die Dichtungsgummiringe eingesetzt, die ein wesentliches Element in einer Rohrleitung darstellen.

Bevor noch an eine Normung von Gummiringen gedacht worden war, hat die Gußrohrindustrie bereits 1936 mit der Ausarbeitung von Lieferbedingungen für Gummiringe begonnen. Die Arbeiten erfuhren jedoch eine Unterbrechung und wurden nach dem zweiten Weltkrieg wieder aufgenommen.

„Lieferbedingungen, Prüf- und Gütevorschriften für Naturgummi-Dichtringe für die Schraubmuffen-, Stopfbuchsenmuffen- und TYTON-Verbindung“ [4] wurden im November 1965 von der Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre herausgegeben. Ab diesem Zeitpunkt wurden in Deutschland Gummiringe nach diesen Lieferbedingungen gefertigt. Entsprechende Lieferbedingungen für Perbunan-Dichtringe wurden im Oktober 1968 [5] herausgegeben.

Diese Lieferbedingungen bildeten mit eine Basis für die Ausarbeitung der beiden nachstehend aufgeführten Normentwürfe:

DIN 3535 Blatt 3 „Dichtungen aus Kunststoff oder Gummi für Gasversorgungs- und Gasfernleitungen“ [9] sowie

DIN 28617 „Druckrohre und Formstücke aus Gußeisen für Wasserleitungen; Dichtringe, Technische Lieferbedingungen“ [6].

DIN 3535 Blatt 3 ist Teil einer Reihe von Normblättern unter dem Oberbegriff „Dichtungen für die Gasversorgung“. Es haben zum Gegenstand:

DIN 3535 Blatt 1 „Dichtringe in Gasarmaturen für die Hausinstallation“ [7]

DIN 3535 Blatt 2 „Dichtungen in Gasverbrauchseinrichtungen“ [8]

DIN 3535 Blatt 4 „Dichtungen aus It-Platten in Gasarmaturen, Gasverbrauchseinrichtungen und Gasleitungen“ [10].

DIN 3535 Blatt 3 [9] befaßt sich mit den Anforderungen und Prüfvorschriften für

- Flachdichtungen für Flanschverbindungen (im Kraftfluß stehende Dichtungen)
- Rund- und sonstige Profildichtungen (nicht im Kraftfluß stehende Dichtungen) sowie
- Dichtungen für Muffenverbindungen für die Druckbereiche bis 16 bar.

Die zuletzt genannten Anforderungen und Prüfvorschriften für Muffenverbindungen in Gasleitungen für die Druckbereiche bis 16 bar sowie die Anforderungen und Prüfvorschriften für Dichtringe für Wasserleitungen (Entwurf DIN 28617) [6] sollen Gegenstand der folgenden Ausführungen sein.

Grundsätzliche Bemerkungen

In den Entwürfen DIN 3535 Blatt 3 und DIN 28617 sind die Anforderungen, denen die Dichtringe für Muffenverbindungen genügen müssen, tabellarisch zusammengestellt. Die Tabellen 1 und 2 geben die entsprechenden tabellarischen Zusammenstellungen aus den beiden Normentwürfen wieder.

Es ist einleuchtend, daß beide Normen eine Reihe von Anforderungen gemeinsam haben. In Tabelle 1 sind darüber hinaus zusätzlich eine Reihe von Anforderungen aufgeführt, die an Dichtringe für Gasleitungen zu stellen sind, da dort eine Beeinflussung des Dichtringes durch Kohlenwasserstoffe, die im Gas enthalten sind, auftreten kann.

Nach Entwurf DIN 3535 Blatt 3 werden als Werkstoffe für Muffen-Dichtringe nur Naturgummi (NR) und Nitrilkautschuk (NBR) genannt. Diese Unterteilung mag einem unbefangenen Leser zunächst als ungerechtfertigte Einengung erscheinen. Hierzu ist aber festzustellen, daß die Gußrohrindustrie bereits seit vielen Jahren mit den beiden genannten Materialien gute Erfahrungen gemacht hat.

Grundsätzlich kann man bei der Festlegung von Anforderungen auf zweierlei Weise vorgehen:

Die erste Möglichkeit besteht darin, Mindestanforderungen für einen bestimmten Anwendungszweck vorzuschreiben. Diese Methode erscheint im hier diskutierten Falle unvorteilhaft aus folgendem Grund: Im Bereich bestimmter Anforderungen, z. B. beim Druckverformungsrest (auf den weiter unten noch eingegangen wird), wie bei der Quellung und dem Gewichtsverlust nach Quellung und Rücktrocknung, besteht im Hinblick auf die zu fordernde jahrzehntelange Funktionsfähigkeit der Dichtringe großes Interesse, von einem Material alles zu fordern, was es hergeben kann. Die Anforderungen, die man an ein Elastomer (z. B. Naturgummi oder Nitrilkautschuk) stellt, hängen in starkem Maße voneinander ab; beispielsweise kann man nicht gleichzeitig extreme Forderungen hinsichtlich Druckverformungsrest in der Kälte einerseits und Gewichtsverlust bei der Quellung und Rücktrocknung andererseits fordern. Dies bedeutet, daß die Anforderungen an einen hoch gezüchteten Werkstoff aufeinander abgestimmt sein müssen. Diese Forderung wiederum vereinbart sich nicht mit der Festlegung von Mindestwerten.

Aus diesem Grunde wurde die zweite sinngemäß bereits angedeutete Möglichkeit bei der Festlegung der Anforderungen gewählt, nämlich den Werkstoff zu nennen und Werte vorzuschreiben, die von einer für den speziellen Zweck hoch gezüchteten Qualität erfüllt werden können.

Die in Tabelle 2 genannten Anforderungen sind im Prinzip auf Naturgummi abgestimmt, ohne daß hierauf im Text besonders hingewiesen wird; es bestehen jedoch auch keine prinzipiellen Bedenken gegen den Einsatz eines synthetischen Elastomers in Wasserleitungen.

Ein speziell für Dichtringe für Muffenverbindungen in Gasleitungen geltender allgemeiner Gesichtspunkt ist im Entwurf DIN 3535 Blatt 3 unter Punkt 2.4.7. dargelegt. Es heißt dort: „Die Anforderungen an Dichtungen für Gußrohr-Muffenverbindungen sind von der jeweiligen Muffenkonstruktion abhängig“. Auf diese Feststellung muß besonders hingewiesen werden, wenn es um die Beurteilung der Eignung von Gummiringen als Dichtelemente in Gasleitungen geht, wo sie der Einwirkung von Kohlenwasserstoffen ausgesetzt sein können.

Nr.	Eigenschaft	Einheit	Naturgummi (NR)		Nitrilkautschuk (NBR)	
			Weiche Mischung	Harte Mischung	Weiche Mischung	Harte Mischung
2.4.1.	Eigenschaften bei Anlieferung					
2.4.1.1.	Härte der Dichtungen für: Steck- und Stopfbuchsen- muffen	Shore-A	55 ± 5	85 ± 5	55 ± 5	85 ± 5
	Schraubmuffen	Shore-A	50 ± 5	85 ± 5	50 ± 5	85 ± 5
2.4.1.2.	Zugfestigkeit	N/mm ²	≥ 17	≥ 10	≥ 10	≥ 10
2.4.1.3.	Bruchdehnung	%	≥ 500	≥ 160	≥ 500	≥ 160
2.4.1.4.	Druck-Verformungsrest bei -10° C	%	≤ 20	≤ 50	≤ 30	≤ 60
	bei +23° C	%	≤ 7	≤ 20	≤ 8	≤ 25
	bei +70° C	%	≤ 25	≤ 40	≤ 40	≤ 50
2.4.1.5.	Spannungsrelaxation	%	≤ 20	—	≤ 20	—
2.4.1.6.	Ozonbeständigkeit		keine Risse	keine Risse	keine Risse	keine Risse
2.4.2.	Eigenschaften nach Quellung		in Toluol	in Toluol	in Toluol	in Toluol
2.4.2.1.	Gewichtszunahme	Gew.-%/o	≤ 240	≤ 120	≤ 130	≤ 80
2.4.3.	Eigenschaften nach Rücktrocknung					
2.4.3.1.	Gewichtsabnahme	Gew.-%/o	≤ 10	≤ 7	≤ 15	≤ 7
2.4.3.2.	Spannungsrelaxation	%	≤ 30	≤ 30	≤ 30	≤ 30
2.4.4.	Eigenschaften nach Alterung					
2.4.4.1.	Abnahme der Zugfestigkeit	%	≤ 25	≤ 25	≤ 15	≤ 15
2.4.4.2.	Abnahme der Bruchdehnung	%	≤ 25	≤ 40	≤ 25	≤ 25
2.4.5.	Eigenschaften nach Kälteprüfung					
2.4.5.1.	Härteänderung	Shore-A	≤ 6	≤ 10	≤ 25	≤ 10
2.4.6.	Eigenschaften nach Funktionsprüfung		Die Rohrverbindungen müssen dicht sein.			
2.4.6.1.	Dichtheit					
2.4.6.2.	Gewichtsabnahme	Gew.-%/o	≤ 5		≤ 5	

Tabelle 1: Anforderungen an Dichtungen für Muffenverbindungen in Gasleitungen nach Entwurf DIN 3535 Blatt 3

Der Werkstoff Gummi hat einerseits Eigenschaften, die ihn zum Dichtelement hervorragend geeignet machen. Er hat andererseits die Neigung, unter der Einwirkung von kondensierbaren Kohlenwasserstoffen zu quellen. Diese unerwünschte Neigung würde überbewertet, wenn man das Elastomer nur auf der Basis der an einzelnen kleinen Probekörpern gewonnenen technologischen und chemischen Werte beurteilen wollte. Als logische Folge dieses Gesichtspunktes wird im Entwurf DIN 3535 Blatt 3 neben den Anforderungen an den reinen Werkstoff auch eine Funktionsprüfung vorgeschrieben. In ihr muß das einwandfreie Verhalten eines Ringes in eingebautem Zustand unter einer im Vergleich zu den Bedingungen der Praxis verschärften Belastung nachgewiesen werden (weitere Ausführungen zu diesem Punkt siehe Abschnitt Funktionsprüfung). Die in den Tabellen 1 und 2 genannten Anforderungen

wurden festgelegt aufgrund der Ergebnisse von — teilweise relativ wenigen — Untersuchungen an Gummimischungen, die im besonderen Maße auf ein hohes Qualitätsniveau — für den gewünschten Zweck — entwickelt worden sind. Zudem sind aus verschiedenen Gründen bei einigen der Anforderungen neue Prüfbedingungen (gegenüber den Lieferbedingungen der Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre [4] [5]) festgelegt worden, so daß auch hierdurch der Umfang des als Basis dienenden Werteparks eingengt wurde. Es wird sich aufgrund der Ergebnisse mit verbesserten Gummimischungen und aufgrund von Routinekontrollen zeigen, ob und in welchem Umfang Änderungen der festgelegten Anforderungen notwendig werden.

Im einzelnen ist zu den Festlegungen der Normentwürfe DIN 3535 Blatt 3 und DIN 28617 folgendes zu sagen:

Eigenschaften	Anforderungen		Härtere Qualität
	Weichere Qualität		
	Schraubmuffe	Stoffbuchsen- und Steckmuffe	
Härte	(50 ± 5) Shore A	(55 ± 5) Shore A	(85 ± 5) Shore A
Zugfestigkeit	17 N/mm ²		min. 10 N/mm ²
Bruchdehnung	min. 560 %	min. 500 %	min. 160 %
Druckverformungsrest bei Raumtemperatur bei -10° C bei +70° C	max. 7 %		max. 25 %
Kältebeständigkeit Härtezunahme	max. 6 Shore A		max. 6 Shore A
Alterungsbeständigkeit Härteänderung Zugfestigkeitsabnahme Bruchdehnungsabnahme	max. ± 6 Shore A max. 25 % max. 25 %		max. ± 6 Shore A max. 25 % max. 40 %

Tabelle 2: Anforderungen an Dichtringe für Druckrohre und Formstücke aus Gußeisen für Wasserleitungen nach Entwurf DIN 28617

Allgemeine Anforderungen

In den Abschnitten über „allgemeine Anforderungen“ ist eine Reihe von Punkten formuliert, die Selbstverständlichkeiten darstellen, aber trotzdem aufgeführt werden müssen. So wird unter anderem gefordert,

- daß die Oberfläche der Ringe sauber und glatt sein muß,
- daß die zur Herstellung der Dichtringe zu verarbeitenden Rohmaterialien einwandfrei sein müssen, und
- daß die Maßnormen eingehalten werden.

Es wird weiterhin vorgeschrieben, daß die Dichtringe an der Stoßstelle sowie an den Verbindungsstellen zwischen Hart- und Weichteil nicht einreißen dürfen.

Shore-A-Härte der Gummiringe

Die Anforderungen für die Härtewerte ergeben sich aus der Funktion der Ringe in Abhängigkeit von der Muffenkonstruktion. Die genannten Härtewerte liegen seit vielen Jahren unverändert fest und haben sich auch in verlegetechnischer Hinsicht bewährt.

Die Prüfung der Shore-A-Härte erfolgt nach DIN 53505 [12].

Zugfestigkeit und Bruchdehnung

Die Bestimmung der Zugfestigkeit und der Bruchdehnung erfolgt in bekannter Weise nach DIN 53504 [11] an Normprobestäben der Größe S 2 oder S 3. Die Möglichkeit, an dem kleinsten Normprobestab S 3 zu prüfen, wurde offen gelassen, um die Probekörper auch bei den kleineren Nennweiten aus dem Ring herauszuschneiden zu können.

Die Alterung des Gummis wird nach DIN 53508 [13] bestimmt durch Messung von Zugfestigkeit und Dehnung an Proben, die während eines Zeitraumes von 7 Tagen in einem Umluftofen bei einer Temperatur von +70° C gelagert worden sind.

Druckverformungsrest

Der Druckverformungsrest wird nach Entwurf DIN 3535 Blatt 3 bei -10° C, +23° C und +70° C durchgeführt.

Über Messungen bei +23° C liegen Werte von Serienprüfungen an Gummiringen über Jahre vor, allerdings an kleineren Probekörpern.

Die Begrenzung des Wertes für den Druckverformungsrest bei -10° C erfolgt, um Schwierigkeiten bei der Verlegung einer Leitung bei tiefen Temperaturen zu vermeiden. Im gleichen Sinne machen die Gußrohrwerke in der Verlegeanleitung Angaben über die Lagerung der Gummiringe. Danach sind die Gummiringe — wenn sie bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt verlegt werden sollen — vor dem Einbau in die Muffe möglichst bei Temperaturen über +10° C zu lagern. Diese Vorschrift wurde nicht etwa deshalb gegeben, weil ein Ring bei Frost Schaden erleiden würde, sondern weil Gummi bei sehr tiefen Temperaturen an Elastizität verliert, was sich — wie gesagt — bei der Verlegung eines Gummiringes nachteilig auswirken kann.

Die Bestimmung des Druckverformungsrestes bei +70° C wurde aufgenommen, weil sie in verschiedenen Gummiringprüfnormen verankert ist. Diese Prüfung ist nicht als ein beschleunigter Alterungstest aufzufassen, sondern lediglich als Kennwert für das elastische Verhalten bei erhöhter Temperatur.

