A large, glowing orange-red industrial pipe is being processed in a factory. The pipe is the central focus, curving from the bottom left towards the top right. It has a bright, glowing interior. In the background, another similar pipe is visible, and a worker in a blue shirt and white hard hat stands near the base of the main pipe. The scene is lit with bright, cool-toned lights, creating a dramatic industrial atmosphere.

**fgr**<sub>10</sub>

**rohre** für  
**wasser**  
und **gas**

informationen für das gas- und wasserfach  
fachgemeinschaft gußeiserne rohre



## 10 Jahre fgr-Informationen

*Als wir uns vor 10 Jahren entschlossen, einmal im Jahr ein eigenes Informationsblatt herauszugeben, lag dabei der Gedanke zugrunde, dem Gas- und Wasserfach eingehende Informationen über den jungen Werkstoff „duktilen Gußeisen“ zu geben.*

*Über diesen Werkstoff, seine Eigenschaften und seine Anwendung im Rohrleitungsbau aus der Sicht von Wissenschaft und Praxis haben wir ausführlich berichtet. Daneben unterrichteten wir u. a. beispielsweise über den Stand der Technik bei den gummigedichteten Verbindungen und ihr Verhalten im Betrieb; unter besonderer Berücksichtigung der TYTON-Verbindung.*

*Um diese Berichterstattung geben zu können, bedurfte es umfangreicher Versuche in den Laboratorien und Prüfständen der Gußrohrindustrie; aber auch bei verschiedenen Technischen Hochschulen, Materialprüfanstalten und Spezialinstituten.*

*Inzwischen sind die duktilen Gußrohre und Formstücke weitgehend eingeführt. Vor 10 Jahren waren in der Bundesrepublik 2 500 km verlegt worden. Heute sind es bereits mehr als 50 000 km. Trotz des Bekanntheitsgrades glauben wir, die Berichterstattung auch in den kommenden Jahren fortsetzen zu sollen, weil die Technik nicht still steht und Erfahrungen sowie Neuerungen Anlaß zur Information der Fachwelt geben. Erinnerung sei hier u. a. nur an das Schweißen bei duktilen Gußrohren und die neuen zugfesten Verbindungen.*

*Die 10. Ausgabe der fgr-Informationen nahmen wir zum Anlaß, der Zeitschrift ein den geänderten Sehgewohnheiten angepaßtes, neues „Gesicht“ zu geben.*

*Allen Autoren und Mitarbeitern danken wir für die bisher geleistete Arbeit.*

# ROHRE für WASSER und GAS

## fgr

Fachgemeinschaft  
Gußeiserne Rohre

**10** Informationen für das  
Gas- und Wasserfach

Titelbild  
Duktiles Gußrohr  
NW 600 nach dem  
Ziehen aus der  
Schleudergießmaschine

## Planung, Bau und Betrieb von Wasserrohrnetzen

Reg.-Baumeister Dipl.-Ing.  
Albrecht Kottmann

*Aufgabe der öffentlichen Wasserversorgung ist es, dem Verbraucher jederzeit und in ausreichender Menge gutes Wasser zur Verfügung zu stellen. Was dabei Planung, Bau und Betrieb zu beachten haben und welche Fehler diese Stellen machen können, wird ausführlich beschrieben. Im wesentlichen will der Autor zeigen, daß fehlerhafte technische Entscheidungen die Sicherheit der Versorgung und die Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens beeinträchtigen müssen. Sicherheit zu schaffen und die Wirtschaftlichkeit zu erhalten, ist die Aufgabe eines Ingenieurs in verantwortlicher Stellung.*

Seite **4**

## Bau der Ostringleitung aus duktilen Gußrohren NW 800 mit TYTON-Verbindungen

Baudirektor Dipl.-Ing.  
Hans Dieter Kuhlmann

*Die Stadtwerke Hannover AG stand vor der Aufgabe, die Wasserversorgung in Neubaugebieten sicherzustellen. Nach durchgeführten Rohrnetzberechnungen wurde eine Leitung NW 800 erforderlich. Über die Werkstoffauswahl, die Planung und den Grunderwerb, die Ausschreibung und Vergabe, die Bauausführung und -überwachung sowie die Kosten dieser Leitung wird berichtet.*

Seite **13**

## 125 Jahre Freiburger Gasversorgung im Wandel der Zeiten

Oberbaudirektor  
Dipl.-Ing. Richard Funk

*In diesem Jahr begeht die Freiburger Gasversorgung ihren 125. Geburtstag. Der Autor beschreibt die Entwicklung der Freiburger Gaswerke von den Anfängen bis heute und geht dabei insbesondere auf das Gasrohrnetz ein. Vom Kokereigas bis zum Erdgas, vom Grauguß-Stemmuffenrohr bis zum duktilen Schraubmuffenrohr war es ein weiter Weg. Die „Freiburger Kugel“ und der „Freiburger Doppelgraben“ werden beschrieben.*

Seite **21**

### **Untersuchungen zum Anschweißen von Abgängen an duktile Gußrohre für Wasserleitungen**

**Dipl.-Ing. Ulrich Harms  
Ing. (grad.) Friedel Sennlaub**

*Die Bekanntgabe der Ergebnisse umfangreicher Untersuchungen zum Kallschweißen an duktilen Gußrohren hat mit dazu beigetragen, daß das Schweißen an duktilen Gußrohren schon Eingang in die Praxis gefunden hat. In Fortführung dieser Berichterstattung werden die Versuche zum Anschweißen großer Abgänge an duktile Gußrohre dargestellt und die daraus resultierenden Hinweise für die praktische Anwendung gegeben.*

Seite **31**

### **Erfahrungen über die Schutzwirkung eines Überzugs aus einer Spritzverzinkung und einem bituminösen Anstrich bei duktilen Gußrohren**

**Dr.-Ing. Wolf-Dietrich Gras  
Dr. rer. nat. Werner Wolf**

*Duktile Gußrohre besitzen in den meisten Böden eine gute Korrosionsbeständigkeit. Es gibt jedoch einige Bodenarten, die sowohl bei Graugußrohren als auch bei duktilen Gußrohren stärkere Korrosionsangriffe auslösen können. Die Hersteller wissen in sehr vielen Fällen nicht, in welchen Böden die zu liefernden Rohre verlegt werden. Sie haben daher immer wieder nach Möglichkeiten gesucht, für Rohre kleiner Nennweiten die Gefahr eventueller Korrosionsschäden noch weiter einzuengen. Ein Schutzüberzug auf Rohren aus duktilem Gußeisen — bestehend aus einer Spritzverzinkung und einem bituminösen Überzug — hat sich in Feldversuchen und in einem 15jährigen industriellen Einsatz als äußerst wirkungsvoller Korrosionsschutz in aggressiven Böden erwiesen.*

Seite **41**

### **Typprüfungen an Gußrohrdichtungen für Gasleitungen gemäß Vornorm DIN 3535 Blatt 3**

**Ing. (grad.) Horst Nöh**

*Im Rahmen der Normungsarbeiten für Rohre aus duktilem Gußeisen und mit der Herausgabe der Normen DIN 28600 und DIN 28610 sowie dem Erscheinen des DVGW-Arbeitsblattes G 461 wurden die Bemühungen, Normen für die Gummidichtringe zu schaffen, die in Rohrverbindungen für Gasleitungen eingesetzt werden, verstärkt fortgesetzt. Ein vorläufiger Abschluß ist in der Vornorm DIN 3535 Blatt 3 zu sehen. Das ENGLER-BUNTE-INSTITUT der Universität Karlsruhe (TH) führte Typprüfungen an Dichtungen für Gußrohr-Gasleitungen durch. Die Prüfergebnisse werden beschrieben.*

Seite **50**

### **Abschätzung der Möglichkeit einer Wasserstoff-Diffusion durch Gasleitungen aus Gußeisen**

**Dr. rer. nat. Werner Wolf**

*Wasserstoff ist als möglicher künstlicher Energieträger im Gespräch. Den Rohrnetzingenieur interessiert an diesem Thema die Frage nach den Problemen, die sich im Rohrnetzbereich beim Transport von Wasserstoff eventuell ergeben könnten. Theoretische Überlegungen und praktische Versuche zeigen, daß eine meßbare Permeation von Wasserstoff weder durch die Rohrwand einer Leitung aus duktilem Gußeisen noch durch die gummi-gedichtete Verbindung stattfindet.*

Seite **55**

# Planung, Bau und Betrieb von Wasserrohrnetzen \*

Von Albrecht Kottmann

Aufgabe der öffentlichen Wasserversorgung ist es, unbemerkt vom Kunden zu jeder Zeit und in ausreichender Menge gutes Wasser zur Verfügung zu stellen. Unternehmen, die zu häufig in der Öffentlichkeit genannt werden, sind oft technisch schlecht geführt. Am unangenehmsten fällt die Wasserversorgung auf, wenn im Straßenraum Rohrleitungen gebaut werden müssen. Die Forderungen des Straßenbaus an alle Versorgungsunternehmen stehen deshalb am Anfang dieser Arbeit:

**Der Unterbau unserer Stadtstraßen wird Jahrhunderte alt. Alle Aufgrabungen stören den Straßenkörper. Versorgungsleitungen in der Fahrbahn sollten deshalb ähnlich wie Abwasserkanäle über 100 Jahre betriebs-sicher bleiben.**

Da auch Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zeigen, welch großen Einfluß die Nutzungszeit der Leitung auf die Kostenentwicklung hat, ist bereits eines der wichtigsten Teilgebiete des Themenkreises Planung, Bau und Betrieb von Wasserrohrnetzen angesprochen.

Im Mittelpunkt dieses Aufsatzes sollen neben den technischen Fragen die wirtschaftlichen Auswirkungen technischer Entscheidungen stehen, denn die wirtschaftliche Seite der Unternehmensführung wird vom Techniker nicht selten unterschätzt, und häufig belasten technische Fehlentscheidungen die Ertragslage eines Werkes über Jahre. Die Gefahr technischer Fehlentscheidungen mit wirtschaftlichen Folgen ist besonders groß, wenn die verschiedenen Abteilungen — Planung, Bau und Betrieb — schlecht zusammenarbeiten.

## Aufgaben von Planung, Bau und Betrieb

Eine Beschreibung der Aufgaben soll zur Klärung der Zuständigkeiten beitragen. Gleichzeitig wird auf die möglichen Fehler hingewiesen. Die Aufgabe eines guten Mitarbeiters ist auch, auf Mängel aufmerksam zu machen. In der folgenden Zusammenstellung stehen deshalb neben den Aufgaben und den möglichen Fehlern Wünsche, die eine Abteilung an die andere zu richten hat.

\*) Vortrag beim Wasserkursus 1973 und 1974 im Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe.

## Aufgaben der Planung

Vertretbare Planungszeiträume und Ausbaustufen festlegen,  
den jährlichen, täglichen und stündlichen Wasserbedarf schätzen,  
Netze entwerfen,  
Rohrleitungen und Behälter bemessen,  
geeignete Rohre und Absperrrichtungen nach Auswertung der vorhandenen Erfahrung und wissenschaftlicher Erkenntnisse auswählen.

## Aufgaben des Baus

Neue Rohrleitungen so verlegen, daß sie lange betriebssicher bleiben; vorhandene Leitungen bei Baumaßnahmen möglichst wenig gefährden.

## Aufgaben des Betriebs

Mit den von Planung und Bau gemachten Fehlern und den Unzulänglichkeiten der Technik fertig werden.

## Häufige Fehler

### Fehler der Planung

Zu kurze Planungszeiträume und zu wenig Ausbaustufen.

Zu kurze Planungszeiträume führen zu vorzeitigen Erweiterungen. Falls nicht in geeignete Ausbaustufen unterteilt wird, sind die Netze über Jahre zu groß bemessen, das Wasser steht in Schwachlastzeiten und beginnt erneut zu verkeimen.

Häufig wird der zukünftige Wasserbedarf in den Ausbaustufen zu groß geschätzt, auch in diesem Falle steht das Wasser zu lange in den Leitungen.

Auf diese Gefahren ist bei neuen Wohn- bzw. Schlaf-siedlungen besonders zu achten.

### Planungszeiträume und Ausbaustufen

Die Planung von Wasserversorgungsanlagen sollte mindestens einen Zeitraum von 30 Jahren erfassen, der Ausbau sollte jedoch in mehreren Stufen erfolgen. Zu große Anlagen binden unnötig verbautes Kapital bei zu langer Verweilzeit des Wassers in Behältern und Netzen. Nur in Zeiten rascher Geldentwertung sind noch nicht notwendige Investitionen zu rechtfertigen.

Der Ausbau einer Versorgungsanlage erfolgt deshalb oft in zwei oder drei zehnte bis fünfzehnte Jahre laufenden Stufen.

Voraussetzung für eine solche Arbeitsweise ist die sorgfältige Planung der Bauabschnitte. Alle Baustufen müssen sich nahtlos zusammenfügen lassen. Besonders vorteilhaft wirkt sich aus, wenn technische Entwicklungen erlauben, vorhandene Anlagen nach zehn oder fünfzehn Jahren mit geringem Aufwand auf eine höhere Leistung als ursprünglich vorgesehen zu bringen.

Bei großen und mittleren Anlagen ist dieses Vorgehen stets sinnvoll, in kleinen oft unmöglich. Brunnenreihen, Pumpengruppen, Maschinenhallen und große Behälter lassen sich leicht teilen. Bei Zubringerleitungen ist der spätere Bau einer zweiten Leitung nur wirtschaftlich, wenn große Nennweiten verlegt werden. Da bei kleinen Nennweiten die Kosten der Rohre und die Verlegekosten den Gesamtaufwand weniger beeinflussen, ist es bei kleinen und mittleren Anlagen zweckmäßig, die Zubringerleitung gleich für den Endausbau zu bemessen. Dasselbe gilt in noch viel höherem Maß für Leitungen im Netz, deren Baukosten durch die Straßenwiederherstellung und den Aufwand für die Sicherung bzw. Aufrechterhaltung des Verkehrs bestimmt werden. Gerade bei Netzen bietet sich aber die Möglichkeit, durch den Bau eines zweiten Anschlusses nach Ablauf von zehn Jahren am Anfang zu lange Verweilzeiten des Wassers in den Leitungen zu vermeiden und später mit geringem Aufwand die am Ende geforderte Leistung zu erreichen.

#### Fehler des Baus

Unsachgemäße Verlegung.

Im Vordergrund steht:

Mangelhafte Ausbesserung von Schäden am möglicherweise vorhandenen Rohraußenschutz,

Auflagerung von Rohren auf Steinen oder anderen Rohrleitungen,

mangelhafte Sicherung kreuzender Rohrleitungen, die zu Spätschäden führt,

Verfüllen des Grabens mit ungeeignetem Boden.

#### Kreuzungsschalen

In Stadtstraßen ist es häufig unmöglich, bei der Kreuzung zweier Leitungen sicherzustellen, daß genügend Abstand verbleibt.

Der Außenschutz von Kabeln und Rohren wird an solchen Kreuzungen durchgedrückt. Rohre aus empfindlichen Werkstoffen reißen vorzeitig als Folge der hohen örtlichen Spannungsspitzen, andere brechen infolge Längsbiegung.

Über derartige Zufallsberührungen können Gasrohrnetze ungewollt in die Erdung von Niederspannungsnetzen einbezogen sein, was zu Strombelastung und Funkenbildung bei Rohrtrennungen führt, obwohl eine Erdung am Gasrohrnetz grundsätzlich nicht erlaubt ist. Kreuzungsschalen sollen verhindern, daß eine leitfähige Verbindung zwischen kreuzenden Leitungen

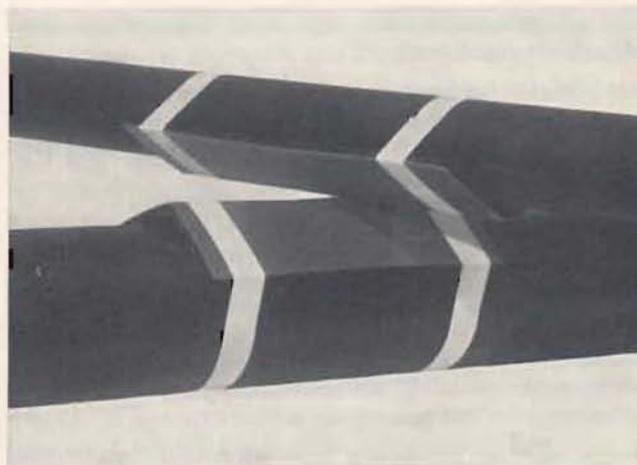


Bild 1: Kreuzungsschalen

entstehen kann und daß Kräfte von einer Leitung auf die andere übertragen werden können. Sie müssen deshalb aus einem elektrisch nichtleitenden Stoff hergestellt sein und sich bei Setzungen elastisch verformen können.

Bild 1 zeigt zwei derartige Kreuzungsschalen an einer Kreuzungsstelle z. B. einer Hausanschlußleitung mit einer Gasdruckleitung.

#### Fehler des Betriebs

Mangelnde Netzkenntnis hat falsche Umstellungen zur Folge.

Unterlassene Arbeiten, wie das Bewegen von Schieberrspindeln, Spülen von Endleitungen, Überprüfen von Hydranten, führen zu teureren Erneuerungen und Instandsetzungen.

#### Wünsche an andere Abteilungen

##### Wünsche des Baus an die Planung

Nur narrensicher zu verarbeitende Rohre und Rohrleitungsteile einsetzen.

Rohre und Rohrschutz so wählen, daß möglichst keine Transportschäden ausgebessert werden müssen.

Kleinteile, wie Schrauben und zugfeste Verbindungsteile oder Bügel an Anbohrschellen, nur verwenden, wenn sie aus Werkstoffen mit günstigem Korrosionsverhalten hergestellt sind oder sich leicht schützen lassen.

Die Führung der Leitungen so auswählen, daß die Baukosten niedrig gehalten werden können.

Bauarbeiten in stark befahrenen Verkehrsstraßen vermeiden, weil der aufwendige Straßenerneuerbau ausgebrochen und wiedereingebracht werden muß; der Verkehr behindert die Bauarbeiten und verursacht zusätzliche Kosten.

Keine Bauarbeiten in bereits dicht mit Leitungen belegten Straßen planen, weil Baggeraushub unmöglich wird und die vielen Kreuzungen teure Sicherungsarbeiten zur Folge haben.

Keine Neuerungen ohne vorherige Unterrichtung der Mitarbeiter einführen.

Bei allen Neuerungen beachten, daß dauerhafte Erfolge nur möglich sind, wenn der Anteil der immer teurer werdenden Arbeitszeiten sinkt und der Überwachungsaufwand kleiner wird.

**Wünsche des Betriebs an Planung und Bau**

Leitungen so bemessen, daß keine Spülungen notwendig werden.

Keine Endleitungen ohne nennenswerte Abnahme! Netze so vermaschen, daß Abstellungen ohne Benachteiligung von Kunden erfolgen können.

Rohre wählen, die gegen Korrosion und Zusatzbeanspruchungen durch äußere Kräfte unempfindlich sind.

Die Aufgabe bei Rohrnetzrechnungen so stellen, daß eindeutige Voraussagen auch für die Folgen betrieblicher Umstellungen möglich sind. Die Beurteilung von Maßnahmen in während der Messung schwach belasteten Netzteilen war bisher sehr unsicher.

Rohrwerkstoff oder innere Auskleidung so wählen, daß die Rohrwand über Jahrzehnte unverändert glatt bleibt und die Wiederverkeimung nicht fördert.

Korrosionsempfindliche Teile im Boden vermeiden, weil sie in den meisten Böden im Vergleich mit anderen Rohrleitungsteilen die kürzeste Lebenserwartung haben.

Keine „billigen“ Rohre oder Rohrleitungsteile beschaffen, da im Bau „billige“ Netze meist sehr hohe Instandhaltungskosten und am Ende die größten Jahreskosten verursachen.

#### Stopfbüchsen und Dichtflächen

Bei Schiebern, Klappen und Hydranten ist besonderer Wert auf eine sichere Stopfbüchse, Sicherheit gegen Ablagerungen und die Vermeidung leicht rostender Schrauben zu legen. Die alte Stopfbüchse mit Hanftalpackung hält nur dicht, wenn die Schieberspindel immer wieder bewegt und die Stopfbüchse von Zeit zu Zeit nachgezogen wird. Schieber mit diesen Stopfbüchsen verursachen einen sehr hohen Betriebs- und Unterhaltungsaufwand. Häufig werden sie nur bei Rohrshäden, also im Notfall, betätigt und anschließend ausgebaut, da die Stopfbüchse ohnedies neu verpackt werden müßte.

Die heute übliche Dichtung mit O-Ringen bewährt sich wesentlich besser. Dennoch ist es notwendig, die Spindel noch regelmäßig zu bewegen, bis feststeht, daß die neue Art der Abdichtung das Drehen der Spindel nach jahrelanger Ruhe schadlos übersteht.

Der Innenschutz der Schieber mit Farbanstrichen ist bei den meisten Wässern unbefriedigend. Ablagerungen im Gehäuse sind, besonders wenn sich in den Rohren selbst keine Ablagerungen bilden können, nicht vermeidbar. Die Schieber schließen nach wenigen Jahren nicht mehr dicht, weil der Gummikeil nur noch auf Teilen der Dichtfläche anliegt. Nach dem Betätigen

der Absperreinrichtung gelangen losgequetschte und mitgerissene Ablagerungen in die Verbrauchsanlagen. Weder die Versorgungswirtschaft noch die Hersteller haben diese Schwierigkeit bisher voll erkannt. Nur ein Innenschutz aus Gummi, Email oder Zementmörtel kann solche Beeinträchtigungen der Dichtung verhindern. Versuche mit Kunststoffbeschichtungen waren noch unbefriedigend. Die Frage der Wasserdampfdiffusion und der damit verbundenen Unterrostung ist noch zu klären.

**Anzustrebendes Ziel:**

Die Absperreinrichtung muß sich nicht 20 000 mal betätigen lassen; sie muß nach 20 Jahren Ruhe einmal dicht abschließen, und die Stopfbüchse muß nach dem Öffnen des Schiebers noch dicht sein. Der Schieber soll so alt werden wie die Rohrleitung.

#### Besonders korrosionsanfällige Teile

Um die korrosionsanfälligen Teile an Flanschen und Bügeln von Anbohrschellen zu vermeiden, wurde der Einsteckschieber mit glatten Enden und der gummierte Bügel geschaffen. Auch Steckhydranten mit glattem Ende und zugfester Verbindung sind bereits auf dem Markt. Die Bilder 2, 3 und 4 zeigen Beispiele von geeigneten Konstruktionen.

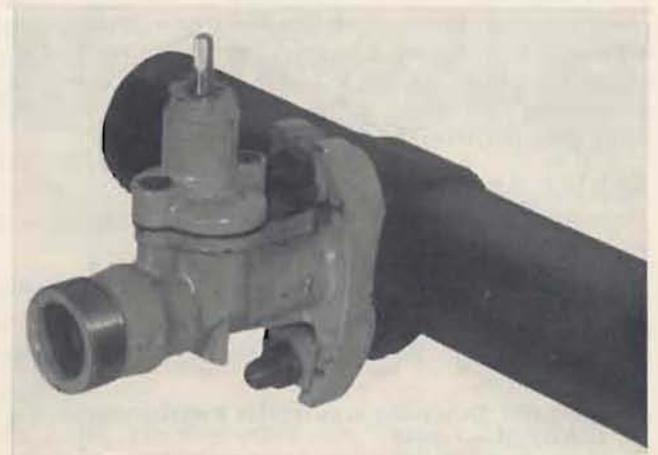


Bild 2: Anbohrschelle mit sorgfältig geschütztem Bügel

In Bild 2 ist eine Anbohrschelle mit einwandfrei geschütztem Bügel dargestellt.

Der Schieber in Bild 3 kann mit den glatten Enden in jede Muffe eingefahren werden. Als Innenschutz dient Email oder Zementmörtel.

Der Hydrant in Bild 4 ist innen emailliert und kann nicht abreißen, weil er unten gelenkig gelagert wurde und der Mantel aus PE hart Bodenbewegungen beim Auffrieren der Straßendecke folgt.

#### Wünsche der Planung an Bau und Betrieb

Nur zuverlässige Unternehmer einsetzen und Bauausführung sorgfältig überwachen, denn schlampige Ausführung kann die beste Planung zunichte machen.

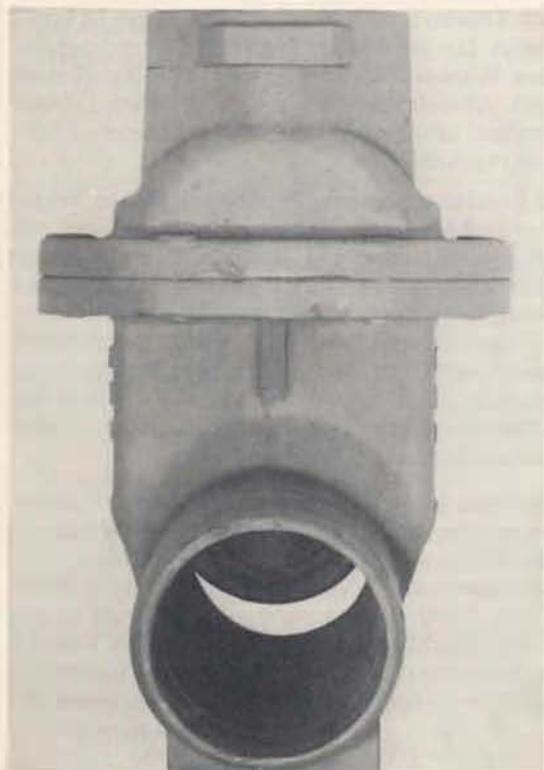


Bild 3: Schieber mit glatten Enden und versenkten Schrauben



Bild 4: Hydrant mit glatterm Einsteckende und versenkten Schrauben, Klaue aus duktilem Gußeisen

Selbständig mitdenken, der Planer kann nicht jede Kleinigkeit voraussehen und durchzeichnen.

Das Bedürfnis nach Sicherheit nicht übertreiben, denn hohe Sicherheit ist teuer.

Den Wunsch nach Bequemlichkeit hinter wirtschaftliche Überlegungen zurückstellen.

### Bemessung der Rohrleitungen

Über den Wasserbedarf einer neu zu versorgenden Siedlung herrschen oft völlig falsche Vorstellungen. In vielen Statistiken wird der Verbrauch von Haushalt, Gewerbe und Industrie auf die Zahl der Einwohner umgelegt. Der scheinbare Verbrauch eines Einwohners liegt dann bei 200 bis 300 l/Einwohner und Tag.

Um die Planungsgrundlagen zu verbessern, wurde der monatliche Wasserverbrauch je Einwohner einer willkürlich ausgewählten Anzahl Kunden ermittelt.

Kunden mit Garten und Bad sind in Gruppe A, solche ohne Garten, aber mit Bad in Gruppe B und die wenigen Kunden ohne Bad und ohne Garten in Gruppe C zusammengefaßt.

Die Ganglinie B liegt deutlich und über das ganze Jahr annähernd gleichmäßig um 0,5 bis 0,8 Kubikmeter je Einwohner und Monat über der Ganglinie C. Die Unterschiede scheinen in den Wintermonaten größer als im Sommer, was wohl auf das Bedürfnis nach einem warmen Bad in der kalten Jahreszeit zurückzuführen ist (Bild 5).

Der Einfluß eines Gartens zeigt sich als Unterschied im Verbrauch zwischen den Ganglinien A und B. Der mittlere Monatsverbrauch von Familien mit Garten lag im Monat Mai um 0,6 Kubikmeter, im Juni, Juli und

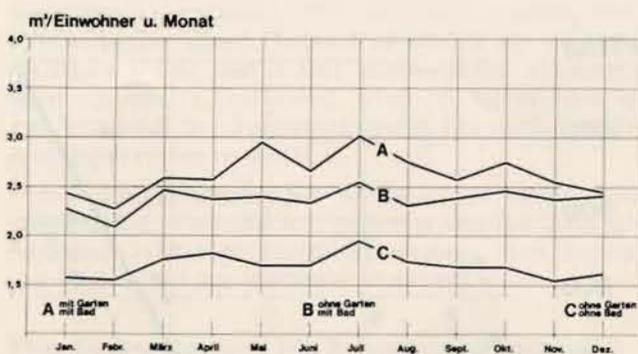


Bild 5: Wasserverbrauch in Haushalten

August um etwa 0,4 Kubikmeter je Einwohner und Monat über dem anderer Kunden, die zwar ein Bad, aber keinen Garten besitzen, was in diesen Monaten einem Mehrverbrauch von etwa 20% entspricht. Der auffallende Mehrverbrauch für die Gärten ist im Mai wahrscheinlich auf die Wachstumsperiode und im Juli auf die Gartenbesprengung in der wärmsten Jahreszeit zurückzuführen. Naturgemäß sinkt der Mehrverbrauch im Dezember auf annähernd Null.

Die mittleren Tagesverbräuche je Einwohner lassen sich für die drei Gruppen ableiten:

A: 90 Liter je Einwohner und Tag

B: 80 Liter je Einwohner und Tag

C: 55 Liter je Einwohner und Tag

Über 50% der durchschnittlichen Wasserentnahme werden in Großstädten nicht im Haushalt verbraucht. Großverbraucher sind in erster Linie bei Industrie und Gewerbe (mit Büro- und Verwaltungsgebäuden), aber auch bei Schwimmbädern und anderen gemeinnützigen Anlagen (Bespargen von städtischen Grünflächen und Sportanlagen) zu suchen.

Dieser Verbrauch ist bei Voraussagen entsprechend zu berücksichtigen.

#### Temperatur und Tagesverbrauch

Es ist reizvoll, den täglichen Wasserverbrauch eines Netzteils in einem Achsenkreuz aufzutragen, dessen Waagerechte in Grad Celsius und dessen Senkrechte in  $\text{m}^3/\text{Tag}$  geteilt ist. Theoretisch müßten die Punkte auf einer Geraden oder einer Kurve liegen. Der Verbrauch ändert sich jedoch nicht nur mit der Temperatur. Während der Urlaubszeit sinkt die Zahl der versorgten Einwohner stark, so daß der Wasserverbrauch im Versorgungsnetz trotz hoher Temperaturen keine Höchstwerte erreicht [1].

Auch der Beginn der Wachstumsperiode im April/Mai führt zu einem nicht nur temperaturabhängigen Mehrverbrauch. Selbst ein Gewitter am Abend eines sehr heißen Tages kann das Entstehen einer Spitzenabgabe verhindern. Trotzdem ist der Zusammenhang zwischen Temperatur und Wasserverbrauch überraschend (Bild 6).

Die Verbräuche während der Urlaubszeit (Schulferien) sind als nicht ausgefüllte Kreise dargestellt. Sie

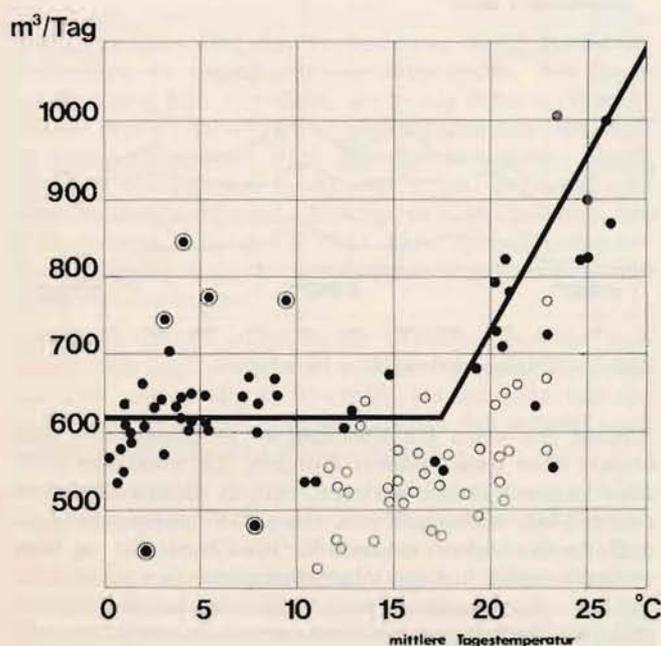


Bild 6: Mittlere Tagestemperatur und Wasserverbrauch

hängen als Traube unter dem Knickpunkt bei 16 bis 17 Grad Celsius. Die schwarzen Punkte kennzeichnen dagegen den Wasserverbrauch, wenn alle Kunden zu Hause sind. Abweichungen von den üblichen Lebensgewohnheiten führen zu deutlich sichtbaren Mehr- oder Minderverbräuchen.

Vier von Kreisen umgebene Punkte links oben zeigen temperaturunabhängige Höchstverbräuche an den Samstagen vor Konfirmation, Kommunion und Ostern an. Zwei Tiefpunkte links unten am Ostersonntag und Ostermontag liegen weit unter dem Normalverbrauch. Man sieht, daß in manchen Fällen die Temperaturabhängigkeit nicht auf den ersten Blick erklärt werden kann. Erst nach dem Aussondern der durch besondere Umstände hervorgerufenen „Ausreißer“ wird das Bild überschaubarer.

Die Darstellung zeigt, daß der zu erwartende Spitzenverbrauch annähernd auf das Doppelte des Verbrauchs bei kühler Witterung steigen wird. Der mittlere Verbrauch im untersuchten Netzteil liegt bei 80 l/Einwohner und Tag. Einige Versorgungsunternehmen tragen in dieser Form nicht nur den Tagesverbrauch, sondern auch den Spitzenverbrauch auf, der für die Bemessung des Rohrnetzes maßgebend ist.

#### Die Stundenspitze

Die Zuleitung zum Behälter wird in der Regel entsprechend dem Fassungsvermögen mit geringerer Leistung gebaut; das Netz hinter dem Behälter muß jedoch, weil kein Mengenausgleich mehr möglich ist, stets in der Lage sein, den unmittelbar verlangten Wasserbedarf zu fördern.

Zu diesem Zweck wird die Ganglinie der Wasserabgabe an einem möglichst heißen Tag aufgetragen und ausgewertet. Die Ganglinien, die Spitzenverbräuche und die zeitliche Lage der Spitzenstunde sind je nach der Struktur des Versorgungsgebiets sehr verschieden. Kleine Landgemeinden mit zahlreichen landwirtschaftlichen Betrieben geben morgens während einer kurzen Spitze bis zu 12% des gesamten Tagesverbrauchs ab, während sich der Verbrauch industriereicher Großstädte gleichmäßig über die Arbeitszeit verteilt und die Spitzenbelastungen selten über 6% des Tagesverbrauchs steigen.

Charakteristische Tagesganglinien für eine kleinere Gemeinde und eine Großstadt zeigen die Bilder 7 und 8.

#### Jahresverbrauch

Die Entwicklung des jährlichen Wasserverbrauchs gibt zwar keine Anhaltspunkte für die Bemessung der Rohrnetze, sie bietet aber die Möglichkeit zu langfristigen Voraussagen. Bild 9 zeigt die Ganglinie der nutzbaren Wasserabgabe einer räumlich beengten Großstadt. Da das Stadtgebiet kaum noch Erweiterungsmöglichkeiten bietet, wandert die Industrie in die Nachbargemeinden ab. Auch die Zahl der deutschen Einwohner geht zurück. Gastarbeiter beziehen die frei werdenden Wohnungen. Der Wasserverbrauch steigt zur Zeit nicht weiter an.

% Anteil des Tagesverbrauchs

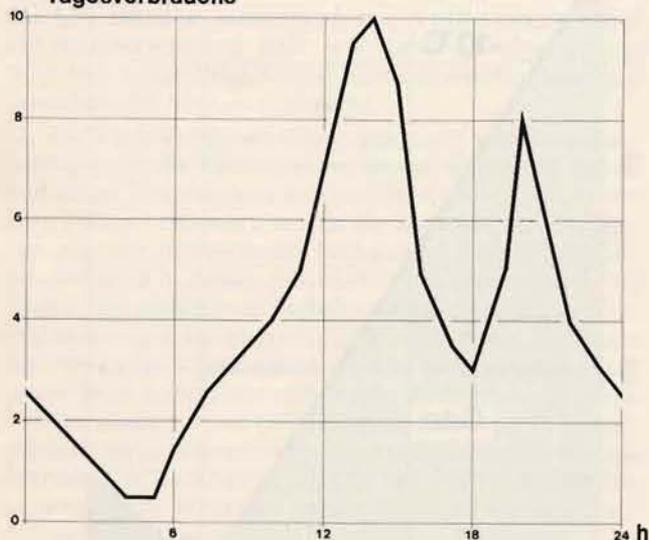


Bild 7: Tagesganglinie einer kleineren Gemeinde [2]

% Anteil des Tagesverbrauchs

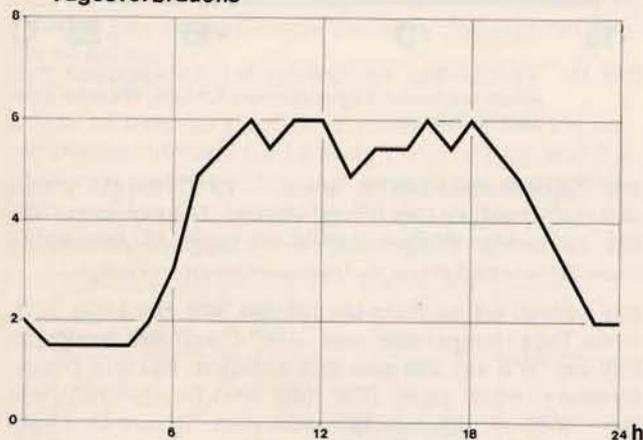


Bild 8: Tagesganglinie einer großen Stadt [2]

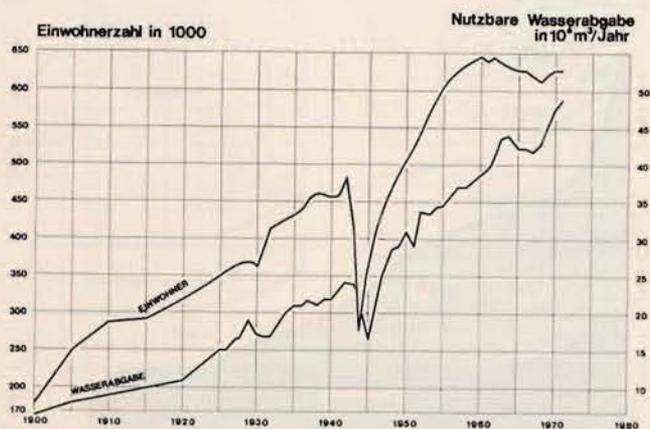


Bild 9: Ganglinie der Einwohnerzahl und der nutzbaren Wasserabgabe einer räumlich beengten Großstadt

### Bemessung der Behälter

Für den Tagesausgleich ist ein nutzbarer Behälterraum von 35 bis 40% des mittleren oder 25 bis 30% des höchsten Tagesverbrauchs erforderlich.

