

ROHRE für GAS und WASSER

fgr

Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre

Informationen für das
Gas- und Wasserfach

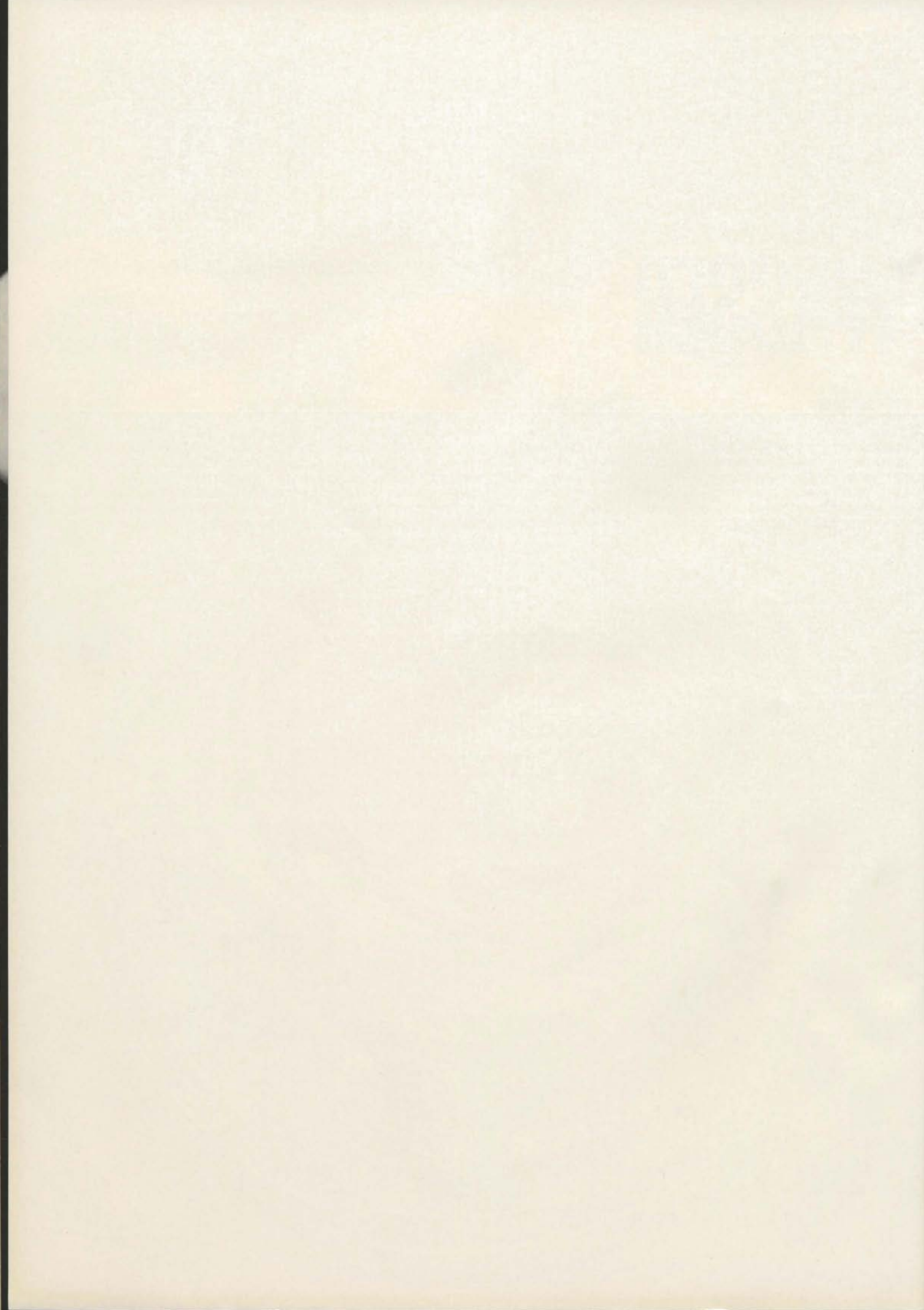
„Erdgas und duktile Gußrohre sind füreinander geschaffen“. Nett gesagt, und doch nur die nüchterne Feststellung eines Rohrfachmannes. Was steckt dahinter? Viele Gasleitungen müssen künftig dreimal mehr Druck aushalten als bisher. Erdgas und duk-

tile Gußrohre – beide jung und modern, Dinge mit großer Zukunft. Und das Besondere: Beim duktilen Gußrohr ist Jugend mit Erfahrung gepaart. Denn außer der sprichwörtlichen, enormen Gußrohrlebensdauer besitzen diese modernen Gußrohre einen besonde-

ren Vorzug: Sie sind duktil, also verformbar und daher bruchsicher. So konnte die Gußrohrindustrie zwei bisher stets getrennte Eigenschaften verbinden: Korrosionsbeständigkeit und größtmögliche Bruchsicherheit. Für Gasleitungen wie geschaffen.



Für
Gasleitungen
duktiler
Gußrohre.
Warum
?



Inhalt

DIPL.-ING. REINHARD SCHAFFLAND

Eigenschaften duktiler Gußrohre

DR. RER. NAT. DIPL.-CHEM. WERNER WOLF

**Das Korrosionsverhalten von Rohren aus duktilem
Gußeisen**

DR.-ING. ERWIN NIEDERSCHUH

**Untersuchungen an duktilen Schleudergußrohren und
ihre Berechnung nach dem Gutachten Prof. Dr.-Ing.
habil. Karl Wellinger, Staatl. Materialprüfungsanstalt,
Stuttgart**

DR.-ING. HANS GEORG HEIN

**Berechnung von erdverlegten Rohren aus duktilem
Gußeisen**

OBERING. DIPL.-ING. HANS VON REZORI

**Technische Lieferbedingungen für Druckrohre und
Formstücke aus duktilem Gußeisen — Entwurf DIN
28 600 — Druckrohre aus duktilem Gußeisen mit
Schraub-, Stopfbuchsen- und TYTON®-Muffen —
Entwurf DIN 28 610**

DIPL.-ING. KURT REEH UND ING. HORST NÖH

**Die Verbindungen duktiler Gußrohre — Ihr Einsatz in
Gasleitungen unter besonderer Berücksichtigung der
Gummidichtringe**

OBERING. DIPL.-ING. OTTO DINTELMANN

**Duktile Gußrohre für Gas- und Wasserleitungen und
Erfahrungen bei der Verlegung**

Herausgeber: Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre,
5 Köln 18, Kaiser-Friedrich-Ufer 33, Postfach 37

Nachdruck mit Quellenangabe erlaubt

Druck: Druckhaus Deutz GmbH

366

Eigenschaften duktiler Gußrohre

Von Reinhard SCHAFFLAND

Wer sich mit den Eigenschaften duktiler Gußrohre vertraut machen will, beschäftigt sich zweckmäßig zuerst mit dem Werkstoff.

„Duktiles Gußeisen“, von anderen Anwendungsgebieten auch als „Gußeisen mit Kugelgraphit“ oder „Sphäroguß®“ bekannt, ist einer der jüngsten Gußwerkstoffe auf Eisenbasis. Seine Einordnung in eine Übersichtstafel der Gußwerkstoffe ist umstritten, denn obwohl Gußeisen mit Kugelgraphit eine Weiterentwicklung des Gußeisens mit Lamellengrafit darstellt, rechtfertigen seine Eigenschaften einen eigenen Platz im System. Bild 1 zeigt die Einordnung von Gußeisen mit Kugelgraphit als Untergruppe des Gußeisens.

Wie die anderen verformbaren Gußwerkstoffe ist auch Gußeisen mit Kugelgraphit nach Zugfestigkeit, Streckgrenze und Dehnung genormt.

Vom Gußeisen mit Lamellengrafit unterscheidet es sich besonders durch die hohe Dehnung und die ausgeprägte Streckgrenze.

Das Gefüge des Gußeisens mit Lamellengrafit ist aus Bild 2 ersichtlich. In der Grundmasse sind bis zu 4 Gewichtsprozent freier Kohlenstoff in Form von unterschiedlich ausgebildeten Plättchen oder schwammartigen Gebilden eingelagert. Diese Graphiteinlagerungen, im Bild als Lamellen zu sehen, verfügen über keine wesentliche Eigenfestigkeit und schwächen die tragende Grundmasse durch ihre unterbrechende und kerbende Wirkung. Daraus resultiert eine Festigkeit von 20 bis 25 kp/mm². Sie beträgt etwa 50% der Festigkeit des Grundgefüges, während der Volumenanteils des Graphits nur bis zu 12% ausmacht. Er kann ebenso wie das Fehlen einer plastischen Dehnung lediglich durch die Form des Graphits bedingt sein.

Eine Herabsetzung des Anteils freien Graphits mußte zwar als guter Weg erscheinen, die Eigenschaften zu verbessern. Dieses Verfahren ist aber nur begrenzt möglich, da es sonst zur Weißerstarung des Materials mit hoher Härte und Sprödigkeit kommt und im Extremfalle zu gänzlich andersartigen Schmelz- und Gießbedingungen führen würde. Es erschien deshalb nur ein Weg gangbar, eine Änderung der Kristallisationsform des Grafit zu erwirken.

Das ist beim duktilen Gußeisen dadurch gelungen, daß der Graphit auf die günstigste Form, nämlich die einer Kugel, gebracht werden konnte. Wie zu erwarten war, wurden dadurch die technologischen Eigenschaften der Grundmasse erreicht. Bild 3 zeigt duktilen Gußeisen. Man erkennt deutlich die in die Grundmasse eingelagerten Graphitkugeln. Diese besitzen keine Kerbwirkung, sondern lenken bei Beanspruchung die Kraftlinien nur leicht ab.

Obschon seit Beginn dieses Jahrhunderts bekannt war, daß Graphit auch in Kugelform kristallisieren kann, gelang es doch erst 1947, dieses Material treffsicher in großtechnischem Maßstab herzustellen. Im allgemeinen geschieht dies heute dadurch, daß eine an Phosphor, Schwefel und sogenannten Störelernen-

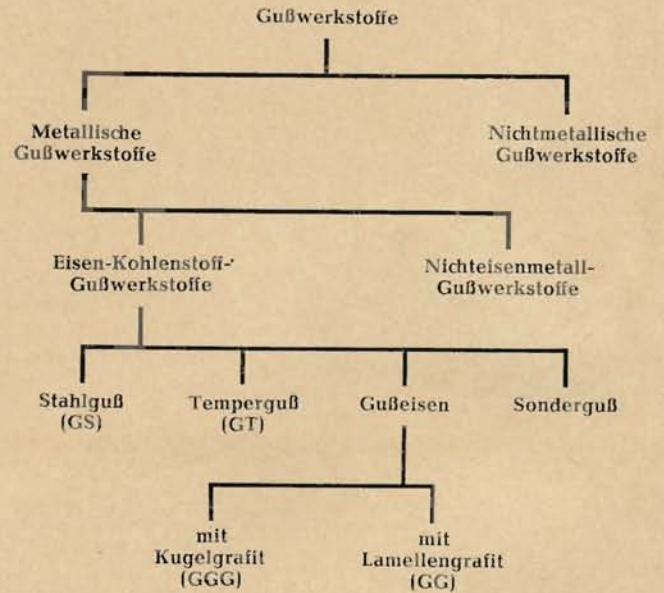


Bild 1



Bild 2

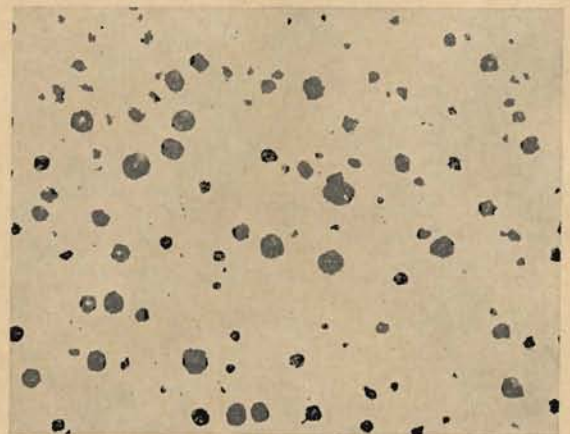


Bild 3

ten arme Schmelze bei relativ hoher Temperatur mit Magnesium oder Magnesiumlegierungen behandelt wird. Dabei ist der Dampfdruck des Magnesiums, der schon bei etwa 1100°C eine Atmosphäre beträgt, zu berücksichtigen. Ähnlich wie Magnesium wirkt z. B. auch Cer, das selten allein, häufiger zusätzlich verwendet wird.

Nach der Magnesiumbehandlung liegt eine Schmelze vor, die zu einem Gußeisen mit kugeligem Graphit ausbildung führt. Nach langer Abstehtzeit oder nach erneutem Umschmelzen bilden sich wieder Graphitlamellen aus.

In vielen Fällen wird Gußeisen mit Kugelgraphit im Gußzustand zum Einsatz gebracht. Durch Wärmebehandlung kann es jedoch weiter verbessert und dem geplanten Verwendungszweck entsprechend eingestellt werden.

Die gegenüber Grauguß höhere Festigkeit und die plastische Verformbarkeit des Gußeisens mit Kugelgraphit bringen dem Verbraucher wichtige Vorteile. Da seine Vergießbarkeit gut ist, können auch kompliziert gestaltete Teile mit größeren Wanddickenunterschieden gegossen werden.

Gußeisen mit Kugelgraphit ist gut spanabhebend bearbeitbar und übertrifft in zulässiger Schnittgeschwindigkeit und Werkzeugstandzeit die meisten Werkstoffe gleicher Härte. Es besitzt eine gute Dämpfungsfähigkeit. Gegenüber stoßartigen Beanspruchungen zeigt es ein zähes Verhalten, das aufgrund seiner Festigkeitskennwerte zu erwarten ist.

Die Widerstandsfähigkeit von Gußeisen mit Kugelgraphit gegenüber korrosiven Angriffen ist entsprechend der chemischen Zusammensetzung mit der des Gußeisens mit Lamellengrafit vergleichbar.

Nachdem Gußeisen mit Kugelgraphit großtechnisch hergestellt werden konnte, fand es rasch Eingang in eine Fülle von Anwendungsgebieten, z. B. im allgemeinen Maschinenbau und im Fahrzeugbau.

Es ist nicht überraschend, daß auch die Gußrohrindustrie schon bald nach dem Gußeisen mit Kugelgraphit griff, sah sie doch darin eine Fülle von Möglichkeiten, die Sicherheit des Gußrohres noch weiter zu steigern, neue Anwendungsgebiete zu erschließen oder Wanddicken und Gewichte zu verringern.

Interessant ist, daß Rohre aus duktilem Gußeisen — diese Bezeichnung gab man dem Rohrwerkstoff — nicht zuerst für kleinere, weniger beanspruchte Versuchsleitungen eingesetzt wurden. Die erste in der Bundesrepublik erzeugte und im Frühjahr 1957 in Betrieb genommene Leitung besitzt vielmehr eine Länge von über 100 km und wird bei überwiegender Nennweite 200 mit einem in Wochenturnus schwelenden Gasdruck bis 25 kp/cm² gefahren. Sie wurde durch den TÜV bereits nach Richtlinien abgenommen, die im Prinzip heute noch Anwendung finden.

Da Technische Lieferbedingungen in einem anderen Aufsatz dieses Heftes behandelt werden, soll hier nur auf einen wichtigen Punkt eingegangen werden, auf die Probenahme. Bei Gußeisen mit Kugelgraphit nach DIN 1693 werden die Zerreißstäbe aus getrennt gegossenen U- oder Y-Proben herausgearbeitet. Diese Proben müssen aus der gleichen Pfanne wie die zu

beurteilenden Stücke abgegossen sein. Dadurch ergeben sich ähnliche Gieß- und Erstarrungsbedingungen, so daß die Probe sichere reproduzierbare Angaben über die Materialeigenschaften gestattet. Dieses Verfahren kann zwar analog bei Formstücken aus duktilem Gußeisen angewendet werden, nicht aber bei Rohren, da diese gänzlich andersartigen Gieß- und Abkühlungsbedingungen unterworfen sind, als die sandgegossene Probe. Ebenso wäre eine gemeinsame Wärmebehandlung von Rohr und zugehörigem Probekörper schlecht durchführbar. Deshalb werden Zerreißstäbe aus den Rohrspitzenden entnommen, was gleichzeitig die sichere Gewähr dafür bietet, daß die gefundenen Werte am Endprodukt Rohr vorliegen. Wegen der kleineren Wanddicken müssen die Durchmesser der Zerreißstäbe z. T. dünner gewählt werden, als in DIN 50 125 vorgesehen ist. Dabei können Streuungen zu schlechteren Werten hin auftreten. Diese Tatsache wurde jedoch in DIN 28 600 berücksichtigt.

Nach der erfolgreichen Verlegung der vorher erwähnten Gashochdruckleitung, die übrigens bis heute störungsfrei arbeitet, konnte das inzwischen von allen deutschen und vielen ausländischen Gußrohrwerken hergestellte duktile Gußrohr seinen Marktanteil ständig vergrößern. Daß vorher seine Eigenschaften sorgfältig geprüft wurden, ist selbstverständlich. Im folgenden sollen aus der Fülle der Untersuchungen einige typische Beispiele herausgegriffen werden.

In Ermangelung bewährter, dem Rohrwerkstoff angepaßter Prüfverfahren wurde seiner Zeit bei den Rohren für die vorerwähnte Leitung noch analog den Graugußrohren die Ringbiegefestigkeit geprüft. Als Mindestwert wurden dabei 80 kp/mm² zugrunde gelegt, ein Wert, der doppelt so hoch liegt wie der in DIN 28 500 für Gußeisen mit Lamellengrafit festgelegte. Weit über 1000 Proben zeigten jedoch, daß die Methode wenig aussagefähige Ergebnisse brachte. Die 80 kp/mm² wurden nie unterschritten, dagegen traten besonders bei relativ dünnwandigen Ringen Belastbarkeiten bis über 500 kp/mm² auf. Bild 4 zeigt einen derartig verformten Ring. Es stellte sich heraus, daß sich die Ringe völlig streckten, also daß aus dem Ringbiegeversuch ein regelrechter Zugversuch mit vorbeanspruchten Flachstäben wurde.

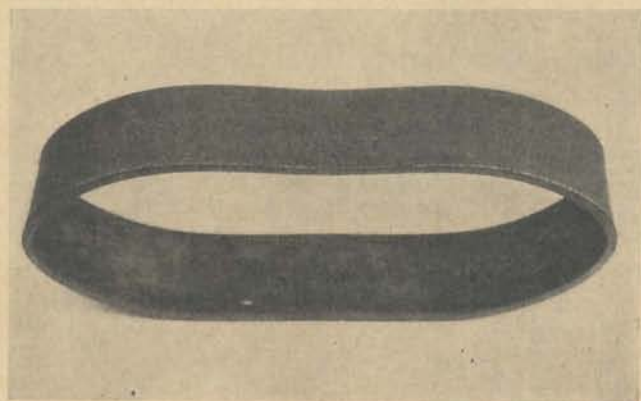


Bild 4

Ähnliche Verformungen lassen sich durch den Ring-scheiteldruckversuch erzeugen, also durch eine Biegebeanspruchung, die der Scheitelbelastung im Rohrgraben entspricht. Demzufolge sind Brüche durch Scheitellasten an einer verlegten Leitung praktisch ausgeschlossen. Spannungen, die die Streckgrenze überschreiten, können durch plastische Verformungen abgebaut werden.

Auch gegenüber Biegezugbeanspruchungen sind duktile Gußrohre äußerst widerstandsfähig.

Biegeversuche, die bis zum Bruch führten, ergaben Biegefestigkeiten von 60 bis 90 kp/mm². Allerdings ließen sich solche Versuche exakt nur bei kleinen Nennweiten durchführen, da bei größeren Nennweiten der durch die Herstellungslängen beschränkte Auflagenabstand nicht ausreicht, um die Mittellast so niedrig zu halten, daß keine Verformung durch Scheitelbeanspruchung auftritt.

In den meisten Rohrnormen spielt für die Berechnung der Rohrwanddicken der Innendruck eine ausschlaggebende Rolle. Den einzelnen Druckstufen werden Mindestwanddicken zugeordnet.

In einem Aufsatz von Walter und Stumpf¹⁾ werden folgende Berstversuche beschrieben:

„Berstversuch.

Der diesem Versuch zu unterziehende Rohrstrang bestand aus vier ferritischen Schleuderrohren aus duktilem Gußeisen NW 150 mit API-Gewindemuffen. Die Mindestwandstärke betrug 7,6 mm. Weil der an seinen Enden mit Deckeln abgedichtete Strang nicht mit Widerlagern versehen war, konnten während der Wasserdruckprobe axiale Kräfte wirksam werden. Während des Aufdrückens waren alle verbleibenden Gewindeverbindungen und Rohre bis zum Berstdruck von 360 atü absolut dicht.

Bei 360 atü riß ein Rohr infolge der wirksamen Umfangskraft längs auf und anschließend durch die Axialkraft auseinander.

Während eines anderen Berstversuches ging ein gleicher Rohrstrang bei 305 atü zu Bruch. Es entstand ein Längsriß mit Verästelungen an seinen Enden.

In beiden Fällen zeigen die Bruchstellen Merkmale einer stahlartigen Aufweitung. Schalenbruchstücke wie beim Bersten normaler Graugußrohre sind nicht vorhanden. Man erkennt auch hier wieder das stahlähnliche Verhalten von Schleuderrohren aus duktilem Gußeisen. Für eine mit 100 atü betriebene Wasserleitung ergäbe sich aus dem Bersten bei 360 bzw. 305 atü eine 3,5- bzw. 3fache Sicherheit.

Im Rahmen dieser Versuche sollten auch ein Kugelwassertopf NW 200 und ein EA-Formstück NW 200/80 (Flanschmuffenstück NW 200 mit Flanschstützen NW 80) aus ferritischem duktilen Gußeisen zum Bersten gebracht werden. Der Kugelwassertopf brach bei 235 atü. Durch einen größeren Krümmungsradius am Übergang von der Kugel zum Stutzen läßt sich der Berstdruck auch hier auf 300 atü steigern.

Das EA-Stück NW 200/80, welches als Schieberanschlußstück verwendet werden soll, zeigte bis 400

atü weder irgendwelche Undichtigkeiten im Material noch Veränderungen an den Anschlüssen. Der Berstversuch mußte abgebrochen werden, da die zum Aufdrücken verwendete Pumpe keinen höheren Wasserdruck als 400 atü zuließ.“

Zu bemerken wäre noch, daß sich aus den oben angegebenen Berstdrücken Ringzugfestigkeiten von 49,7 bis 42,2 kp/mm² ergaben. Bei diesen Werten handelt es sich um Ergebnisse an willkürlich aus der Produktion herausgegriffenen Rohren. Nach DIN 28 600 (in Vorbereitung) werden für die Berechnung wesentlich geringere Festigkeiten zugrunde gelegt. In der zitierten Literaturstelle wird auch das Bersten von zwei Formstücken beschrieben. Dabei ist interessant, daß der bei 235 atü aufgeplatzte Kugelwassertopf in seinem kegelförmigen Teil nur Wanddicken von etwa 16 mm bei einem Durchmesser von etwa 600 mm aufwies, woraus sich eine Berstfestigkeit von 44 kp/mm² errechnet. Außer den bisher aufgeführten Untersuchungen, die dazu dienten, das Verhalten der duktilen Gußrohre gegenüber den Hauptbeanspruchungsarten erdverlegter Rohre zu klären, wurden in großem Umfange weitere Versuche durchgeführt, von denen nur einige hier erwähnt werden sollen.

Durch starken Straßenverkehr können Leitungen Biegewechselbeanspruchungen aufgezwungen werden. Günstig wirkt sich in solchen Fällen die meistverwendete bewegliche Rohrverbindung aus, die mindestens alle 6 m vorhanden ist und keine Biegekräfte überträgt. Wie dagegen im ungünstigsten Falle, nämlich bei Verwendung einer starren Verbindung, Biegeschwingungen ertragen werden, schildern wieder Walter und Stumpf:

„Dichtigkeitsprüfungen.

Dichtigkeitsprüfungen erfolgten zunächst an einem Schleuderrohrstrang aus duktilem Gußeisen mit der API-Gewindemuffenverbindung, der zuvor sehr starker mechanischer Beanspruchungen unterworfen werden sollte.

Vier ferritisch geblühte Schleuderrohre aus duktilem Gußeisen NW 150 (Wanddicke rund 7,5 mm) wurden zu einem Strang verschraubt und an beiden Enden mit Deckeln abgedichtet. Der zunächst einem Dauerschwingversuch zu unterwerfende, drucklose Strang hing mit einem Ende in einem Gurt, während das andere vor der letzten Muffe auf einem Kantholz frei auflag. Das Gurtseil verlief über eine Rollenführung zu dem Exzenter eines Antriebsrades, durch welches es 85mal in der Minute um 80 mm senkrecht auf und ab bewegt wurde. Hierdurch wurde dem Strang eine Schwingung aufgezwungen. Während sich das eine Strangende mit Gurt hob, schlug das andere jedesmal hart auf den Boden auf. Die Amplituden betragen bis 200 mm.

Nach jeweils 250 000 Schwingungen wurde eine Wasserdruckprobe mit 40 atü und eine Luftdruckprobe mit etwa 27 atü vorgenommen.

Nach 1 020 000 Schwingungen wurde der Versuch abgebrochen, da im praktischen Betrieb auf keinen Fall derart große und häufige Beanspruchungen zu erwarten sind. Ebenso wie bei den Zwischendruckproben erwiesen sich auch bei der abschließenden

¹⁾ W. Walter und W. Stumpf „Geschleuderte Druckrohre aus duktilem Gußeisen“, GWF 43, 1960, S. 1097—1108.

Wasserdruckprobe von 40 atü alle verbleiten API-Gewindeverbindungen als vollkommen dicht. Eine sich anschließende 13tägige Luftdruckprobe mit 27,25 atü zeigte beim regelmäßigen und sorgfältigen Abseifen der Verbindungen das gleiche Ergebnis.

Dieser Versuch zeigt, daß im Gegensatz zu Graugußrohren ferritische Schleuderrohre aus duktilem Gußeisen auch dort im Erdboden verlegt werden können, wo von außen mit stoßartiger und schwingungserregender Belastung gerechnet werden muß, wie z. B. bei Straßenunterführungen.

Nach dem Dauerschwingversuch wurde der Strang mit NW 150 auf 12 Rohre erweitert, an beiden Enden mit Deckeln verschlossen und einem Durchbiegungsversuch unterworfen. Zu diesem Zweck ist der drucklose Strang an drei Punkten aufgehängt worden, so daß er sich unter seinem eigenen Gewicht elastisch durchbiegen konnte. Die Durchbiegungen einzelner Rohre betragen hierbei in bezug auf ihre Sehne zwischen Muffenauslauf und Spitze bis zu 70 mm, während die Auslenkungen gegenüber den Aufhängepunkten mit 1,1; 0,6 und 1,5 m gemessen wurden. Man sieht, wie elastisch ferritische Schleuderrohre aus duktilem Gußeisen mit der starren API-Gewindemuffenverbindung sind.

Der Strang wurde außerdem durch einen Arbeiter mit dem Fuß vielmals kräftig geschaukelt.

Anschließend erfolgte an dem abgenommenen Strang eine dreitägige Wasserdruckprobe mit 40 atü. Alle Muffen erwiesen sich trotz der vorausgegangenen Beanspruchungen als vollkommen dicht. Während mehrerer Luftdruckproben mit 25 atü ließen sich auch bei sorgfältigem Abseifen keine Undichtigkeiten an dem Rohrstrang auffinden.

Wie sich nun das ferritische Schleuderrohr aus duktilem Gußeisen bei einer Überbeanspruchung durch den Innendruck verhält, zeigt ein durchgeführter Berstversuch."

In Wasserrohrnetzen treten oftmals Druckstöße auf, die ein Vielfaches des Betriebsdruckes betragen können. Um ihre Wirkung auf Druckrohre aus duktilem Gußeisen zu überprüfen, wurden Sprengversuche durchgeführt. Derartige Sprengungen waren vorher schon an Ventilen aus Gußeisen mit Kugelgraphit vorgenommen worden, bei denen sich zeigte, daß das Bruchverhalten in jedem Falle einen zähen Charakter aufwies.

Bei Rohren aus duktilem Gußeisen ergaben sich bei den Sprengungen Ribausbildungen, die sich, wie Bild 5 zeigt, nicht von denen bei statischen Berstversuchen unterscheiden.



Bild 5

Es konnte somit bewiesen werden, daß das Verhalten duktiler Gußrohre von der Belastungsgeschwindigkeit völlig unabhängig ist, zumal auch die nach den Sprengungen gemessenen Umfangsdehnungen denen der Berstversuche gleichkommen. Es soll hier noch erwähnt werden, daß die Ladungsstärke bei Rohrmaterialien ohne plastische Dehnung um mehr als eine Zehnerpotenz geringer liegt, bei den besten verformbaren Werkstoffen jedoch kaum höher gewählt zu werden braucht. Derartige Sprengungen an beweglichen Rohrverbindungen durchgeführt, ergaben sogar eine Überlegenheit dieser Verbindungselemente gegenüber dem glatten Rohr.

Die Aufzählung von Sonderprüfungen an duktilen Rohren und Rohrsträngen ließen sich beliebig fortsetzen. Hersteller, Verbraucher und Prüfanstalten führten eine Fülle von Untersuchungen durch, die meist zu allgemeingültigen Ergebnissen führten, häufig aber auch auf bestimmte Anwendungsgebiete zugeschnitten waren. Erwähnt werden soll hier nur das Gutachten von Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. K. Wellinger, welches die Grundlage für die Rohrberechnung der in Vorbereitung befindlichen DIN 28 600 bildet.