Bei einer Gummimischung hängen die 3 Druckverformungsrest-Werte eng zusammen. So wird eine Verbesserung des Druckverformungsrestes in der Kälte (also hier bei -10° C) eine relative Verschlechterung des +70° C-Wertes erkaufen und umgekehrt. Das festgelegte Wertetripel für den Druckverformungsrest bei -10° C, +23° C und +70° C stellt eine hohe Qualitätsanforderung an den Gummi dar.

Im Entwurf DIN 28617 wird in der Rubrik „Druckverformungsrest“ jeweils nur ein Wert für Raumtemperatur genannt. Es wird der Einspruchsverhandlung vorbehalten bleiben, Werte für -10°C und $+70^{\circ}\text{C}$ einzufügen.

Nach den Prüfvorschriften (Durchführung nach DIN 53517 Blatt 1 bzw. Blatt 2 [14] [15]) erfolgt die Messung des Druckverformungsrestes an zylindrischen Proben mit einem Durchmesser von $13\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$ und einer Höhe von $6,3\text{ mm} \pm 0,3\text{ mm}$. Diese Probenform wurde gewählt, um zu ermöglichen, daß Probekörper aus Gummiringen herausgeschnitten werden können. Die Verformung bei der Druckverformungsrest-Messung beträgt 25 % unabhängig von der Shore-A-Härte des Dichtringes.

Spannungsrelaxation

Um die Spannungsrelaxation, für die ein Wert nur in Tabelle 1 genannt wird, ist viel diskutiert worden. Die Messung erfolgt im Prinzip in der Weise, daß ein Gummiprobekörper um einen bestimmten Betrag zusammengedrückt wird. Man mißt die Rückstellkraft, das heißt die Kraft, die er auf die zusammendrückenden Flächen ausübt in Funktion der Zeit. Erfahrungsgemäß ist in den ersten Wochen ein langsamer Abfall der Rückstellkraft festzustellen, bis ein praktisch konstanter Wert erreicht wird. Der Gesamtabfall der Rückstellkraft der Probe, ausgedrückt in % von der Rückstellkraft zu Versuchsbeginn, wird als Spannungsrelaxation bezeichnet.

Der Versuch zur Bestimmung der Spannungsrelaxation einer Gummiprobe stellt ohne Zweifel die beste Nachahmung der in der Praxis auftretenden Belastung eines Gummiringes dar. Von diesem Gesichtspunkt aus könnte man auf den Druckverformungsrest verzichten und nur den Wert für die Spannungsrelaxation berücksichtigen. Dies ist bis heute aus zwei Gründen jedoch nicht geschehen:

- Man benötigt zur Messung der Spannungsrelaxation mehrere Wochen — nach Entwurf DIN 3535 Blatt 3 wird die Rückstellkraft-Zeit-Kurve über einen Zeitraum von 100 000 Minuten aufgenommen —, und sie eignet sich aus diesem Grunde nicht für eine laufende Kontrolle.
- Weiterhin ist eine genaue Bestimmung der Spannungsrelaxation relativ schwierig und aufwendig. Das Problem ergibt sich daraus, daß die Kraftmessung erfolgen muß, ohne daß das Maß der Zusammendrückung des Probekörpers eine Veränderung erfährt.

Aus den dargelegten Gründen ist die Spannungsrelaxation als eine Typprüfung zu betrachten, die nur relativ selten durchgeführt werden kann.

Ozonbeständigkeit

Im Entwurf DIN 3535 Blatt 3 wird erstmals eine Ozonbeständigkeit vorgeschrieben.

Zur Prüfung wird ein Ring soweit verformt, daß die zu beobachtenden Oberflächenbereiche eine Dehnung von 20 % aufweisen. Er wird dann bei einer Temperatur von 38°C der Einwirkung eines Luftstromes mit einem Gehalt von 50 ppm Ozon (50 Teile pro 100 Millionen) über einen Zeitraum von 72 Stunden ausgesetzt.

Nach der Ozonlagerung wird festgestellt, ob Risse auf der Ringoberfläche aufgetreten sind.

Die Ozonprüfung erfaßt die Neigung des Dichtringes, bei Lagerung im Freien — vor allem bei UV-Einstrahlung — sogenannte Lichtrisse auf der Oberfläche zu bekommen. Zwar ist der Mechanismus der Ribbildung unter Ozoneinwirkung verschieden vom Mechanismus der Lichtrißbildung. Erfahrungsgemäß besteht jedoch eine gewisse Parallelität.

Die Erscheinung der Lichtrißbildung ist selten und kann nur beobachtet werden, wenn Gummiringe in zusammengedrücktem Zustand — entgegen den bereits oben zitierten Vorschriften der Gußrohrwerke über die Lagerung von Gummiringen — mehrere Wochen im Freien der direkten Sonnenbestrahlung ausgesetzt sind.

Es sei bemerkt, daß die unter den geschilderten Bedingungen erfolgende Bildung von Lichtrissen auf der Oberfläche des Gummiringes nichts mit dessen Alterungsverhalten zu tun hat.

Zur Verhinderung der Lichtrißbildung müssen der Gummimischung bei der Herstellung entsprechend wirkende Chemikalien zugegeben werden, die wiederum bei der ungehemmten Quellung von Gummiprobe in Kohlenwasserstoffen (siehe nächster Abschnitt) herausgelöst werden können — ein weiteres Beispiel für die gegenseitige Abhängigkeit der Anforderungen voneinander.

Eigenschaften nach Quellung in Toluol und nach Rücktrocknung

Speziell für Ringe, die für Gasleitungen bestimmt sind, werden in Tabelle 1 Anforderungen für die maximale Quellung in Toluol¹⁾ festgelegt. Diese Quellung erfolgt in der Weise, daß ein Probekörper (in der Größe von $100\text{ mm} \times 2\text{ mm} \times \text{Ringdicke}$), der aus einem Ring herausgeschnitten wird, für einen Zeitraum von 7 Tagen bei Raumtemperatur in Toluol gelegt wird. Nach dieser Zeit wird die Gewichtszunahme des Ringes bestimmt.

An dieser Stelle sei noch einmal bemerkt, daß die Höhe der Quellwerte von Gummiprobe zu einem falschen Eindruck führt, wenn man von ihm auf das Verhalten der Ringe in eingebautem Zustand schließt.

Man läßt die Proben im Anschluß an die Quellung weitere 7 Tage bei 40°C austrocknen und lagert sie weitere 48 Stunden in Normalklima; dann wird ihr Gewicht bestimmt und die Gewichtsabnahme gegenüber dem Ausgangszustand festgestellt. Die in Tabelle 1 für die Gewichtsabnahme genannten Prozentzahlen erscheinen zunächst hoch. Sie sind dadurch bedingt, daß aus dem Gummi durch den Kohlenwasserstoff Anteile herausgelöst werden. Bei diesen Anteilen handelt es sich um einen kleineren Prozentsatz von Substanzen, die von Haus aus im Gummi enthalten sind, sowie um Zusätze, die der Gummimischung vor der Vulkanisation zugegeben werden müssen, um die technologischen Eigenschaften zu erzielen, die Gegenstand der hier besprochenen Normen sind. Bei der Festlegung der Gewichtsverluste nach Rücktrocknung sind große Anstrengungen gemacht worden, um die Werte auf ein Minimum herabzudrücken. Aus den dargelegten Grün-

den ist es jedoch nicht möglich, unterhalb einer gewissen Grenze zu kommen. Die angegebenen Zahlen stellen Werte dar, in denen diese prinzipielle Grenze sowie unvermeidbare Schwankungen in einer Serienfertigung berücksichtigt sind.

Funktionsprüfung

Wie bereits erwähnt, erfolgt nach Entwurf DIN 3535 Blatt 3 eine Prüfung der Gummiringe auf Eignung für den Einbau in Gasleitungen, indem man eine Funktionsprüfung durchführt.

Dies geschieht als Typprüfung in der Weise, daß man den zu prüfenden Ring in eine Muffe einbaut und der Einwirkung eines Kohlenwasserstoffs aussetzt. Zu diesem Zweck wird nach Normentwurf die Muffenanordnung mit Toluol¹⁾ gefüllt, nachdem man ihre Enden verschlossen und eine Dichtheitsprüfung durchgeführt hat.

Dem Versuch liegt der Gedanke zugrunde, daß die stärkste Belastung im Hinblick auf Quellung in einer Gasleitung gegeben ist, wenn sich ein kohlenwasserstoffhaltiges Kondensat abscheidet. Unter den Kohlenwasserstoffen, die in einer Gasleitung auftreten können, wirken die sogenannten „aromatischen Kohlenwasserstoffe“, zu denen Benzol und Toluol gehören, am stärksten quellend auf Gummi ein. Man hat aus diesem Grunde im Normentwurf DIN 3535 Blatt 3 zunächst Toluol als Prüfflüssigkeit festgelegt¹⁾.

Wenn in der Funktionsprüfung eine Quellung des Gummiringes auftritt, dann beträgt sie nur einen kleinen Bruchteil der Quellung eines dünnen Probekörpers in der Prüfflüssigkeit. Dies ist darauf zurückzuführen, daß der Ring nur mit einem Teil seiner Oberfläche in Kontakt mit dem Quellungsmittel steht und daß seine Ausdehnungsmöglichkeit durch die Muffenkammer stark eingeschränkt ist. Darüber hinaus wirken bei einigen Dichtringkonstruktionen Schutzkappen und Vorsatzringe der Quellung entgegen.

Im Entwurf DIN 3535 Blatt 3 heißt es hierzu unter Punkt 2.4.7.:

„Für diese Muffenverbindungen²⁾ werden in der Regel Kombinationsdichtungen verwendet, die aus unterschiedlichen Gummimischungen aufgebaut sind. Im allgemeinen wird die Dichtfunktion von einer weichen Mischung, der Schutz gegen mechanische bzw. chemische Beanspruchung von den harten Mischungen übernommen. Teilweise werden auch spezielle Schutzkappen eingesetzt . . .“

Im Funktionstest ist die Einwirkungszeit der Prüfflüssigkeit auf den Ring auf 8 Wochen festgelegt. Nach Entleeren der Muffenanordnung wird während eines Zeitraumes von 14 Tagen durch Durchleiten von Luft der Gummiring regeneriert. Man prüft dann wieder die Dichtheit der Muffenverbindung. Anschließend

¹⁾ Im Hinblick auf die in der Bundesrepublik schon weit fortgeschrittene Umstellung auf Erdgas besteht die Absicht, anstelle des Toluols eine dem Erdgaskondensat in der Wirkung äquivalente Kohlenwasserstoffmischung als Prüfflüssigkeit festzulegen.

²⁾ Gemeint sind die für Gußrohre üblichen Schraubmuffen-, Stopfbuchsenmuffen- und Steckmuffen-Verbindungen.

wird der Ring ausgebaut, um ihn bis zur Gewichtskonstanz ganz austrocknen zu lassen.

Es wäre wünschenswert, den Ring in eingebautem Zustand austrocknen zu lassen. Versuche hierzu haben jedoch gezeigt, daß unter dieser Bedingung die Austrocknungsgeschwindigkeit sehr klein ist und daß daher der Austrocknungsvorgang viele Monate in Anspruch nehmen würde.

Eine eventuell aufgetretene Gewichtsabnahme des Ringes während der Funktionsprüfung darf einen Wert von 5 % nicht überschreiten. Diese Gewichtsabnahme ist auf die im Abschnitt Eigenschaften nach Quellung in Toluol und Rücktrocknung bereits erwähnte Herauslösung von niedermolekularen Bestandteilen aus dem Gummi zurückzuführen. Wegen der geringeren Quellung ist auch der Wert für die Gewichtsabnahme niedriger festgesetzt.

Nach abgeschlossener Rücktrocknung muß der Ring wieder in die Muffenanordnung eingebaut werden, und es ist festzustellen, ob die Verbindung dicht ist.

Schlußbemerkung

Seit Erscheinen der Entwürfe zu DIN 3535 Blatt 3 und DIN 28617 im September 1972 wurden einige Änderungsvorschläge zu den Normentwürfen gemacht. Diese Änderungen betreffen jedoch keine prinzipiellen Fragen und können im Rahmen einer Erläuterung, wie sie hier gegeben wurde, unberücksichtigt bleiben.

Mit dem Inkrafttreten der Normen DIN 3535 Blatt 3 und DIN 28617 (mit dem Erscheinen der Weißdrucke ist im Jahre 1974 zu rechnen) stehen dem Rohrnetzingenieur zum Einbau in Gas- und Wasser-Leitungen aus duktilem Gußeisen normgerechte und als solche gekennzeichnete Dichtringe zur Verfügung, deren Abmessungen aus den Normblättern für die einzelnen Muffenverbindungen ersichtlich sind.

Literatur

- [1] DIN 28600 (August 1968)
Druckrohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen für Gas- und Wasserleitungen; Technische Lieferbedingungen
- [2] DIN 28610 (August 1968)
Druckrohre aus duktilem Gußeisen mit Schraubmuffen, Stopfbuchsenmuffen und TYTON®-Muffen für Gas- und Wasserleitungen; Maße
- [3] DVGW-Arbeitsblatt G 461 (Januar 1972)
Richtlinien für den Bau von Gasleitungen mit einem Betriebsdruck von mehr als 1 bar (1 kp/cm²) bis 16 bar (16 kp/cm²) aus Druckrohren und Formstücken aus duktilem Gußeisen
- [4] Gummigedichtete Gußrohrverbindungen; Lieferbedingungen, Prüf- und Gütevorschriften für Naturgummidichtringe für die Schraubmuffen-, Stopfbuchsenmuffen- und TYTON-Verbindung; Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre (November 1965)
- [5] Gummigedichtete Gußrohrverbindungen; Lieferbedingungen, Prüf- und Gütevorschriften für Perbunan-Dichtringe für Schraubmuffen-, Stopfbuchsenmuffen- und TYTON-Verbindung; Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre (Oktober 1968)
- [6] DIN 28617 (Entwurf September 1972)
Druckrohre und Formstücke aus Gußeisen für Wasserleitungen; Dichtringe; Technische Lieferbedingungen

- [7] DIN 3535 Blatt 1 (Vornorm November 1970)
Dichtungen für die Gasversorgung; Dichtringe in Gasarmaturen für die Hausinstallation
- [8] DIN 3535 Blatt 2 (Vornorm Januar 1972)
Dichtungen für die Gasversorgung; Dichtungen in Gasverbrauchseinrichtungen
- [9] DIN 3535 Blatt 3 (Entwurf September 1972)
Dichtungen für die Gasversorgung; Dichtungen aus Kunststoff oder Gummi für Gasversorgungs- und Gasfernleitungen
- [10] DIN 3535 Blatt 4 (Vornorm April 1972)
Dichtungen für die Gasversorgung; Dichtungen aus It-Platten in Gasarmaturen, Gasverbrauchseinrichtungen und Gasleitungen
- [11] DIN 53504 (Mai 1969)
Prüfung von Elastomeren; Zugversuch
- [12] DIN 53505 (April 1967)
Prüfung von Gummi und Kautschuk; Härteprüfung nach Shore A, C und D
- [13] DIN 53508 (Mai 1960)
Prüfung von Gummi und Kautschuk; Künstliche Alterung von Weichgummi
- [14] DIN 53517 Blatt 1 (Januar 1972)
Prüfung von Elastomeren; Bestimmung des Druck-Verformungsrestes nach konstanter Verformung bei Raumtemperatur und höheren Temperaturen
- [15] DIN 53517 Blatt 2 (Januar 1972)
Prüfung von Elastomeren; Bestimmung des Druck-Verformungsrestes nach konstanter Verformung bei tiefen Temperaturen

Die strömungstechnische Berechnung von Leitungen aus duktilen Gußrohren für den Gastransport

Von ERWIN NIEDERSCHUH

1. Einleitung

In dem Gußrohrhandbuch „Duktile Gußrohre und Formstücke“, herausgegeben von der Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre, Köln (1969), wird u. a. auch die strömungstechnische Berechnung von Rohrleitungen behandelt und für duktile Gußrohre, deren Innendurchmesser bekanntlich größer als die Nennweite sind, Diagramme zur Bestimmung des Druckverlustes entwickelt. Im wesentlichen beschränken sich diese Darstellungen auf Wasserleitungen. Gasleitungen werden zwar auch behandelt, jedoch nur für die Fortleitung von Kokereigas. Die Verhältnisse bei Erdgas-transport werden nur kurz gestreift.

