

FGR (23)

GUSSROHR-TECHNIK



**Informationen
für das Gas- und Wasserfach**

INHALT

| | |
|---|----------|
| Sicherheitsaspekte beim Abwassertransport durch Wassergewinnungsgebiete — Betrachtung des duktilen Gußrohr-Systems Dipl.-Ing. Bernd Hartung | Seite 4 |
| Dichtheitsprüfungen von Abwasserkanälen mit Unterdruck (Vakuum) Dr.-Ing. Hansgeorg Hein Dipl.-Ing. Axel Schwarz Dipl.-Ing. Wolfgang Wagner | Seite 9 |
| Dradenau-Düker mit duktilen Gußrohren Dipl.-Ing. Peter Dammann Dr.-Ing. Jürgen Rammelsberg | Seite 16 |
| Verhalten von Dichtringen in Gußrohr-Abwasserleitungen — auch bei CKW-Belastung Ing. (grad.) Horst Nöh Dr. rer. nat. Werner Wolf | Seite 21 |
| Auskleidung von duktilen Gußrohren mit Tonerdeschmelzzementmörtel für den Abwassertransport Alain Mathieu Michel Langenfeld Dr.-Ing. Jürgen Rammelsberg | Seite 29 |
| Einsatz von duktilen Gußrohren bei Abwasseranlagen Dipl.-Ing. Werner Brübach | Seite 36 |
| Mechanisch-technologische und bruchmechanische Untersuchungen an duktilem Gußeisen Dr.-Ing. Dieter Blind Dr.-Ing. Hans Kockelmann Dr.-Ing. Kurt Reeh | Seite 40 |
| Berechnung von Flanschen aus duktilem Gußeisen Dr.-Ing. Hansgeorg Hein | Seite 47 |

Titelbild:

Verlegung einer Freispiegel-Abwasserleitung DN 400 im ufernahen Bereich der Lahn (unter Hochwasserlinie)



Problemlösungen durch duktile Gußrohre

Hauptthema dieses Heftes ist die Verwendung duktiler Gußrohre bei der Abwasserableitung. Dieses Thema drängt sich in letzter Zeit immer mehr in den Vordergrund, ganz einfach deswegen, weil die besonderen Eigenschaften des duktilen Gußrohres den erheblich gestiegenen Anforderungen an Abwasserleitungen entgegenkommen.

Das reicht von der Dichtheit der Rohrverbindung bis zur Diffusionsdichtheit des gußeisernen Werkstoffes, auch bei CKW-Belastung; es würde zu weit führen, hier alle Argumente aufzuzählen.

Andererseits kann ein Beitrag über Abwasserleitungen durchaus auch für Anwender duktiler Gußrohre für Wasser oder andere Medien interessant sein; auch für Abwasser benutzt man mehr und mehr Druckleitungen, größere Dimensionen und Überlandleitungen. Die Grenzen sind fließender geworden.

Deshalb haben wir uns entschlossen, in diesem Heft 6 Beiträge zu veröffentlichen, die sich primär mit duktilen Gußrohren für Abwasserleitungen befassen, bei näherem Hinsehen jedoch durchaus Problemlösungen darstellen, die so oder ähnlich auch im Wasserfach vorkommen könnten.

Apropos Rohrverbindung: Rund 20 Millionen TYTON®-Muffenrohre wurden bisher in der Bundesrepublik verlegt. In dieser großen Zahl spiegelt sich die Einfachheit der Verlegung und die dauerhafte Zuverlässigkeit dieser Rohrverbindung. Und doch gibt es auch Anwendungsfälle, wo z. B. der Flansch die bestmögliche Verbindung ermöglicht.

Und deshalb ist es durchaus angebracht, in diesem Heft auch einmal etwas über Flansche zu veröffentlichen (Untersuchungen an Flanschen Seite 40, Berechnung von Flanschen Seite 47).

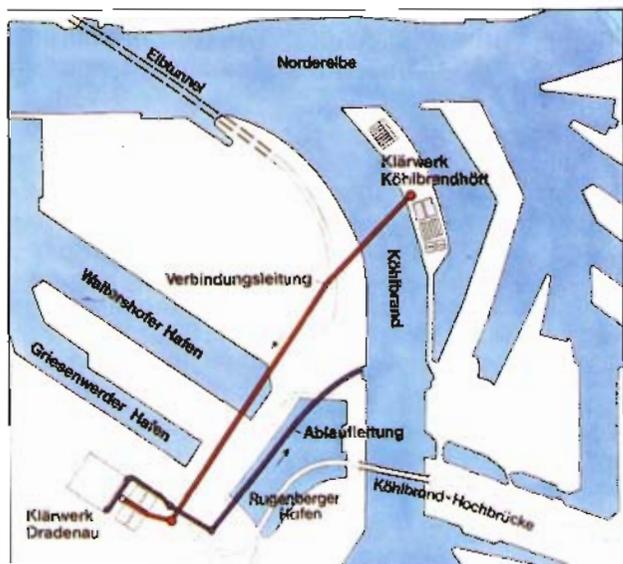
Zuvor aber bringt Ihnen dieses Heft eine Fülle anderer Informationen, z. B. über

Abwasser durch Wasserschutzgebiete

Manchmal ist es unvermeidlich, eine Abwasserleitung durch ein Wasserschutzgebiet zu führen. Gußrohrleitungen bieten da besonders gute Voraussetzungen für Dichtheit und damit Sicherheit. Mit den Aspekten solcher Leitungsführung und der Beschreibung zweier solcher Leitungen befaßt sich die Arbeit ab Seite 4

Einfache Wiederholungsprüfungen

Eine Druckprüfung ist teuer und aufwendig. Ersetzt man sie durch eine Unterdruckprüfung, sinken Aufwand und Kosten. Der Bericht über die umfangreichen Versuchsreihen an verlegten Leitungen und die Theorie dieses Verfahrens ab Seite 9



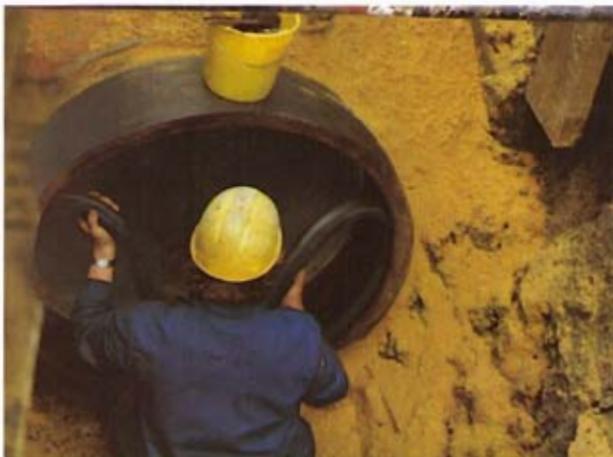
Abwasser unterm Hafen

Die Entsorgung der Stadt Hamburg bereitet durch die großen und weitverzweigten Wasserflächen von Elbe und Hafen besondere Probleme. Eine Verbundleitung zur Erweiterung eines Klärwerkes konnte deshalb nur in 85m Tiefe verlegt werden. Es versteht sich von selbst, daß bei der Erstellung eines solchen Bauwerkes besondere Schwierigkeiten zu bewältigen sind.

Wie sie gemeistert wurden, ab Seite 16

Das Rohr ist dicht — und die Dichtung?