Falls der Behälter Zufluß und Verbrauch einer Woche ausgleichen soll, muß er für 50 bis 70% des mittleren oder 30 bis 40% des höchsten Tagesverbrauchs bemessen werden. Bei Fernwasserbezug ist es immer sinnvoll, Behälterraum für den Wochenausgleich vorzusehen, weil die teureren Bezugsrechte niedriger gehalten werden können.

Der Löschwasservorrat ist bei kleinen Gemeinden für die Bemessung maßgebend. Er sollte je nach Größe und Bebauungsdichte des Versorgungsgebietes zwischen 50 und 300 m<sup>3</sup> betragen.

DIN 2000 empfiehlt für mittelgroße Wasserversorgungsanlagen einen Löschwasservorrat von einem Drittel des mittleren Tagesverbrauchs. Behälter unter 100 m<sup>3</sup> Nutzinhalt sind zu vermeiden [3].

### Wasserverluste

Das Bestreben vieler Werke, die Ableserzeiträume bis auf 12 Monate auszudehnen, wird, um die Kosten der Zählerablesung zu verringern, bald allgemein verwirklicht. Ein Zwölftel des Versorgungsgebietes wird bei diesem Verfahren monatlich abgelesen. Der Unterschied zwischen Wassergewinnung und Wasserverkauf ist dann eine mit allen Fehlern solcher statistischen Abgrenzungen behaftete Größe. Plötzliche Änderungen der Wasserverluste werden erst nach einigen Jahren sichtbar.

Eine für die Netzüberwachung auswertbare Verlustmessung ist mit Hilfe eines Belastungsschreibers, der alle zwei Minuten den Durchfluß anzeigt, während der Nachtstunden möglich. Für die Nachtmessung sind Winternächte ohne Haushaltverbrauch in der Zeit zwischen 1 Uhr und 3 Uhr auszuwählen. Gemessen wird ein oberer Grenzwert. Weniger zuverlässig ist ein Vergleich der Tagesverbräuche bei mittleren Tagstemperaturen unter 10° C.

Unter diesen Umständen erscheint es nicht mehr zweckmäßig, Verluste in Prozenten des ins Netz geflossenen Jahresverbrauchs anzugeben; man bezieht den Verlust auf den Kilometer Rohrnetz [4; 5].

### Über die Aussagekraft von Rohrnetzrechnungen

Auch heute ist es noch möglich, daß Rohrleitungen durch solche größerer Nennweite ersetzt werden, weil die Erscheinung: „Druckmangel in Spitzenzeiten“ nicht richtig gedeutet wird. Man glaubt, das Netz sei überlastet; in Wirklichkeit ist ein Schieber geschlossen oder eine Rohrleitung an unbekannter Stelle verstopft.

Der Aufwand für eine auf sorgfältigen Messungen aufgebaute Rohrnetzrechnung steht in keinem Verhältnis zu möglichen Fehlinvestitionen. Bedauerlicherweise werden Rohrnetzrechnungen oft beschränkt

ausgeschrieben. Da der Auftraggeber das Arbeitsgebiet nur unvollkommen kennt, bekommt der billigste Bieter den Zuschlag; oft fertigt er eine Berechnung mit beschränkter Aussagekraft.

Meist liegt die Wurzel aller Mängel bei unzureichenden Messungen, zu geringen Druckabfällen während der Messung und mangelhafter Verteilung der Verbräuche.

Die geforderten Mindestdruckabfälle während einer Messung sind im DVGW-Merkblatt GW 303 festgelegt. Der Mindestdruckabfall im Wasserrohrnetz soll am Meßpunkt mit dem geringsten Druck 20% des Ruhedruckes oder mindestens 15 mWS betragen.

Bild 10 zeigt die Dauerlinie der mittleren Tagestemperatur 1971 in Stuttgart. Sehr heiße und sehr kalte Tage traten nur in geringer Zahl auf. Die Abhängigkeit zwischen Temperatur und Wasserverbrauch wurde bereits in Bild 6 gezeigt. In Bild 11 sind für Gas und Wasser diese Zusammenhänge dargestellt. Der Wasserverbrauch steigt zwischen +16°C und +25°C auf etwa das Doppelte, der Gasverbrauch zwischen +16°C und -15°C auf den siebenfachen Wert.

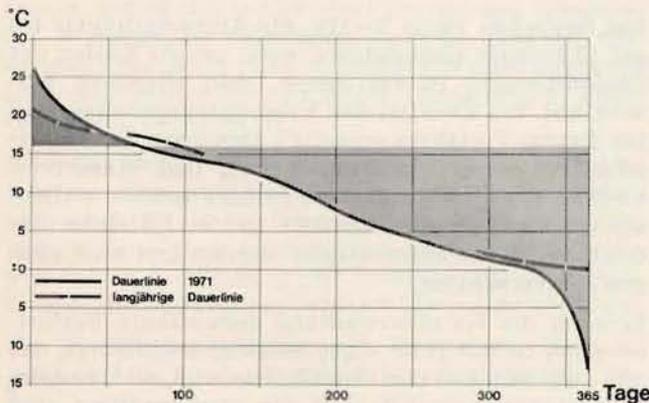


Bild 10: Dauerlinie der mittleren Tagestemperatur 1971 im mittleren Neckarraum

Durch Zusammenzeichnen der Bilder 10 und 11 erhält man die Dauerlinien des Gas- und Wasserverbrauchs für das Jahr 1971 (Bild 12).

An wievielen Tagen im Jahr ist ohne zusätzliche Entnahme eine Druck- und Zuflußmessung nach dem DVGW-Merkblatt möglich? Der Ruhedruck am ungünstigsten Punkt des Netzes betrage 60 mWS. Bei einer mittleren Tagestemperatur von 25°C soll er um 42 mWS auf den Mindestdruck von 18 mWS fallen. Für die Druckmessung wird aber nur ein Druckabfall von 15 mWS auf 60 - 15 = 45 mWS gefordert. Da die Rohrreibungsverluste von  $Q^2$  abhängen, wird diese Druckabsenkung bei 60% des Spitzenbedarfs erreicht. Mehr als 60% des Spitzenbedarfs werden aber nur an 50 Tagen im Jahr verbraucht. Sonntage und Tage während der Schulferien sind abzuziehen. Messungen nach dem DVGW-Merkblatt GW 303 und ohne zusätzliche Entnahmen sind deshalb nur an höchstens 30 Tagen im Jahr möglich.

Ähnliches gilt für Gas. Der steilste Teil der Kurve, der den Verbrauch an weniger als zehn Tagen mit middle-

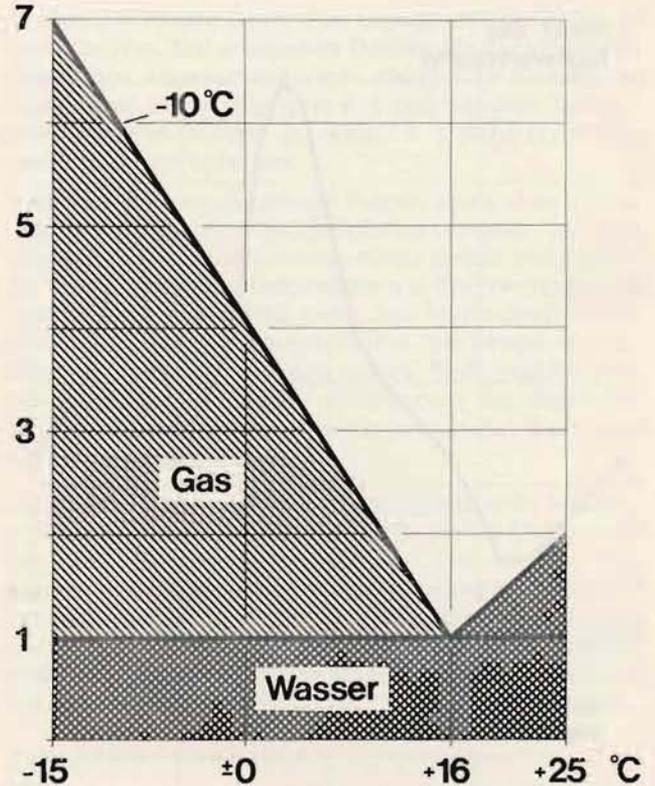


Bild 11: Vereinfachte Darstellung der Abhängigkeit zwischen mittlerer Tagestemperatur und Wasser- bzw. Gasverbrauch

ren Tagestemperaturen unter -10°C zeigt, wurde nicht ausgezogen, weil nur wenige Gasrohrnetze die bei so tiefen Temperaturen verlangten Abnahmen ohne Schwierigkeiten zu transportieren vermögen.

Der Ruhedruck im Netz sei 500 mm WS. Bei einer mittleren Tagestemperatur von -10°C soll der Druck um 280 mm WS auf 220 mm WS abfallen. Für die Druckmessung wird nach GW 303 ein Druckabfall von  $500 \cdot 20\% = 100$  mm WS gefordert. Dieser Druckabfall wird ebenfalls bei 60% des Bedarfs bei -10°C er-

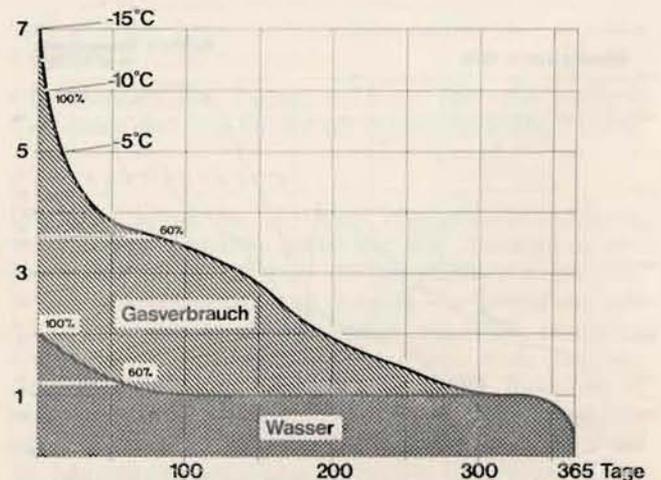


Bild 12: Dauerlinien des Gas- und Wasserverbrauchs

reicht. Ein solcher Verbrauch stellt sich nur an 70 Tagen im Jahr ein.

Bei den meisten Messungen zur Vorbereitung einer Rohrnetzrechnung sind, wie diese Überlegung gezeigt hat, zusätzliche Entnahmen notwendig. Dies gilt besonders für Wasserrohrnetze.

Da die Verbrauchsverteilung aufgrund von Zählerablesungen große Unklarheiten in die Rechnung bringt und diese Unsicherheit eindeutige Aussagen über andere Fehler erschwert, wurde die Berechnung von Netzen mit nur gemessenen Entnahmen entwickelt. Gemessen wird in Zeiten geringsten Verbrauchs, z. B. bei Nacht. Der gemessene Zufluß und der gemessene Verbrauch müssen annähernd gleich sein. Durch geeignete Anordnung der Entnahmen wird es auch möglich, Aussagen über normalerweise wenig durchflossene Netzteile zu machen, was beim Abschiebern von Leitungsabschnitten im Zusammenhang mit Bauarbeiten für den Betrieb von Bedeutung ist. Der Mehraufwand für die aufwendigere Messung wird durch die erhöhte Aussagekraft der Berechnung gerechtfertigt [6; 7].

### Kostenentwicklung

Die in den letzten Jahren rasch steigenden Kosten verursachen mit Recht Unruhe. Für jeden verantwortlichen Ingenieur stellt sich die Frage, welche Möglichkeiten er selbst hat, um auf lange Zeit den Wasserpreis niedrig zu halten.

### Kapitaldienst

In Bild 13 sind die jährlich in einem etwa 150 km langen Wasserrohrnetz für Betrieb, Unterhaltung und Kapitaldienst entstehenden Aufwendungen dargestellt. Links wurden die Ausgaben für das Netz, rechts die Ausgaben für Hausanschlüsse aufgetragen. Die Be-

triebsaufwendungen für das Netz sind im Jahr 1964 gleich der Verhältniszahl eins gesetzt.

Alle Kurven steigen besonders in den Jahren nach 1968 mit zunehmender Teuerung stark an. Auffällig ist die Zunahme der Aufwendungen für Verzinsung und Abschreibung. Sie zeigt, daß in dem betrachteten Zeitraum in großem Umfang Erneuerungen und Erweiterungen im Netz vorgenommen worden sind.

In der Regel werden die steuerlich zulässigen Abschreibungszeiträume ausgenutzt. Der Gedanke, die Aufwendungen für den Kapitaldienst durch Verlängerung der Abschreibungszeiträume zu senken und damit die Gesamtkosten zu verringern, führt nicht zum Erfolg, sondern in den wirtschaftlichen Zusammenbruch. Neubauten und Erneuerungen werden durch Abschreibungen und Schuld aufnehmen finanziert. Nie reichen die Abschreibungen aus. Jedes Unternehmen muß deshalb bestrebt sein, die steuerlich erlaubten Abschreibungsmöglichkeiten voll auszunutzen, um die Schuldaufnahme klein zu halten. Abgeschrieben werden die zum Zeitpunkt des Leitungsbaus entstandenen Aufwendungen. Da bei der laufenden Entwicklung der Bau einer Rohrleitung bereits nach zehn Jahren das Doppelte kostet, ist es unmöglich, die notwendigen Erneuerungen oder gar Erweiterungen allein auf diesem Weg zu finanzieren. Der Wasserversorgung muß ständig Kapital zugeführt werden. Der Wasserpreis muß einem Unternehmen, das gesund bleiben soll, ermöglichen, die höchstmöglichen Abschreibungen, die Verzinsung und die Tilgung aufgenommener Schulden zu erwirtschaften.

### Betriebs- und Unterhaltungskosten

Die Betriebs- und Unterhaltungskosten zu beeinflussen ist sehr schwer, denn Rohrschäden und schadhafte Pumpen müssen instandgesetzt werden. Trotzdem sind kurzfristige Einsparungen denkbar.

Der Anteil der Fremdleistungen läßt sich verringern, indem man bisher vergebene Arbeiten den eigenen Mitarbeitern überträgt. Deren Tätigkeit — meist das Spülen von Endleitungen, das Bewegen von Schieberspindeln, das Anbringen und Prüfen von Hinweisschildern, die Leckstellensuche, Druckmessungen im Netz, die Auswechslung alter Leitungen — kann für einige Jahre unterbleiben. Folgen zeigen sich erst später: Kunden klagen über den Geschmack des Wassers, die Wasserverluste steigen, Schieber schließen, wenn sie nach Jahren einmal gebraucht werden, nicht dicht. Niemand wagt mehr eine Schieberspindel zu drehen, weil die Stopfbüchse nach der geringsten Bewegung undicht wird und neu verpackt werden muß.

Solche Sparmaßnahmen führen zunächst zu geringfügigen Kostensenkungen; falls sie über Jahre durchgehalten werden, verkommt das Netz; die Folgen sind verstärkte Aufwendungen in späteren Jahren.

Welche Möglichkeiten bieten sich, um auf die Dauer wirtschaftlicher zu werden?

In der am Rand der Schwäbischen Alb gelegenen Industriestadt Reutlingen wohnen überdurchschnittlich viele Millionäre. Diese Schwaben wurden nicht

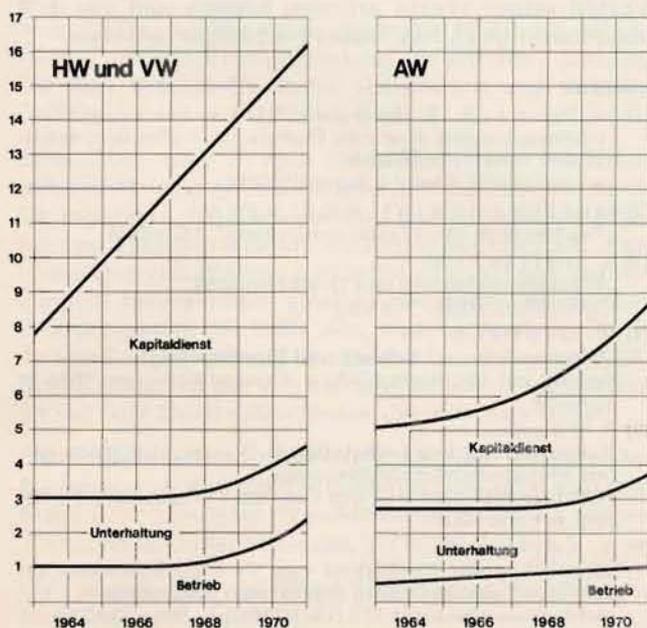


Bild 13: Entwicklung der Jahreskosten: Kapitaldienst, Unterhaltung und Betrieb  
HW = Hauptwasserleitung, VW = Versorgungswasserleitung, AW = Anschlußwasserleitung

dank der oft falsch verstandenen schwäbischen Sparsamkeit wohlhabend, sondern weil sie in der Lage waren, wirtschaftlich zu denken, durch sinnvolle Geldanlage Kosten zu senken, eine sorgfältig gebaute, wenig Unterhaltungs- und Betriebskosten verursachende Anlage anzuschaffen, abzuschreiben und noch Jahrzehnte zu nutzen.

Bei sehr vielen Werken ist noch nicht erkannt worden, daß nur die möglichst lange Nutzung bereits abgeschrieben und noch betriebssicherer Leitungen erlaubt, den Kapitaldienst, die Betriebs- und die Unterhaltungskosten wirksam zu senken. Für die weit verbreitete Fehleinstellung ist bezeichnend, daß Armaturenhersteller, die hochwertige Erzeugnisse auf den Markt bringen, wider besseres Wissen für Ausschreibungen billige Hydranten herstellen, die von Leuten ohne technisches Verständnis und ohne Sinn für Wirtschaftlichkeit trotz mangelhaften Innenschutzes und trotz vorzeitig rostender Teile kritiklos gekauft werden.

Die Käufer treiben durch eigenes Verschulden ihre Betriebs- und Unterhaltungskosten hoch, ohne beim Bau wesentliche Einsparungen zu erzielen und verkürzen die Nutzungszeit.

Bild 14 zeigt, daß die Kosten einer Rohrleitung im Straßenraum besonders bei Nennweiten  $\leq 200$  vom Tiefbau (Fahrbahnwiederherstellung) so stark beeinflußt werden, daß Unterschiede in den Preisen für Rohre, Absperrreinrichtungen und die Verlegung keine Rolle mehr spielen.

Deutlich wird durch dieses Bild, welche Vorteile bei kleinen Nennweiten die gemeinsame Verlegung zweier Leitungen (Gas und Wasser) in einem Graben bringt. Zusammenarbeit verbessert die Wirtschaftlichkeit.

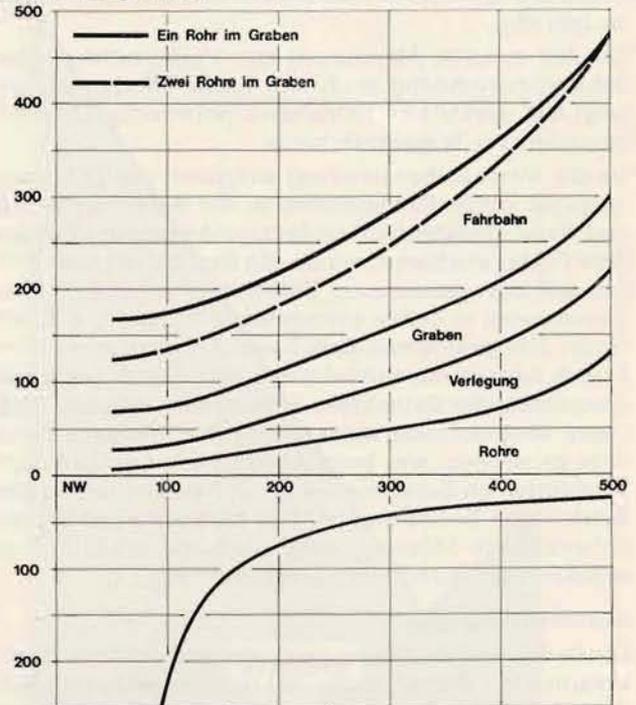
Im unteren Teil sind die Baukosten in  $\text{DM}/\text{dm}^2$  Leitungsquerschnitt dargestellt. Leitungen unter NW 100 zu bauen, bringt keine beachtenswerten Kostenvorteile; derartige Leitungen blockieren aber jede Erweiterungsmöglichkeit. In Großstädten mit teuren Straßendecken sollte NW 100 nicht mehr eingelegt werden. Diese Überlegung ist besonders wichtig, wenn man bedenkt, daß in Großstädten nur wenig mehr als 1%, höchstens 2% der Netzlänge jährlich erneuert werden, eine Leitung also 70 bis 100 Jahre ihre Aufgabe erfüllen muß.

### Schlußbetrachtung

Das umfassende Thema Planung, Bau und Betrieb ist im Rahmen eines Aufsatzes kaum erschöpfend zu behandeln. In vielen Fällen wurden die Probleme nur gestreift. Im wesentlichen sollte gezeigt werden, daß fehlerhafte technische Entscheidungen die Sicherheit der Versorgung und die Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens beeinträchtigen müssen. Sicherheit zu schaffen und die Wirtschaftlichkeit zu erhalten, ist aber die vornehmste Aufgabe eines Ingenieurs in verantwortlicher Stellung.

Der häufig geäußerte Satz: „Ein wagemutiger Ingenieur schadet dem Unternehmen“ ist genauso richtig wie die Gegenbehauptung: „Ein wagemutiger In-

### DM/m Baukosten



### DM/dm<sup>2</sup> Querschnitt

Bild 14: Baukosten (Mindestkosten) für Rohrleitungen im Straßenraum: oben bezogen auf die Länge, unten bezogen auf den Querschnitt

genieur bringt wirtschaftliche Vorteile.“ Dazwischen liegt das Abwägen der möglichen Risiken aufgrund fachlichen Wissens. Nur wer dieses Wissen besitzt und wirtschaftlich zu denken versteht, wird langfristig zum Vorteil seines Werks arbeiten können und vor dem unnachsichtigen Urteil seiner Nachfolger bestehen.

### Literatur

- [1] W. Wunsch, F. Tuppek, H. Plett  
„Untersuchungen über den Einfluß der Außentemperatur auf den Wasserverbrauch“  
gwf 100 (1959), Heft 14, Seite 333/336
- [2] Mutschmann-Stimmelmayer  
„Taschenbuch der Wasserversorgung“, München
- [3] K. Hofrichter  
„Wasserspeicherung und Druckregelung“  
Unveröffentlichter Vortrag
- [4] W. Drobeck  
„Wasserverluste; Ausmaß und Eindämmung“  
Beitrag zur Wasserfachlichen Aussprachetagung 1966 in Koblenz
- [5] P. Unger  
„Lokalisierung von Leckstellen in Wasserrohrnetzen mittels Mengendurchflußmessungen“  
FGR-Informationen für das Gas- und Wasserfach (1973), Heft 8, Seite 32/36
- [6] A. Kottmann  
„Ermittlung der Rauigkeit von Versorgungsnetzen auf der Grundlage kurzzeitig gemessener Entnahmen“  
gwf-wasser/abwasser 113 (1972), Heft 6, Seite 249/253
- [7] A. Kottmann  
„Kritische Betrachtung der heutigen Rohrnetzrechnungen“  
FGR-Informationen für das Gas- und Wasserfach (1973), Heft 8, Seite 27/31

# Bau der Ostringleitung aus duktilen Gußrohren NW 800 mit TYTON-Verbindungen

Von Hans Dieter Kuhlmann

## I. Allgemeines

Um die Wasserversorgung der Neubaugebiete Roderbruch, Kronsberg, Anderten und Misburg sicherzustellen, ist es erforderlich, von der Wassertransportleitung NW 1000 (Heidewerke — Hannover) in Langenhagen bis zur Einmündung in die Fuhrberg II-Leitung NW 700 die Ostringleitung zu bauen (Bild 1). Die Rohrnetzbeurteilung vom Dezember 1970 hat ergeben, daß eine 800 mm weite Leitung erforderlich ist, die erhebliche Druckverbesserungen (0,5 bis 1,0 bar) und zusätzliche Wassermengen (rd. 20 000 m<sup>3</sup>/d) in die o. a. Gebiete bringen wird.

## II. Werkstoffwahl

Die Werkleitung entschloß sich aufgrund der o. a. Rohrnetzbeurteilung zum Bau einer Hauptleitung mit Zementmörtelauskleidung der Nennweite 800 bei einem Betriebsdruck von 16 bar (ND 16).

Nun stellte sich die Frage nach der Wahl des Werkstoffes und der Rohrverbindung für die neue Leitung. Die drei Werkstoffe Stahl, Spannbeton und duktiles Gußeisen standen zur Diskussion.

Es mußten viele Fragen beantwortet und Probleme untersucht werden, als da sind der Korrosionsschutz, Verlegepreis, das Gewicht und die sich daraus ergebenden Transportkosten, spätere Anbohrungen, Verbindungen mit anderen Leitungen, die Art der Verbindungen. Insbesondere spielte, wie immer bei solchen Großprojekten, der Preis eine entscheidende Rolle. In diesem Zusammenhang machte der Hersteller von duktilen Gußrohren die Werkleitung auf den Paragraphen 3.1 der DIN 28600 aufmerksam, der wie folgt lautet:

„Auf besondere Vereinbarung können Rohre unter Beibehaltung des Rohr-Außendurchmessers mit größeren oder kleineren Wanddicken, die auf der obigen Wanddickenklasse aufbauen, gefertigt werden.“

Die angesprochene Wanddickenklasse beträgt für Nennweite 150 bis 1200:

$$s = 5 + 0,01 \text{ NW}$$

Der Rohrhersteller schlug vor, nicht die bei NW 800 nach DIN 28610 vorgesehene Wanddicke von 13 mm

zu wählen, sondern von der o. a. Möglichkeit Gebrauch zu machen.

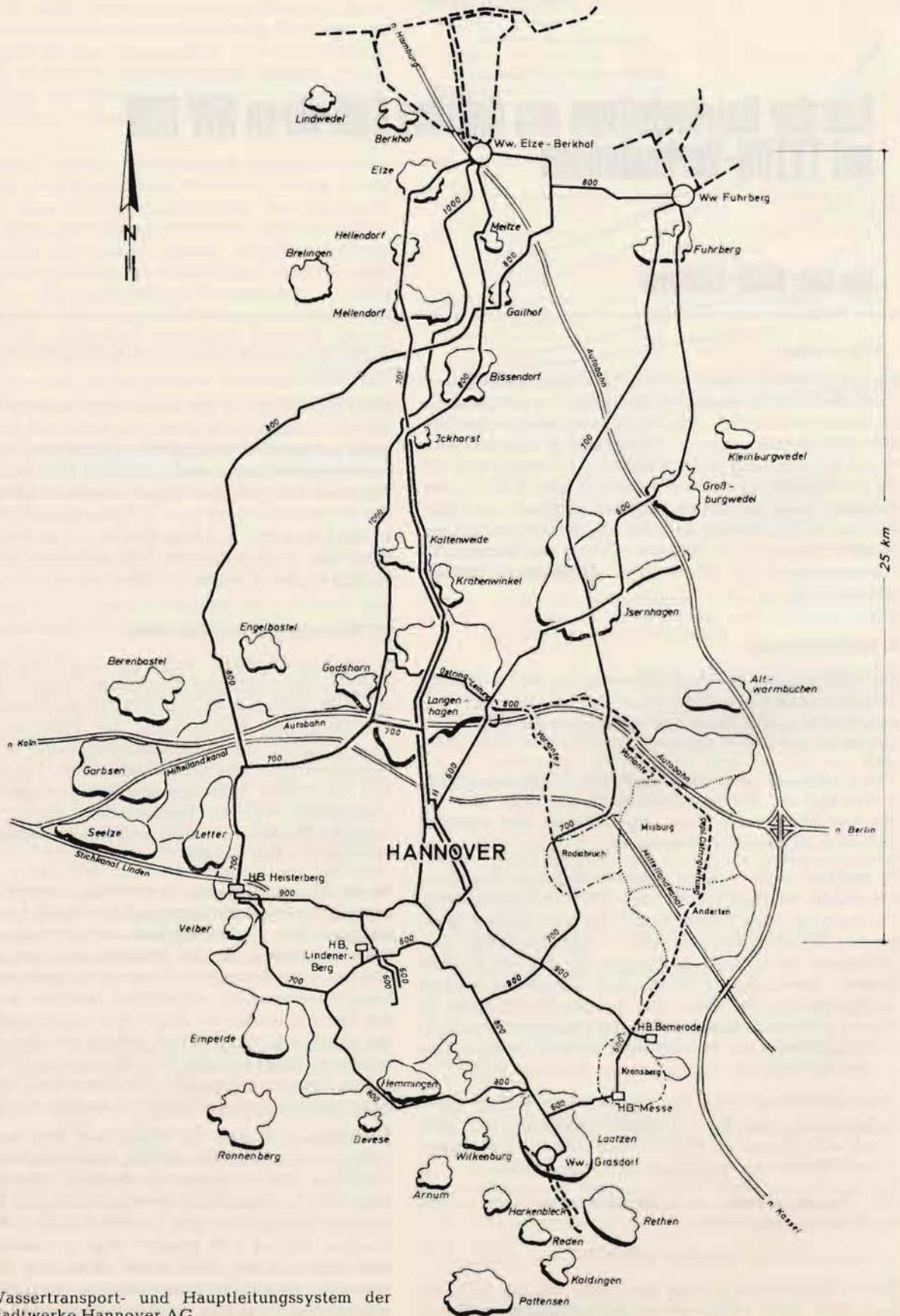
Das Für und Wider des einen oder anderen Werkstoffes wurde sorgsam abgewogen. Dann fiel die Entscheidung zu Gunsten des duktilen Gußrohres mit Zementmörtelauskleidung und TYTON-Muffenverbindung aufgrund des sehr günstigen Preises. Das Rohr NW 800 mit einer Wanddicke  $s = 11,7$  mm stellt für die Stadtwerke Hannover AG kein Risiko dar, zumal der Rohrhersteller auch in diesem Fall alle Garantien für die Festigkeit des Werkstoffes übernommen hat.

## III. Planung und Grunderwerb

Es mußten die Fach-, Regional- und Überregionalplanungen vom Verband Großraum Hannover (Körperschaft öffentlichen Rechts), der Straßenbauverwaltung, der Deutschen Bundesbahn, der Flughafen Langenhagen GmbH, der Bundesvermögensverwaltung, der Organisationen des niedersächsischen Landvolkes sowie sämtlicher Leitungsverwaltungen untereinander abgestimmt werden. Insbesondere mußte auf schon erstellte Flächennutzungs- und Bebauungspläne Rücksicht genommen werden.

Es wurde versucht, der Trasse eine zügige Linienführung zu geben und diese mit der Stadt Langenhagen abzusprechen. Dabei ergaben sich unvorhergesehene Schwierigkeiten, da die ursprünglich von den Stadtwerken vorgeschlagene Trassenführung von der Stadt Langenhagen nicht akzeptiert werden konnte und die Ostringleitung im Zuge einer Anliegerstraße mitten durch ein Wohngebiet gebaut werden sollte. Der massive Einspruch der Betroffenen mit Hilfe der örtlichen Presse hat bewirkt, daß dann doch die zunächst vorgesehene Trasse ausgeführt werden mußte.

Die Leitung wurde im Grundbuch des betreffenden Amtsgerichts durch Eintragung einer beschränkten persönlichen Dienstbarkeit zu Gunsten der Stadtwerke Hannover AG gesichert. Die Entschädigung für den 3 m breiten, beiderseits der Leitung verlaufenden Streifen betrug 0,75 DM/m<sup>2</sup>. Nur in einem Fall verpflichtete sich die Stadtwerke Hannover AG, zusätzlich eine einmalige Entschädigung an einen Privateigentümer zu zahlen, da der Bebauungsplan auf dem



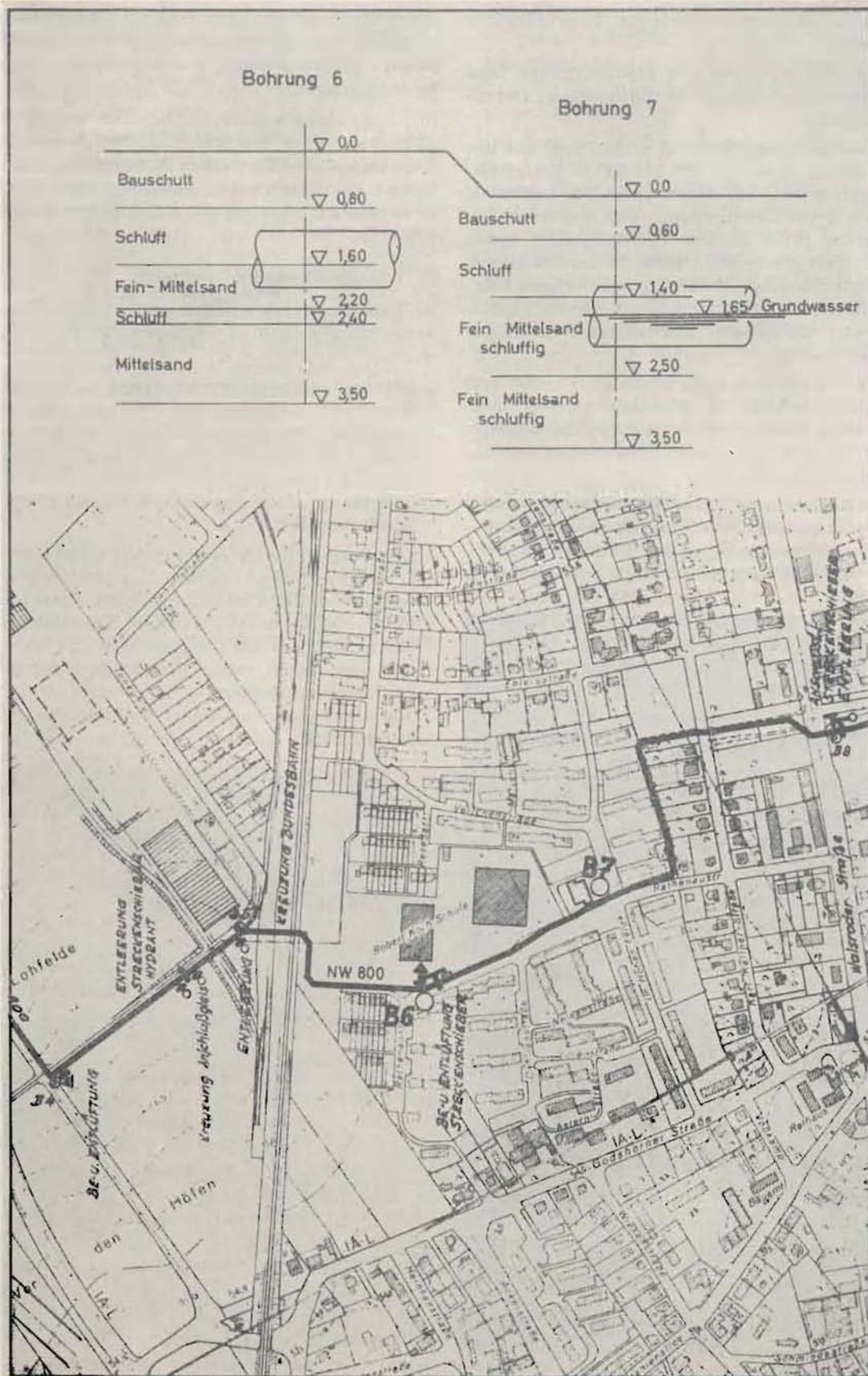


Bild 2: Trassenplan mit eingetragenen Bohrprofilen

entsprechenden Grundstück Garagen bzw. Einstellplätze vorsieht.

Nachdem die Wasserwerke die Leitungstrasse festgelegt hatten, wurde ein Ingenieurbüro mit der Detailplanung beauftragt.

Gleichzeitig erhielt eine Firma den Auftrag, auf der gesamten Trassenlänge alle 200 bis 300 m Probebohrungen vorzunehmen, um dem planenden Ingenieur einen Einblick in die Grundwasser- und Bodenverhältnisse zu geben (Bild 2). Der Rohrhersteller nahm Bodenproben und führte elektrische Widerstandsmessungen im Erdreich durch. Diese Untersuchungen führten dazu, daß auf der gesamten Strecke keine zusätzliche Isolierung als äußerer Korrosionsschutz aufgebracht werden mußte.

Es wurden Übersichtspläne im Maßstab 1 : 5000 und Lage- und Höhenpläne im Maßstab 1 : 1000 bzw. 1 : 1000/100 hergestellt. Hieraus konnten die benötigten Formstücke und Armaturen entnommen und bestellt werden.

Die Stadtwerke Hannover AG — Wasserwerke — sind bei den Kreuzungsanträgen an die entsprechenden Behörden immer davon ausgegangen, Bundes-, Landes-, Kreis- oder Gemeindestraßen in offener Baugrube im Schlitzverfahren bei halbseitiger Sperrung (zum Teil mit Lichtsignalanlage) zu durchqueren, da die Kosten für eine Durchpressung mit Schutzrohren aus Walzblech aufgrund der in der Ausschreibung enthaltenen Bedarfsposition bisher immer sehr viel höher waren.

Aufgrund des großen Zuspruchs unter den Baufirmen hat ein Großbauunternehmen für die Durchpressung

einer Bundesstraße allerdings ein solch gutes Angebot gemacht, daß die Wasserwerke daran nicht vorbeisehen konnten. Deshalb wurde auch diese Bundesstraße durchpreßt.

Im allgemeinen werden nur dort, wo der Verkehr voll aufrechterhalten bleiben muß, bei Autobahnen und Gleisanlagen der Deutschen Bundesbahn und des Flughafens, Mantelrohre aus Walzblech verwendet. In diese wird das Produktenrohr aus duktilem Gußeisen eingeschoben (Bild 3).

#### IV. Ausschreibung und Vergabe

Bei dem hier beschriebenen Projekt sind folgende Vorbemerkungen zum Leistungsverzeichnis aufgestellt worden:

„Die im Leistungsverzeichnis ausgeschriebenen Bauleistungen umfassen die Verlegung der Hauptleitung NW 800 (Ostringleitung) aus duktilem Gußeisen mit Zementmörtelinnenauskleidung, ausgelegt auf einen Betriebsdruck bis zu 16 bar (ND 16) und die im Zuge der Rohrverlegung erforderlichen Sonderbauwerke.

Die Trasse der zu verlegenden Leitungsstrecke im 1. Bauabschnitt ist aus dem Lageplan zu ersehen. Sie beginnt an der Einbindung in die Transportleitung NW 1000 in der Gemarkung Langenhagen, etwa 350 m westlich der Bundesstraße 522 und erstreckt sich nach Osten, indem die Ortslage der Stadt Langenhagen durchquert wird, bis etwa 150 m nordöstlich der Autobahnauffahrt Bothfeld der Autobahnstrecke Berlin—Köln.