Da Diagramme, aus denen auch für Erdgas-transport der Druckverlust ermittelt werden kann, fehlen, die Verwendung von Erdgas jedoch immer mehr in den Vordergrund rückt, erscheint es angebracht, in einem besonderen Aufsatz die strömungstechnische Berechnung von Kokereigas- und Erdgasleitungen gemeinsam zu behandeln. Was die Festlegung der Daten für die Durchführung einer Druckverlustberechnung — Mengenfluß, Leitungslänge und Leitungsdurchmesser — und die Berechnung der Widerstände in Formstücken anbetrifft, sei auf das oben erwähnte Gußrohrhandbuch verwiesen. Das gleiche gilt auch für die ausführlichen Umformungen von Gleichungen bei der Aufstellung der Druckverlustformeln für die Anwendung in der Praxis.

In dem ersten Teil des vorliegenden Beitrages werden zunächst die Unterlagen für die Aufstellung der Druckverlustdiagramme in geraden Leitungen erarbeitet. Anschließend folgt eine allgemeingültige Betrachtung bei der Umstellung einer Gasleitung von Kokereigasbetrieb auf Erdgas-transport, deren Richtigkeit an einem Beispiel aus der ND-Gasversorgung gezeigt wird.

2. Ermittlung des Druckverlustes in geraden Leitungen

Der Druckabfall in geraden Leitungen wird neben den Werten für die Länge und den Durchmesser der Lei-

tung, der Wichte und Geschwindigkeit maßgebend durch die Rohrreibungszahl λ bestimmt, die eine dimensionslose Größe ist und die Einflüsse der inneren Wandbeschaffenheit des Rohres und des Strömungsvorganges berücksichtigt.

2.1 Rohrreibungszahl λ

Die Rohrreibungszahl λ hängt in dem bei Gasleitungen vorkommenden turbulenten Strömungsbereich ab

von der äußeren Reibung, also von der Reibung des strömenden Mediums an der Rohrwand,

von der inneren Reibung infolge der Zähigkeit des strömenden Mediums, die in der Reynoldszahl Re ihren Ausdruck findet.

Rohrreibungszahl für hydraulisch glatte Rohre

Ist die äußere Reibung gleich Null, dann ist die Rohrreibungszahl λ nur von der Reynoldszahl Re abhängig. Das gilt für hydraulisch glatte Rohre. Nach Prandtl-Kármán errechnet sich λ aus der Formel:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg \frac{Re \sqrt{\lambda}}{2,51}$$

Rohrreibungszahl für hydraulisch raue Rohre

Die Rohre sind niemals glatt, sondern weisen Rauigkeitserhebungen k auf. Das Verhältnis k/d stellt die relative Wandrauigkeit dar. Bei rauhen Rohren wird daher die Rohrreibungszahl von der Reynoldszahl Re und der relativen Wandrauigkeit abhängen. Sind große Mengen wie in der Ferngasversorgung in Rohren mit großen Wandrauigkeitserhebungen durchzuleiten, dann ist nach Untersuchungen von Nikuradse die Rohrreibungszahl nur noch von der relativen Wandrauigkeit abhängig. In diesem Falle spricht man von hydraulisch rauhem Verhalten des Rohres, für das

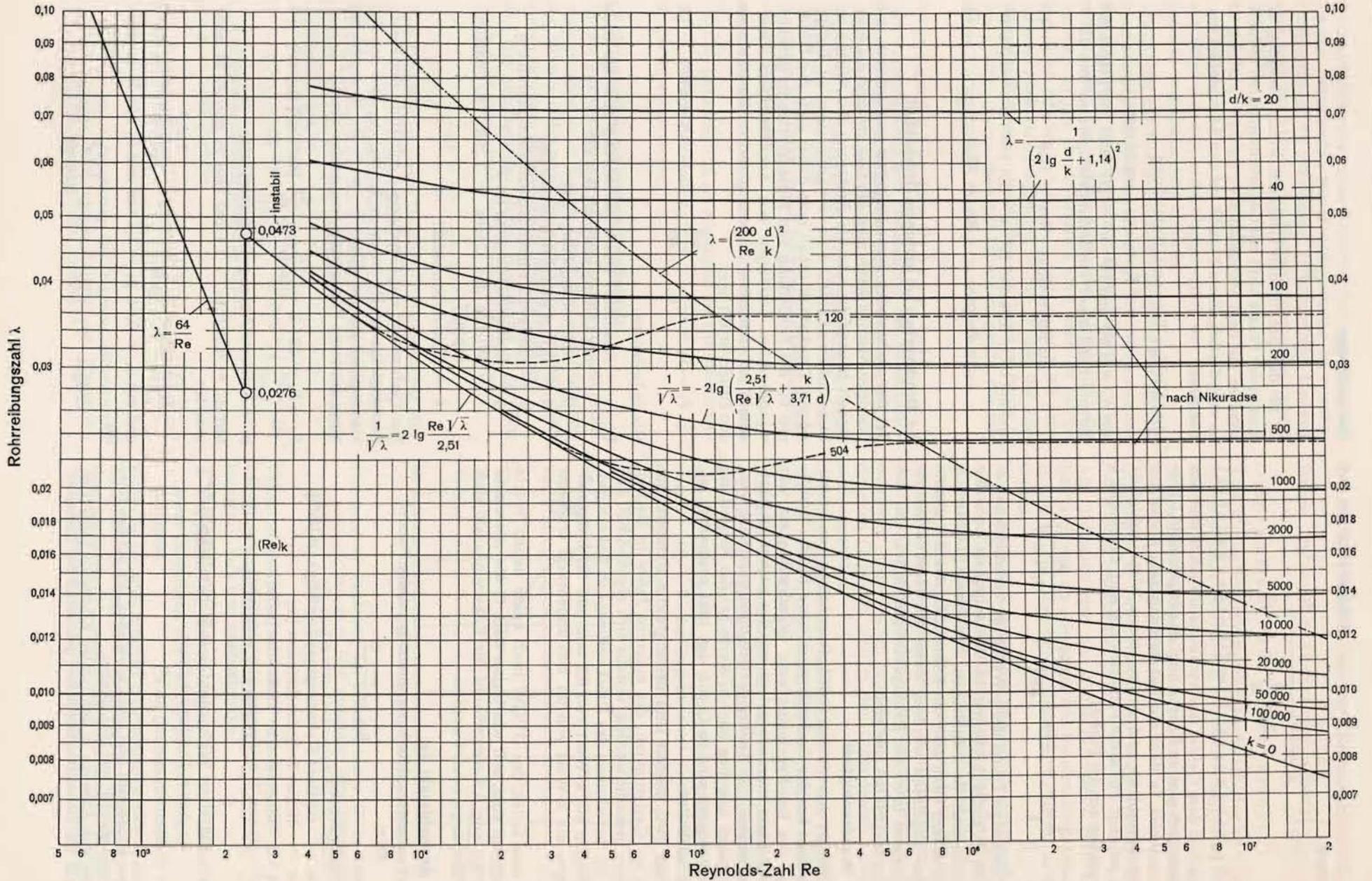


Diagramm I: Rohrreibungszahlen λ in Abhängigkeit von der Reynoldszahl Re und dem Parameter d/k

die Rohrreibungszahl λ ermittelt werden kann aus der Formel

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

Rohrreibungszahl im Übergangsbereich

Zwischen dem Gebiet des hydraulisch rauhen und des hydraulisch glatten Rohres liegt das sogenannte Übergangsbereich, in dem die Rohrreibungszahl λ von der Reynoldszahl Re und der relativen Wandrauhigkeit k/g abhängt. Für diese Fälle läßt sich nach Colebrook λ berechnen aus der Formel

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

In Diagramm I sind die λ -Werte für verschiedene relative Wandrauhigkeiten in Abhängigkeit von der Reynoldszahl Re aufgetragen. Aus dieser graphischen Darstellung kann also die Rohrreibungszahl λ unmittelbar abgelesen werden, wenn die relative Wandrauhigkeit bzw. die Rauigkeitserhebung k und die Reynoldszahl bekannt sind.

2.2 Wandrauhigkeit

Im DVGW-Arbeitsblatt G 464 „Berechnung von Druckverlusten bei der Gasfortleitung“ wird für die Ermittlung des Druckverlustes eine Wandrauhigkeit von $k = 0,5$ mm zugrunde gelegt, mit der nach mehrjährigem Betrieb von Kokereigasleitungen gerechnet werden kann. Angaben über k -Werte bei der Fortleitung von Erdgasen sind in G 464, das 1961 erschienen ist, nicht enthalten.

In der Zwischenzeit sind umfangreiche Untersuchungen an Gasleitungen, die mehrere Jahre in Betrieb waren, gemacht worden, woraus sich ergeben hat, daß für die Berechnung des Druckverlustes in Kokereigasleitungen ein k -Wert von 0,3 mm und für Erdgasleitungen ein k -Wert von 0,1 mm angebracht erscheint [1].

Da von seiten des DVGW noch keine neuen Werte festgelegt sind, soll wie bisher nach G 464 mit einem k -Wert von 0,5 mm sowohl für Kokereigas als auch für Erdgas gerechnet werden.

2.3 Reynoldszahl Re

Die Reynoldszahl Re berechnet sich aus der Formel

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu}$$

Hierin bedeuten:

w = mittlere Strömungsgeschwindigkeit [m/s]

d = lichter Rohrdurchmesser [m]

ν = kinematische Viskosität [m²/s]

$\nu = \frac{\eta}{\rho} = \frac{\text{dynamische Viskosität}}{\text{Dichte}} \quad \rho = \frac{\gamma_n \cdot g}{g}$

$\gamma_n = 1,293 \cdot d_v =$ Wichte des Gases [daN/m³] (kp/m³)**)

$d_v =$ Dichteverhältnis

$g =$ Erdbeschleunigung [m/s²]

*) Die Größen mit dem Index n beziehen sich auf den Normalzustand 0° und 1013,25 mbar.

***) Bei den Angaben in den runden Klammern handelt es sich um Einheitszeichen bisher gebräuchlicher Einheiten.

Die Gleichung

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu}$$

ist für den praktischen Gebrauch wenig geeignet, da man in der Praxis nicht mit Geschwindigkeiten rechnet, sondern mit dem Mengenfluß V_n [m³/h] (V_n m³/h), ist es erforderlich, diese Formel auf den Mengenfluß umzuformen.

Mit Hilfe der Kontinuitätsgleichung

$$F \cdot w \cdot \gamma = F \cdot w_n \cdot \gamma_n \quad \text{ergibt sich}$$

mit $d_v = 0,387$ und $10^6 \cdot \eta = 1,31$ [daN s/m²] (kp s/m²) entsprechend einer Fortleitungstemperatur von 12° C

$$\text{für Kokereigas} \quad Re_k = 13,8 \cdot \frac{V_n}{d} \quad (1)$$

und mit $d_v = 0,64$ und $10^6 \cdot \eta = 1,1$ [daN s/m²] (kp s/m²)

$$\text{für Erdgas} \quad Re_e = 27,2 \cdot \frac{V_n}{d} \quad (2)$$

2.4 Druckverlust bei geringem Druckabfall

Bei der strömenden Bewegung von gasförmigen und flüssigen Medien kann man ein Gas solange als Flüssigkeit behandeln, wie die Änderung der Wichte infolge des Druckabfalles zu vernachlässigen ist. Bei geringem Druckabfall erhält man daher nach den Gesetzen für die Fortleitung von Flüssigkeiten in geraden, waagerechten Leitungen mit kreisförmigem Querschnitt bei stationärer Strömung auch in Gasleitungen den Druckverlust aus:

$$P_1 - P_2 = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g} \cdot \gamma \quad [\text{daN/m}^2] \quad (\text{kp/m}^2) \quad (3)$$

Hierin bedeuten:

P_1, P_2 = Absoluter Druck am Anfang bzw. am Ende der Leitung [daN/m²] (kp/m²)

l = Rohrleitungslänge [m]

d = lichter Rohrdurchmesser [m]

w = mittlere Strömungsgeschwindigkeit [m/s]

g = Erdbeschleunigung [m/s²]

γ = Wichte des Gases = $1,293 \cdot d_v$ [daN/m³] (kp/m³)

λ = Rohrreibungszahl

Die Umformung der Gleichung 3 mit Hilfe der Kontinuitätsgleichung $F \cdot w \cdot \gamma = F \cdot w_n \cdot \gamma_n$ und der Zustandsgleichung der Gase $P \cdot \nu = R \cdot T$ ergibt bei einer mittleren Fortleitungstemperatur von 12° C

$$P_1 - P_2 = 89 \cdot \lambda \cdot \frac{1 V_n^2}{(100d)^5} \cdot \frac{d_v}{p_1} \quad [\text{daN/m}^2] \quad (\text{kp/m}^2) \quad (4)$$

p_1 = mittlerer Anfangsdruck [bar] (ata)

Mit $d_v = 0,387$, $p_1 = 1,1$ bar und P_1 und P_2 in mbar wird für

$$\text{Kokereigas} \quad P_1 - P_2 = 3,13 \lambda \cdot \frac{1 V_n^2}{(100d)^5} \quad [\text{mbar}] \quad (5)$$

und mit $d_v = 0,64$, $p_1 = 1,1$ bar und P_1 und P_2 in mbar für

$$\text{Erdgas} \quad P_1 - P_2 = 5,2 \lambda \cdot \frac{1 V_n^2}{(100d)^5} \quad [\text{mbar}] \quad (6)$$

Grundsätzlich sind diese Formeln fast ausschließlich für die Bestimmung des Druckverlustes in Niederdruckleitungen zu verwenden, in begrenztem Umfang aber auch für Mittel- und Hochdruckleitungen, wenn die Größe

$$\frac{P_1 - P_2}{2 P_1}$$

den Wert von 5% nicht überschreitet, der Druckverlust also verhältnismäßig klein ist.