Zusammenfassung

An Hand einiger Tabellen und Bilder wird der Werkstoff duktiler Gußeisen vorgestellt. Es wird gezeigt, daß er bei einer nahen, vom Korrosionsstandpunkt aus interessanten Verwandtschaft mit dem Grauguß mit Lamellengraphit mit seinen Eigenschaften im Mittelfeld der Gußwerkstoffe auf Eisenbasis liegt. Versuche und Erfahrungen mit Rohren und Rohrleitungen haben bewiesen, daß geschleuderte Druckrohre aus duktilem Gußeisen in der Lage sind, den höchsten, im praktischen Betrieb vorkommenden Beanspruchungen zu widerstehen und über ausreichende Sicherheitsreserven verfügen.

Das Korrosionsverhalten von Rohren aus duktilem Gußeisen

Von Werner WOLF

Die Werkstoffbezeichnung „duktiles Gußeisen“ besagt, daß es sich bei dem genannten Rohrwerkstoff um eine dehnbare und verformbare Gußeisensorte handelt. Diese wertvollen mechanischen Eigenschaften sind durch eine gegenüber Grauguß andersartige Ausscheidung des Kohlenstoffs bedingt. Beim Grauguß scheidet sich der freie Kohlenstoff während der Erstarrung der Schmelze als Graphit in Form von Lamellen aus. Im Jahre 1947 fanden H. Morrogh und W. J. William (1), daß der Zusatz einer geringen Menge Magnesium zur flüssigen Gußeisenschmelze die Ausscheidungsform des Kohlenstoffs in grundlegender Weise ändert und eine Ausscheidung als Graphit in Form von Kugeln bewirkt.

Das duktile Gußeisen stellt eine Weiterentwicklung des Graugusses dar und wurde sehr bald nach seiner Entdeckung auch zur Herstellung von duktilen Gußrohren eingesetzt.

Duktile Gußrohre werden wie Graugußrohre normalerweise mit einem Tauchteerüberzug geliefert. Wie bei ihnen kann in aggressiven Böden ein Sonderschutz entweder in Form eines verstärkten Überzugs oder durch Verwendung von Polyäthylen-Schlauchfolien erfolgen.

Der Rohrnetzfachmann stellt natürlich die Frage, ob das duktile Gußrohr auch die guten Korrosionseigenschaften des Graugußrohres besitzt. Hierzu soll nachstehend eine Übersicht über den heutigen Stand der Erkenntnisse gegeben werden.

Theorie der Korrosionselemente

Das Auftreten einer Korrosion setzt das Vorhandensein eines Elektrolyten, einer elektrisch leitenden wäßrigen Lösung voraus, wie sie z. B. ein Boden darstellt. In einer solchen Umgebung bilden sich auf der Eisenoberfläche Bereiche unterschiedlichen elektrochemischen Potentials, sogenannte anodische und kathodische Bereiche aus. Sie bilden zusammen mit dem Elektrolyten, z. B. dem Boden, Korrosionselemente.

An der Anode eines Korrosionselementes gehen Eisenatome in Form von Ionen nach Gleichung (1) in Lösung



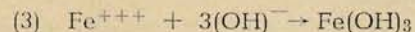
An der Kathode läuft je nach den Bedingungen eine Reaktion ab, bei der die anodisch gebildeten Elektronen verbraucht werden:

In dem am häufigsten anzutreffenden Fall einer Korrosion in neutraler Lösung wird an der Kathode Sauerstoff verbraucht nach Gleichung (2)



Es bilden sich dabei Hydroxylionen, die eine Alkalisierung der Lösung in der Nähe der Eisenoberfläche

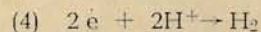
bewirken. Da gleichzeitig eine Oxydation von anodisch gebildeten zweiwertigen Eisenionen (Fe^{++}) zu dreiwertigen Eisenionen (Fe^{+++}) durch vorhandenen Sauerstoff stattfindet, kommt es zu einer Ausfällung von schwerlöslichem Eisen-III-hydroxyd nach Gleichung (3)



Die Geschwindigkeit des Sauerstoffzutritts bestimmt hierbei die Korrosionsgeschwindigkeit. Bei Abwesenheit von Sauerstoff wird die Kathode polarisiert, die Korrosionsreaktion kommt zum Stillstand.

Die Depolarisation der Kathoden kann nicht nur durch Sauerstoff, wie durch Gleichung (2) beschrieben, sondern auch durch bakteriologische Vorgänge erfolgen. Bekannt ist die Aktivität sulfatreduzierender Bakterien (*desulfovibrio desulfuricans*), durch die extrem hohe Korrosionsgeschwindigkeiten verursacht werden können.

In saurem Medium werden die durch Reaktion (1) gebildeten Elektronen verbraucht nach Gleichung (4)



Es bildet sich molekularer Wasserstoff, der gasförmig entweicht.

Neben einer Reihe von Faktoren, wie unterschiedliche Abdeckung der Oberfläche durch Deckschichten z. B. Oxydhäute, unterschiedliche Belüftung der Oberfläche usw. ist das Vorhandensein unterschiedlicher Gefügebestandteile für die Ausbildung von Anode und Kathode von Korrosionselementen verantwortlich. Solche Elemente können sich auf einer Gußoberfläche im Kontakt mit einem Elektrolyten leicht bilden.

Anwendung der Theorie der Korrosionselemente auf Gußeisen

Gußeisen besitzt ein heterogenes Gefüge. Betrachtet man den Schliff eines Graugußstückes unter dem Mikroskop, so erkennt man neben der ferritischen oder perlitischen Grundmasse die im Schnitt fadenförmig aussehenden Graphitlamellen, und in geringer Menge das sogenannte Phosphideutektikum sowie vereinzelt Sulfide und Karbide.

Der Gefügebestandteil, der neben der ferritischen oder perlitischen Grundmasse einen entscheidenden Einfluß auf das Korrosionsverhalten von Gußeisen ausübt, ist der Kohlenstoff. Er ist in ihm zu rund 3,5 Gewichts-% enthalten. Berücksichtigt man, daß die Dichte von Graphit 2,2 g/cm³, die von Gußeisen aber 7,2 g/cm³ beträgt, so errechnet sich der Volumen-%-Gehalt des Kohlenstoffs im Gußeisen zu ca. 10 %. Rund ein Zehntel des Volumens eines Gußeisenstückes besteht also aus Graphit, der bei einem Korrosionsangriff in jedem Fall unangegriffen zurückbleibt. Praktisch nicht angegriffen werden auch das Phosphideutektikum sowie vorhandene Karbide. Wird Gußeisen

angegriffen, so übernehmen die elektrochemisch edleren Gefügebestandteile Graphit, Phosphideutektikum und Karbide die Rolle von Kathoden, der Ferrit die Rolle der Anoden.

Da die Kathoden und Anoden der Korrosionselemente beim Gußeisen im mikroskopischen Bereich nahe beieinanderliegen, fällt das nach Reaktionsgleichung (3) gebildete Eisenhydroxyd in nächster Nähe der Gußoberfläche aus und bildet dort zusammen mit dem Graphit und weiteren nicht angegriffenen Gefügebestandteilen eine gut haftende Deckschicht. In dieser Deckschicht, die sich in der überwiegenden Zahl der Fälle, in denen gußeiserne Rohre verlegt werden, bildet, ist die Ursache für das gute Korrosionsverhalten des Gußrohres zu suchen.

Die Deckschichtbildung auf der Gußoberfläche wird gestört, wenn nicht genügend Sauerstoff vorhanden ist. Dann nämlich werden die Fe^{++} -Ionen nur in ungenügendem Umfang zu Fe^{+++} -Ionen oxydiert [8]. $Fe(OH)_2$, das im Gegensatz zu $Fe(OH)_3$ leichter löslich ist, fällt nicht aus und eine Deckschicht kann sich gar nicht oder nur unzureichend ausbilden. In diesem Fall kann der Korrosionsangriff weiter fortschreiten. Das metallische Eisen wird gelöst, Graphit, nicht angegriffene Gefügebestandteile, Hydroxyde und Oxyde des Eisens bilden eine Schicht von sogenanntem Graphitierungsprodukt auf dem Grundmaterial, welche zwar die Diffusionsvorgänge und damit die Korrosionsgeschwindigkeit verlangsamen, aber nicht unterbinden kann.

Duktile Gußrohre haben bis auf den niedrigen Phosphorgehalt und einen Magnesiumgehalt von etwa 0,05% praktisch die gleiche chemische Zusammensetzung wie Graugußrohre. Der Kohlenstoff liegt im Grauguß in Form von Graphitlamellen, im duktilen Gußeisen dagegen in Form von Kugeln vor.

Die Lamellen sind zum mindesten teilweise untereinander in Berührung, sie stellen ein räumliches System dar, welches in ausgezeichneter Weise in der Lage ist, als Kathode von Korrosionselementen zu wirken, und dies besonders, da sie auf Grund ihrer Gestalt eine große Oberfläche besitzen [4]. Die Kugeln des duktilen Gußeisens dagegen haben keine räumliche Berührung miteinander, sie haben auf Grund ihrer Kugelgestalt ein Minimum an Oberfläche und stellen daher Kathoden geringeren Wirkungsgrades gegenüber den Lamellen dar. In einem Medium, in dem großflächige Kathoden wirksam werden, kann daher die Angriffsgeschwindigkeit auf Grauguß größer als auf duktilen Gußeisen sein. Dies ist z. B. der Fall bei der Korrosion von Gußeisen in starken nicht oxydierenden Mineralsäuren, in denen, wie der Laborversuch zeigt, duktilen Gußeisen langsamer angegriffen wird als Grauguß.

Ein weiterer Gesichtspunkt ergibt sich aus der Überlegung, daß ein Korrosionsangriff bei Grauguß entlang den Graphitlamellen erfolgt und auf diese Weise in das Material eindringen kann. Demgegenüber sind beim duktilen Gußeisen die Graphitkugeln voneinander isoliert und ein tieferes Eindringen von angreifendem Medium in das Grundmaterial ist nicht möglich.

Neben den vorwiegend elektrochemischen Gesichtspunkten, die bei der Betrachtung eines möglichen

Unterschiedes zwischen lamellarem und duktilem Gußeisen zu berücksichtigen sind, darf der Einfluß der Graphitbildung auf die mechanische Festigkeit des Graphitierungsproduktes nicht fehlen. Es ist bekannt, daß das Graphitierungsprodukt von Grauguß eine beachtenswerte Festigkeit zeigt. Es wird angenommen, daß diese Festigkeit zum Teil auf der engen Verzahnung von Graphitlamellen, Phosphideutektikum und Eisenoxyden beruht.

Als Argument dafür, daß duktilen Gußeisen möglicherweise kein festes Graphitierungsprodukt bildet, wird angeführt, daß der Phosphidgehalt gering ist, so daß sich kein Phosphidnetz ausbilden kann und daß die Graphitkugeln eine gegenseitige Verzahnung und damit eine Verfestigung des Graphitierungsproduktes nicht zulassen. In diesem Zusammenhang wird von FOT [9] erwähnt, daß sich duktilen Gußeisen im Gegensatz zu Grauguß im Laborversuch in einer Salzlösung nicht graphitieren ließ, weil die Graphitkugeln ausgeschwemmt werden.

Zu diesen Argumenten ist folgendes zu sagen:

In den am häufigsten anzutreffenden, nicht stark aggressiven belüfteten Böden bilden sich dichte Deckschichten auf Grauguß aus. Es besteht kein Grund anzunehmen, daß diese Deckschichten sich bei Vorhandensein von kugelförmig ausgebildetem Graphit nicht bilden könnten, da der Bildungsmechanismus solcher Schichten bei Gußeisen primär durch den hohen Gehalt an relativ fein verteiltem Graphit bestimmt ist.

In der Praxis, z. B. im Boden, können sich in aggressiver Umgebung über lange Zeiträume kompakte Graphitierungsprodukte bilden, während man bei einer labormäßigen Graphitierung das Eisen unter Zurücklassung des Graphitskeletts stärker herauslöst.

Es ist nicht möglich, aus Laborversuchen, die immer Kurzzeitversuche sind, allgemeingültige Schlußfolgerungen für das Korrosionsverhalten eines Werkstoffes im praktischen Einsatz, der sich über Jahrzehnte erstreckt, abzuleiten. Jede Zeitraffung verfälscht den Ablauf des Korrosionsgeschehens.

Eine Bildung von festem Graphitierungsprodukt bei der Bodenkorrosion duktiler Gußrohre wurde festgestellt, wie weiter unten noch ausgeführt wird [11].

Korrosionsverhalten von Rohren aus duktilem Gußeisen im Boden

Mit der Herstellung von Rohren aus duktilem Gußeisen erhob sich sofort die Frage nach dem Verhalten des neuen Werkstoffes gegenüber der Bodenkorrosion. Zu ihrer Beantwortung wurden Untersuchungen im Laboratorium und Versuche im Erdboden durchgeführt. Dabei konnte die auf Laboratoriumsbasis arbeitende Forschung zwar zahlreiche Erkenntnisse liefern, jedoch erscheint das Zusammenspiel und die Bedeutung der einzelnen die Korrosion beeinflussenden Faktoren noch nicht ausreichend erfaßt. Die sicherste Antwort ergibt sich nach dem heutigen Stand aus systematischen Feldversuchen und aus Ausgrabungen von Betriebsleitungen.

Das Korrosionsverhalten von Grauguß ist bekannt, und es lag nahe, Versuche in der Art anzusetzen, daß

man das Verhalten des duktilen Gußeisens mit dem von Grauguß direkt vergleichen kann. Paris [5] [13] und Grandpierre [9] berichten über die Ergebnisse von Korrosions-Feldversuchen in aggressiven Böden. Es wurden 2 m lange ungeschützte Stücke von Rohren aus duktilem Gußeisen und aus Grauguß in zwei Versuchsfeldern bei Le Touquet und bei Mont Saint-Michel in den Poldergebieten an der nordfranzösischen Küste eingegraben. Die Eingrabungstiefe war so gewählt, daß die ungeteerten Rohrstücke an der Grenze der Infiltrationszone von eindringendem

Meerwasser lagen, um besonders aggressive Bedingungen zu schaffen.

Ausgrabungen wurden in bestimmten Zeitabständen bis zu 10 Jahre nach der Eingrabung vorgenommen. Die Rohrstücke wurden sandgetrahlt und von jedem Rohr die Tiefe der 5 stärksten Anfressungen gemessen. Die sich ergebenden jährlichen Anfressungstiefen der duktilen Rohrstücke wurden zu den an Grauguß-Rohrstücken gefundenen Werten in Beziehung gesetzt. Die Werte sind in den Tabellen 1 und 2 wiedergegeben.

Tabelle 1

Ergebnisse der Bodenkorrosionsversuche mit 2 m langen, ungeschützten Schleuderguß-Rohrstücken in einem Versuchsfeld bei Le Touquet in Nordfrankreich; Grandpierre [9], Paris [13]

Eine typische Bodenanalyse	Chlorid (Cl)	0,65 %
	Sulfat (SO ₄)	0,74 %
	Kalk (CaO)	19,4 %
	Magnesiumoxyd (MgO)	0,8 %
	Glühverlust	23,0 %
	Spezifischer Bodenwiderstand	80 Ohm. cm

Werkstoff	Eingrabungsjahr	Versuchsdauer Jahre	Relativer Wanddickenverlust ¹⁾	
				%
Grauguß duktiles Gußeisen	1951	3	100	91
		6 1/2	78	67
Grauguß duktiles Gußeisen	1954	10	64 108 108 83	Mittelwert 87 Mittelwert 90
		3 1/2	85 42	Mittelwert 100 64
Grauguß duktiles Gußeisen	1954	7 1/2	59 65 69 (105) 72 72 65	Mittelwert 68
		4 1/2	111 89 100 51 81 37 48 80	Mittelwert 100 Mittelwert 66

¹⁾ Der Wanddickenverlust der Graugußproben nach 3, 3 1/2 bzw. 4 1/2 Jahren wurde = 100 % gesetzt.

Tabelle 2

Ergebnisse der Bodenkorrosionsversuche mit 2 m langen, ungeschützten Schleuderguß-Rohrstücken in einem Versuchsfeld bei Mont Saint-Michel in Nordfrankreich; Grandpierre [9], Paris [13]

Eine typische Bodenanalyse	Chlorid (Cl)	0,56 %
	Sulfat (SO ₄)	0,70 %
	Kalziumoxyd (CaO)	24,1 %
	Magnesium (MgO)	1,2 %
	Glühverlust	24,3 %
	Spezifischer Bodenwiderstand	100 Ohm. cm

Werkstoff	Eingrabungsjahr	Versuchsdauer Jahre	Relativer Wanddickenverlust ¹⁾	
				%
Grauguß duktiles Gußeisen	1951	3	64 142	Mittelwert 100
		5 1/2	91 91	
Grauguß duktiles Gußeisen	1954	3 1/2	138 62 71 71 62 31	Mittelwert 100 Mittelwert 59

¹⁾ Der Wanddickenverlust der Graugußrohre nach 3 bzw. 3 1/2 Jahren wurde = 100 % gesetzt.

Aus ihnen geht hervor, daß sich duktile Gußrohre gegenüber dem Bodenkorrosionsangriff mindestens genauso gut verhalten haben wie Graugußrohre — vielleicht sogar etwas besser.

Zu dem gleichen Resultat führten die Aufgrabungen in drei Korrosionsversuchs-Feldern, die von der Gußrohrindustrie vor drei Jahren in mittel bis stark aggressiven Böden angelegt worden sind. 130 Rohrabschnitte (NW 100, 1750 mm lang, aus Grauguß und duktilem Gußeisen) waren ausgegraben worden. In keinem Fall war unter sonst gleichen Versuchsbedingungen ein Rohrabschnitt aus duktilem Gußeisen stärker angegriffen als ein solcher aus Grauguß.

La Que [11] berichtet andeutungsweise von Versuchen der Cast Iron Pipe Research Association und schreibt: „Diese vergleichenden Korrosionsuntersuchungen

wurden von der Cast Iron Research Association nur zwei Jahre nachdem duktiler Gußeisen eingeführt worden war, begonnen und stellen zwölf Jahre Geschichte der Korrosionsuntersuchungen an duktilen Gußrohren dar. Sie wurden an 144 Musterstücken aus duktilem Gußeisen und 96 Musterstücken aus Grauguß in drei Arten korrosiver Böden durchgeführt. Die Daten von diesen ausgedehnten Versuchen bringen den Beweis, daß die Korrosionsbeständigkeit von duktilen Gußrohren mindestens der von Graugußrohren ebenbürtig ist."

Bei der Aufgrabung von fünf Versuchsgasleitungen aus duktilen Gußrohren, die von der Gußrohrindustrie gemeinsam mit Verbrauchern erstellt wurden und mit normaler Tauchterung in verschiedenen Böden verlegt worden sind und jeweils im Abstand von ein bis zwei Jahren aufgedigelt werden, hat sich bis heute keine Korrosion an den Rohren gezeigt. Die älteste dieser Leitungen ist seit 1958 in Betrieb.

Im Jahre 1956 wurde in der Oberpfalz ein 70 km langes Stück einer Hochdruck-Gasleitung (NW 150, 200, 225; 25 atü Betriebsdruck) unter Verwendung duktiler Gußrohre verlegt [7]. Die Leitungstrasse führt durch verschiedenartige sandige, lehmige und tonige Böden. An der außen durch einen Teerlackanstrich geschützten Leitung ist bis heute kein einziger Schadensfall durch Korrosion aufgetreten. Aufgrabungen wegen Neuverlegung von Straßen in den Jahren 1964/65 ermöglichten eine Besichtigung der Leitung an einigen Stellen, wobei keine Angriffe durch Bodenkorrosion festgestellt werden konnten.

Schließlich sei eine Stellungnahme von Moseley [12] wiedergegeben, in der es heißt:

„... Informationen aus allen diesen Quellen (Feldkorrosionsversuche, Laborversuche, praktische Erfahrungen; d. Übers.) zeigen, daß der Korrosionswiderstand von duktilem Gußeisen gleich dem von Grauguß ist mit Ausnahme in stark aggressiven Böden, wo er besser ist. Weiterhin ist es ohne allen Zweifel erwiesen, daß die physikalischen Eigenschaften des Graphitierungsproduktes, das bei der Korrosion von duktilem Gußeisen im Boden zurückbleibt, ebensogut sind wie diejenigen des Graphitierungsproduktes von Grauguß. Die Äußerung, daß in dem Graphitierungsprodukt von duktilem Gußeisen ein geringerer mechanischer Zusammenhalt besteht, ist daher unwahr. Weiter ist zu bemerken, daß die mechanische Festigkeit von duktilem Gußeisen viel größer als diejenige von Grauguß ist, so daß für vergleichbare Restwanddicken an Korrosionsangriffsstellen das duktile Gußeisen dem Innendruck einer Leitung besser widerstehen kann als Grauguß...“

(Diese Stellungnahme wurde auf Grund unveröffentlichter Ergebnisse von Versuchen mit Rohren aus duktilem Gußeisen und aus Grauguß abgegeben.)

Korrosion in neutralen Salzlösungen und Seewasserkorrosion

Es werden in der Literatur eine Reihe von Versuchsergebnissen über das Korrosionsverhalten von duktilem Gußeisen in neutralen Salzlösungen und Seewasser mitgeteilt.

LABORKORROSIONSVERSUCH IN NATÜRLICHEM MEERWASSER
nach Tab. 3 (Rührversuch)

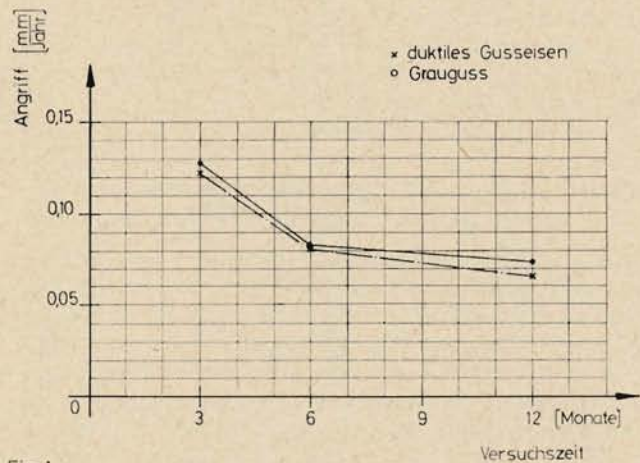


Fig. 1

Die älteste Arbeit stammt von Kreß [2]. Es wurden Proben von 100 x 30 x 7,5 mm Größe während 6 Monaten an der Seebäderbrücke in Cuxhaven in der Luft-Wasser-Wechselzone angebracht. Die für Grauguß und duktiler Gußeisen gefundenen Werte sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Paris und de la Brunière [3] teilen Laborkorrosionsversuchsergebnisse über den Korrosionswiderstand von duktilem Gußeisen im Vergleich zu Grauguß in natürlichem und synthetischem Meerwasser sowie in destilliertem Wasser unter besonderer Berücksichtigung des Erdöltankerbetriebs mit. Die Laborkorrosionsversuche wurden unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt, die aus Tabelle 3 zu entnehmen sind, in der auch die gefundenen Korrosionsangriffstärken zusammengestellt sind. Die Abtragungsgeschwindigkeiten, die beim Rührversuch nach 90, 180 und 360 Tagen gefunden wurden, sinken mit steigender Versuchsdauer, wie aus Fig. 1 hervorgeht. Ursache für diese Erscheinung ist die Ausbildung einer Deckschicht, die die Korrosionsgeschwindigkeit verlangsamt, ein Vorgang, der viele Monate dauert und bei dem betrachteten Versuch nach einem Jahr noch nicht zu Ende gekommen war. Die Abtragungsgeschwindigkeiten beim Wechselluftversuch in natürlichem Meerwasser sind die größten der gefundenen Werte, da die Wechsel von 20 Minuten besonders aggressive Bedingungen darstellen, unter denen sich keine Deckschicht bilden konnte, wie die Werte zeigen.

Speidel und Wittmoser [6] berichten über Laborkorrosionsversuche in Leitungswasser und künstlichem Meerwasser (Tabelle 3).

Stellt man die von den verschiedenen Verfassern angegebenen Werte nebeneinander und bezieht sie auf den Wert von Grauguß, dem man den Index 100 % gibt, so erhält man die in Tabelle 4 wiedergegebenen Zahlen.

Tabelle 4

Gegenüberstellung der von verschiedenen Autoren mitgeteilten Korrosionsangriffsstärken (mm/Jahr) in Meerwasser bezogen auf Grauguß = 100 %.

Material	Kreß [2]	Paris, de la Brunière [3]			Speidel, Wittmoser [6]
		gerührt	mit Luft-einleitung	Wechsel-tauch-versuch	
Versuchsdauer	6 Monate	360 Tage	380 Tage	365 Tage	220 Tage
Grauguß	100	100	100	100	100
duktilen Gußeisen ferritisch	126	93	88	100	125

Aus ihnen ist zu erkennen:

Das duktile Gußeisen zeigt gegenüber Meerwasser wie auch gegen destilliertes Wasser (Tabelle 3) das gleiche Korrosionsverhalten wie Grauguß (innerhalb der Streuungen, mit denen solche Versuche behaftet sind).

Korrosion in Säuren

Korrosionsversuche in Säuren haben ein mehr theoretisches Interesse, da alle Eisenwerkstoffe in Säuren gleichermaßen angegriffen werden. In Tabelle 5 sind einige in der Literatur zu findende Werte wiedergegeben.

Tabelle 5

Ergebnisse von Laborkorrosionsversuchen in Säuren
Paris, de la Brunière [3]
Temperatur 20° C

Medium	Gewichtsverluste in mg/cm ² · Stunde				
	Schwefel-säure	Schwefel-säure	Salz-säure	Salpeter-säure	Essig-säure
Konzentration	10 %	33 %	50 %	30 %	30 %
duktilen Gußrohr	12,0	9,4	13	229	0,7
Graugußrohr	14,6	13,5	25	222	0,7

In nicht oxydierenden starken Mineralsäuren wird duktilen Gußeisen langsamer angegriffen als Grauguß, worauf bereits hingewiesen wurde.

Zusammenfassung

Seit der Einführung von Rohren aus duktilem Gußeisen ist eine Reihe von Untersuchungen hinsichtlich ihres Korrosionsverhaltens, insbesondere im Vergleich zu demjenigen von Graugußrohren, durchgeführt worden. Der Umfang der vorliegenden Ergebnisse ließ es angebracht erscheinen, diese Untersuchungen zusammenfassend darzustellen.

Es wird einleitend auf die Theorie der Korrosion unter besonderer Berücksichtigung des Korrosionsgeschehens am Gußeisen eingegangen.

Die Vielzahl der bei der Korrosion gleichzeitig ablaufenden Vorgänge und die Verschiedenheit der Bodenverhältnisse zwangen dazu, die Korrosionsvorgänge sowohl im Laboratorium zu untersuchen als auch eine vergleichende Erprobung unmittelbar im Boden durchzuführen. Laboratoriumsversuche wurden in natürlichem und synthetischem Meerwasser, Leitungswasser und destilliertem Wasser durchgeführt. Dabei zeigte sich, daß duktilen Gußeisen mit geringen Schwankungen nach oben bzw. unten die gleiche Korrosionsbeständigkeit wie Grauguß besitzt.

Bei den bereits über 10 Jahre laufenden Boden-Korrosionsversuchen zeigten Rohre aus duktilem Gußeisen gegenüber Graugußrohren ein leicht überlegenes Korrosionsverhalten. Diese Versuche zeigen, daß es auch beim duktilen Gußeisen zur Bildung von Deckschichten mit hohem Korrosionswiderstand, bestehend aus Eisenoxyd, Graphit und sonstigen nicht angegriffenen Gefügebestandteilen kommt.

- [1] **Morrogh H., W. J. William**, I. Iron and Steel Inst. 156 (1948) 306/22
- [2] **Kress, H.**, Schiff und Hafen 5 (Juni 1953) 292/93
Korrosionsverhalten von Kugelgraphit-Guß in Seewasser
- [3] **Paris M., B. de la Brunière**, Corrosion (Houston) 13 (1957) 292/6t
Der Korrosionswiderstand von duktilem Gußeisen in Meerwasser und Einrichtungen auf Erdöltankern
- [4] **La Que F. L.**, Corrosion (Houston) 14 (1958) H. 10 485 t/92 t
Korrosionswiderstand von duktilem Gußeisen
- [5] **Paris M.**, Corrosion (Houston) 14 (1958) H. 10 596/97 t
Anmerkung zu Lit. Stelle (3)
- [6] **Speidel P., A. Wittmoser**, Gießerei Technisch Wissenschaftliche Beihefte Juni 1960 1607/15
Zum Korrosionsverhalten von Eisen-Kohlenstoff-Legierungen bis 4 % C in wässrigen Lösungen
- [7] **Walter W., W. Stumpf**, GWF 101 [1960] H. 43 1097/1108
Geschleuderte Druckrohre aus duktilem Eisen
- [8] **Higgins R. I.**, Bcira 8 (1960) Nr. 2 217/20
Umweltfaktoren, die die Graphitierung fördern
- [9] **Grandpierre M.**, VDI-Ber. Nr. 49 1961, S. 21/25
Entwicklung von Rohren aus duktilem Gußeisen (Gußeisen mit Kugelgraphit) für Gas- und Ölleitungen
- [10] **Fot E.**, Schweiz. Archiv f. angew. Wissensch. und Technik 30 (1964) Nr. 11 329/44, Nr. 12 384/98
Die Graphitierung von Gußeisen
- [11] **La Que F. L.**, I. AWWA 56 (1964) Nr. 11 1433/42
Korrosionseigenschaften von duktilem Gußeisen
- [12] **Moseley P. J.**, Water and Water Engeneering, März 1964, S. 100
Anmerkung zu dem Aufsatz „Cathodic Protection and Water Engeneer“
- [13] **Paris M.**, private Mitteilung

Untersuchungen an duktilen Schleudergußrohren und ihre Berechnung nach dem Gutachten Professor Dr. - Ing. habil. K. Wellinger Staatliche Materialprüfungsanstalt Stuttgart

Von Erwin NIEDERSCHUH

Rohre aus duktilem Gußeisen werden in der Bundesrepublik seit dem Jahre 1956 für den Transport von Flüssigkeiten und Gasen in Rohrleitungen hergestellt. Da es sich bei den ersten Verlegungen von duktilen Gußrohren um die Anwendung eines neuen Rohrwerkstoffes handelte, der bis dahin im wesentlichen im Maschinenbau Eingang gefunden hatte und noch keine Unterlagen über die Berechnung, Ausführung und Verlegung vorhanden waren, war es notwendig zur Erlangung der Genehmigung für den Bau von Hochdruckleitungen durch die zuständigen Stellen die Vereinigung der Technischen Überwachungsvereine (VdTUV) einzuschalten. Umfangreiche Untersuchungen mußten angestellt werden, um beim Einsatz duktiler Gußrohre auch die Sicherheit des künftigen Leitungsbetriebes zu gewährleisten. Die Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre (FGR) gab 1961 Vorläufige Technische Lieferbedin-

gungen (VTL) für Druckrohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen heraus, in denen zwar die besonderen Eigenschaften, d. h. die Materialkennwerte, des für die Rohre verwendeten duktilen Gußeisens festgelegt waren, jedoch fehlten die erforderlichen Richtlinien für den Bau und Betrieb sowie die Berechnung solcher Leitungen. Hiermit befaßte sich vor allem im Hinblick auf die Verwendung des duktilen Gußrohres für den Gastransport der Fachausschuß Gasrohrnetz des Deutschen Vereins von Gas- und Wasserfachmännern (DVGW). Auf seine Anregung wurde die Materialprüfungsanstalt (MPA) Stuttgart beauftragt, ein Gutachten über die Berechnung von duktilen Gußrohren anzufertigen. Über die hierfür durchgeführten Untersuchungen, welche die Grundlage für die Bestimmung der Wanddicken duktiler Gußrohre bildeten sowie über den Aufbau der Berechnungsformeln soll im folgenden berichtet werden.