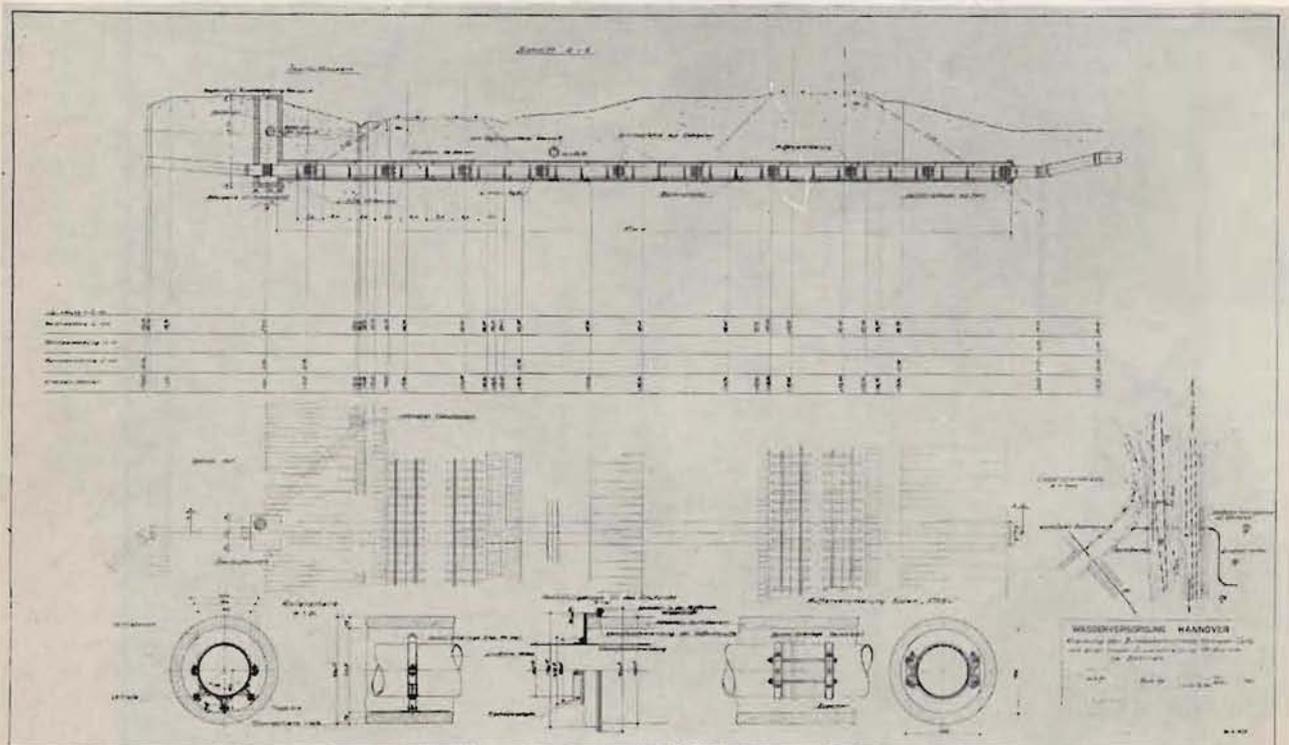


Bild 3: Kreuzung der DB-Strecke Hannover—Celle

Die Gesamtlänge des 1. Bauabschnittes beträgt rd. 5 730 m und ist in 2 Baulose unterteilt ausgeschrieben.

Die Sonderbauwerke, bei denen Mantelrohre aus Walzbeton gepreßt werden müssen, sind als getrenntes Baulos ausgeschrieben.

Der Auftraggeber behält sich vor, die Bauleistungen gemeinsam oder getrennt zu vergeben, und zwar nach Baulosen mit und ohne Sonderbauwerke bzw. die Sonderbauwerke allein.

Bei der Preisermittlung ist davon auszugehen, daß eine getrennte Vergabe erfolgen kann.

Eventuelle Nachlässe, die bei einer Beauftragung für beide Baulose bzw. bei Einbeziehung der Sonderbauwerke gegeben werden, sind in der Gesamtzusammenstellung am Schluß des Leistungsverzeichnisses aufzugeben.

Aufgrund dieser Aufteilung ergeben sich die anzubietenden Bauleistungen wie folgt:

#### **Baulos 1**

Das Baulos 1 umfaßt die Bauleistungen für die Rohrverlegung auf rd. 2 000 lfdm. (abzüglich Sonderbauwerke) mit sämtlichen hierbei erforderlichen Sonderleistungen, die Kreuzung von Straßen, Be- und Entlüftungsbauwerke, Entleerungseinrichtungen usw.

#### **Baulos 2**

Das Baulos 2 umfaßt die gleichen Leistungen wie Baulos 1 auf einer Länge von rd. 3 700 m.

#### **Baulos 3**

Das Baulos 3, Sonderbauwerke, enthält:

1. Kreuzung der Bundesbahnstrecke Hannover—Walsrode und besteht aus dem Pressen von Mantelrohren aus Walzbeton 1,66 m Außendurchmesser unter dem Bahnkörper, dem Einbau der Druckrohre NW 800, Bau des Kontrollschachtes und sämtlichen hierfür erforderlichen Arbeiten.
2. Kreuzung des Anschlußgleises der Firma Reemtsma.
3. Kreuzung der K 61, Walsroder Straße, mit Mantelrohren aus Walzbeton 1,66 m Außendurchmesser und Einbau der Druckrohre NW 800.

#### **4. Alternativ-Angebot:**

1 Kreuzung der B 522 durch das Pressen von Mantelrohren aus Walzbeton 1,66 m Außendurchmesser und Einbau der Druckrohre NW 800.

Bei der Ausführung der Arbeiten sind die Straßen, Wege und Privatgrundstücke weitgehend zu schonen. Die Vorschriften, Anweisungen und Wünsche der Verwaltungen und Eigentümer sind unbedingt zu berücksichtigen.

Bezüglich des zur Verfügung stehenden Arbeitsraumes gilt folgendes:

Im allgemeinen kann ein Arbeitsraum von 20 bis 22 m für die Durchführung der Rohrverlegung in Anspruch genommen werden.

Diese Möglichkeit kann nur da eingeräumt werden, wo beiderseits der Rohrleitungstrasse der ausreichende Raum zur Verfügung steht. Auf erheblichen Strecken ist diese Möglichkeit nicht gegeben, im besonderen im Bereich des Bauloses 1. Hier sind den Gegebenheiten entsprechend die Arbeiten so durchzuführen, wie die angetroffenen Umstände es erlauben. Bei den Verlegestrecken mit eingeschränktem Arbeitsraum ist der Rohrgraben zu verbauen, der Aushub im Bedarfsfalle abzufahren und bis zum Einbau zwischenzulagern.

Die durch eine Überschreitung der angeführten Begrenzungen verursachten Schäden hat der Auftragnehmer zu tragen.

Bei der Preisermittlung ist zu beachten, daß eine in jeder Beziehung einwandfreie, nach den besten Regeln der Technik bzw. des Handwerks hergestellte Arbeit gefordert wird. Jeder Versuch, die Güte der Arbeit herabzumindern oder minderwertige Stoffe



Bild 4: Rohrgraben mit gerader Seitenwand und Aussteifung

zu liefern, wird von der Bauleitung zurückgewiesen. Mit der Unterschrift des Angebotes erkennt der Auftragnehmer an, daß er sich über die Lage der Baustelle und alle Nebenumstände der Bauausführung genaue Kenntnis verschafft hat.

Der Umfang der durch den Auftragnehmer anzubietenden Leistungen und Lieferungen ist im Leistungsverzeichnis festgelegt. Die Lieferung sämtlichen zur Erzielung einer einwandfreien Bauleistung erforderlichen zusätzlichen Materials hat durch den Auftragnehmer zu erfolgen und ist in die Einheitspreise des Leistungsverzeichnisses einzurechnen.

Die Verwendung des vom Auftragnehmer gelieferten Materials unterliegt der Genehmigung durch die Bauleitung. Eine Entschädigung für entgangenen Gewinn bei Minderleistungen, auch wenn diese über den von der VOB vorgesehenen Prozentanteil hinausgehen, wird nicht gewährt.

Tagesberichte mit detailliertem Arbeitsablauf und Angaben der Belegschaftsstärke sind täglich der örtlichen Bauleitung zuzuleiten.

Vom Auftragnehmer ist für die gesamte Bauzeit ein erfahrener Bauleiter, der nachweislich Rohrver-



Bild 5: Straßenkreuzung mit eingezogenem Produktenrohr und Kabelschutzrohren



Bild 6: Anschluß NW 800/600

legungsarbeiten verantwortlich leiten kann, bereit-zustellen.“

Als Vergabeart wurde die freihändige Vergabe mit öffentlichem Hinweis gewählt. Bei der Stadtwerke Hannover AG ist diese Form der Ausschreibung seit einiger Zeit üblich, obwohl die Bauindustrie sicher nicht sehr glücklich hierüber ist und sie auch nicht der Verdingungsordnung für Bauleistungen entspricht. Aber allzu oft werden die kaufmännischen Gesichtspunkte über technische gestellt, obwohl gerade die Technik in einem rein technischen Unternehmen dominieren sollte.

Die gesamte Baumaßnahme von rd. 5,7 km Länge wurde an eine Firma aus Langenhagen vergeben. Die Sonderbauwerke (Durchpressungen) führte die hannoversche Niederlassung eines deutschen Großbauunternehmens durch.

#### V. Bauausführung und -überwachung

Die Oberbauleitung und Überwachung lagen in den Händen der Stadtwerke Hannover AG — Wasserwerke —, da hierdurch die Belange des Rohrnetzbetriebes am besten gewahrt und die während der Bauzeit auftretenden Schwierigkeiten sowohl mit Behörden als



Bild 7: Überlaufbauwerk mit Rückschlagklappe

auch mit Privateigentümern oder Pächtern schnell und unbürokratisch behoben werden konnten.

Die Rohre wurden in der Innenstadt von Langenhagen nach Bedarf beim Rohrhersteller abgerufen. Dort, wo eine freie Trasse und Platz genug vorhanden war, erfolgte die Rohrlieferung kontinuierlich über gut 4 Monate.

Die gesamte Baumaßnahme sollte 1 Jahr dauern. Durch unvorhergesehene Schwierigkeiten im Innenstadtbereich arbeitete die Baufirma von August 1972 bis Dezember 1973. Daraus ergab sich eine Verlegeleistung von 20 bis 25 m pro Arbeitskolonne und Tag.

Die Bilder 4 bis 7 geben einen Einblick in einige wesentliche Details des Projektes.

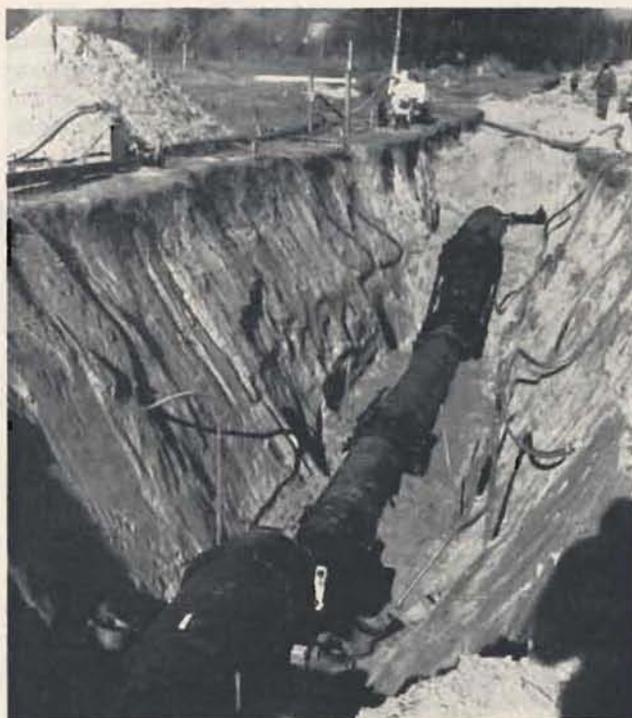


Bild 8: Verlegter Düker NW 800

Die Druckprüfung der verlegten Leitung erfolgte nach DIN 4279 „Richtlinien für Druckprüfung (Innendruckprüfung)“.

Abweichend von den dort angegebenen Werten haben sich maximale Längen der Prüfstrecken von 800 bis 1000 m bewährt.

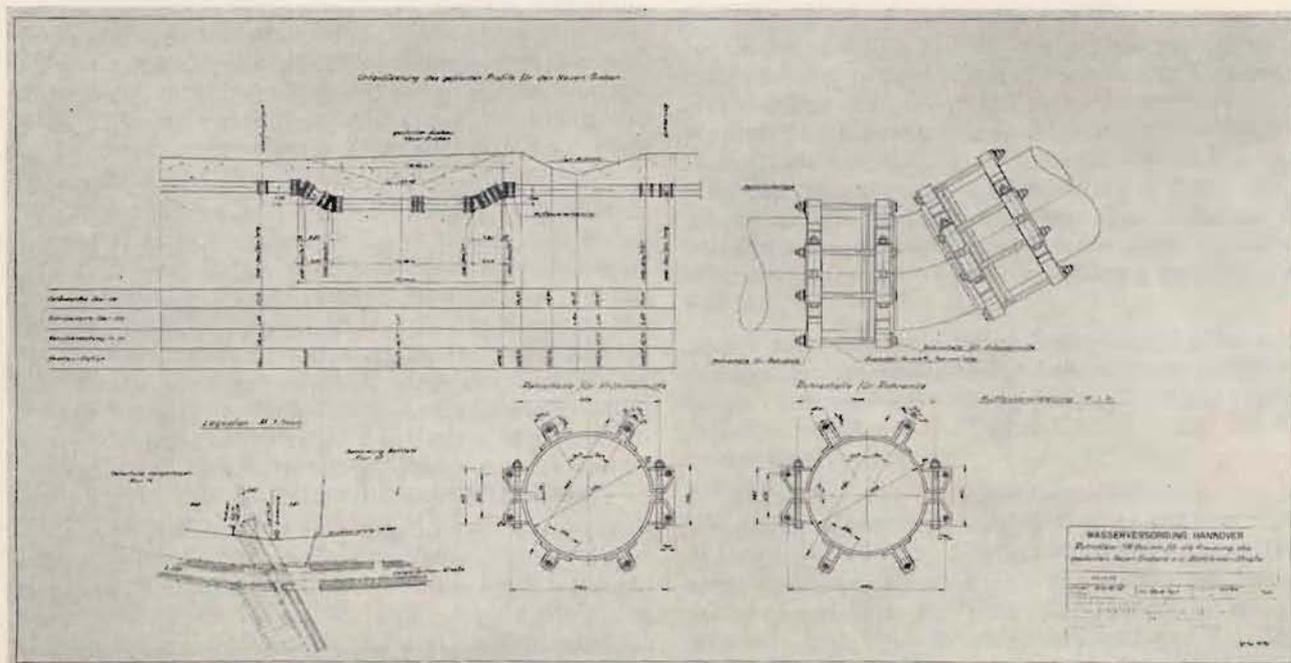


Bild 9: Konstruktionszeichnung des Dükers NW 800

Bei einer Druckprüfung, in deren Bereich ein Düker für einen noch auszubauenden Graben lag, zeigten sich Undichtheiten in den aufgehenden Schenkeln. Die Konstruktion war offensichtlich nicht stark genug bemessen, da der als Auflast wirkende Boden ein Ausweichen der Krümmer nicht verhindert hatte. Durch entsprechende Betonwiderlager konnte der Mangel behoben werden (Bild 8 und 9).

#### VI. Zusammenfassung

Nachdem der 1. Bauabschnitt der Ostringleitung ohne größere Schwierigkeiten fertiggestellt und in Betrieb genommen worden ist, wird sich wahrscheinlich durch die Übernahme von Harzwasser zum 1. Januar 1976 die Variante 1 dieser Leitung nicht zu Ende führen lassen, sondern es wird durch die verstärkte Südeinspeisung die Variante 2 (siehe Bild 1) zum Tragen kommen. Dies wird aber noch durch eine weitere Rohrnetzbeurteilung untermauert werden müssen. Es ist vorgesehen, die Ostringleitung bis zum Jahre 1980 endgültig fertig zu bauen.

Zum Schluß noch ein Wort zu den Kosten: Das gesamte Projekt mit einer Länge von rd. 20 km ist 1971 mit

15,8 Mio. DM veranschlagt worden. Der 1. Bauabschnitt von rd. 5,7 km hat ca. 3,5 Mio. DM gekostet.

Die nachstehende Tabelle gibt einen guten Einblick in die beim Bau der Ostringleitung entstandenen Kosten:

	Druckrohrleitung aus duktilem Gußeisen mit TYTON-Muffenverbindung — Ostringleitung — $\varnothing$ 800 in freiem Gelände und städtischem Bereich, rd. 5,7 km 1. Bauabschnitt 1972 bis 1973
Rohrmaterial, Formstücke, Armaturen; einschl. Transport und Verstreckung	320,—
Bauarbeiten und Durchpressungen	260,—
Sonstiges: Planung, Vermessung, Probebohrungen, Straßenbauarbeiten, Grunddienstbarkeit, Flurschäden	20,—
Gesamt: DM/m	600,—

## 125 Jahre Freiburger Gasversorgung im Wandel der Zeiten

Von Richard Funk

In diesem Jahr begeht die Freiburger Gasversorgung ihren 125. Geburtstag. Von den ersten Anfängen der Gasstraßenbeleuchtung bis zu dem gerade angebrochenen Erdgaszeitalter war es ein weiter und nicht immer sorgenfreier Weg.

Schon vor 1850 hatte sich die Stadt Freiburg darum bemüht, die mangelhafte Ölbeleuchtung in den Straßen durch das neuzeitliche bessere Gaslicht zu ersetzen. Die unruhigen Zeiten schoben jedoch dieses Ereignis noch etwas hinaus. Der Bau des ersten Gaswerkes erfolgte schließlich auf private Initiative an einem Platz, wo heute längst schon wieder eine beachtenswerte Kirche steht. Am 1. Dezember 1850 erhellte erstmals das Gaslicht die Freiburger Straßen. Das war ein großer Fortschritt gegenüber der als völlig unzureichend empfundenen Ölbeleuchtung. Viele Bürger und Fabrikanten entschlossen sich, ihre Wohnungen und Fabriken mit Gas zu beleuchten. Um 1900 brannten in Freiburg etwa 1000 Gaslaternen und 30 000 private Gasbeleuchtungen.

Der aufblühende Wohlstand und die Vergrößerung der Stadt brachten eine schnelle Zunahme des Gasbedarfs mit sich, und die Einrichtungen im Gaswerk sowie das Rohrnetz mußten laufend erweitert werden. Nach 35jähriger ständiger Aufwärtsentwicklung lieferte dieses erste Gaswerk immerhin schon etwa 1 Mio m<sup>3</sup> Gas im Jahr.

Im Jahre 1885 baute die Stadt Freiburg, nun aber in eigener Regie, ein neues Gaswerk neben dem Bahngelände, ebenfalls im südlichen Stadtbereich. Dieses Gaswerk war für eine anfängliche jährliche Produktion von 2 Mio m<sup>3</sup> ausgelegt. An diesem Platz machte die Gasversorgung in weiterem 50jährigen Bestehen alle Wandlungen mit, die sich durch den technischen Fortschritt und die steigenden Anforderungen ergaben. Es folgten nacheinander der Umbau von Horizontalretorten zu Vertikalretorten, dann zur Kokswassergasanlage und zuletzt zur Vertikalkammeranlage.

Der rasche Aufschwung war dem Siegeszug des Gases in Küche und Bad zu verdanken. Ende der 20er Jahre war das Platzangebot für zusätzliche Erweiterungen schon wieder zu klein. Bei einer Endleistung von 12 Mio m<sup>3</sup> im Jahr mußte dann schließlich an eine erneute Verlegung des Gaserzeugungsbetriebes gedacht werden.

Das neue Gaswerk an der Hans-Bunte-Straße im Norden der Stadt entstand unter der Leitung des Herrn Oberbaudirektor Ernst Cordell. Es wurde 1936 in Betrieb genommen und hat zusammen mit einer modernen Kohlenwassergasanlage, die 1956 in Betrieb ging, ein weiteres Vordringen des Gases im Haushalt, im Gewerbe und in der Industrie ermöglicht. Auch der Oberbadische Raum bis nach Badenweiler im Süden und Breisach im Westen wurde in steigendem Maße aus dem Freiburger Gaswerk versorgt.

In den Jahren nach 1950 drängte jedoch das Heizöl als neuer Energieträger auf den Markt. Dadurch wurde der Koksabsatz in den revierfernen Gaswerken immer problematischer. Auch andere kostenbeeinflussende Faktoren kamen hinzu, und so wurde die Position der eigenerzeugenden Gaswerke im Süddeutschen Raum immer schwieriger. Angesichts dieser nachteiligen Entwicklung kam es in Baden-Württemberg zur Gründung einer Ferngasgesellschaft (GVS) durch die größeren Städte des Landes. Auch Freiburg beteiligte sich an diesem richtungsweisenden Projekt.

In schneller Folge wurde ein leistungsfähiges Gas-transportnetz gebaut. Im Hintergrund der Überlegungen standen die großen Erdgasfunde in Holland und Nordafrika. Bis zum Einsatz dieses hochwertigeren Naturgases entschloß man sich, als Übergangslösung Stadtgas nur noch in wenigen großen Produktionsstätten zu erzeugen und die unrentablen mittleren und kleineren Gaswerke entlang des neuen Ferngasnetzes stillzulegen. Dies war auch in Freiburg Ende 1965 der Fall.

Bald waren die ersten Erdgasbezugsverträge zwischen den Ferngasgesellschaften und den Erdgasproduzenten unter Dach und eine große Erdgas-Transportschiene zwischen Holland und dem Süddeutschen Versorgungsraum verlegt.

In Freiburg wurde das neue Gaszeitalter noch zu Zeiten der Gaseigenerzeugung 1962 durch die Einführung verbrauchsfördernder Heizgastarife vorbereitet. Bild 1 zeigt die Entwicklungsstufen der Freiburger Gasversorgung seit 1850. Besonders interessant ist die Entwicklung seit 1962. Wurden während der deutlichen Stagnation von 1957 bis 1962 noch 130 Mio Mcal ins Netz gegeben, so werden es im Jahre 1975 weit über

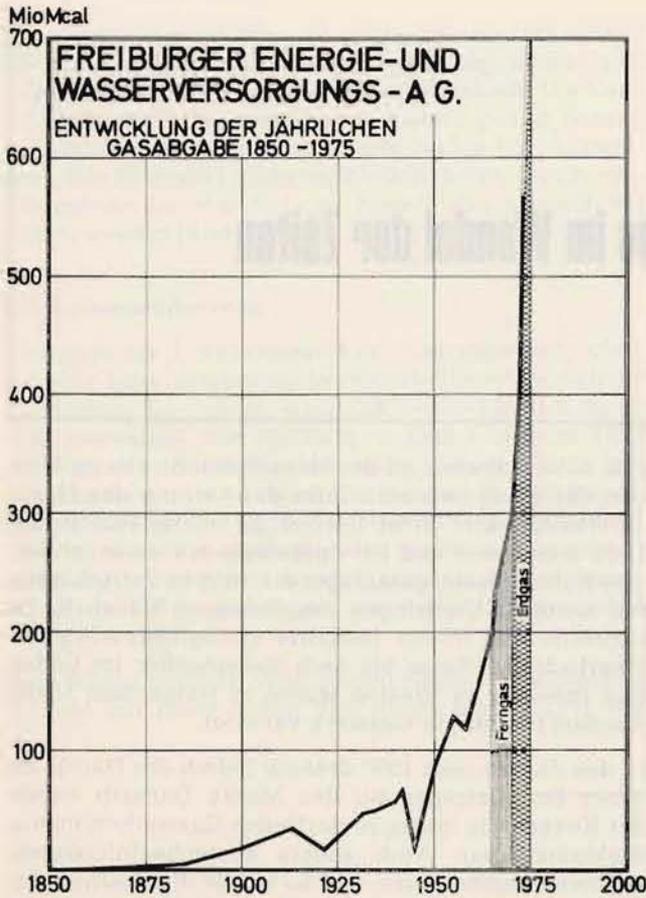


Bild 1: Entwicklung der Gasabgabe von 1850 bis 1975

800 Mio Wärmeeinheiten sein. Diese gewaltige Steigerung der Gasabgabe spricht für sich. Über 40% der angeschlossenen Gaskunden haben sich inzwischen für eine Gasheizung entschlossen. Diese

erfreuliche Entwicklung wird sich, so hoffen wir, bei zunehmender Wohnraumsanierung noch viele Jahre fortsetzen. Im großen Umfang hat Erdgas inzwischen auch Eingang in größeren Heizzentralen und bei der Industrie gefunden.

**Die Entwicklung des Gasrohrnetzes**

Während sich das Gasrohrnetz in den ersten Jahrzehnten auf wenige Straßenzüge der Innenstadt beschränkte, setzte mit dem Übergang des zunächst privaten Gaswerkes in die Verfügung der Stadt Freiburg eine größere und langfristig anhaltende Bautätigkeit ein. Diese Entwicklung wurde nicht nur durch das Vordringen des Gases im Haushalt beeinflusst. Ein weiteres Ereignis kam der Ausdehnung des Gasrohrnetzes zustatten, die Einrichtung einer zentralen Trinkwasserversorgung.

Jahrhunderte hindurch war die Bevölkerung auf die allerdings reichlich fließenden Laufbrunnen angewiesen. Mit der beschleunigten Berohrung der Innenstadt und der Verlegung von Wasserhausanschlüssen wurde dem Wunsche der Freiburger Bevölkerung nach mehr Hygiene und Wasserzapfstellen in Küche, WC und Bad Rechnung getragen. Mit der Zusammenlegung der Gas- und Wasserversorgung in eine Hand war es im Laufe der Zeit möglich, grundsätzlich Gas- und Wasserleitungen in einem Rohrgraben zu verlegen. Bei dieser wirtschaftlichen Verlegungsart, die heute ausnahmslos praktiziert wird, sind die Aufwendungen um etwa 30% geringer als für zwei einzelne Rohrgräben. An späterer Stelle wird nochmals Gelegenheit sein, über die Vorteile einer gemeinsamen Verlegung von Gas- und Wasserleitungen im Zuge von Rohrnetz- und Hausanschlusserneuerungen zu berichten. In Bild 2 wird die Entwicklung des Freiburger Gasrohrnetzes im Wandel des jeweils zur Verfügung stehenden Rohrmaterials dargestellt. Zu Beginn der Gas- und Was-

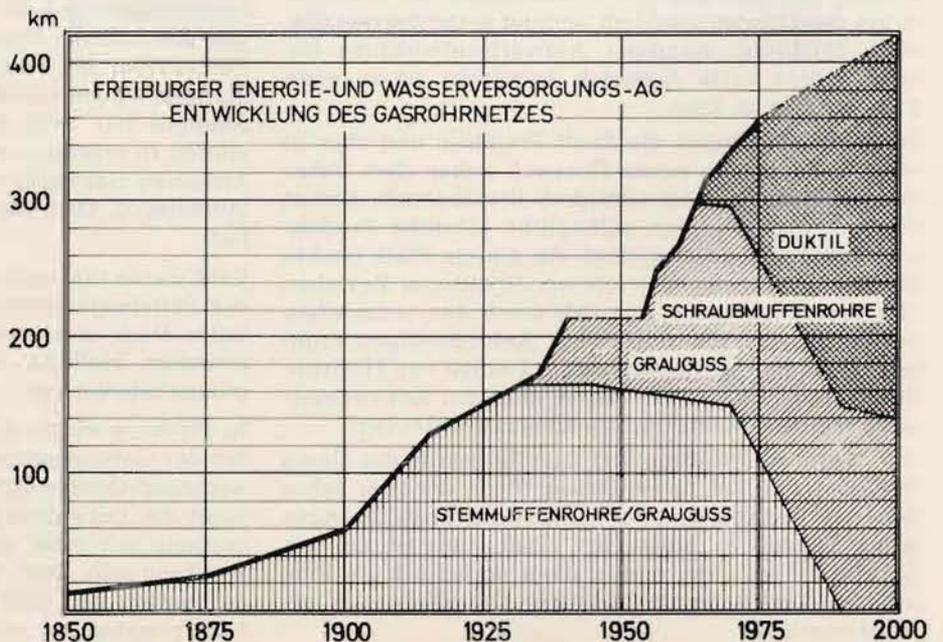


Bild 2: Entwicklung des Gasrohrnetzes im Wandel des jeweils zur Verfügung stehenden Rohrmaterials

serversorgung stand das Graugußrohr mit Stemmuffen-Verbindung zur Verfügung. Dieses wurde zunächst noch einzeln in liegenden, zweiteiligen Sandformen, später in stehenden, nahtlosen Sandformen gegossen. Im Jahre 1885 ging man dazu über, die Rohre in stehend angeordneten Sandformen auf einem Drehgestell in weitgehend mechanisierter Fertigung abzugießen. Erst 1926 kam in Deutschland das Schleudergießverfahren zum Durchbruch. Damit ergab sich eine weitere Materialverbesserung. Doch auch die vorher verlegten Graugußrohre haben sich so gut bewährt, daß sie zum großen Teil heute noch in Betrieb sind.

Das gußeiserne Rohrmaterial hat sich in dem groben und wasserfreien Freiburger Schotterboden in besonderem Maße bewährt. Was die Haltbarkeit betrifft, muß erwähnt werden, daß Rohrbrüche trotz der starken schwingenden Verkehrsbelastungen selten vorkommen. Bei Aufgrabungen der bis zu 100 Jahre alten Leitungen verblüfft immer wieder die gute innere und äußere Beschaffenheit der Rohrwand.

Von großer Bedeutung für die Zuverlässigkeit einer Rohrleitung ist die Rohrverbindung. Vom Jahre 1850 bis zum Jahre 1933 wurden in Freiburg ausschließlich Graugußrohre mit Stemmuffen verlegt. In den Muffengrund wurden mit Teeröl getränkte Hanfstricke eingelegt und verstemmt. Als Abschluß wurde Bleiwolle bzw. Riffelblei gestemmt. Die Herstellung solcher starren Muffenverbindungen erforderte viel Geschick und stellte hohe Anforderungen an die Zuverlässigkeit des Rohrlegers.

Die Dichtheit solcher Muffen war auf Jahrzehnte gewährleistet, jedoch nur so lange, als die Verkehrsbelastung durch schwere Kraftfahrzeuge noch in Grenzen blieb und feuchtes Gas durch die Rohre geleitet wurde, das die mit Teeröl getränkten Hanfstricke der Muffe in Quellung hielt.

Nach dem Übergang auf trockenes und benzolfreies Raffinerie- und Erdgas war diese Voraussetzung bei den Stemmuffen-Dichtungen nicht mehr gegeben, und es stellten sich auch für Freiburg Probleme, die zusätzliche Sanierungsmaßnahmen erforderlich machten. Zur Ehrenrettung der stemmuffengedichteten Graugußrohre bleibt aber festzuhalten, daß konkurrierende, jedoch erst ab etwa 1920 erhältliche Rohrmaterialien nicht über so lange Zeiträume den äußeren und inneren Angriffen standgehalten hätten und ein Materialaustausch schon wesentlich früher erforderlich gewesen wäre.

Ab 1934 wurden in Freiburg, wie Bild 2 zeigt, ausschließlich gummigedichtete Schraubmuffenrohre verlegt. Im Gegensatz zur Stemmuffe ist die Schraubmuffe als bewegliche Rohrverbindung zu betrachten. Diese erlaubt noch nachträglich Richtungskorrekturen, ohne daß die Verbindung undicht wird. Im besonderen Maße hat sich die Schraubmuffe gegenüber den heutigen zusätzlichen Verkehrsbelastungen bewährt.

Das bis zum Jahre 1965 erzeugte Gas war praktisch frei von Benzol. Eine Untersuchung an etwa 15 her-

ausgeschnittenen Schraubmuffen-Verbindungen verschiedenen Alters und unterschiedlicher Gummiqualität ergab keinerlei Veränderung an den Dichtringen hinsichtlich korrosiver Angriffe des Transportmediums oder sonstiger Alterungseinflüsse. Auch die nach der Erdgasumstellung erfolgten Rohrnetzüberprüfungen ergaben keinerlei Undichtheiten an Muffenverbindungen im Schraubmuffenrohrnetz. Es besteht somit kein Anlaß, von dieser bewährten Rohrverbindung abzugehen. Dies insbesondere, als seit 1963 ausschließlich Rohre aus duktilem Gußeisen verlegt werden. Bei dem zur Zeit laufenden Auswechslungsprogramm für Stemmuffenleitungen sind daher weiterhin Schraubmuffenrohre mit gasbeständiger Dichtung vorgesehen. Diesen Entschluß rechtfertigt auch die Gegenüberstellung der Baukosten fertigverlegter Neubau- und Erneuerungsstrecken. Wie in Bild 2 dargestellt, werden etwa im Jahre 1990 sämtliche Stemmuffenrohre aus Grauguß durch duktile Schraubmuffenrohre ersetzt sein.

Der Schraubmuffen-Gummiring hat seit seiner Einführung in den 30er Jahren weitgehende Verbesserungen erfahren. Der dreischichtige Aufbau ist indessen der gleiche geblieben. Ringspitze und Ringrücken bestehen aus einer härteren Gummiqualität, der Ringmittelteil, als eigentliches Dichtelement, aus einer weichen Qualität. Als Schutz gegenüber den quellend wirkenden Gasbestandteilen wurde über die Ringspitze anfangs eine Bleikappe gezogen. Solche Dichtringe wurden z. B. um 1935 in Freiburg auch bei einer 10 km langen Gasmitteldruckleitung NW 350 verwendet und haben sich bisher bestens bewährt.

Mit der Einführung von duktilen Gußrohren wurden von der Gußrohrindustrie Spezialdichtringe mit größerer chemischer Beständigkeit zum Einbau in Gasleitungen entwickelt, die gegenüber den bis dahin eingesetzten Dichtringen eine noch höhere Sicherheit bieten. Es handelt sich hierbei um den Polygumring und den Perbunanring.

Der Polygumring besteht aus dem bewährten Union-Naturgummiring mit Hartspitze und Hartrücken, der auf seiner dem Gas zugewandten Seite mit einer Schutzkappe aus Polyamid versehen ist. Polyamid ist gegenüber allen in Brenngasen vorkommenden Kohlenwasserstoffen beständig und schützt das Dichtelement im eingebauten Zustand vor ihrer Einwirkung.

Dagegen besteht der Perbunan-Union-Ring aus einem Misch-Polymerisat von Butadien und Acrylnitril. Die daraus hergestellten Dichtringe zeichnen sich durch eine ausgezeichnete Quellbeständigkeit, besonders gegenüber den gesättigten Kohlenwasserstoffen aus.

#### **Aufbau und Transportkapazität des Gasrohrnetzes**

Auch in Freiburg kam man mehrere Jahrzehnte mit einem reinen Niederdruckverteilungsnetz aus. Mit dem Bau des dritten Gaswerkes im Norden der Stadt wäre jedoch eine völlige Umkehrung der Rohrnetzkapazitäten notwendig geworden. Mit der Überlagerung eines zunächst etwa 15 km langen Mitteldruck-

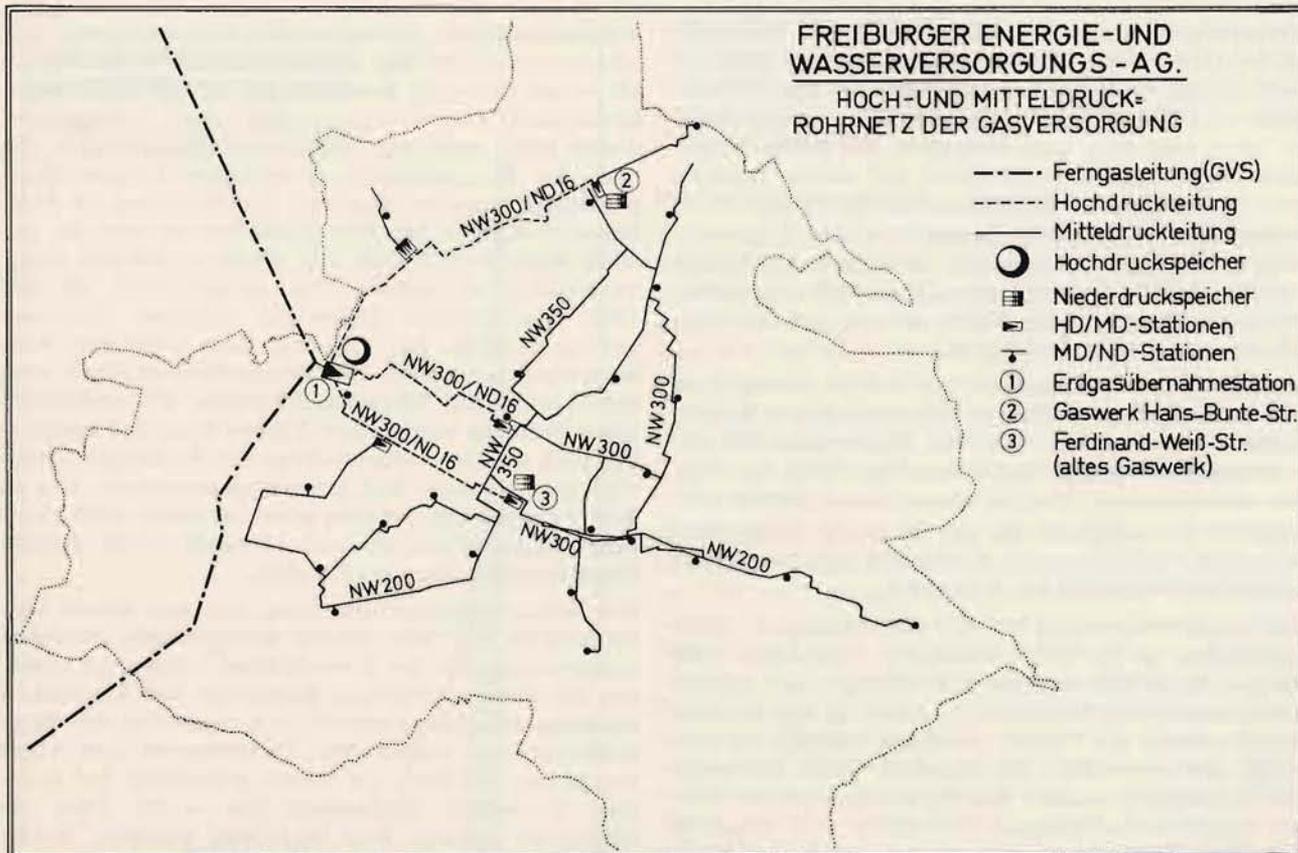


Bild 3: Darstellung des Hoch- und Mitteldruckgasrohrnetzes

netzes NW 350 und NW 200 konnte man sich dieser Notwendigkeit entziehen. Die Mitteldruckleitung speiste vorwiegend bei der Zentralreglerstation des „alten Gaswerkes“ in der Südstadt, aber auch an einigen weiteren Netzpunkten ein. Die für einen Betriebsdruck von 1 bar verlegten Mitteldruckleitungen wurden zunächst und bis heute nur mit etwa 0,4 bis 0,5 bar betrieben.