Unsere moderne Chemie hat viele aggressive und gefährliche Giftstoffe geschaffen, deren Entsorgung manchmal nicht einfach ist, wie z. B. Chlorkohlenwasserstoffe (CKW). Unsere moderne Chemie stellt uns aber auch Materialien für die Dichtringe zur Verfügung, die solchen Schadstoffen gewachsen sind. Mit ihnen beschäftigt sich der Beitrag ab Seite 21



IMPRESSUM

Herausgeber:

Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre
Konrad-Adenauer-Ufer 33
5000 Köln 1
Tel. (02 21) 12 50 64

Erscheinungsweise:

jährlich

Copyright:

Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre
Nachdruck mit Quellenangabe erlaubt
Belegexemplar erbeten

Druck:

Druckhaus Lübbe, Bergisch Gladbach, März 1988

Sicherheitsaspekte beim Abwasser- transport durch Wasser- gewinnungsgebiete — Betrachtung des duktilen Gußrohr-Systems

Von Bernd Hartung

1. Ausgangslage und Fragestellung

Das Sicherheitsdenken in Umweltfragen hat in den vergangenen Jahren mehr und mehr an Bedeutung gewonnen.

Aus Einsicht, aber auch unter dem Druck politischer Gruppierungen und aufmerksamer Bürger sehen sich Industrie, Behörden und Verbände vor die Situation gestellt, wirtschaftlichen Interessen umweltschutzpolitische Belange entgegenhalten zu müssen.

Vor der Abwasserentsorgung hat diese Entwicklung nicht haltgemacht.

Daher soll mit dieser Arbeit das duktile Gußrohr-System für den sicheren Transport von Abwasser durch Wassergewinnungsgebiete vorgestellt werden.

Zunächst wird untersucht, welche gesetzlichen Forderungen beim Transport von wassergefährdenden Stoffen (wie z. B. Abwasser) durch Wassergewinnungsgebiete zu erfüllen sind. Es kommt darauf an, das duktile Gußrohr-System an diesen Forderungen zu messen.

2. Auswirkungen von Undichtheiten

Beim Bau von Kanalisationsnetzen vor etwa 100 Jahren war man über die beobachtete Grundwasserspiegelsenkung erfreut, plante sogar poröse Rohrwandungen, um das installierte Netz als Drainage zu nutzen. Schon bald erkannte man die erheblichen Nachteile, die aus dieser Grundwasserinfizierung folgten.

Seither ist man bemüht, dichte Leitungen auszuführen. Die Nachteile undichter Leitungen sind vielschichtig.

In der Abwasserentsorgung ist das Eindringen von Grundwasser in die Sammler unerwünscht, weil die größere Wassermenge die Betriebskosten der Kläranlage z. T. beträchtlich erhöht. Die Infiltration von Abwasser in den Untergrund wird, weil es ein unkontrollierter Vorgang ist, zu einer Verschlechterung der Grundwasserqualität führen.

Eine direkte oder indirekte Gefährdung der Bevölkerung kann, eine Erhöhung der Betriebskosten wird deshalb immer die Folge sein.

Im Bereich von Wassergewinnungsgebieten kann eine Beeinträchtigung der Grundwasserqualität durch Abwasser nicht hingenommen werden.

3. Gesetzliche Forderungen beim Abwassertransport durch Wasserschutzgebiete

3.1 Auflistung von Gesetzen und behördlichen Forderungen/Empfehlungen

— Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes (Wasserhaushaltsgesetz — WHG) — September 1986 [2]

— entsprechende Ländergesetze

— Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten des Landes Baden-Württemberg:

Heft 13: Leitfaden für die Beurteilung und Behandlung von Grundwasserverunreinigungen durch leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe (1983)

Heft 15: Leitfaden: Umgang mit leichtflüchtigen chlorierten und aromatischen Kohlenwasserstoffen (1984) [6]

„Anforderungen an Abwasserkanäle in Wasserschutzgebieten — Engere Schutzzone (Zone II)“ (Januar 1984) [7]

— Schutzgebietserlaß des Innenministeriums des Landes Baden-Württemberg (Januar 1969)

— Musterverordnung für Wasserschutzgebiete (MVO)

— DVGW-Arbeitsblatt W 101: Schutzgebiete für Grundwasser

3.2 Auswertung der Auflagen — Beschreibung der Systeme

Das Gebiet um einen Brunnen für die Trinkwassergewinnung wird in die Schutzzonen I, II und III gestaffelt.

Schutzzone I umfaßt einen sehr engen Bereich um die Brunnenfassung, der eingezäunt ist und nur von befugten Personen betreten werden darf.

Die engere Schutzzone (Zone II) ist der Bereich, in dem versickernde Schadstoffe 50 Tage benötigen, bis sie das Brunnenwasser beeinträchtigen können. Somit wäre im Schadensfall ausreichend Zeit gegeben, den verseuchten Boden abzutragen. Die Musterverordnung für Wasserschutzgebiete (MVO) spricht ein grundsätzliches Verbot für Abwasserkanäle in der engeren Schutzzone (Zone II) aus.

Für die weitere Schutzzone (Zone III), auf die in dieser Arbeit nicht näher eingegangen werden soll, gelten weniger strenge Auflagen und Verbote als für Zone II.

Für den Ausnahmefall, daß aufgrund der örtlichen Gegebenheiten eine Befreiung von der

Schutzgebietsverordnung ausgesprochen wird, werden besondere Schutzmaßnahmen und Vorkehrungen bei Planung, Ausführung und Prüfung der Kanäle gefordert, wie sie in [7] zusammengefaßt sind.

Dabei werden als schadensfreie Ausführungsarten angenommen und gleichwertig nebeneinandergestellt:

- einwandige Abwasserkanäle, die unter Beachtung besonderer Anforderungen verlegt werden
- Abwasserkanäle in einem dichten Schutzrohr (Doppelrohr).

4. Untersuchung des duktilen Gußrohres im Hinblick auf die Anforderungen an Abwasserrohre in Trinkwasserschutzzonen [7]

a) Forderungen

Dauerhafte Dichtheit, Festigkeit und günstiges Abriebverhalten des Kanals sowie der Dichtungen; Beständigkeit gegen häusliche und industrielle Abwässer, aggressive Dämpfe sowie gegen das umgebende Erdreich und Grundwasser.

b) Eigenschaften des duktilen Gußrohres nach DIN 19 690

Rohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen werden werkseitig mit 10 bar Wasserinnendruck geprüft und sind bis 6 bar zugelassen. Zug- und Druckfestigkeit sowie Arbeitsvermögen (nach Kottmann [4]) und Verformbarkeit des duktilen Gußeisens liegen z. T. deutlich über den Werten anderer Rohrmaterialien und erfüllen höchste Ansprüche. Für höhere Drücke können Rohre nach DIN 28 600 eingesetzt werden.

Die Innenauskleidung duktiler Gußrohre kann dem durchzusetzenden Abwasser angepaßt werden.

Im einzelnen stehen zur Auswahl:

- Sulfatbeständiger Hochofenzementmörtel (HOZ) für den Bereich pH = 6,5 bis 12
- Säurebeständiger Tonerdeschmelzzementmörtel (TSZ) für pH = 5 bis 9, kurzzeitig auch ab pH 4
- Quarzsandgefülltes Polyethylen (QPE) für pH = 2 bis 12
- Epoxidharzmaterial (Epoxi) für pH = 1 bis 14

Auch der Außenschutz der Rohre kann den Gegebenheiten exakt angepaßt werden; je nach Aggressivität des anstehenden Bodens und Grundwassers stehen Schutzarten nach DIN 30 674 Teil 1 bis Teil 4 zur Verfügung:

- Bitumenbeschichtung
- Verzinkung mit bituminöser Beschichtung
- Zementmörtel-Umhüllung
- PE-Umhüllung bzw. PE-Folienumhüllung.

Dadurch wird ein wirkungsvoller Korrosionsschutz der Rohre selbst in stark aggressiven Böden erzielt.