Bild 1: Polierter Längsschnitt durch die Wand eines duktilen Gußrohres (Original-Vergrößerung $V = 20$)

Untersuchungen

Die Gußrohrwerke hatten seit der Aufnahme der Fertigung von Rohren aus duktilem Gußeisen auf ihren mit modernen Meßeinrichtungen ausgestatteten Prüfständen sowie in ihren Labors weit über die bei Rohren aus Gußeisen mit Lamellengraphit notwendigen Prüfungen hinaus zahlreiche Untersuchungen vorgenommen, deren Ergebnisse der Materialprüfungsanstalt für das Gutachten zur Auswertung zur Verfügung gestellt wurden. Es handelte sich um Werte über die Zugfestigkeit, Streckgrenze und Dehnung von 267 Rund- und Flachproben, die aus 136 Rohren der Nennweiten 80 bis 800 mit Wanddicken, von 4 bis 14 mm entnommen waren.

Die bei der Auswertung, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, festgestellten Streuungen der Meßwerte gaben aber kein klares Bild, da die bereitgestellten Kennwerte von Proben aus einer Vielzahl von Rohren stammten und von jedem Rohr aber nur zwei Proben entnommen wurden. Es war daher notwendig zu prüfen, welche Streuungen der Kennwerte sich ergeben, wenn aus einem Rohr mehrere Proben untersucht wurden. Geprüft wurden 17 bzw. 14 Flachproben aus zwei Rohren NW 200 und 48 Rundproben aus einem Rohr NW 600. Dabei zeigte es sich, daß die Streuungen der Zugfestigkeit und der Dehnung bei Flachproben wesentlich größer sind, als bei den Rundproben. Die Mittelwerte der Zugfestigkeit weichen gegenüber dem Höchstwert bei den Flachproben um 8%, bei den Rundproben aber nur um 1,2% ab.

Die Mittelwerte der Dehnungen liegen bei den Flachproben um 33%, bei den Rundproben um 9,5% niedriger als die entsprechenden Höchstwerte. Die verhältnismäßig hohe Abweichung von 9,5% bei den Rundproben ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß teilweise Fehlstellen in der Außenhaut der Stäbe vorhanden waren, welche die Dehnung herabsetzten, was auch schon bei der Auswertung der von den Gußrohrwerken zur Verfügung gestellten Meßwerte vermutet wurde.

Worauf sind diese Unterschiede zurückzuführen? Es lag nahe anzunehmen, daß der Abfall der Zugfestigkeit bei den Flachproben gegenüber den Rundproben in den Kerben der Gußhaut zu suchen ist. Eingehende Untersuchungen bestätigten jedoch nicht diese Annahme.

Bild 1²⁾ zeigt den polierten Längsschnitt durch die Wand eines duktilen Gußrohres, und man erkennt, daß die Ausbildung des in knotiger Form vorliegenden Graphits an der Außenseite der Rohrwand feiner ist als an der Innenseite, was mit den Abkühlungsbedingungen beim Schleuderprozeß zusammenhängt. Außerdem sind an der Innenseite der Rohrwand Graphitnester zu sehen. Von der inneren Gußhaut, die auch mit Verunreinigungen durchsetzt und weniger dehnbar ist, wird also die Trennung des Werkstoffes ausgehen. Solange die Dehnung im elastischen Bereich erfolgt, wird diese auch von der Rohrinnenwand aufgenommen. Wird aber die Fließgrenze überschritten, dann tritt eine plastische Verformung ein,

²⁾ Die in der vorliegenden Arbeit gebrachten Abbildungen wurden mit Genehmigung von Herrn Prof. Dr.-Ing. K. Wellinger aus seinem Gutachten entnommen.

die Verformungsgrenze an der Innenhaut ist erreicht, es entstehen kleine Risse, die sich nach der Außenwand des Rohres ausbreiten und damit das Aufreißen der ganzen Wand einleiten. Bei genauer Betrachtung der geprüften Flachproben wurden auch nach Durchführung der Zerreißversuche besonders an der Innenseite zahlreiche kleine Risse festgestellt. Vorstehende Überlegungen lassen daher den Schluß zu, daß die an Flachproben ermittelte Zugfestigkeit gleich der an Rundproben gemessenen Streckgrenze sein muß. Bestätigt wurden diese Folgerungen durch Vornahme von Berstversuchen an Rohren NW 100 und NW 200 und Zugversuchen an Rund- und Flachproben aus den gleichen Rohren.

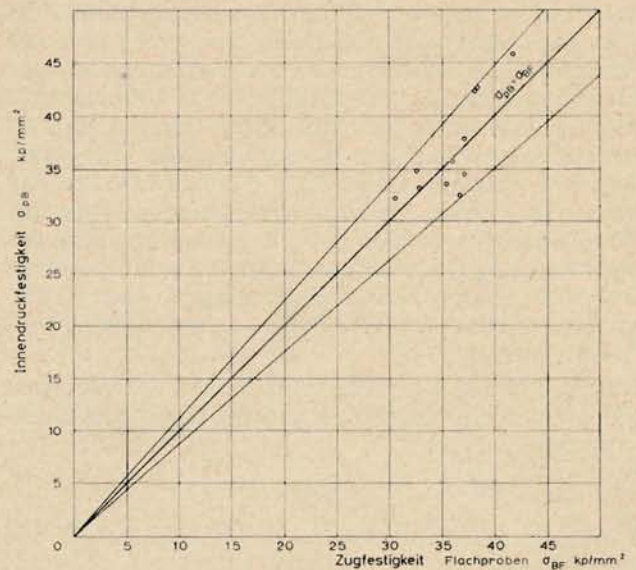


Bild 2: Abhängigkeit der Innendruckfestigkeit von der Zugfestigkeit der Flachproben

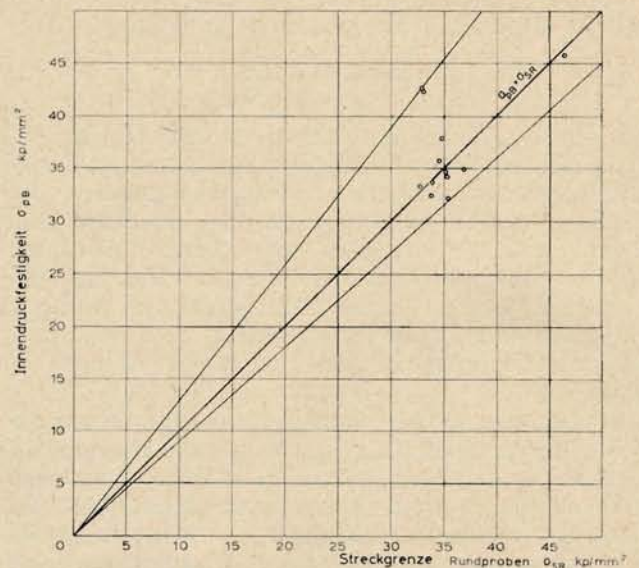


Bild 3: Abhängigkeit der Innendruckfestigkeit von der Streckgrenze der Rundproben

In den Bildern 2 und 3 sind die Ergebnisse graphisch aufgetragen. Bild 2 stellt die Abhängigkeit der Innendruckfestigkeit von der Zugfestigkeit der Flach-

proben dar. Die Innendruckfestigkeit wurde errechnet aus der Formel:

$$\sigma_{PB} = \frac{p_B \cdot d_m}{2s}$$

Hierin bedeuten:

p_B der Berstdruck

d_m der mittlere Rohrdurchmesser und

s die Wanddicke.

Bild 3 gibt die Abhängigkeit der Innendruckfestigkeit von der Streckgrenze der Rundproben wieder. Aus diesen beiden Darstellungen kann die wichtige Tatsache entnommen werden, daß die Innendruckfestigkeit sowohl gleich der Festigkeit der Flachproben als auch gleich der Streckgrenze der Rundprobe ist. Wie aus den Bildern 2 und 3 hervorgeht, ist die Festigkeit der Flachprobe gleich der Streckgrenze der Rundprobe. Die Streckgrenze der Flachprobe ist also kleiner als die der Rundprobe. Diese Differenz der Streckgrenzenwerte läßt sich damit erklären, daß der für die Berechnung der Streckgrenze der Flachprobe zugrunde gelegte Querschnitt einen Teil der Gußhautdicke enthält, der nicht als mittragend, also als Wanddickenverschwächung anzusehen ist. Bezeichnet man die auf die Streckgrenze der Rundprobe σ_{SR} bezogene Differenz der Streckgrenzenwerte mit Streckgrenzenverminderung, so kann diese wie folgt ermittelt werden:

Mit P_{SF} als Last der Flachprobe an der Streckgrenze, mit b als Breite der Probe und Δs als Wanddickenverschwächung ist:

$$P_{SF} = \sigma_{SR} \cdot b \cdot (s - \Delta s)$$

Bezieht man die Streckgrenze der Flachprobe auf den Probenquerschnitt $b \cdot s$, dann wird:

$$\frac{P_{SF}}{b \cdot s} = \sigma_{SF} = \sigma_{SR} \cdot \frac{s - \Delta s}{s}$$

daraus folgt die Streckgrenzenverminderung:

$$\frac{\sigma_{SR} - \sigma_{SF}}{\sigma_{SR}} = \frac{\Delta s}{s}$$

In Bild 4 ist die Streckgrenzenverminderung in Abhängigkeit von der Wanddicke aufgetragen. Die gebrochenen Linienzüge sind Versuchsergebnisse, die Kurven wurden aus obiger Formel errechnet, und zwar mit $\Delta s = 0,1; 0,77$ und $1,5$ mm. Wie man sieht, erfaßt die Kurve für $\Delta s = 1,5$ mm alle gemessenen Werte. Daraus kann geschlossen werden, daß die Wanddickenverschwächung, d. h. die nicht mittragende Innenhaut, im Höchstfalle $1,5$ mm beträgt.

Die Auswertung der durchgeführten Berstversuche sowie der Untersuchungen an Rund- und Flachproben haben also ergeben, daß es zweckmäßig und auch sinnvoll ist, sowohl die Innendruckfestigkeit als auch die Verformungsfähigkeit des Rohrwerkstoffes an einem aus der Rohrwand herausgearbeiteten Rundstab, und zwar durch Messung der Streckgrenze bzw. der Dehnung zu ermitteln.

Besonders aufschlußreich waren Untersuchungen an Rohrstücken über den Einfluß der Verformungsfähigkeit des Werkstoffes auf das Verhalten der Rohre bei zusätzlichen Scheiteldruckbeanspruchungen. Für

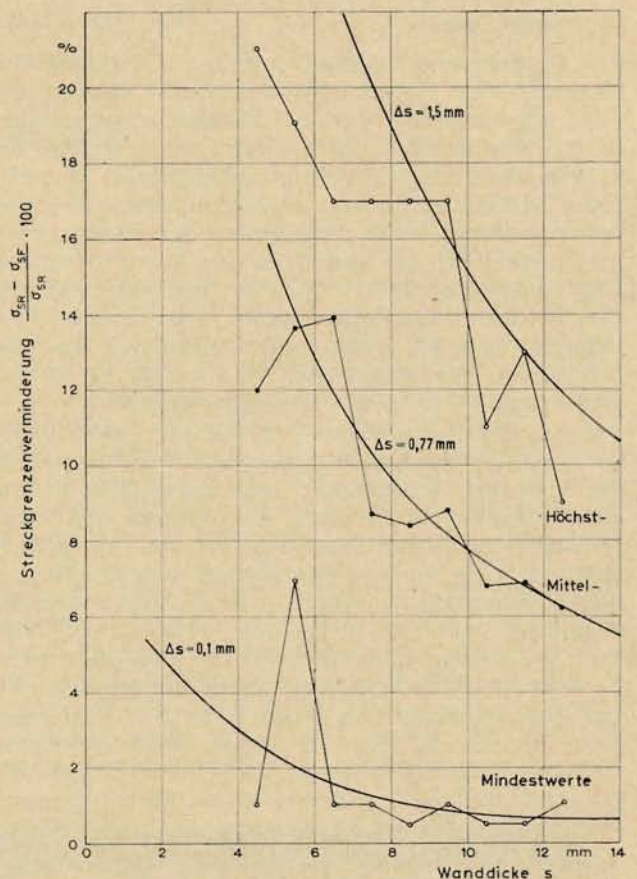


Bild 4: Abhängigkeit der Streckgrenzenverminderung von der Wanddicke bei Flachproben

diese Versuche wurde von der Materialprüfungsanstalt Stuttgart eine besondere Versuchseinrichtung entwickelt. Bild 5 zeigt den Versuchsaufbau für Scheiteldruckversuche bei gleichzeitiger Belastung durch Innendrucke. Der Scheiteldruck wurde über zwei um 180° versetzte Kugelkalotten von 100 mm Durchmesser aufgebracht. Die Untersuchungen wurden an Rohren aus duktilem Gußeisen und Gußeisen mit Lamellengraphit NW 200 durchgeführt. Die Wanddicken lagen bei den duktilen Gußrohren zwischen $4,5$ und $9,9$ mm, bei den Rohren aus Grauguß bei

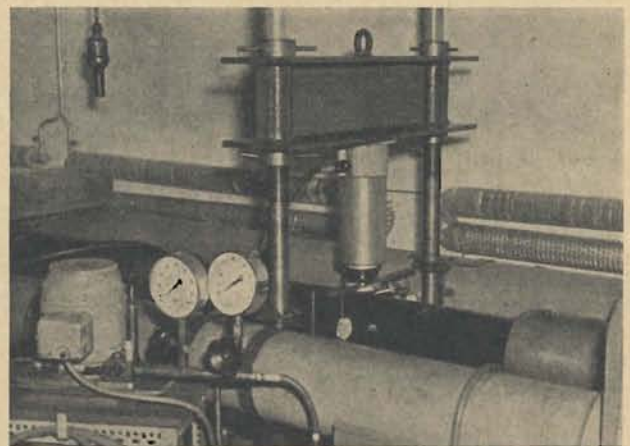


Bild 5: Versuchsaufbau für die Scheiteldruckversuche unter gleichzeitigem Innendruck

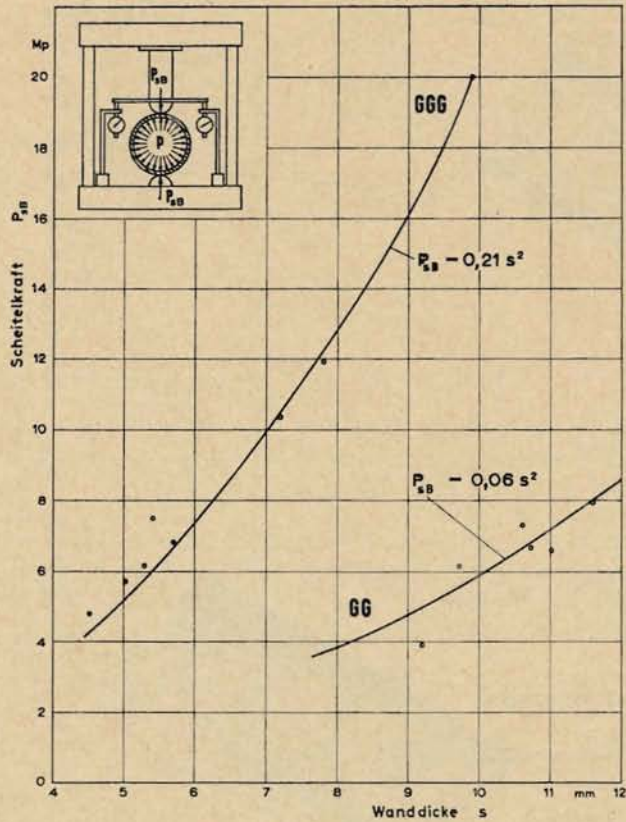


Bild 6: Abhängigkeit der Bruchseittelast von der Wanddicke bei einem Innendruck von $p = 64$ atü für GGG und $p = 32$ atü für GG

9,2 bis 11,6 mm. Der Innendruck betrug 64 bzw. 32 atü und wurde über die ganze Versuchsdauer, d. h. bis zum Bruch der Rohre, konstant gehalten. Das Ergebnis zeigt Bild 6, in dem die Scheitelbruchlasten in Abhängigkeit von der Wanddicke aufgetragen sind. Danach kann das duktile Gußrohr bei gleicher Wanddicke das Mehrfache an Scheitellasten aufnehmen, vor allem, wenn man bedenkt, daß der Innendruck bei den duktilen Gußrohren doppelt so hoch war wie bei den Gußrohren mit Lamellengraphit. Da die duktilen Gußrohre gegenüber den Graugußrohren für die gleichen Drücke wegen der höheren Festigkeit, aber mit kleineren Wanddicken geliefert werden, war es notwendig, das Verhalten der Scheitelbruchlast in Abhängigkeit von der Spannung aus dem Innendruck bei gleicher Wanddicke festzustellen. Für diese Versuche wurden Graugußrohre und duktile Gußrohre gewählt, die möglichst gleiche Wanddicken hatten. Bei den duktilen Gußrohren wurde die Prüfung bis zu einem Innendruck von 175 atü, bei den Graugußrohren bis 152 atü vorgenommen, aus den Innendrücken die Spannungen ermittelt und über diesen die Scheitelbruchlasten, die wegen der Schwankungen in den Wanddicken auf die Wanddicke von 10 mm bezogen wurden, in Bild 7 graphisch aufgetragen. Hierin sind auch die Versuchswerte von Bild 6 aufgenommen. Das Bild 7 zeigt recht deutlich den großen Vorteil, den das duktile Gußrohr wegen der Verformungsfähigkeit des Werkstoffes gegenüber dem Graugußrohr hat. Während beim Graugußrohr mit wachsendem Innendruck die Scheitellast fällt, steigt sie beim duktilen Gußrohr zunächst an und wird dann wieder kleiner, ohne jedoch bei dem höchsten verwendeten Innendruck den Wert zu

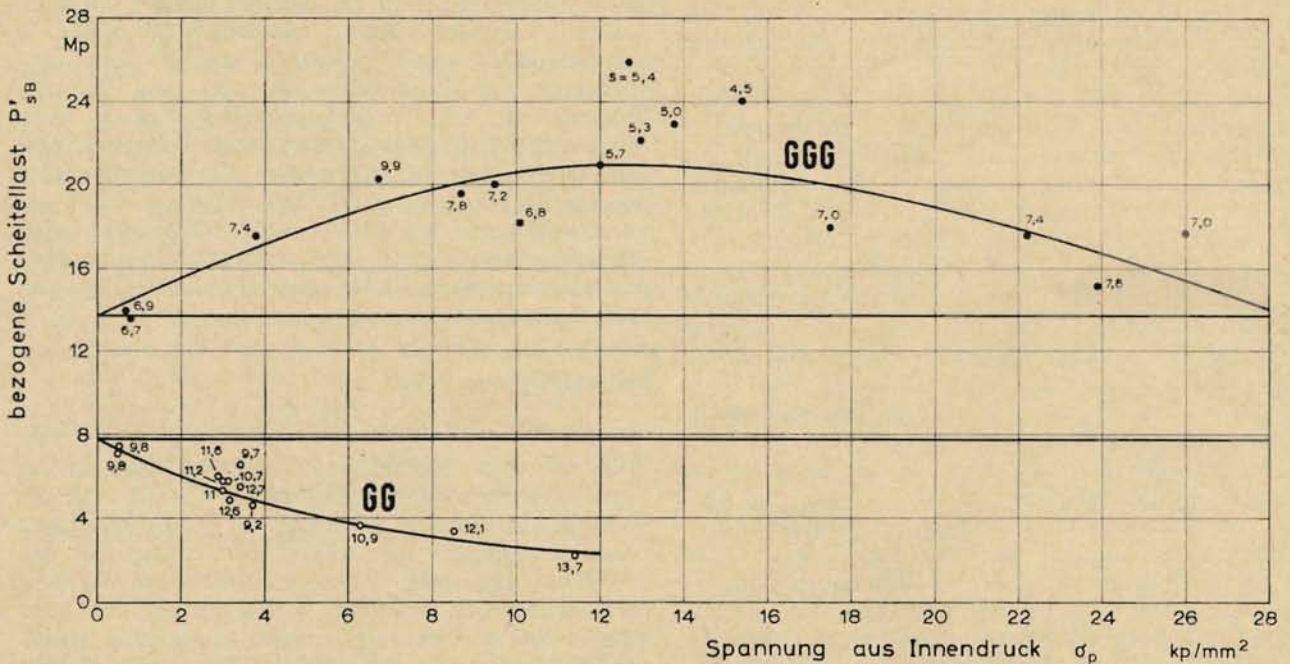


Bild 7: Abhängigkeit der bezogenen Bruchseittelast von der Spannung aus dem Innendruck

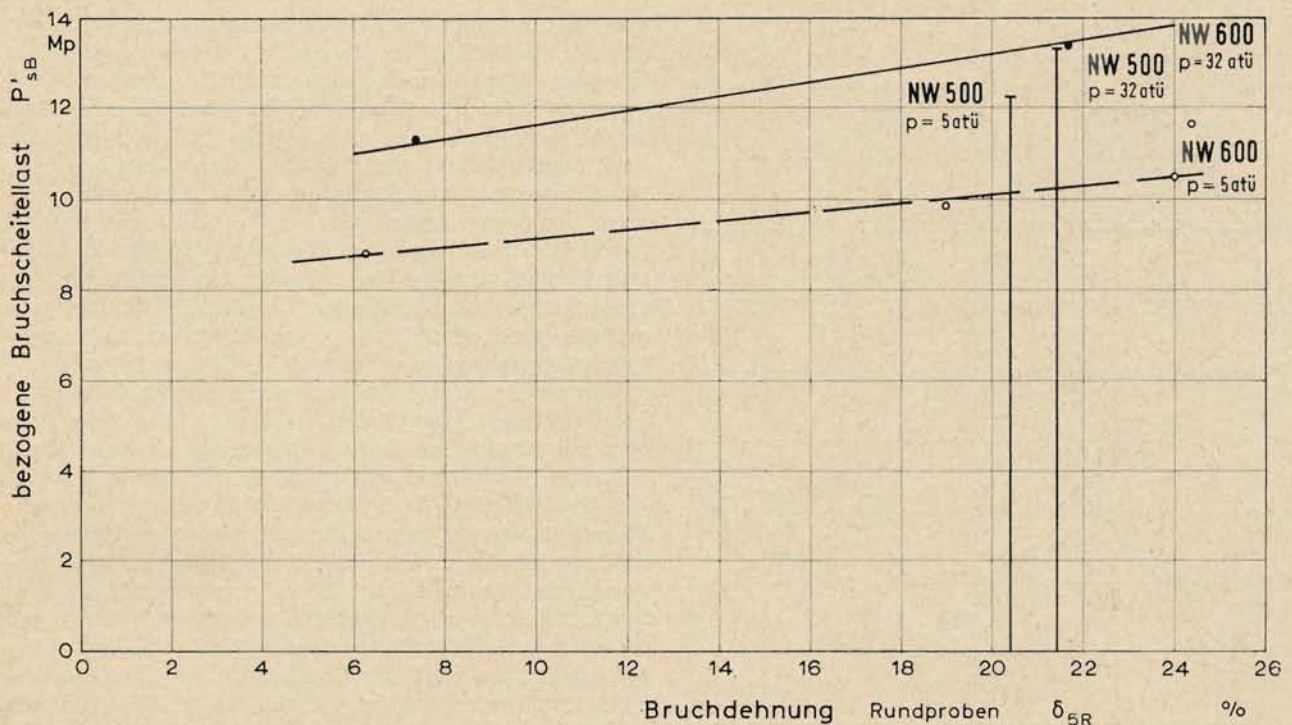


Bild 8: Abhängigkeit der bezogenen Bruchscheitellast von der Bruchdehnung der Rundproben

unterschreiten, der als Ausgangspunkt der Versuchsreihe gewählt wurde. Die aus dem Höchstdruck sich ergebende Spannung betrug $26,9 \text{ kp/mm}^2$. Die Berechnung der duktilen Gußrohre auf Innendruck erfolgt aber mit einer Spannung von etwa der Hälfte dieser Höchstspannung, worauf später noch eingegangen wird. Sie fällt also mit dem Maximum der bezogenen Scheitellast in Bild 7 zusammen.

Besonders wichtige Erkenntnisse brachten weitere Scheiteldruckversuche bei gleichzeitiger Innendruckbelastung, die an Rohrabschnitten NW 500 und 600 an der gleichen Versuchseinrichtung durchgeführt wurden. Die stichprobenartig vorgenommenen Messungen sind in Bild 8 eingezeichnet. In dieser Darstellung sind die auf 10 mm Wanddicke bezogenen Bruchscheitellasten in Abhängigkeit von den an Rundproben ermittelten Dehnungen δ_{5R} aufgetragen. Der gestrichelte Linienzug gilt für einen Innendruck von 5 atü und die ausgezogene Linie für einen Innendruck von 32 atü. Man erkennt deutlich den Einfluß der Dehnung und des Innendrucks auf die tragbare Bruchscheitellast. Bei einer Dehnung von 6% nimmt sie um 26% zu, wenn der Innendruck von 5 auf 32 atü erhöht wird und bei einer Dehnung von 24% um 33%. Eine etwa in derselben Größenordnung liegende Steigerung von im Mittel 37% wurde auch an Rohren NW 200 festgestellt. Dieses Ergebnis ist von besonderer Bedeutung im Hinblick auf den Einsatz von duktilen Gußrohren in der Hochdruckversorgung. Rohrleitungen aus duktilem Gußeisen, die mit hohen Drücken betrieben werden, haben eine erhöhte Sicherheit in bezug auf die Aufnahme von zusätzlichen Beanspruchungen durch Scheitellasten, die durch Erdlasten, Verkehrslasten usw. verursacht werden.

Die bei den Scheiteldruckversuchen unter gleichzeitigem Innendruck geprüften Rohrstücke wurden an den Bruchstellen aufgeschnitten und an Schlibbildern das Bruchverhalten untersucht. In Bild 9 ist zu erkennen, daß außer dem Riß, der den Bruch verursachte, an der gegenüberliegenden Seite ebenfalls ein Riß zu sehen ist, der aber nicht wie bei dem Zugversuch sich sofort über die gesamte Rohrwanddicke ausbreitete. Daraus ist zu schließen, daß nach dem Einreißen der Gußhaut die Scheitellast noch weiter gesteigert werden kann und die Ausbildung der Gußhaut hierauf keinen Einfluß hat. Der Bruch durch die Scheitellast ist dann lediglich von dem Verformungsvermögen des Werkstoffes abhängig, also von der Dehnung δ_{5R} , die an Rundproben gemessen wird. Mit Bezug auf die Bestätigung dieser Aussage durch Bild 8 heißt es in dem Gutachten „Die Ergebnisse der durchgeführten Innendruck-Scheitellastversuche gelten deshalb nur für solche duktilen Gußrohre, deren Bruchdehnung δ_{5R} , die an den Versuchsrohren festgestellte Mindestbruchdehnung von $\delta_{5R} = 6\%$ mit Sicherheit überschreitet.“

Bemessung der Rohre

a) Bemessung der Rohre bei statischer Beanspruchung.