Im Laufe der Jahre und als Vorbereitung zur Erdgasumstellung im Jahre 1971/72 wurde das Gasmittel-drucknetz auf 45 km erweitert und eine umfassende Überlagerung des bestehenden Niederdruckrohr-netzes erzielt. Mit dem in Bild 3 gezeigten Ausbau des Mitteldrucknetzes kann nun an fast beliebiger Stelle in das Niederdrucknetz eingespeist werden. Das Mittel-drucknetz ist darüber hinaus in sich vermascht und dimensioniert, daß fast jede Leitungsstrecke im Falle eines Rohrschadens oder einer erforderlichen Revision für sich abgehängt werden kann, ohne daß Schwierigkeiten in der Versorgung hingenommen werden müssen. Dies ergab eine gerade durchgeführte Rohrnetz-Kapazitäts-Untersuchung.

Durch die gute Vermaschung des Mitteldrucknetzes kommt man auch heute noch mit einem Betriebsdruck von max. etwa 0,5 bar aus. Weitere Möglichkeiten der Vermaschung lassen sich künftig noch ausschöpfen. Auf diese Weise kann die Transportkapazität des Mittel-drucknetzes langfristig ohne ins Gewicht fallende Aufwendungen noch vervielfacht werden.

#### Ferngasübernahme und Hochdruckspeicher

Jahre vor der Stilllegung der Gaseigenerzeugung lag der Einspeisepunkt des Ferngasbezugs fest. Dieser ergab sich bei Würdigung aller versorgungstechnischen Gesichtspunkte, besonders aber hinsichtlich des geringsten Aufwandes für die Übernahme einer vielfachen Gasmenge im Westen der Stadt. Zusammen mit der Übergabestation (Bild 4) wurde zur Vergleichmäßigung des künftigen Gasbezugs aber auch zur Überbrückung von Störungen auf der Ferngasseite ein Hochdruck-Gasbehälter erstellt. Die zwischenzeit-



Bild 4: Kugelgasbehälter mit Gasübernahmestation

liche Erfahrung hat gezeigt, daß sich diese Investition mehr als gelohnt hat. Die Freiburger „Kugel“ hat ein geometrisches Volumen von 20 000 m<sup>3</sup> und ist für einen Betriebsdruck von 6 bar ausgelegt. Damit kann in ihr ca. 120 000 m<sup>3</sup> Erdgas gespeichert werden. Da die neue Übernahme- und Speicherstation nahe einer Wohnsiedlung und in einem Grünstreifen im Bereich der Dreisam liegt, wurden bei der erstmaligen Befüllung zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen getroffen, und das umgebende Betriebsareal in Zusammenarbeit mit dem Gartenamt so angelegt, daß dieses trotz der darauf stehenden Zweckbauwerke sich hervorragend in die Umgebung einfügt. Auch bei der im Sommer 1974 auf Veranlassung des TÜV erfolgten ersten inneren Revision wurden alle Empfehlungen des DVGW-Arbeitsblattes G 433 und der DIN 3396 berücksichtigt. Besonders sorgfältig wurde beim Gas-Luft-Wechsel vorgegangen, indem beim Ausdrücken des entspannten Restvolumens eine Stickstoffschicht von etwa 40 % des geometrischen Volumens der Kugel zwischen Gas und Luft gelegt wurde. Der hierfür erforderliche Stickstoff wurde mit Tanklastzügen angefahren und in einem leistungsfähigen Wärmeaustauscher verdampft. Die Überprüfung ergab keinerlei nachträgliche Veränderung nach 9jähriger Betriebszeit.

#### Hochdruckverteilung

Von der Erdgasübernahme- und Speicherstation im Westen der Stadt führen inzwischen 3 Hochdruckeinspeisungen NW 300/ND 10 zu den Zentren des Mitteldrucknetzes (Bild 3). Diese zwischen 1964 und 1972 verlegten Haupttransportleitungen haben eine Länge von 12 km und bestehen, wie die Mittel- und Niederdruckleitungen, ebenfalls aus duktilen Schraubmuffenrohren. Die vom TÜV nach DIN 2470, Ziffer 5.1, jeweils erfolgten Dichtheitsprüfungen für einen Betriebsdruck von 8 bar führten zu keinen Beanstandungen. Bei einer vor kurzem durch andere Baumaßnahmen notwendig gewordenen Umlegung an der nördlichen Einspeisung ließen die verwendeten Perbunan-Dichttringe keinerlei Veränderung durch das Transportmedium erkennen.

Alle Hochdruckeinspeisungen führen in Teilbereichen durch bebaute Stadtgebiete. Hier wurde an jeder Muffenverbindung für die laufende Überwachung ein Riechrohr gesetzt. Während der zurückliegenden Betriebszeit hat sich hier jedoch noch keine Undichtheit ergeben. Obschon dem duktilen Rohrmaterial, was unkontrollierbare äußere Belastungen betrifft, mehr zugemutet werden kann, als dem bisher in Freiburg schon sehr bewährten Rohrmaterial aus Gußeisen mit lamellarem Graphit, wurde der Verlegung und der Einbettung mit steinfreiem Material nach wie vor große Beachtung geschenkt. Diese Maßnahme wird insbesondere in verkehrsreichen Straßen im Hinblick auf die Liegedauer und die Resistenz der Rohrleitungen gegenüber den weitgefächerten äußeren Angriffsmöglichkeiten die bisher gesetzten Maßstäbe bei weitem noch übertreffen.

#### Maßnahmen zur Erhöhung der Transportkapazität

Die bereits erwähnten Hochdruckeinspeisungen sind in der Lage, mehr als das 5-fache des derzeitigen stündlichen Gasbedarfs in das Mitteldrucknetz zu transportieren. Das Gasmitteldrucknetz wird entsprechend den Ergebnissen einer vor kurzer Zeit durchgeführten Rohrnetzanalyse beim heutigen Stand der Vermaischung noch mindestens das 3- bis 4-fache in das Niederdrucknetz abgeben können. Hierbei sind die Gas-mengen noch nicht berücksichtigt, die vom Mitteldrucknetz unmittelbar in die Heizwerke und andere Verbrauchsstationen abgegeben werden. Je nachdem, wie die künftigen Verbrauchssteigerungen ausfallen werden, dürften somit für den Ausbau des Hoch- und Mitteldruckbereiches vor 1985 keine maßgeblichen Investitionen erforderlich werden.

Eine größere Flexibilität in der Gasverteilung besteht darin, daß entlang der Mitteldruckleitungen die Zahl der vorhandenen Reglerstationen ebenfalls noch dem Bedarf entsprechend erhöht werden kann. Noch vor wenigen Jahren wäre eine solche Möglichkeit an der Größe und Bauweise der damals üblichen Netzstationen gescheitert. In althergebrachter Weise war die Einrichtung einer sogenannten Bezirksreglerstation meist mit dem Erwerb eines Grundstückanteils verbunden. Für das mindestens 10 bis 15 m<sup>2</sup> große Bauwerk mit einer den Vorschriften entsprechenden Sonderbedachung war eine Baugenehmigung erforderlich, und der relativ aufwendige Bau selbst beanspruchte je nach örtlicher Situation mehrere Monate.

Der Zwang zur Rationalisierung auch in der Gaswirtschaft brachte gerade im Bereich des Reglerbaues und hinsichtlich des Baues von kompakten Fertigstationen wesentliche technische Neuerungen. So beansprucht heute der Bau einer Reglerstation bei Verwendung eines serienmäßig vorgefertigten Betonfundamentes nur noch wenige Tage. Je nach Größe der Anlage ist heute auch nur noch eine Grundfläche von etwa 2 bis 3 m<sup>2</sup> erforderlich. Solche Netzstationen können ohne weiteres innerhalb der überall vorhandenen Grünflächen und bei geschickter Umpflanzung für das Auge kaum wahrnehmbar untergebracht werden. Die Abbildungen zeigen deutlich die Entwicklung innerhalb der letzten Jahre auf (Bild 5).

Der Übergang auf Erdgas brachte eine verbrennungstechnische Anpassung sämtlicher Gasgeräte mit sich. Damit verbunden war auch eine am Gaszähler erforderliche Erhöhung des Gasdruckes von 8 auf 20 mbar. Während das wasserstoffreiche Stadt- und Ferngas größere Druckschwankungen zuließ, sind beim Erdgas nur noch sehr geringe Druckabweichungen möglich. Diese verbrennungstechnisch erforderliche Einschränkung wird durch den Kapazitätsgewinn des hochkalorigen Erdgases zunächst jedoch wieder aufgewogen.

Im Hinblick auf eine weitere stetige Verdichtung beim Heizgasgeschäft und die damit verbundene zusätzliche Beanspruchung der vorhandenen Rohrnetzkapazität hat sich Freiburg bereits im Zuge der Erdgasumstellung für den generellen Einbau von Haus- und Zähler-

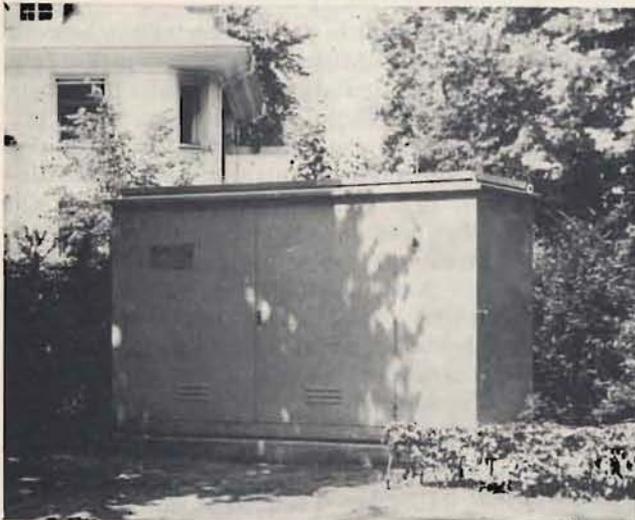


Bild 5: Reglerstationen im Wandel der Zeiten

druckreglern entschlossen. Auf diese Weise wird es möglich sein, den künftigen Bedarfszuwachs durch eine den jeweiligen Erfordernissen entsprechende Druckanhebung bei gleichbleibendem Geräteanschlußdruck sicherzustellen.

Zur Zeit beträgt der Einspeisedruck in das Niederdrucknetz etwa 25 mbar. Es besteht somit noch die Möglichkeit, durch Druckanhebung auf 50 mbar und im Extremfall nach dem heute geltenden Regelwerk auf 100 mbar die Transportkapazität des Niederdrucknetzes ohne zusätzliche Investitionen entsprechend zu steigern.

Eine wesentliche Druckanhebung im Niederdrucknetz der Innenstadt mit dem Ziel einer weiteren Bedarfsanpassung wird jedoch nur im Zuge des vorgesehenen Austauschprogrammes für Stemmuffenrohre möglich sein. Für dieses Langzeitprogramm gelten folgende Kriterien:

- Erneuerung von Rohrstrecken mit den meisten Undichtheiten,
- nach der Liegedauer,
- im Zuge von sonstigen Tiefbau- und Straßenarbeiten.

Dieses Austauschprogramm wird wegen der hohen spezifischen Verlegungskosten in der Innenstadt nicht vor 1985 abgeschlossen sein. Da andererseits durch den Übergang auf trockenes Erdgas ein schnelles Austrocknen der Stemmuffenstricke die Folge wäre, wurden bis zur Erdgaseinspeisung die bis dahin noch verbliebenen etwa 130 km Stemmuffenrohre mit „Penetrol-K-spezial“ behandelt.

Diese von einer Stuttgarter Firma hergestellte und inzwischen durch „Penetrol 32“ noch übertriffene Spezialflüssigkeit zur inneren Abdichtung von Stemmuffen-Verbindungen besteht überwiegend aus Diglykol (85 %) und einer Reihe von organischen Ölen sowie hochwertigen Alkoholen. Diese wasserfreie Flüssigkeit besitzt die Fähigkeit, ausgetrocknete und geschrumpfte Hanfstricke aufzuquellen und zu regenerieren. Zu diesem Zweck wurde das Quellmittel vorwiegend durch die Hausanschlüsse sowie an End- bzw. Hochpunkten der Hauptrohre eingegeben. Der Gastransport durfte dabei, mit Ausnahme der jeweiligen Hausanschlüsse, über die das Quellmittel zugegeben wurde, nicht unterbrochen werden. Dies war bei der Anwendung der „Spül- oder Fließmethode“ möglich. Hierbei fließt die Spülflüssigkeit an der Rohrsohle zum Muffengrund der einzelnen Stemmverbindungen und dringt aufsteigend dort in die Hanfstricke ein. Überschüssiges Material fließt zum nächstgelegenen Wassertopf und kann dort — zur erneuten Verwendung — abgezogen werden. Da bei einmaliger Spülung meist nicht genug Spülflüssigkeit im Muffengrund hängenbleibt, um anschließend in den Fasern der Hanfstricke hochzusteigen, muß der Spülvorgang wiederholt werden. Die Erfahrung hat gezeigt, daß 4 Spülungen ausreichen, um auch teils verteilte Hanfstricke nach Auflösung des Teers über den vollen Umfang zur Quellelung zu bringen.

Für 4 in Abständen von je 2 Wochen erfolgte Spülvorgänge kann folgender Spülmittelbedarf zugrunde gelegt werden:

NW 80	= 0,20 kg/lfdm
NW 100	= 0,30 kg/lfdm
NW 125	= 0,40 kg/lfdm
NW 150	= 0,50 kg/lfdm
NW 200	= 0,60 kg/lfdm
NW 250	= 0,80 kg/lfdm
NW 300	= 1,00 kg/lfdm

Je nach Umfang der eigenen Aufwendungen muß mit einem Gesamtaufwand von etwa 6 bis 8 DM/lfdm gerechnet werden. Die bisherigen Erfahrungen und die im Jahre 1974 nach zweijährigem Erdgasbetrieb durchgeführte erneute Rohrnetzüberprüfung mit dem Leckplotter zeigen, daß sich die Aufwendungen für die Sanierung der Stemmuffenrohre und hanfgedichteten Hausanschlußrohre in den Jahren 1971 und 1972 gelohnt haben.

Die zunächst festgestellte Häufigkeit von etwa 10 Undichtheiten je km Stemmuffenleitung war keinesfalls erfreulich. Zu Beginn der Leckbeseitigung ergab sich jedoch, daß viele Aufgrabungen umsonst waren. Mit dem feinfühligem Gasspürgerät, das noch geringste Spuren von Methan registriert, wurde in diesen Fällen zwar eine Gaskonzentration festgestellt. Solche Fehlmessungen waren in der Regel eine Folge des Bodenspeichervermögens und vor allem der guten Abdichtwirkung der modernen Fahrbahnabdeckung. Nach diesen anfänglichen Erfahrungen ging man dazu über, an den vorgefundenen Befunden Löcher zu bohren und den Boden längere Zeit zu entlüften. In den meisten Fällen wurde so schon nach wenigen Tagen an vielen Befunden keine Gaskonzentration mehr festgestellt. Bei der noch verbliebenen Anzahl von Leckagen handelte es sich in hohem Maße um Undichtheiten an Blasenlochverschlüssen, Hausanschluß- und Anbohrstellen mit nach heutiger Vorstellung völlig unzulänglichem Dichtungsmaterial, sowie einer Anzahl Stemmuffen-Verbindungen mit zerstörten Dichtstricken.

An manchen Stemmuffenrohrstrecken ergab sich eine zunächst nicht erklärbare Häufung von Undichtheiten. Nach genauerer Überprüfung stellte sich jedoch heraus, daß hier die Rohrnetzspülung deshalb keinen Erfolg hatte, weil die Spülflüssigkeit durch ein nicht vorhandenes bzw. gegengesetztes Rohrgefälle oder einen Rohrabgang mit geringer Nennweite nicht in die vorgesehene Richtung abfließen konnte und daher die dahinterliegenden Stemmuffen nicht erreichte. Solche Pannen ergaben sich trotz Aufstellung eines gut durchdachten Spülplanes anhand der vorhandenen Rohrnetzaufzeichnungen. Hier zeigte sich erneut, daß die Planunterlagen aus den Anfängen des Rohrnetzbetriebes, wenn es um Details geht, nicht mit der heute üblichen Exaktheit aufgestellt wurden.

Die an solchen Rohrstrecken festgestellten Reihendefekte verschwanden unmittelbar nach erneuter gezielter Rohrspülung. Die Wirksamkeit der Innenabdichtung mit dem Spülmittel ließ sich dann hier kurzfristig nachweisen.

Da schon im Jahre 1969 erste Rohrnetzspülungen durchgeführt wurden und an diesen Netzteilen bisher

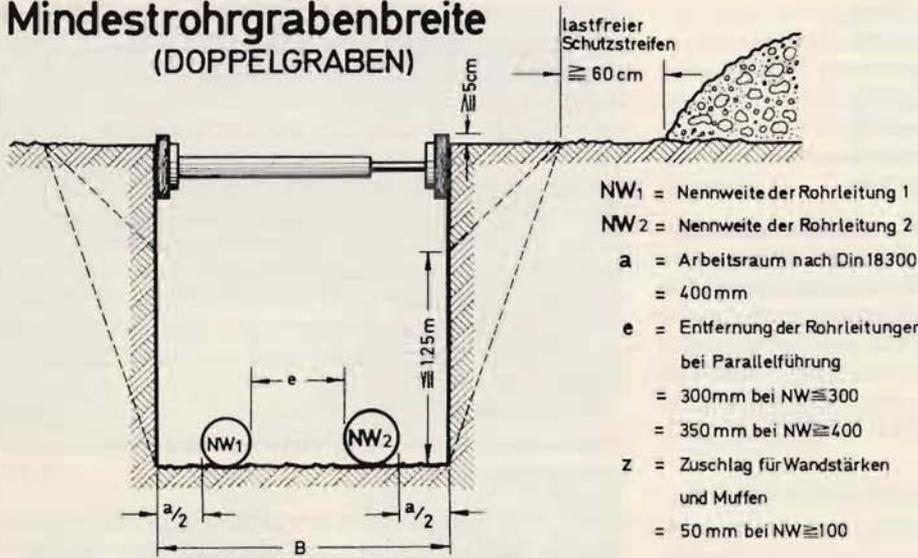
kein erneutes Undichtwerden der behandelten Stemmuffen festgestellt werden konnte, darf davon ausgegangen werden, daß die in Freiburg geübte Methode der Innenabdichtung bisher ein Erfolg war. Bei den verwendeten und den sonst marktüblichen Spülmitteln muß mit gewissen Verdampfungsraten gerechnet werden. Aus diesem Grund muß man davon ausgehen, daß im Laufe der Jahre die bis dahin noch nicht ausgewechselten Stemmuffenrohre in zunehmendem Maße erneut austrocknen und undicht werden. In diesen Fällen muß man entscheiden, ob die Auswechslung der betroffenen Rohrstrecke vorgezogen oder eine erneute begrenzte Rohrnetzspülung nach bewährter Art durchgeführt werden soll.

#### Gemeinsame Erneuerung von Gas- und Wasserhauptleitungen

Es wurde eingangs schon erwähnt, daß in Freiburg seit einigen Jahrzehnten generell die kostensparende Verlegung von Gas- und Wasserleitungen im gemeinsamen Rohrgraben betrieben wird. Da bis vor 20 Jahren etwa die Ausschachtung des Rohrgrabens ausschließlich von Hand erfolgte, lag der Vorteil dieser gemeinsamen Verlegung trotz geringem Lohnniveau auf der Hand. Während für zwei getrennte Rohrgräben eine Gesamtgrabenbreite von mindestens etwa 1,50 m erforderlich wäre, kommt man bei gemeinsamer Verlegung mit einer Grabenbreite von etwa 1 m aus. Die in Bild 6 gezeigte Bemessungsgrundlage für den „Freiburger Doppelgraben“ führt auch heute noch zu Einsparungen bis zu 30%. Diese Bemessungsgrundlage ist maßgeblich für die Vorkalkulation und die Abrechnung mit dem Tiefbau-Unternehmer. Der zwischen den beiden Transportleitungen vorgesehene Abstand entspricht bereits dem in Vorbereitung befindlichen DVGW-Arbeitsblatt für Abstände zwischen parallel liegenden Rohrleitungen. Diese Abstände entsprechen sowohl den Unfallverhütungsrichtlinien als auch der Möglichkeit, jedes einzelne Rohr im Falle einer Reparatur oder einer nachträglich erforderlichen Abkreuzung maschinell zu schneiden.

In diesem Zusammenhang ist auch die Entwicklung der Kosteneinflüsse für eine fertig verlegte Rohrleitung interessant. In Bild 7 wird deutlich, daß der Anteil des Rohrmaterials prozentual immer mehr zurückgeht, während für Verlegung und Erdarbeiten von Jahr zu Jahr höhere Kostenanteile in Kauf genommen werden müssen. Aus der Darstellung kann geschlossen werden, daß es den Rohrherstellern unter dem Einfluß der konkurrierenden Rohrwerkstoffe bisher noch gelungen ist, durch eine fortschreitende Rationalisierung des Produktionsablaufs die allgemeine Kostentendenz in Grenzen zu halten. Im Gegensatz hierzu sind bei der Rohrverlegung und weitgehend auch beim Tiefbau die jährlichen Lohnerhöhungen voll durchgeschlagen. Der Anteil der Tiefbau- und Straßenarbeiten erhöhte sich in den letzten Jahren auch dadurch, daß im Straßenbereich, von Ausnahmen abgesehen, das ausgebrachte Erdreich abgefahren und durch nichtbindiges Material ersetzt werden muß. Der Vorteil eines ge-

### Mindestrohrgrabenbreite (DOPPELGRABEN)



**Breite B = lichte Rohrgrabenbreite = NW<sub>1</sub> + NW<sub>2</sub> + a + e + z**

Bild 6: Rohrgrabenprofil für Freiburger Doppelgraben

meinsamen Rohrgrabens für Gas und Wasser hat sich somit in den letzten Jahren noch verstärkt.

Die gemeinsame Erneuerung von Gas- und Wasserleitungen ergibt sich auch unter dem Gesichtspunkt einer möglichst geringen Behinderung des Verkehrsablaufs und der Zufahrtsmöglichkeit der betroffenen Anwohner. Diese Forderung führte in Freiburg zu völlig neuen Überlegungen und Praktiken, insbesondere aus der Sicht der Erneuerung von Hauptleitungen.

Für die in den früheren Jahrzehnten verlegten Wasserleitungen war zur Verhinderung von Frosteinwirkungen eine Überdeckung von 1,5 m üblich. Die Rohrauswechslung mit gleicher Überdeckung war jedoch mit erheblichen Schwierigkeiten und zusätzlichen Kosten durch die zu kreuzenden Hausanschlüsseleitungen sowie Einbindung der neu verlegten Hauptleitungen nach Abtrennung der alten Leitungsstränge verbunden. Dies führte nicht nur zu unangenehmen Bauverzögerungen, sondern auch zu Lieferunterbrechungen bei den Kunden. Trotz langwieriger Vorverhandlungen und Absprachen mit den betroffenen Gas- und Wasserverbrauchern kam es ständig zu Komplikationen. Drohbriefe und Schadensersatzforderungen waren die Folge.

Aus diesem Grunde wurde von der Rohrnetz-Betriebsleitung der Vorschlag gemacht, bei Rohrnetzernuerungen die neuen Rohre höher als die älteren zu verlegen. Als möglicher Nachteil war zu prüfen, ob bei einer entsprechend geringeren Rohrüberdeckung bei der Wasserleitung mit Frostschäden zu rechnen ist. Diese Befürchtung erwies sich als unbegründet, da aufgrund von Aufzeichnungen des Wetteramtes über mehrere Jahre in einer Bodentiefe von 1 m der Gefrierpunkt zu keiner Zeit unterschritten wurde. Dies war auch im extremen Winter 1955/56 der Fall. Eine zusätzlich durchgeführte Umfrage bei etwa 30 mittlere-

ren und größeren Versorgungsbetrieben ergab, daß dort mit großer Mehrheit bisher schon eine Rohrüberdeckung von max. 1,25 m üblich ist. Man darf auch davon ausgehen, daß bei einer tatsächlichen Unterschreitung des Gefrierpunktes im umgebenden Erdreich in der Regel das Wärmeevolumen des fließenden Wassers ausreicht, um ein Einfrieren zu verhindern.

Da bisher praktisch auch keine Frostschäden an den mit einer Überdeckung von etwa 1 m verlegten Haus-

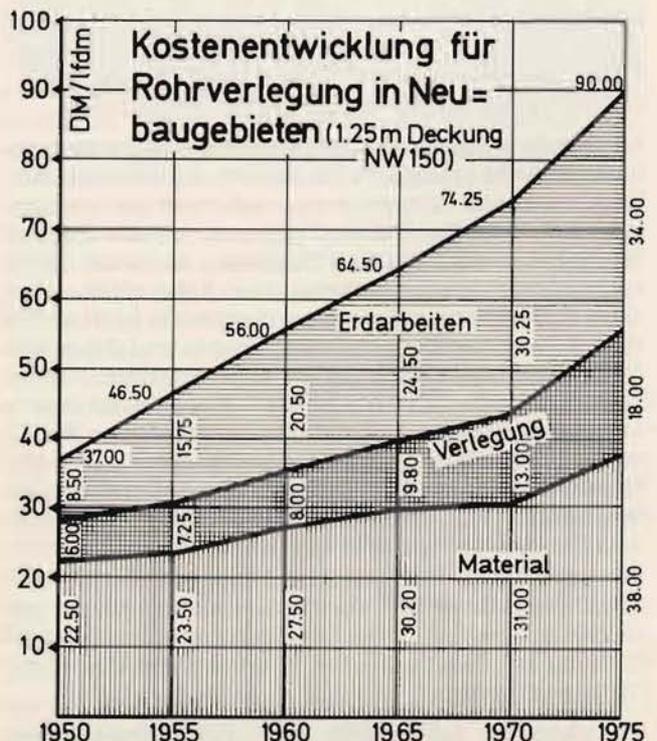


Bild 7: Kostenentwicklung für Rohrverlegung

anschlußleitungen eingetreten sind und hier ein weit geringeres Wärmepotential bei oft über Stunden stagnierendem Wasser zur Verfügung steht, wird in einer geringen Rohrüberdeckung von etwa 1,25 m auch in Freiburg kein Risiko gesehen.

Bei den nun üblichen Neuverlegungen über den älteren Rohren ist es möglich, ohne Unterbrechung der Versorgung auszukommen. Die alten Leitungen können so lange in Betrieb bleiben, bis sämtliche Gas- und Wasseranschlüsse auf die ebenfalls schon unter Druck stehenden neuen Hauptleitungen umgehängt sind. Seit der Einführung dieser Verlegeweise sind die Beschwerden der Anlieger in Freiburg zur Seltenheit geworden.

Diese erfreuliche Tatsache beruht wohl weitgehend auch darauf, daß jede Baumaßnahme umfassend vorgeplant, mit Tiefbauamt und Polizei in allen Phasen abgesprochen und nach einem genauen Zeitplan abgewickelt wird. Dies wäre jedoch nicht möglich, ohne erfahrene und zuverlässige Mitarbeiter, mit solchen Arbeiten vertraute Fremdfirmen und mit neuzeitlichem Arbeitsgerät.

#### Hausanschlüsse, mit dem „Maulwurf“ kein Problem

Im Zuge der Erneuerung von Gas- und Wasserleitungen müssen in der Regel auch die Hausanschlüsse ausgetauscht werden. Bis vor wenigen Jahren gab es hierbei größte Schwierigkeiten bei der Kreuzung der Fahrbahn. Denn bevor die zweite Fahrbahnseite aufgedeckt werden konnte, waren zur Gewährleistung eines halbseitigen Fahrzeugverkehrs der Rohrgraben und die teilweise verlegten Hausanschlußstummel einzufüllen. Das Umhängen selbst stellte die Verantwortlichen ebenfalls oft vor schwierige Probleme.

Die Rohrnetzabteilung hat auch hier in den letzten Jahren eine revolutionäre Einrichtung in den Arbeitsablauf mit einbezogen. Mit neuen Bodendurchschlag-



Bild 8: Bodendurchpreßgerät mit superschallgedämpftem Kompressor

geräten (Bild 8) wird vom Hauptrohr aus ein Loch bis zum vorbereiteten Mauerdurchbruch „geschossen“, ohne daß der darüber fließende Verkehr beeinträchtigt wird. Die damit betrauten Mitarbeiter haben inzwischen eine große Fertigkeit beim Einrichten des Vorpreßgerätes erlangt, so daß es möglich ist, auf wenige cm genau beliebig lange Bohrungen zu „schießen“. In der Regel können an einem Tag bis zu 3 Doppelbohrungen für die Verlegung von Gas- und Wasseranschlüssen hergestellt werden. Selbst größere Steine sind hierbei kein besonderes Hindernis. Der stählerne „Maulwurf“ zertrümmert oder schiebt diese beiseite. Mit einem besonderen Vorsatzgerät ist es sogar möglich, auch Hauptrohre bis zu NW 200 unter Gleisanlagen und verkehrsreichen Straßen hindurchzuschleichen. Die Anschaffung solcher Geräte macht sich so innerhalb kurzer Zeit schon bezahlt.

#### Duktile Schraubmuffenrohre im Vergleich zu anderen Rohrwerkstoffen

Die Auswahl an Rohrwerkstoffen für die Gas- und Wasserversorgung hat sich besonders in den Nachkriegsjahren verstärkt und für den Rohrnetzingenieur ist es oft nicht einfach, den örtlichen Verhältnissen entsprechend die langfristig richtige Wahl zu treffen. Nicht selten kommen Entscheidungen zustande, die auf Sicht gesehen von Nachteil sein können.

Bei der Auswahl eines Rohrwerkstoffes sollte das Verhalten und die Widerstandsfähigkeit gegenüber unkontrollierbaren äußeren Kraft- und Lasteinwirkungen sowie korrosiven Einflüssen im Vordergrund stehen. Hiervon hängt in weitem Maße auch die Lebensdauer des Transportrohres ab. Ein den jeweiligen äußeren Einwirkungen auf Dauer nicht ebenbürtiger zunächst preiswerterer Rohrwerkstoff kann sehr bald zu Folgeproblemen finanzieller und verkehrstechnischer Art führen, und der zunächst erzielte kaufmännische Vorteil beeinflusst dann mit negativem Gewicht den Erfolgsplan.

Der verantwortungsbewußte Ingenieur und Kaufmann sollte daher bei seiner Materialwahl nicht nur den Preis, sondern auch die übrigen Kosteneinflüsse einer fertig verlegten Leitung sehen; da, wie an früherer Stelle schon aufgezeigt, die Kosten für Rohrverlegung und Erdarbeiten immer bedeutungsvoller werden und bei den einzelnen Materialien sehr verschieden sein können, steht der Mehrpreis für einen zunächst etwa teureren Rohrwerkstoff in der Gesamtschau oft nicht mehr im Mittelpunkt der Überlegungen. Hier sollte dann die voraussichtliche, den jeweiligen Randbedingungen entsprechende Lebensdauer kaufentscheidend sein.

Auch in Freiburg wurden in den letzten Jahren grundsätzliche Kostenvergleichsrechnungen mit anderen Rohrmaterialien angestellt. Aufgrund von mehreren Nachkalkulationen an praxisnahen Vergleichsstrecken ergab sich dabei sowohl bei der Verlegung im Innenstadtbereich als auch in Neubaugebieten eine Preisparität zu den unmittelbar konkurrierenden Werkstoffen. Der Preisvorteil der nichtmetallischen Werkstoffe, insbesondere der Elastomere, war im Ver-

hältnis zu den Gesamtkosten nicht so entscheidend, daß diese, den hier üblichen Gegebenheiten entsprechend, dem bisher bewährten Material vorgezogen werden konnten. In diesem Zusammenhang ist in erster Linie zu berücksichtigen, daß überall, ständig und oft unkontrolliert, gebuddelt wird, und nachträgliche Beschädigungen bei hiergegen empfindlicherem Material trotz bestehender Richtlinien für Aufgrabungen die Regel sein würden.

In Freiburg soll, wie bereits erwähnt, duktiles Rohrmaterial für Gas und Wasser auch weiterhin beibehalten werden. Den Bodenverhältnissen und den bis-

herigen Erfahrungen entsprechend, kann man hier durchaus mit einer Lebensdauer von über 100 Jahren rechnen. Ein einheitliches Rohrmaterial für Gas und Wasser bringt auch Vorteile in der gesamten Lager- und Materialdisposition sowie Vorteile verletechnischer Art mit sich. Eine Beschränkung im unteren Nennweitenbereich auf NW 100, NW 150, NW 200 oder NW 300 hat sich bereits positiv auf die Lagerverweildauer ausgewirkt.

Bei Hausanschlüssen wird seit einigen Jahren für Wasser Polyäthylen-hart und für Gas kunststoffumhülltes Stahlrohr verwendet.

# Untersuchungen zum Anschweißen von Abgängen an duktile Gußrohre für Wasserleitungen

Von Ulrich Harms, Friedel Sennlaub

## 1. Einleitung und Aufgabenstellung

Die Bekanntgabe der Ergebnisse umfangreicher Untersuchungen zum Kaltschweißen an duktilen Druckrohren hat mit dazu beigetragen, daß das Schweißen an statisch und dynamisch beanspruchten duktilen Druckrohren bereits Eingang in die Praxis gefunden hat [1; 2; 3; 4]. So sind schon mehrere Stadtwerke dazu übergegangen, die Anschlußstutzen für Hausanschlüsse an liegende Druckrohrleitungen anzuschweißen. Auch bei längskraftschlüssigen Muffenverbindungen [5] wird das Kaltschweißen bereits angewendet. Hierbei werden nicht nur glatte Enden der Rohre mit aufgeschweißten Halteraupen versehen, sondern bei Formstücken auch Schubsicherungskammern an die Muffen angeschweißt.

Die bisherigen Erfolge lassen erwarten, daß nach dem derzeitigen Stand der Schweißtechnik weitere Anwendungsbereiche für das Konstruktionsschweißen an duktilen Gußrohren und Formstücken möglich sind. So können geschweißte Abgänge als Muffen- oder Flanschabgänge an jeder gewünschten Stelle des Rohrchaftes z. B. mittig senkrecht, tangential oder schräg angebracht und damit das gängige Formstückprogramm ergänzt werden.

In Fortführung der Arbeiten, über die bereits berichtet wurde [2], ist in einer weiteren Versuchsreihe das Anschweißen großer Abgänge an duktile Gußrohre untersucht worden. In den nachfolgenden Ausführungen wird über die Versuche zum Anschweißen von senkrechten Abgängen an duktile Gußrohre berichtet; die aus den dynamischen Belastungsversuchen gewonnenen Erkenntnisse werden dazu benutzt, die einstweiligen Grenzen der Einbaumöglichkeit derartiger Schweißkonstruktionen in Druckrohrleitungen abzustecken.

## 2. Untersuchungsprogramm

Nach einem unter den Gußrohrherstellern abgestimmten Untersuchungsprogramm sowie einigen Ergänzungsversuchen wurden senkrechte mittige Abgänge verschiedener Nennweitenpaarungen mit einer Kehlnaht geschweißt und statischen sowie dynamischen Prüfungen unterzogen (Tabelle 1).

Die Prüfstücke sind aus duktilen Gußrohrabschnitten mit Werkstoffkennwerten nach DIN 28 600 in horizontaler Position geschweißt worden, wobei die Abschnitte — sowohl für die Hauptrohre als auch für die Abgänge — aus der laufenden Fertigung entnommen wurden.

Für den Nachweis der Absicherung der Schweißkonstruktion gegen die Streckgrenze sind 14 Prüfstücke, je Nennweitenpaarung ein Stück ohne und ein Stück mit Dehnungsmeßstreifen im verschwächten Abgangsbereich einer Berstdruckprüfung unterzogen worden. Das in der Tabelle 1 aufgeführte und für die Berstdruckprüfung vorgesehene Prüfstück Nr. 10.3/4 — Hauptrohr NW 1000 mit Abgang NW 300 — ist im verschwächten Abgangsbereich durch einen angeschweißten Rohrabschnitt NW 400 verstärkt worden und ist im Hinblick auf später durchzuführende Versuche lediglich als Teststück zu werten (Bild 1).



Bild 1: Prüfstück Nr. 10.3/4 nach dem Berstversuch; Rohrabschnitt NW 1000 mit Abgang NW 300 und Verstärkung durch einen Rohrabschnitt NW 400

Tabelle 1: Versuchsprogramm

Prüfstück Nr.	Nennweiten		Durchgeführte Belastungsversuche						Anmerkung
	Hauptrohr	Abgang	Berstvers.		Innendruck-Schwellvers.	Statischer Biegevers.	Ort B)	Aufsicht B)	
			ohne DMS	mit DMS					
4.1.2 4.1.3 4.2.2 4.2.3	400	100		x			3	1 2	Abgang verstärkt
		200	x	x			3	1 2	
6.2.2 6.2.3 6.3.2 6.3.3	600	200	x	x			3	1 2	
		300	x	x			3	1 2	
8.2.2 8.2.3 8.4.2 8.4.3	800	200	x	x			3	1 2	
		400	x	x			3	1 2	
10.3 10.3/4A)	1000	300	x x				3	3	
4.1.5 4.2.5 4.2.5.1 4.2.5.2 4.2.5.3 4.2.5.4 4.2.5.5	400	100			x x x x x x x				
		200					1	1	
6.2.5 8.4.5	600 800	200 400			x x		1	1	
4.1.8 4.2.8	400	100 200				x x	3	2	

- A) Vorversuch — Abgang mit einem Rohrabschnitt NW 400 verstärkt
- B) 1 = MPA = Staatliches Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen, Dortmund  
 2 = SLV = Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt, Duisburg  
 3 = Herstellerwerk  
 DMS = Dehnungsmeßstreifen

Zur Überprüfung der Sicherheit gegen wechselnde Druckbelastungen sind an 9 Prüfstücken Innendruckschwellversuche durchgeführt worden. Von diesen 9 Prüfstücken wurden zur Ermittlung des Einflusses der Nahtart auf das Festigkeitsverhalten der Schweißkonstruktion 2 Stücke mit einer halben V-Naht geschweißt, wobei das in der Tabelle 1 aufgeführte Prüfstück Nr. 4.2.5.4 mit einer aufgeschweißten halben V-Naht und Prüfstück Nr. 4.2.5.5 mit einer eingeschweißten halben V-Naht ausgeführt ist (Bild 2).

Druckrohrleitungen werden nicht nur durch Innendruck, sondern auch durch äußere Kräfte belastet. Um die aufnehmbare Krafteinwirkung abzugrenzen, sind an zwei Prüfstücken statische Biegeversuche unter Innendruck durchgeführt worden.