Für die Materialauswahl sind bei der Planung zu berücksichtigen:

- Baugrundverhältnisse
- Einbaumöglichkeiten
- Verkehrsbelastungen
- Betriebsweisen
- Kontrollmöglichkeiten.

Bild 1: Verlegung duktiler Gußrohre DN 1400 bei der Abwasserentsorgung Mittleres Bliestal



Bei all diesen Auswahlkriterien muß das duktile Gußrohr als gut geeignet bewertet werden,

- weil die Festigkeiten, das Arbeitsvermögen und die Längsverschieb- und Abwinkelbarkeit der Verbindung (TYTON®-Muffe) den sicheren Betrieb der Leitung auch in widrigsten Bau- grundverhältnissen gewährleistet;
- weil das Rohrsystem „baustellenfreundlich“ ist und daher auch unter ungünstigen Bedin- gungen eingebaut werden kann;
- weil die Rohre hohen Verkehrslasten unter- worfen werden können, z. B. bei nur 0,6 m Überdeckung für SLW 60 geeignet.

5. Untersuchung des duktilen Gußrohres im Hinblick auf die besonderen Anforderungen an einwandige Abwasserkanäle

a) Forderungen

Die Rohre sind — auch beim Betrieb des Abwas- serkanals als Freispiegelleitung — für einen Nenndruck von 1,6 bar auszulegen und müssen einem Prüfdruck von 2,4 bar standhalten.

b) Eigenschaften des duktilen Gußrohres

Duktile Gußrohre und Formstücke nach DIN 19 690 sind bis PN 6 zugelassen. Sie müssen der herstellerseitigen Prüfung von 10 bar Innendruck standhalten.

Diese Forderung wird also mit mehrfacher Sicherheit erfüllt.

- Die allgemeinen Forderungen an Standsi- cherheit und Einbaubedingungen sind so for- muliert, daß sie auch von Materialien mit deutlich schlechterem Verformungsverhalten und geringerem Arbeitsvermögen erfüllt wer- den.

Wegen seines günstigen Verhaltens ist duktil- es Gußeisen gegenüber allen anderen Mate- rialien mit hohen Reserven ausgestattet und daher besonders geeignet.

- Die Forderung nach besonderer werkseitiger Prüfung der für diesen Einsatzfall vorgesehe- nen Rohre ([7] Abschnitt 3.1.2) wird sinnge- mäß schon dadurch entsprochen, daß jedes Rohr gemäß DIN 19690 im Werk mit 10 bar Wasserinnendruck geprüft wird und die genormte TYTON®-Verbindung ihre Funk- tionstüchtigkeit seit über 30 Jahren millionen- fach unter Beweis gestellt hat. Auch die in [7] geforderte besondere Kennzeichnung der Rohre ist bezogen auf duktile Gußrohre somit unnötig.

Aus diesen Beobachtungen ist festzuhalten, daß Rohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen allen in [7] gestellten Anforderungen entspre- chen, ja sogar über große Sicherheitsreserven verfügen, während unbewehrte Betonrohre nach DIN 4032 von vornherein ausgeschlossen wer- den.

Nachfolgend werden zwei Ausführungsbeispiele für einwandfreie Abwasserkanäle aus duktilen Gußrohren in Wasserschutzgebieten dargestellt;

dabei werden die Gründe untersucht, die zur Wahl dieser Ausführung führten.

6. Ausführungsbeispiele für einwandige Ab- wasserkanäle aus duktilen Gußrohren bei Durchquerung von Wasserschutzgebieten

6.1 Abwassersammler als Druckleitung „Obe- res Mettetal“

Für den Abwasserverband „Oberes Mettetal“ im Enzkreis war ein Sammler zu planen, der das Abwasser dreier Gemeinden einer gemeinsa- men Kläranlage zuführte. Dabei war der Samm- ler wegen topographischer Gegebenheiten auf einer Länge von 800 m durch die Zone II eines Wasserschutzgebietes zu führen.

Nach ausführlichen Voruntersuchungen, die Aufschluß über Bodenschichtung und Grund- wasserströmungsverhältnisse sowie über Aggressivität des anstehenden Bodens und des Grundwassers geben sollten, wurde aus zwei Trassenalternativen — eine dritte war zuvor ver- worfen worden — die kostengünstigere ausge- wählt. Die erwähnte Variante war am weitesten von den beiden Brunnenfassungen entfernt und ließ geringere Kosten für die Erdarbeiten erwar- ten.

Um den erhöhten Sicherheitserfordernissen Rechnung zu tragen, wurde durch die Zone II eine Leitung DN 400 aus duktilen Gußrohren, innen zementiert, außen verzinkt und bitumi- niert, verlegt. Lupatsch [5] führt aus, daß duktile Gußrohre den gestellten Anforderungen an Festigkeit, Abriebverhalten und Dichtheit am ehesten gerecht wurden. Das gute Korrosions- verhalten, erreicht durch exakte Anpassung des Korrosionsschutzes an die Aggressivität des anstehenden Bodens, die hohe Festigkeit und Verformbarkeit sowie die Verlegetechnik hatten den Ausschlag gegeben; der günstige Ange- botspreis hatte die Wahl des duktilen Gußrohres erleichtert. Die Leitung wurde 1980 in Betrieb genommen. Bislang sind keine Beanstandungen bekannt.

6.2 Abwassersammler „Mittleres Blietal“

Zur Trinkwasserversorgung von Teilen der Stadt Saarbrücken und einiger Gemeinden des Blietales wurden in den 60er Jahren im Blietal (zwi- schen Wolfersheim und Zweibrücken) 28 Brun- nen mit einer Gesamtförderung von 700 m³/h installiert; siehe Bild 2. Zur langfristigen Sicher- stellung der Trinkwasserqualität dieser Region hatte der Abwasserverband Saar (AVS) unter- halb Wolfersheim eine zentrale Kläranlage gebaut. Der Abwasserhauptsammler Bierbach, der die Gemeinde an die Kläranlage Wolfers- heim anschließt, muß die engere Schutzzone (Zone II) mehrerer Brunnen queren.

Die Nennweiten reichen von DN 200 (Pumpen- druckleitung) bis DN 1400; die Rohre der Nenn- weite DN 1400 sind als Stauraum mit der Funk- tion eines Regenüberlaufbeckens ausgelegt.

Es wurde über große Strecken eine gemeinsame Trasse für Abwassersammler und Trinkwasser-

versorgungsleitung gewählt, so daß Kosten eingespart wurden.

Der Bauherr des Abwassersammlers — AVS —, der Zweckverband Wasserversorgung Bliestal sowie die Aufsichtsbehörde — Landesamt für Umweltschutz — entschieden sich „nach Abwägung über Sicherheit, Kosten, Kontroll- und Verlegemöglichkeit“ [8] für den einwandigen Abwasserkanal, wobei wegen der guten Erfahrungen aus anderen Projekten duktile Gußrohre gewählt wurden.