Erdverlegte Rohrleitungen sind außer dem Innendruck noch Belastungen ausgesetzt, die u. a. mit dem Befahren der Straßen mit schweren Motorfahrzeugen zusammenhängen, wodurch in Verbindung mit den Erdlasten zusätzliche, von Scheitellasten herrührende, Biegespannungen auftreten. Nachdem, wie oben dargelegt, bei duktilen Gußrohren, die durch Innendrucke beansprucht werden, die Bruchscheitellasten höher liegen als ohne Innendruck, kann die Berech-

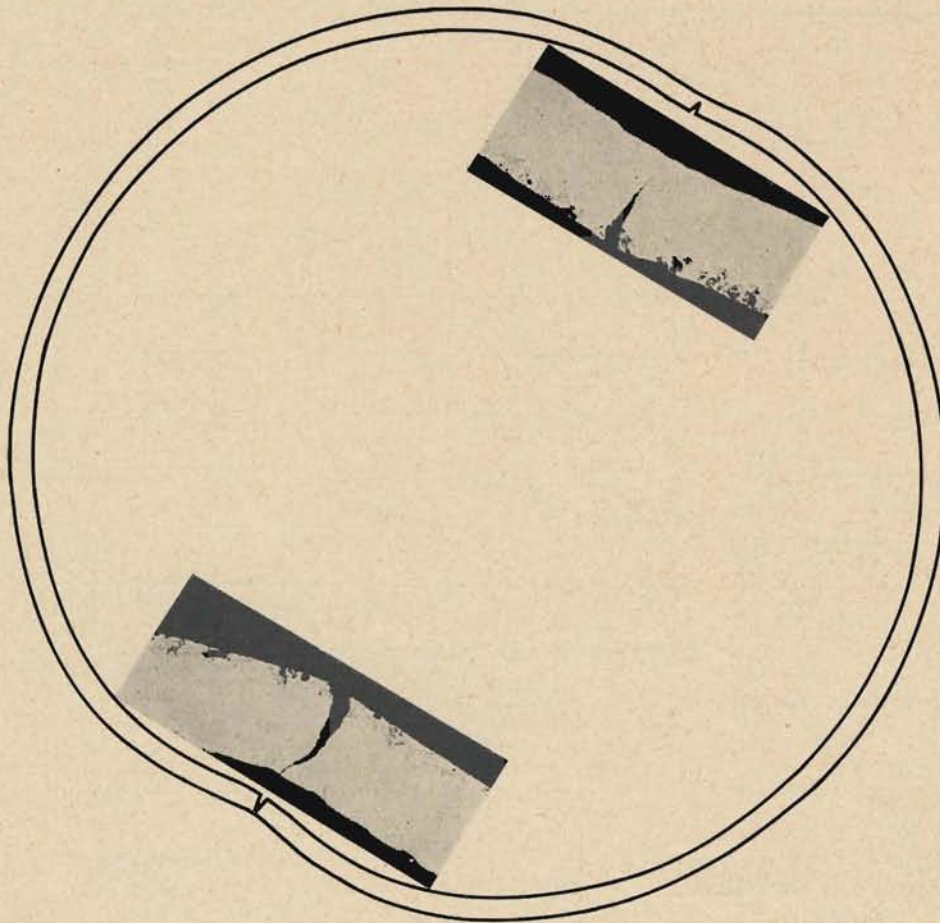


Bild 9: Verformungen und Anrisse beim Scheitellast-Innendruckversuch am duktilen Gußrohr

nung der duktilen Gußrohre auf Innendruck oder Scheiteldruck getrennt durchgeführt werden. Die jeweils größere Wanddicke ist dann zu wählen. Bedingung ist, daß der Werkstoff ein genügend großes Verformungsvermögen aufweist. Zum Nachweis eines solchen Verformungsvermögens soll nach dem Gutachten unter Berücksichtigung der Streuungen und einer angemessenen Sicherheit, die an Rundproben ermittelte Bruchdehnung den Mindestwert von 10% erreichen. Wird ein duktiles Gußrohr lediglich durch Innendruck belastet, und treten keine zusätzlichen Belastungen auf, dann kann die Wanddicke nach der im Rohrleitungsbau üblichen Formel berechnet werden. Vorausgesetzt wird, daß es sich um ein kreisrundes Rohr handelt. Weicht der Rohrquerschnitt von der Kreisform ab, dann treten Biegebeanspruchungen auf, die jedoch bei duktilen Gußrohren zu vernachlässigen sind, da nach den kombinierten Scheiteldruck-Innendruckversuchen die dort aufgetretenen großen Unrundheiten keine Herabsetzung der Innendruckfestigkeit ergaben.

Die theoretische Wanddicke s_0 ergibt sich aus:

$$s_0 = \frac{p_{\max} \cdot d_m}{200 \cdot K/S}$$

K ist der Werkstoffkennwert, S der Sicherheitsbeiwert. Als Werkstoffkennwert wurde die Zugfestigkeit der Rohrwand gewählt, die gemäß Bild 3 gleich

der Streckgrenze der Rundprobe ist. Sie wird nach den Technischen Lieferbedingungen für Druckrohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen mit einem Wert von $\sigma_{SR} = 30 \text{ kp/mm}^2$ garantiert und an einem einwandfreien Rundstab ermittelt. Da innerhalb des Rohres mit Streuungen der Werte zu rechnen ist, die nach den Untersuchungen bei den Rundproben etwa 8%, bei den Flachproben etwa 14% betragen, soll diese Unsicherheit bei der Festlegung des Sicherheitsbeiwertes S mit dem Faktor 1,15 berücksichtigt werden. Ausgehend von einer Grundsicherheit von $S_0 = 2$, wie sie heute nach den Regeln der Technik beim Versagen durch Bruch einzusetzen ist, ergibt sich ein Sicherheitsbeiwert S von $2 \cdot 1,15 = 2,3$.

Auf Seite 14 wurde ausgeführt, daß ein Teil der Gußhaut als Wanddickenverschwächung anzusehen ist, die nach Bild 4 im Maximum mit 1,5 mm angenommen werden kann. Um diesen Betrag von 1,5 mm ist also die berechnete theoretische Wanddicke zu vergrößern. Mit $S = 2,3$, $\sigma_{SR} = 30 \text{ kp/mm}^2$ und dem Wanddickenzuschlag von 1,5 mm kann die Mindestwanddicke s_{\min} berechnet werden aus:

$$s_{\min} = \frac{p_{\max} \cdot d_m}{200 \cdot \sigma_{SR}/S} + 1,5 = \frac{p_{\max} \cdot d_m}{2610} + 1,5$$

Wegen der Abweichung der Wanddicken bei der Herstellung der Rohre ist ein weiterer Zuschlag zu machen, der die Wanddickentoleranz berücksichtigt.

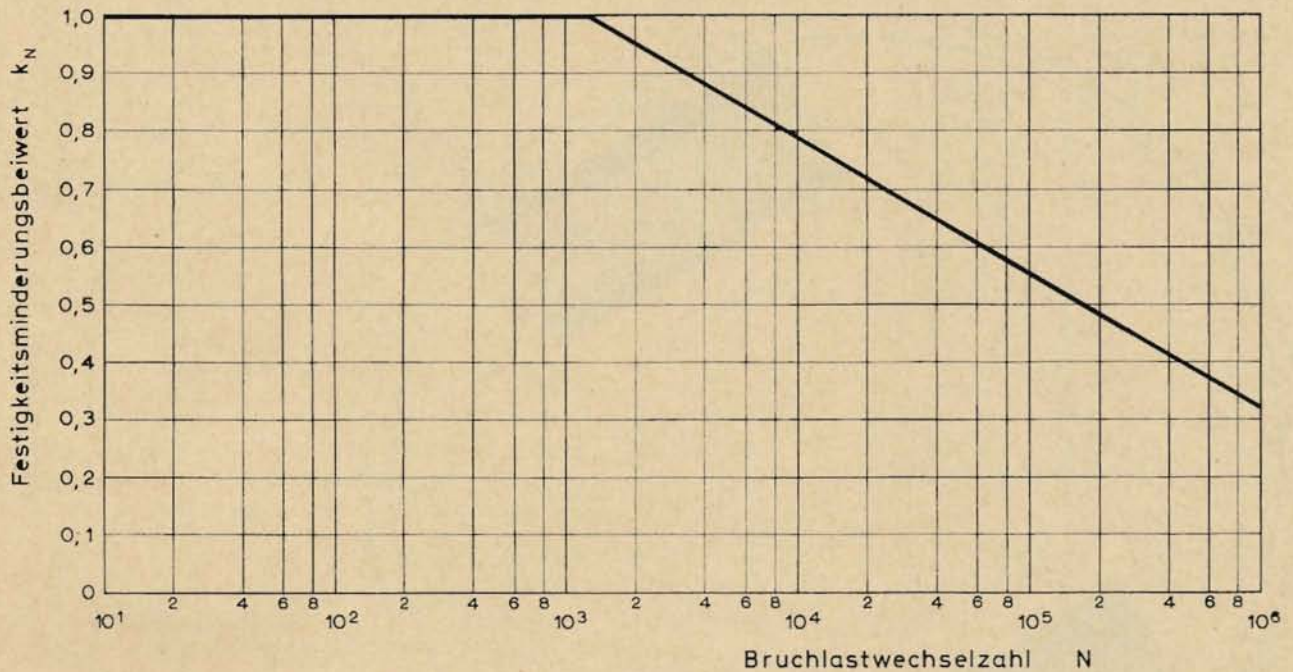


Bild 10: Der Festigkeitsminderungsbeiwert in Abhängigkeit der Bruchlastwechselzahlen

b) Bemessung der Wanddicke bei schwellender Beanspruchung.

Schwanken in einer Rohrleitung die Drücke zwischen zwei bestimmten Werten, d. h. tritt eine schwellende Beanspruchung auf, dann ist zu prüfen, ob die aus der Innendruckbelastung errechnete Wanddicke auch eine ausreichende Zeitschwellfestigkeit besitzt. Unter Zeitschwellfestigkeit σ_{SchN} versteht man die Differenz der Spannungen, die sich aus den Grenzwerten der schwankenden Drücke ergeben und nach einer bestimmten Anzahl N von Lastwechseln den Bruch des Werkstoffes verursachen. Für die Ermittlung der Zeitschwellfestigkeit wird folgende Annäherungsformel angegeben:

$$\sigma_{SchNF} = k_N \cdot \sigma_{BF} = k_N \cdot \sigma_{SR}$$

k_N stellt den Festigkeitsverminderungsbeiwert dar. Zur Bestimmung von k_N wurden Schwellversuche durchgeführt, deren Ergebnisse in Bild 10 aufgezeichnet sind. Zu diesen Spannungen aus dem schwelenden Innendruck sind alle sich mit dem Innendruck ändernden Zusatzspannungen hinzuzuzählen. Es sind insbesondere zusätzliche Biegespannungen bei ungeraden Rohren. Sie sind dem Innendruck proportional und werden in einem Beanspruchungssteigerungsfaktor k_S berücksichtigt, der aus Bild 11 in Abhängigkeit von der bezogenen Durchmesseränderung $\frac{\Delta d}{s}$

entnommen werden kann. Da der Innendruck die Rohre verformt und diese Verformungen in dem Diagramm nicht berücksichtigt sind, dürfte der Beanspruchungssteigerungsfaktor k_S in Wirklichkeit kleiner sein. Die Ermittlung der Mindestwanddicke der Rohre bei schwellender Belastung erfolgt somit aus:

$$s_{min} = \frac{p_{Sch} \cdot d_m \cdot k_S}{200 \cdot k_N \cdot \sigma_{SR}/S} + c$$

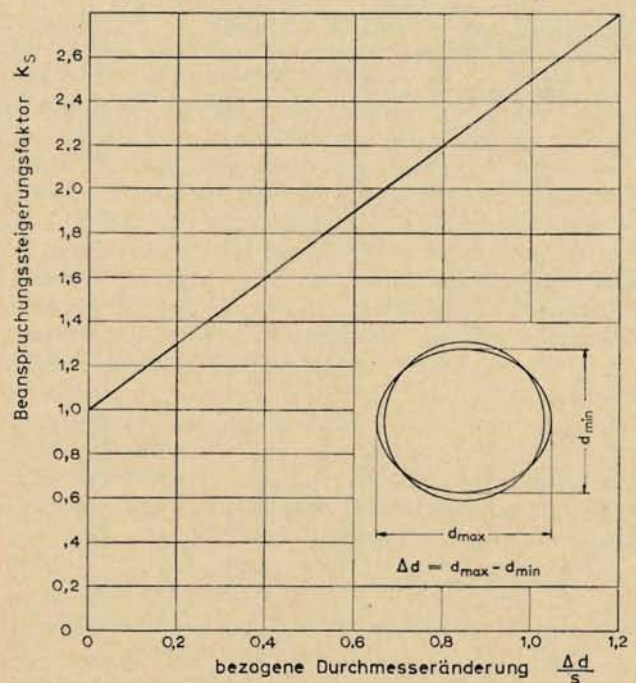


Bild 11: Der Beanspruchungssteigerungsfaktor in Abhängigkeit der bezogenen Durchmesseränderung

Wie bei der Berechnung von s_{\min} aus dem Innendruck, sind hier S mit 2,3, σ_{SR} mit 30 kp/mm² und c mit 1,5 mm einzusetzen. Es wird also:

$$s_{\min} = \frac{p_{Sch} \cdot d_m}{2610} \cdot \frac{k_S}{k_N} + 1,5$$

Anhang

Beispiel für die Bemessung der Rohrwanddicke nach dem Innendruck

1. Berechnung gegen p_{\max}

Rohraußendurchmesser $d_a = 220$ mm
Höchster im Betrieb auftretender Innendruck

$$p_{\max} = 64 \text{ atü}$$

$$s = \frac{p_{\max} d_m}{2610} + 1,5$$

$$s = \frac{p_{\max} (d_a - s)}{2610} + 1,5$$

$$s = \frac{p_{\max} d_a}{2610} - \frac{p_{\max} s}{2610} + 1,5$$

$$s \frac{2610 + p_{\max}}{2610} = \frac{p_{\max} d_a}{2610} + 1,5$$

$$s = \frac{p_{\max} d_a}{2610 + p_{\max}} + 1,5 \frac{2610}{2610 + p_{\max}}$$

$$s = \frac{64 \cdot 220}{2610 + 64} + 1,5 \frac{2610}{2610 + 64}$$

$$s = 5,3 + 1,5$$

$$s = 6,8 \text{ mm}$$

2. Berechnung gegen den schwellenden Teil des Innendrucks

Maximal auftretende Schwellbreite des Innendrucks $p_{Sch} = 20$ atü

Die der Berechnung zugrunde zu liegende Lastwechselzahl $N = 10\,000$

Maximales Unrundsein der Rohre $\frac{\Delta d}{s} = 0,6$

k_N für $N = 10\,000$ aus Bild 33 $k_N = 0,79$

k_S für $\frac{\Delta d}{s} = 0,6$ aus Bild 34 $k_S = 1,85$

Ergibt die Berechnung bei schwellender Belastung eine größere Wanddicke, dann ist diese für die Bemessung der Rohre zugrunde zu legen.

Abschließend wurde in dem Gutachten folgendes Berechnungsbeispiel gebracht:

$$s = \frac{p_{Sch} d_m k_S}{2610 \cdot k_N} + 1,5$$

$$s = \frac{p_{Sch} d_a k_S}{2610 k_N + p_{Sch} k_S} + \frac{2610 k_N}{2610 k_N + p_{Sch} k_S} 1,5$$

$$s = \frac{20 \cdot 220 \cdot 1,85}{2610 \cdot 0,79 + 20 \cdot 1,85} + \frac{2610 \cdot 0,79 \cdot 1,5}{2610 \cdot 0,79 + 20 \cdot 1,85}$$

$$s = \frac{8130}{2060 + 37} + \frac{2060}{2060 + 37} 1,5$$

$$s = 3,9 + 1,5$$

$$s = 5,4 \text{ mm} < 6,8 \text{ mm}$$

Für die Bemessung der Rohre ist die Berechnung nach p_{\max} maßgebend.

$$s_{\min} = 6,8 \text{ mm}$$

Die bei dieser Wanddicke maximal zulässige Schwellbreite des Innendrucks p_{Sch} kann wie folgt bestimmt werden:

$$s_{\min} \text{ nach } p_{\max} = s_{\min} \text{ nach } p_{Sch}$$

$$\frac{p_{\max} d_m}{2610} + 1,5 = \frac{p_{Sch} d_m k_S}{2610 k_N} + 1,5$$

$$p_{Sch} = \frac{k_N}{k_S} p_{\max}$$

Mit den Werten des Beispiels:

$$p_{\max} = 64 \text{ atü} \quad k_N = 0,79 \quad k_S = 1,85$$

wird

$$p_{Sch} = \frac{0,79}{1,85} 64$$

$$= 27,4 \text{ atü}$$

d. h. für $p_{Sch} \leq \frac{k_S}{k_N} p_{\max} = 27,4$ atü ist für die Be-

messung die Berechnung nach p_{\max} , für $p_{Sch} > \frac{k_S}{k_N} p_{\max}$

= 27,4 atü die Berechnung nach p_{Sch} maßgebend.

Zusammenfassung

Ausgehend von den der MPA, Stuttgart, für das Gutachten über die Berechnung duktiler Schleudergußrohre zur Verfügung gestellten zahlreichen Messungen, welche die Gußrohrwerke seit der Herstellung duktiler Gußrohre vornahmen, wurden zunächst Untersuchungen durchgeführt, die den Zweck hatten, festzustellen, welchen Einfluß die Gußhaut auf die Meßergebnisse hat. Dabei wurde gefunden, daß die an den Flachproben ermittelten Materialkennwerte sehr stark streuen, und es daher zweckmäßig und sinnvoll ist, für die Beurteilung des Werkstoffes nur die Rundprobe zu verwenden.

Berstversuche mit anschließenden Prüfungen an Rund- und Flachproben, die aus den geborstenen Rohren entnommen waren, brachten die sehr wichtige Erkenntnis, daß die aus dem Berstdruck ermittelte Zugfestigkeit und die Zugfestigkeit der Flachproben gleich der Streckgrenze an den Rundproben sind, mit der Messung der Streckgrenze an der Rundprobe also die Festigkeit der Rohre ermittelt werden kann.

Weitere Untersuchungen erstreckten sich über den Einfluß der Verformungsfähigkeit auf das Verhalten der Rohre bei zusätzlichen Scheiteldruckbeanspruchungen. Hierbei stellte sich heraus, daß duktile

Gußrohre mit steigendem Innendruck größere Erd- und Verkehrslasten aufnehmen können, was im Hinblick auf das Befahren unserer Straßen mit schweren Lkw von besonderer Bedeutung ist. Die bei diesen Versuchen angestellten Betrachtungen über die erforderliche Dehnung ergaben, daß eine Mindestdehnung von 6% vorliegen muß. Mit Rücksicht auf die Sicherheit, vor allem in der Hochdruckgasversorgung, wurde aber im Gutachten herausgestellt, daß die Mindestdehnung, gemessen an einem einwandfreien Rundstab, den Wert von 10% erreichen soll.

Anschließend wird die Bemessung der Rohre behandelt, und zwar bei statischer und schwellender Belastung. Mit einem Berechnungsbeispiel, das aus dem Gutachten entnommen ist, schließt der Bericht, der sich im wesentlichen mit der Berechnung der duktilen Gußrohre auf Innendruck befaßt. Da, wie die Praxis gezeigt hat, zu dem reinen Innendruck heute mehr denn je erhöhte Belastungen durch äußere Kräfte hinzutreten, fordert der DVGW bei der Normung der Rohre den Nachweis, daß sie auch diesen zusätzlichen Belastungen gewachsen sind. Hierüber berichtet Dr.-Ing. Hein in seinem Aufsatz „Berechnung von erdverlegten Rohren aus duktilem Gußeisen“.

Berechnung von erdverlegten Rohren aus duktilem Gußeisen

Von Hansgeorg HEIN

Vorwort

Die Forderung nach immer wirtschaftlicheren Betriebsmitteln läßt die Rohrnetze für den Transport insbesondere von Gas und Wasser sich ständig ausweiten. Durchmesser und Drücke werden immer höher getrieben. Damit steigt aber auch die Forderung nach einer genaueren statischen Berechnung, wie sie künftighin vom DVGW bei der Normung der Rohre vorgeschrieben wird, um alle Vorteile, die der Werkstoff bietet, voll ausnutzen zu können. Die eingeerdete Leitung ist vielfältigen Beanspruchungen von innen und von außen unterworfen. Mit ihrer Berechnung befaßt sich das erste Kapitel, während im zweiten Teil die sich aus den Lasten ergebenden Einzelspannungen berechnet werden. Der dritte Abschnitt zieht die Folgerungen aus der Überlagerung der einzelnen Spannungen je nach der Wahl des Rohrwerkstoffes. Zum Schluß folgt die Berechnung der zur Normung eingereichten Rohre aus duktilem Gußeisen.

1 Berechnung der inneren und äußeren Belastungen einer Rohrleitung

1.1 Innendruck

Der Innendruck ist der größte auftretende Betriebsdruck, der sich aus dem statischen, dem Pumpendruck und aus dem Druckstoßzuschlag ergibt. Die Auslegung einer Leitung erfolgt zumeist nach der dem Betriebsdruck nächstfolgenden Nenndruckstufe; bei Leitungen für Dämpfe und Gase ist zu beachten, daß je nach der Gefährlichkeit des Mediums nach höheren Nenndruckstufen zu dimensionieren ist.

1.2 Scheitellast

Die Scheitellast setzt sich aus zwei Komponenten zusammen, der Erdlast P_E und der Verkehrslast P_V .

1.2.1 Erdlast

Seit Beginn dieses Jahrhunderts etwa beschäftigt man sich mit der Ermittlung der Auflasten für im Boden liegende Rohrleitungen. Das in Deutschland am meisten verbreitete Verfahren ist das von Marston (1). Es ist eine Anwendung der Silotheorie auf parallelwandige Gräben und wurde später auch auf Dammlösungen erweitert.

Roske (2) gibt genaue Formeln für die Ermittlung der Auflasten an. Er unterscheidet nach Verlegung in Grabenbedingungen und Dammbedingungen, wobei die Dammbedingung auch z. T. in parallelwandigen Gräben angewendet werden muß (Bild 1). Maßgeblich hierfür ist die Grenzgrabenbreite B^* .

Durch die Arbeit von Wetzorke (3) wurde die Anwendbarkeit der Silotheorie auf parallelwandige Gräben bestätigt. Für Überdeckungshöhen bis ein Meter und darüber können hier in parallelwandigen Gräben die Formeln für die Grabenbedingung Anwendung finden. Außerdem unterscheidet Wetzorke (3) zwischen verdichteten und unverdichteten Böden, und er befaßt sich außerdem mit dem Belastungsanteil der Rohre, dessen Einführung sich aus den Versuchen anbietet.

Nach (3) ergibt sich die Erdlast P_E zu

$$P_E = A \cdot \gamma \cdot b \cdot t \quad (1)$$

In dieser Gleichung bedeutet:

P_E = Erdlast [kp/cm]

A = Abminderungsfaktor (Bild 2 und 3)

γ = Raumbgewicht des Bodens [kp/cm³]

b = Grabenbreite [cm]

t = Überdeckungshöhe über Rohrscheitel [cm]

Der Abminderungsfaktor A wird beeinflusst vom Verhältnis des horizontalen Erddruckes p_H zum vertikalen Erddruck p_V . Bei Boden ohne Verdichtung findet Wetzorke (3) aus seinen Versuchen einen Faktor $K = p_H/p_V$ von 0,5, während sich bei verdichtetem Boden (Bild 3) der Faktor K zu 1,0 einstellt.

1.2.2 Verkehrslast

Bei der Berechnung der Verkehrslasten P_V stützt man sich auf die Theorie von Boussinesque (4). Die Belastungen durch Regelfahrzeuge sind in der DIN 1072, die Stoßbeiwerte für den dynamischen Anteil der Verkehrslast sind in DIN 4033 angegeben.

Nach (3) ergibt sich die Verkehrslast P_V zu:

$$P_V = \varphi \cdot p_{V_0} \cdot d_a \text{ [kp/cm}^2\text{]}$$

Es bedeutet:

φ = Stoßfaktor nach DIN 4033

$\varphi = 1 + \frac{0,3}{t}$; (t in m).

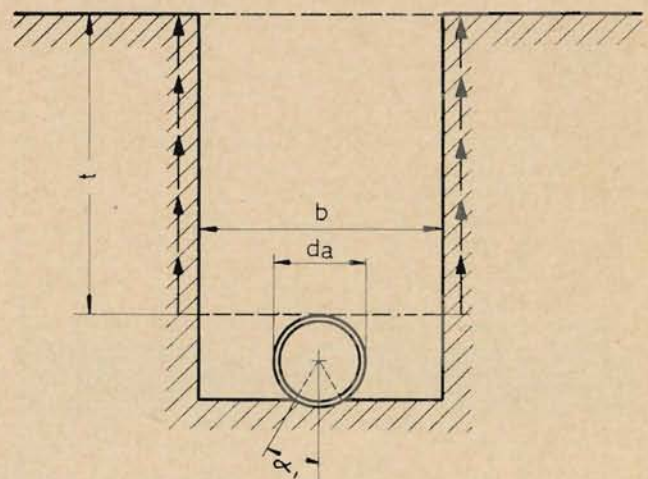
p_{V_0} = Belastungswert [kp/cm²]
(Bild 4)

d_a = Rohraußendurchmesser [cm].

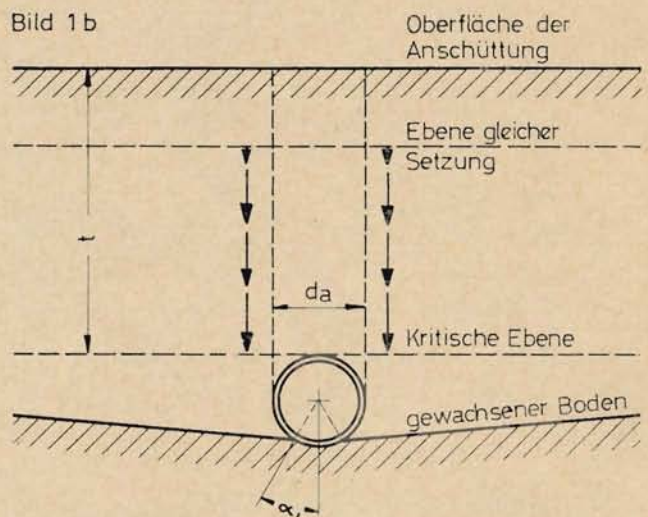
1.2.3 Belastungsanteil der Rohre

Bei den vorausgegangenen Betrachtungen war angenommen worden, daß die Erdlast P_E proportional der Grabenbreite b ist. Wetzorke (3) weist nach, daß sich bei steifen Rohren und gut verdichteter Leitungszone

Bild 1 a GRABENBEDINGUNG



DAMMBEDINGUNG



die Erdlast um den Faktor $(d_a + b) / 2b$ verringert, was bedeutet, daß ein Teil der Belastung durch die Erdprismen neben den Rohren aufgenommen wird.

Ist das Rohr elastischer als der umgebende Boden, so reduziert sich der Anteil der Erdlast um den Faktor d_a/b . Dies besagt, daß das Rohr nur noch durch das unmittelbar über ihm liegende Erdprisma belastet wird.

Als Kriterium K , ob das Rohr elastischer oder unelastischer als der Boden ist, gibt Klein (5) an:

$$K = E_R/E_S \cdot (s/r)^3 \quad (3)$$

E_R = Elastizitätsmodul des Rohrmaterials [kp/cm²]

E_S = Steifzahl des Bodens [kp/cm²]

s = Wanddicke des Rohres [cm]

r = mittlerer Rohrradius [cm]

Für K größer eins handelt es sich um steife Rohre, für K kleiner eins sind die Rohre als elastisch gegenüber dem Boden anzusehen.

Bild 2 Erdlast auf Rohren in Gräben ohne Bodenverdichtung

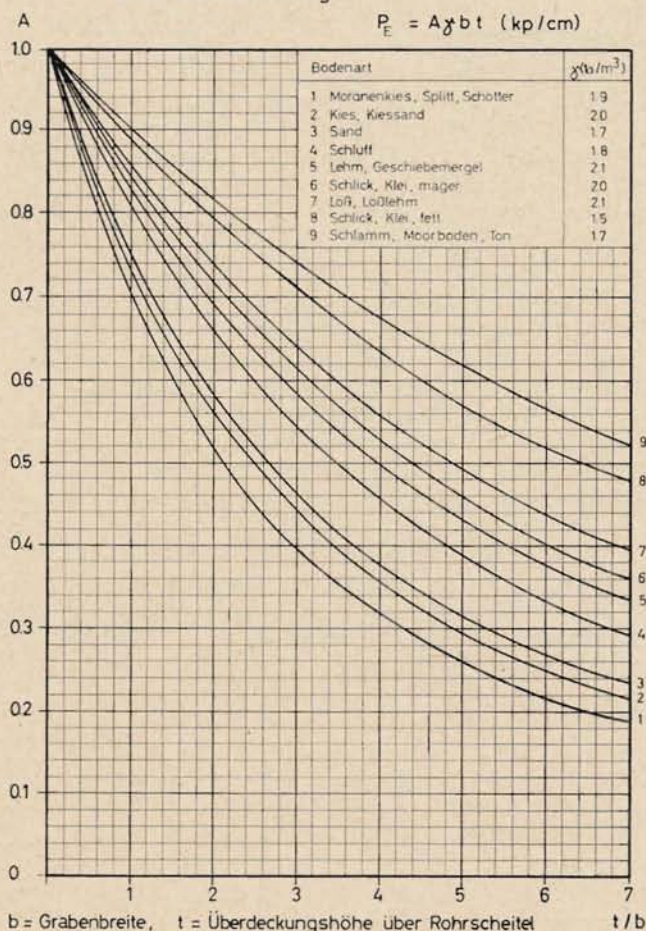
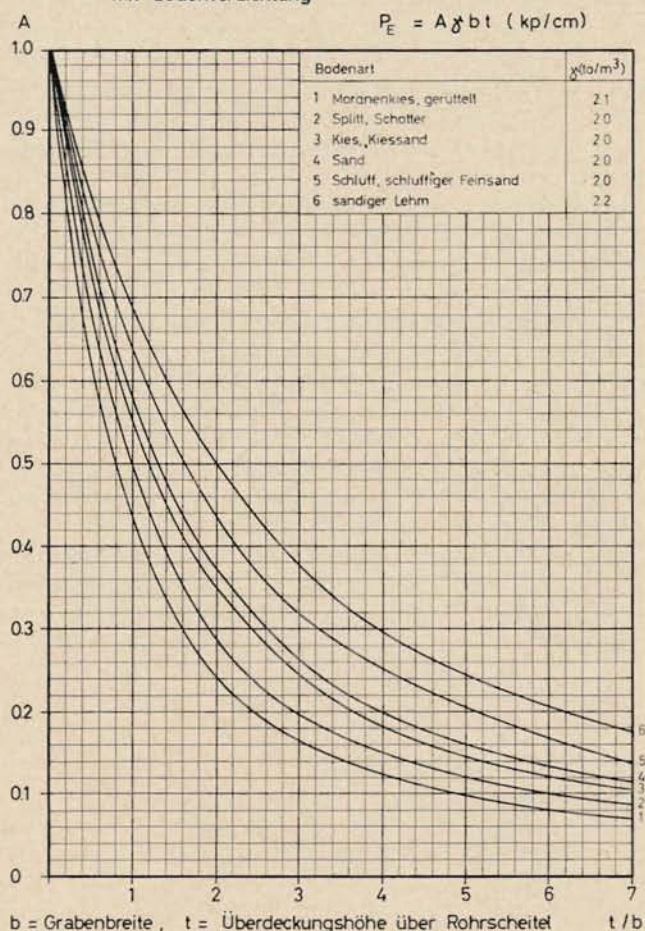


Bild 3 Erdlast auf Rohren in Gräben mit Bodenverdichtung



1.2.4 Seitliche Entlastung der Rohre

Entlastung durch seitliche Kräfte ist nur dann möglich, wenn das Rohr als elastisch (im Sinne von Formel 3) angesehen werden kann. Der Anteil der Entlastung wird in der Literatur mit 1/3 bis 2/3 angegeben, je nach der Verdichtung des Bodens. Eine exakte Berechnung für den Fall, daß die Verformung des Rohres für die Dimensionierung maßgeblich ist, findet man bei Spangler (6).