Die Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt (SLV) in Duisburg und das Staatliche Materialprüfungsamt (MPA) Nordrhein-Westfalen in Dortmund wurden mit der Überwachung der Fertigung, Prüfung

und Beurteilung der geschweißten Prüfstücke betraut (Tabelle 1).

### 3. Fertigung der Prüfstücke

Vor dem Schweißen sind die Rohrabschnitte als mittige senkrechte Abgänge passend zum Hauptrohr me-

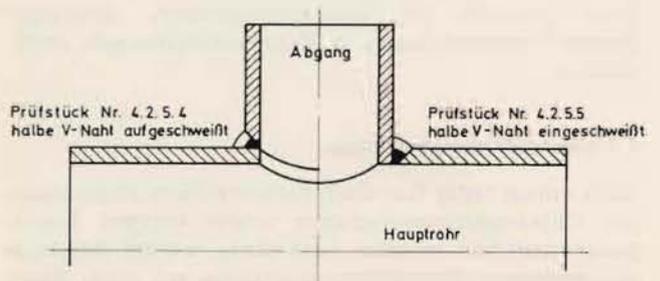


Bild 2: Darstellung der halben V-Naht (aufgeschweißt; eingeschweißt)



Bild 3: Berstversuch; Hauptrohr und Abgang mit übergreifenden Muffenkappen längskraftfrei abgedichtet

chanisch ausgearbeitet worden. Die Rohrabschnitte und Abgänge wurden im Schweißbereich metallisch blank geschliffen. Bis auf drei Prüfstücke wurde auf beide Nahtflanken eine Puffernaht aufgetragen (Tabelle 1).

Für das Aufschweißen der Pufferung und auch für das Verbindungsschweißen wurde eine Ni-Fe-Elektrode mit kalkbasischer-graphitischer Umhüllung verwendet, die nach früheren Untersuchungen [2] für das Kaltschweißen die besten Ergebnisse erbracht hat. Die Verbindungsschweißnähte sind wegen der konstruktiven Anordnung der zu verschweißenden Teile zueinander als Kehlnähte, mit Ausnahme der in Tabelle 1 aufgeführten Prüfstücke 4.2.5.4 und 4.2.5.5 ausgeführt und vom Herstellerwerk nach dem Lichtbogen-Handschweißverfahren geschweißt worden. Nach dem Schweißen wurden die Hauptrohre entsprechend dem Innendurchmesser der Abgänge durchbohrt.

#### 4. Prüfung der Schweißnähte

Nach dem Schweißen ist eine Sichtprüfung der Nähte durchgeführt und die Rißfreiheit nach dem Farbeindringverfahren überprüft worden. Geräusche, die auf Risse hindeuten, wurden nicht wahrgenommen.

#### 5. Versuchsdurchführung

Für die **Berstversuche**, im Herstellerwerk durchgeführt, sind die Spitzenden der Prüfstücke mit übergreifenden Muffenkappen (Bild 3) verschlossen worden, in denen als Dichtungselement jeweils ein TYTON-Dichtring eingelegt war. Die Längskräfte sind dabei über die Muffenkappen in Widerlager eingeleitet worden. Bei den Prüfstücken mit Abgängen NW 300 und NW 400 mußten die Abgänge mit aufgeschweißten Stahldeckeln verschlossen werden. Dadurch waren die Abgangsrohre auch durch Längskräfte belastet (Bild 4).

Bei den **Innendruckschwellversuchen**, beim MPA in Dortmund durchgeführt, blieb das Hauptrohr durch übergreifende Muffenkappen längskraftfrei, während der Abgang, zum Anschluß an den Pulsator mit einer Stahlplatte abgedeckt, längskraftbelastet war. Als Einspannung des Hauptrohres dienten liegende Quer-



Bild 4: Prüfstück 8.4.2 nach dem Berstversuch; Abgang durch Abdeckung mit einer Stahlplatte längskraftbelastet

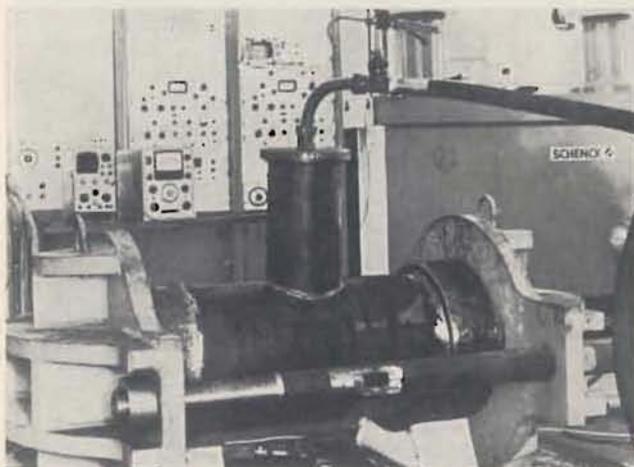


Bild 5: Einspannvorrichtung mit dem Prüfstück 4.2.5 beim Innendruckschwellversuch

häupter, die von zwei Zugankern gehalten wurden (Bild 5). Bei den Prüfstücken NW 600 und NW 800 wurde über Doppelmuffenkappen die Längskraft in ein im Hauptrohr angeordnetes kleineres Rohr geleitet und dadurch gleichzeitig das Innenvolumen auf den erforderlichen Wert vermindert (Bild 6). Die Versuche sind mit einem Hubkolbenpulsator bei annähernd sinusförmigem Druckverlauf mit Hydrauliköl



Bild 6: Einspannvorrichtung mit dem Prüfstück 8.4.5 beim Innendruckschwellversuch

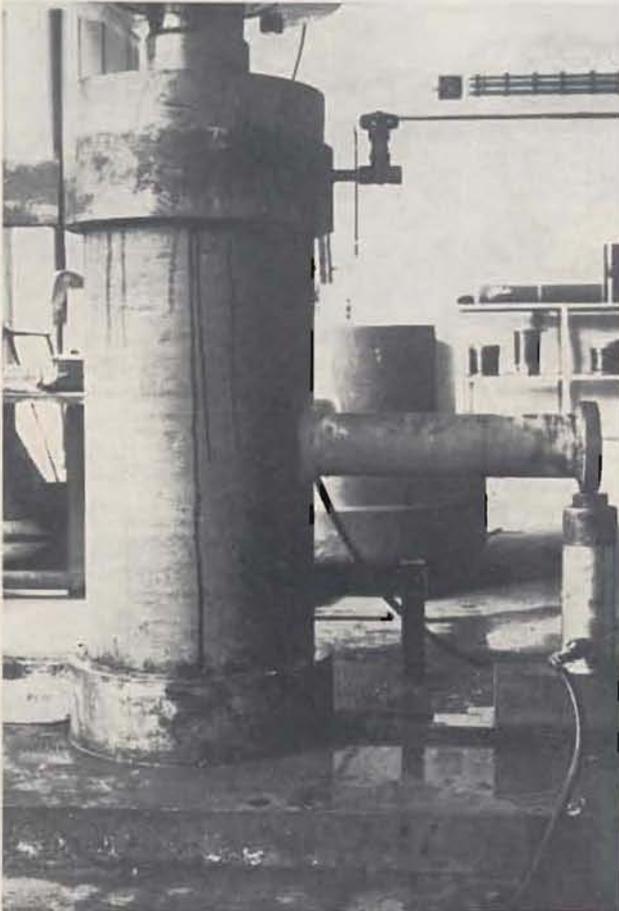


Bild 7: Versuchsaufbau zum statischen Biegeversuch am Prüfstück 4.1.8

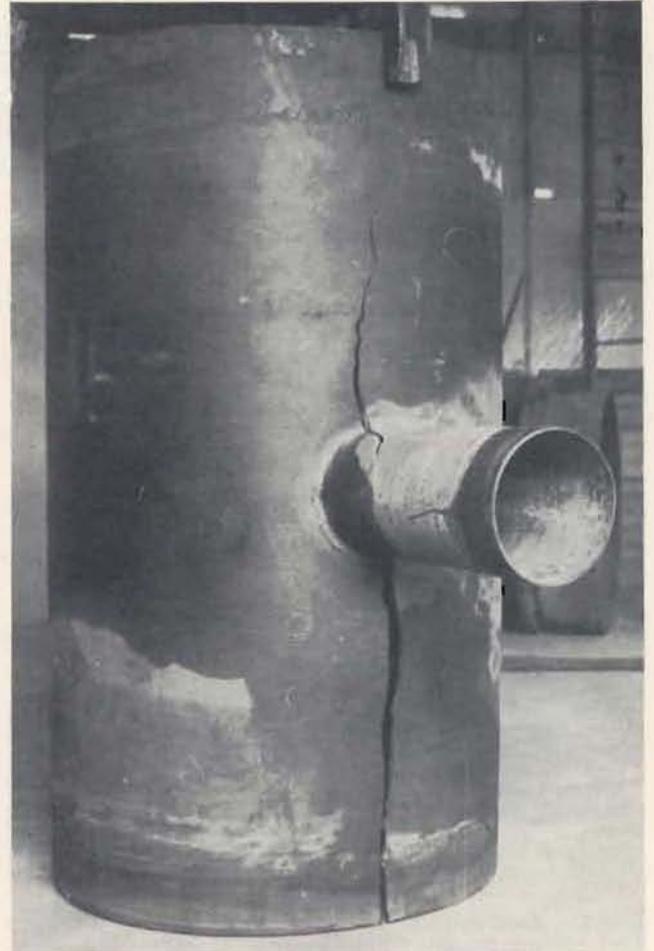


Bild 8: Beispiel eines typischen Rißverlaufes beim Bersten; der Riß verläuft quer zur tangentialen Hauptspannungsrichtung

gefahren und die Prüfdrücke nach einem elektrischen Innendruckaufnehmer gesteuert worden. Als Grenzlastspielzahl war  $1 \times 10^6$  vorgesehen.

Die unterschiedlichen oberen und unteren Innendruckbelastungen der Prüfstücke sind in der Tabelle 2 angegeben.

An zwei Prüfstücken sind statische **Biegeversuche** bei gleichzeitiger Wasserinnendruckbelastung von 25 bar durchgeführt worden (Bild 7). Die Abgänge wurden längs zur Hauptrohrachse belastet.

Tabelle 2 enthält die Versuchsergebnisse [6; 7].

## 6. Auswertung der Versuche

### 6.1 Berstversuche

Die Prüfstücke haben Berstdrücke nach Tabelle 2 erbracht. Sie zeigen einen Bruchverlauf, wie er nach der Hauptspannungsrichtung zu erwarten war (Bild 8). Nur bei Prüfstück Nr. 4.2.3 mußte der Berstversuch wegen einer Undichtheit im Nahtbereich bei 132 bar abgebrochen werden. Die Undichtheit trat in einem Belastungsbereich auf,

Tabelle 2: Ergebnis der Belastungsversuche

Prüfstück Nr.	Wanddicke		Berst- druck kp/cm <sup>2</sup>	Schwell- bereich kp/cm <sup>2</sup>	Lastwechselzahl (B = Bruch) × 10 <sup>6</sup>	Bruch- biege- moment mkp	Innen- druck kp/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{0,2}$ Zugprobe des Hauptrohres kp/mm <sup>2</sup>
	Rohr mm	Abgang mm						
4.1.2	9,7	8,7	180					37,4
4.1.3	10,2	8,0	158					36,3
4.2.2	9,5	8,5	116					36,8
4.2.3	10,5	8,3	132					33,8
6.2.2	13,1	8,3	90					34,3
6.2.3	10,0	9,1	85					35
6.3.2	10,0	9,9	55,5					30,7
6.3.3	9,0	8,3	44					29,4
8.2.2	11,6	8,8	65					32,6
8.2.3	11,3	8,7	80					31,9
8.4.2	14,8	12,5	58,6					30,9
8.4.3	12,4	10,7	46					30,2
10.3	14,5	8,0	42,5					32
10.3/4	13,0	8+7,5	61					31,5
4.1.5	11	8,1		15—30	1,0			36,6
4.2.5	11,4	9,2		15—30	3,0			34,2
4.2.5.1	10,0	9,0		35—50	B 0,77			33,5
4.2.5.2	9,4	9,4		55—70	B 0,585			33,7
4.2.5.3	10,9	8,4		55—70	1,0			34,3
4.2.5.4	11	9,0		55—70	B 0,085			32,6
4.2.5.5	9,3	8,3		55—70	B 0,0218			34,4
6.2.5	13,0	10,0		10—25	1,0			31,1
8.4.5	12,2	11,1		10—25	0,275			37,7
4.1.8	10,5	7,5				1600	25	32,9
4.2.8	12,0	10,5				3920	25	32,5

in dem vergleichbare Prüfstücke bereits geborsten sind.

Die bei den abgedeckelten Prüfstücken erreichten Berstdrücke lassen erkennen, daß Längskräfte bei der Bemessung von Abgängen berücksichtigt werden müssen.

Die Diagramme 1 bis 6 geben, wie vom MPA in Dortmund ermittelt [6], die gemessenen Dehnungen in Abhängigkeit vom Prüfdruck wieder. Die gefundenen maximalen Dehnungswerte zeigen, daß das Bersten oberhalb der Streckgrenze eingetreten ist. Im unteren Druckbereich steigen die Dehnungswerte linear mit den Druckerhöhungen. Mit der beginnenden plastischen Verformung tritt eine Spannungsverlagerung auf. Die Spannungsverlagerung ist durch eine Richtungsänderung der Werte einiger Dehnungsmeßstreifen (DMS) zu erkennen. Einem überproportionalen Aufweiten des Hauptrohres (DMS Nr. 1 bis 5) muß der Abgang nachkommen. Die örtlich über die Schweißnaht in den Abgang einfließende Aufweitung führt zu einer Spannungsumlagerung, die an den tangen-

tialen DMS des Abganges durch eine Stauchung zu erkennen ist. Die Stauchung des Abganges nähert sich mit weiterer Druckerhöhung der Schweiß-

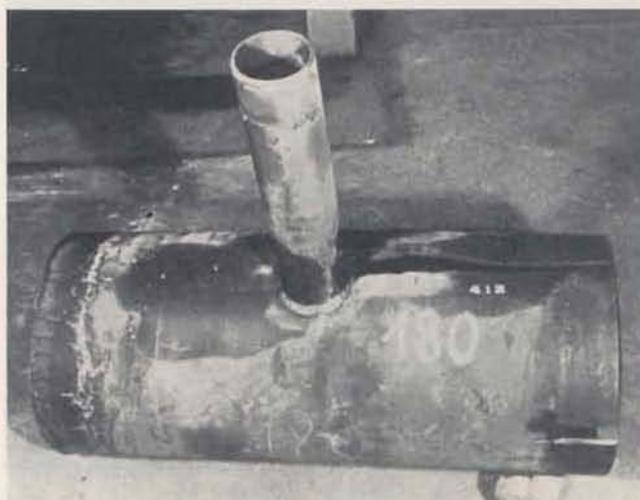


Bild 9: Prüfstück Nr. 4.1.2 nach dem Bersten mit über- großen Verformungen im Ribbereich

naht. Dies zeigt sich an den DMS Nr. 5 und 6 durch eine scharfe Richtungsänderung kurz vor dem Bruch. Ob der Bruch zuerst im Schweißnahtbereich einsetzt oder unabhängig davon im Hauptrohr, ist ungeklärt. Durch die übergroße Aufweitung im Hauptrohr der Prüfstücke 4.1.2 (Bild 9), 4.2.2 und 8.2.2 ist der Bruchbeginn im Hauptrohr zu vermuten. Die Tabelle 3 zeigt die gemessenen Dehnungen des Dehnungsmeßstreifens 4 beim Bersten, der etwa in der Mitte des verschwächten Bereiches des Hauptrohres angeordnet war. Der verschwächte Bereich läßt sich nach S. Schwaigerer [8] wie folgt berechnen:

$$\text{Hauptrohr } a = \sqrt{(d_a - s) \cdot s} \text{ (mm)}$$

$$\text{Abgang } a = 1,25 \cdot \sqrt{(d_a - s) \cdot s} \text{ (mm)}$$

Hierin bedeuten:

- a = verschwächter Bereich
- $d_a$  = Außendurchmesser des Rohres bzw. Abganges
- s = Wanddicke des Rohres bzw. Abganges

Die Tabelle 4 zeigt die Größe des gemessenen verschwächten Bereiches im Hauptrohr, und zwar in % des errechneten. Dabei betrug die gemessene Dehnung des DMS 4 = 0,4 %.

Beim Erreichen der 0,2-Dehngrenze muß die gemessene Gesamtdehnung in der Zugprobe den Wert

$$\varepsilon_{0,2} = 0,2 + \frac{\sigma_{0,2}}{E} \cdot 100 \text{ (}\% \text{)}$$

$$\varepsilon_{0,2} = 0,377 \text{ }\%$$

erreichen.



Bild 10: Prüfstück 4.1.8 nach dem Biegeversuch; der Riß läuft im Auslauf der Kehlnaht durch die Wand des Hauptrohres

Tabelle 3: Beim Bersten gemessene Dehnungen in der Mitte des verschwächten Bereiches des Hauptrohres

Prüfstück Nr.	gemessene Dehnung %
4.1.2	0,7680
4.2.2	0,5506
6.2.2	0,4975
6.3.2	0,5690
8.2.2	0,4830
8.4.2	0,5023

Tabelle 4: Durch Dehnungsmeßstreifen bestimmter verschwächter Bereich im Hauptrohr

Prüfstück Nr.	a gemessen = % a errechnet (S. Schwaigerer)
4.1.2	112
4.2.2	111
6.2.2	100
6.3.2	111
8.2.2	116
8.4.2	111

Tabelle 5: Ergebnisse aus den Biegeversuchen

Prüfstück Nr.	erreichtes Biegemoment am Abgang mkp	errechnete Biegespannung im Abgang $\text{kp/mm}^2$
4.1.8	1 600	23,4
4.2.8	3 920	18,9

## 6.2 Innendruckschwellversuche

Wie die Ergebnisse in Tabelle 2 ausweisen, erreichen die mit einer Kehlnaht aufgeschweißten Abgänge deutlich größere Lastspielzahlen als die mit einer halben V-Naht auf- bzw. eingeschweißten Abgänge.

Ein Vergleich der Lastspielzahl der Prüfstücke 4.2.5 bis 4.2.5.2 zeigt einen Abfall mit steigendem mittleren Druck bei gleicher Schwellbreite.

Die mit Drücken nach DIN 28 610 schwellend belasteten Prüfstücke haben  $\geq 1 \times 10^6$  Lastspiele ohne Beschädigung erreicht.

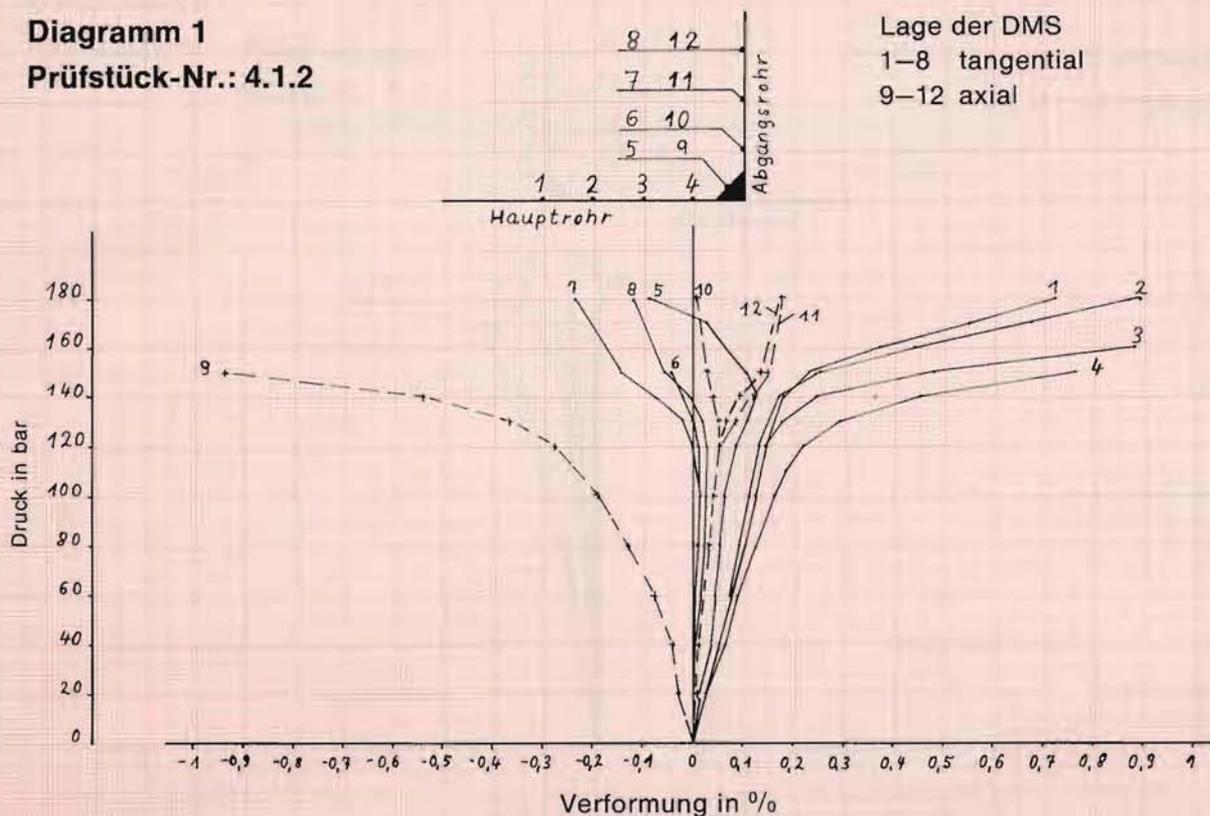
Aus den bei den Prüfstücken 4.2.5.3 (Kehlnaht ohne Puffernaht) und 4.2.5.2 (Kehlnaht mit Puffernaht) erreichten Lastspielzahlen läßt sich nicht ableiten, daß bei einer dynamischen Belastung die Kehlnaht ohne Puffernaht Vorteile bietet. Dieses müßte in weiteren Versuchen geklärt werden.

## 6.3 Biegeversuche

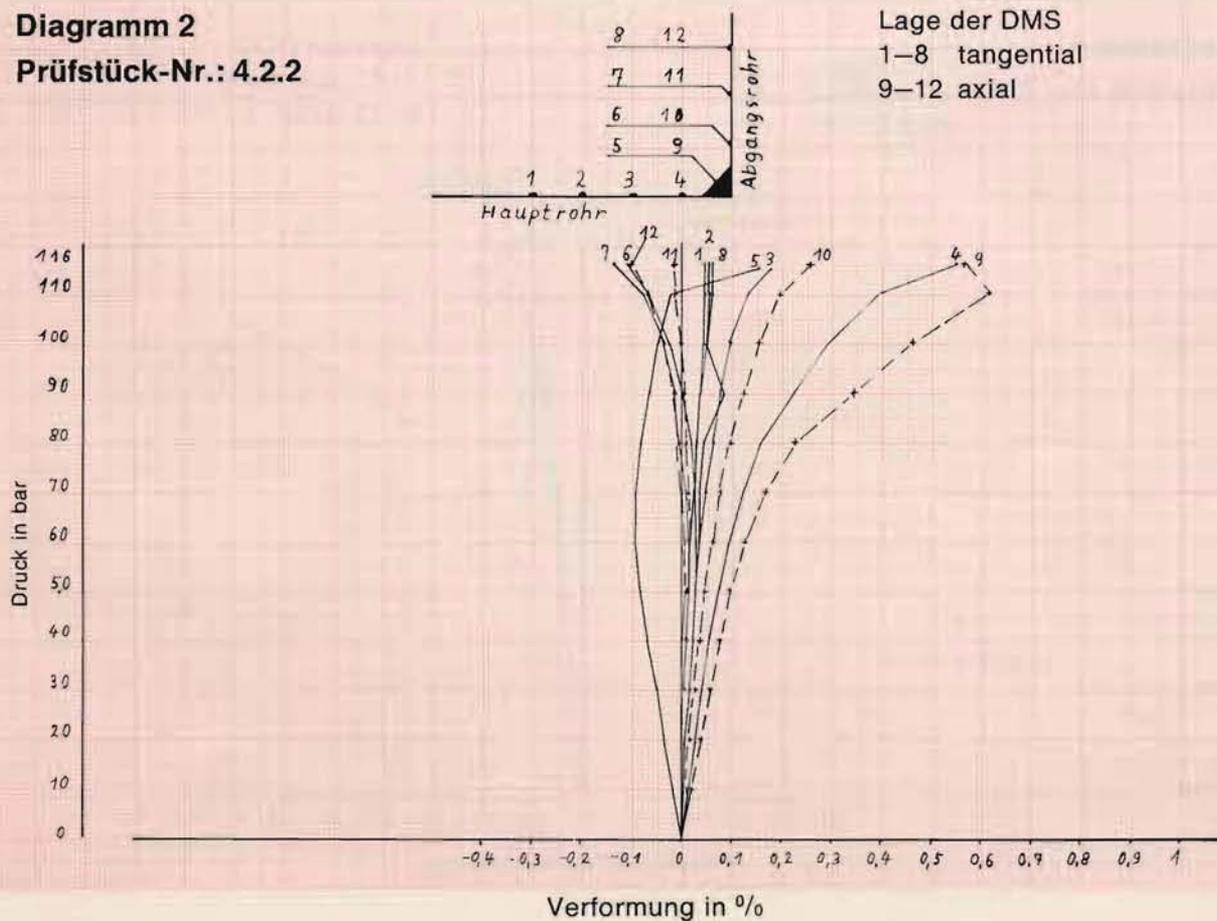
Tabelle 5 gibt die erreichten Biegemomente an den Abgängen bei ND 25 sowie die daraus errechneten Biegespannungen in den Abgängen wieder.

Beim Biegeversuch ist der Abgang im Auslauf der Kehlnaht aus dem Rohr herausgebrochen (Bild 10). Der Bruch ist durch eine Kraftumlenkung im Anschlußbereich zu erklären, wobei eine Kerbwir-

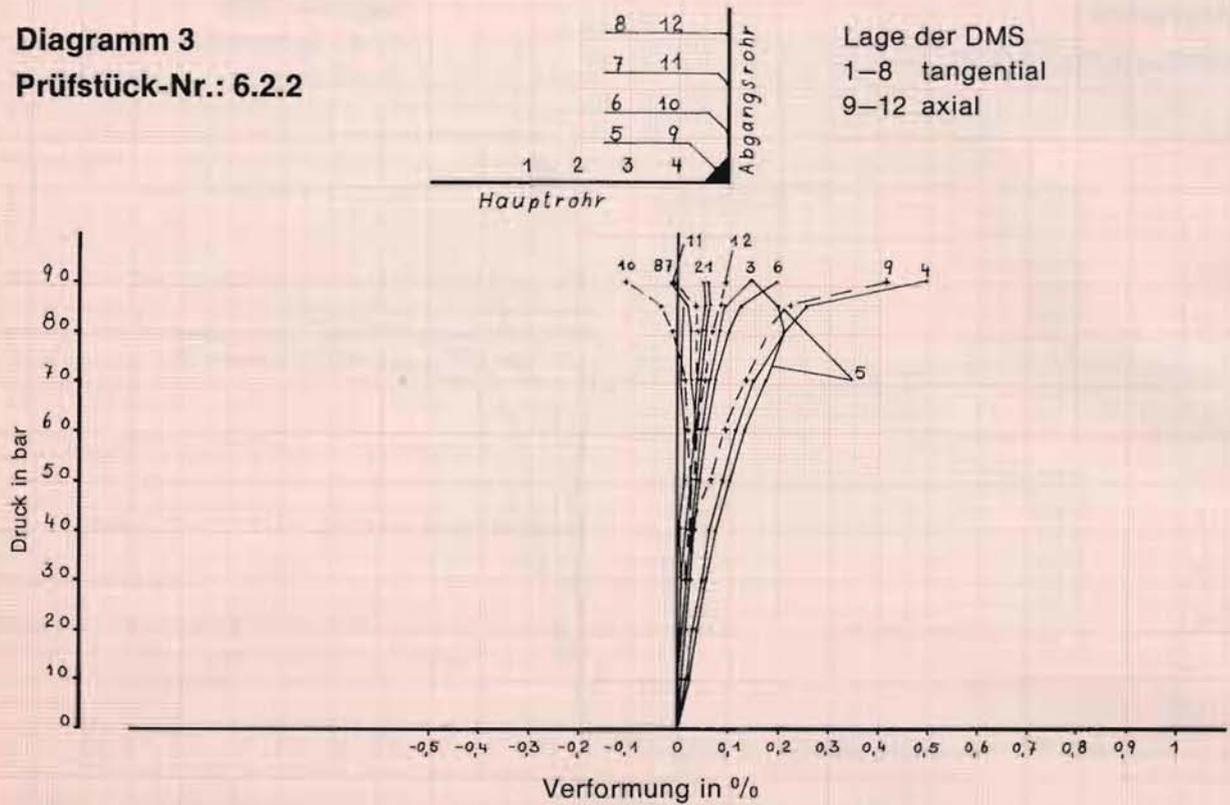
**Diagramm 1**  
**Prüfstück-Nr.: 4.1.2**



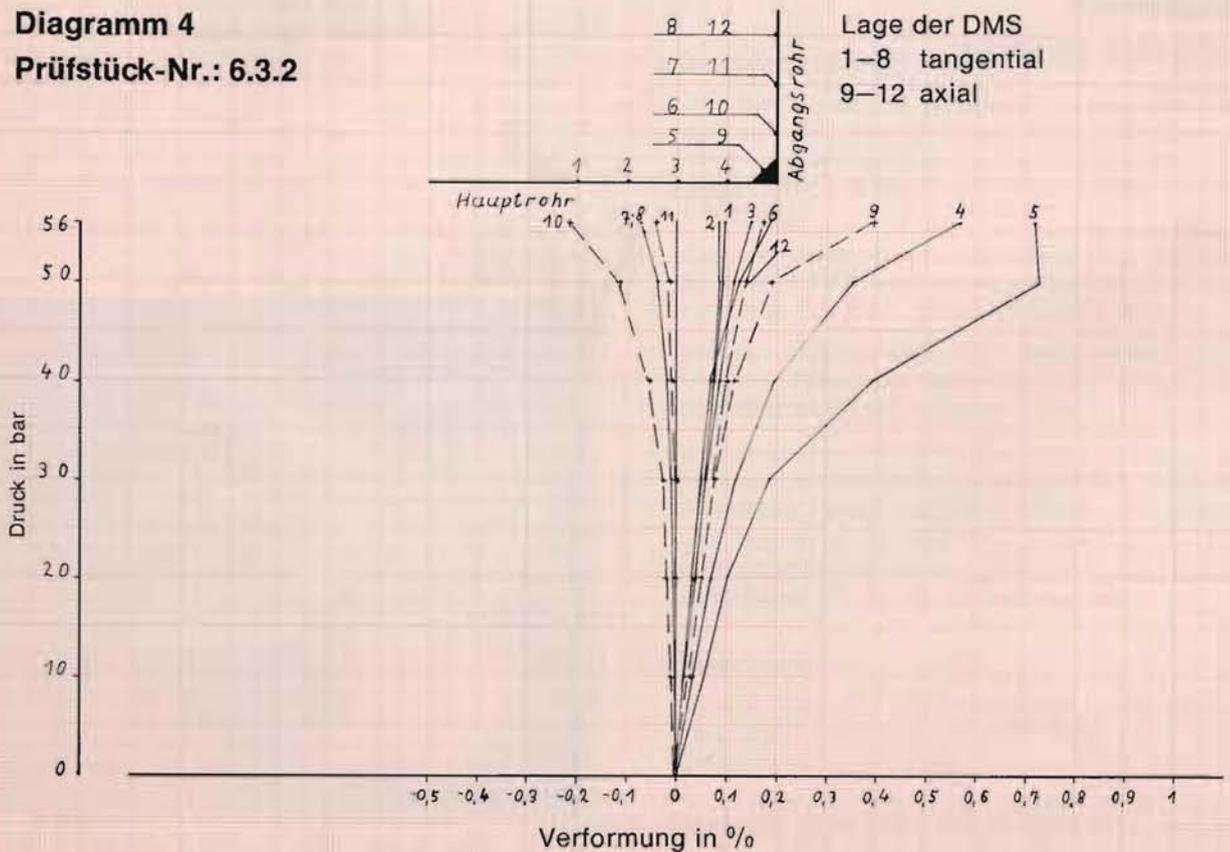
**Diagramm 2**  
**Prüfstück-Nr.: 4.2.2**



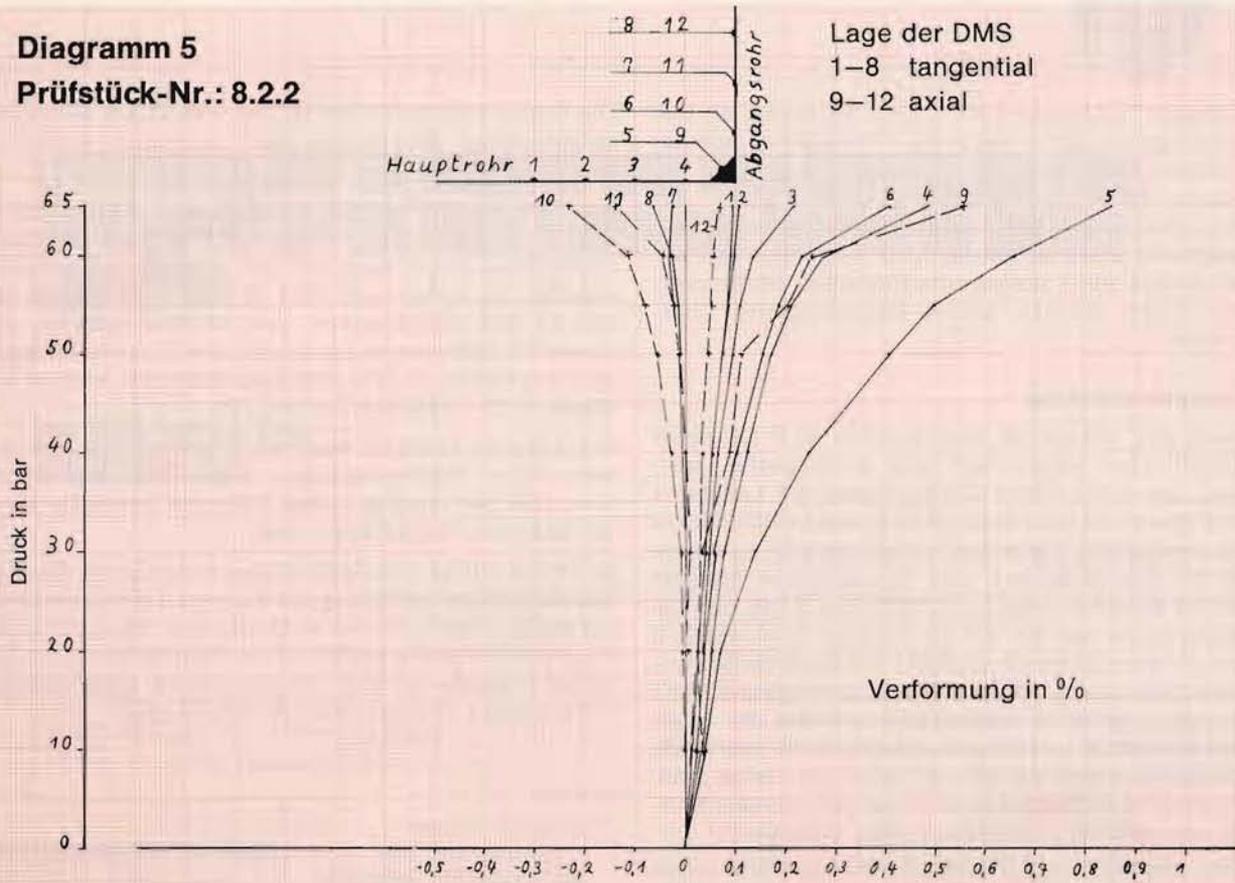
**Diagramm 3**  
**Prüfstück-Nr.: 6.2.2**



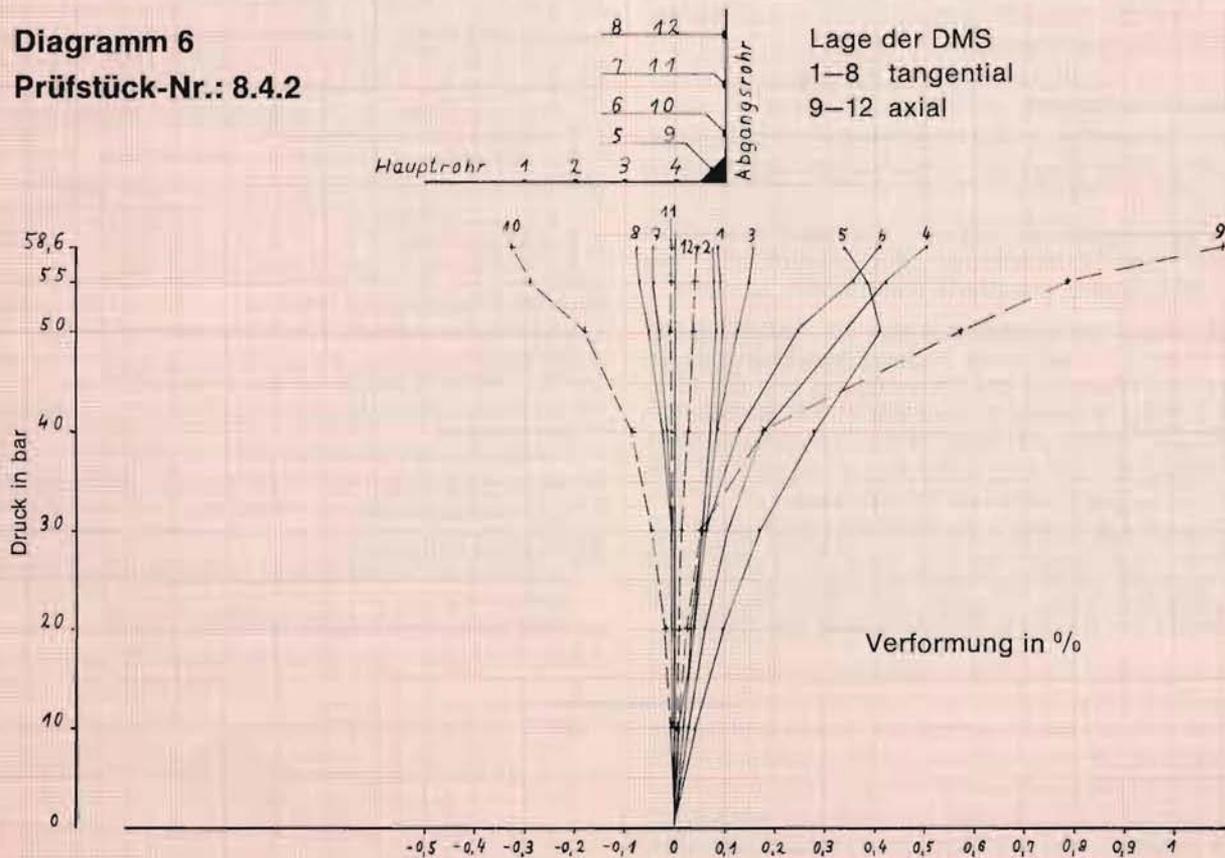
**Diagramm 4**  
**Prüfstück-Nr.: 6.3.2**



**Diagramm 5**  
**Prüfstück-Nr.: 8.2.2**



**Diagramm 6**  
**Prüfstück-Nr.: 8.4.2**



kung im Nahtverlauf nicht auszuschließen ist. Das Abgangsrohr hätte das 2- bis 3-fache Biegemoment aufnehmen können. Es ist anzustreben, z. B. bei einem durch Innendruck belasteten Rohr mit Flanschabgang das angreifende Biegemoment möglichst klein zu halten. Von Abgängen mit beweglichen nicht längskraftschlüssigen Muffenverbindungen werden keine Biegemomente übertragen.