Sowohl bei der Niederdruck- als auch bei der Mitteldruckversorgung ist die Höhenlage der zu versorgenden Abnehmer gegenüber der Einspeisestelle zu berücksichtigen. Die rechten Seiten der Formeln für die Berechnung des Druckverlustes sind dann zu erweitern durch den Wert $\pm h \cdot (\gamma_1 - \gamma_L)$, worin h die geodätische Förderhöhe bedeutet, γ_L die Wichte der umgebenden Luft und γ_1 die Wichte des Gases im Punkt 1. Das positive Vorzeichen gilt für aufsteigende, das negative Vorzeichen gilt für absteigende Leitungen.

Diagramme für den Druckabfall

Zur Vereinfachung der Bestimmung des Druckverlustes bei raumbeständiger Fortleitung wurden die Diagramme II und III entwickelt*).

Diagramm II: Druckverlust bei raumbeständiger Fortleitung von Kokereigas

Diagramm III: Druckverlust bei raumbeständiger Fortleitung von Erdgas

Als Ordinaten sind in den Diagrammen die Werte $\frac{P_1 - P_2}{l}$ [mbar/m] und als Abszissen die Durchleitungsmengen

V_n [m³/h] aufgetragen.

2.5 Druckverlust bei großem Druckabfall

Bei der Fortleitung von großen Gasmengen auf große Entfernungen unter hohem Druck darf die Änderung der Wichte nicht mehr vernachlässigt werden. Man spricht dann von raumveränderlicher Fortleitung.

Aus der allgemeinen Formel (Gleichung 3) für den Druckabfall erhält man die Differentialgleichung

$$-dP = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{1}{2g} \cdot w^2 \cdot \gamma \cdot dl$$

Nach Umformung dieser Differentialgleichung mit Hilfe der Kontinuitätsgleichung $F \cdot w \cdot \gamma = F \cdot w_n \cdot \gamma_n$ und der Zustandsgleichung der Gase $P \cdot v = R \cdot T$ führt die Integration bei konstanter Fortleitungstemperatur, die sich aus der Energiebilanz der Strömung nachweisen läßt, zu

$$P_1^2 - P_2^2 = 17,85 \cdot \lambda \cdot \frac{L V_n^2}{(100d)^5} \cdot d_v [\text{bar}^2] \left(\frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} \right)^2 \quad (7)$$

L ist in km einzusetzen, P_1 und P_2 in bar

Mit $d_v = 0,387$ wird für

$$\text{Kokereigas } P_1^2 - P_2^2 = 6,9 \cdot \lambda \cdot \frac{L V_n^2}{(100d)^5} [\text{bar}^2] \left(\frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} \right)^2 \quad (8)$$

*) Die für die Aufzeichnung der Kurven erforderlichen Werte wurden nach obigen Formeln im Rheinstahl-Rechenzentrum, Gelsenkirchen, ermittelt.

und mit $d_v = 0,64$ für

$$\text{Erdgas } P_1^2 - P_2^2 = 11,45 \cdot \lambda \cdot \frac{L V_n^2}{(100d)^5} [\text{bar}^2] \left(\frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} \right)^2 \quad (9)$$

Diagramme für den Druckverlust

Auch für die Bestimmung des Druckverlustes bei raumveränderlicher Fortleitung wurden 2 Diagramme entwickelt*).

Diagramm IV: Druckverlust bei raumveränderlicher Fortleitung von Kokereigas

Diagramm V: Druckverlust bei raumveränderlicher Fortleitung von Erdgas

Als Ordinaten sind die Werte $(P_1^2 - P_2^2)/L$ [bar²/km] (atm²/km) und als Abszissen wie bei den Diagrammen II und III die Durchleitungsmengen V_n [m³/h] aufgetragen.

In den Diagrammen II bis V, die nur für duktile Gußrohre gelten und eine schnelle und einfache Bestimmung des Druckverlustes ermöglichen, sind die Durchmesser mit der NW-Angabe gekennzeichnet. Bekanntlich sind die Innendurchmesser d_i (Lichtweiten) der duktilen Gußrohre größer als die Nennweiten. Die den einzelnen Nennweiten zugehörigen Lichtweiten der duktilen Gußrohre sind in den Diagrammen tabellarisch angegeben.

Aus den umgeformten Gleichungen für den Druckverlust (Gl. 4 bis 9) ergibt sich, daß bei gleichem Mengenfluß der Druckverlust $P_1 - P_2$ bzw. $P_1^2 - P_2^2$ den 5ten Potenzen der Durchmesser umgekehrt proportional sind. Das bedeutet, daß bei Rohren mit Innendurchmessern, die kleiner sind als die der duktilen Gußrohre gleicher Nennweite, der Druckverlust größer ist. Um wieviel sich z. B. der Druckverlust erhöht, kann aus dem Diagramm VI entnommen werden. Mit diesen

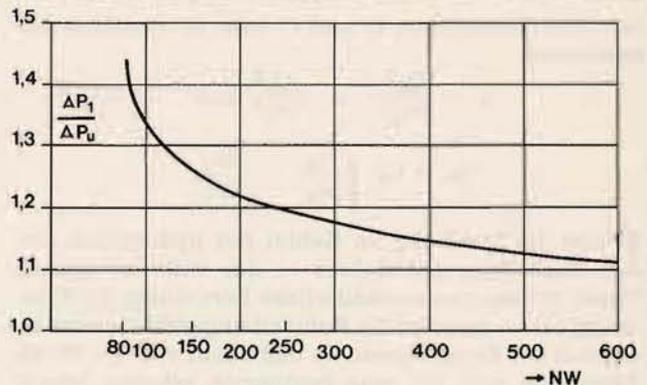


Diagramm VI: Erhöhung des Druckverlustes ΔP_1 in Rohren mit $d_i = NW$ gegenüber dem Druckverlust ΔP_u in duktilen Gußrohren mit $d_i > NW$ bei gleichem Mengenfluß

Faktoren sind also bei Rohren mit $d_i = NW$ die aus den Diagrammen II bis V abgelesenen Werte $(P_1 - P_2)/l$ bzw. $(P_1^2 - P_2^2)/L$ zu multiplizieren.

3. Vergleichende Betrachtungen bei der Umstellung einer Gasleitung von Kokereigas- auf Erdgas-transport

Kokereigase und Erdgase unterscheiden sich in ihrer Zusammensetzung und damit in der Wichte γ_n und dem Brennwert H_0 wesentlich voneinander. Bei einer vergleichenden Betrachtung über die Transportver-

hältnisse beider Gase ist es daher notwendig, den Brennwert H_0 mit einzubeziehen, d. h. die Druckverlustformeln auf den Wärmetransport $Q = V_n \cdot H_0$ auszurichten. Zieht man ferner aus den Konstanten in den Gleichungen 5 und 6 die jeweils eingesetzten Werte für die Wichte heraus und ersetzt sie durch $1,293 \cdot d_v$, dann gehen die Gleichungen 5 und 6 für raumbeständige Fortleitung in folgende Gleichung über

$$P_1 - P_2 = 8,1 \cdot \lambda \cdot \frac{1}{(100d)^5} \cdot \frac{Q^2}{H_0^2} \cdot d_v$$

Führt man noch die Wobbezahl $W = H_0/\sqrt{d_v}$ ein, dann erhält man mit $d_v = H_0^2/W^2$

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 8,1 \cdot \lambda \cdot \frac{1}{(100d)^5} \cdot \frac{Q^2}{W^2} \quad (10)$$

Für die raumveränderliche Fortleitung ergibt sich entsprechend aus der Gleichung 7

$$p_1^2 - p_2^2 = 17,85 \lambda \cdot \frac{L}{(100d)^5} \cdot \frac{Q^2}{W^2} \quad (11)$$

In den weiteren Rechnungen beziehen sich die Größen mit dem Index k auf Kokereigas und mit dem Index e auf Erdgas. Außerdem soll für den Brennwert H_0 des Gases das bisher gebräuchliche Einheitszeichen kcal/m_n^3 Anwendung finden, zumal es sich um Verhältnisrechnungen handelt.

Bei der Umstellung einer Gasleitung von Kokereigas auf Erdgastransport soll hier zu folgenden Fragen Stellung genommen werden:

- Wie ändert sich der Wärmetransport Q bei gleichem Druckverlust und gleichem Anfangsdruck?
- Wie ändert sich der Druckverlust bei gleichem Wärmetransport und gleichem Anfangsdruck?

Zu a)

Aus den Gleichungen 10 und 11 folgt bei gleichem Anfangsdruck

$$\lambda_k = \frac{Q_k^2}{W_k^2} = \lambda_e \cdot \frac{Q_e^2}{W_e^2} \quad \text{und}$$

$$Q_e = Q_k \sqrt{\frac{\lambda_k}{\lambda_e}} \cdot \frac{W_e}{W_k}$$

Erfolgt die Strömung im Gebiet des hydraulisch rauhen Verhaltens des Rohres — das trifft im wesentlichen für die raumveränderliche Fortleitung zu (Gleichung 11) — dann ist die Rohrreibungszahl λ unabhängig von der Reynoldszahl Re und damit von der Durchflußmenge und für eine bestimmte relative Wandrauhigkeit konstant. λ_k und λ_e sind also gleich groß. Damit ergibt sich bei gleichem Druckverlust und gleichem Anfangsdruck

$$Q_e = Q_k \cdot \frac{W_e}{W_k}$$

Für die zahlenmäßige Auswertung wurden zugrunde gelegt:

für Kokereigas $d_v = 0,39$; $H_0 = 4\,700 \text{ kcal}/\text{m}_n^3$
für Erdgas $d_v = 0,64$; $H_0 = 8\,400 \text{ kcal}/\text{m}_n^3$
dann wird $W_k = 7\,520$ und $W_e = 10\,500$ und

$$Q_e = Q_k \cdot \frac{10\,500}{7\,520} \cong 1,40 Q_k$$

Zu prüfen bleibt noch, ob auch bei raumbeständiger Fortleitung im Übergangsgebiet, also im Gebiet zwi-

schen dem glatten und rauhen Verhalten des Rohres $\lambda_k = \lambda_e$ gesetzt werden kann, bzw. wie groß der Fehler ist, wenn man die Änderung unberücksichtigt läßt, und in welcher Richtung sich der Fehler auswirkt.

Im Übergangsgebiet wird die Rohrreibungszahl λ mit zunehmender Reynoldszahl Re kleiner, gleiche relative Wandrauhigkeit vorausgesetzt (Diagramm I).

Die Reynoldszahl ist direkt proportional dem Mengenfluß V_n (Gleichung 1 und 2). Mithin nimmt die Rohrreibungszahl mit wachsendem Mengenfluß ab und umgekehrt. Zu beachten ist aber, daß bei gleichem Mengenfluß und gleichem Durchmesser die Reynoldszahl bei Erdgasförderung größer ist als bei Kokereigas-transport.

$$\text{Aus } Q_e = 1,4 \cdot Q_k \sqrt{\frac{\lambda_k}{\lambda_e}} \text{ folgt}$$

mit $Q_e = V_{ne} \cdot 8\,400$ und $Q_k = V_{nk} \cdot 4\,700$

$$V_{ne} = 1,4 \cdot \frac{4\,700}{8\,400} \cdot V_{nk} \cdot \sqrt{\frac{\lambda_k}{\lambda_e}}$$

Nach Gleichung 1 wird für Kokereigas

$$Re_k = 13,8 \frac{V_{nk}}{d} \quad \text{und}$$

nach Gleichung 2 für Erdgas

$$Re_e = 27,2 \frac{V_{ne}}{d}$$

Mit $V_{ne} = 0,784 \sqrt{\frac{\lambda_k}{\lambda_e}} \cdot V_{nk}$ ergibt sich

$$\frac{Re_e}{Re_k} = \frac{27,2 \cdot 0,784}{13,8} \sqrt{\frac{\lambda_k}{\lambda_e}}$$

$$\frac{Re_e}{Re_k} = 1,545 \sqrt{\frac{\lambda_k}{\lambda_e}}$$

Obwohl bei Erdgasförderung Re_e um $\sim 55\%$ größer ist als Re_k , wird λ_e , wie aus Diagramm I zu entnehmen ist, nur geringfügig kleiner als λ_k .

Aus $\lambda_e < \lambda_k$ folgt $Q_e > 1,4 Q_k$

Da aber λ_k und λ_e mit dem Verhältnis der Wurzelwerte in die Rechnung eingehen, beträgt der Fehler, wenn $\lambda_k = \lambda_e$ gesetzt wird, bei großem Mengendurchsatz etwa 1% und steigt mit abnehmender Fördermenge. Für die vorstehende Betrachtung der Transportverhältnisse kann mit hinreichender Genauigkeit daher auch im Übergangsgebiet $\lambda_k = \lambda_e$ gesetzt werden.

Bei gleichem Druckverlust und gleichem Anfangsdruck ist bei Erdgasförderung der Wärmetransport also 40% größer als bei Kokereigasförderung.