1.3 Biegung

Durch Erdsenkungen, schlechte Verlegung und nachträgliches Untergraben werden Rohrleitungen auf Biegung beansprucht. Da keine exakten Voraussetzungen für die Lastannahme bestehen, soll hier nach einem Lastfall gerechnet werden, der nach Aussprache mit dem DVGW als Normalfall angesehen werden muß (Bild 5).

Es wird angenommen, daß eine Leitung durch einen nachträglich ausgeführten, quer zu ihr liegenden Graben von 1,2 Meter Breite unterfahren wird; eine Muffe soll in der Grabenwand liegen, die Stützweite soll 1,6 m betragen und die Last wird als gleichmäßig verteilt angenommen.

Bei der Berechnung der Auflasten wird berücksichtigt, daß Dammbedingungen vorliegen. Die Belastungsbreite ist dann gleich dem Rohraußendurchmesser. Im Falle der Grabenbedingungen treten keine Entlastungen durch die seitlichen Grabenwände ein, so daß der Faktor A (s. Gleichung 1) mit 1 eingesetzt werden muß.

1.4 Längsbeanspruchung

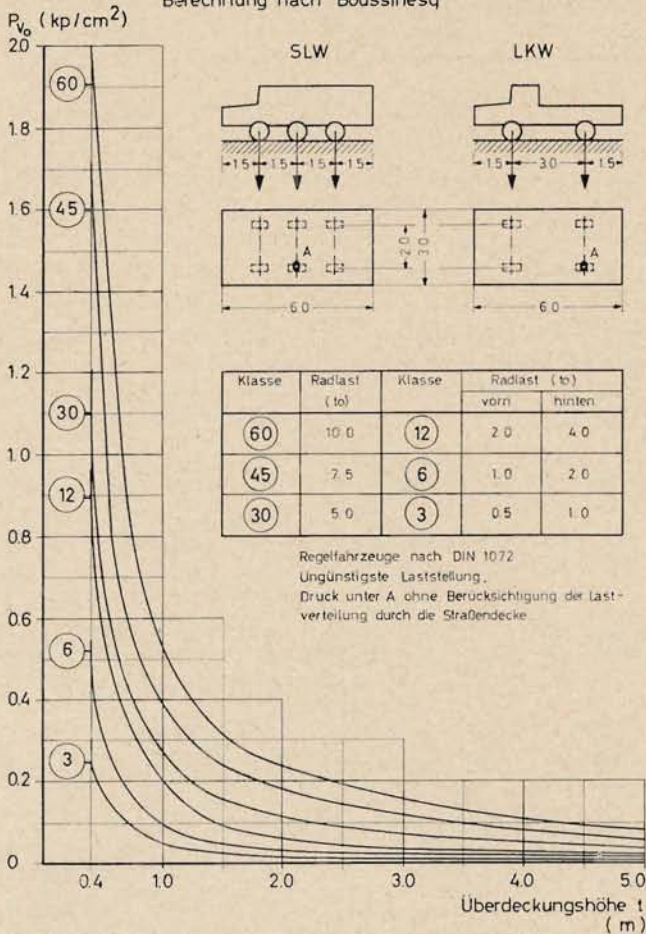
Bei Muffenrohrleitungen treten infolge der nicht form- oder kraftschlüssigen Rohrverbindung keine nennenswerten Beanspruchungen in Achsrichtung der Rohre auf, da die äußeren Schubkräfte nur über eine Rohrlänge angreifen können.

2 Berechnung der Einzelspannungen

2.1 Innendruck

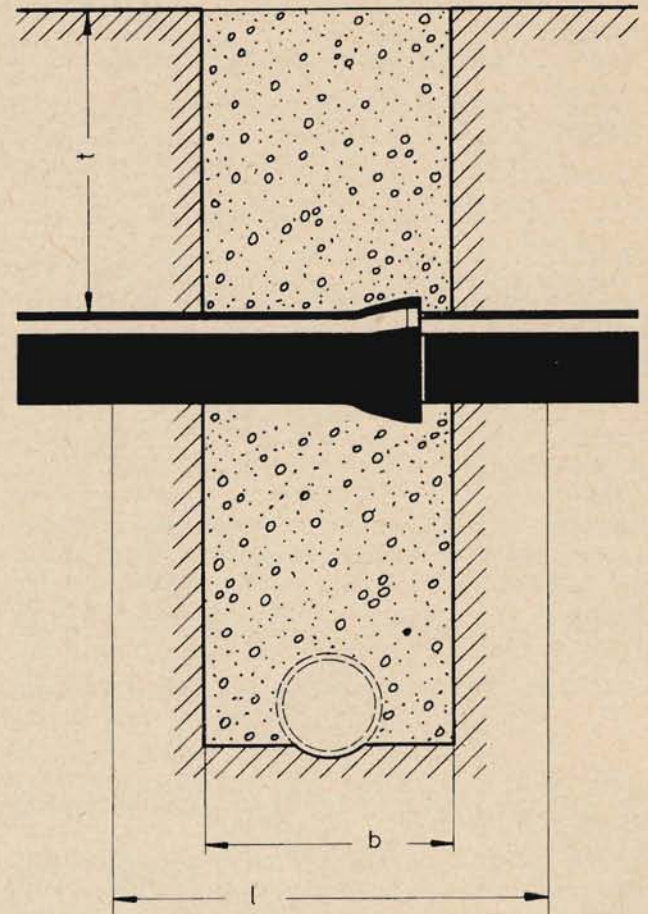
Bei der Beanspruchung durch den Innendruck p entstehen Spannungen in Umfangs- und radialer Richtung, die an der Innenseite der Rohrwand am größten sind. Die Spannungen in radialer Richtung sind an der

Bild 4 Rohrbelastung unter Verkehrslasten
Berechnung nach Boussinesq



Verkehrsbelastung P_V bezogen auf Grundfläche des Rohres.

Bild 5



$t = 1.0$ (15) m; $b = 1.2$ m; $l = 1.6$ m

Rohrinnenseite gleich dem Innendruck. Sie werden nur dann in die Rechnung eingehen, wenn der Innendruck die Größenordnung der Berechnungsfestigkeit erreicht.

Die Berechnung der Spannungen in Umfangsrichtung der Rohre richtet sich nach der Art des zu erwartenden Bruches. Ist ein spröder Bruch zu erwarten, so gilt die Hauptspannungshypothese, gehen dem Bruch plastische Verformungen voraus, so ist nach der Schubspannungshypothese zu verfahren. Bis zu einem Durchmesserverhältnis d_a/d_i von 1.4 ergeben sich nach beiden Berechnungsmethoden praktisch die gleichen Spannungswerte, die durch die einfachere Formel

$$\sigma_p = p \cdot \frac{d_m}{2 \cdot s} \quad (4)$$

d_m = mittlerer Durchmesser

hinreichend genau ermittelt werden können. Bei durchgehend verschraubten, geschweißten oder geklebten Leitungen können Spannungen in Längsrichtung auftreten; diese sind gleich der Hälfte der Spannungen in Umfangsrichtung und sie können sich gegebenenfalls mit den Biegespannungen direkt überlagern.

2.2 Scheitellast

Bei der Berechnung der Spannungen aus den Scheitellasten geht man von dem einfachen Fall des von außen belasteten Ringträgers aus. Für das Moment pro Längeneinheit des Rohres findet man

$$M = \beta \cdot P \cdot r_m \quad (5)$$

Es bedeuten hierin:

P = äußere Belastung [kp/cm]

= $P_E + P_V$

r_m = mittlerer Rohrradius [cm]

β = Faktor, der von der Art des Lastangriffes, der Auflagerung und der geometrischen Lage des Momentenbezugs punktes abhängt.

Ebenso lassen sich die Verformungen, d. h. die Durchmesseränderungen Δd durch äußere Lasten nach der Formel

$$\Delta d = \delta \cdot \frac{P \cdot r_m^3}{E \cdot I} \quad (6)$$

berechnen.

E = Elastizitätsmodul des Rohrwerkstoffes [kp/cm²]

I = Trägheitsmoment der Rohrwand pro Längeneinheit des Rohres [cm³]

δ = Faktor, mit den gleichen Abhängigkeiten wie bei β .

Die maximalen Zahlenwerte der Faktoren β und δ sind in der Tabelle 1 zusammengestellt:

Tabelle 1

Belastung	β	δ
Auflagerung		
Linienlast Scheitel	0,318	0,149
Linienauflager Sohle		
Gleichlast $2 \cdot 90^\circ$	0,157	0,096
Gleichlast $2 \cdot 45^\circ (\alpha_1)$		
Gleichlast $2 \cdot 90^\circ$	0,125	0,083
Gleichlast $2 \cdot 90^\circ (\alpha_1)$		
Gleichlast $2 \cdot 90^\circ$	0,114	0,1
Gleichlast radial, cosinusförmig		

Mit Hilfe der Faktoren β und δ lassen sich die Spannungen und Verformungen je nach Art der Belastung errechnen. Bei gleichförmig verteilten Auflasten sind P_E und P_V zu summieren und als Streckenlast P in die Formeln 5 und 6 einzufügen.

Die Scheitelspannung σ_P ergibt sich danach zu

$$\sigma_P = 6 \cdot \frac{\beta \cdot P \cdot r_m}{s^2} \quad (7)$$

worin s die für die Aufnahme der Belastungen zur Verfügung stehende Wanddicke ist.

Bei elastischen Rohren ist es oftmals notwendig, nach der maximalen Zusammendrückung Δd des Rohres zu dimensionieren. Diese sollte aus Sicherheitsgründen 4 % des Rohrdurchmessers d nicht überschreiten. Liegen andere Bedingungen vor, z. B. Innenzementierung, so muß der Wert gegebenenfalls noch reduziert werden. Nach Spangler (6) wird der passive horizontale Erdwiderstand parabelförmig über den Rohrdurchmesser mit dem Maximum in der Höhe des Kämpfers angenommen. Aus der Überlagerung von vertikaler und horizontaler Verformung leitet Spangler (6) folgende Formel für die Wanddicke eines elastischen, eingedrehten Rohres ab:

$$s^* = r_m \sqrt[3]{\frac{1}{E} \left(\frac{12 \cdot \delta \cdot P}{\Delta d} - 0.732 e \cdot r_m \right)} \quad (8)$$

Bis auf e sind die Symbole bekannt

e = Verschiebungswiderstand des passiven Erddruckes [kp/cm²]

Die Berechnung eines Rohres nach den Scheitellasten muß also auf zwei Wegen erfolgen. Den Ausschlag gibt der größere der beiden Wanddickenwerte.

2.3 Biegung

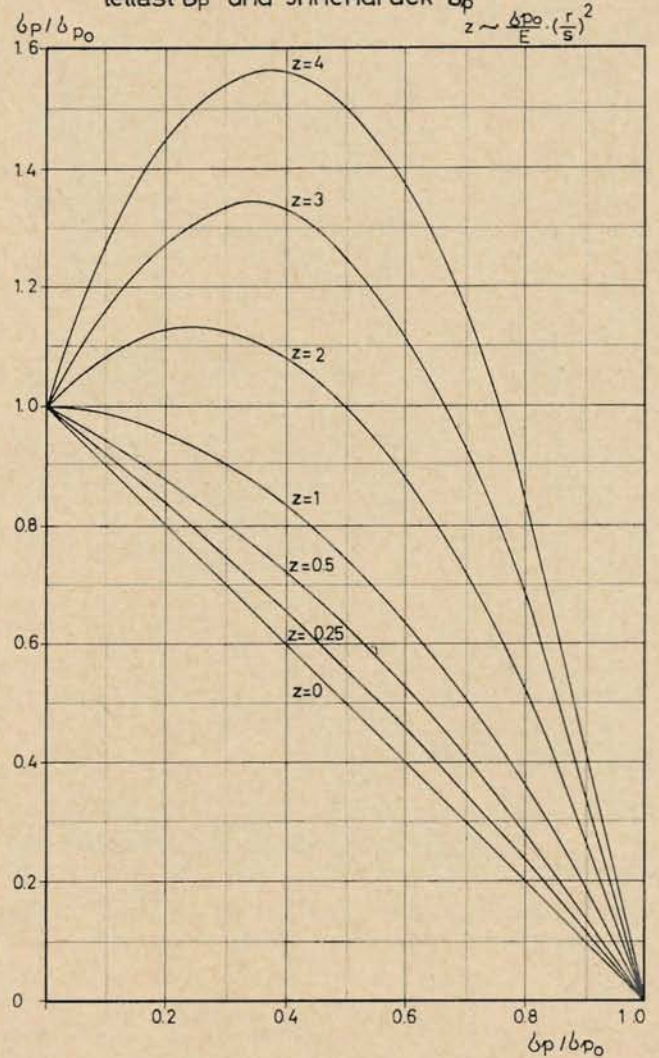
Aus den nach 1.3 ermittelten Auflasten P ,

$$P = P_E + P_V \quad (9)$$

errechnet sich das maximale Biegemoment zu

$$M = \frac{P \cdot b \cdot l}{8} \quad (10)$$

Bild 6 Überlagerung von Spannungen aus Scheitellast δ_P und Innendruck δ_p



worin b und l die in Bild 5 angegebenen Längen sind. Die Biegespannung σ_b erhält man aus Gleichung 10 nach Division durch das äquatoriale Widerstandsmoment W_a .

$$\sigma_b = \frac{P \cdot b \cdot l}{8 \cdot W_a} \quad (11)$$

3 Überlagerung der Spannungen

3.1 Überlagerungen von Spannungen aus Innendruck und Scheitellast

Die Spannungen aus Innendruck und Scheitellast liegen in gleichen Ebenen, d. h., daß sie direkt addiert oder subtrahiert werden müssen. Zu berücksichtigen ist dabei, daß durch die äußeren Lasten Verformungen des Kreisringes auftreten, die ihrerseits infolge des herrschenden Innendruckes p wieder zu Momenten und Spannungen führen, die denen aus den äußeren Lasten entgegengesetzt sind. In Bild 6 sind Verhältnisse, wie sie sich bei dieser Überlagerung ergeben, aufgetragen, und zwar die relative Scheitelspannung σ_P / σ_{P0} zu der relativen Spannung aus dem Innen-

druck σ_p/σ_{p0} . Die mit dem zusätzlichen Index 0 versehenen Spannungen sind die Bruchspannungen, die sich beim Fehlen einer Belastung ergeben. Parameter Z hängt von folgenden Faktoren ab:

$$Z \sim \sigma_{p0}/E \cdot (r/s)^2 \quad (12)$$

Die in der Gleichung enthaltenen Symbole entsprechen den weiter oben verwendeten.

Die Wahl des Berechnungsverfahrens richtet sich nach der Größe des Parameters Z .

Für $Z < 0.1$ müssen die Spannungen aus Innendruck und Scheitellast direkt addiert werden. Nach Gleichung 12 bedeutet aber $Z < 0.1$, daß es sich um dickwandige Rohre, bzw. um solche Werkstoffe handelt, bei denen das Verhältnis von Bruchspannung zum Elastizitätsmodul relativ klein ist.

Ist der Parameter Z etwa gleich eins, so müssen die Spannungen zwar noch addiert werden, jedoch nicht mehr direkt wie bei $Z = 0.1$, sondern nach einer Funktion höherer Ordnung, die größere Belastungen der Rohre zuläßt. Es ist dies der Bereich der Graugußrohre. Eine Berechnung, die dieser Tatsache Rechnung trägt, findet sich in der amerikanischen Norm ASA — A 21 — 1939 : Manual for the Computation of Strength and Thickness of Cast Iron Pipe.

Im Bereich $Z \leq 4$ beeinflussen sich die Spannungen praktisch nicht mehr, d. h. die Berechnung der Wanddicke erfolgt nur nach der größeren der beiden auftretenden Spannungen. Soll der Parameter $Z \leq 4$ sein, so muß es sich um Werkstoffe handeln, die auftretende Überbelastungen durch plastische Verformungen aufnehmen können.

Zu diesen Werkstoffen gehört das duktile Gußeisen. Die Berechnung von Rohren aus duktilem Gußeisen hat also so zu erfolgen, daß die Spannung aus Innendruck und Scheitellast unabhängig voneinander ermittelt werden, und daß die größere von beiden zur Festlegung der Wanddicke herangezogen wird. Eine andere Möglichkeit besteht darin, für vorgegebene Wanddicken die Einzelspannungen auszurechnen und sie mit den zulässigen Spannungen zu vergleichen.

Eine Bestätigung für diese Berechnungsart findet sich in der amerikanischen Norm ASA A 21 — 50 — 1965.

3.2 Überlagerung der Biegespannungen mit anderen Spannungen

Die Biegespannungen liegen in Richtung der Achse des Rohres. Ihnen direkt können sich nur die Spannungen überlagern, die sich aus den Längskräften in Rohrleitungen ergeben. Nach 1.4 treten in Muffenrohrleitungen jedoch keine Längskräfte auf.

Die Spannungen aus Innendruck und Scheitellast stehen senkrecht auf den Biegespannungen. Bei spröden Werkstoffen erfolgt die Berechnung nach der Hauptspannungshypothese, d. h., beim Fehlen von Schubspannungen infolge Torsion des Rohres nach der größten auftretenden Spannung.

Bei Werkstoffen mit plastischem Verformungsvermögen gilt die Schubspannungshypothese. Da in Muffenrohrleitungen keine nennenswerten Torsionsspannungen und Schubspannungen in Achsrichtung des

Rohres auftreten können s. o., sind auch in diesem Falle die Spannungen als unabhängig voneinander zu betrachten.

4 Berechnung der Spannungen in duktilen Gußrohren

Die Wanddicken s_0 der duktilen Gußrohre, die zur Normung eingereicht wurden, sind in Abhängigkeit von der Nennweite NW wie folgt gestaffelt

$$s_0 = 5 + 0.01 \text{ NW [mm]} \quad (13)$$

Die für die Berechnung der Spannungen vorhandene Wanddicke s ist gegenüber der Nennwanddicke s_0 um die Gießtoleranz c_1 und einem Zuschlag c_2 für Gußhäute und Korrosion vermindert:

$$s = s_0 - c_1 - c_2 [\text{mm}] \quad (14)$$

$$\text{oder } s = 1.5 + 0.009 \text{ NW [mm]} \quad (15)$$

In den folgenden Abschnitten sind über die Wanddicken s und die in Abschnitt 1 angegebenen Belastungen die Spannungen errechnet. Sie sind mit den zulässigen Spannungen für die einzelnen Belastungsarten zu vergleichen.

Die zulässigen Spannungen für Rohre aus duktilem Gußeisen betragen für

Innendruck: $K_p \text{ zul} = 1300 \text{ kp/cm}^2$

Scheitellast: $K_s \text{ zul} = 2400 \text{ kp/cm}^2$

Biegung: $K_b \text{ zul} = 1800 \text{ kp/cm}^2$

Der dabei eingesetzte Sicherheitswert ist einem Gutachten von Professor Wellinger (7) entnommen.

4.1 Innendruck

Nach Gleichung 4 ergibt sich die Spannung aus dem Innendruck zu

$$\sigma_p = \frac{p \cdot d_m}{2s} \quad \begin{array}{l} d_m = \text{mittlerer Durchmesser} \\ s = \text{Wanddicke (Gl 15)} \end{array}$$

Die Spannungen sind in Tabelle 2 zusammengestellt:

Tabelle 2

NW mm	kp/cm ²				
	ND 10	ND 16	ND 25	ND 32	ND 40
80	220	350	545	700	870
100	240	380	595	760	950
125	270	435	680	870	1085
150	290	460	720	920	1150
200	330	530	830	1060	1325
250	355	570	890	1140	
300	385	615	960	1230	
350	400	645	990	1270	
400	415	665	1040	1330	
500	440	700	1100		
600	455	730	1150		
700	470	750	1175		
800	480	765	1200		
900	490	780	1220		
1000	495	790	1235		

Aus der Tabelle 2 ist zu ersehen, für welche Druckstufen die duktilen Gußrohre geeignet sind.

4.2 Scheitellast

Die Spannungen aus der Scheitellast errechnen sich nach Gleichung 7. Führt man für den mittleren Radius r_m den Wert $(d_a - s) / 2$ und für β aus der Tabelle 1 den Wert 0.114 ein, so erhält man für

$$\sigma_p = 0.342 \frac{P (d_a - s)}{s^2} \quad (16)$$

Der Wert P ist nach Gleichung 9 die Summe aus der Erdlast P_E und der Verkehrslast P_V .

Zur Ermittlung von P_E wird ein Boden der Klasse 5 (Bild 3) vorausgesetzt. Es muß mit verdichtetem Boden gerechnet werden, da der Graben anschließend von Schwerlastwagen SLW 60 befahren werden soll. Die Belastungsbreite ist dann nach Abschnitt 1.23 $(d_a + b) / 2$.

Duktile Gußrohre über NW 300 sind nach dem Kriterium in Gleichung (3) als elastisch anzusehen. Die Belastungsbreite ist dann: d_a . Außerdem tritt seitliche Entlastung nach 1.24 ein, die mit $1/3$ angenommen wird. Die Überdeckungshöhe t wird mit 1.0 m angenommen. Für $t = 1.5$ m werden die Belastungen und damit die Spannungen geringer.

In der folgenden Tabelle 3 sind die nach Gleichung 16 mit obigen Angaben ermittelten Spannungen σ_p zusammengestellt.

Tabelle 3

NW	σ_p
mm	kp/cm ²
80	690
100	785
125	960
150	1025
200	1305
250	1525
300	1760
350	1155
400	1290
500	1440
600	1560
700	1655
800	1820
900	1840
1000	1860

t = 1.0 m
SLW 60

Die Tabelle 3 zeigt, daß die durch die äußeren Belastungen aufgebrachten Spannungen bei duktilen Gußrohren unter den zulässigen Spannungen liegen, d. h., daß die duktilen Gußrohre für alle äußeren Belastungen ausreichende Sicherheit bieten.

Nach Gleichung 8 werden die Wanddicken s^* errechnet, die nötig sind, um die Verformung der Rohre auf ein gewisses Maß Δd zu begrenzen.

Es wird angenommen, daß die maximale Zusammenrückung Δd 2% des Rohraußendurchmessers nicht überschreiten soll, dies mit Rücksicht auf eine Zementmörtelauskleidung. Der Verschiebewiderstand des Erdbodens e wird mit 0.75 kp/cm³ in Rechnung gesetzt. Die Scheitellast P ist die gleiche wie bei der

Berechnung der Scheitelspannungen σ_p — d. h. 1 m Überdeckung, Schwerlastwagen SLW 60 — allerdings ohne seitliche Entlastung, die in der Formel 8 schon berücksichtigt ist.

Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse der Rechnung. Zum Vergleich sind die effektiven Minimalwanddicken s nach Gleichung 15 aufgeführt.

Tabelle 4

NW	s^*	s
mm	mm	mm
80	1.05	2.2
100	1.15	2.4
125	1.35	2.6
150	1.55	2.9
200	2.00	3.3
250	2.45	3.8
300	2.90	4.2
350	3.10	4.7
400	3.50	5.1
500	4.20	6.0
600	4.90	6.9
700	5.45	7.8
800	6.15	8.7
900	6.35	9.6
1000	6.65	10.5

s^* = rechnerische Wanddicke

s = Minimalwanddicke der duktilen Gußrohre

Es zeigt sich hier, daß die duktilen Gußrohre auch mit Zementmörtelauskleidung für alle praktisch vorkommenden Verlegebedingungen geeignet sind.

4.3 Biegung

Nach Gleichung 11 werden die Biegespannungen errechnet. Die Belastungsverhältnisse sind aus Bild 5 zu entnehmen; als Überdeckungshöhe t wird 1 m eingesetzt, da sich hierbei wegen der Annahme einer zusätzlichen Belastung durch einen SLW 60 die größeren Beanspruchungen einstellen.

In Tabelle 5 sind die Biegespannungen σ_b zusammengestellt:

Tabelle 5

NW	σ_b
mm	kp/cm ²
80	1515
100	1230
125	780
150	585
200	360
250	280
300	180

t = 1.0 m
SLW 60

Die Nachrechnung zeigt, daß die Spannung weit unter der zulässigen Spannung $K_{b, zul}$ von 1800 kp/cm² liegen.

Zusammenfassung

Im ersten Kapitel werden die Belastungen für erdverlegte Rohre ermittelt. Darauf werden die aus den einzelnen Belastungen resultierenden Spannungen errechnet. Die Wahl des Berechnungsverfahrens zur Überlagerung von Innendruck- und Scheitelspannungen wird an Hand eines für den Rohrwerkstoff und die Dimensionierung des Rohres charakteristischen Parameters erläutert. Es wird gefunden, daß bei starren Rohren die Spannungen zu addieren sind, daß aber für plastisch verformbare Rohre die Spannungen unabhängig voneinander sind. Die letztere Methode ist für die Berechnung erdverlegter duktiler Gußrohre anzuwenden. Die Nachrechnung der Spannungen und Verformungen zeigt, daß die für die Normung vorgesehenen duktilen Gußrohre entsprechend den Vorschriften des DVGW auch zusätzlichen Beanspruchungen durch äußere Kräfte gewachsen sind.

Literaturnachweis:

- (1) **Marston, A.** The Theory of Loads on Pipes in Ditches.
Iowa Eng. Exp. St.
Bulletin Nr. 31. (1913).
- (2) **Roske, K.** Betonrohre nach DIN 4032. 1961.
- (3) **Wetzorke, M.** Über die Bruchsicherheit von Rohrleitungen in parallelwandigen Gräben, Hannover 1960.
- (4) **Boussinesque** Application des Potentiels à l'étude de l'équilibre et du Mouvement des solides élastiques 1885.
- (5) **Klein, G. K.** Moskva Grosstroisdat 1952.
- (6) **Spangler M.W.** Der Bauingenieur 33, Heft 2, 1958.
- (7) **Wellinger, K;** Die Berechnung duktiler Schleuder-
Gassmann, H. gußrohre.

Technische Lieferbedingungen für Druckrohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen – Entwurf DIN 28600 – Druckrohre aus duktilem Gußeisen mit Schraub-, Stopfbuchsen- und TYTON®-Muffen – Entwurf DIN 28610 –

Von Hans von REZORI

Die DIN-Entwürfe 28 600 und 28 610 über Druckrohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen werden demnächst vom Deutschen Normenausschuß veröffentlicht. Es ist daher angebracht, über ihre Entstehung zu berichten und ihren Inhalt zu interpretieren.

Seit etwa 10 Jahren werden in Deutschland Rohre und in geringem Umfang auch Formstücke aus duktilem Gußeisen für erdverlegte Rohrleitungen hergestellt. Bald nach dem Vorliegen der ersten Erfahrungen hat die Gußrohrindustrie „Vorläufige Technische Lieferbedingungen für Rohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen“ ausgearbeitet; sie sind im Januar 1961 von der Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre Köln herausgegeben worden. Sie wurden in Anlehnung an die im November 1955 erschienene ISO-Empfehlung R 13 „Gußeiserne Rohre und Formstücke für Druckrohrleitungen“ und an die DIN 28 500 „Gußeiserne Druckrohre und Formstücke, Technische Lieferbedingungen“ aufgestellt.

Als Werkstoffkennwerte wurden in den „Vorläufigen Technischen Lieferbedingungen“ für den neuen Gußwerkstoff für Rohre und Formstücke folgende Mindestwerte

Zugfestigkeit	40 kp/mm ²
Streckgrenze	30 kp/mm ²
Bruchdehnung	5 %

und als Höchstwert für die Brinellhärte 230 kp/mm² festgelegt.

Für die normalen Graugußrohre wurde hingegen in DIN 28 500 eine Mindestzugfestigkeit von nur 20 kp/mm² vorgeschrieben. Die Festlegung einer Mindeststreckgrenze und Mindestbruchdehnung entfiel, da der normale Grauguß weder eine Streckgrenze noch eine merkbare Bruchdehnung aufweist. Die Mindestzugfestigkeit duktiler Gußrohre ist daher doppelt so hoch wie jene der Graugußrohre. Die Wanddicken konnten gegenüber Graugußrohren somit herabgesetzt werden.