#### 6.4 Gefügebeurteilung

Nach den Versuchen sind von der SLV Duisburg Schliffbilder angefertigt und ausgewertet worden. Die gefundenen Gefügezonen mit Ledeburit und Martensit sind beim GGG-Kaltschweißen nicht zu verhindern. Sie haben in keinem Fall zu einem Bruch vor Erreichen der Streckgrenze geführt (siehe Berstversuche mit DMS). Die Tiefe der Ledeburitzone beträgt 0,1 bis 0,2 mm, in einem Fall bis 0,7 mm. Dieses Prüfstück, Nr. 8.2.2, ist bei geringerem Druck geborsten als das Prüfstück 8.2.3 mit etwa gleichen Abmessungen. Durch die angebrachten DMS ist nachgewiesen worden, daß beide Stücke oberhalb der Streckgrenze geborsten sind. Die bei der Gefügebeurteilung gefundenen Martensitzonen sind zwischen 0,1 und 1 mm breit.

Die Ledeburit- und Martensitzone kann z. B. durch Absenken der Stromstärke oder durch Wahl dünner Elektrodendurchmesser dünn gehalten werden, so daß die Schweißverbindung insgesamt verformungsfähig sein kann.

#### 7. Schlußfolgerungen

An duktile Gußrohre nach DIN 28 600 für Wasserleitungen können Abgänge angeschweißt und belastet werden.

Die Verbindungsnaht soll als Kehlnaht ausgeführt werden. Zur Erleichterung der Ausführung des Schweißens bieten gepufferte Nahtflanken Vorteile.

Das Verbindungsschweißen kann am kalten Werkstück (min. 5° C) mit einer Nickel-Eisen-Elektrode erfolgen. Der Übergang des Schweißgutes von der Elektrode auf das Werkstück wird mit einem sprühenden Lichtbogen erleichtert. Eine Wärmebehandlung nach dem Schweißen ist nicht erforderlich, so daß an verlegten Leitungen geschweißt werden kann.

Zum Schweißen sollten nach DIN 8560 geprüfte Rohrschweißer eingesetzt werden. Dem Schweißer muß eine ausreichende Zeit zur Einarbeitung für das Schweißen mit duktilem Gußeisen gegeben werden.

Die Schweißkonstruktion ist der jeweiligen Belastung entsprechend auszulegen, was aufgrund von Versuchsergebnissen erfolgen kann.

Aus den Versuchsergebnissen ist dazu zu erkennen: Für eine Einführung dieser Art des Konstruktions-schweißens bleibt man auf der sicheren Seite, wenn zunächst an Rohre nach DIN 28 610 für Leitungen mit ND 10 das Anschweißen von Muffenabgängen mit einem Verhältnis von 1:2 erfolgt. Bei Flanschabgängen an Hauptrohre > NW 500 empfiehlt sich vorerst ein Einsatz von Abgängen bis NW 200.

Bei höheren Drücken wird die Verwendung von geschweißten Muffenabgängen empfohlen. Für Rohre über NW 300 wird in jedem Falle die Beratung durch die Herstellerwerke angeraten.

In Fällen hoher Innendruckbeanspruchungen werden Verstärkungen im tragenden Bereich des Hauptrohres notwendig. Die positive Wirkung von Verstärkungen zeigt ein Vergleich zwischen den Prüfstücken 10.3 und 10.3/4 (Tabelle 2). Der Wirkungsgrad einer solchen Verstärkung ist noch näher zu untersuchen.

#### Literatur

- [1] Rudolph Zimmer  
„Anschweißen von Anschluß-Stutzen für Hauszuleitungen an duktile Gußrohre“  
fgr-Informationen Heft 7 (Febr. 1972) S. 31/37
- [2] Wolf-Dieter Schneider und Erich Theis  
„Das Schweißen von duktilen Gußrohren“  
fgr-Informationen Heft 8 (Febr. 1973) S. 2/13
- [3] Otto Host, Horst Scherwass und Willibald Steinlein  
„Hausanschlußstutzen und Sattelstutzen aus duktilem Gußeisen zum Anschweißen“  
fgr-Informationen Heft 8 (Febr. 1973) S. 14/18
- [4] Reinhard Schaffland, Erich Theis und Adolf Wolf  
„Anschweißstutzen aus duktilem Gußeisen für Hausanschlußleitungen“  
fgr-Informationen Heft 9 (Febr. 1974) S. 2/11
- [5] Adolf Wolf und Erich Imhof  
„Schubsicherungen für Rohrleitungen aus duktilem Gußeisen“  
fgr-Informationen Heft 9 (Febr. 1974) S. 20/23
- [6] Staatliches Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen in Dortmund  
Prüfbericht Nr. 1 303 884 73-01 bis 10
- [7] Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt Duisburg  
Untersuchungsbericht Nr. 73 FW 414
- [8] Siegfried Schwaigerer  
„Geschweißte Abzweigstücke für Rohrleitungen und ihre Berechnung“  
Schweißen und Schneiden, 17 (1965) S. 425/29

# Erfahrungen über die Schutzwirkung eines Überzugs aus einer Spritzverzinkung und einem bituminösen Anstrich bei duktilen Gußrohren

Von Wolf-Dietrich Gras  
und Werner Wolf

Die Spritzverzinkung wird heute als Korrosionsschutz für Stahlbauteile in breitem Umfang angewendet. Ihre Hauptanwendungsgebiete liegen im Stahlhochbau und im Stahlwasserbau, eingeschlossen Bauwerke im Meerwasser. Damit die lebensdauerverlängernde Wirkung des Zinks für das Bauteil möglichst lange erhalten bleibt, wird auf die Verzinkungsschicht in den meisten Fällen noch ein Lackanstrich aufgebracht [1; 2; 3; 4; 5].

## Schutzwirkung des Zinks

Der korrosionsschützende Effekt des aufgetragenen Zinks wirkt sich gegenüber dem Eisenuntergrund in zweifacher Hinsicht aus. Einmal schützt das Zink das Eisen dadurch, daß es an dessen Stelle in Lösung geht, weil sein elektrochemisches Potential wesentlich unedler ist. Zum anderen decken die gebildeten Reaktionsprodukte, welche beim Angriff neutraler Salzlösungen größtenteils unlöslich sind, die Oberfläche des Bauteils ab und verringern dadurch das Nachdiffundieren des angreifenden Mediums [6].

Der Potentialabstand Zink/Eisen wird in der Fachliteratur [7] in der Größenordnung von ca. 400 mV angegeben. Dieser Wert ist auch neuerdings von H. D. Steffens [8] bei der Aufnahme von Potential-Zeit-Kurven an Proben aus Stahl St 37 und Zink-Spritzschichten in Meerwasser bestätigt worden. In diesem Zusammenhang soll nicht unerwähnt bleiben, daß bei der Metallpaarung Zink/Eisen unter gewissen Umständen eine Potentialumkehrung auftreten kann [9]. Diese Erscheinung tritt aber nur bei warmen Wässern infolge eines abgewandelten Reaktionsablaufs auf und ist daher für das hier zu behandelnde Thema ohne Bedeutung.

Die Reaktionsprodukte des Zinks bestehen je nach der chemischen Zusammensetzung der wässrigen Lösungen hauptsächlich aus:

- basischen Zinkkarbonaten,  $2 \text{ZnCO}_3 \cdot 3 \text{Zn}(\text{OH})_2$
- basischen Zinkchloriden,  $\text{ZnCl}_2 \cdot 4 \text{Zn}(\text{OH})_2$   
bzw.  $\text{ZnCl}_2 \cdot 6 \text{Zn}(\text{OH})_2$
- basischen Zinksulfaten,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 3 \text{Zn}(\text{OH})_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$

Bei der röntgenographischen Untersuchung derartiger Deckschichten werden neben Interferenzlinien, die den

oben genannten chemischen Verbindungen zuzuordnen sind, auch solche gefunden, die kristallographisch nicht gedeutet werden können [10].

Die Zinküberzüge besitzen gegenüber den anderen zum Korrosionsschutz verwendeten unedlen Metallen noch den sehr ausgeprägten Vorteil der sogenannten Fernschutzwirkung [8; 10]. Darunter wird die Fähigkeit verstanden, daß bei Verletzungen des Zinküberzuges der freigelegte Eisenuntergrund trotzdem durch die unmittelbar benachbarten Zinkflächen vor Korrosion geschützt bleibt. Auf diese für den Korrosionsschutz sehr wertvolle Eigenschaft wird am Schluß dieser Arbeit in Verbindung mit eigenen Untersuchungen nochmals ausführlicher eingegangen werden.

Die Korrosionsschutzfachleute unterscheiden zwischen einem sogenannten passiven und einem aktiven Korrosionsschutz. Beim passiven Schutz wird eine rein mechanische Trennung zwischen Werkstoff und angreifendem Medium angestrebt, während man beim aktiven Schutz durch gezielte Maßnahmen unmittelbar den Ablauf des Korrosionsgeschehens verändert. Die Verzinkung ist ihrem Charakter nach mehr in die zweite Gruppe einzureihen.

## Erfahrungen von Pont-à-Mousson mit der Spritzverzinkung von Gußrohren

Die französische Firma Pont-à-Mousson hat sich bereits im Jahr 1938 mit der Frage beschäftigt, ob eine Spritzverzinkung von Schrauben vor der Teerung geeignet ist, ihren Korrosionswiderstand im Erdboden zu steigern. Erste Versuche in einem stark aggressiven Boden in der Bretagne, bei dem es sich um einen tonigen Boden mit Gezeitenschlick (Bodenwiderstand ca. 100 bis 200 Ohm · cm) handelte, erbrachten schon sehr befriedigende Ergebnisse.

Das Verhalten spritzverzinkter und anschließend geteerter Grauguß-Rohre wurde dann 1949 durch Korrosionsfeldversuche im gleichen Gebiet weiter verfolgt. Über das Endergebnis berichtete F. E. BROOKS [11] auf dem internationalen Wasserkongreß 1974 in Brighton folgendes: Während die lediglich geteereten Rohre bei einer Ausgrabung 1968 durchweg starke Korrosionsangriffe, zum Teil sogar Perforationen aufwiesen, zeigten die mit Zink und Teer versehenen Rohre keine

nennenswerten Angriffe ( $\leq 0,1$  mm) am Gußeisenuntergrund.

Aufgrund der sehr günstigen Zwischenergebnisse wird die Spritzverzinkung mit nachfolgender Teerung bei Pont à Mousson seit 1959 bei einem Teil der Graugußrohrproduktion und seit 1962 serienmäßig bei duktilen Gußrohren bis NW 250 durchgeführt. Bisher sind von 70 000 km derart verlegter Rohre keine Korrosionsschäden bekannt geworden.

#### Ergebnisse aus Gemeinschaftsversuchen an spritzverzinkten duktilen Gußrohren

Verschiedene europäische Gußrohrhersteller begannen im Jahr 1963 mit systematischen vergleichenden Korrosionsfeldversuchen an Rohren aus duktilem Gußeisen und Grauguß [12]. In diese Versuche wurden auch einige spezielle Korrosionsschutzüberzüge einbezogen, um deren Leistungsfähigkeit auf breiterer Basis zu prüfen. Zu diesen Überzügen gehörte die Spritzverzinkung mit zusätzlichem Teerlackanstrich.

Die Korrosionsfeldversuche wurden unter den nachfolgenden Bedingungen durchgeführt.

##### a) Böden:

Es wurde in Deutschland, England und Frankreich je ein Korrosionsfeld ausgewählt. Die charakteristischen Bodeneigenschaften der Felder sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Die Felder wurden unter dem Gesichtspunkt ausgewählt, daß sie vom Typ ihrer Aggressivität her (hoher Gehalt an organischer Substanz, hoher Tongehalt, hoher Salzgehalt) repräsentativ für die in der Praxis häufiger anzutreffenden Böden sein sollten, daß diese ihre Aggressivität aber groß sein sollte um rasch zu Versuchsergebnissen zu kommen.

##### b) Proben:

An verzinkten Proben wurden insgesamt 72 duktile Gußrohrabschnitte (NW 100, 1,75 m lang) eingegraben, und zwar in jedes Feld 24 Stück. Jede 24er Serie teilte sich auf in 2 x 12 Rohre:

12 Rohre mit Glühhaut, tauchgeteert

12 Rohre, Glühhaut abgestrahlt, tauchgeteert.

Es wurde eine Zinkschichtdicke von ca. 30 my angestrebt. Von jeweils 12 Rohren waren 6 maschinell verzinkt worden, wobei die angestrebte Zinkschichtdicke erreicht wurde. Bei den restlichen 6 war die Verzinkung von Hand erfolgt, wobei ungleichmäßige Schichtdicken von 15 — 60 my — mit vereinzelt Bereichen über 100 my — erhalten worden sind.

Bei Stahlbauteilen ist im allgemeinen vor der Verzinkung immer ein Sandstrahlen üblich. Es war daher von Interesse, die Frage zu prüfen, ob bei Gußrohren vor der Verzinkung die Glühhaut ebenfalls abgestrahlt werden muß. W. Demnitz [13] hat bei früheren vergleichenden Versuchen mit Zinkschichten von einer Dicke bis 40 my auf metallisch reinen

und angerosteten Oberflächen aus Stahl und Gußeisen festgestellt, daß die angerosteten Flächen besser und länger einem Rostdurchbruch widerstehen als sandgestrahlte Flächen. Die Anrostung durfte selbstverständlich nicht so weit gehen, daß loser Rost vorlag.

##### c) Referenzproben:

Als Vergleichsbasis standen aus dem Hauptversuchsprogramm (Vergleich des Korrosionsverhaltens von Rohren aus duktilem Gußeisen und Grauguß) insgesamt 90 duktile Gußrohrabschnitte NW 100, 1,75 m lang, ungeteert zur Verfügung.

##### d) Versuchsdurchführung:

Die Rohrabschnitte wurden mit Holzstopfen verschlossen und in etwa 1 m Tiefe in parallel zueinander im Abstand von 3,5 m gezogenen Rohrgräben mit einem in der Rohrachrichtung gemessenen Abstand von 0,25 m eingegraben. Die Proben waren mit einem Innenanstrich versehen worden, um Innenkorrosion zu verhindern.

##### e) Versuchsdauer:

Die Versuche erfolgten in 3 Zeitstufen mit Ausgrabungen nach 2 Jahren, 5 Jahren und 9 Jahren.

##### f) Versuchsauswertung:

Bei den verzinkten Rohren wurde nach der Ausgrabung zunächst der Teerüberzug durch Einlegen in ein Bad mit organischen Lösungsmitteln entfernt und eine Beurteilung des Oberflächenzustandes der Zinkschutzschicht vorgenommen. Sodann erfolgte an mehreren Stellen eine Bestimmung der Restmengen an metallischem Zink (durch Auflösen in Salzsäure und Messung des entwickelten Wasserstoffes). Zum Schluß wurden die Rohre sandgestrahlt und die Tiefe eventuell vorhandener Korrosionsangriffe vermessen.

Als Vergleichsbasis wurden die Korrosionsangriffsdurchschnittswerte herangezogen, die bei den ungeschützten Rohrabschnitten für jede eingegrabene 6er- bzw. 12er-Serie aus dem Mittel der fünf tiefsten Angriffe pro Rohr errechnet worden sind.

Bei der Auswertung der drei Zeitstufen wurden die nachfolgenden Ergebnisse und Erkenntnisse gewonnen:

##### a) Verminderung des Korrosionsangriffes durch die Spritzverzinkungsschicht:

Nach 2- und 5jähriger Eingrabungszeit wies kein einziges von 48 eingegrabenen Rohren einen Korrosionsangriff auf, während bei den unverzinkten Vergleichsrohren, je nach Aggressivität der Korrosionsfelder, Angriffe in der Größenordnung von 1,4 bis 2,2 mm zu verzeichnen waren.

Nach 9jähriger Eingrabungszeit wurde dann bei den verzinkten Proben aus dem englischen und französischen Korrosionsfeld an jeweils einer Probe

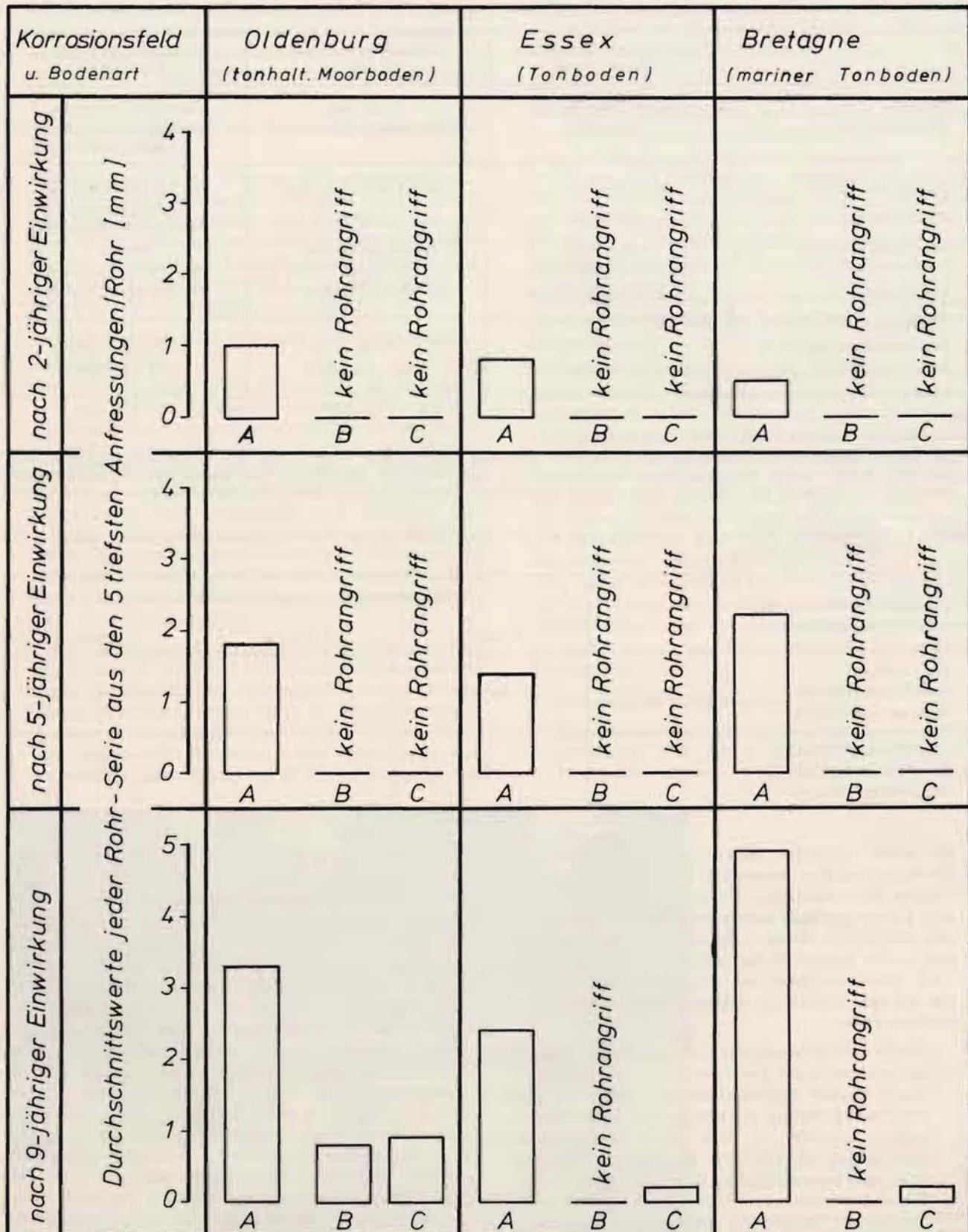


Bild 1: Untersuchungsergebnisse aus 9jährigen Versuchen in 3 Korrosionsfeldern über die Schutzwirkung einer Spritzverzinkung  
 Rohr-Serie A = duktile Rohre mit Glühhaut, ungeschützt  
 Rohr-Serie B = duktile Rohre mit Glühhaut, verzinkt und geteert  
 Rohr-Serie C = duktile Rohre ohne Glühhaut, verzinkt und geteert

**Tabelle 1** Korrosionschemische Kenndaten des deutschen, englischen und französischen Korrosions-Versuchsfeldes

	Versuchsfeld Oldenburg (Deutschland)	Versuchsfeld Essex (England)	Versuchsfeld Bretagne (Frankreich)
Bodenart Korrosionstyp	toniger Moorboden anaerob	Tonboden vorwiegend anaerob	mariner Tonboden abwechselnd anaerob und aerob
Bodenwiderstand	900 Ohm · cm	500 bis 900 Ohm · cm	100 bis 200 Ohm · cm
Wassergehalt	ca. 70 %	ca. 25 %	zeitweise von Meerwasser überspült
Schwefelwasserstoff	vorhanden	nicht vorhanden	Spuren
Chloridgehalt	ca. 1700 mg/kg Boden	ca. 300 mg/kg Boden	ca. 5000 mg/kg Boden
Sulfatgehalt	ca. 2700 mg/kg Boden	ca. 1000 mg/kg Boden	ca. 500 mg/kg Boden
Bodenbewertungsziffer <sup>1)</sup> Bodenbeurteilung	—18 bis —22 stark aggressiv	—12 bis —14 stark aggressiv	—13 bis —17 <sup>2)</sup> stark aggressiv

**Anm.:**

<sup>1)</sup> Gemäß DVGW-Arbeitsblatt GW 9 (August 1971)

<sup>2)</sup> Die starke Aggressivität dieses Bodens gegenüber eisernen Werkstoffen wird durch den Bodenbewertungsschlüssel nach GW 9 keineswegs voll erfaßt, wie die Auswertung aller Versuche gezeigt hat. Der Boden dieses Versuchsfeldes besitzt in Wirklichkeit eine höhere Aggressivität gegenüber Gußeisen als der Boden des Versuchsfeldes in Oldenburg.

**Tabelle 2** Versuchsfeld Oldenburg — Menge des auf der Rohroberfläche noch vorhandenen metallischen Zinks in % der Ausgangsmenge

Zustand der Rohroberfläche vor der Eingrabung	noch vorhandenes metallisches Zink nach		
	2 Jahren	5 Jahren	9 Jahren
mit Oxidhaut, maschinell verzinkt, mit Teerlackanstrich	24 %	4 %	3 %
Oberfläche gestrahlt, maschinell verzinkt, mit Teerlackanstrich	15 %	1 %	0 %

ein erster schwacher Korrosionsangriff beobachtet. Im deutschen Korrosionsfeld wiesen die verzinkten Proben Korrosionsangriffe von ca. 0,8 bis 0,9 mm auf. Demgegenüber hatten sich bei den unverzinkten Vergleichsrohren — betrachtet man alle 3 Felder — die Angriffstiefen mittlerweile nach der um vier Jahre verlängerten Eingrabungszeit auf 2,4 bis 4,9 mm erhöht. Zu diesen Ergebnissen ist noch zu bemerken:

— Wegen der Eigenart der Lage des Korrosionsversuchsfeldes in der Bretagne — vor den Deichen — hängt dessen Aggressivität von der Häufigkeit der Überspülungen ab, die gewissen Schwankungen unterworfen ist. Auf sie ist die große Zunahme des Angriffs bei den Vergleichsproben vom zweiten zum fünften Jahr zurückzuführen. Der relativ stärkste Korrosionsangriff bei den verzinkten Proben ist im Oldenburger Korrosionsfeld aufgetreten, wogegen die nicht verzinkten Proben im Korrosionsfeld in der Bretagne am stärksten angegriffen worden sind.

Offensichtlich hat dort die Verzinkung trotz sehr hoher Bodenaggressivität gegenüber dem duktilen Gußeisen einen höheren Schutzwert.

Einen anschaulichen Überblick über die insgesamt ermittelten Werte des Korrosionsangriffes an verzinkten und unverzinkten Rohren in den 3 Zeitstufen der 3 Korrosionsfelder liefert das in Bild 1 dargestellte Balkendiagramm. Es zeigt übereinstimmend die hohe Wirksamkeit der Verzinkung. Um den zeitlichen Verlauf der Zinkauflösung zu verdeutlichen, sind in Tabelle 2 die Restmengen an metallischem Zink zusammengestellt, die auf den Rohrproben aus dem Korrosionsversuchsfeld Oldenburg noch gefunden worden sind. Für diese Gegenüberstellung blieben die von Hand gespritzten Rohre unberücksichtigt, da es wegen der starken Zinkschichtdickenstreuungen nicht möglich war, eine genügend genaue Bestimmung der Restmenge an metallischem Zink durchzuführen.

An dieser Stelle muß ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß in derart stark aggressive Böden

normalerweise keine Gußrohre ohne Sonderschutz verlegt werden und diese Versuchsbedingungen nur aus Zeitraffungsgründen gewählt worden sind, um eine Relation zwischen den verschiedenen Einflußgrößen herausarbeiten zu können.

**b) Einfluß der Glühhaut auf die Auflösungsgeschwindigkeit des Zinks:**

Aus den Ergebnissen über die Auflösungsgeschwindigkeiten des Zinks in den einzelnen Zeitstufen ergibt sich übereinstimmend, daß der Prozeß bei den Rohren mit Glühhaut langsamer abläuft, als bei den vor der Verzinkung sandgestrahlten Rohren (vgl. Tabelle 2). Es ist daher nicht nötig, ein Strahlen der Rohre vor der Verzinkung vorzusehen.

**c) Korrosionsschützende Wirkung der Reaktionsprodukte des Zinks:**

Bei den Versuchen wurde festgestellt, daß auch nach restloser Auflösung des metallischen Zinks die Anwesenheit der Zinkreaktionsprodukte auf der Rohroberfläche noch über mehrere Jahre den Korrosionsangriff auf die Gußrohrwandung unterdrückt. Dies wird eindeutig dadurch bewiesen, daß in den Korrosionsfeldern Oldenburg und Bretagne aufgrund der stark aggressiven Böden schon nach fünf Jahren bei den maschinell verzinkten Proben praktisch kein metallisches Zink mehr vorhanden war und trotzdem die Rohre nach neun Jahren erst einen geringen Angriff zeigten.

Dieser Befund ist allerdings nicht nur allein auf die abschirmende Wirkung der Reaktionsprodukte des Zinks zurückzuführen, sondern es spielt noch eine zweite Einflußgröße eine Rolle. In den beiden eben genannten Korrosionsfeldern läuft in starkem Maße eine bakterielle Korrosion unter Mitwirkung sulfatreduzierender Bakterien ab. Es ist bekannt, daß

Zinksalze eine bakterizide Wirkung besitzen [14; 15; 16], und die Versuchsergebnisse sprechen sehr deutlich dafür, daß die Zinksalze auf der Rohroberfläche und im Erdboden in unmittelbarer Rohrnähe die bakterielle Korrosion nachhaltig abbremsen. Bei einer orientierenden Untersuchung des Bodens im Feld Oldenburg in einer Entfernung von 1 cm von der Rohroberfläche wurde ein Zinkgehalt von 0,1 % ermittelt (bezogen auf trockenen Boden). Die Vorteile der Spritzverzinkung lassen sich unabhängig von allen Meßwerten auch rein optisch im Aussehen der Rohre demonstrieren, wie aus den Farbaufnahmen in Bild 2 und 3 hervorgeht.

**Ergänzungsversuche über die Fernschutzwirkung der Spritzverzinkung an Stellen mit Transportverletzungen**

Nachdem die Korrosionsfeld-Versuche über die Schutzwirkung der Spritzverzinkung abgeschlossen waren, erschien es sinnvoll, noch einige ergänzende Untersuchungen über die Fernschutzwirkung des Zinks an transportverletzten Stellen auf der Rohroberfläche durchzuführen. Diese Versuche erfolgten einmal im Laboratorium, um Aufschluß über den Lösungsablauf des Zinks im Bereich von Transportverletzungen und die Ausbildung von Deckschichten aus Zink-Reaktionsprodukten zu gewinnen, sowie zweitens im Korrosionsfeld Oldenburg, um das Verhalten der transportgeschädigten Flächenbereiche unter praxisgerechten Bedingungen zu prüfen. Über diese Untersuchungen ist folgendes mitzuteilen:

**1. Versuche im Laboratorium**

Bei diesen Versuchen wurden insgesamt 11 Rohrabschnitte NW 100 x 200 mm für 15 Monate einem Dauertauchversuch in künstlichem Meer-



Bild 2

Aussehen von verzinkten duktilen Gußrohren nach 5jähriger Eingrabung in einem stark aggressiven Korrosionsfeld (Rohre zeigen keine Rotfärbung durch Eisenkorrosionsprodukte)



Bild 3

Aussehen von verzinkten duktilen Gußrohren nach 9jähriger Eingrabung in einem stark aggressiven Korrosionsfeld (Rohre zeigen keine Rotfärbung durch Eisenkorrosionsprodukte)

wasser nach DIN 50 900 [17] ausgesetzt, wobei sich die Prüfkörper in folgender Weise unterschieden:

- Oberfläche verzinkt und unverzinkt
- Zinkschicht mit und ohne Teerlacküberzug
- Gesamtbeschichtung mit und ohne Transportverletzungen

Die Einzelheiten der Ausgangsbedingungen sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Die Transportverletzungen wurden durch kräftiges Abschaben mit einem Messer erzeugt.

Nach 2, 4, 6, 8, 12 und 15 Monaten wurden die Proben jeweils einer optischen Auswertung hinsichtlich des Umfangs der Ausbildung der Zink-

**Tabelle 3** Versuchsbedingungen und -ergebnisse bei 15monatigen Dauertauchversuchen an verzinkten Rohrabschnitten (NW 100 × 200 mm) mit und ohne definierten Transportverletzungen in Meerwasser

Zahl der Proben	Ausgangszustand der Proben			Versuchsergebnisse Zustand der Rohroberfläche nach 15 Monaten
	spritz- verzinkt <sup>1)</sup>	Teerlack- überzug	Zahl und Art der Transportverletzungen	
2	ohne Zink und Teer (Referenzproben)			gesamte Fläche angerostet
3	ja (Schichtdicke 65 my)	nein	1. Probe = keine Verletzungen 2. Probe = kleine Verletzungen lt. Anm. 2 3. Probe = größere Verletzungen lt. Anm. 3	Weißer Belag und weiße Pusteln  An Verletzungen starke weiße Krusten, keine Rostdurchbrüche
3	ja (Schichtdicke 65 my)	ja (Schichtdicke 30 my)	1. Probe = keine Verletzungen 2. Probe = kleine Verletzungen lt. Anm. 2 3. Probe = größere Verletzungen lt. Anm. 3	Weißer Belag und weiße Pusteln  An Verletzungen starke weiße Krusten, keine Rostdurchbrüche
3	ja (Schichtdicke 65 my)	ja (Schichtdicke 70 my)	1. Probe = keine Verletzungen 2. Probe = kleine Verletzungen lt. Anm. 2 3. Probe = größere Verletzungen lt. Anm. 3	Weißer Belag und weiße Pusteln  An Verletzungen starke weiße Krusten, keine Rostdurchbrüche

**Anm.:** <sup>1)</sup> Alle Proben mit Glühhaut unter der Spritzverzinkung.

<sup>2)</sup> Je 1 Streifen 5 × 50 mm, 10 × 50 mm, 20 × 50 mm und 2 Kreisflächen 25 mm  $\phi$ .

<sup>3)</sup> Je 1 Streifen 5 × 200 mm, 10 × 200 mm, 20 × 200 mm und 2 Kreisflächen 25 mm  $\phi$ .



Bild 4 Rohrabschnitt mit einer Kruste von Zinkkorrosionsprodukten auf einer „Transportverletzung“

reaktionsprodukte und des Auftretens eventueller Rostdurchbrüche unterzogen. Der Befund nach 15monatiger Meerwasser-Einwirkung ist gleichfalls in Tabelle 3 eingetragen. Insgesamt war festzustellen, daß die verzinkten Proben durchweg mit einem weißen Belag aus Zink-Reaktionsprodukten überzogen waren, dessen Stärke allerdings bei den Proben, die zusätzlich noch einen Teerlack-Überzug erhalten hatten, merklich dünner war als bei den ungeteerten Rohren. In keinem Fall sind Rostdurchbrüche beobachtet worden, auch nicht an den Stellen mit den größeren Transportverletzungen. Vielmehr hatte sich an allen transportverletzten Flächen eine richtige Kruste aus Zink-Reaktionsprodukten gebildet, die erheblich dicker als der übrige Belag war. Ein Beispiel wird in Bild 4 gezeigt.

Es erschien nun interessant, sich Aufschluß über den Reaktionsablauf zu verschaffen und die Zinklösungsgeschwindigkeit in unmittelbarer Nachbarschaft der Transportverletzungen und an den übrigen, intakten Oberflächen zu klären. Zu diesem Zweck wurde der größte Teil der Zink-Reaktionsprodukte durch Behandlung mit Ammoniak entfernt. Es zeigte sich deutlich, daß das

Zink in der näheren Umgebung der Verletzungen rascher in Lösung geht als an den übrigen Flächen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß in den erstgenannten Bereichen die normale chemische Auflösung des Zinks noch verstärkt wird durch einen Lösungsanteil, der aus dem an diesen Flächen gegebenen Kontaktelement Zink/Eisen (dabei Eisen Kathode!) resultiert. Die Erscheinung der Krustenbildung auf dem transportverletzten Eisenuntergrund ist dadurch bedingt, daß die Zink-Ionen von den unverletzten Stellen auf Grund der an diesen Eisenflächen herrschenden Alkalität sehr rasch als basische Zinksalze ausgefällt werden.

## 2. Versuche im Korrosionsfeld

Bei Laboratoriumsversuchen besteht hinsichtlich der Übertragung der Ergebnisse auf die Verhältnisse bei erdverlegten Rohrleitungen immer eine gewisse Skepsis, ob die Versuchsbedingungen im Laboratorium die maßgebenden korrosiven Einflußgrößen des Erdbodens in genügendem Umfang eingeschlossen haben oder nicht. Daher sollten die vorliegenden Ergebnisse aus dem Laboratorium durch entsprechende Versuche im Korrosionsfeld Oldenburg (vgl. Tabelle 1) ergänzt werden.

Zu diesem Zweck wurden im Jahre 1970 5 Rohrabschnitte NW 100 x 1 m aus duktilem Gußeisen mit folgenden Ausgangsbedingungen eingegraben:

- 2 Stck. = unverzinkt und ungeteert (als Referenzrohre)
- 1 Stck. = spritzverzinkt (Schichtdicke ca. 65 my), ohne Teerlacküberzug, mit definierten Transportverletzungen gem. Bild 5
- 1 Stck. = spritzverzinkt (Schichtdicke ca. 65 my), mit Teerlacküberzug (Schichtdicke ca. 30 bis 40 my), mit definierten Transportverletzungen gem. Bild 5
- 1 Stck. = spritzverzinkt (Schichtdicke ca. 65 my), mit Teerlacküberzug (Schichtdicke ca. 70 my), mit definierten Transportverletzungen gem. Bild 5

Die Transportverletzungen wurden durch kräftiges Abschaben mit einem Messer erzeugt.

Nach einem Jahr wurden die Rohre wieder ausgegraben. Sie wurden zunächst mit Wasser und Bürste vorsichtig gereinigt. Auf der gesamten Oberfläche waren optisch keine Korrosionsangriffe festzustellen, auch nicht an den Stellen mit den vor Versuchsbeginn angebrachten definierten Verletzungen. Diese Stellen waren mit einer weißen Kruste überzogen. Um die Auswirkung von Verletzungen noch genauer zu untersuchen, wurden an all diesen Flächenbereichen die Zink-Reaktionsprodukte und das metallische Zink mit verdünnter Salzsäure entfernt und damit die Eisenoberfläche freigelegt. An keiner einzigen

Verletzung war die Rohroberfläche angegriffen, sondern es war durchweg noch die durch die Hämmermarken der Metallkokille bedingte Struktur der Oberfläche sichtbar.

#### Diskussion der Untersuchungsergebnisse

Die Spritzverzinkung ist bei den Korrosionsfeldversuchen aus Gründen der Zeitraffung unter wesentlich verschärften Bedingungen in stark aggressiven Böden, also Böden, in denen normalerweise Rohre nicht ohne Sonderschutz verlegt werden, getestet worden. Bei diesen sich über 9 Jahre erstreckenden Versuchen konnte in drei verschiedenen Böden nachgewiesen werden, daß schon mit einer relativ dünnen Zinkschicht von ca. 30 my unter der verschärften Belastung der Korrosionsangriff auf duktile Gußrohre über ca. 10 Jahre entweder nahezu restlos unterdrückt (englisches und französisches Feld) bzw. ganz erheblich verlangsamt (deutsches Feld) worden ist.

Ferner ließ sich nachweisen, daß

- der zunächst rein aktiv wirkende Schutz des metallischen Zinks mit der Zeit in einen passiv-aktiven Schutz durch Ausbildung einer Schicht aus Zink-Reaktionsprodukten, Restanteilen an metallischem Zink und später auch Eisenoxid übergeht,
- dieser Schicht auch dann noch eine Schutzwirkung zukommt, wenn das metallische Zink längst verbraucht ist,
- die Spritzverzinkung gerade auch in Böden mit bakteriellen Korrosionsvorgängen unter Mitwirkung sulfatreduzierender Bakterien aufgrund der bakteriziden Wirkung der Zinksalze eine sehr wirksame Schutzwirkung ausübt.

An Hand von Laboratoriumsversuchen und ergänzenden Korrosionsfeldversuchen konnte gezeigt werden, daß die Spritzverzinkung in der Lage ist, an sogenannten Transportverletzungen des Überzuges die in

der Literatur beschriebene Fernschutzwirkung auszuüben. Durch diese Eigenschaft ist die Spritzverzinkung in Verbindung mit einem Teerlacküberzug einem mehrschichtigen bituminösen Anstrich eindeutig überlegen.

#### Einführung der Spritzverzinkung in die Produktion

Duktile Gußrohre besitzen in den meisten Bodenarten eine gute Korrosionsbeständigkeit und erhalten daher gemäß DVGW-Arbeitsblatt GW 6 [18] normalerweise nur dünne bituminöse Außenüberzüge.