Zu b)

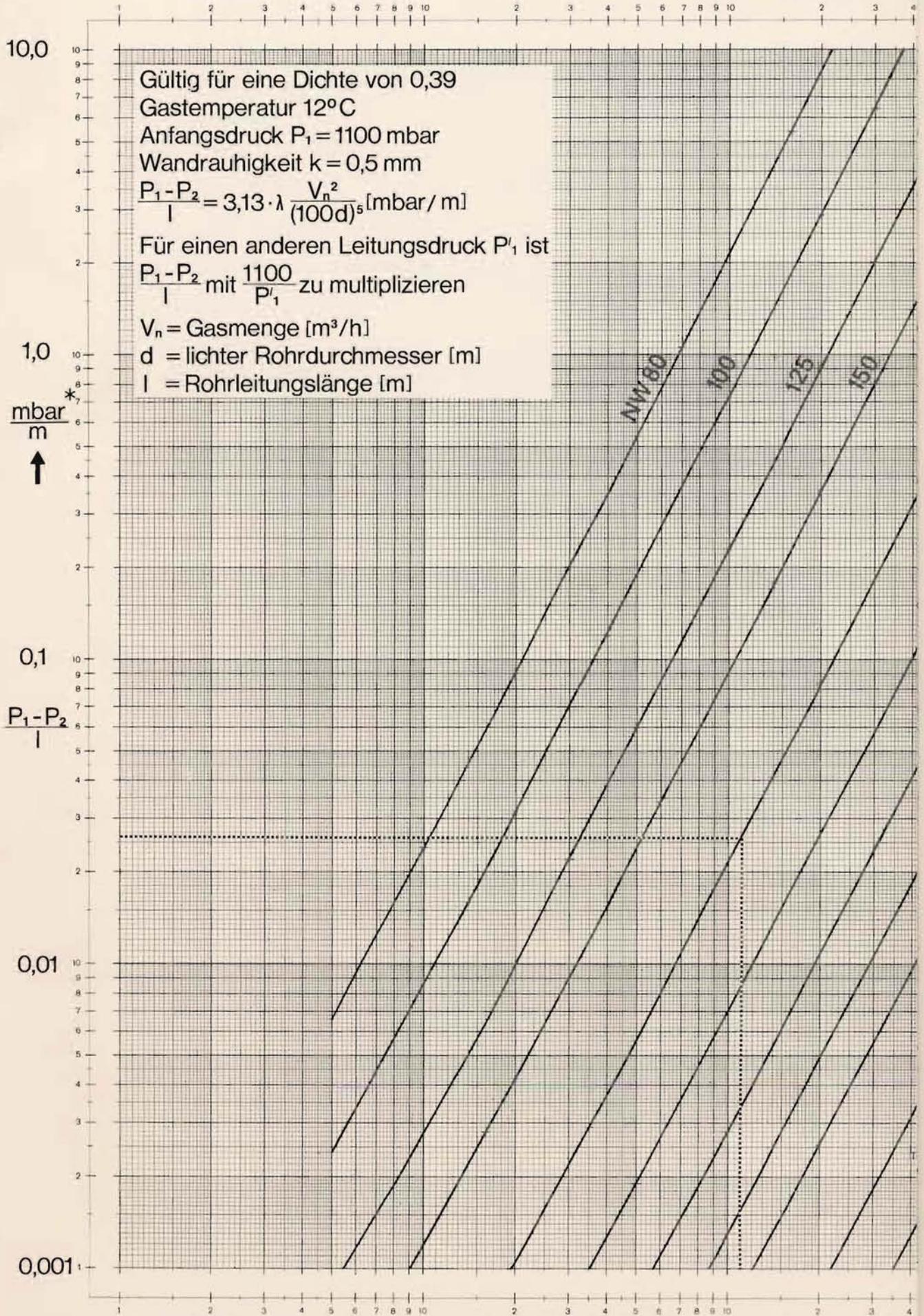
Aus Gleichung 10

$$\Delta P = 8,1 \cdot \lambda \cdot \frac{1}{(100d)^5} \cdot \frac{Q^2}{W^2}$$

folgt bei gleichem Wärmetransport und gleichem Anfangsdruck

$$\frac{\Delta P_e}{\Delta P_k} = \frac{\lambda_e}{\lambda_k} \cdot \frac{W_k^2}{W_e^2}$$

Druckverlust bei raumbeständ
mit den Lichtweiten



Gültig für eine Dichte von 0,39
 Gastemperatur 12°C
 Anfangsdruck $P_1 = 1100$ mbar
 Wandrauhigkeit $k = 0,5$ mm

$$\frac{P_1 - P_2}{l} = 3,13 \cdot \lambda \frac{V_n^2}{(100d)^5} [\text{mbar/m}]$$

Für einen anderen Leitungsdruck P'_1 ist
 $\frac{P_1 - P_2}{l}$ mit $\frac{1100}{P'_1}$ zu multiplizieren

$V_n =$ Gasmenge [m^3/h]
 $d =$ lichter Rohrdurchmesser [m]
 $l =$ Rohrleitungslänge [m]