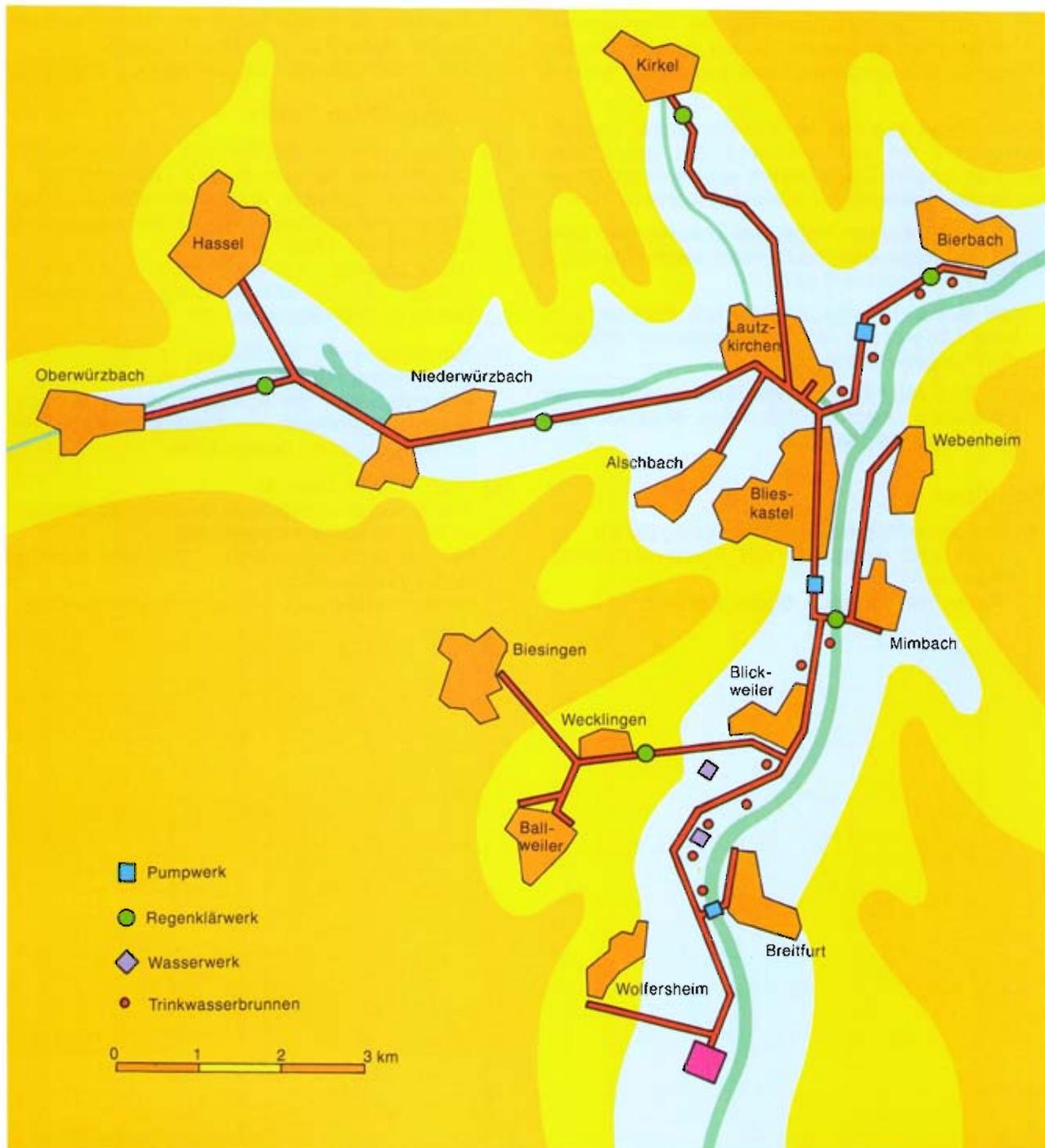
Wolf und Jung weisen in [8] auf Erfahrungen mit duktilen Gußrohren im Abwassertransport bei der Ausführung von Sonderprojekten hin:

– Leitungen in Dämmen mit Überdeckungshö-

hen von mehr als 40 m bzw. bei extrem niedrigen Überdeckungen im Straßenkörper von ca. 20 cm und zusätzlichen Verkehrslasten,

- Steilhangleitungen mit Fließgeschwindigkeiten von ca. 15 m/s,
- Leitungen in instabilen Böden,
- Dükerleitungen,
- Abwasserdruckleitungen,
- Leitungen bei hohem Grundwasserstand, dabei Dichtheit der Verbindung gegen Grundwassereintritt,
- Leitungen im Grundwasserschutzgebiet, dabei Dichtheit der Verbindung gegen Abwasseraustritt.

Bild 2: Abwasserentsorgung Mittleres Bliestal



7. Auswertung und Zusammenfassung

Rohrleitungen aus duktilem Gußeisen erreichen einen hohen Grad an Betriebssicherheit: Festigkeit, Dehn- und Arbeitsfähigkeit des Rohrwerkstoffes, Korrosionsschutz von innen und außen, große Baulängen (damit geringe Anzahl von Verbindungen) sowie die Längsverschieb- und Abwinkelbarkeit der Verbindung stellen Eigenschaften dar, die hohen Anforderungen gerecht werden. Auch das unkomplizierte — „baustellenfreundliche“ — Verlegeverfahren wirkt sich günstig aus, da Einbaufehler vermieden werden.

Die behördlicherseits formulierten Anforderungen [7] an Rohrmaterialien für einwandige Abwasserkanäle in der engeren Schutzzone von Trinkwasserschutzgebieten sind so aufgestellt, daß sie auch von erheblich leistungsschwächeren Rohrmaterialien zu erfüllen sind. Das bedeutet für das duktile Gußrohr, daß es — gemessen an diesen Forderungen — mit hohen Sicherheitsreserven eingesetzt und betrieben werden kann.

Somit bietet das duktile Gußrohr ideale Voraussetzungen für die Erfüllung der genannten Anforderungen. Das ohnehin sehr geringe Schadensrisiko kann weiter minimiert werden, indem

- zur Freigabe der verlegten Leitung eine aussagekräftige Dichtheitsprobe nach DIN 4279 Teil 3 durchgeführt wird,
- die Wiederholungsprüfung mit Wasser, Luft bzw. Unterdruck in den geforderten Abständen vorgenommen wird,
- ein Korrosionsschutz gewählt wird, der der jeweiligen Aggressivität von Medium und Boden angemessen ist.

Schrifttum

- [1] Abwassertechnische Vereinigung (ATV)
Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik,
Band I und II,
Verlag Wilh. Ernst + Sohn, Berlin 1967

- [2] Der Bundesminister für Justiz
Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes
(Wasserhaushaltsgesetz),
Bundesgesetzblatt Teil II, Nr. 50, Jahrgang
1986,
Bundesanzeiger-Verlagsgesellschaft mbH,
Bonn
- [3] DIN-Taschenbuch Nr. 50
Abwasser-Normen 2
Beuth-Bauverlag GmbH, Wiesbaden; 1978
- [4] Kottmann, A.
Werkstoff-Fragen bei erdverlegten Druck-
rohrleitungen für Gas und Wasser,
das Gas- und Wasserfach (gwf Gas/Erdgas)
112. Jahrgang 1971, S. 474 f.,
Verlag R. Oldenbourg, München 1971
- [5] Lupatsch, G.
Abwassersammler durch ein Wasserschutz-
gebiet, ausgeführt als Druckleitung,
3R international, 20. Jahrgang, Heft 5/81,
S. 243 f.,
Vulkan-Verlag, Essen
- [6] Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft,
Umwelt und Forsten, Baden-Württemberg
Leitfaden Umgang mit leichtflüchtigen chlo-
rierten und aromatischen Kohlenwasserstof-
fen, Heft 15; 1985
Bezugsquelle: Landesanstalt für Umwelt-
schutz Baden-Württemberg, Griesbach-
straße 3, 7500 Karlsruhe 21
- [7] Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft,
Umwelt und Forsten, Baden-Württemberg
Anforderungen an Abwasserkanäle in Was-
serschutzgebieten — Engere Schutzzone
(Zone II), Stand: Januar 1984
- [8] Wolf, A. und Jung, M.
Abwasserleitungen aus duktilen Gußrohren
in Trinkwasserschutzgebieten
FGR-Informationsschrift Gußrohr-Technik,
Heft 20, März 1985
Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre, Köln

Dichtheitsprüfungen von Abwasserkanälen mit Unterdruck (Vakuum)

Von Hansgeorg Hein,
Axel Schwarz
und Wolfgang Wagner

1. Allgemeines

Der vorliegende Aufsatz beschreibt Grundlagen, Theorie und Feldversuche zur Prüfung von Abwasserkanälen mit Unterdruck. Das Verfahren wurde in Zusammenarbeit mit dem Abwasserverband Saar (AVS) und dem Ingenieurbüro Dumont, Neunkirchen, entwickelt, um eine schnelle und auch sichere Dichtheitsprüfung auch im Wiederholungsfalle durchführen zu können.