Es gibt jedoch einige Bodenarten, die sowohl bei Graugußrohren als auch bei duktilen Gußrohren stärkere Korrosionsangriffe auslösen können. Dazu gehören Moorböden, Schlick- und Marschböden, sulfathaltige Tonböden, aufgeschüttete Müllböden sowie Böden, die mit Abwasser verunreinigt sind. Da Gußrohre unter derartigen Belastungsbedingungen durchaus nicht immer einen zusätzlichen Korrosionsschutzüberzug erhalten, treten in geringem Umfang Korrosionsschäden an Rohren kleiner Nennweite (etwa bis NW 200) auf. Bei Leitungen größerer Nennweite sind zwar Fälle mit gewissen Angriffen bekannt, jedoch ist dies im allgemeinen ohne nachteilige Folgen. Lediglich bei Graugußrohren übten derartige Angriffe im Falle extremer mechanischer Belastungen hin und wieder einen mittelbaren Einfluß bei einem vorzeitigen Bruch aus.

Bei der Betrachtung der gesamten Situation ist auch zu berücksichtigen, daß der Planungsaufwand für Leitungen kleiner Nennweiten vielfach niedriger ist als im mittleren und höheren Nennweitenbereich. Demzufolge wird den möglichen Korrosionseinflüssen weniger Beachtung geschenkt.

Die Gußrohrwerke wissen in sehr vielen Fällen nicht, in welchen Böden die zu liefernden Rohre verlegt werden. Sie haben daher immer wieder nach Möglichkeiten gesucht, für Rohre kleiner Nennweiten die Gefahr

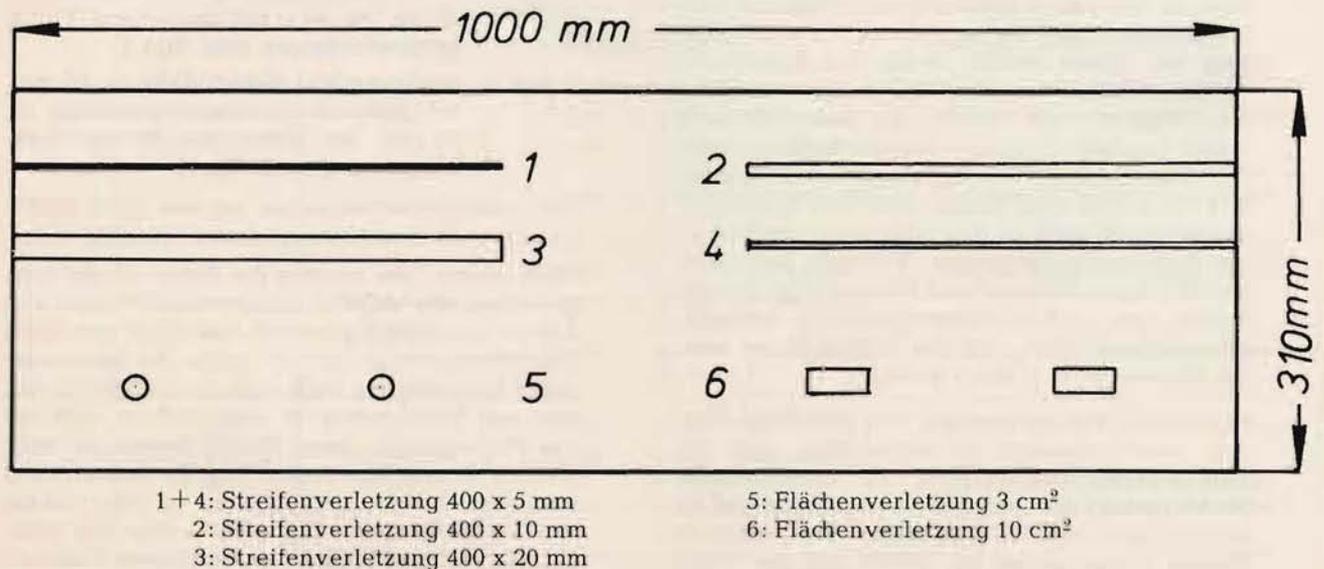


Bild 5 Art und Anordnung von simulierten Transportverletzungen auf der Oberfläche spritzverzinkter Gußrohre NW 100, 1000 mm lang (dargestellt an der abgewickelten Rohroberfläche)

eventueller Korrosionsschäden noch weiter einzulegen. Leitgedanke war dabei, daß der Vorteil des Gußrohres hinsichtlich einer unkomplizierten Handhabung an der Baustelle nicht verloren gehen sollte. Es bestand Übereinstimmung, daß es ohne aufwendigere Korrosionsschutzmaßnahmen nicht gelingen wird, alle stark aggressiven Belastungen aufzufangen. Die gedachte Maßnahme sollte aber eine echte lebensdauerverlängernde Wirkung besitzen, insbesondere im Übergangsbereich mittelaggressiv/stark aggressiv, wobei dieses Gebiet bevorzugt von Tonböden mit bakteriellen Korrosionsvorgängen repräsentiert wird.

Nach eingehender Prüfung aller Möglichkeiten und aufgrund der guten Ergebnisse aus den Feldversuchen hat man sich entschlossen, bei den Gußrohrwerken Voraussetzungen für die Möglichkeit einer Spritzverzinkung duktiler Gußrohre im Bereich von NW 80 bis NW 300 zu schaffen. Wesentliche Gesichtspunkte waren dabei, daß die Ergebnisse aus den Feldversuchen durch 15jährige Erfahrungen des französischen Gußrohrherstellers Pont à Mousson aus der Betriebspraxis untermauert sind, und die Spritzverzinkung einem verstärkten Anstrichsystem aufgrund der Fernschutzwirkung an Transportverletzungen deutlich überlegen ist.

Die Spritzverzinkung erfolgt, nachdem die Rohre den Glühofen verlassen haben, unmittelbar auf die Glühhaut unter Verwendung von elektrischen oder mit Brenngas betriebenen Spritzpistolen und mit einer mittleren Schichtdicke von 20 bis 30 my. Auf die Verzinkung wird dann ein bituminöser Anstrich aufgebracht.

Die Spritzverzinkung stellt einen sehr hochwertigen Schutz für Gußrohre im Falle der Verlegung in aggressiven Böden dar. In den nicht sehr häufigen Fällen, in denen eine Verlegung in stark aggressiven Böden erfolgt, wird man zusätzliche Schutzmaßnahmen ergreifen.

#### Zusammenfassung

Ein Schutzüberzug auf Rohren aus duktilem Gußeisen — bestehend aus einer Spritzverzinkung und einem bituminösen Überzug — hat sich in Korrosionsfeldversuchen und in einem 15jährigen industriellen Einsatz im Ausland als äußerst wirkungsvoller Korrosionsschutz in aggressiven Böden erwiesen. Die Korrosionsschutzwirkung beruht in einem ersten Stadium auf einem elektrochemischen Effekt, wobei im Bereich von Poren und kleineren Verletzungen Zink an Stelle von Eisen in Lösung geht und in Form schwer löslicher Zinksalze wieder ausfällt. Mit der Zeit bilden sich Schutzschichten aus, die ihre Schutzwirkung auch dann noch ausüben, wenn kein metallisches Zink mehr vorhanden ist. In einem Laborversuch und in einem weiteren Feldversuch konnte die Fernschutzwirkung der Spritzverzinkung nachgewiesen werden. Aufgrund der positiven Erfahrungen mit spritzverzinkten Rohren hat man sich bei den Gußrohrwerken entschlossen, Voraussetzungen für die Möglichkeit einer Spritzverzinkung duktiler Gußrohre im Bereich von NW 80 bis NW 300 zu schaffen.

#### Literatur

- [1] T. K. Ross, E. L. Smith und R. E. Mansford: Korrosionsschutz von Stahl durch gespritzte Zink- und Aluminiumüberzüge  
Korrosion 12 (1960) S. 172/77, Verlag Chemie, Weinheim
- [2] Z. Kowalski: Korrosionsschutz von Stahlwasserbauten durch flammgespritzte Zinküberzüge  
Korrosion 12 (1960) S. 180/86, Verlag Chemie, Weinheim
- [3] A. Matting und H. D. Steffens: Stand und Entwicklung des Metallspritzens  
Schweißen und Schneiden 17 (1965) S. 684/90
- [4] A. Seils: Optimaler Korrosionsschutz durch Metallüberzüge mit Anstrich und ihr Einfluß auf die Gestaltung der Stahlbauwerke  
Werkstoff und Korrosion 20(1969) S. 869/76
- [5] W. Schwenk und W. Friehe: Korrosionsverhalten feuer- und spritzverzinkter Stahlbleche mit und ohne Schutzanstrich auf dem Seewasserversuchsstand des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute in Helgoland  
Stahl und Eisen 92 (1972) S. 1030/35
- [6] U. R. Evans: Einführung in die Korrosion der Metalle  
Verlag Chemie, Weinheim (1965) S. 196
- [7] F. Tödt: Korrosion und Korrosionsschutz  
Verlag W. de Gruyter, Berlin (1961) S. 211
- [8] H. D. Steffens: Elektrochemische Untersuchungen zum kathodischen Korrosionsschutz durch metallgespritzte Überzüge  
Archiv Eisenhüttenwesen 43 (1972) S. 775/79
- [9] wie [7], jedoch S. 203
- [10] G. Burgmann und W. Schwenk: Vergleichende Untersuchungen über die Korrosionsbeständigkeit verzinkter und aluminierter Stahlbleche  
Archiv Eisenhüttenwesen 39 (1968) S. 623/28
- [11] F. E. Brooks: Vortrag International Water Supply Association  
10th Congress, Brighton, August 1974
- [12] W. D. Gras und W. Wolf: Neuere Untersuchungsergebnisse über das Korrosionsverhalten von Rohren aus duktilem Gußeisen;  
FGR-Informationssheft Nr. 5 der Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre, Köln (1970) S. 25/32
- [13] W. Demnitz: Der Schutzwert von Zinkschichten auf nicht metallreinen Oberflächen von Stahl, Eisen und Gußeisen  
Metalloberfläche 14 (1960) S. 345/50
- [14] Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie  
Verlag Urban und Schwarzenberg, München (1969) 19. Band, S. 144
- [15] G. Seelmeyer: Über die biologische Eisenkorrosion  
Werkstoffe und Korrosion 4 (1953) S. 241/47
- [16] Referatteil in Werkstoffe und Korrosion, 19 (1968) S. 609
- [17] DIN 50 900 (Nov. 1960): Korrosion der Metalle, Begriffe
- [18] DVGW-Arbeitsblatt GW 6 (Nov. 1969): Umhüllungen und Auskleidungen auf bituminöser Grundlage für Guß- und Stahlrohre

## Typprüfungen an Gußrohrdichtungen für Gasleitungen gemäß Vornorm DIN 3535 Blatt 3 \*

Von Horst Nöh

### Einleitung

Für Gasleitungen sind neben guten Werkstoffeigenschaften der Rohre die Sicherheit und Zuverlässigkeit der Verbindungen von entscheidender Bedeutung. Diese wichtige Aufgabe wird von den gummigedichteten Muffenverbindungen, wie sie von der Gußrohrindustrie eingesetzt werden, gelöst. Voraussetzung für den jetzigen Stand waren jahrelange Entwicklungsarbeiten und Versuche an den verschiedenen Gußrohr-Verbindungssystemen einschließlich der Gummidichtungen im Labor und in Versuchsleitungen, die unter Betriebsbedingungen in unterschiedlichen Druckbereichen bis 35 bar mit Kokereigas, Erdgas und Erdöl gas gefahren wurden. Über die hierbei gewonnenen Ergebnisse und Erfahrungen wurde in der Vergangenheit in einer Reihe von Veröffentlichungen berichtet [1].

Im Rahmen der Normungsarbeiten für Rohre aus duktilem Gußeisen und mit der Herausgabe der Normen DIN 28 600 [2] und DIN 28 610 [3] sowie dem Erscheinen des DVGW-Arbeitsblattes G 461 [4] wurden die Bemühungen, Normen für die Gummidichtungsringe zu schaffen, die in Rohrverbindungen für Gasleitungen eingesetzt werden, verstärkt fortgesetzt. Ein vorläufiger Abschluß ist in der Vornorm DIN 3535 Blatt 3 [5; 6] zu sehen.

Nachdem die Gußrohrindustrie gummigedichtete Verbindungen schon seit Jahren für den Einsatz in Gasleitungen liefert, lag der Gedanke nahe, parallel zu den Arbeiten für die Vornorm nach den hierin festgelegten Forderungen Typprüfungen an den verschiedenen Gußrohr-Gummidichtungen und -Verbindungen von einem neutralen Institut durchführen zu lassen. Mit den Typprüfungen sollte u. a. der Nachweis erbracht werden, daß auch die in der Vergangenheit, also vor Beginn der Normungsarbeiten, gelieferten Dichtringqualitäten den heutigen Anforderungen genügen und daß dadurch einwandfreie sowie auf Dauer dichte Verbindungen sichergestellt werden.

### Gegenstand der Prüfungen

Mit der Durchführung der Typprüfungen wurde das ENGLER-BUNTE-INSTITUT der Universität Karlsruhe

(TH) beauftragt, das in den zurückliegenden Jahren bereits umfangreiche Untersuchungen an Gummidichtungen vorgenommen hat.

Die Typprüfungen nach Abschnitt 4 der Vornorm umfaßten folgende Dichtringqualitäten und Verbindungen:

Naturkautschuk-Dichtringe für UNION-Schraubmuffen-Verbindungen für Gasleitungen bis zu einem Betriebsdruck von 1 bar Überdruck.

Nitrilkautschuk-Dichtringe für UNION-Schraubmuffen-Verbindungen für Gasleitungen bis zu einem Betriebsdruck von 16 bar Überdruck.

Polygum-Dichtringe für UNION-Schraubmuffen-Verbindungen für Gasleitungen bis zu einem Betriebsdruck von 16 bar Überdruck.

Naturkautschuk-Dichtringe für TYTON®-Steckmuffen-Verbindungen für Gasleitungen bis zu einem Betriebsdruck von 1 bar Überdruck.

Poly-TYTON®-Dichtringe für TYTON®-Steckmuffen-Verbindungen für Gasleitungen bis zu einem Betriebsdruck von 16 bar Überdruck.

Bei den vorstehend genannten Dichtringen besteht bei den UNION-Schraubmuffen-Verbindungen zwischen dem Naturkautschuk- und dem Polygum-Dichtring der Unterschied, daß der Polygumring an seiner vorderen Hartkante zusätzlich eine Schutzkappe aus Polyamid trägt. Ähnliches gilt für den TYTON®-Dichtring aus Naturkautschuk und den Poly-TYTON®-Ring, die beide aus der gleichen Naturkautschukqualität hergestellt werden. Bei der Poly-TYTON®-Verbindung wird dem Dichtring noch ein Vorsatzring aus Gummi mit einer Polyamidschutzkappe, der keine Dichtfunktion sondern lediglich eine Schutzfunktion hat, vorgesetzt.

### Ergebnisse

Als Gesamtergebnis kann vorweggenommen werden, daß die Typprüfungen nach den Festlegungen der Vornorm positiv verlaufen sind, wobei z. B. der Funktionstest unter verschärften Bedingungen erfolgte.

Die Wiedergabe jedes einzelnen Prüfergebnisses für jede Dichtringqualität würde an dieser Stelle zu umfangreich werden. Es werden deshalb in den Tabellen 1 bis 3 die Anforderungen und Ergebnisse der Prüfungen nur der Dichtteile aus der weicheren Gummimischung der Naturkautschuk-Dichtringe für UNION-Schraub-

\*) Vornorm DIN 3535 Blatt 3 „Dichtungen für die Gasversorgung; Dichtungen aus Elastomeren für Gasversorgungs- und Gasfernleitungen“, September 1974

Eigenschaften (Druckbereich bis 1 bar)	Einheit	Sollwert	Istwert
1. Eigenschaften bei Anlieferung			
1.1. Härte	Shore-A	50 ± 5	49
1.2. Zugfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>	≥ 17	25,0
1.3. Bruchdehnung	%	≥ 500	570
1.4. Druck-Verformungsrest bei -10° C	%	≤ 20	14
bei +23° C	%	≤ 7	7
bei +70° C	%	≤ 30	16
Beschädigung des Probekörpers		nein	nein
1.5. Spannungsrelaxation	%	≤ 20	8
1.6. Ozonbeständigkeit (Risse)	Stufe	≤ 1	0
2. Eigenschaften nach Quellung			
2.1. Gewichtszunahme	%	≤ 170	146
3. Eigenschaften nach Rücktrocknung			
3.1. Gewichtsabnahme	%	≤ 10	7
3.2. Spannungsrelaxation	%	≤ 30	9
4. Eigenschaften nach Alterung			
4.1. Abnahme der Zugfestigkeit	%	≤ 25	4,1
4.2. Abnahme der Bruchdehnung	%	≤ 25	11
5. Eigenschaften nach Kälteprüfung			
5.1. Härteänderung	Shore-A	≤ 5	+2
6. Eigenschaften nach Funktionsprüfung			
6.1. Dichtheit	in n-Pentan —	in n-Pentan dicht	in n-Pentan dicht
6.2. Gewichtsabnahme	%	≤ 5	0,15

Tabelle 1: Naturkautschuk-Dichtungen für UNION-Schraubmuffen-Verbindungen (weichere Gummimischung)

muffen- und TYTON®-Steckmuffen-Verbindungen sowie der Nitrilkautschuk-Dichtringe für UNION-Schraubmuffen-Verbindungen wiedergegeben und die Eigenschaften erläutert, die für die Funktion der Dichtringe bzw. das sichere Funktionieren der Verbindungen von besonderer Bedeutung sind.

#### Shore-A-Härte der Dichtringe

Die Härte wird bei der Anlieferung und nach Kälte Lagerung kontrolliert und ist wahrscheinlich die am häufigsten gemessene Eigenschaft von Gummidichtringen. Sie hat in Abhängigkeit von der Konstruktion der Verbindung für die Funktion des Systems besondere Bedeutung. So würde z. B. bei dem TYTON®-Dichtring eine zu weiche Mischung der Haltekralle ebenso wie eine zu harte Mischung des Dichtwulstes zu Montage-schwierigkeiten führen. Ähnliches gilt für den UNION-Schraubmuffendichtring, bei dem die vordere und hintere Schutzkante aus härterem Gummi mehrere Aufgaben zu übernehmen hat, die für das Funktionieren der Verbindung von unmittelbarer Wichtigkeit sind. So wird bei der Montage der Verbindung der weichere Dichtteil des Ringes vor Beschädigungen auf Grund mechanischer Beanspruchung geschützt. Ebenso wird ein Abfließen des unter Spannung stehenden weicheren Gummis in den Muffenspalt hinter der Dichtkammer verhindert. Von außen oder innen angreifende aggressive Stoffe werden von dem Dichtteil ferngehalten.

Die Kälteprüfung erfolgt, weil Gummi bei sehr tiefen Temperaturen an Elastizität verliert und sich hierdurch bei der Montage wegen geringerer Verformbarkeit Nachteile ergeben können. Durch eine Abgrenzung werden hier von vornherein Schwierigkeiten vermieden.

Die Anforderungen wurden von jeder Dichtringqualität erfüllt, wobei die Härteänderungen nach Kälte Lagerung nur bis 40 % der zulässigen Änderung betragen.

#### Zugfestigkeit und Bruchdehnung

Die Prüfung der Zugfestigkeit und der Bruchdehnung ist für Kontrollzwecke unentbehrlich. Unregelmäßigkeiten in der Gummimischung und schädigende Einflüsse z. B. durch Hitze, Chemikalien usw. werden durch Änderung der Zugfestigkeitseigenschaften angezeigt. Eine Beziehung zwischen Zugfestigkeit und Eigenschaften wie Elastizität oder bleibende Formbeständigkeit ist mehr oder weniger zufällig.

Die geprüften Dichtringe lagen im Anlieferungszustand in der Zugfestigkeit um min. 38 % und in der Dehnung um min. 14 % über der Anforderung.

#### Eigenschaften nach Alterung

Das Verfahren der künstlichen Alterung dient dazu, durch verschärfte Bedingungen die durch natürliche Alterung des Gummis in der Praxis hervorgerufenen

Eigenschaftsänderungen beschleunigt herbeizuführen. Der Vergleich der vor und nach der künstlichen Alterung gewonnenen physikalischen Eigenschaftswerte von Weichgummi gestattet eine Beurteilung der relativen Beständigkeit des Gummis [7].

Nach Alterung der Probekörper betrug die Abnahme der Zugfestigkeit maximal nur ca. 16% und bei der Bruchdehnung maximal nur 44% der zulässigen Änderung.

### Druckverformungsrest

Der Druckverformungsrest ist der Anteil der bleibenden Verformung in einem Kautschukteil, nachdem die formändernde Belastung aufgehoben wurde. Die ermittelten Werte bei  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $+23^{\circ}\text{C}$  und  $+70^{\circ}\text{C}$  dienen als Kennwerte für das elastische Verhalten der Dichtringe in den Verbindungen bzw. geben an, wie stark ein Dichtring im Dichtkammerspalt bleibend verformt werden darf, ohne daß die Funktion der Verbindung gefährdet wird.

Obwohl die Anforderungen der Vornorm sehr hoch sind, lagen die Verformungsreste jeder Qualität im allgemeinen doch noch nennenswert unter den zulässigen Höchstwerten.

### Spannungsrelaxation

Die Spannungsrelaxation eines vulkanisierten Elastomers ist der Spannungsabfall, der auftritt, wenn das

Material eine bestimmte Zeit unter konstanter Verformung gehalten wird. Es wird hierbei die Rückstellkraft gemessen, die von der um einen bestimmten Betrag zusammengedrückten Gummiprobe auf die zusammendrückenden Flächen in Funktion der Zeit wirkt.

Die Bestimmung der Spannungsrelaxation einer Gummiprobe ist vergleichbar mit den praktischen Betriebsbedingungen der Gummidichtringe in den Gußrohrverbindungen, die mit hohem Anpreßdruck an den Dichtflächen anliegen sollen.

Der Abfall der Rückstellkraft bei Anlieferung der Proben lag bei max. 40% des zulässigen Höchstwertes. Nach Quellung in Toluol und Rücktrocknung betrug der Abfall nur 30% des Höchstwertes. Es sind somit ausreichende Reserven vorhanden.

### Anmerkung:

Gemäß Entwurf DIN 3535 Blatt 3 (September 1972) sollte die auftretende Rückstellkraft als Funktion der Zeit nach 1000, 5000, 10000, 50000 und 100000 Minuten gemessen werden. Da aber nur eine begrenzte Anzahl von Meßwerten zur Verfügung stand und vor einer endgültigen Festlegung zunächst die internationale Normung abgewartet werden soll, wurde in der Vornorm (September 1974) die Prüfdauer auf 24, 72 und 168 Stunden festgelegt. Die hiernach durchgeführten Messungen sollen hauptsächlich Grundlagen für eine eventuell erforderliche Neufestsetzung der Anforderungen liefern. Dementsprechend sollten auch die bei der Typprüfung erreichten Werte betrachtet werden.

Eigenschaften (Druckbereich bis 16 bar)	Einheit	Sollwert	Istwert
1. Eigenschaften bei Anlieferung			
1.1. Härte	Shore-A	$50 \pm 5$	49
1.2. Zugfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>	$\geq 10$	15,5
1.3. Bruchdehnung	%	$\geq 500$	600
1.4. Druck-Verformungsrest bei $-10^{\circ}\text{C}$	%	$\leq 25$	12
bei $+23^{\circ}\text{C}$	%	$\leq 8$	6
bei $+70^{\circ}\text{C}$	%	$\leq 40$	21
Beschädigung des Probekörpers		nein	nein
1.5. Spannungsrelaxation	%	$\leq 20$	6
1.6. Ozonbeständigkeit (Risse)	Stufe	$\leq 1$	2
2. Eigenschaften nach Quellung			
2.1. Gewichtszunahme	%	$\leq 30$	16
3. Eigenschaften nach Rücktrocknung			
3.1. Gewichtsabnahme	%	$\leq 15$	4,5
3.2. Spannungsrelaxation	%	$\leq 30$	8
4. Eigenschaften nach Alterung			
4.1. Abnahme der Zugfestigkeit	%	$\leq 15$	0
4.2. Abnahme der Bruchdehnung	%	$\leq 25$	7
5. Eigenschaften nach Kälteprüfung			
5.1. Härteänderung	Shore-A	$\leq 25$	+6
6. Eigenschaften nach Funktionsprüfung	in Toluol	in Toluol	in Toluol
6.1. Dichtigkeit	—	dicht	dicht
6.2. Gewichtsabnahme	%	$\leq 5$	0

Tabelle 2: Nitrilkautschuk-Dichtungen für UNION-Schraubmuffen-Verbindungen (weichere Gummimischung)

Eigenschaften (Druckbereich bis 1 bar)		Einheit	Sollwert	Istwert
1.	Eigenschaften bei Anlieferung			
1.1.	Härte	Shore-A	$55 \pm 5$	51
1.2.	Zugfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>	$\geq 17$	23,5
1.3.	Bruchdehnung	%	$\geq 500$	590
1.4.	Druck-Verformungsrest bei $-10^{\circ}\text{C}$	%	$\leq 20$	11
	bei $+23^{\circ}\text{C}$	%	$\leq 7$	5
	bei $+70^{\circ}\text{C}$	%	$\leq 30$	18
	Beschädigung des Probekörpers		nein	nein
1.5.	Spannungsrelaxation	%	$\leq 20$	6
1.6.	Ozonbeständigkeit (Risse)	Stufe	$\leq 1$	1
2.	Eigenschaften nach Quellung			
2.1.	Gewichtszunahme	%	$\leq 170$	150
3.	Eigenschaften nach Rücktrocknung			
3.1.	Gewichtsabnahme	%	$\leq 10$	4,7
3.2.	Spannungsrelaxation	%	$\leq 30$	
4.	Eigenschaften nach Alterung			
4.1.	Abnahme der Zugfestigkeit	%	$\leq 25$	1,6
4.2.	Abnahme der Bruchdehnung	%	$\leq 25$	9
5.	Eigenschaften nach Kälteprüfung			
5.1.	Härteänderung	Shore-A	$\leq 5$	+2
6.	Eigenschaften nach Funktionsprüfung	in n-Pentan	in n-Pentan	in n-Pentan
6.1.	Dichtheit	—	dicht	dicht
6.2.	Gewichtsabnahme	%	$\leq 5$	1,3

Tabelle 3: Naturkautschuk-Dichtungen für TYTON®-Steckmuffen-Verbindungen (weichere Gummimischung)

### Ozonbeständigkeit

Die Prüfung dient zum Ermitteln des Einflusses von Ozon als dem Hauptwirkfaktor bei natürlicher Bewitterung auf die Ribbildung von Gummi in gedehntem Zustand [8].

Die Einwirkung von Ozon wird durch die Entstehung von Rissen sichtbar, die nach der Breite und Tiefe bewertet werden. Die Risse treten im allgemeinen quer zur Verformungsrichtung auf.

Die Gummidichtringe der beschriebenen Ausführungen werden ohne mechanische Belastung, wenn überhaupt, nur langsam angegriffen. So konnten z. B. an TYTON®-Dichtringen aus Naturkautschuk, die in Muffen eingesetzt über 19 Monate lang der freien Atmosphäre ausgesetzt waren, keinerlei Risse, Oberflächenoxydation und Veränderung der Zugfestigkeit und Dehnung festgestellt werden.

Die Vornorm läßt für die weichere Dichtqualität der Gummiringe Risse der Stufe 1 zu, die bei den Naturkautschuk-Dichtringen nicht überschritten wurden. Bei der Nitrilkautschuk-Qualität ergab sich ein Ribbild der Stufe 2. Inzwischen konnte diese Gummimischung soweit verbessert werden, daß auch hier die Anforderung der Vornorm erfüllt wird.

### Eigenschaften nach Quellung und nach Rücktrocknung

Bei der Berührung mit flüssigen Kohlenwasserstoffen können an Kautschukerzeugnissen zwei Wirkungen,

und zwar Veränderung der Dimension und Gewichtszunahme, beobachtet werden. Die deutlichere davon ist eine Veränderung der Dimensionen. Von größerer Bedeutung als die *Q u e l l u n g* ist die Veränderung der ursprünglichen physikalischen Eigenschaften des Materials. Es wäre jedoch falsch, über die Höhe der Quellwerte Rückschlüsse auf das Verhalten eines Gummidichtringes in einem geschlossenen Verbindungssystem zu ziehen. In gequollenem Zustand erhöht sich der Anpreßdruck des Dichtringes auf die Dichtflächen der Verbindung. Außerdem verhindert der Verbindungsaufbau extreme Quellwerte und ein Eindringen der Dichtringe in den Muffenspalt.

Wichtiger als das Verhalten nach Quellung sind die Eigenschaften der Dichtungen nach *R ü c k t r o c k n u n g*. Die Abnahme des Gewichtes durch eventuelles Herauslösen von Gummibestandteilen und die Spannungsrelaxation soll möglichst gering sein, um die elastischen Eigenschaften der Dichtung im erforderlichen Maß zu behalten.

Bei der Typprüfung wurde in jedem Fall der Wert der maximal zulässigen Gewichtszunahme unterschritten. Nach Rücktrocknung der Proben wurde das Ausgangsgewicht bei Naturkautschuk bis um 4,7% (zul. 10%) und bei Nitrilkautschuk bis um 7% (zul. 15%) unterschritten.

Der Abfall der Spannungsrelaxation betrug bis 9%, so daß auch hier bei einem zulässigen Wert von 30% eine ausreichend hohe Sicherheit vorhanden ist.

### Funktionsprüfung

Die Funktionsprüfung erfolgte je Verbindungssystem an 3 kompletten Muffenverbindungen in Originalausführung.

Abweichend von der Vornorm wurde die Prüfung an den Verbindungen bis 1 bar Überdruck nicht mit Isooctan, sondern gemäß einem früheren Normentwurf mit n-Pentan durchgeführt. Ebenso wurde bei den Verbindungen bis 16 bar Überdruck verfahren, die anstatt mit einem Gemisch aus 70 Volumenteilen Isooctan und 30 Volumenteilen Toluol mit reinem Toluol geprüft wurden.

Obwohl n-Pentan und Toluol eine stärkere Extraktion als Isooctan und das Gemisch bewirken, waren alle Verbindungen nach Ablauf der Prüfzeit dicht. Nach Rücktrocknung der Dichtringe konnte an denen aus Nitrilkautschuk keine Gewichtsabnahme festgestellt werden. Die Dichtringe aus Naturkautschuk hatten bis zu 1,3 % (zul. 5 %) an Gewicht abgenommen.

### Schlußbetrachtung

Mit dem Inkrafttreten der Vornorm DIN 3535 Blatt 3, welche speziell für Dichtungen, die in Gasleitungen eingesetzt werden sollen, erstellt wurde, findet eine umfangreiche Normungsarbeit ihren vorläufigen Abschluß. Gleichzeitig wird mit den beschriebenen Typprüfungen, die im Sinne der Vornorm positiv verliefen, bestätigt, daß die in jahrelanger Arbeit entwickelten, in umfangreichen Versuchsreihen und im praktischen

Einsatz erprobten Verbindungssysteme und Dichtelemente für gußeiserne Druckrohre die Anforderungen, die ein Optimum an Qualität voraussetzen, voll erfüllen.

### Literatur

- [1] FGR-Informationen für das Gas- und Wasserfach, Nr. 1, 2, 5, 6, 8 und 9
- [2] DIN 28 600  
Druckrohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen für Gas- und Wasserleitungen; Technische Lieferbedingungen
- [3] DIN 28 610  
Druckrohre aus duktilem Gußeisen mit Schraubmuffen, Stopfbuchsenmuffen und TYTON®-Muffen für Gas- und Wasserleitungen; Maße
- [4] DVGW-Arbeitsblatt G 461  
Richtlinien für den Bau von Gasleitungen mit einem Betriebsdruck von mehr als 1 bar bis 16 bar aus Druckrohren und Formstücken aus duktilem Gußeisen
- [5] Vornorm DIN 3535 Blatt 3  
Dichtungen für die Gasversorgung; Dichtungen aus Elastomeren für Gasversorgungs- und Gasfernleitungen
- [6] W. Wolf  
Normung von Dichtringen für Gußrohr-Muffenverbindungen in Gas- und Wasserleitungen (Erläuterungen zu den Normentwürfen DIN 3535 Blatt 3 und DIN 28 617)  
FGR-Informationen Nr. 9, Febr. 1974, S. 38/43
- [7] DIN 53 508  
Prüfung von Gummi und Kautschuk  
Künstliche Alterung von Weichgummi
- [8] DIN 53 509  
Prüfung von Kautschuk und Gummi  
Beschleunigte Alterung von Gummi unter der Einwirkung von Ozon

# Abschätzung der Möglichkeit einer Wasserstoff-Diffusion durch Gasleitungen aus Gußeisen

Von Werner Wolf

## 1. Einführung

Die Umstellung auf Erdgas ist in Deutschland noch nicht abgeschlossen, und wir müssen erkennen, daß angesichts des allgemeinen Wirtschaftswachstums in den nächsten Jahren und Jahrzehnten die Erdgasreserven nicht so lange vorhalten werden, wie man ursprünglich annahm. So ist es selbstverständlich, daß im Kreise der Gasfachleute — und nicht nur bei ihnen — die Frage diskutiert wird, welche Brenngase in Zukunft einmal an die Stelle des Erdgases treten können.

In diesen Diskussionen wird neben anderen auch die Möglichkeit einer Verwendung von Wasserstoff erwogen. Man geht von der Überlegung aus, den Wasserstoff durch Wasserelektrolyse zu produzieren. Als Beweis dafür, daß die Diskussionen um den Wasserstoff als einem möglichen Energieträger schon eine gewisse Bedeutung haben, sei erwähnt, daß die Universität von Florida in der zweiten Märzhälfte 74 in Miami-Beach in USA eine Tagung über „Hydrogen Economy“ veranstaltet hat. Einen kurzen Bericht über diese Veranstaltung brachten die Nachrichten aus Chemie und Technik [1] unter der einen überschäumenden Optimismus etwas dämpfenden Überschrift: „Hydrogen Economy — viel Zukunft, wenig Gegenwart“.

Den Rohrnetzingenieur interessiert an diesem Thema die Frage nach den Problemen, die sich im Rohrnetz-bereich beim Transport von Wasserstoff eventuell ergeben könnten.

Wasserstoff ist das leichteste Element mit dem kleinsten Atomdurchmesser. Hierdurch bedingt zeichnet er sich durch ein gegenüber allen anderen Elementen relativ großes Diffusionsvermögen aus. Es ist die Frage aufgeworfen worden, ob beim Transport von Wasserstoff in einer Gußrohr-Leitung mit einem Hindurchdiffundieren des Gases durch die Rohrwand gerechnet werden muß. Stellt man die Frage für den Rohrwerkstoff, so muß man sie auch für die Rohr-Verbindung stellen.

### Bemerkung zur Terminologie

Zur Verdeutlichung der Terminologie im Rahmen dieses Aufsatzes sei noch folgendes bemerkt:

Man bezeichnet mit Diffusion den durch eine Konzentrationsdifferenz verursachten Stofftransport innerhalb einer Phase (gasförmig, flüssig oder fest), wogegen der Durchtritt eines Gases durch eine Platte oder Folie mit Permeation bezeichnet wird.

Unter diesem Gesichtspunkt müßte in der Überschrift der bekanntere aber engere Begriff „Diffusion“ durch den weiteren aber weniger bekannten Begriff „Permeation“ ersetzt werden. Im folgenden wird zwischen den beiden Begriffen klar unterschieden, wobei die Worte „Wasserstoff-Permeation“ und „Wasserstoff-Durchtritt“ gleichwertig gebraucht werden.

## 2. Wasserstoff-Permeation durch die Rohrwand bei Raumtemperatur

### 2.1 Theoretische Betrachtung der Permeation

#### 2.1.1 Grundlagen

Werden zwei Gasräume, zwischen denen eine Druckdifferenz besteht, durch eine Membrane oder eine Platte voneinander getrennt, so findet ein Gasdurchtritt durch sie statt (der im übrigen in vielen Fällen extrem klein ist).

Nehmen wir an, die Platte bestehe aus einem Eisenwerkstoff und das Gas in den beiden Räumen sei Wasserstoff. Der Vorgang der Wasserstoff-Permeation durch die Eisenplatte läuft nun in mehreren Schritten ab [10]:

1. Wasserstoffmoleküle werden an der Eisenoberfläche adsorbiert.
2. Es findet eine Dissoziation der Wasserstoffmoleküle in Atome statt.
3. Die Wasserstoffatome diffundieren durch die Eisenplatte in Richtung senkrecht zur Platte.
4. Auf der, dem Gasraum mit dem geringeren Wasserstoffdruck zugewandten Seite der Platte findet eine Rekombination der Wasserstoffatome zu Molekülen statt.
5. Die Moleküle treten in den Gasraum über.

Hält man die Drucke in den beiden Gasräumen konstant, dann wird sich ein stationärer Zustand einstellen, das heißt, es baut sich ein zeitlich konstantes Diffusionsgefälle von einer Seite der Eisenplatte zur anderen auf.

Die Modellvorstellung der Eisenplatte, durch die Wasserstoff hindurchdiffundiert, ist in vollem Umfang anwendbar auf den Fall einer Rohrleitung, in der Wasserstoff transportiert wird. Der Betriebsdruck wird für den Berechnungszeitraum als konstant angenommen. Der Wasserstoffdruck auf der Rohraußenseite kann gleich Null gesetzt werden.

Von entscheidender Bedeutung ist die dem Schritt 2 zugrundeliegende Tatsache, daß im Eisengitter der Wasserstoff in atomarer Form diffundiert [10]. Der für die Wasserstoff-Diffusion im hier interessierenden Temperaturbereich von 0 bis 100° C geschwindigkeitsbestimmende Schritt ist daher die Dissoziation der Wasserstoffmoleküle in Atome.

Läßt man Reaktionen an der Eisenoberfläche ablaufen, bei denen atomarer Wasserstoff entsteht, so beobachtet man ein gut meßbares Eindiffundieren von Wasserstoff in das Eisengitter. Dies ist der Fall bei der Einwirkung von Säure und bei der elektrolytischen Wasserstoffabscheidung auf der Eisenoberfläche [2; 3; 4].

Werden solche Reaktionen ausgeschlossen, so ist bei normalen Temperaturen das Angebot an atomarem Wasserstoff an der Eisenoberfläche so gering, daß die Permeation von Wasserstoff durch eine Eisenplatte ohne extremen Aufwand nicht mehr direkt gemessen werden kann.

Die Größe des Wasserstofftransportes durch die Eisenplatte — Schritt 3 — kann nach dem „ersten FICK'schen Diffusionsgesetz“ berechnet werden [5].