Die zum Nachweis der Werkstoffkennwerte erforderlichen Probestäbe sollten aus der Mitte der Wand eines Rohres am glatten Ende entnommen werden. Bei Formstücken aus duktilem Gußeisen sollte dieser Nachweis jedoch an Probestäben erfolgen, die aus getrennt gegossenen Probestäben von derselben Charge herausgearbeitet worden sind.

Diese vorläufigen Technischen Lieferbedingungen für Druckrohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen unterscheiden sich von den Festlegungen in der ISO-Empfehlung R 13 bzw. in der DIN 28 500 für normale Graugußrohre unter anderem noch dadurch, daß für duktile Rohre und Formstücke größere Wanddickenabweichungen und Gewichtstoleranzen vorgesehen waren. Dies war erforderlich, weil bei den geringen Wanddicken und Stückgewichten sich herstellungsmäßig bedingte, größere Abweichungen ergaben.

Die Wanddicken der duktilen Gußrohre wurden der höheren Zugfestigkeit entsprechend herabgesetzt, und die deutschen Gußrohrwerke einigten sich darauf, die Wanddicken bis zur Nennweite 200 auf 80 % der Klasse LA und von Nennweite 250 an aufwärts auf 70 % der Klasse LA (der leichtesten Klasse normaler Graugußrohre) festzulegen.

Die Wanddicken der normalen Graugußrohre Klasse LA errechnen sich nach der Formel

$$s = \frac{10}{12} (7 + 0,02 \text{ NW}) = 5,83 + 0,0167 \text{ NW.}$$

Die Wanddicken der Rohre aus duktilem Gußeisen betragen daher:

für NW 80 bis NW 200

$$s = 0,8 \frac{10}{12} (7 + 0,02 \text{ NW}) = 4,66 + 0,0133 \text{ NW}$$

für NW 250 und mehr

$$s = 0,7 \frac{10}{12} (7 + 0,02 \text{ NW}) = 4,08 + 0,0117 \text{ NW}$$

Rohre aus duktilem Gußeisen mit diesen Wanddicken wurden im unteren Nennweitenbereich bis NW 200 für Nenndrücke bis zu 40 kp/cm², im mittleren Nennweitenbereich bis NW 600 für Nenndrücke bis zu 25 kp/cm² und im darüber liegenden Nennweitenbereich bis zu 16 kp/cm² Nenndruck eingesetzt. Die deutschen Gußrohrwerke haben Rohre aus duktilem Gußeisen nach diesen vorläufigen Technischen Lieferbedingungen und Festlegungen in einem von Jahr zu Jahr steigenden Umfang hergestellt und geliefert.

In den letzten Jahren haben Verhandlungen mit französischen und britischen Gußrohrherstellern dazu geführt, daß nunmehr ein Vorentwurf einer ISO-Empfehlung über Technische Lieferbedingungen für Rohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen vorliegt.

In diesem Vorentwurf wurde bei sonst gleichen Festigkeitskennwerten die Mindestbruchdehnung für Schleudergußrohre auf 7 % festgelegt, weil die Gußrohrwerke in der Zwischenzeit weitere Erfahrungen in der Herstellung von Rohren aus duktilem Gußeisen gesammelt und ihre Produktionsverfahren verbessert hatten.

Zu Beginn des Jahres 1965 haben die deutschen Gußrohrwerke im Rahmen der FGR die nationale Normung der Technischen Lieferbedingungen für Druckrohre und Formstücke und eines Maßnormblattes über Druckrohre aus duktilem Gußeisen für Gas- und Wasserleitungen in Angriff genommen. Diese Arbeiten, die in enger Zusammenarbeit mit einem Arbeitskreis des DVGW durchgeführt worden sind,

haben zu den als Anlage 1 und 2 beiliegenden Entwürfen von DIN 28 600 „Druckrohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen für Gas- und Wasserleitungen. Technische Lieferbedingungen“ und DIN 28 610 „Druckrohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen mit Schraub-, Stopfbuchsen- und TYTON®-Muffen für Gas- und Wasserleitungen“ geführt.

Der Aufbau des Normblattentwurfes DIN 28 600 entspricht etwa dem der Vorläufigen Technischen Lieferbedingungen für Druckrohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen. Verschiedene Abschnitte, insbesondere jene über die Festigkeitsprüfungen und über die Abnahme, sind entsprechend erweitert worden.

Von wesentlichem Interesse an diesem Normblattentwurf sind die Werkstoffkennwerte, die nunmehr wie folgt festgelegt sind:

	Zugfestigkeit kp/mm ²	Streckgrenze kp/mm ²	Bruchdehnung %
Schleudergußrohre	≥ 40	≥ 30	≥ 10
In Sandformen gegossene Rohre u. Formstücke	≥ 40	≥ 30	≥ 5

Zum Vergleich sollen die Werkstoffkennwerte aufgeführt werden, die in dem Vorentwurf für die ISO-Empfehlung und in den amerikanischen Normen AWWA C 150—65 und C 151—65 vorgesehen sind.

	Mindest-Zugfestigkeit kp/mm ²		Mindest-Streckgrenze kp/mm ²	
	Rohre	Formstücke	Rohre	Formstücke
Vorentwurf ISO	40	40	30	30
AWWA	42,2	1)	29,5	1)

	Mindest-Bruchdehnung %	
	Rohre	Formstücke
Vorentwurf ISO	7	5
AWWA	10	1)

1) Für Formstücke sind noch keine Werkstoffkennwerte festgelegt worden.

Die Bruchdehnung, deren Mindestwert für Schleudergußrohre aus duktilem Gußeisen in den neuen Lieferbedingungen auf 10 % festgelegt ist, wird an einem bearbeiteten Probestab nach DIN 50 125 ermittelt, der aus einem dem Rohrende entnommenen Probestück herausgearbeitet worden ist. Je nach der Rohrwanddicke beträgt der Stabdurchmesser 2 bis 6 mm. Bei diesen kleinen Probestabdurchmessern wirken sich Fehler im Probestab, wie Einschlüsse, Verunreinigungen oder Poren und Bearbeitungsfehler auf die Bruchdehnung besonders stark aus, sie setzen die Probestab-Bruchdehnung erheblich herab. Der ferritisch gegläute, fehlerfreie Grundwerkstoff weist jedoch Bruchdehnwerte bis 20 % auf. Es wurde daher

festgelegt, daß an Probestäben unter 5 mm Durchmesser mit Fehlern im Bruchquerschnitt Bruchdehnwerte zwischen 7% und 10% zugelassen sind, wenn der Schliff kugeliges Graphit und mindestens 75% Ferrit aufweist. Wenn ein Probestab den Anforderungen nicht genügt, dann dürfen zwei weitere Probestäbe dem gleichen Rohr oder Probestück entnommen werden, die dann beide die Bedingungen erfüllen müssen.

Für Formstücke wurde auf Grund der größeren Wanddicken eine Bruchdehnung von mindestens 5% festgelegt.

Wesentlich für die neuen DIN-Entwürfe ist ferner, daß die Anschlußmaße der Muffen- und Flanschverbindungen bei Rohren und Formstücken mit jenen der Ausführung in normalem Grauguß nach DIN 28 501 bis 28 505, die sich im Hinblick auf einwandfreie Dichtung über mehrere Jahrzehnte bewährt haben, übereinstimmen. Rohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen können ohne weiteres an solche aus normalem Grauguß nach DIN ohne Übergangsstücke angeschlossen und mit diesen zusammen verlegt werden.

Im DIN-Entwurf 28 610 sind die Wanddicken und Gewichte der Druckrohre aus duktilem Gußeisen mit Schraub-, Stopfbuchsen- und TYTON®-Muffen genormt. Da die Gewichte der drei Muffenarten nahezu gleich sind, war es möglich, einheitliche Rohrgewichte für Rohre mit Schraub-, Stopfbuchsen- und TYTON®-Muffen festzulegen. Das einheitlich festgelegte Muffengewicht entspricht dem Gewicht eines Rohrabchnittes von $270 + 0,2$ NW mm Länge. Somit konnten auch die drei Rohrarten in einem einzigen Normblatt zusammengefaßt werden. Bei Rohren aus normalem Grauguß weichen die verschiedenen Muffengewichte stärker voneinander ab. Daher mußten für normale Graugußrohre je nach Muffenart verschiedene Normblätter vorgesehen werden.

Der Entwurf DIN 28 610 sieht nur eine Wanddickenreihe vor. Diese wird auch in der zukünftigen ISO-Empfehlung enthalten sein. Sie geht von dem Grundsatz aus, daß die geringste Nennwanddicke 6 mm und die geringste effektive Wanddicke 5 mm nicht unterschreiten soll. Im unteren Bereich sind daher die Nennwanddicken nach der Formel

$$s = 6 + 0,0025 \text{ NW}$$

und von NW 150 aufwärts nach der Formel

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

festgelegt.

Die Minustoleranz der Wanddicke wurde festgelegt auf

$$- (1,3 + 0,001 \text{ NW})$$

Da die Toleranz verfahrensbedingt ist, ist sie prozentual größer als bei Graugußrohren.

Für diese Wanddicken ist der statische Nachweis erbracht worden, daß sie den Beanspruchungen durch den Innendruck und den äußeren Belastungen durch Erdauflasten und Verkehrslasten mit Schwerlastfahrzeugen SLW 60 in Straßen mit ausreichender Sicherheit genügen. Hierbei wurden etwaige Gußhäute und die Wanddickentoleranzen berücksichtigt. Den Berechnungen wurden sowohl das Gutachten der Staatlichen Materialprüfungsanstalt an der Technischen Hochschule Stuttgart von Prof. Wellinger und Dipl.-Ing. Gaßmann „Die Berechnung duktiler Schleudergußrohre“, Stuttgart 1965, als auch Vereinbarungen mit einem Arbeitskreis des DVGW über die Belastungsannahmen, Bettungsbedingungen etc. der Rohrleitungen zugrunde gelegt.

Rohrleitungen, bestehend aus duktilen Gußrohren, nach dieser Norm können daher mit Betriebsdrücken betrieben werden, die den Nenndruckangaben im DIN-Entwurf 28 610 entsprechen (s. Anlage 2).

Für Rohrleitungen mit höheren Betriebsdrücken können nach dieser Norm auch Rohre aus duktilem Gußeisen mit verstärkten Wanddicken geliefert werden. Die Verstärkung der Wanddicke kann 10, 20, 30 etc. % der nach der Formel $s = 5 + 0,01 \text{ NW}$ errechneten Wanddicke betragen. Die Anschlußmaße der Muffenverbindungen bleiben dieselben, die Anschlußmaße und Abmessungen der Flansche werden dem Nenndruck entsprechend ausgeführt.

Dieses Blatt kann für Druckrohre angewendet werden, die sowohl für Gasnieder-, Gasmittel- und Gas Hochdruckleitungen als auch für Wasserleitungen in den angegebenen Nenndruckbereichen bestimmt sind. Bezüglich der Rohre für Gas Hochdruckleitungen ist auf besondere DVGW-Richtlinien, die in Vorbereitung sind, verwiesen.

Für Formstücke aus duktilem Gußeisen werden z. Z. Entwürfe von Maß- und Gewichtstabellen für eine ISO-Empfehlung ausgearbeitet. Diese Arbeiten sind bereits weit fortgeschritten, so daß auch die nationale Normung in absehbarer Zeit in Angriff genommen werden kann. Z. Z. können jedoch schon Formstücke aus duktilem Gußeisen nach Graugußmodellen (DIN 28 522 etc.) gefertigt werden. Die zukünftigen Normen werden aber Formstücke mit zum Teil geringeren Baulängen und mit geringeren Wanddicken, also wesentlich leichtere Ausführungen, vorsehen.

Zusammenfassung:

Es wird ein Überblick gegeben über die Vorgeschichte der beiden DIN-Entwürfe. Ferner wird auf die vorläufigen Technischen Lieferbedingungen, auf die zukünftige ISO-Empfehlung und auf die amerikanischen Normen verwiesen. Die wesentlichen Merkmale der DIN-Entwürfe werden aufgeführt und die Anwendungsbereiche erläutert. Auf die bevorstehende Normung von Druckformstücken aus duktilem Gußeisen wird abschließend hingewiesen.

Anlage 1

Entwurf April 1966 DIN 28 600

Druckrohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen für Gas- und Wasserleitungen Technische Lieferbedingungen

Duktiles Gußeisen ist ein Eisen-Kohlenstoff-Gußwerkstoff, dessen als Graphit vorliegender Kohlenstoffanteil wie bei Gußeisen mit Kugelgraphit (GGG) nach DIN 1693 nahezu vollständig in weitgehend kugelförmiger Form vorliegt. Es ist beabsichtigt, diese Sorte in DIN 1693 zu berücksichtigen.

1. Geltungsbereich

Die Norm gilt für

1.1 Druckrohre aus duktilem Gußeisen mit Muffen, Flanschen oder glatten Enden, und zwar:

- a) in Metallformen geschleuderte Rohre
- b) in Sandformen geschleuderte Rohre
- c) in Sandformen gegossene Rohre

1.2. Formstücke aus duktilem Gußeisen mit Muffen, Flanschen oder glatten Enden, und zwar:

- a) in Sandformen gegossene Formstücke
- b) in Metallformen gegossene Formstücke

für Gasleitungen mit einem zulässigen Betriebsdruck bis 1 kp/cm^2 ¹⁾ und für Wasserleitungen.

2. Arten der Verbindungen

Die Anschlußmaße der Muffen- und Flanschverbindungen stimmen mit denen der Ausführungen in Gußeisen nach DIN 28 501 bis DIN 28 505 überein. Die Wanddicken der Muffen und der Verbindungsteile sowie die Blattdicken der Flansche können den Werkstoffkennwerten entsprechend verringert ausgeführt werden; Normen hierfür werden z. Z. vorbereitet.

2.1. Muffenverbindung

In der Regel werden bewegliche Schraubmuffen, Stopfbuchsenmuffen und TYTON®-Muffen vorgesehen. Auf besondere Vereinbarung hin können Rohre und Formstücke auch mit anderen beweglichen Verbindungen oder mit starren Muffenverbindungen, z. B. mit geschnittenem Gewinde, versehen werden.

Falls Schraubringe oder Stopfbuchsenringe aus duktilem Gußeisen gewünscht werden, ist dies bei der Bestellung zu vereinbaren.

Auf besondere Vereinbarung können auch bis zu 10% der Rohre mit getrennt gegossenen, im Werk angebrachten Kupplungsstücken geliefert werden.

2.2. Flanschverbindungen

Die Flanschanschlußmaße für ND 10 stimmen mit DIN 2502 und der ISO-Empfehlung R 13 überein, für ND 16 mit DIN 2502 und für ND 25 und ND 40 mit DIN 2503.

Die Flansche werden, falls nichts anderes vereinbart wird, mit ebenen gedrehten Dichtleisten versehen.

¹⁾ Für Gasleitungen mit Betriebsdrücken über 1 kp/cm^2 sind Richtlinien des Deutschen Vereins von Gas- und Wasserfachmännern (DVGW) in Vorbereitung.

3. Wanddicken der Rohre und Formstücke

3.1. In Metall- oder Sandformen geschleuderte Rohre
Die Rohre werden entsprechend den Maßnormen in einer Wanddickenklasse hergestellt. Diese Wanddicken sind in Abhängigkeit von der Nennweite nach der Formel

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

festgelegt. Der hierin enthaltene Einfluß der Gußhaut beträgt nicht mehr als 1,5 mm.

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

3.2 In Sandformen gegossene Rohre

In Sandformen gegossene Rohre werden nach den Maßnormen für in Sandformen geschleuderte Rohre aus duktilem Gußeisen nach DIN 28 610*) oder mit Wanddicken der in Sandformen gegossenen gußeisernen Druckrohre nach DIN 28 511, DIN 28 512 und DIN 28 513 hergestellt.

3.3. Formstücke

Formstücke werden nach den z. Z. in Vorbereitung befindlichen Maßnormen für Formstücke aus duktilem Gußeisen oder mit den Abmessungen der genormten gußeisernen Formstücke (Übersicht siehe DIN 28 521 **) gefertigt.

4. Kennzeichnung

Als Kennzeichen für Rohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen gelten drei im Dreieck erhabene angebrachte Punkte. Sie können zusätzlich mit roter Farbe gekennzeichnet werden.

Jedes Rohr und jedes Formstück wird mit dem Zeichen des Herstellers, der Nennweite, dem Herstellungsjahr und, wenn erforderlich, mit weiteren Hauptmerkmalen gekennzeichnet. Krümmer sind außerdem mit dem Zentriwinkel in Winkelgraden zu kennzeichnen.

Die Kennzeichen werden bei Rohren auf der Stirnseite der Muffen, bei Formstücken auf dem Schaft angebracht.

5. Beschaffenheit der Rohre und Formstücke

Rohre und Formstücke sollen innen und außen rund sein sowie glatte Außen- und Innenflächen haben. Sie müssen sich schneiden, bohren oder auf andere Art mechanisch bearbeiten lassen.

Gußstücke mit Fehlern, welche die Festigkeit oder die Dichtheit beeinträchtigen oder solche, die außerhalb der zulässigen Abweichungen liegen, sind von der Lieferung auszuschließen.

Das Verstemmen von Fehlern an Rohren und Formstücken sowie Schweißausbesserungen am Rohrschaft sind unzulässig. Außerhalb von Muffe oder Flansch durch Schweißen ausgebesserte Formstücke sind spannungsfrei zu glühen.

Schweißstellen sind für die Abnahme zu kennzeichnen.

*) z. Z. noch Entwurf

Rohre und Formstücke mit kleinen Unvollkommenheiten, die durch die Art des Herstellverfahrens bedingt sind und die Brauchbarkeit des Gußstückes nicht beeinträchtigen, dürfen nicht zurückgewiesen werden.

6. Zulässige Abweichungen für den Außendurchmesser der Rohre sowie für die Muffen- und Flanschverbindungen

Die Maßabweichungen für den Außendurchmesser der Rohrspitzenden im Bereich der herzustellenden Verbindungen (rund 3×Muffentiefe) sowie für die Muffen- und Flanschverbindungen sind in den Maßnormen für die Rohrverbindungen angegeben.

Bis Nennweite 300 müssen die gelieferten Rohre über den gesamten Rohrschaft im Rahmen der zulässigen Abweichungen maßhaltig sein, über Nennweite 300 sind besondere Vereinbarungen zu treffen.

7. Zulässige Abweichungen der Wanddicken und der Flanschdicke

Die Toleranzen der Wanddicke und der Flanschdicke sind wie folgt festgelegt:

Art des Stückes	Abmessungen	zulässige Abweichungen in mm
Geschleuderte Rohre (in Sand- oder Metallformen)	Wanddicke	— (1,3 + 0,001 NW) ¹⁾
	Flanschdicke	± (2 + 0,05 b)
Rohre in Sandformen gegossen	Wanddicke	— (2,3 + 0,001 NW) ¹⁾
	Flanschdicke	± (3 + 0,05 b)
Formstücke und Rohrleitungszubehörteile	Wanddicke	— (2,3 + 0,001 NW) ¹⁾
	Flanschdicke	± (3 + 0,05 b)

¹⁾ Für das obere Abmaß ist kein Wert festgelegt.

Es bedeuten:

b = normale Flanschdicke in mm

NW = Zahlenwert der Kenngröße der Nennweite

8. Zulässige Abweichungen der Längen

Für die Herstellängen der Rohre und Formstücke sind folgende Abweichungen zulässig:

Art des Stückes	Nennweite	zulässige Abweichungen in mm
Muffenrohre und glatte Rohre	alle Nennweiten	+ 100 — 30
	Formstücke mit Muffen, mit Muffe und Flansch, mit Flansch und glattem Ende	bis NW 400
über NW 400		+ 20 — 30
Flanschenrohre und Flanschformstücke	alle Nennweiten	± 10

Werden kleinere Längenabweichungen gewünscht, z. B. bei Flanschpaßstücken, so sind diese Abweichun-

gen besonders zu vereinbaren. Die kleinste zulässige Abweichung beträgt in diesem Fall ± 1 mm.

Von der Gesamtlänge der zu liefernden Muffenrohre und glatten Rohre jeder Nennweite dürfen bis zu 10% in kürzeren Längen als in den bestellten Herstelllängen geliefert werden, und zwar:

Herstelllängen in m	zulässige Minderlängen in m			
bis 4	0,5	1	—	—
über 4	0,5	1	1,5	2

Weitere 10% dürfen um 0,5 m von der Herstelllänge abweichen.

9. Zulässige Abweichungen von der Geraden

Die Rohre sollen nach dem Auge gerade sein. Die Abweichung in mm darf über die gesamte Rohrlänge das 1,25fache der Rohrlänge in m nicht überschreiten.

Zur Messung kann das Rohr auf zwei Stützen im Abstand von etwa 2/3 Rohrlänge gelegt werden.

10. Zulässige Gewichtsabweichungen

Maßgebend sind die in den Normen angegebenen Gewichte, die mit einer mittleren Dichte von 7,05 kg/dm³ errechnet sind.

Von diesen Gewichten sind folgende Abweichungen zulässig:

Art	zulässige Abweichungen
Rohre	± 5%
Formstücke ¹⁾ mit Ausnahme der nachstehend genannten	± 8%
Krümmen, Formstücke mit Abzweigen und nicht in Maßnormen festgelegte Formstücke	± 12%

¹⁾ Hierunter fallen auch in Sandformen liegend gegossene Rohre (Flanschrohre mit ein oder zwei angegossenen Flanschen mit Baulängen unter 3000 mm).

Gußstücke, deren Gewicht das Höchstgewicht überschreitet, dürfen nicht zurückgewiesen werden, wenn sie den sonstigen Anforderungen der Normen entsprechen.

11. Werkstoffkennwerte

Die Rohre und Formstücke werden mit folgenden Werkstoffkennwerten gefertigt:

11.1. Gefüge

Rohre vorwiegend ferritisch
Formstücke ferritisch/perlitisch

11.2. Festigkeitseigenschaften

Der Nachweis wird an der bearbeiteten Rundprobe geführt.

Art der Stücke	Zugfestigkeit	Streckgrenze ¹⁾	Bruchdehnung
	kp/mm ²		%
Schleudergußrohre	≥ 40	≥ 30	≥ 10
In Sandformen gegossene Rohre und Formstücke	≥ 40	≥ 30	≥ 5

¹⁾ Die Streckgrenze wird nur auf Vereinbarung festgestellt.

Bei Rohren können Einzelwerte zwischen 7 und 10% Bruchdehnung an Probestäben unter 5 mm zugelassen werden, wenn der Schliff ferritisches Gefüge und kugeliges Graphit aufweist. Im Abnahmezeugnis wird in diesem Fall der prozentuale Ferritanteil vermerkt; er muß mindestens 75% betragen.

Bei der Bemessung ist der Einfluß der Gußhaut zu berücksichtigen. Dieser ist auf Vereinbarung nachzuweisen, z. B. am Berstversuch, wobei

$$\sigma_{z \text{ Berst}} \geq 30 \text{ kp/mm}^2$$

sein muß.

11.3. Härte

Die Härte soll folgende Werte nicht überschreiten:

Rohre: $H_{B,30}$ höchstens 230 kp/mm^2

Formstücke: $H_{B,30}$ höchstens 250 kp/mm^2

12. Prüfung der Abmessungen und Gewichte

Abmessungen und Gewichte sind stichprobenartig zu prüfen.

13. Festigkeitsprüfung

13.1. Prüfungsumfang

13.1.1. Während der Fertigung durch den Hersteller: Vom Hersteller wird während der Fertigung laufend diejenige Anzahl Proben geprüft, die ein statistisch ausreichend gesichertes Ergebnis garantieren.

13.1.2. Bei Abnahme durch den Besteller:

Zum Nachweis der Werkstoffkennwerte von in Metall- oder Sandformen geschleuderten Rohren wird nach Wahl des Prüfers von je

100 Rohren bis NW 300

50 Rohren von NW 350 bis NW 600

25 Rohren über NW 600

ein Ringabschnitt vom Spitzende als Probestück entnommen.

Die Werkstoffkennwerte der Formstücke und der in Sandformen gegossenen Rohre werden an einer getrennt gegossenen U- oder Y-Probe nach DIN 1693 für je 4 t Gußstücke nachgewiesen.

13.2. Probenahme und Probenform

13.2.1. In Metall- oder Sandformen geschleuderte Rohre

Aus jedem Probestück nach Abschnitt 13.1.2. wird ein Rundstab nach DIN 50 125 herausgearbeitet. Dieser soll aus der Rohrwand entnommen werden, damit ein einwandfreier Probestab erhalten wird.

Nenn Durchmesser der Probestäbe

Wanddicke der Rohre	Durchmesser des Probestabes
unter 5 mm	2 mm
5 bis 6 mm	2,5 mm
6 bis 7 mm	3 mm
7 bis 8 mm	3,5 mm
8 bis 9 mm	4 mm
9 bis 12 mm	5 mm
über 12 mm	6 mm

13.2.2 Formstücke und in Sandformen gegossene Rohre

Aus jeder U- und Y-Probe nach Abschnitt 13.1.2 wird ein Rundstab nach DIN 50 125 herausgearbeitet.

13.3. Zugversuche

Die nach Abschnitt 13.2 entnommenen Proben werden einem Zugversuch nach DIN 50 146 mit Bestimmung der Zugfestigkeit, der Bruchdehnung sowie gegebenenfalls der Streckgrenze unterworfen. Entspricht die Probe nicht den Anforderungen, so werden zwei weitere, dem gleichen Rohr oder Probestück entnommene Proben geprüft, die beide die Bedingungen nach Abschnitt 11.2 erfüllen müssen.

13.4. Härteprüfung

Die Härteprüfung wird an den Reststücken der nach Abschnitt 13.1 bzw. 13.2 entnommenen Proben nach DIN 50 351 durchgeführt.

Entspricht die Probe nicht den Anforderungen, ist das Gußstück zurückzuweisen und die Prüfung an zwei weiteren Gußstücken der gleichen Serie zu wiederholen.

14. Dichtheitsprüfung

Rohre und Formstücke sind nach DIN 50 104 vor dem Aufbringen des Schutzüberzuges einer Innendruckprüfung mit Wasser zu unterziehen. Der Prüfdruck beträgt

mindestens 1,5fachen Nenndruck.
höchstens 90 % der Streckgrenze

Die Prüfdauer beträgt mindestens 15 Sekunden. Dabei dürfen sich keine Undichtheiten zeigen.

14.1. Die Rohre werden im Herstellerwerk, sofern nicht anders vereinbart, mit folgenden Drücken geprüft:

Nennweite	Prüfdruck in kp/cm^2
bis 300	60
über 300 bis 600	50
über 600	40

14.2. Für Formstücke ab Nenndruck 16 und für alle Formstücke ab Nennweite 600 kann die Dichtheitsprüfung mit Wasser nach Vereinbarung durch ein anderes anerkanntes Prüfverfahren ersetzt werden.

15. Schutzüberzug

Die Rohre und Formstücke werden innen und außen mit einem gut haftenden Schutzüberzug versehen.

Der innere Schutzüberzug darf keine wasserlöslichen Bestandteile enthalten. Er muß insbesondere frei von gesundheitsschädigenden Bestandteilen sein und darf nach sachgemäßer Spülung der Rohrleitung dem Wasser weder Geruch und Geschmack noch Farbe geben.

16. Abnahme

16.1. Wenn der Besteller oder dessen Beauftragter die Rohre und Formstücke im Herstellerwerk abzunehmen wünscht, werden die hierfür erforderlichen Einrichtungen und Arbeitskräfte vom Hersteller zur Verfügung gestellt.

16.2. Falls das Herstellerwerk gegen die Person des Beauftragten begründete Bedenken (z. B. aus Wettbewerbsgründen) vorbringen kann, ist eine Einigung mit dem Besteller auf eine andere Person zu treffen.

16.3. Der Besteller oder dessen Beauftragter kann der Herstellung der Rohre und Formstücke, der Entnahme, Herrichtung und Prüfung der Proben, der Prüfung der Abmessungen und Gewichte und der Innendruckprüfung beiwohnen.

16.4. Die Prüfung der Abmessungen der Rohre und Formstücke kann auch nach dem Aufbringen eines einfachen Schutzüberzuges vorgenommen werden.

16.5. Erscheint der Besteller oder sein Beauftragter nicht zu der vereinbarten Zeit zur Abnahme im Herstellerwerk, so ist der Hersteller berechtigt, die festgelegten Prüfungen in Abwesenheit des Bestellers oder seines Beauftragten durchzuführen.

16.6. Bei späterem Erscheinen kann der Besteller oder sein Beauftragter alle Prüfprotokolle des Herstellers über die durchgeführten Prüfungen einsehen.

16.7. Werden zusätzliche Prüfungen oder Prüfungen an versandfertigen Rohren und Formstücken verlangt, so hat der Besteller die hierfür anfallenden Mehrkosten zu tragen.

17. Bescheinigungen über Prüfung und Abnahme

Über Art, Umfang und Ergebnis der durchgeführten Prüfungen wird auf Verlangen des Bestellers ein Werkzeugeugnis oder ein Abnahmezeugnis nach DIN 50 049 ausgestellt.