2. Stand der Technik

Abwasserkanäle sind nach DIN 4033 auf Dichtheit zu prüfen; das Prüfmedium ist Wasser, der Prüfdruck beträgt 0,5 bar an der tiefsten Stelle der Haltung. Dies gilt für alle Kanäle unabhängig vom Verlegeort. In Wasserschutzgebieten bestehen zusätzliche, regionale Festlegungen, so z. B. in Baden-Württemberg: Der Prüfdruck ist mit 0,5 bar wie in DIN 4033 festgelegt, jedoch muß er am höchsten Punkt der Haltung erreicht werden; Prüfmedium ist Wasser. Darüber hinaus werden neben der Prüfung bei der Inbetriebnahme Wiederholungsprüfungen alle 5 Jahre gefordert. Für das Saarland gilt 1 bar.

Eine Dichtheitsprüfung mit Luft oder Rauchgas wird nach ATV-Arbeitsblatt A 139, Abschnitt 5.3 nicht befürwortet, da

- keine Korrelation zwischen einer Prüfung mit Wasser und Luft bzw. Rauchgas und
- eine besondere Unfallgefahr bei Prüfungen mit Druckluft besteht.

Im folgenden wird untersucht, wie eine Dichtheitsprüfung mit Unterdruck hier Abhilfe schaffen kann.

3. Grundlagen

Dichtheitsprüfungen, insbesondere Wiederholungsprüfungen sollten schnell und ohne großen Aufwand durchgeführt werden können. Hier bietet eine Prüfung mit Luft wesentliche Vorteile gegenüber einer solchen mit Wasser. Bei der Prüfung mit Wasser sind folgende Nachteile einzukalkulieren:

- Lange Füllzeiten
- z. T. aufwendige Beschaffung des Wassers
- resultierend aus der langen Füllzeit, Standzeit bis zur Wassersättigung des Zementmörtels und Druckprobe erschwerte Rückhaltung des in dieser Zeit anfallenden Schmutzwassers.
- Mitbehandlung des Prüfwassers in der Kläranlage.

Diese Erschwernisse entfallen, wenn als Prüfmedium Luft verwendet wird, wobei eine Prüfung mit Unterdruck noch folgende zusätzliche Vorteile bietet:

- Die Unfallgefahr durch eine explodierende Haltung entfällt.
- Die Verschlußelemente können leichter und billiger ausgeführt werden.
- Widerlager entfallen.
- Flansche oder ähnliche Befestigungen am Rohr entfallen, da sich die Verschlüsse selbst ansaugen.
- Die Temperatur in der Haltung wird nicht beeinflusst, so daß sofort mit der Messung begonnen werden kann.
- Bei einem Unterdruck von 0,5 bar liegen die Ergebnisse in der gleichen Zeit vor wie bei 1 bar Überdruck in der Haltung (siehe Abschnitt 4).
- Anstehendes Grundwasser wird in die Leitung angesaugt, das entstehende Geräusch kann leicht geortet werden.

4. Theoretische Grundlagen

Es muß differenziert werden nach:

- 1) Grundwasserspiegel unterhalb Leckstelle
- 2) Grundwasserspiegel oberhalb Leckstelle

Formelzeichen

| | |
|-----------------|--|
| G_l | pro Zeiteinheit einströmende Luft (Massenstrom) |
| d | Lochdurchmesser des Lecks |
| p_i | (Unter)druck im Rohr |
| p_o | Atmosphärendruck |
| γ^o | spez. Gewicht der Luft |
| V_l | eingetretenes Luftvolumen |
| V_o | Volumen der untersuchten Haltung |
| t_l | Zeitspanne des Lufteintrittes |
| Δp_{il} | Druckabfall während der Zeit t_l |
| Q | pro Zeiteinheit eintretende Wassermenge |
| h_w | Grundwasserstand über der Leckstelle |
| γ_w | spez. Gewicht des Wassers |
| t_w | Zeitspanne des Wassereintrittes |
| Δp_{iw} | Druckabfall bei Wassereintritt in der Zeit t_w |

Zu 1) Grundwasserspiegel unterhalb Leckstelle

Durch ein Loch vom Durchmesser d strömt in ein Rohr in Abhängigkeit von Innendruck zu Außendruck folgender Luft-Massenstrom GI ein:

$$GI = 0,72 \cdot 10^{-3} \cdot d^2 \cdot (p_i/p_o)^{0,714} \sqrt{1-(p_i/p_o)^{0,286}} \quad (1)$$

Der Maximalwert für den Luftmassenstrom wird erreicht, wenn p_i/p_o den kritischen Wert von 0,528 erreicht; damit ergibt sich:

$$GI_{max} = 0,186 \cdot 10^{-3} \cdot d^2 \quad (2)$$

Dies gilt für alle $p_i/p_o \leq 0,528$, darüber gilt Formel (1).

Mit diesen Formeln läßt sich auch das in der Zeit t_l in die Haltung eintretende Luftvolumen berechnen.

$$VI = \frac{1}{\gamma^0} \cdot p_o/p_i \cdot GI \cdot t_l \quad (3)$$

bzw.

$$VI_{max} = 0,546 \cdot p_o/p_i \cdot d^2 \cdot t_l \quad (4)$$

Da VI_{max} bei der Unterdruckprüfung nur unwesentlich von der Maximalgeschwindigkeit abweicht, ist die Vereinfachung gerechtfertigt, daß $VI = VI_{max}$ gesetzt wird.