1,0
 mbar
 m
 ↑

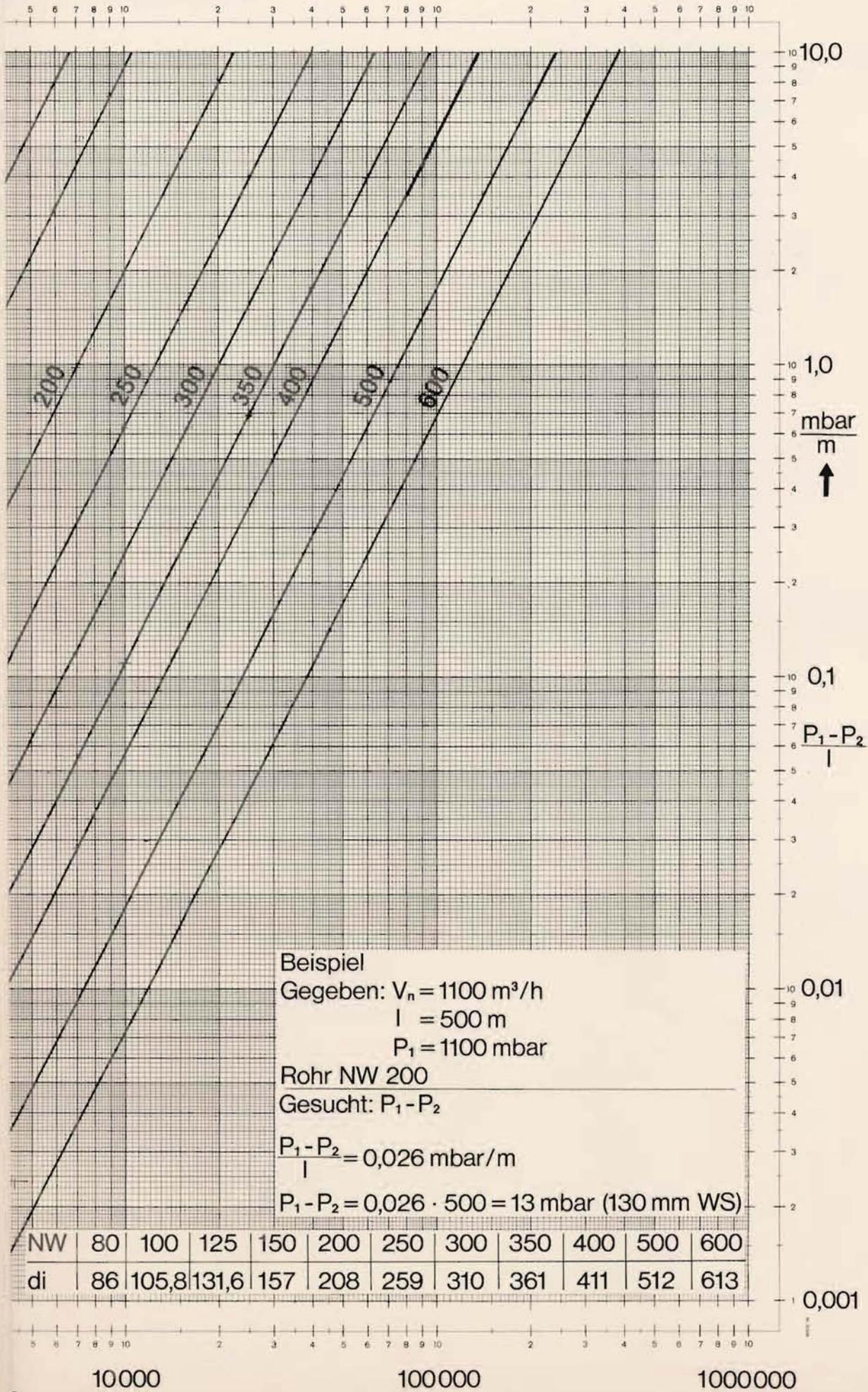
0,1
 $\frac{P_1 - P_2}{l}$

*) 10
 1 mbar = 10 mm WS

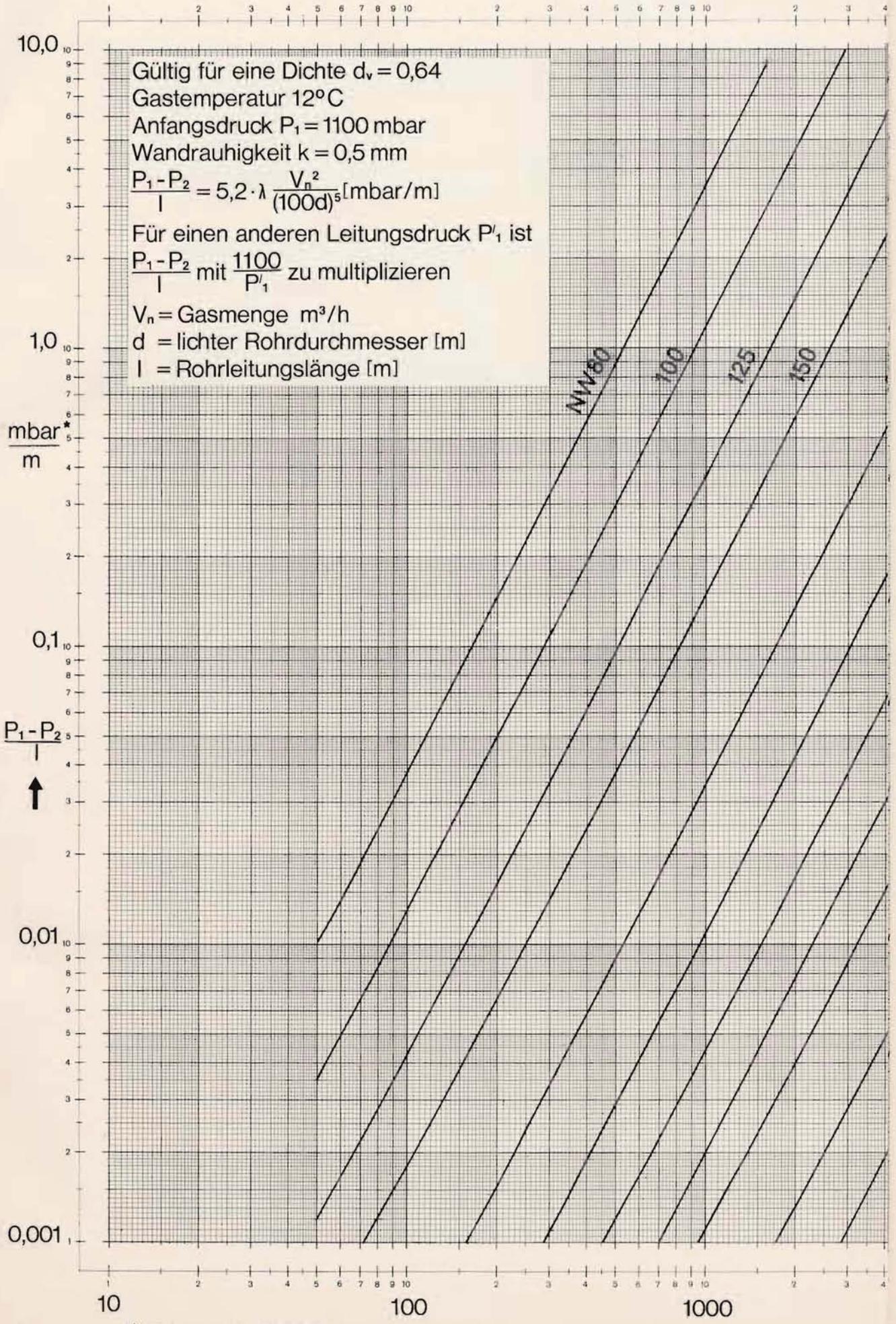
→ V_n m^3/l

ramm II

Jiger Fortleitung von Kokereigas
der duktilen Gußrohre

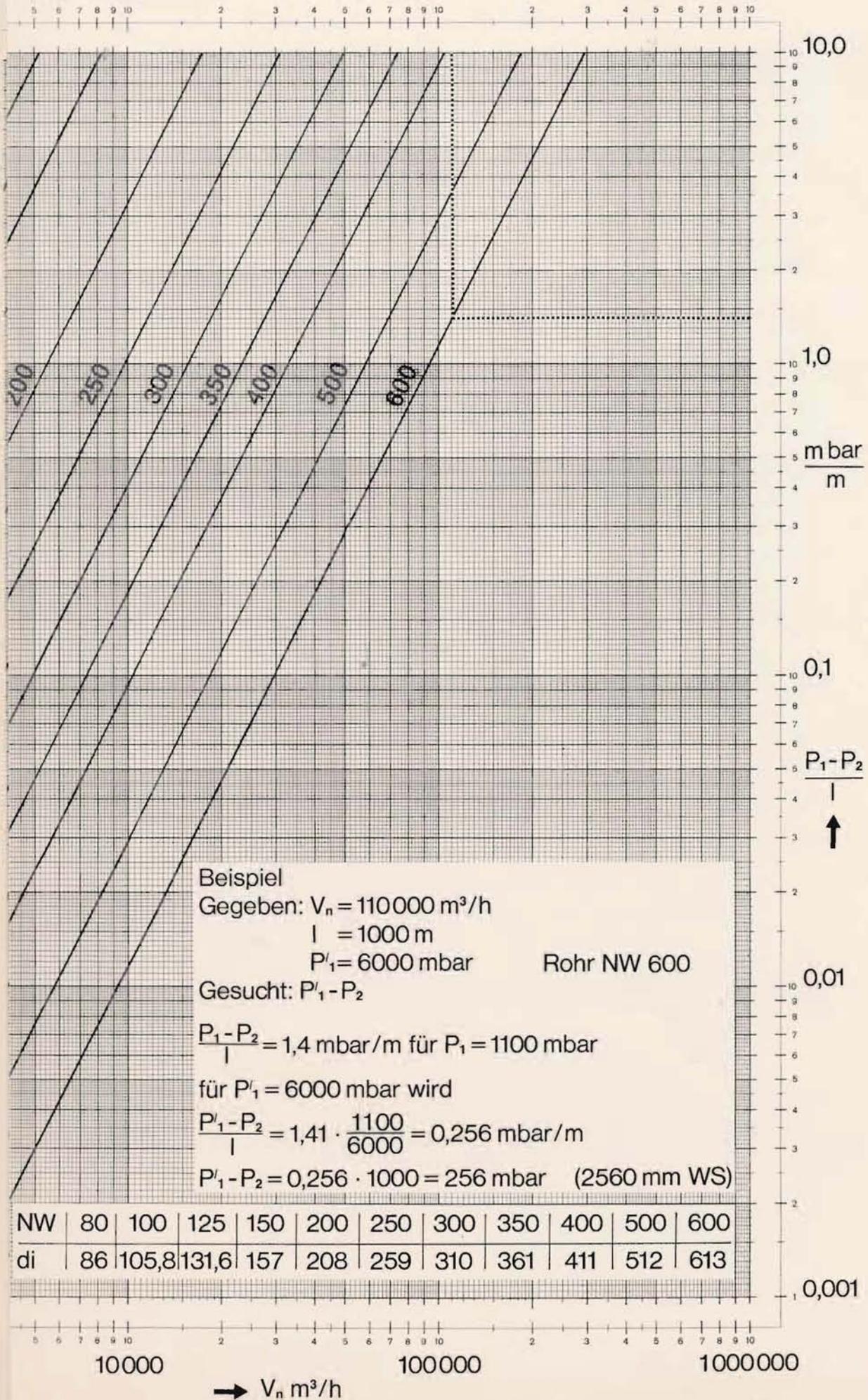


Druckverlust bei raumbeständig mit den Lichtweiten der

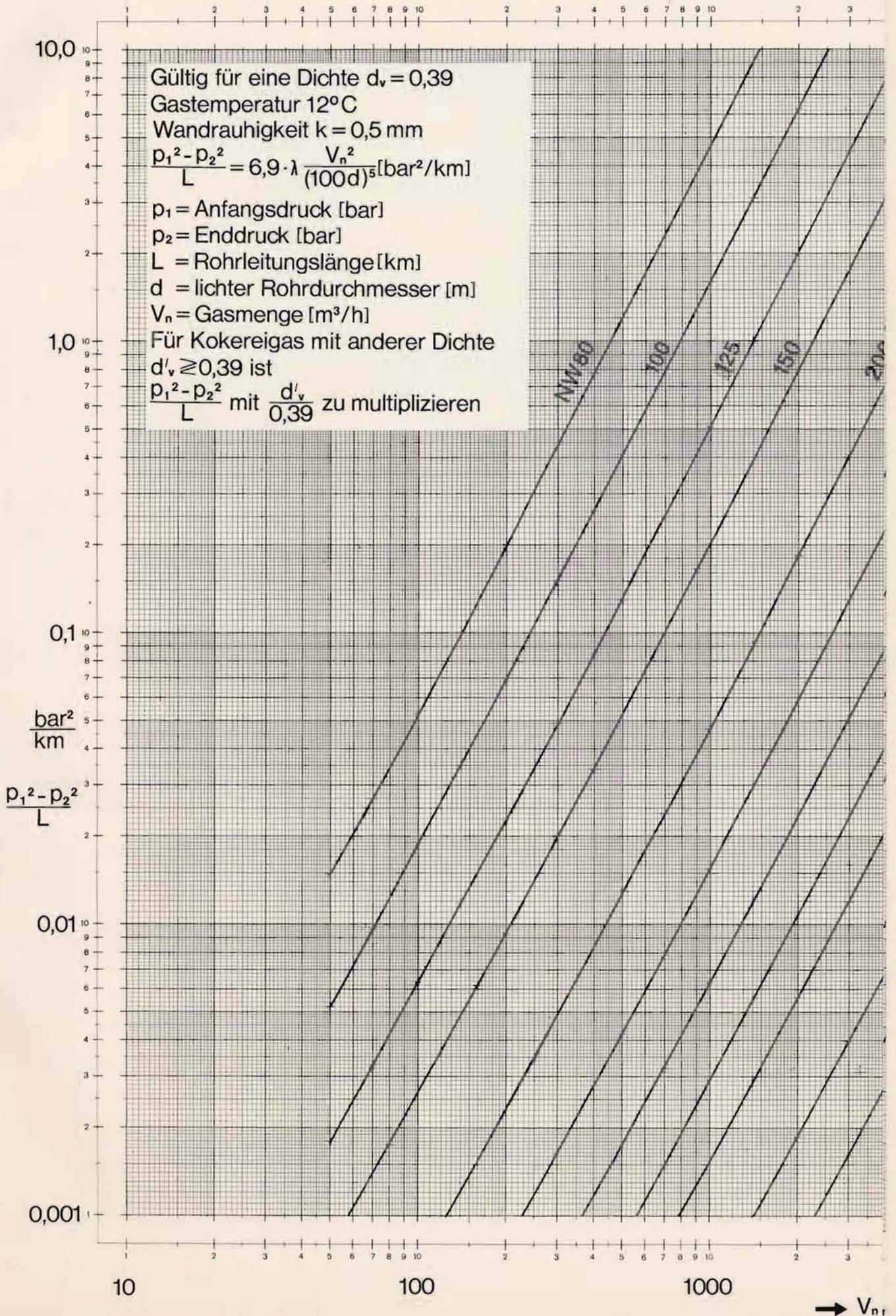


*) 1 mbar = 10 mm WS

der Fortleitung von Erdgas
duktilen Gußrohre

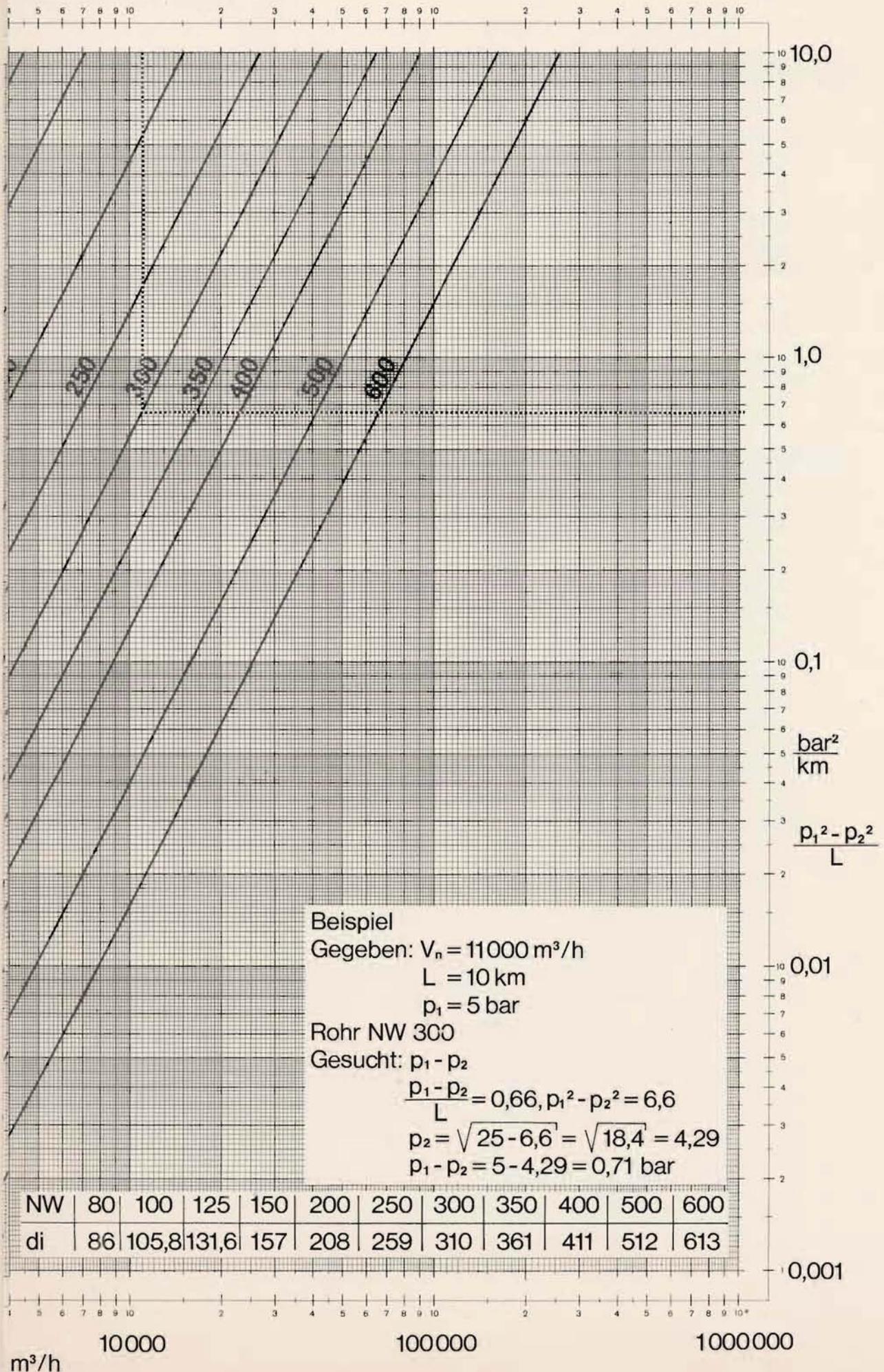


Druckverlust bei raumveränderliche
mit den Lichtweiten der



IV

Fortleitung von Kokereigas
in duktilen Gußrohre



Beispiel

Gegeben: $V_n = 11000 \text{ m}^3/\text{h}$

$L = 10 \text{ km}$

$p_1 = 5 \text{ bar}$

Rohr NW 300

Gesucht: $p_1 - p_2$

$$\frac{p_1 - p_2}{L} = 0,66, p_1^2 - p_2^2 = 6,6$$

$$p_2 = \sqrt{25 - 6,6} = \sqrt{18,4} = 4,29$$

$$p_1 - p_2 = 5 - 4,29 = 0,71 \text{ bar}$$

NW	80	100	125	150	200	250	300	350	400	500	600
di	86	105,8	131,6	157	208	259	310	361	411	512	613

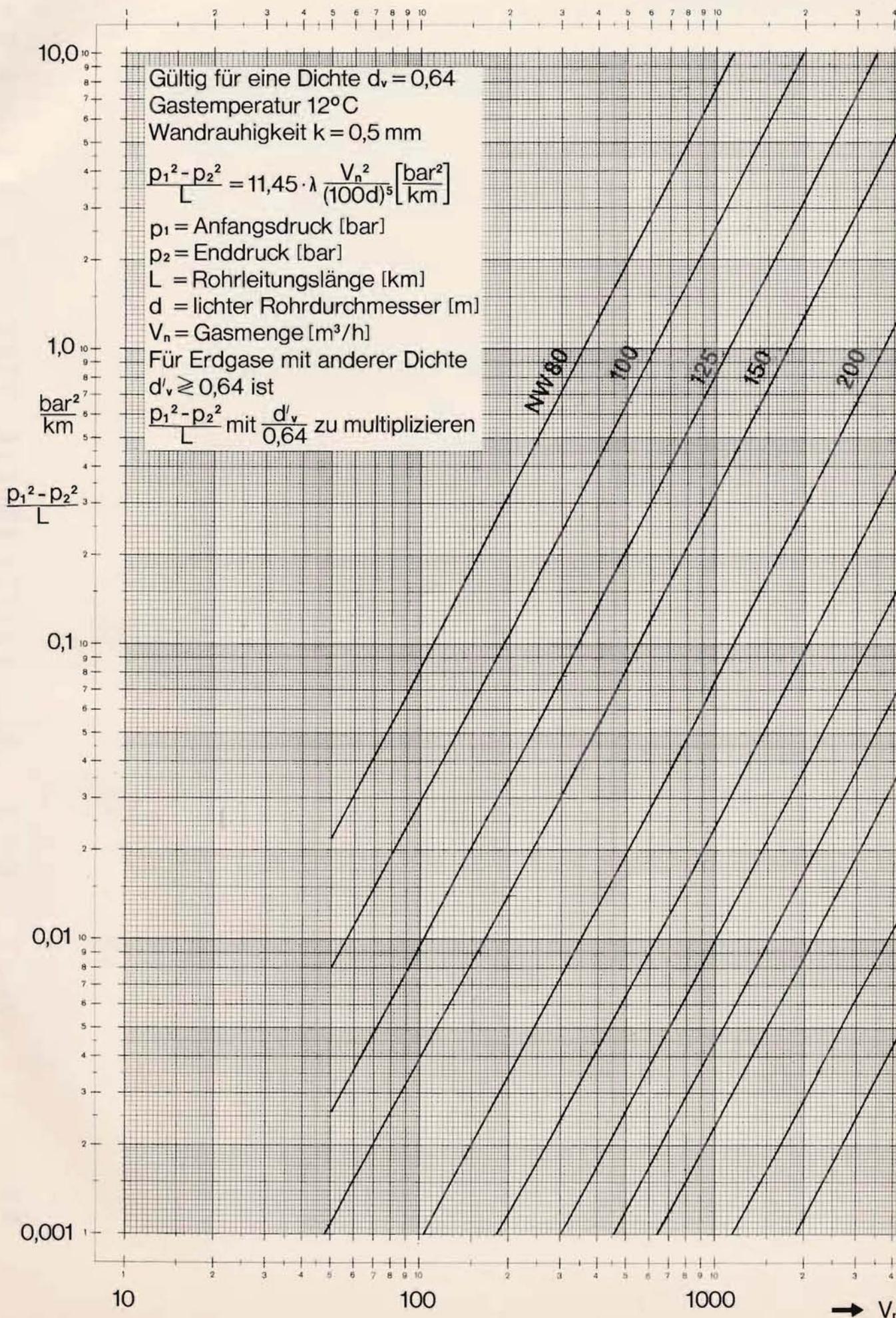
m^3/h

10000

100000

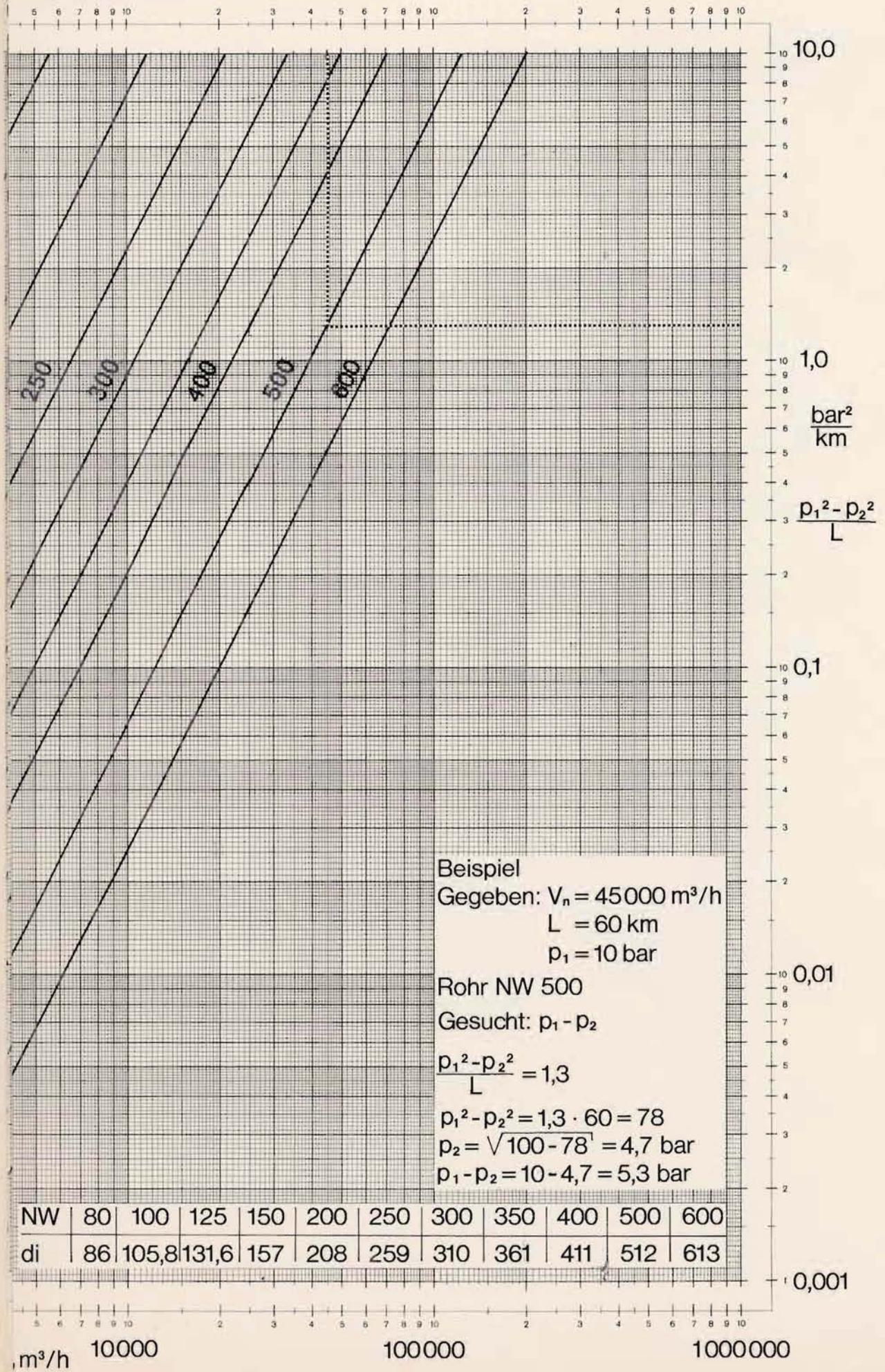
1000000

Druckverlust bei raumveränderlich mit den Lichtweiten der



n V

her Fortleitung von Erdgas
duktilen Gußrohre



Beispiel
Gegeben: $V_n = 45000 \text{ m}^3/h$
 $L = 60 \text{ km}$
 $p_1 = 10 \text{ bar}$