Erläuterungen

Dieser Normentwurf wurde vom Arbeitsausschuß Gußeiserne Druckrohre und Formstücke im FNA Rohre, Rohrverbindungen und Rohrleitungen aufgestellt, wobei versucht wurde, die Technischen Lieferbedingungen für Rohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen parallel zu den bestehenden und gut eingeführten Technischen Lieferbedingungen für Rohre und Formstücke aus Gußeisen (Gußeisen mit Lamellengraphit) aufzubauen. Beide Normen decken sich hinsichtlich der gestellten Anforderungen und hinsichtlich des Prüfumfanges. Im Norm-Entwurf DIN 28 600 mußte jedoch darüber hinaus der erweiterten Anwendung dieser Rohre und Formstücke im Bereich höherer Nenndrücke Rechnung getragen werden. Als Folge enthält dieser Norm-Entwurf auch Festlegungen über Rohre und Formstücke, die der Ablieferungsprüfung unterworfen werden können.

Einige Schwierigkeiten bereitete die Werkstoffangabe. Rohre und Formstücke, die von der vorliegenden Technischen Lieferbedingung erfaßt werden, werden seit mehreren Jahren aus einer Sorte Gußeisen mit Kugelgraphit hergestellt, die in DIN 1693 nicht enthalten ist. Für diese Sorte hat sich die Bezeichnung „duktiler Gußeisen“ bei Herstellern und Abnehmern gut eingeführt. Deshalb entschloß sich der Arbeitsausschuß, für diese Teile die Bezeichnung duktiler Gußeisen beizubehalten und auch bei einer Überarbeitung von DIN 1693 darauf hinzuwirken, daß diese Bezeichnung als Sortenbezeichnung erhalten bleibt.

Da duktiler Gußeisen ausschließlich für Rohre und Formstücke verwendet wird, die in sich geschlossenen Rohrleitungssystemen verarbeitet werden, sind Begriffsverwirrungen nicht zu befürchten. Die in AD-Merkblättern und in den Technischen Regeln für Dampfkessel (TRD) enthaltenen Werkstoffvorschriften, die Sorten von Gußeisen mit Kugelgraphit nach DIN 1693 betreffen, finden auf Rohrleitungssysteme, in denen Teile nach DIN 28 600 verlegt sind, keine Anwendung.

Anlage 2.

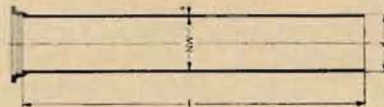
Entwurf April 1966 DIN 28 610

Druckrohre aus duktilem Gußeisen mit Schraub-, Stopfbuchsen- und TYTON®-Muffen für Gas- und Wasserleitungen

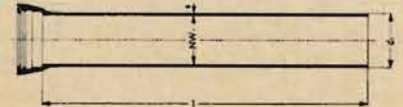
Schraubmuffenrohre NW 80—600



Stopfbuchsenmuffenrohre NW 500—1200



TYTON-Muffenrohre 80—600



Bezeichnung eines Druckrohres aus duktilem Gußeisen mit Schraubmuffe von Nennweite 150 und Baulänge $l = 6000$ mm:

Schraubmuffen-Rohr 150 x 6000 DIN 28 610

Nennweite	d_i	s	Nenndruck		Gewicht in kg \approx (gerechnet mit $7,05 \text{ kg/dm}^3$)					
			Gas kg/cm^2 1)	Wasser kg/cm^2	1 m Rohr ohne Muffe	Muffe	eines Rohres mit Muffe für die Baulänge $l = \dots$ mm			1 m Rohr mit Muffen- anteil
							4000	5000	6000	
80	98	5,8	25	40	11,8	3,4	50,5	62,5	74	12,5
100	118	6			14,9	4,3	64	79	93,5	16
125	144	6,3			19,2	5,7	82,5	102	121	20
150	170	6,5			23,5	7,1	101	125	148	24,5
200	222	7	1	32	33,3	10,3	144	177	210	35
250	274	7,5			44,3	14,2	191	236	280	46,5
300	326	8			56,3	18,6	244	300	356	59,5
350	378	8,5	16	25	69,6	23,7	302	372	441	73,5
400	429	9			83,7	29,3	364	448	532	89
500	532	10			115,6	42,8	505	621	736	123
600	635	11			152,0	59,3	667	819	971	162
700	738	12	10	16	193,0	79,1	851	1044	1237	207
800	842	13			238,7	102,6	1057	1296	1535	256
900	945	14			288,7	129,9	1285	1573	1862	311
1000	1048	15			343,2	161,3	1534	1877	2221	371
1200	1256	17			466,5	237,9	2104	2570	3037	508

Werkstoff und Ausführung siehe DIN 28 600 Technische Lieferbedingungen für Druckrohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen.

Herstellverfahren: In Sand- oder Metallformen geschleudert.

Anschlußmaße für die:

Schraubmuffen-Verbindung siehe DIN 28 501 Blatt 1 und 2

Stopfbuchsenmuffen-Verbindung siehe DIN 28 502 Blatt 1, 2 und 3

Angaben zur TYTON®-VERBINDUNG siehe Verlegeanleitung für Gußeiserne Druckrohre mit TYTON-VERBINDUNG®). Zur Fertigung von Rohren mit TYTON-VERBINDUNG ist die Schutzrechtsfrage zu klären. Die Rohre werden mit abgerundeten Spitzenden geliefert.

1) Siehe hierzu DVGW-Richtlinien (in Vorbereitung)

2) Zu beziehen bei Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre, 5 Köln 18, Postfach 37.

Die Verbindungen duktiler Gußrohre – Ihr Einsatz in Gasleitungen unter besonderer Berücksichtigung der Gummidichtringe

Von Kurt REEH und Horst NOH

Fertigbau — in den letzten Jahren zu einem Begriff im Bauwesen geworden — wird im Rohrleitungsbau schon seit eh und je in nahezu höchster Vollkommenheit praktiziert. Die im Werk vorgefertigten Rohre, Formstücke und Armaturen werden auf der Baustelle zur fertigen Rohrleitung verbunden.

Die Vorteile des Fertigbaues können dann optimal ausgenutzt werden, wenn die unter günstigsten Voraussetzungen im Werk vorgefertigten Teile auf der Baustelle ebenso rationell und wirtschaftlich einfach und leicht zu jeder Zeit und unabhängig von klimatischen Einflüssen sowohl bei tiefsten als auch bei höchsten Temperaturen, ohne größeren Zeit- und Arbeitsaufwand — insbesondere handwerklichen Aufwand — zusammengefügt werden können und dabei absolut sichere und auf die Dauer funktionsfähige Verbindungen zustande kommen, die in der Lage sind, die gleichen Anforderungen, die an die Rohre und an die Formstücke gestellt werden, zu erfüllen.

Es ist daher einleuchtend, daß der Rohrverbindung ganz allgemein eine besondere Bedeutung zukommt. In Veröffentlichungen findet sich die Rohrverbindung praktisch in allen Aufsätzen über Rohre, zumindest in einem Abschnitt, wieder. Auf einige Veröffentlichungen sei hier hingewiesen. In den „Technischen Mitteilungen“ 8/1959¹ und im Gußrohr-Handbuch² wurde bereits über die geschichtliche Entwicklung der Gußrohrverbindungen ausführlich berichtet. Die Besonderheiten der einzelnen Verbindungsarten, wie z. B. der TYTON®-VERBINDUNG, wurden in einem Aufsatz, erschienen in „Technische Mitteilungen“ 3/1961³, oder die Schraubmuffen-Verbindung mit Polygum-Dichtring, in „Gaswärme“ 4/1964⁴, behandelt. Über die Schraubmuffen-Verbindung selbst liegt eine Reihe von Veröffentlichungen vor⁵.

Die Zusammenstellung einiger interessanter Aufsätze befindet sich im Literaturhinweis am Schluß dieses Berichtes. Unter Beachtung dieser Veröffentlichungen sollen in dieser Abhandlung Aufgaben und Probleme behandelt werden, die sich durch den neuen Rohrwerkstoff duktilen Gußeisen eingestellt haben.

Gummigedichtete, bewegliche Muffenverbindungen sind auch für Rohre aus duktilem Gußeisen die wichtigste Verbindungsart. Die gummigedichteten Gußrohrverbindungen besitzen die Vorteile, daß sie

mit geringstem Aufwand an Personal und Fachkenntnissen montiert werden können,

das Verbinden von Rohrabschnitten ermöglichen, unabhängig von Witterungseinflüssen, sowohl bei niedrigsten als auch bei höchsten Temperaturen, im Grundwasser oder auch unter Wasser montiert werden können,

eine Auswinkelbarkeit bei der Verlegung und die Anpassung an die jeweiligen Geländeverhältnisse erlauben,

wegen der Auswinkelbarkeit und Längsverschiebbarkeit der Rohre ermöglichen, Spannungen durch Bodenbewegungen usw. abzubauen, wodurch der Rohrleitung eine Sicherheit verliehen wird, wie sie durch keinen noch so großen Sicherheitsfaktor bei der Festigkeitsberechnung erfaßt werden kann.

Zu den montage- und betriebstechnischen Vorteilen kommt als wichtiger Faktor hinzu, daß das Rohr selbst als Muffen-Spitzendrohr im Schleudergießverfahren die günstigste Rohrform darstellt und die Verbindungsflächen, einschließlich der Innenprofilierung der Muffe, ohne mechanische Nachbearbeitung in einem Guß hergestellt werden. Alle diese Vorteile sind dafür maßgebend, daß, ähnlich wie für das Graugußrohr, auch für das duktile Gußrohr die gummigedichtete Muffenverbindung die Hauptverbindungsart darstellt.

Die drei wichtigsten Verbindungen für Rohre aus duktilem Gußeisen in Deutschland sind:

- die Schraubmuffen-Verbindung,
- die Stopfbuchsenmuffen-Verbindung und
- die TYTON-VERBINDUNG.

Das Bild 1 zeigt die einzelnen Verbindungen im Schnitt.

Diese Verbindungen sind in der Fachwelt seit langem bekannt und zum Teil seit Jahrzehnten genormt (DIN 28 501 und DIN 28 502), so daß auf eine Beschreibung des konstruktiven Aufbaus hier verzichtet werden kann, zumal alle Verbindungen mit den gleichen Funktionsmaßen wie bei Graugußrohren gefertigt werden. Den drei Verbindungen ist folgendes gemeinsam:

- glatte, zylindrische Spitzenden,
- profilierte Muffendichtfläche,
- profiliertes Gummidichtungsring mit Dichtteil aus weichem, leicht verformungsfähigem und hochelastischem Gummi, Halteteil und Schutzkanten aus hartem Gummi oder anderen Materialien,
- Halteelemente teilweise zum Anzug und zur Fixierung des Dichtringes in der Rohrverbindung,
- Vorhandensein eines Zentrierbundes.

Dadurch, daß die Funktionsmaße der Gußrohrverbindungen beibehalten wurden, ist die Austauschbarkeit in liegenden Netzen gewährleistet, aber auch die Verlegung von Graugußrohren mit duktilen Gußrohren, oder das Verbinden von Graugußformstücken mit duktilen Gußrohren.

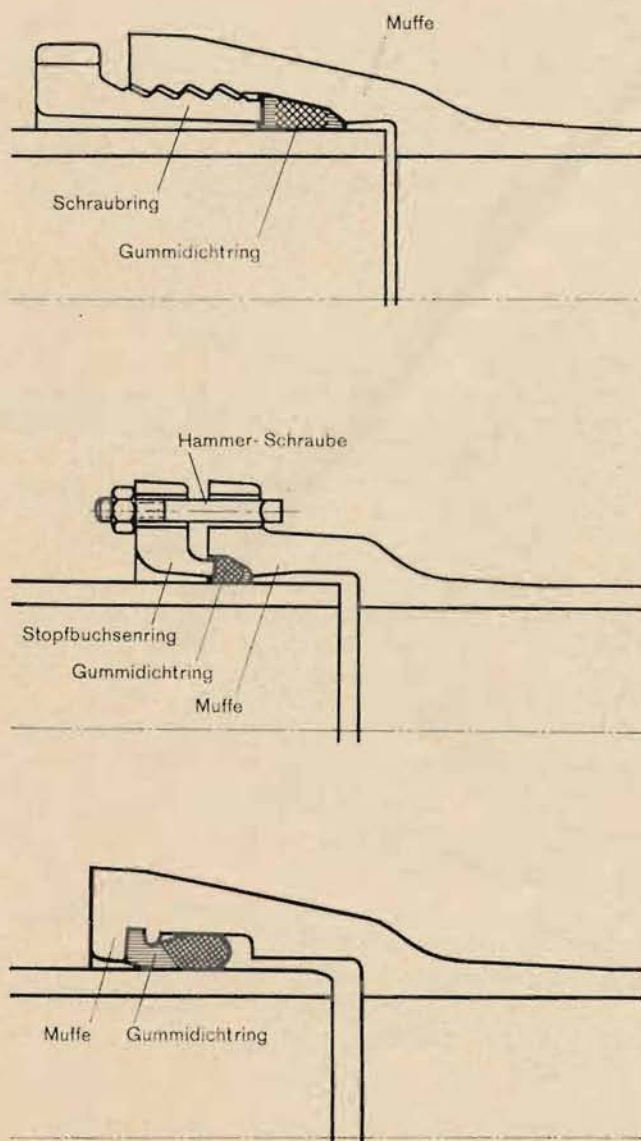


Bild 1

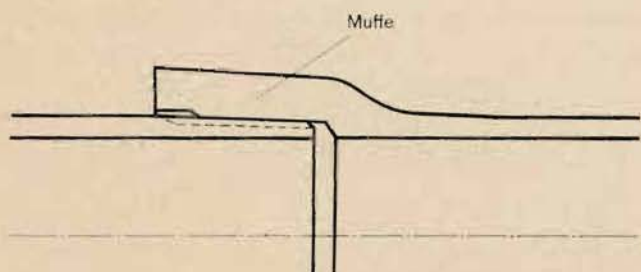


Bild 2

Neben den bekannten gummigedichteten Gußrohrverbindungen ist für Gashochdruckleitungen aus duktilem Gußeisen auch eine Verbindung mit konischem Gewinde, ähnlich API, entwickelt worden (Bild 2). Diese Verbindung fand vornehmlich beim Ausbau des Ferngasnetzes in der Oberpfalz Anwendung. Auf Grund des hohen Nenndruckes dieser Gasleitungen wurden die Rohre mit einem mechanisch bearbeiteten konischen Feingewinde in Anlehnung an API-Standard 5 A versehen. Das Gewinde hat eine Steigung von 1:16 und einen Flankenwinkel von 30° . Zur besseren Abdichtung wird auf das Außengewinde des Spitzendes eine feine Bleischicht aufgespritzt, wodurch gleichzeitig auch das Verschrauben erleichtert wird.

Diese mechanisch geschnittene Gewindeverbindung ist in der Lage, Längskräfte aufzunehmen. Hierdurch ist es z. B. möglich, die Leitungen oberhalb des Rohrgrabens zu endlosen Strängen zu verschrauben und in montiertem Zustand abzusenken. Diese Eigenschaft ist neben dem Bau von Gashochdruckleitungen inzwischen auch bei Dükerleitungen vorteilhaft ausgenutzt worden.

Sehr eingehende Versuche mit dieser Gewindeverbindung wurden von der Salzgitter Ferngas GmbH durchgeführt und über die eindrucksvollen Ergebnisse im GWF-Heft 43/1960⁶ berichtet. Rohre mit dieser Gewindeverbindung können in Deutschland zur Zeit bis zur Nennweite 200 mm (max. 225 mm) gefertigt werden.

Die Vorteile der Gewindeverbindung werden im Hausanschlußrohr aus duktilem Gußeisen ausgenutzt, hier jedoch in Form des zylindrischen Whitworth-Rohrgewindes nach DIN 2999 oder DIN 259. In der FGR-Norm 7 (von der Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre, Köln, herausgegebene Werksnorm) sind die Hausanschlußrohre aus duktilem Gußeisen zunächst für die NW 2" und 2½" genormt worden. Sie finden vorzugsweise für den Anschluß von Gasrohrleitungen Verwendung und sind maßlich so aufgebaut, daß sie mit den handelsüblichen Tempergußfittings verbunden werden können.

Das *Schweißen* duktiler Gußrohre ist grundsätzlich möglich. Das Bild 3 zeigt das Herstellen einer Stumpfnah-Rohrverbindung durch autogenes Schweißen. Es handelt sich um einen auf der Baustelle geschweißten Rohrstrang, der in einer Versuchsgasleitung mit eingebaut wurde. Das Schweißen duktiler Gußrohre hat auf der Baustelle noch keinen Eingang gefunden, weil es sich dort bisher noch nicht wirtschaftlich verwirklichen läßt. Zur Lösung dieses Problems laufen bei den Gußrohrwerken und verschiedenen Schweißfachinstituten zur Zeit umfangreiche Versuchsreihen. Weil auch die starre Verbindung, zu der auch die Schweißverbindung gehört, nicht alle Vorteile aufweist, die eine bewegliche gummigedichtete Verbindung hat, empfehlen die Gußrohrwerke weiterhin die millionenfach bewährte gummigedichtete Verbindung. An dieser Stelle sei erwähnt, daß es grundsätzlich ebenfalls möglich ist, bei duktilen Gußrohren Klebeverbindungen herzustellen. Für die Herstellung starrer Verbindungen, gleichgültig ob es sich um Schweiß- oder Klebeverbindungen handelt, ist die Einhaltung sehr enger Passungen für das Funktionie-



Bild 3

ren der Verbindungen Voraussetzung. Wenn durch Kalibrieren oder mechanische Bearbeitung im Herstellerwerk die Spitzenden für diese Verbindungen ausgebildet werden, so treten auf der Baustelle immer dann besondere Schwierigkeiten auf, wenn Rohrschnitte erforderlich werden und Abzweige oder sonstige Formstücke in die Leitungsstücke einzubauen sind.

Um z. B. einwandfreie Stumpfschweißverbindungen zu erzielen, ist neben einer engen Tolerierung des Außendurchmessers auch eine enge Tolerierung des Innendurchmessers bzw. der Wanddicke notwendig. Selbst bei kalibrierten Rohren können auf Grund zugelassener Abweichungen Passungsschwierigkeiten infolge Kantenversatz auftreten.

Schweiß- und Klebeverbindungen können nur im Trockenen und nicht bei allen Temperaturen hergestellt werden. In der heutigen Zeit macht sich das Fehlen von geschulten Fachkräften bemerkbar. Die eben genannten Verbindungen können nur von besonders geschulten Fachkräften hergestellt werden. Daneben ist jedoch zusätzlich hier noch verstärkte Kontrolle und Prüfung notwendig.

Alle diese Umstände dürften dazu führen, daß sich die Anwendung von Rohren aus duktilem Gußeisen mit starren Rohrverbindungen auf Sonderzwecke beschränken wird.

Rohre mit *Flanschverbindungen* werden vorwiegend für oberirdische Leitungen eingesetzt. Es wird hier daher auf diese Verbindung nicht näher eingegangen, zumal für den Werkstoff duktiler Gußeisen die gleichen Flanschverbindungen wie bei Graugußrohren zur Anwendung kommen (Bild 4). Der Werkstoff erlaubt eine Verringerung der Flanschdicken. Wegen vorhandener Modelleinrichtungen wurde dies bisher noch nicht allgemein verwirklicht. Bei der Einführung neuer Modelle, speziell für Formstücke aus duktilem Gußeisen, werden auch die Flanschdicken dem Werkstoff entsprechend, unter Berücksichtigung der DIN 2505, ausgeführt. Die Einhaltung der seit Jahrzehnten festliegenden Anschlußmaße wird von den Gußrohrwerken als selbstverständlich angesehen.

Neben den bekannten Schraubmuffen-, TYTON[®]-Muffen-, Stopfbuchsenmuffen-Verbindungen und Verbindungen mit geschnittenem Gewinde, ähnlich API, hat sich für Dükerleitungen die schubgesicherte Schraubmuffen-Verbindung bestens bewährt. Während bei den Schraubmuffen-, TYTON[®]-Muffen- und Stopfbuchsenmuffen-Verbindungen äußere Zuganker mit Schellen die Längskräfte übertragen und die Sicherung gegen Auseinanderziehen der Rohre übernehmen, ist bei der schubgesicherten Schraubmuffen-Verbindung die Übertragung der Längskräfte durch ihre Konstruktion selbst gegeben. Die Bilder 5 und 6 zeigen eine Schraubmuffe mit Schub Sicherung und wie die Längskraftschlüssigkeit bei der TYTON[®]-VERBINDUNG verwirklicht werden kann. Verbindungen dieser Art konnten breitere Anwendung finden, nachdem mit dem duktilen Gußeisen ein Rohrwerkstoff zur Verfügung steht, der in der Lage ist, die durch die Längskraftschlüssigkeit bedingten zusätzlichen Beanspruchungen wegen seiner höheren Festigkeit und seiner Verformungsfähigkeit einwandfrei aufzunehmen.

Nach den vorangegangenen allgemeinen Betrachtungen über die Eignung der gummigedichteten beweglichen Rohrverbindungen für duktile Gußrohre ist jetzt die Frage zu behandeln, wie sich die Gummiringe selbst, insbesondere bei verschiedenen Gasarten, auf die Dauer verhalten.

Der Gedanke, Gummi als Dichtstoff für Gasleitungen zu verwenden, wurde bereits im vergangenen Jahrhundert in die Wirklichkeit umgesetzt. Schon damals wurde eine Reihe von Gußrohr-Gasleitungen mit gummigedichteten Verbindungen verlegt, von denen eine Anzahl heute noch in Betrieb sind.

Mit Einführung der Schraubmuffe vor mehr als 30 Jahren wurde Gummi als Dichtelement allgemein verwendet. Die ersten Ausführungsarten der Schraubmuffendichtringe wiesen an der Dichtringspitze eine Bleikappe auf. Diese Ringe wurden über viele Jahre speziell für Gasleitungen verwendet. Vor und während des letzten Krieges ging man dazu über, die Bleikappe durch eine Spitze aus härterem Gummi zu

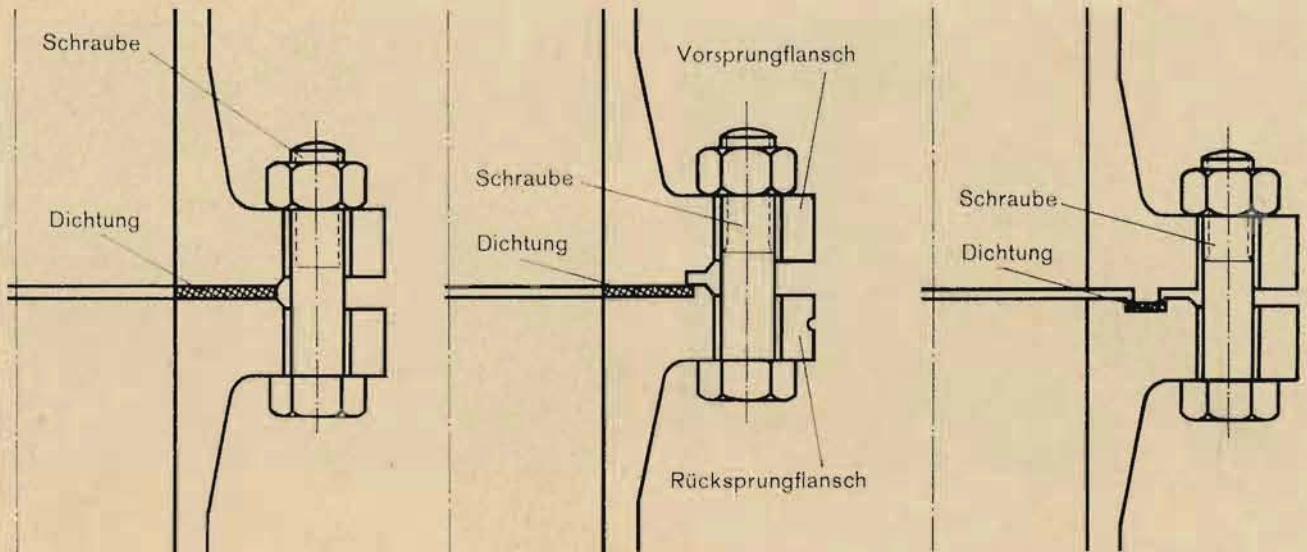


Bild 4

ersetzen. Diese Ausführung hat sich voll und ganz bewährt. Der Gummidichtring besteht also aus einem Weichgummitteil in der Mitte, der die Dichtfunktion zu erfüllen hat, und einem härteren Gummitteil, der gegen mechanische und chemische Beanspruchungen schützt.

Eine neuere Entwicklung auf diesem Wege ist der sogenannte Polygumring. Die nur ca. 1 mm starke Polyamid Schutzkappe, die über die härtere Gummischutzkante mit anvulkanisiert wird, ist hinsichtlich der Quellbeständigkeit mit der Bleikappe gleichzusetzen; in elastischer Hinsicht ist sie jedoch der Bleikappe wesentlich überlegen. Der Schraubmuffendichtring mit Polyamidkappe ist daher in der Lage, Auswinkelungen und Dezentrierungen in der Verbindung ohne Nachteil für die Dichtfunktion mitzumachen. Eine weitere Entwicklung liegt in der Verwendung von Perbunan-Dichtringen. Diese Ringe bestehen aus einem synthetischen Kautschuk von gleicher Beschaffenheit über den ganzen Ringquerschnitt. Perbunan besitzt eine hohe Quellbeständigkeit gegenüber Benzin-Kohlenwasserstoffen. Eine sorgfältige Behandlung sowie ein gleichmäßiges zentrisches Anziehen des Schraubringes wird, insbesondere bei Gasleitungen, als selbstverständlich vorausgesetzt. Um dies auch

mit Sicherheit zu erreichen, wird von den Lieferwerken in den Verlegeanleitungen vorgeschrieben, alle besonders geschützten Schraubmuffendichtringe mit einem Gleitring einzubauen. Es hat sich gezeigt, daß diese Maßnahme grundsätzlich immer von Vorteil ist und, insbesondere bei Gasleitungen, auch bei Verwendung normaler Schraubmuffendichtringe angewandt werden sollte. Nebenbei sei erwähnt, daß die Verwendung von Gleitringen das Anziehen der Muffen noch leichter gestaltet.

Dichtungsringe aus Naturkautschuk für die Schraubmuffen- und Stopfbuchsenmuffenverbindungen können, wie oben aufgeführt, durch eine härtere Gummi-kante oder durch zusätzliche Schutzkappen aus Blei oder Polyamid gegen einen möglichen Angriff von Gasen geschützt werden. Bei der TYTON-VERBINDUNG liegt der Dichtteil aus Weichgummi im Gasraum.

Bekanntlich wurden bei den ersten gummigedichteten Muffenverbindungen für Gasleitungen Rollgummidichtungen aus Weichgummi verwendet, die sich gut bewährt hatten, obwohl noch keine Entbenzolungsanlagen auf den Gaswerken bestanden, und der verwendete Gummi qualitativ bei weitem nicht dem heutigen Stand entsprach. Erst nach der Entdeckung

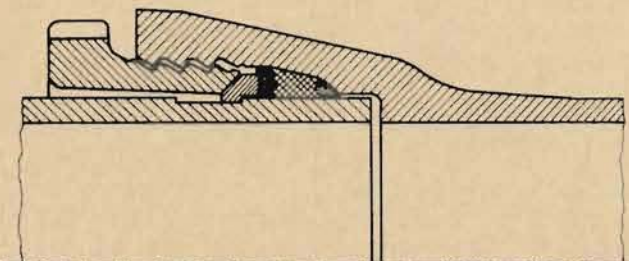


Bild 5

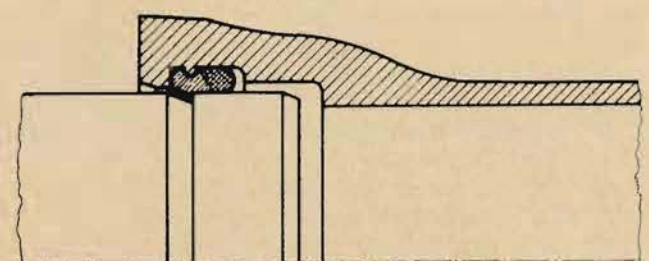
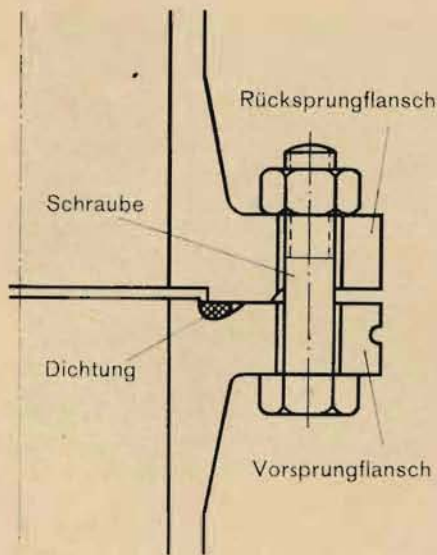


Bild 6



organischer Vulkanisationsbeschleuniger in diesem Jahrhundert und durch die Beimischung mineralischer Füllstoffe war die Herstellung besonderer hochwertiger Gummiwaren möglich.

Die guten Erfahrungen, die man seit Einführung der TYTON®-VERBINDUNG im Jahre 1957 auf dem Wasserleitungssektor in Deutschland hinsichtlich

- einfacher und schneller Verlegung,
- absoluter Dichtigkeit sowohl bei niedrigen als auch bei höchsten Innen- und Außendrücken

gesammelt hatte, waren aber nicht ausreichend, die TYTON®-VERBINDUNG ohne Nachweis der Eignung auch für Gasleitungen einzuführen.

In Laborversuchen wurden Gummiringe in den Gasstrom bzw. in Benzol, wie es als Rohbenzol in den Kokereien anfällt, eingehängt und das Verhalten der Ringe beim Quellen und anschließender Regeneration beobachtet.