Die Druckänderung Δp_{il} in der Haltung errechnet sich dann zu

$$\Delta p_{il} = p_i \cdot VI/V_o \quad (5)$$

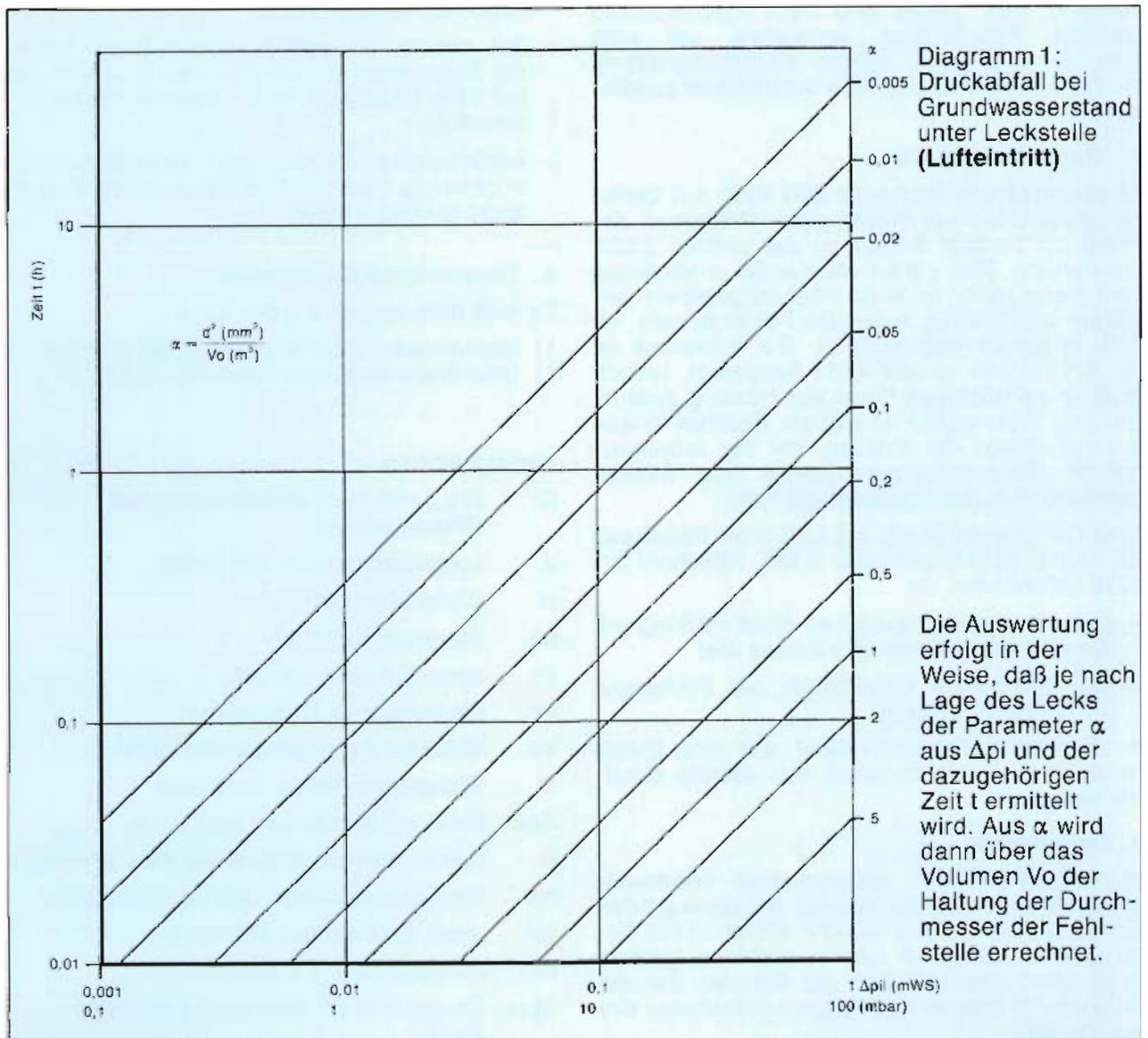
Somit erhält man:

$$\Delta p_{il} = 0,546 \cdot p_o/V_o \cdot d^2 \cdot t_l \quad (6)$$

für $p_o = 1$ bar wird:

$$\Delta p_{il} = 0,546 \cdot d^2 \cdot t_l/V_o \text{ (in bar)} \quad (7)$$

mit $d^2/V_o = \alpha$



$$\Delta p_{il} = 0,546 \cdot \alpha \cdot t_l \text{ (in bar)} \quad (8)$$

oder

$$\Delta p_{il} = 5,5 \cdot d^2 \cdot t_l / V_o \text{ (in m WS)} \quad (9)$$

bzw.

$$\Delta p_{il} = 5,5 \cdot \alpha \cdot t_l \text{ (in m WS)} \quad (10)$$

oder

$$\Delta p_{il} = 550 \cdot \alpha \cdot t_l \text{ (in mbar)} \quad (11)$$

Bei dem Unterdruck von 0,5 bar in der Haltung ist Formel (10) nur bei geringen Druckänderungen exakt gültig; siehe Formel (2) ff.

Zu 2) Grundwasserspiegel oberhalb Leckstelle

Das in das Loch einströmende Wasser läßt sich auf der Basis hydraulischer Gesetzmäßigkeiten wie folgt berechnen:

$$Q = \frac{3,14 \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \left[h_w + \frac{p_o - p_i}{\gamma_w} \right]} \quad (12)$$

damit wird:

$$\Delta p_{iw} = \frac{0,0075 \cdot d^2}{V_o} \cdot p_i \sqrt{\left[h_w + \frac{p_o - p_i}{\gamma_w} \right]} t \cdot t_w \quad (13)$$

mit $d^2/V_o = \alpha$

$$\Delta p_{iw} = 0,0075 \alpha \cdot p_i \sqrt{\left[h_w + \frac{p_o - p_i}{\gamma_w} \right]} \cdot t_w \quad (14)$$

Eine Optimierung ergibt einen Höchstwert von Δp_{iw} für

$$\frac{p_i}{\gamma_w} = \frac{2}{3} \frac{(p_o + h_w)}{\gamma_w} \quad (15)$$

$$\Delta p_{iw \max} = 0,12 \cdot \alpha \cdot t_w \quad (16)$$

Vergleich Luft – Wasser

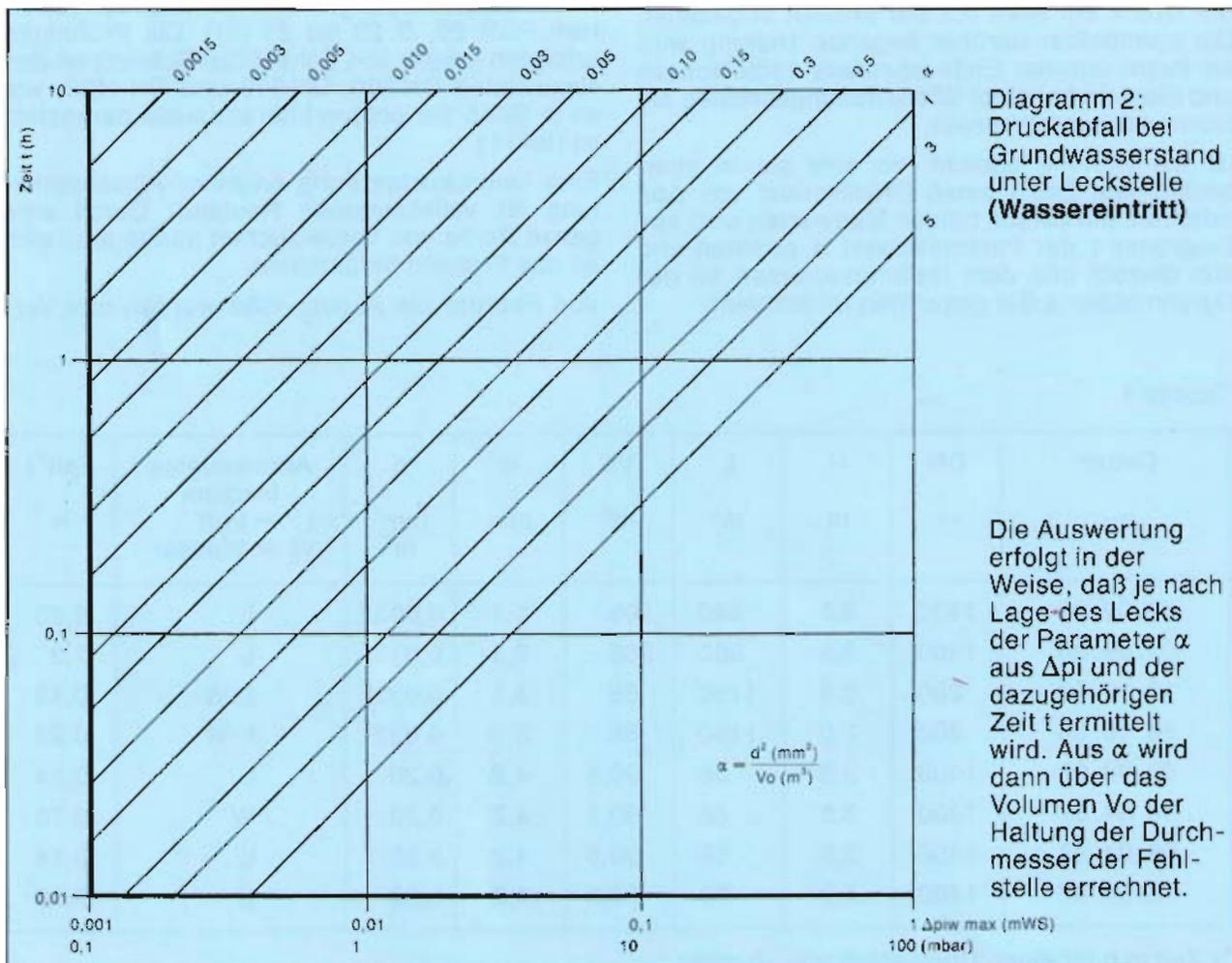
Druckverlust Luft:

$$\Delta p_{il} = 5,5 \cdot \alpha \cdot t_l \text{ (in m WS)} \quad (10)$$

Druckverlust Wasser:

$$\Delta p_{iw \max} = 0,12 \cdot \alpha \cdot t_w \text{ (in m WS)} \quad (16)$$

bei $\Delta p_{iw \max} = \Delta p_{il}$ wird somit $t_w/t_l = 5,46/0,12 = 45,5$



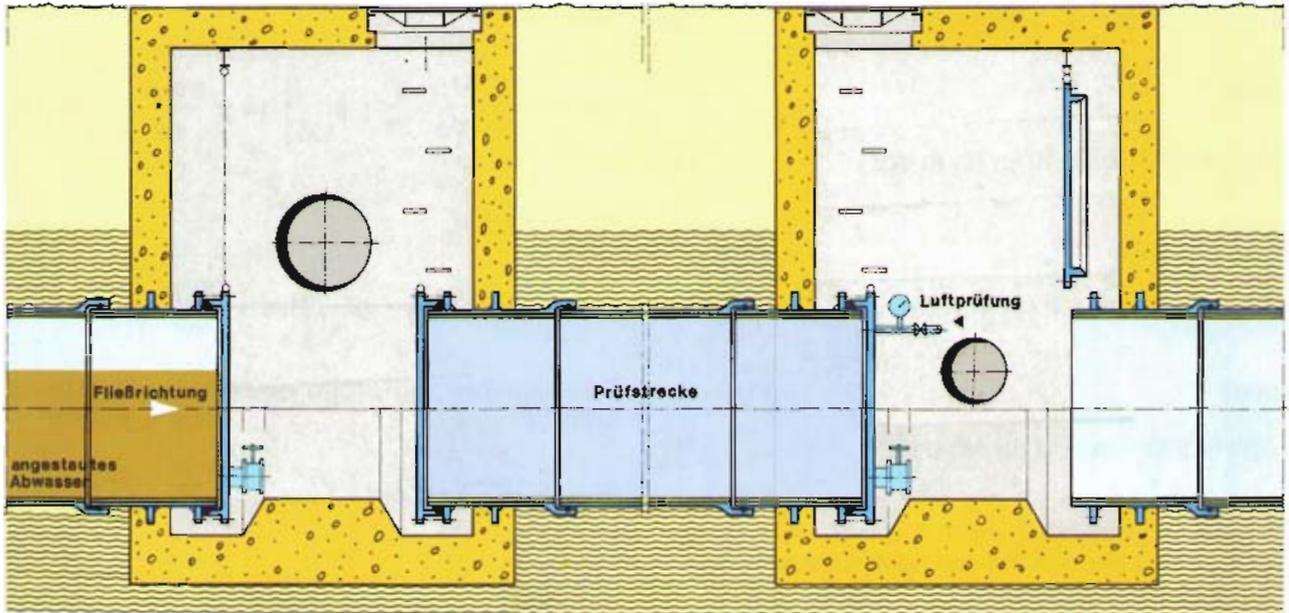


Bild 1: Dichtheitsprüfung (Wiederholungsprüfung)

Die Auswertung erfolgt mit Hilfe des Diagrammes 1 für Lufteintritt und des Diagrammes 2 für Wassereintritt.

Parameter ist der Faktor α , der als d^2/V_0 definiert ist. Die Auswertung läuft folgendermaßen ab:

Die zu prüfende Haltung wird verschlossen und der Druck auf etwa 0,5 bar absolut abgesenkt. Die unmittelbar darüber liegende Haltung wird an ihrem unteren Ende ebenfalls verschlossen und dient so bei einer Wiederholungsprüfung als Schmutzwasserreservoir.

Ist die Haltung undicht, so wird sie in einer bestimmten Zeit t einen Druckverlust von Δp_{il} erfahren. Mit diesen beiden Meßwerten wird aus Diagramm 1 der Parameterwert α ermittelt und aus diesem und dem Haltungsvolumen V_0 der Durchmesser d der gesuchten Undichtheit.

Für eine im Grundwasser liegende Leitung ist in gleicher Weise zu verfahren und das Diagramm 2 zu benutzen.

5. Feldversuche

Eine praxiserprobte Überprüfung der theoretischen Ergebnisse erfolgte an Leitungen der Abwasserentsorgung „Mittleres Blietal“ (siehe Heft FGR 20, S. 29 bis 35 [3]). Die Prüfungen erfolgten jeweils von Schacht zu Schacht an den Nennweiten DN 200, DN 800 und DN 1400, wie es in Bild 5 der obigen Literaturstelle dargestellt ist (Bild 1).

Eine Unterdruckprüfung an einer Abwasserleitung ist vollkommenes Neuland. Durch eine ganze Reihe von Vorversuchen mußte man sich an das Problem herantasten.

Von Februar bis August 1986 wurden drei Ver-

Tabelle 1

| Datum | DN | H | L | V_0 | d | α | Angesaugtes Medium | Zeit*) |
|------------|------|-----|----------------|----------------|-----|----------------------------------|------------------------|--------|
| — | — | m | m ³ | m ³ | mm | $\frac{\text{mm}^2}{\text{m}^3}$ | L = Luft W = Wasser | h |
| 08. 09. 86 | 1400 | 3,5 | 580 | 905 | 1,7 | 0,0032 | L | 6,25 |
| 09. 09. 86 | 1400 | 3,5 | 580 | 905 | 3,5 | 0,013 | L | 1,3 |
| 13. 10. 86 | 200 | 0,5 | 1150 | 38 | 3,5 | 0,032 | L/W | 0,13 |
| 13. 10. 86 | 200 | 2,0 | 1150 | 38 | 3,5 | 0,032 | L/W | 0,23 |
| 09. 03. 87 | 1400 | 3,9 | 58 | 90,5 | 4,2 | 0,20 | L | 0,14 |
| 08. 04. 87 | 1400 | 3,0 | 58 | 90,5 | 4,2 | 0,20 | W | 3,70 |
| 08. 04. 87 | 1400 | 3,0 | 58 | 90,5 | 4,2 | 0,20 | L | 0,14 |
| 13. 04. 87 | 1400 | 3,0 | 58 | 90,5 | 4,2 | 0,20 | L | 0,10 |

*) Zeit in h für einen Druckabfall von 10 mbar.