Nimmt man an, daß sich innerhalb der Platte ein linear verlaufendes Konzentrationsgefälle einstellt, wie es in Bild 1 skizziert ist, so kann man das Diffusionsgesetz folgendermaßen formulieren:

$$n = D \cdot F \cdot \frac{c_1 - c_2}{d} \cdot t \quad (\text{Gleichung 1})$$

$n$  Menge des durch die Platte hindurchdiffundierenden Wasserstoffs ( $\text{N cm}^3$ )

$F$  Fläche der Platte ( $\text{cm}^2$ )

$c_1 - c_2$  Differenz der Wasserstoffkonzentrationen auf den beiden Plattenseiten ( $\text{N cm}^3 \text{H}_2/\text{cm}^3 \text{Eisen}$ )

$d$  Plattendicke ( $\text{cm}$ )

$t$  Zeit ( $\text{s}$ )

$D$  Diffusionskonstante, für die sich die Dimension  $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  ergibt, wenn man die in Klammern gesetzten Einheiten wählt.

Meist wird die Wasserstoffmenge in  $\text{N cm}^3$  angegeben, dann muß die Konzentration in  $\text{cm}^3$  Wasserstoff/ $\text{cm}^3$  Eisen eingesetzt werden.

Der Vorgang des Übergangs des Wasserstoffs aus der Eisenplatte in den Gaszustand — Schritte 4 und 5 — läuft rasch und ohne Hemmung ab

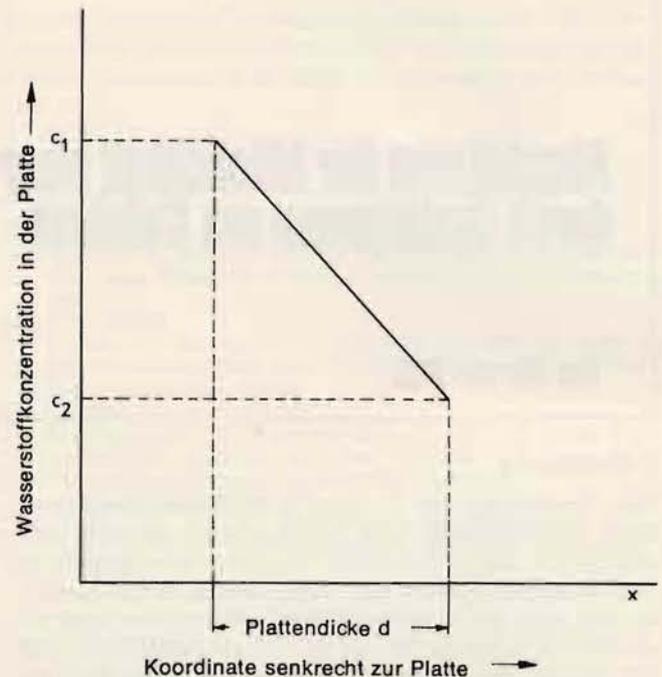


Bild 1: Verlauf der Konzentration einer diffundierenden Substanz in einer Platte (linearer Verlauf angenommen)

und stellt keinen geschwindigkeitsbestimmenden Faktor dar [8].

Die Abschätzung der Wasserstoffmenge, die durch eine Eisenplatte hindurchdiffundiert, kann — unter Berücksichtigung dessen, was an Meßwerten vorliegt — folgendermaßen versucht werden, wobei allerdings nur eine obere Grenze gefunden werden kann.

In erster Näherung gehen wir davon aus, Wasserstoffatome würden bei Raumtemperatur bis zur Sättigung in die oberste Eisenschicht einwandern, und Wasserstoffatome, die zur gegenüberliegenden Plattenseite abdifferieren, würden sofort aus dem Gasraum nachgeliefert. Wenn die Sättigungskonzentration (Wasserstofflöslichkeit im Eisen bei Raumtemperatur) bekannt ist, kann man unter Verwendung des ersten FICK'schen Gesetzes (Gleichung 1) den Wasserstofftransport durch die Platte ausrechnen. Der so erhaltene Wert bildet einen Grenzwert, der, nach oben gesagtem, in der Praxis bei weitem nicht erreicht wird, weil die Einstellung des Wasserstoffsättigungsgleichgewichtes, das heißt der Übertritt von Wasserstoffatomen in das Eisengitter sehr langsam erfolgt.

Diese allgemein skizzierten Betrachtungen sollen an Hand von Literaturangaben erläutert werden.

Die Ausdehnung der Betrachtung vom Reineisen und Stahl, an denen Messungen gemacht worden sind, auf Gußeisen geschieht in der Weise, daß die erforderlichen Werte für das (porenfreie) Grundgefüge des Gußeisens abgeleitet werden.

Der Grafit im Gußeisen nimmt — wie eine Überschlagsrechnung unter Berücksichtigung der Dichtewerte von Eisen und Grafit ergibt — ein Volumen von ca. 10 % eines Gußstückes ein. Unabhängig davon, in welcher Form sich der Wasserstoff in den vom Grafit ausgefüllten Volumenbereichen vorfindet, wird man unter Berücksichtigung dieses für die vorliegende Betrachtung relativ geringen Volumen-%-Anteils davon ausgehen können, daß bei einem stationären Diffusionsvorgang der als Grafit vorliegende Kohlenstoffanteil (zum mindesten beim duktilen Gußeisen mit kugelig vorliegendem Grafit) keine Auswirkung auf die Wasserstoffdiffusion hat. VIBRANS [8] kommt zu entsprechenden Folgerungen hinsichtlich vorhandener Poren.

### 2.1.2 Abschätzung der Wasserstoff-Permeation durch Gußeisen

#### Wasserstofflöslichkeit

Wasserstoff löst sich rasch und in relativ großer Menge in flüssigem Stahl. Die Löslichkeit sinkt mit fallender Temperatur, ist aber im festen Eisen bei einigen 100 °C immer noch relativ groß. Aus einer in der zitierten Arbeit von VIBRANS [8] angegebenen Löslichkeitskurve, die eine Zusammenfassung der Messungen mehrerer Autoren wiedergibt, ist zu entnehmen, daß die Wasserstofflöslichkeit bei 1100 °C und 1 bar Wasserstoffdruck einen Wert von 6 cm<sup>3</sup>/100 g Stahl hat. Läßt man die Stahlprobe in Wasserstoffatmosphäre bei gegebenem Druck und bei Temperaturen von einigen Hundert °C sich mit Wasserstoff beladen, so wird sich in Poren des Stahls der Wasserstoffdruck der die Probe umgebenden Atmosphäre in relativ kurzer Zeit (Minuten bis wenige Stunden) einstellen.

Beim Abkühlen der Probe sinkt rasch die Wasserstofflöslichkeit. Der Wasserstoff tritt zum weitaus größten Teil in die vorhandenen Mikroporen über, in denen dabei Drucke von einigen 1 000 bar auftreten können.

Der Wasserstoff-Übertritt erfolgt in weniger als 1 s, wie eine Rechnung zeigt [11].

Bei der Lagerung des Stahls bei Raumtemperatur dauert es Wochen und Monate bis der in den Poren festgehaltene Wasserstoff entwichen ist [12]. Hierzu müssen seine Moleküle wieder in Atome dissoziieren, um durch die Porenwände in die Eisenkristalle eintreten und um zur Außenoberfläche der Probe diffundieren zu können [10].

Die Berechnung der Wasserstofflöslichkeit im Eisengitter (für 151 bar Wasserstoffdruck) bei Raumtemperatur führt nach einer von Phragmen angegebenen Formel zu einem Wert von  $6 \cdot 10^{-3}$  N cm<sup>3</sup> pro 100 g Stahl [7] oder  $4,7 \cdot 10^{-4}$  N cm<sup>3</sup> Wasserstoff pro cm<sup>3</sup> Stahl (porenfrei). Die entsprechende Rechnung für einen Wasserstoffdruck

von 17 bar (absolut) führt zu einem Wert für die Wasserstofflöslichkeit von  $1,6 \cdot 10^{-4}$  N cm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>/cm<sup>3</sup> Stahl (porenfrei).

Von SCHWARZ und ZITTER [9] wurde die Beeinflussung der Wasserstoff-Löslichkeit in Reineisen in Abhängigkeit von den Legierungselementen Kohlenstoff, Silizium, Mangan, Chrom und Nickel im Temperaturbereich von 1 000 bis 400 °C untersucht. Die Autoren stellen eine Vergrößerung der Wasserstoff-Löslichkeit mit zunehmendem Anteil an Legierungselementen fest. Mit sinkender Temperatur nimmt der Legierungselementeinfluß ab. Es erscheint auf Grund der angegebenen Werte für eine Überschlagsrechnung sinnvoll bei Gußeisen mit einer gegenüber Stahl um den Faktor 2 größeren Wasserstoff-Löslichkeit zu rechnen, so daß man in Anknüpfung an den oben genannten Wert von  $1,6 \cdot 10^{-4}$  N cm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>/cm<sup>3</sup> Stahl auf einen Wert für die Wasserstofflöslichkeit im Eisengitter von rund  $4 \cdot 10^{-4}$  N cm<sup>3</sup> Wasserstoff pro cm<sup>3</sup> Eisen kommt.

Zu diesem Wert ist zu bemerken, daß der Wasserstoff, der in dem vom Grafit eingenommenen Volumen des Gußeisens gespeichert wird, hier nicht berücksichtigt ist, weil er auf den zu betrachtenden Vorgang des Wasserstoffdurchtrittes praktisch ohne Einfluß ist (siehe 2.1.1).

#### Wasserstoff-Diffusion

Wasserstoff ist im Eisengitter atomar gelöst (siehe 2.1.1). Die Diffusion erfolgt über Platzwchselfvorgänge [5].

Für den Diffusionskoeffizienten bei Raumtemperatur werden von den verschiedenen Autoren unterschiedliche Werte angegeben.

VIBRANS schreibt [8]: „Die auf verschiedene Weise bei 20 °C gemessenen Werte streuen stark, sie sind von der Größenordnung 10<sup>-7</sup>. Extrapoliert man dagegen von höherer Temperatur, bei der man besser messen kann und auch viele Messungen vorliegen, auf 20 °C, so ergibt sich für  $D = 1,6 \cdot 10^{-5}$ .“

Es wurde durch weitere Untersuchungen [11; 12] sehr wahrscheinlich gemacht, daß die Abweichungen der gemessenen Werte von den auf Raumtemperatur extrapolierten auf die Anwesenheit von Mikroporen zurückzuführen sind. Es ist daher sinnvoll, für eine Überschlagsrechnung einen Wert für den Diffusionskoeffizienten von porenfreiem Stahl von  $1,6 \cdot 10^{-5}$  cm<sup>2</sup>/s anzunehmen (siehe auch [10] S. 59).

SCHWARZ und ZITTER [9] haben die Abhängigkeiten des Diffusionskoeffizienten bei Raumtemperatur vom Gehalt an Legierungselementen untersucht.

Während der Siliziumgehalt bis 1,8 % bei Raumtemperatur nur zu einer zu vernachlässigenden

Verkleinerung des Diffusionskoeffizienten führte, hatte eine Zulegierung von 1,3% Kohlenstoff eine **Verkleinerung des Diffusionskoeffizienten** um mehr als eine 10er Potenz zur Folge. Bei keinem der untersuchten Einflüsse von Legierungselementen — betrachtet wurden Kohlenstoff, Silizium, Mangan, Chrom und Nickel — auf den Diffusionskoeffizienten wurde eine Vergrößerung seines Wertes beobachtet. Zum gleichen Ergebnis kam MAASS [6]. Es erscheint daher, unter Berücksichtigung der oben dargelegten Punkte, vertretbar, für den Diffusionskoeffizienten von Wasserstoff in Gußeisen (im Falle eines stationären Diffusionsstromes) einen Wert von  $1 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$  anzunehmen.

Es muß bemerkt werden, daß die hier angenommenen Werte für Gußeisen für die

Wasserstofflöslichkeit  $4 \cdot 10^{-4} \text{ N cm}^3/\text{cm}^3$  Gußeisen  
und für den

Diffusionskoeffizienten  $1 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$

an der oberen Grenze liegen.

Die unter Verwendung dieser Werte angestellten Berechnungen führen zu den höchsten Werten für die Menge an permeierendem Wasserstoff, die innerhalb der zu erwartenden Streubreite auftreten können.

### Überschlagsrechnung

Unter der — mit Sicherheit nicht erfüllten — Voraussetzung, daß sich die Wasserstoffsättigung auf der Innenoberfläche eines Gußrohres augenblicklich einstellt, kann man für den konkreten Fall eines Rohrstückes von 1 m Länge eines Rohres NW 100 mit einer Wanddicke von 6 mm die folgende Überschlagsrechnung anstellen:

$$n = D \cdot F \cdot \frac{c_1 - c_2}{d} \cdot t$$

n permeierende Wasserstoffmenge in  $\text{N cm}^3$

D Diffusionskonstante  $1 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$

F Rohroberfläche  $3140 \text{ cm}^2$

$c_1$  Wasserstofflöslichkeit:  $4 \cdot 10^{-4} \text{ N cm}^3/\text{cm}^3$

$c_2$  0 = Konzentration an Wasserstoff in der das Rohr umgebenden Atmosphäre

d Wanddicke des Rohres: 0,6 cm

t Zeit: 24 h, entsprechend 86 400 s

$$n = 10^{-5} \cdot 3140 \cdot \frac{4 \cdot 10^{-4}}{0,6} \cdot 86400$$

$$= 1,8 \text{ N cm}^3 \text{ Wasserstoff}$$

Diese Wasserstoffmenge würde maximal unter oben gegebener Voraussetzung in 24 h durch die Wand eines 1 m langen Rohres aus duktilem Gußeisen hindurchpermeieren können, wenn in der Leitung der nach DVGW-Arbeitsblatt G 461 höchstzulässige Wasserstoffdruck (16 bar) herrscht.

In der Praxis ist die tatsächlich durch die Rohrwand hindurchpermeierende Wasserstoffmenge **um Zehnerpotenzen** kleiner, weil die oben genannte Voraussetzung nicht erfüllt ist. Die Einstellung der Wasserstoffsättigung an der Eisenoberfläche, die wir als einen augenblicklich ablaufenden Vorgang angenommen hatten, benötigt bei Raumtemperatur Tage und Wochen statt Sekunden [11]. Die Dissoziation des bei Raumtemperatur an der Eisenoberfläche adsorbierten Wasserstoffs stellt den geschwindigkeitsbestimmenden Schritt dar.

## 2.2 Kontrollversuch zur Wasserstoffdiffusion durch Gußeisen

Um die rechnerische Abschätzung durch einen Versuch zu untermauern, wurde ein 1 m langes Stück eines duktilen Gußrohres NW 100 in ein größeres Rohr mit Boden und Deckel eingeschweißt wie aus Bild 2 zu erkennen ist.

Das innere Rohr wurde mit Wasserstoff gefüllt; der Druck wurde auf 10 bar (Überdruck) eingestellt. Durch die Rohrwand hindurchtretender Wasserstoff führt zu einer Drucksteigerung im Zwischenraum (Größe 2,2 Liter) zwischen den beiden Rohren. Mit Hilfe eines mit Wasser gefüllten U-Manometers konnte der Druck in diesem Zwischenraum verfolgt und damit eine Zunahme der Gasmenge erfaßt werden. Voraussetzung war eine ausreichende Temperaturkonstanz, die durch eine sehr gute Isolierung, verbunden mit einer guten Thermostatisierung, realisiert wurde.

In 7 Tagen konnte nicht der geringste Gasdurchtritt festgestellt werden.

Kleinste noch zu erfassende Gasmenge

$$0,1 \text{ N cm}^3/\text{m Rohr NW 100} \cdot 24 \text{ h}$$

Das Ergebnis bestätigt die in 2.1.1 gemachte Angabe, daß die permeierende Gasmenge ohne extremen Aufwand nicht mehr gemessen werden kann.

## 3. Wasserstoffdiffusion durch die Rohr-Verbindung

Wasserstoff übt auf Gummi keinerlei chemische Wirkung aus. Er ist aber in der Lage bis zu einer gewissen Grenze sich in Gummi (und Kunststoffen) zu lösen [20]. Durch dieses Verhalten bedingt, vermag er, z. B. eine Gummipatte zu durchdringen, indem er auf der Seite des höheren Wasserstoffdrucks in die Patte eindringt und sie auf der Seite des geringeren Drucks wieder verläßt. Zur Behandlung des hier zur Diskussion stehenden Problems ist zu untersuchen, in welchem Umfang Wasserstoff durch den Gummiring einer gummigedichteten Verbindung hindurchtreten (permeieren) kann.

### 3.1 Theoretische Betrachtung zum Thema Wasserstoffdiffusion durch Gummi.

Zunächst sei wieder die in 2.1.1 erwähnte Modellvorstellung einer Patte (in diesem Fall aus Gum-

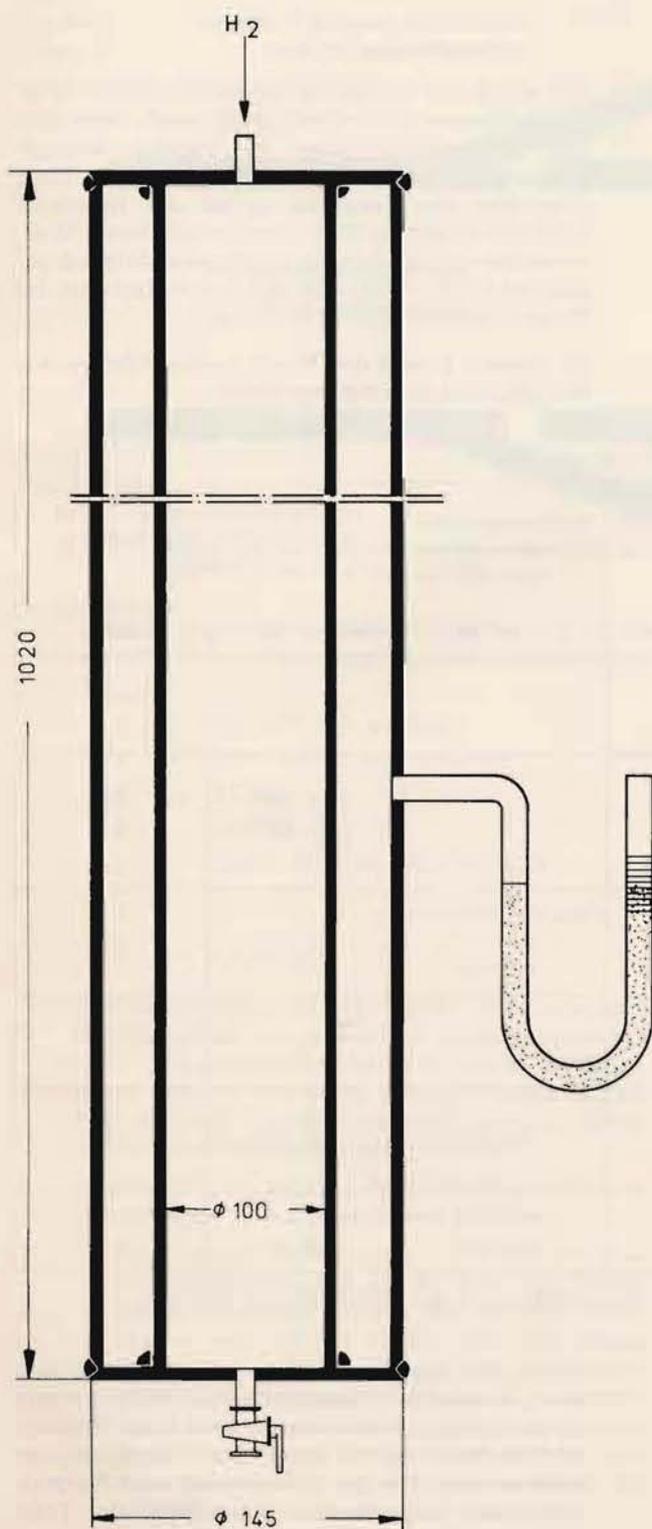


Bild 2: Skizze der Prüfanordnung zur Abschätzung der Wasserstoffdiffusion durch ein Rohr aus duktilem Gußeisen

mi oder Kunststoff) zugrunde gelegt, die zwei Gasräume mit unterschiedlichem Druck trennt. Es gelten die in 2.1.1 angestellten Überlegungen mit dem

Unterschied, daß die formelmäßige Erfassung einfacher ist. Der Wasserstoff diffundiert im Gummi in molekularer und nicht in atomarer Form [16].

Zur Berechnung der Menge des durch die Gummiplatte hindurchtretenden Wasserstoffes dient die Permeationsformel [17] in der Form

$$V = P \cdot F \cdot \frac{p_1 - p_2}{d} \cdot t \quad (\text{Gleichung 2})$$

V Volumen des durch eine Platte diffundierten Gases (N cm<sup>3</sup>)

F Fläche der Platte (cm<sup>2</sup>)

$p_1 - p_2$  Druckdifferenz (bar)

t Zeit (s)

d Dicke der Platte (cm)

Wählt man die in Klammern angegebenen Dimensionen, so ergibt sich für

P Permeationskoeffizient, die Dimension:  
cm<sup>2</sup> · s<sup>-1</sup> · bar<sup>-1</sup>

Gleichung 2 umfaßt die 3 Schritte des Permeationsvorganges:

- Eintritt der Gasmoleküle — hier des Wasserstoffes — in die Gummiplatte
- Diffusion der Moleküle durch die Platte
- Austritt der Gasmoleküle aus der Platte und Übergang in den Gaszustand

Ihre Gültigkeit setzt voraus, daß

- die Gaslöslichkeit in der Platte dem Gasdruck proportional ist [15] — Bedingung für die exakte Erfassung des ersten und letzten Schrittes — und
- die Wasserstoffkonzentration über die Plattendicke linear verläuft [15] (Diffusionskoeffizient unabhängig von der Konzentration)
- wie in Bild 1 dargestellt — Bedingung für die exakte Erfassung des zweiten Schrittes.

Diese Voraussetzungen gelten nach den Versuchsergebnissen nicht uneingeschränkt, wenn man Platten mit Schichtdicken von mehreren mm betrachtet (siehe Abschnitt 3.2.1 und 3.2.2).

### 3.2 Experimentelle Untersuchung der Wasserstoffpermeation durch Gummi

#### 3.2.1 Messungen an Platten

Die Permeationsformel (Gleichung 2) erlaubt es auf einfache Weise, die Menge Wasserstoff zu berechnen, die durch eine Gummiplatte hindurchtritt, wenn zwischen beiden Seiten der Platte eine Differenz des Wasserstoffdruckes besteht. Zu einer solchen Berechnung muß der Permeationskoeffizient der Gummiplatte bekannt sein.

In der Literatur findet man vereinzelt Angaben über Permeationskoeffizienten von Gummi. Angesichts der großen Vielfalt von Rezepturmöglichkeiten für Gummimischungen (z. B. auch ver-

schiedene Härten) ist zu erwarten, daß für die gleiche Gummisorte (z. B. Naturgummi) unterschiedliche Werte für den Permeationskoeffizienten gefunden werden. Es erschien daher sinnvoll, Permeationsmessungen an solchen Gummimischungen durchzuführen, wie sie zur Herstellung von Gummiringen für Gußrohrverbindungen Verwendung finden. Hierzu wurde eine Meßapparatur nach DIN 53 536 [19] verwendet.

Meßbedingungen:

Temperatur	20,0 °C
Plattendicke	ca. 2 und 6 mm
Wasserstoff-Druckdifferenz	3,5 bar

Meßdauer jeweils 1 Stunde	3 600 s
Plattenfläche	8 cm <sup>2</sup>

Die durch die Prüfplatte hindurchtretende Wasserstoffmenge/Zeiteinheit steigt nach Einstellen des Wasserstoffdruckes im Verlauf weniger Stunden auf einen konstanten Wert an. Nach Erreichen der Konstanz wurde die innerhalb 1 Stunde durch die Platte hindurchtretende Wasserstoffmenge mehrmals aufeinanderfolgend gemessen (4 bis 9 mal) und aus dem Mittelwert der Permeationskoeffizient berechnet.

In Tabelle 1 sind die Werte neben Werten aus der Literatur zusammengestellt.

**Tabelle 1:** Permeationskoeffizienten von Gummi, angegeben in cm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> bar<sup>-1</sup>

	DAYNES [13]	AMERONGEN [14]	Meßwerte eines Gummiring-Her- stellers 1)	eigene Messungen an Platten eines (anderen) Gummiring- Herstellers	
	cm <sup>2</sup> · s <sup>-1</sup> · bar <sup>-1</sup>	cm <sup>2</sup> · s <sup>-1</sup> · bar <sup>-1</sup>	cm <sup>2</sup> · s <sup>-1</sup> · bar <sup>-1</sup>	cm <sup>2</sup> · s <sup>-1</sup> · bar <sup>-1</sup>	Plattendicke (mm)
<b>Naturgummi NR</b>					
ohne Qualitätsangabe	26,7 · 10 <sup>-8</sup>	39 · 10 <sup>-8</sup>			
weiche Gummiringqualität					
50 ± 5 Shore A				11,3 · 10 <sup>-8</sup>	2,65
50 ± 5 Shore A			13,3 · 10 <sup>-8</sup>	7,7 · 10 <sup>-8</sup>	6,44
55 ± 5 Shore A					
harte Gummiringqualität					
85 ± 5 Shore A			6,9 · 10 <sup>-8</sup>	6,0 · 10 <sup>-8</sup>	2,51
85 ± 5 Shore A			4,7 · 10 <sup>-8</sup>		
<b>Nitrilgummi NBR</b>					
ohne Qualitätsangabe		11 · 10 <sup>-8</sup>			
weiche Gummiringqualität					
50 ± 5 Shore A			2,0 · 10 <sup>-8</sup>	7,5 · 10 <sup>-8</sup>	1,80
55 ± 5 Shore A					
harte Gummiringqualität					
85 ± 5 Shore A			2,0 · 10 <sup>-8</sup>	6,4 · 10 <sup>-8</sup>	6,43

1) **Meßbedingungen:** Plattendicke 2,0 — 2,5 mm; Wasserstoff-Druck-Differenz 5 bar; Meßzeitraum 30 Minuten

### 3.2.2 Wasserstoffpermeation durch den Gummiring einer gummigedichteten Verbindung — Abschätzung und Messung.

Um zahlenmäßig abzuschätzen, wieviel Wasserstoff durch Permeation durch den Gummiring einer Muffe hindurchtreten kann, werde für den Permeationskoeffizienten eines Naturgummidichtringes der Wert von  $10 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} \text{ bar}^{-1}$  angenommen. Es spielt hier nur die Größenordnung eine Rolle.

Es wird eine mit einem Naturgummiring gedichtete Verbindung NW 100 zu Grunde gelegt, und es soll berechnet werden, wieviel Wasserstoff

durch den Ring in 24 Stunden hindurchdiffundiert, wenn eine Wasserstoff-Druckdifferenz von 11 bar besteht. Dies wäre der Fall einer Wasserstoffdruckleitung, die mit 10 bar (Überdruck) betrieben wird. Für die Betrachtung wird Normaltemperatur angenommen. Ein Einfluß der Temperatur auf den Permeationskoeffizienten im Bereich von einigen °C spielt für diese Überschlagsrechnungen keine Rolle.

Der Gummidichtring wird betrachtet wie eine Gummiplatte von der Form eines Kreisringes und der Dicke von 30 mm (entsprechend der Ausdehnung eines TYTON-Ringes in eingebautem

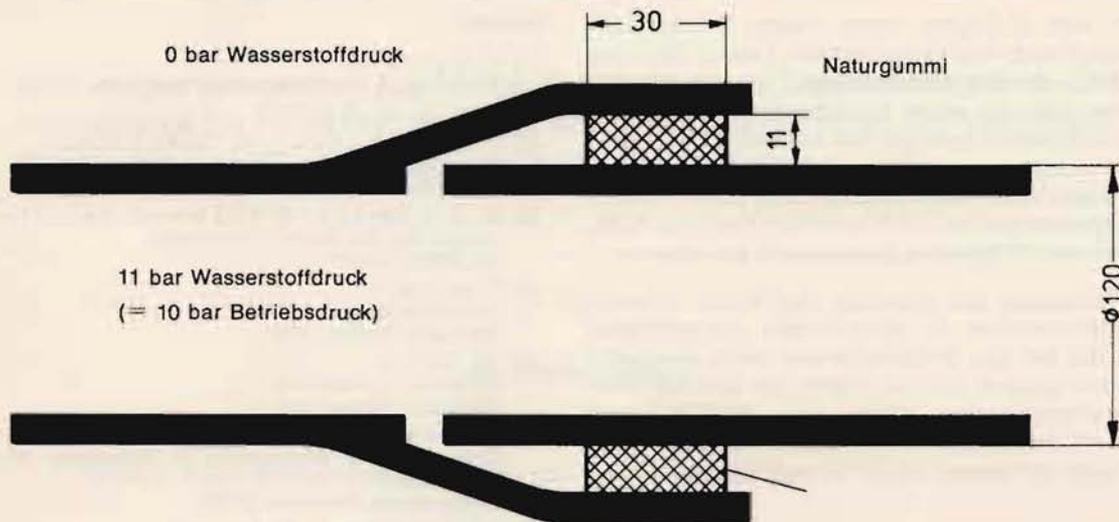


Bild 3: Schema einer gummigedichteten Verbindung NW 100 als Rechenmodell für die Wasserstoff-Permeation durch den Gummiring

Zustand gemessen in Rohrachrichtung (Bild 3). Als Werte zur Benutzung von Gleichung 2 ergeben sich:

$$\begin{aligned}
 P &= 10 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{bar}^{-1} \\
 F &= 1,1 \cdot (13,1 \cdot 3,14) = 45 \text{ cm}^2 \\
 p_1 - p_2 &= 11 \text{ bar} \\
 d &= 3,0 \text{ cm} \\
 t &= 3\,600 \cdot 24 = 86\,400 \text{ s} \\
 V &= 10 \cdot 10^{-8} \cdot 45 \cdot \frac{11}{3} \cdot 86\,400 \text{ (N cm}^3\text{)} \\
 V &= 1,4 \text{ N cm}^3
 \end{aligned}$$

Das Ergebnis besagt, daß — unter Voraussetzung der Gültigkeit der gemachten Annahmen — bei einer Wasserstoffleitung mit einem Betriebsdruck von 10 bar durch einen Gummidichtring NW 100 in 24 Stunden maximal  $1,4 \text{ N cm}^3$  Wasserstoff hindurchdiffundieren können.

In Wirklichkeit wird die Wasserstoffmenge deutlich geringer sein aus folgenden Gründen:

- Aus Tabelle 1 geht hervor, daß der Permeationskoeffizient, der an der 6,44 mm dicken Platte gemessen worden ist, um ein Drittel kleiner war als der an der 2,65 mm dicken Platte des gleichen Materials gemessene Wert. Das bedeutet, daß das Wasserstoffkonzentrationsgefälle innerhalb der Gummiplatte nicht linear verläuft und daß die Permeation weiter erschwert wird, wenn die „Schichtdicke“ noch erheblich größer ist.
- Jeder Ring hat einen Hartteil der den Dichtspalt zu mindestens 25 % ausfüllt und dessen um den Faktor 0,5 kleinerer Permeationskoeffizient sich daher deutlich auswirken wird.

Um die theoretische Abschätzung der Wasserstoffdiffusion durch einen Gummiring zu über-

prüfen, wurde eine geeignete Versuchsanordnung zusammengebaut.

Sie bestand aus einer TYTON-Verbindung der laufenden Produktion (ohne Sonderbehandlung der Oberflächen) mit bituminösem Überzug und hergestellt unter Verwendung eines Naturgummi-Dichtringes. Sie wurde mit Boden und Deckel in ein größeres Rohr eingeschweißt, wie dies Bild 4 zeigt.

Die Anordnung wurde geprüft, thermisch gut isoliert, thermostatisiert und dann das durch die TYTON-Verbindung gebildete Rohrstück nach Spülung mit Wasserstoff während eines Zeitrau-

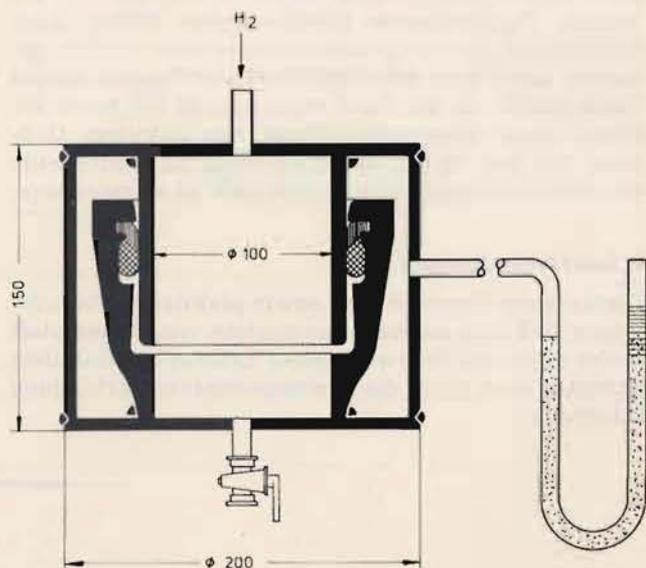


Bild 4: Prüfanordnung zur Erfassung der Permeation von Wasserstoff durch den Gummidichtring einer gummigedichteten Gußrohr-Verbindung (TYTON, NW 100)

mes von 5 Tagen unter einen Wasserstoff-(Über-)Druck von 10 bar gesetzt. Dieser Zeitraum reicht nach den Feststellungen an der 6,5 mm Platte aus, um einen konstanten Wert für die Wasserstoffpermeation sich einstellen zu lassen. Die Anordnung erlaubte es bei dem invertierten Aufwand von Thermostatisierung eine Wasserstoffmenge von ca. 0,1 N cm<sup>3</sup>/Tag bei einer Meßdauer von 24 Stunden gerade noch zu erfassen.

Die Messung hat ergeben, daß keine Wasserstoff-Permeation in einer Größe stattgefunden hat, die mit der Prüfanordnung hätte gemessen werden können. Daraus ergibt sich, daß die Wasserstoffpermeation durch eine TYTON-Muffe NW 100 bei einem Wasserstoffdruck von 10 bar (Überdruck) kleiner als 0,1 N cm<sup>3</sup>/Tag ist.

#### 4. Allgemeine Überlegungen

Aus den Darlegungen in den vorangegangenen Abschnitten ergibt sich, daß eine meßbare Permeation von Wasserstoff durch die Wand eines duktilen Gußrohres auch bei einem Druck von 16 bar nicht stattfindet. Diese Feststellung sollte nicht überraschen. Schon jahrzehntelang wird Kokereigas in Graugußleitungen gefördert auch bei Drucken von einigen bar. Kokereigas besteht zu rund 50 % aus Wasserstoff. Trotzdem ist nie eine Permeation von Wasserstoff durch die Gußwand oder die gummigedichtete Verbindung festgestellt worden.

Betreffend eine vermutete Permeation durch die Gußwand, muß auf eine weitere praktische Erfahrung hingewiesen werden. Wasserstoff wird in Stahlflaschen unter einem Druck von 200 bar geliefert. Über eine Permeation von Wasserstoff durch die Flaschenwand unter diesen Bedingungen ist nie etwas bekannt geworden. Entsprechende Feststellungen hätten ihren Niederschlag in den Unfallverhütungsvorschriften gefunden. Auch dann wenn bei Gußeisen die Permeation 10mal größer als bei Stahl wäre, würde die durch die Wand einer Wasserstoffleitung aus duktilem Gußeisen (die mit 16 bar gefahren wird) heraustretende Wasserstoffmenge meßtechnisch nicht zu erfassen sein.

#### 5. Zusammenfassung

Theoretische Überlegungen sowie praktische Versuche zeigen, daß eine meßbare Permeation von Wasserstoff weder durch die Rohrwand einer Leitung aus duktilem Gußeisen noch durch die gummigedichtete Verbindung stattfindet.

#### Literatur

- [1] C. Keller:  
Nachrichten aus Chemie und Technik  
22 (1974, Nr. 9) 175/177
- [2] P. Bardenheuer, G. Thanheiser:  
Stahl und Eisen  
49 (1929) 1185/92
- [3] H. Schumann, F. Erdmann-Jesnitzer:  
Archiv für das Eisenhüttenwesen  
24 (1953) 353/60
- [4] F. Rapatz:  
Die Edelmehle  
Springer-Verlag 1951
- [5] W. Seith:  
Diffusion in Metallen  
Springer-Verlag 1955
- [6] H. Maas:  
Diffusion von Wasserstoff in Reineisen, Weicheisen und Stahl  
Dissertation, Münster (1958)
- [7] W. Hofmann, W. Rauls:  
Archiv für das Eisenhüttenwesen  
32 (1961) 169/71
- [8] G. Vibrans:  
Archiv für das Eisenhüttenwesen  
32 (1961) 667/73
- [9] W. Schwarz, H. Zitter:  
Archiv für das Eisenhüttenwesen  
36 (1965) 343/349
- [10] K.-D. Joppien:  
Dissertation, Clausthal (1968)
- [11] G. Lange, W. Hofmann:  
Archiv für das Eisenhüttenwesen  
37 (1966) 391/97
- [12] G. Lange:  
Archiv für das Eisenhüttenwesen  
40 (1969) 635/39
- [13] H. H. Daynes:  
Proceedings of the Royal Society A  
97 (1920) 286/307
- [14] J. J. van Amerongen:  
Journal of Applied Physics  
(Nov. 1946)
- [15] K. Becker:  
VDI-Z. 110 (1968) 271/74
- [16] R. Reichherzer:  
technica  
(1968, Nr. 13) 1167/69
- [17] K. Stoeckert:  
Kunststoff-Lexikon  
Hanser-Verlag, München 1973
- [18] G. Rust, F. Herrero:  
Materialprüfung  
16 (1974) 211/13
- [19] DIN 53 536, Sept. 1962:  
Prüfung von Kautschuk und Gummi — Bestimmung der Gasdurchlässigkeit
- [20] K. F. Heinisch:  
Kautschuk-Lexikon  
Gentner-Verlag, Stuttgart 1966

---

Aus der Reihe:

## „fgr Informationen für das Gas- und Wasserfach“

sind wegen der großen Nachfrage die Hefte 1 bis 3 leider vergriffen. Die Ausgaben 4 bis 10 stellen wir Ihnen bei Bedarf gerne noch zur Verfügung. Bitte, benutzen Sie den nachstehenden Bestellschein.

---

### Bestellschein

Bitte senden Sie mir kostenlos von den fgr-Informationen

Heft 4 \_\_\_\_\_ Exemplare

Heft 5 \_\_\_\_\_ Exemplare

Heft 6 \_\_\_\_\_ Exemplare

Heft 7 \_\_\_\_\_ Exemplare

Heft 8 \_\_\_\_\_ Exemplare

Heft 9 \_\_\_\_\_ Exemplare

Heft 10 \_\_\_\_\_ 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 160176**