In Bild 7 ist links der Quellvorgang dargestellt. Man sieht, daß nach etwa 7 Tagen die Aufnahme von Benzol nicht mehr ansteigt. Aus der rechten Seite ist zu

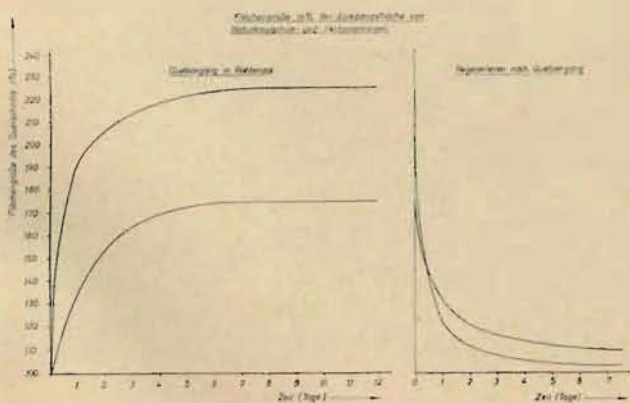


Bild 7

entnehmen, daß bei der Regenerierung — Lagerung an der Luft — die Quellung nach etwa 6 Stunden bis auf einen geringen Prozentsatz zurückgegangen ist. Daraus kann gefolgert werden, daß eine Gußrohrleitung mit TYTON®-VERBINDUNGEN, die anfangs mit benzolhaltigem Gas betrieben wird, auch bei der Umstellung z. B. auf Erdgas wegen der kleinen verbleibenden Quellung des Gummiringes nicht undicht werden kann. Bestätigt wurden diese Überlegungen durch einen weiteren Versuch an zwei Rohrstücken, die durch eine TYTON®-VERBINDUNG verbunden waren. Der Gummiring bestand aus Naturkautschuk. Die ausgebauten Rohrstücke wurden mit Kokereirohbenzol gefüllt und verschlossen. In regelmäßigen Abständen wurden diese Rohrstücke entleert und mit Luft auf Dichtigkeit bei einem Druck von max. 10 atü geprüft. Ein Nachlassen der Dichtfunktion bei dem sich über ein Jahr hinziehenden Versuch wurde nicht festgestellt.

Die Gußrohrindustrie hat sich nicht nur mit reinen Laborversuchen zufriedengegeben, sondern auch zahlreiche Versuchsleitungen erstellt, um nach langjähriger Bewährungsdauer die Eignung gummigedichteter Gasrohrverbindungen unter Beweis zu stellen.

Nach dem positiven Ausgang der Laborversuche wurde im Jahre 1958 bei der Salzgitter Ferngas GmbH eine Kokereigas-Versuchsleitung mit einem maximalen Betriebsdruck von 20 atü in Betrieb genommen. Es folgten weitere Versuchsgasleitungen in der Nähe von München und wiederum bei der Salzgitter Ferngas GmbH, in denen Erdgas bzw. Erdöl gas gefördert werden. Die Betriebsdrücke betragen bis zu 40 atü. Bei diesen Leitungen sind Kondensate aus Benzin-Kohlenwasserstoffen angefallen. In die Versuchsreihe wurde auch die im Jahre 1951 in Wetzlar von der Ruhrgas AG gebaute Kokereigas-Versuchsleitung mit Schraubmuffenverbindungen, die ursprünglich zum Nachweis der Eignung des Werkstoffes Gußeisen für Gashochdruckleitungen gebaut wurde, mit eingeschlossen.

Bei den Versuchsgasleitungen gelangten Dichtringe aus Naturkautschuk, Perbunan und Butyl sowie aus Naturkautschuk mit verschiedenen Schutzüberzügen, wie z. B. Polyamid, zur Anwendung.

Die Verbindungen wurden in regelmäßigen Zeitabständen, zum Teil durch den TUV auf Dichtigkeit geprüft, anschließend mehrere Ringe ausgebaut und eingehend untersucht. Alle Verbindungen waren einwandfrei dicht, die Dichtringe selbst voll funktionsfähig.

Die Untersuchungen haben ergeben, daß neben den Polygum-Ringen und Ringen aus Perbunan, die in den letzten Jahren speziell für Gasleitungen entwickelt wurden, auch die Ringe aus Naturkautschuk sich voll und ganz bewährt haben, und daß künftig auch die TYTON®-VERBINDUNG neben der Schraubmuffenverbindung im Gasleitungsbau eingesetzt werden kann.

Die einzelnen Aufgrabungen der Versuchsgasleitungen erfolgten unter Miteinschaltung des Institutes für Gastechnik, Feuerungstechnik und Wasserchemie der Technischen Hochschule Karlsruhe mit dem Ziel, über die Ergebnisse ein Gutachten auszuarbeiten.

Zusammenfassung

Eingangswurde durch Vergleich mit den Grundprinzipien des Fertigbaues die besondere Bedeutung der Rohrverbindung allgemein für den Rohrleitungsbau hervorgehoben. Nicht nur für Leitungen aus Grauguß, sondern auch für Leitungen aus duktilem Gußeisen stellt die seit Jahrzehnten bewährte gummi-gedichtete Verbindung das wichtigste Verbindungselement dar. Auf Grund der besonderen Eigenschaften des duktilen Gußeisens finden auch die mechanisch geschnittenen Gewindeverbindungen Anwendung. Über das Schweißen von duktilem Gußeisen sind einige Ausführungen gemacht. Anschließend befaßt sich die vorliegende Arbeit mit der Eignung von Gummiringen für Gasleitungen.

Während sich die Dichtringe für die Schraubmuffen- und Stopfbuchsenmuffenverbindung schon seit langem in Gasleitungen bewährt haben, mußten zum Nachweis der Eignung der Dichtringe für die TYTON®-VERBINDUNG umfangreiche Labor- und Feldversuche vorgenommen werden. Für letztere wurde zur Abfassung eines Gutachtens das Institut für Gastechnik, Feuerungstechnik und Wasserchemie der Technischen Hochschule Karlsruhe eingeschaltet.

Literaturhinweise:

1. Dr.-Ing. E. Niederschuh „Über die Verbindung von gußeisernen Muffendruckrohren“
2. Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre, Köln, „Verbindung von gußeisernen Druckrohren und Formstücken“ und „Dichtungstoffe für Muffenverbindungen“
3. G. Hund „Untersuchungen und Erfahrungen mit der TYTON®-VERBINDUNG, der neuen Einschubverbindung für gußeiserne Druckrohre“
4. Dr. Wolf und Dr. Hein „Gußrohre in der Gasversorgung“
5. Dr. C. Pardun „Eine neue Hochdruck-Gußrohrverbindung für Gas- und Wasserleitungen“ im GWF-Heft 5/1932, S. 1 und 2;
Dipl.-Ing. W. Vacherot „Die neue Gußrohrmuffe“ in Mitteilungen der Wirtschaftlichen Vereinigung deutscher Gaswerke Nr. 6, 20. Jahrgang;
L. Henkel „Ausführung, Handhabung und Verlegung von gußeisernen Rohren mit Schraubmuffenverbindung“ im GWF-Heft 85/1942, S. 587—590;
Stadtbaurat i. R. R. C. Kellner „Neuzeitliche Rohrverbindungen für gußeiserne Gas- und Wasserleitungen in Bergbaugebieten“, Sonderdruck aus „Braunkohle“ 4/1938, S. 55—58.
6. W. Walter und W. Stumpf „Geschleuderte Druckrohre aus duktilem Gußeisen“

Duktile Gußrohre für Gas- und Wasserleitungen und Erfahrungen bei der Verlegung

Von Otto DINTELMANN

Die seit Jahrzehnten — besser gesagt seit Jahrhunderten — bekannten und bewährten Rohre aus Gußeisen mit Lamellengraphit (GG) kennt jeder, der mit dem Bau oder Betrieb erdverlegter Rohrleitungen zu tun hat. Ihre Eigenschaften sind bekannt. Neben ihren großen Vorzügen, zu denen in erster Linie die in der Praxis immer bewiesene Lebensdauer gehört, haben sie aber auch Eigenschaften, die manchmal weniger wünschenswert erscheinen. So wird z. B. der Werkstoff als nicht verformbar angesehen. Daß aber auch Graugußrohre durchaus geringe Verformungen im elastischen Bereich ertragen können (Bild 1), ist weniger bekannt.

Mit der Erfindung des duktilen Gußeisens (GGG) entstand ein Werkstoff mit völlig neuen Eigenschaften. Bis dahin hatte man auch schon dem Gußeisen mit Lamellengraphit (GG) durch verbesserte Schmelz- und Gießverfahren immer höhere Festigkeiten verliehen. Während vor der Jahrhundertwende die Rohre eine Zugfestigkeit von 10 bis 14 kp/mm² hatten, war diese beim Schleudergußrohr schon auf 20 bis 28 kp/mm² gesteigert worden. Aber alle diese Ver-

besserungen brachten im wesentlichen nur eine Steigerung der Zugfestigkeit, der Charakter eines nur wenig verformbaren Werkstoffes blieb erhalten. Erst mit dem duktilen Gußeisen war es gelungen, ein Gußeisen zu erzeugen, das neben den Vorzügen des niedrigen Schmelzpunktes, guter Verießbarkeit und hoher Festigkeit eine beachtliche Dehnung und Formänderung ermöglichte und damit den Charakter eines zähen Werkstoffes annahm (Bild 2). Für den Werkstoff-Fachmann war dieser Fortschritt gewaltig. Erste Anwendungen fand das duktile Gußeisen im Maschinenbau (z. B. bei Kurbelwellen für Automobile). Als Rohrwerkstoff wird es in der Bundesrepublik etwa seit 1956 eingesetzt. Die Vorteile eines Rohres aus duktilem Gußeisen lagen auf der Hand. Entscheidende Verbesserungen in physikalischer Hinsicht wurden hinzugewonnen, wobei mit Recht auf Grund theoretischer Überlegungen geschlossen werden konnte, daß die bekannten guten Eigenschaften des Gußeisens mit Lamellengraphit beibehalten wurden. Dies konnte inzwischen durch Labor- und Feldversuche theoretisch und auch praktisch einwandfrei nachgewiesen werden.



Bild 1: Rohr NW 80 mm, 5000 mm lg., aus Gußeisen mit Lamellengraphit (GG), elastisch durchgebogen

Duktile Rohre wurden zuerst dort eingesetzt, wo ein erhöhtes Sicherheitsbedürfnis oder ungewöhnliche Beanspruchungen vorlagen.

Die Einführung des duktilen Gußrohres geschah gerade zu einem Zeitpunkt, als im Gasfach höhere Sicherheiten im Rohrnetz von allen Seiten gefordert wurden und Investitionen dafür in der Öffentlichkeit auf größeres Verständnis stießen. So lag es nahe, daß das duktile Gußrohr zunächst Eingang bei Gasleitungen fand. Inzwischen sind zahlreiche Gasleitungen für Nieder-, Mittel- und Hochdruck verlegt worden (Bild 3).

Bei Wasserleitungen wurden duktile Rohre anfangs dort eingesetzt, wo besonders große Beanspruchungen vorlagen oder wo ein besonders großes Sicherheitsverlangen bestand. Es sind zum Beispiel zahlreiche Düker durch Flüsse inzwischen aus duktilen Gußrohren verlegt worden. Bei der Düker-Montage treten häufig rechnerisch vorher nicht erfaßbare Beanspruchungen auf, für die sich das duktile Gußrohr mit seinen großen Sicherheiten und seiner Verformbarkeit anbot (Bild 4). Brückenleitungen sind ähnlich zu beurteilen (Bild 5). Die weiteren Bilder Nr. 6 und 7 zeigen Beispiele für Leitungen, an die besondere Anforderungen gestellt werden.



Bild 2: Rohr NW 80 mm, 5000 mm lg., aus duktilem Gußeisen (GGG) durchgebogen

Inzwischen ist die Produktion von duktilen Gußrohren ganz erheblich gesteigert worden. Zahlreiche Verbraucher haben sich vollständig dem duktilen Gußrohr zugewandt, das sie gleichermaßen für Wasser- und Gasleitungen einsetzen.

Der Einführung und Anwendung des duktilen Gußrohres kam außerordentlich zustatten, daß Graugußrohre und duktile Gußrohre

gleiche Baulängen,
gleiche äußere Abmessungen,
gleiche Muffenverbindungen
(Schraubmuffe, Schraublangmuffe, TYTON-Muffe, Stopfbuchsenmuffe)

haben. Dadurch wurde für den Mann an der Baustelle keinerlei Umgewöhnung erforderlich. Man kann Graugußrohre und duktile Gußrohre ohne Schwierigkeit zusammen verlegen, obwohl das eigentlich nur bei Rohrauswechselungen oder Reparaturen die Regel sein dürfte.

Duktile Gußrohre können genauso wie Graugußrohre mit einer Zementmörtelauskleidung geliefert werden. Ebenso kann ein zusätzlicher Außenschutz, wie er von den Rohrherstellern in Sonderfällen bei Graugußrohren schon geliefert wurde, bei duktilen Gußrohren aufgebracht werden.

Unterschiede zwischen Graugußrohren und duktilen Gußrohren bestehen nur im Werkstoff, in der Wanddicke und damit im Gewicht. Die Gewichtsverminderung wird an der Baustelle verständlicherweise als Vorteil empfunden.

Bei duktilen Gußrohren bestehen die Verbindungs- und Zubehörteile wie Schraubring oder Stopfbuchsenring in der Regel aus Grauguß (GG). Von der Beanspruchung her gesehen wäre es auch nicht erforderlich, diese Teile aus duktilem Eisen (GGG) zu fertigen. Ihre Funktion besteht ja nur darin, dem Dichtring durch Anpreßdruck die nötige Vorspannung zu verleihen und diese aufrechtzuerhalten. Der Schraubring wird also nur auf Druck, der Stopfbuchsenring ebenfalls auf Druck und geringfügig auf Biegung beansprucht, wobei die Stützweite gleich dem Abstand der Schraubenlöcher, also gering ist. Für diese Beanspruchung reicht das Gußeisen mit Lamellengraphit aber völlig aus. Jeder erfahrene Fachmann weiß, daß selbst ein bei der Montage gebrochener Schraub- oder Stopfbuchsenring seine Funktion anstandslos erfüllen kann, eine Auswechslung also nicht unbedingt erforderlich ist.

Bei Dükerleitungen, die mit dem Einzugsverfahren (Bild 4) verlegt wurden, traten teilweise beim Einziehen in ihrer Größenordnung nicht beabsichtigte und nicht voraussehbare Abwinkelungen in den Muffenverbindungen auf, die das zulässige Maß erheblich überschritten. Hierfür wurden auch die Schraubringe aus duktilem Eisen geliefert, da bei Abwinkelungen über das zulässige Maß Schraubringe aus Gußeisen mit Lamellengraphit durch Biegebeanspruchungen hätten gesprengt werden können.

Auch die bei Rohrleitungen aus duktilem Gußeisen verwendeten Formstücke bestehen in der Regel aus Grauguß. Nur bei wenigen Ausnahmen — hier han-



Bild 3: Verlegung von 2 Gasleitungen NW 800 und 300 mm mit Rohren aus duktilem Gußeisen



Bild 4: Doppeldüker NW 350 mm, Schraublangmuffe, durch die Lippe

delt es sich hauptsächlich wieder um Dükerleitungen — wurden Formstücke aus duktilem Eisen mit den Wanddicken für Graugußformstücke eingebaut. Bei den Formstücken bestand auch nicht wie bei den Rohren die Forderung nach einem duktilen Werkstoff hoher Festigkeit. Die Schadensstatistiken bei den Versorgungsunternehmen bestätigen, daß bei Rohrnetzschäden fast nie Formstücke, sondern fast immer Rohre beteiligt sind. Die seit einigen Jahren vornehmlich verwendeten Doppelmuffenformstücke haben eine um 30% dickere Wand als ein Graugußrohr der Klasse A und sind wegen ihrer kurzen Baulänge und der auf beiden Seiten befindlichen schweren Muffe mit so großen Sicherheiten ausgestattet, daß Schäden praktisch ausgeschlossen sind.

Dennoch beschäftigen sich die Rohrhersteller damit, auch Formstücke aus duktilem Gußeisen herzustellen. Vorher ist es aber notwendig, die Abmessungen der Formstücke konstruktiv dem neuen Werkstoff anzupassen, d. h. Formstücke aus duktilem Gußeisen werden bezüglich ihrer Wanddicken, Baulängen und äußeren Muffenabmessungen gegenüber den Formstücken aus Grauguß verändert werden müssen. Die damit erzielte Gewichtseinsparung soll es den Herstellern ermöglichen, duktile Formstücke zu nicht höheren Preisen als Graugußformstücke dem Verbraucher zu liefern. Die Vorarbeiten dazu sind auf nationaler und internationaler Ebene in Gang. Eine

völlige Umstellung wird aber sicher noch einige Zeit dauern, da die Hersteller einen völlig neuen Modellpark anschaffen müssen und hierfür sehr große Mittel erforderlich sind.

Eine Kennzeichnung der duktilen Gußrohre zum Unterschied gegenüber Graugußrohren ist für den Verbraucher eigentlich nur so lange wichtig und notwendig, wie er beide Rohrarten nebeneinander verwendet. Wenn er sich von einem bestimmten Zeitpunkt an auf die ausschließliche Verwendung duktiler Gußrohre umgestellt und auch keine Lagervorräte mehr an Graugußrohren hat, so ist für ihn die besondere Kennzeichnung nicht mehr interessant. Während Graugußrohre durch weiße Farbstriche an der Muffenstirnseite gekennzeichnet sind, geschieht das bei duktilen Gußrohren durch rote Farbstriche. Ferner sind duktile Gußrohre dauerhaft durch drei im gleichseitigen Dreieck angeordnete erhaben aufgegossene Punkte auf der Muffenstirnseite gekennzeichnet. Bisweilen wird auch der Name des Herstellers, die Klasse und das Wort „Duktil“ mit roter Farbe aufgemalt. Bei duktilen Formstücken sind diese Punkte auf dem Schaft, wo auch andere Bezeichnungen, wie z. B. der Zentriwinkel, aufgegossen sind, angeordnet. Wenn aus einem duktilen Muffenrohr ein Muffenpaßrohr an der Baustelle geschnitten wird und das verbleibende Spitzende — bei gleichzeitiger Verwendung von Graugußrohren und duktilen Gußrohren auf der Bau-

stelle oder auf dem Lager — zu Verwechslungen Anlaß geben kann, so empfiehlt es sich, dieses Spitzende, das ja keine Kennzeichnung als duktiles Gußrohr mehr hat, durch rote Farbstriche als duktiles Gußrohr zu kennzeichnen.

Bei Reparaturen oder nachträglichen Einbauten oder Veränderungen an gußeisernen Rohrleitungen wurden häufig die auszubauenden Rohre nicht herausgeschnitten, sondern der Einfachheit und Zeitersparnis wegen zerschlagen. Das ist bei duktilen Gußrohren nicht mehr möglich! Aus diesem Grunde empfiehlt es sich, in den Rohrnetzplänen Aufzeichnungen über das verwendete Rohrmaterial — für Grauguß: alte Bezeichnung Ge, neue Bezeichnung GG, für duktilen Eisen: GGG — zu machen, um zu vermeiden, daß man vergeblich versucht, ein gußeisernes Rohr zu zerschlagen.

Die gegenüber dem Gußeisen mit Lamellengraphit veränderten mechanischen Eigenschaften des duktilen Gußeisens machen sich an der Baustelle praktisch nur in zwei Punkten bemerkbar, wenn man von dem geringen Gewicht einmal absieht:

1. Rohrschäden, die auf mechanische Beschädigung durch den Transport zurückzuführen sind, treten nicht mehr auf. Eventuelle Rohrschäden bei Graugußrohren haben zu 90 % hierin ihre Ursache.
2. Beim Schneiden der duktilen Gußrohre macht sich die hohe Werkstoffzähigkeit bemerkbar. Das vom Graugußrohr her bekannte Abkreuzen mit Hammer und Meißel wird zu zeitraubend. Auch der Rollenschneider mit den bisherigen bei Graugußrohren üblichen Schneidrädchen ist nicht mehr gut geeignet. Wenn dagegen Spezial-Schneidroller für duktile Gußrohre — diese kerben zuerst tief ein und drücken dann den Werkstoff auseinander — angewendet werden, so ist auch der bewährte Rollenrohrschneider gut einzusetzen. Weiterhin sind alle auf dem Markt befindlichen Rohrsägen, Trennscheiben sowie Fräswerkzeuge zum Trennen von duktilen Gußrohren ohne Schwierigkeiten anwendbar.

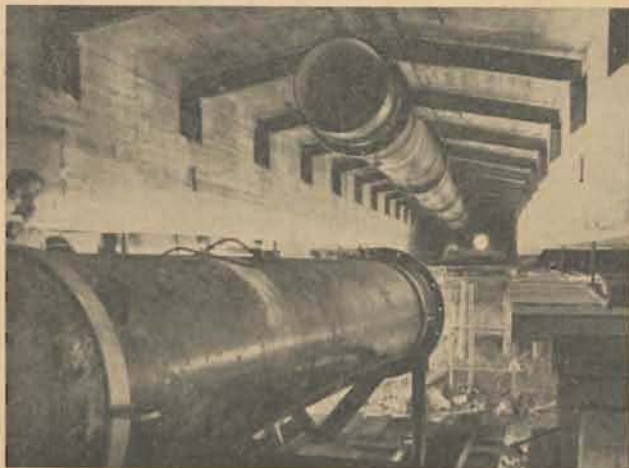


Bild 5: Wasserleitung NW 600 mm unter einer Flußbrücke

Bei zementmörtel ausgekleideten duktilen Gußrohren ist das Trennen mit einer Rohrsäge insofern etwas problematisch, als durch die Schmirgelwirkung des Zementmörtels ein höherer Werkzeugverschleiß verursacht wird. Das kann man vermeiden, indem man die Säge so einstellt, daß nur die Gußwanddicke durchsägt wird, ohne den Zementmörtel zu durchtrennen. Der Zementmörtel bricht beim letzten Durchtrennen der gußeisernen Wand von selbst an der gleichen Stelle. Bei Verwendung von Trennscheiben braucht man diese Rücksicht nicht zu nehmen. Auch der Rollenschneider mit Spezialschneidrädchen ist für das Trennen von duktilen Rohren mit Zementmörtel ausgekleidung geeignet. Hier reißt der Zementmörtel ebenfalls an der gleichen Stelle, an der die Gußwand abgetrennt wird.

In Notfällen, z. B. bei Reparaturen, bei denen es im besonderen Maße auf die Kürze der Zeit ankommt und wo keine geeigneten Geräte zum Rohrschneiden gerade zur Hand sind, kann man duktile Gußrohre auch mit dem Schneidbrenner autogen abbrennen. Man erhält dabei zwar keinen glatten Schnitt, sondern die Schneidstelle sieht etwas wellig und unansehnlich aus. Da diese Stelle aber wieder in eine Muffe eingeführt und sie hier weder von außen noch von innen beansprucht wird und die Dichtheit der Verbindung nicht beeinflußt, ist das Aussehen der Schneidstelle praktisch ohne Belang. Durch die Wärmeein-

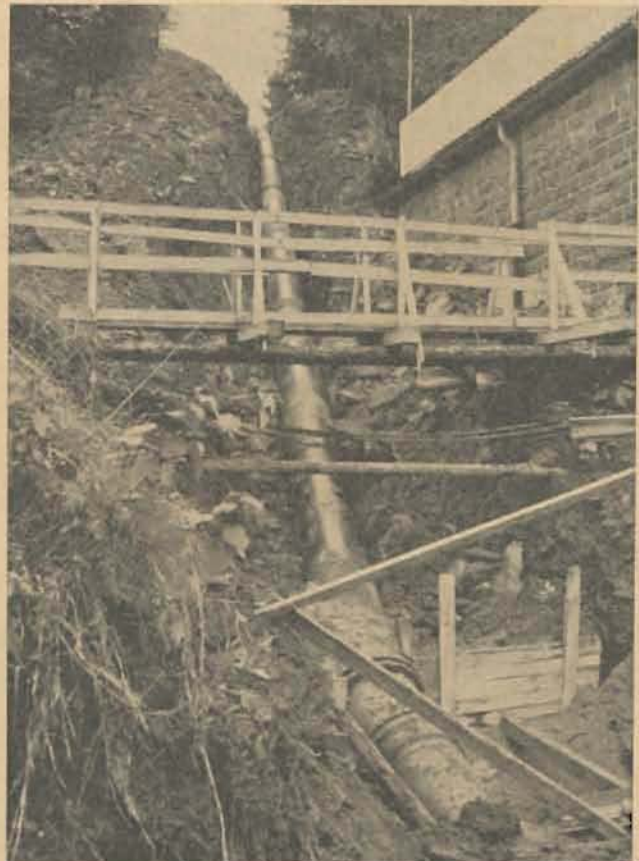


Bild 6: Pumpendruckleitung NW 500 mm für einen max. Betriebsdruck von 25 atü

wirkung beim autogenen Schneiden tritt im Bereich der Schnittstelle eine Gefügeveränderung ein. Es entsteht ein sog. Mischgefüge, in dem der Graphit in kugelförmiger und lamellarer Form vorliegt. Damit ändern sich auch die Materialeigenschaften, die dann etwa zwischen denen vom Grauguß und duktilem Gußeisen liegen. Der Bereich, in dem diese Gefügeveränderungen eintreten, ist klein. Er erstreckt sich über etwa 10 mm von der Schnittstelle entfernt. Wenn man diesen Umstand kennt und berücksichtigt, d. h. das neue Spitzende nicht durch starken Stoß oder Schlag beschädigt, sind keine nachteiligen Auswirkungen zu befürchten.

Beim Trennen von duktilen Rohren größerer Nennweiten kann es in Einzelfällen vorkommen, daß das Rohr an der Schnittstelle leicht oval ist, so daß Schwierigkeiten bei der Muffenverbindung auftreten können. Da das duktile Gußrohr elastische und plastische Verformungen erlaubt, kann man sich an der Baustelle damit helfen, daß man das Rohr durch innen angelegte hydraulische Pressen (z. B. Lucas) oder mechanisch zu betätigende Wagenheber wieder rund drückt. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Verformung über den elastischen in den plastischen Bereich gehen muß.

Die Gußrohrhersteller sind auf Anforderung bereit, Muffenpaßrohre und Glattrohre, die man beim Einbau von Doppelmuffenformstücken braucht, in unterschiedlichen Längen ohne Aufpreis mitzuliefern. Hierdurch kann man das Trennen von Rohren an der Baustelle zum großen Teil vermeiden.

Bei der Anwendung duktiler Gußrohre in den vergangenen 10 Jahren sind nachteilige Erfahrungen überhaupt nicht aufgetreten, während die Vorteile und der Fortschritt jedem Verbraucher sehr schnell augenscheinlich wurden. Diese Erfahrungen sprachen sich in den Verbraucherkreisen schnell herum, und die daraufhin bei den Rohrherstellern eingehenden Lieferwünsche konnten von diesen zeitweise nur mit großen Mühen und Anstrengungen erfüllt werden. Da der Trend ganz eindeutig zur verstärkten bis ausschließlichen Anwendung von duktilen Gußrohren erkennbar war, haben sich die Rohrhersteller hierauf eingestellt bzw. sind zur Zeit damit beschäftigt, um der sich laufend vergrößernden Nachfrage nach duktilen Gußrohren nachkommen zu können.

Zusammenfassung:

Das bekannte und bewährte Rohr aus Gußeisen mit Lamellengraphit hatte neben seinen unumstrittenen Vorzügen auch Nachteile, die mit der Anwendung des duktilen Gußeisens als Rohrwerkstoff unter Beibehaltung der anderen Vorteile ausgeschaltet werden. Ein Rohr mit nahezu idealen Eigenschaften ist entstanden. Anwendung in der Bundesrepublik seit etwa 1956. Anfänglich Anwendung in erster Linie nur für Leitungen mit großen Beanspruchungen und hohem Sicherheitsbedürfnis, wie z. B. Gasleitungen, Dükern, Brückenleitungen usw.



Bild 7: Wasserleitung NW 250 mm auf Betonstützen parallel zu einer Bundesstraße

Die Verwendung von duktilen Gußrohren hat stark zugenommen. Sie wird dadurch begünstigt, daß Bau-längen, Abmessungen und Muffenverbindungen unverändert sind und an der Baustelle keine Um-gewöhnung nötig ist. Die besonderen Materialeigen-schaften machen sich bei der Verlegung nur beim Rohrschneiden bemerkbar, wobei keinerlei Schwierigkeiten auftreten. Sonst wirken sie sich auch nur positiv dadurch aus, daß Transportschäden und damit verbundene Rohrschäden entfallen.

Verbindungszubehörteile und Formstücke werden zur Zeit in der Regel aus Gußeisen mit Lamellengraphit hergestellt. Von der Anwendung her bestünde keine Notwendigkeit zur Änderung. In späteren Jahren werden aus Gründen der Vereinheitlichung sicher auch diese Teile aus duktilem Gußeisen gefertigt. In den vergangenen 10 Jahren hat das Rohr aus duktilem Gußeisen bei der Anwendung nur Vorteile zu erkennen gegeben. Seine Verwendung im großen Um-fang bei Wasser- und Gasleitungen hat eingesetzt und wird sich noch weiter verstärken.



GUSSROHRE

unverwüstlich

GUSSROHRE

Wenn man das Wort GUSS buchstabiert und damit Rohrqualitäten meint, dann hört sich das so an: G-gediegen, U-unverwüstlich, S-solide, und S-sicher. Denn, was man auch sagt über Gußrohre, man bleibt beim Hauptplus „Sicherheit“ hängen. Wo die Korrosion es schwer hat, wird die Lebens-

dauer der Rohrleitung nicht nach Jährchen, sondern nach vielen Jahrzehnten, nach Generationen gemessen. Dazu kommen die beachtlichen Festigkeiten. Und die leichte Verlegung. Die absolut dichten, beweglichen Verbindungen. Und schließlich die Wirtschaftlichkeit. Weil Gußrohre, was auch kommt, künftige Belastungen aushalten. Fachleute meinen: Etwas Gutes ist immer modern.