Rohr NW 500
Gesucht: $p_1 - p_2$

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{L} = 1,3$$

$$p_1^2 - p_2^2 = 1,3 \cdot 60 = 78$$

$$p_2 = \sqrt{100 - 78} = 4,7 \text{ bar}$$

$$p_1 - p_2 = 10 - 4,7 = 5,3 \text{ bar}$$

NW	80	100	125	150	200	250	300	350	400	500	600
di	86	105,8	131,6	157	208	259	310	361	411	512	613

Mit $W_k = 7\,520$ und $W_e = 10\,500$ wird, $\lambda_k = \lambda_e$ gesetzt, $\Delta P_e = \Delta P_k \cdot 0,51$

Das zu fördernde Erdgasvolumen V_{ne} ergibt sich aus

$$V_{ne} = \frac{V_{nk} \cdot H_{ok}}{H_{oe}} = \frac{4\,700}{8\,400} \quad V_{nk} = 0,56 V_{nk}$$

Mit $V_{ne} = 0,56 V_{nk}$ wird

$$Re_e = 27,2 \frac{0,56 \cdot V_{nk}}{d} = 15,2 \frac{V_{nk}}{d}$$

$$Re_k = 13,8 \cdot \frac{V_{nk}}{d} \quad \text{und}$$

$$\frac{Re_e}{Re_k} = 1,1$$

Re_e ist also nur 10% größer als Re_k . Aus Diagramm I erkennt man, daß eine 10%ige Änderung von Re nur eine geringfügige Änderung von λ zur Folge hat, so daß auch hier $\lambda_k = \lambda_e$ gesetzt werden kann.

Bei gleichem Wärmetransport und raumbeständiger Fortleitung beträgt also der Druckverlust bei der Fortleitung von Erdgas bei gleichem Anfangsdruck nur ca. 50% von dem bei Kokereigas und das zu fördernde Erdgasvolumen nur 56% von dem Kokereigasvolumen.

Im folgenden soll untersucht werden, ob auch bei raumveränderlicher Fortleitung von Erdgas mit einer Verkleinerung des Druckverlustes um ca. 50% gerechnet werden kann bzw. ob sich wesentliche Unterschiede ergeben.

Für raumveränderliche Fortleitung wird mit Gleichung 11 entsprechend bei gleichem Wärmetransport $\lambda_k = \lambda_e$

$$p_{e1}^2 - p_{e2}^2 = 0,51 (p_{k1}^2 - p_{k2}^2) \quad (12)$$

Bei gleichem Anfangsdruck $p_{k1} = p_{e1}$ ergibt sich

$$p_{e2} = \sqrt{p_{k1}^2 - 0,51 (p_{k1}^2 - p_{k2}^2)}$$

und der Druckverlust bei Erdgasförderung

$$p_{k1} - p_{e2} = \Delta p_e = p_{k1} - \sqrt{p_{k1}^2 - 0,51 (p_{k1}^2 - p_{k2}^2)}$$

Mit $p_{k1} - p_{k2} = \Delta p_k$ stellt

$$1 - \frac{\Delta p_e}{\Delta p_k}$$

die Verminderung des Druckverlustes bei Erdgasförderung gegenüber Kokereigastransport dar. Es ist

$$\frac{\Delta p_e}{\Delta p_k} = \frac{p_{k1} - \sqrt{p_{k1}^2 - 0,51 (p_{k1}^2 - p_{k2}^2)}}{p_{k1} - p_{k2}}$$

Kürzt man die rechte Seite der Gleichung durch

$$p_{k2}, \text{ dann wird mit } \frac{p_{k1}}{p_{k2}} = K$$

$$\frac{\Delta p_e}{\Delta p_k} = \frac{K - \sqrt{K^2 - 0,51 (K^2 - 1)}}{K - 1}$$

Die Verringerung des Druckverlustes bei Erdgastransport ist also ausschließlich von dem Druckver-

hältnis K abhängig. Für einige Druckverhältnisse K sind in der folgenden Tabelle die Werte für die Verringerung des Druckverlustes $1 - \frac{\Delta p_e}{\Delta p_k}$ zusammengestellt.

$K = \frac{p_{k1}}{p_{k2}}$	2	4	6	8	10
$1 - \frac{\Delta p_e}{\Delta p_k}$	0,57	0,63	0,65	0,66	0,67

Zusammenfassung

Aus den angestellten Betrachtungen über die Transportverhältnisse bei der Umstellung einer Gasleitung von Kokereigas ($H_o = 4\,700 \text{ kcal/m}^3_n$, $d_v = 0,39$) auf Erdgas ($H_o = 8\,400 \text{ kcal/m}^3_n$, $d_v = 0,64$) hat sich ergeben, daß

- bei gleichem Druckverlust und gleichem Anfangsdruck der Wärmetransport sowohl bei raumbeständiger als auch bei raumveränderlicher Fortleitung 40% größer ist als bei Kokereigas,
- bei gleichem Wärmetransport und gleichem Anfangsdruck bei raumbeständiger Fortleitung der Druckverlust ca. 50% kleiner ist als bei Kokereigasförderung. Bei raumveränderlicher Fortleitung hängt die Verminderung des Druckverlustes bei Erdgasförderung von dem Verhältnis des Anfangsdruckes zum Enddruck $\frac{p_{k1}}{p_{k2}} = K$ bei Kokereigasdurchfluß ab, und zwar nimmt die Verminderung des Druckverlustes bei einem Druckverhältnis $K = 2$ von 57% mit steigendem Druckverhältnis auf $K = 10$ auf 67% zu.

Abschließend werden an einem Beispiel aus der ND-Gasversorgung die in obigem Beitrag gemachten Ausführungen bei der Umstellung einer Gasleitung von Kokereigas- auf Erdgasbetrieb durch Zahlenangaben belegt.

Eine Siedlung wird über eine Leitung NW 200 aus duktilen Gußrohren von einem 1 600 m entfernt liegenden Gaswerk, das Kokereigas aus einer Ferngasleitung bezieht, mit Gas versorgt. Das Gas ($H_o = 4\,700 \text{ kcal/m}^3_n$, $d_v = 0,39$) wird mit einem Druck von 1,1 bar (Barometerstand: 1,01 bar) im Gaswerk eingespeist. Der Bezug beträgt z. Z. $V_{nk} = 1\,200 \text{ m}^3/\text{h}$. Diese Leitung soll auf Erdgastransport umgestellt werden. Der Anfangsdruck soll ebenfalls 1,1 bar betragen (Erdgas: $H_o = 8\,400 \text{ kcal/m}^3_n$, $d_v = 0,64$).

A. Kokereigasbetrieb

Bei Kokereigasbetrieb sind folgende Fragen zu beantworten:

- Wie groß ist der Überdruck am Ende der Leitung beim derzeitigen Mengenfluß?
- Welche Menge kann durch die Leitung gefördert werden, wenn am Eingang der Siedlung noch ein Überdruck von 10 mbar (100 mm WS) vorhanden sein soll? (Volle Auslastung der Leitung bei 1,1 bar Anfangsdruck).

Zu 1.)

Aus dem Diagramm II ergibt sich für $V_{nk} = 1\,200 \text{ m}^3/\text{h}$ und NW 200 $(P_1 - P_2)/l = 0,031 \text{ mbar/m}$ (0,31 mm

WS/m) und der Druckverlust $P_1 - P_2 = 49,6$ mbar (496 mm WS).

Der Überdruck am Anfang der Leitung beträgt $1100 - 1010 = 90$ mbar (900 mm WS).

Am Ende der Leitung ist also der Überdruck

$$90 - 49,6 = 40,4 \text{ mbar (404 mm WS)}$$

Zu 2.)

Der zulässige Druckabfall beträgt

$$(P_1 - P_2) = 1100 - (1010 + 10) = 80 \text{ mbar (800 mm WS)}$$

$$(P_1 - P_2)/l = 80/1600 = 0,05 \text{ mbar/m (0,5 mm WS/m)}$$

Aus dem Diagramm I entnimmt man hierfür einen Mengenfluß von

$$V_{nk} = 1\,550 \text{ m}^3/\text{h}$$

B. Erdgasbetrieb

Bei Erdgasbetrieb sind folgende Fragen von Bedeutung:

- 1.) Wieviel m^3/h sind bei gleichem Anfangsdruck von 1,1 bar einzuspeisen, wenn der Wärmetransport gegenüber dem bei Kokereigasbezug von $1200 \text{ m}^3/\text{h}$ nicht geändert wird? Wie groß ist der Druckverlust?
- 2.) Welche Menge muß in die Leitung eingespeist werden und wie groß ist der Wärmetransport im Verhältnis zu dem bei Kokereigas, wenn der gleiche Druckverlust von 49,6 mbar (s. A 1) bei der Förderung von $1200 \text{ m}^3/\text{h}$ Kokereigas zugrunde gelegt wird?
- 3.) Wie groß ist bei voller Auslastung der Leitung (Anfangsdruck 1,1 bar) der Wärmetransport im Vergleich zum Wärmetransport bei voller Auslastung der Leitung bei Kokereigasbetrieb, wenn am Ende der Leitung der bei Erdgastransport mindestens erforderliche Überdruck von 22 mbar (220 mm WS) nicht unterschritten wird?

Zu 1.)

Fördermenge von Erdgas bei gleichem Wärmetransport

$$V_{ne} = 1200 \frac{4\,700}{8\,400} = 670 \text{ m}^3/\text{h}$$

Aus Diagramm III entnimmt man für $V_{ne} = 670 \text{ m}^3/\text{h}$

$$\frac{P_1 - P_2}{l} = 0,0155 \text{ mbar/m (0,155 mm WS/m)}$$

Der Druckverlust beträgt also

$$P_1 - P_2 = 0,0155 \cdot 1600 = 24,8 \text{ mbar (248 mm WS)}$$

Er ist mithin 50% kleiner als bei Kokereigasförderung (49,6 mbar).

Zu 2.)

Nach A 1 ist

$$\frac{P_1 - P_2}{l} = 0,031 \text{ mbar/m (0,31 mm WS/m)}$$

Aus Diagramm III ergibt sich eine Fördermenge von $V_{ne} = 950 \text{ m}^3/\text{h}$

Das Verhältnis der bei gleichem Druckverlust durchgeleiteten Wärmemengen beträgt

$$\frac{Q_e}{Q_k} = \frac{950 \cdot 8400}{1200 \cdot 4700} = 1,415$$

Bei Erdgasförderung wird also 41,5% mehr Wärme als bei Kokereigas durchgeleitet.

Zu 3.)

Bei voller Auslastung der Leitung ergibt sich mit $P_2 = 1010 + 22 = 1032$ mbar und $P_1 = 1100$ mbar

$$\frac{P_1 - P_2}{l} = \frac{68}{1\,600} = 0,0425 \text{ mbar/m (0,425 mm WS/m)}$$

Aus Diagramm III entnimmt man

$$V_{ne} = 1100 \text{ m}^3/\text{h}$$

Das Verhältnis des Wärmetransportes bei Erdgas ($V_{ne} = 1100 \text{ m}^3/\text{h}$) zu dem bei Kokereigas ($V_{nk} = 1550 \text{ m}^3/\text{h}$) wird also bei voller Auslastung der Leitung

$$\frac{V_{ne} \cdot 8400}{V_{nk} \cdot 4700} = \frac{1100 \cdot 8400}{1550 \cdot 4700} = 1,27$$

Obwohl bei Erdgasförderung und voller Auslastung der Leitung der 2,2fache Endüberdruck vorzuhalten ist, liegt der Wärmetransport noch 27% höher als bei Kokereigasförderung und ebenfalls voller Auslastung der Leitung.

Literatur

- [1] F. Herning:
Kritische Betrachtungen zur Rohrreibungszahl und Wandrauigkeit von Ferngasleitungen
GWf 1967, Heft 31, Seite 397 ff.

Eigenschaften von Schrauben und Muttern aus Gußeisen mit Kugelgraphit für Rohrverbindungen in duktilen Gußrohrleitungen

von WOLF-DIETRICH GRAS und HORST HIRSCH

Bei der Verlegung duktiler Gußrohrleitungen werden in bestimmten Fällen für die Herstellung der Verbindungen Schrauben und Muttern benötigt, und zwar einmal bei Verwendung von Stopfbuchsenmuffen-Rohren und -Formstücken sowie zweitens bei Leitungs-

teilen mit Flanschen [1] [2]. Die in DIN 28502 [3] genormte Stopfbuchsenmuffen-Verbindung erfolgt z. B. in der Weise, daß der Gummidichtring mit Hilfe eines Stopfbuchsenringes und Hammerschrauben mit Muttern in den Dichtspalt eingepreßt wird. Als Werkstoff

war für diese Schrauben in früheren Jahren nach DIN 28 502 Blatt 3 schwarzer Temperguß mit einer Mindest-Streckgrenze von 220 N/mm² (22 kp/mm²) vorgeschrieben; üblich war die Qualität GTS 35. Für die Flanschverbindungen waren meist Sechskantschrauben aus Stahl gemäß DIN 601 [4] im Einsatz.

Im Zuge der Umstellung der Druckrohre und Formstücke von Grauguß auf das höherwertige duktile Gußeisen erschien es technisch sinnvoll, die Schrauben und Muttern werkstoffmäßig anzupassen, um eine völlige Materialgleichheit zu erhalten. Zunächst wurden ab ca. 1967 Schrauben und Muttern aus Gußeisen mit Kugelgraphit der Qualität GGG 42 nach DIN 1693, September 61 [5] geliefert. Im Interesse einer gleichmäßigen Güte, auch z. B. hinsichtlich der Maßhaltigkeit, erschien es in der Folgezeit angebracht, spezielle Lieferbedingungen zu erarbeiten. Diese Bemühungen haben in der Herausgabe des DVGW-Arbeitsblattes GW 369 [6], das im DVGW-Fachausschuß „Rohre und Rohrverbindungen aus Eisenwerkstoffen“ erstellt worden ist, ihren Abschluß gefunden.

Qualitätsmerkmale der Schrauben und Muttern aus Gußeisen mit Kugelgraphit

Im DVGW-Arbeitsblatt GW 369 [6] erstrecken sich die Qualitätsfestlegungen der Schrauben und Muttern auf

- die Ausführung und Maßhaltigkeit,
- die mechanischen Eigenschaften und
- den Gefügezustand.

Auf die Anforderungen in bezug auf Ausführung und Maßhaltigkeit soll nur kurz eingegangen werden. Wichtig ist, daß die Schrauben und Muttern für ihre einwandfreie Verwendbarkeit vollflächig und gratfrei sein müssen. Für die Oberflächen und die Maßabweichungen gilt Ausführung „g“ nach DIN 267 Blatt 2.

Als Werkstoff ist die Gußeisensorte GGG 40 nach DIN 1693 Blatt 1 [7] mit folgenden Eigenschaften vorgeschrieben, die an getrennt gegossenen Probestücken nachgewiesen werden:

- Zugfestigkeit σ_B : mind. 400 N/mm² (40 kp/mm²)
- 0,2%-Dehngrenze $\sigma_{0,2}$: mind. 250 N/mm² (25 kp/mm²)
- Bruchdehnung δ_5 : mind. 15 %
- Härte (nur am fertigen Werkstück) : max. 200 HB 5/750
- Gefüge (nur am fertigen Werkstück) : Das Gefüge muß kugeligen Graphit aufweisen (mind. 50 % der

Form VI, Rest der Form V nach VDG-Merkblatt P 441), vorwiegend ferritisch sein und darf keinen freien Zementit und im Mittel nicht mehr als 10 % Perlit (Einzelproben mit 15 % Perlit sind zulässig) enthalten.

Die Qualitätsüberwachung erfolgt in mehrfacher Weise, wobei der Schwerpunkt bei der Schmelzüberwachung liegt. Von jeder zum Abguß vorbereiteten Charge wird mindestens ein getrennt gegossenes Probestück nach DIN 1693 [7] abgegossen und gemeinsam mit den Produktionsteilen warmbehandelt. Aus den Probestücken werden sodann Zugproben herausgearbeitet und daran die Werkstoffeigenschaften, wie Zugfestigkeit, 0,2%-Dehngrenze und Bruchdehnung bestimmt.

Als zusätzliche Qualitätskontrolle führen die Hersteller stichprobenweise Prüfungen an Fertigteilen durch. Hierfür ist festgelegt, daß für jedes Los von 5000 Schrauben bzw. Muttern (mindestens aber an jedem Produktionstag einmal) an 3 Werkstücken die Härte und der Gefügezustand untersucht sowie 3 mit Gewinde versehene Schrauben einem praxisnahen Zugversuch unterworfen werden. Bei der letztgenannten Prüfung kann lediglich die Bruchdehnung nicht mitbestimmt werden, da der Bruch im Gewinde erfolgt.

Die Lieferung der Teile an die Rohrhersteller erfolgt im allgemeinen mit Werkszeugnis nach DIN 50 049. Die Rohrhersteller führen ihrerseits noch Stichprobenkontrollen durch, die sich vorzugsweise auf den Gefügezustand und die Härte erstrecken, da die Zusammenhänge zwischen diesen Kennwerten und den mechanischen Eigenschaften hinreichend bekannt sind.

Für den Rohrnetzingenieur sind nun Zahlenunterlagen über die Gleichmäßigkeit des Qualitätsniveaus der Schrauben und Muttern aus Gußeisen mit Kugelgraphit von Interesse. In Tabelle 1 sind daher von einem der größten Hersteller in Deutschland die Mittelwerte und Streubereiche der mechanischen Eigenschaften von 400 aufeinanderfolgenden Y 2-Proben aus der Überwachung der erschmolzenen Eisenchargen, die vom Februar 1972 bis April 1973 zum Abguß kamen, zusammengestellt. Ergänzend hierzu sind die Werte von ca. 200 eigenen Prüfungen an Fertigteilen aus dem gleichen Zeitraum in Tabelle 2 aufgeführt.

Aus dem Zahlenmaterial geht die gute Übereinstimmung der Ist-Werte mit den Soll-Werten entsprechend DVGW-Arbeitsblatt GW 369 hervor.

Werkstoffkennwert	Einheit	Vorschrift nach DVGW-Arbeitsblatt GW 369	Mittelwert und Streuung (2 s) aus 400 Einzelergebnissen
Zugfestigkeit σ_B	N/mm ² (kp/mm ²)	≥ 400 (≥ 40)	430 \pm 25 (43 \pm 2,5)
0,2 % Dehngrenze $\sigma_{0,2}$	N/mm ² (kp/mm ²)	≥ 250 (≥ 25)	295 \pm 25 (29,5 \pm 2,5)
Bruchdehnung δ_5	%	≥ 15	21 \pm 5

Tabelle 1: Werkstoffeigenschaften von duktilen Schrauben, ermittelt an Zugproben aus getrennt gegossenen Y 2-Probestücken

Werkstoffkennwert	Einheit	Vorschrift nach DVGW-Arbeitsblatt GW 369	Mittelwert und Streuung (2 s) aus 200 Einzelergebnissen
Zugfestigkeit σ_B	N/mm ² (kp/mm ²)	≥ 400 (≥ 40)	475 \pm 60 (47,5 \pm 6)
0,2% Dehngrenze $\sigma_{0,2}$	N/mm ² (kp/mm ²)	≥ 250 (≥ 25)	330 \pm 60 (33,0 \pm 6)
Härte	HB 5/750	≤ 200	160 \pm 20
Gefüge			
Graphitanteil Form VI nach VDG-Merkblatt P 441	%	≥ 50	93 \pm 5
Zementitanteil	%	0	0
Perlitanteil	%	≤ 10	< 2

Tabelle 2: Werkstoffeigenschaften von duktilen Schrauben, ermittelt an Fertigteilen

Korrosionsverhalten

Die Einführung von Schrauben und Muttern aus Gußeisen mit Kugelgraphit ist selbstverständlich nicht ohne entsprechende Vorarbeiten auf dem metallurgischen Sektor zur Klärung der geeignetsten Herstelltechnik vorgenommen worden. Parallel dazu ist auch die Frage des Korrosionsverhaltens in dem erforderlichen Umfang verfolgt worden, und zwar sowohl in theoretischer als auch experimenteller Richtung.

Hierzu ist zu sagen, daß im Jahre 1967 bereits eine ganze Anzahl von Veröffentlichungen sowie eigenen Untersuchungen der Gußrohrwerke vorlag, aus denen sich das gute Korrosionsverhalten des Gußeisens mit Kugelgraphit in wässrigen Medien und im Erdboden ableiten ließ. Diesen Erfahrungen, die in zusammenfassender Form allerdings erst zu einem etwas späteren Zeitpunkt veröffentlicht worden sind [8], war insgesamt gesehen die größte Aussagekraft zuzuschreiben.

Bei der Kombination von Bauteilen in korrosiver Umgebung sollten die Teile, sofern sie elektrisch miteinander verbunden sind und es technisch möglich ist, gleiche elektrochemische Potentiale aufweisen, um eine Kontaktkorrosion zu vermeiden. Diese Regel des Korrosionsschutzes ist durch die schon eingangs erwähnte Materialgleichheit von Rohren und Schrauben im vorliegenden Fall in idealer Weise erfüllt.

Da von den verschraubten Gußrohrverbindungen die Stopfbuchsenmuffen-Verbindung das größte Anwendungsgebiet besitzt, wurden zusätzlich Überlegungen angestellt, ob gravierende Unterschiede im Legierungsaufbau zwischen Schrauben aus Gußeisen mit Kugelgraphit und schwarzem Temperguß bestehen. Hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung ergab sich in etwa folgendes Bild:

Werkstoff	% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Mg
GGG 42	~ 3,8	~ 2,3	~ 0,4	< 0,05	~ 0,01	~ 0,05
GTS 35	~ 2,5	~ 1,4	~ 0,5	~ 0,4	~ 0,14	—

Daraus geht hervor, daß es sich im Prinzip in beiden Fällen um Eisen-Kohlenstofflegierungen mit relativ

hohen Kohlenstoff- und Siliziumgehalten handelt, die sich lediglich graduell voneinander unterscheiden. Es ließ sich ableiten, daß sich der höhere Kohlenstoff- und Siliziumgehalt des Gußeisens mit Kugelgraphit auf die Struktur der Korrosionsdeckschichten vorteilhaft auswirken wird.

Obwohl somit alle korrosionschemischen Gesichtspunkte für die Umstellung auf Schrauben aus Gußeisen mit Kugelgraphit sprachen, wurde zur Abrundung des gesamten Komplexes noch ein Vergleichsversuch zwischen diesen Schrauben und Schrauben aus schwarzem Temperguß (GTS 35) durchgeführt. Für diesen Vergleichsversuch wurden nicht etwa nur Feuchtraumbzw. Salzsprüh-Prüfungen durchgeführt, da derartige Prüfungen zwar relativ bequem abzuwickeln sind, jedoch in Anbetracht des Verwendungszweckes des Schraubenmaterials keine Aussagekraft besitzen. Vielmehr wurden Dauertauchversuche über 6 Monate mit 3 Zeitstufen in einer mittelaggressiven Salzlösung, und zwar in Meerwasser gemäß DIN 50 900 [9] durchgeführt. Aus den Schrauben wurden Zylinderproben (20 mm Durchmesser, 32 mm lang) hergestellt, wobei die Mantelflächen unbearbeitet, also im Anlieferungszustand blieben. Die Schnittflächen wurden mit einem galvanischen Abdecklack geschützt. Nach Entfettung wurden die Proben in Bechergläsern einzeln der Einwirkung des Meerwassers (200 ml) ausgesetzt. Der Lösungswechsel erfolgte alle 4 Wochen, und die Zeitstufen betragen 2, 4 und 6 Monate. Bei den Versuchen sollte einmal die vergleichende Abtragsrate beider Werkstoffe und zum zweiten die Angriffsform (flächig oder narbenförmig) ermittelt werden. Die Beseitigung der Korrosionsprodukte zur Ermittlung des Gewichtsverlustes nach jeder Zeitstufe erfolgte durch elektrolytische Entrostung. Nach Abschluß der Versuche ließ sich feststellen, daß der Kurvenverlauf für die Abtragungsgeschwindigkeit bei den Schrauben aus Gußeisen mit Kugelgraphit und Temperguß absolut identisch war (vgl. Bild 1). In beiden Fällen ergab sich auch eine sehr gleichmäßige, flächige Abtragung bei den Proben. Es sollte an dieser Stelle nicht der Hinweis fehlen, daß es einige Bodenarten gibt (z. B. Moorböden, Marsch-

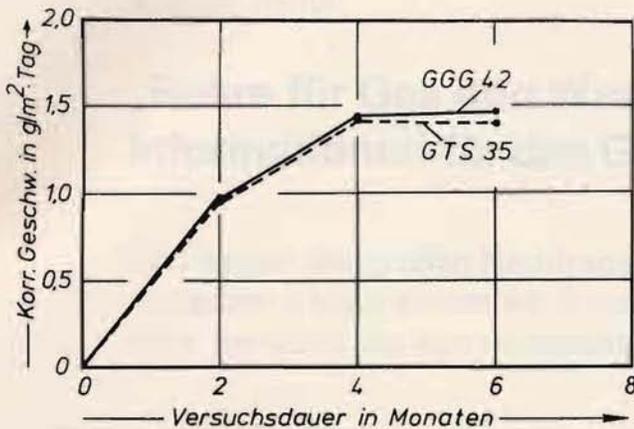


Bild 1: Verlauf der Korrosionsgeschwindigkeit von Schrauben aus Gußeisen mit Kugelgraphit (GGG 42) und Temperguß (GTS 35) in künstlichem Meerwasser (DIN 50 900) in Abhängigkeit von der Versuchszeit.

böden, Böden mit Abfallmaterialien), bei denen auch für Gußrohre Sonderschutzmaßnahmen gegen Außenkorrosion durchzuführen sind [10]. Es versteht sich von selbst, daß in derartigen Fällen die Schraubenverbindungen in die Schutzmaßnahmen einzubeziehen sind.

Zusammenfassung

Bei der Verlegung duktiler Gußrohrleitungen werden im Falle des Einsatzes von Stopfbuchsenmuffen-Rohren und -Formstücken sowie Leitungsteilen mit Flanschen für die Herstellung der Verbindungen, Schrauben und Muttern benötigt. Seit etwa 1967 wird für diesen Zweck Schraubenmaterial aus Gußeisen mit Kugelgraphit geliefert. In umfangreichen Vorarbeiten sind inzwischen für dieses Schraubenmaterial die Lie-

ferbedingungen in Form des DVGW-Arbeitsblattes GW 369 [6] festgelegt worden. In der vorliegenden Arbeit werden Zahlenwerte aus der Qualitätsüberwachung des Schraubenmaterials mitgeteilt. Am Schluß werden auch Fragen des Korrosionsverhaltens angesprochen.

Literatur

- [1] DIN 28 600 (Aug. 68):
Duktile Gußrohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen für Gas- und Wasserleitungen, Technische Lieferbedingungen
- [2] N. Raffenberg:
Duktile Gußrohre für den Transport von Flüssigkeiten und Gasen
Techn. Mitteilungen 64 (1971) S. 325/29
- [3] DIN 28 502 Blatt 1—3 (April 62):
Gußeiserne Druckrohre und Formstücke, Stopfbuchsenmuffen-Verbindung
- [4] DIN 601 (Dez. 67):
Sechskantschrauben
- [5] DIN 1693 (Sept. 61):
Gußeisen mit Kugelgraphit
- [6] DVGW-Arbeitsblatt GW 369 (April 73):
Schrauben und Muttern aus Gußeisen mit Kugelgraphit
- [7] DIN 1693 Blatt 1 (Entwurf Febr. 70):
Gußeisen mit Kugelgraphit, unlegiert und niedrig legiert (Anm.: Inzwischen als Ausgabe Okt. 73 erschienen)
- [8] W. D. Gras und W. Wolf:
Neuere Untersuchungsergebnisse über das Korrosionsverhalten von Rohren aus duktilem Gußeisen
FGR-Informationsheft Nr. 5, Jan. 70, S. 25/32
- [9] DIN 50 900 (Nov. 60):
Korrosion der Metalle, Begriffe
- [10] DVGW-Arbeitsblatt GW 5 (April 71):
Aufbau und Anwendungsbereich bituminöser Beschichtungen von Guß- und Stahlrohren

Aus der Reihe:

„Rohre für Gas und Wasser — Informationen für das Gas- und Wasserfach“

sind wegen der großen Nachfrage die Hefte 1 bis 4 leider vergriffen. Die Ausgaben 5 bis 9 stellen wir Ihnen bei Bedarf gerne noch zur Verfügung. Bitte, benutzen Sie den nachstehenden Bestellschein.

Bestellschein

„Rohre für Gas- und Wasser“
Informationen für das Gas- und Wasserfach
Bitte senden Sie mir kostenlos von

Heft 5 _____ Exemplare
Heft 6 _____ Exemplare
Heft 7 _____ Exemplare
Heft 8 _____ Exemplare
Heft 9 _____ Exemplare

Name: _____

Anschrift: _____

Falls sich Ihre Anschrift ändert oder schon geändert hat, geben Sie uns bitte Ihre neue Anschrift bekannt:

Name: _____

bisherige Anschrift: _____

neue Anschrift: _____

Unsere Anschrift:

Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre · 5 Köln 1, Postfach 1601 76