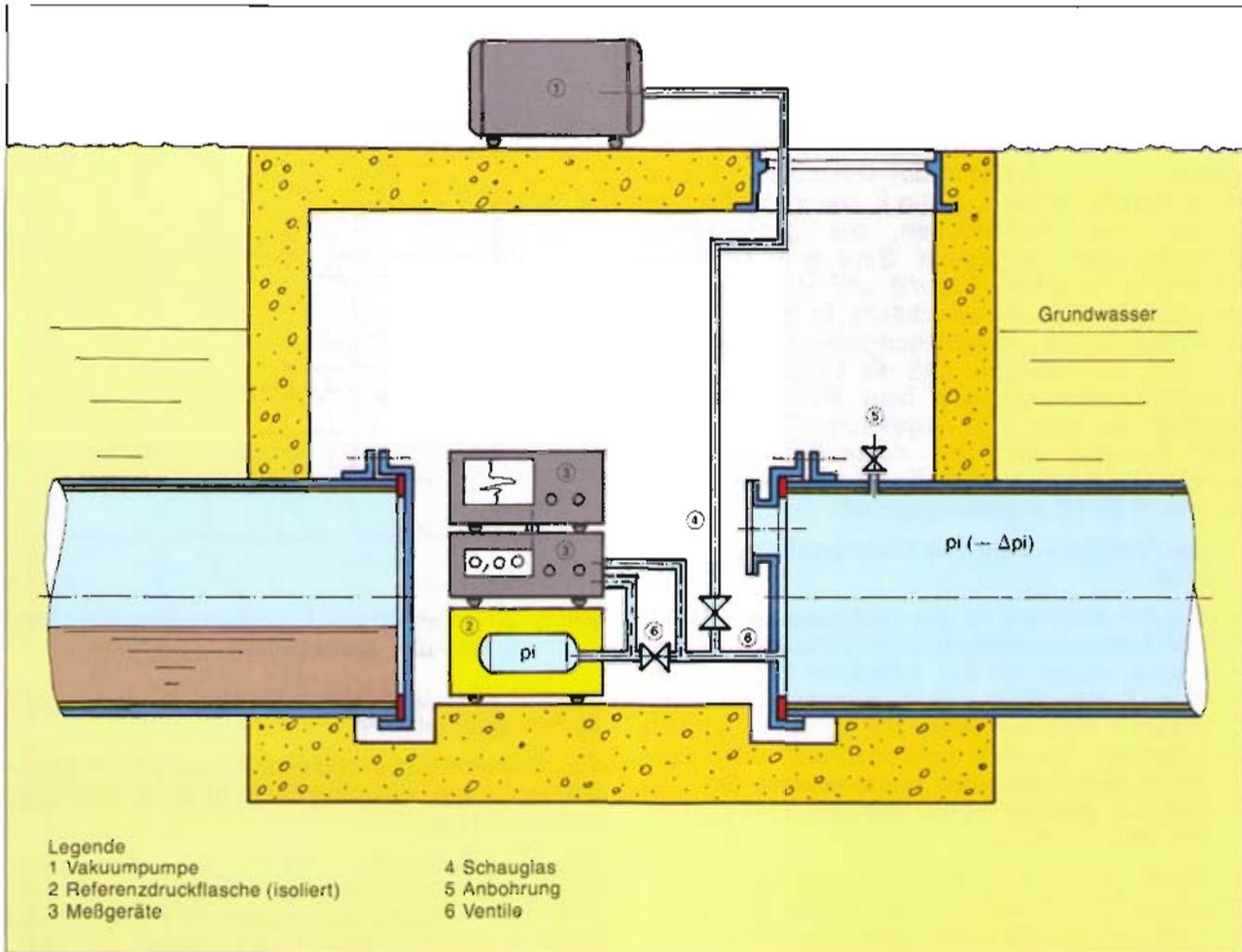


Bild 2: Meßanordnung

suchsreihen mit folgender Zielsetzung gefahren:

- Vergleich Wasserdruckprüfung mit Luftunterdruckprüfung in dichten Leitungen.
- Welche kleinsten Leckstellen sind überhaupt feststellbar.
- Einfluß des Grundwasserstandes und der Überdeckung.
- Wahl der Pumpen und der Meßgeräte.

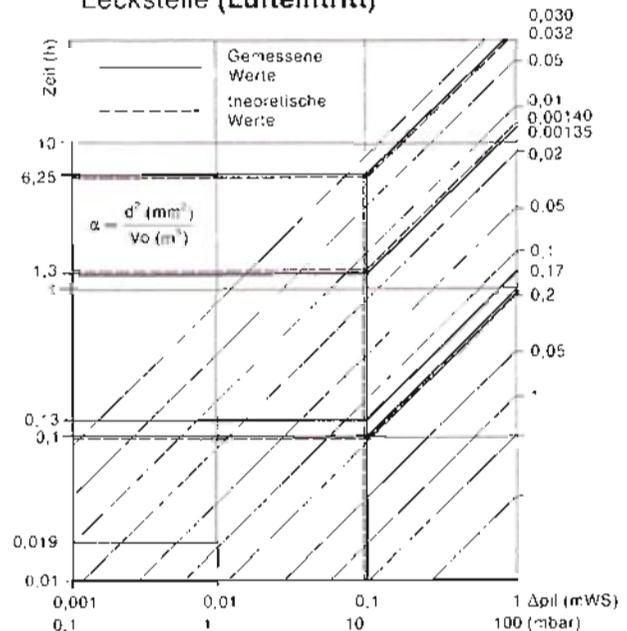
Die leere Leitung (Haltung) wird mit einer entsprechend dimensionierten Injektor-Pumpe auf etwa 0,5 bar absolut evakuiert. Für eine Haltung von 90 m³ Inhalt wurde etwa eine halbe Stunde benötigt. Wie aus den Diagrammen 1 und 2 ersichtlich, müssen kleinste Druckdifferenzen um 1mbar gemessen werden, damit die Prüfzeiten nicht zu groß werden. Dies ist nur mit einer Differenzdruckmethode möglich, wobei der Referenzdruck in einer etwa 20l fassenden isolierten Stahlflasche aufgebaut wurde. Die verwendeten Meßgeräte waren in der Lage, Druckänderungen von 0,01 mbar = 0,1 mm WS zu registrieren.

Die Meßanordnung geht aus Bild 2 hervor. Der erste Meßschritt bestand darin, die bestandene Wasserdruckprüfung durch eine Unterdruckprüfung zu bestätigen. Im zweiten Schritt werden die Leitungen angebohrt – Lochdurchmesser

1,7; 3,5 und 4,2 mm —, um genau definierte Fehlstellen zu produzieren.

Die Versuche können sofort nach dem Evakuieren beginnen, da hierbei keine Änderungen der Lufttemperatur im Innern der Haltung hervorgerufen werden.

Bild 3: Druckabfall bei Grundwasserstand unter Leckstelle (Lufteintritt)



Die untersuchten Leitungen wurden sowohl mit als auch ohne Grundwasser bei unterschiedlicher Scheitelüberdeckung untersucht. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 1 dargestellt.

Zum Vergleich mit den theoretischen Voraussagen wurden die Werte in das Diagramm 1 bzw. 2 eingetragen; Bilder 3, 4 und 5. Die theoretischen Werte sind unterbrochen, die gemessenen durchgezogen dargestellt. Eine gute Übereinstimmung zwischen Theorie und Praxis ist aus den Bildern 3 und 4 ersichtlich. In Bild 5 macht sich deutlich die Überdeckungshöhe H bemerkbar und die Tatsache, daß die Leitung bis zum Scheitel in Grundwasser liegt. Es wird sowohl Wasser als auch Luft angesaugt. Trotzdem ist eine Aussage über den Zustand der Leitung kurzfristig möglich. Alle Ergebnisse sind noch einmal in Bild 6 zusammengefaßt:

- Die Ordinate trägt die Überdeckungshöhe H in m.
- Auf der Abszisse ist die Leckanzeige in Relation zum unbeeinflussten Maximalwert aufgetragen, wobei für das Anzeigen von Luft bei $H = 0$ der Wert 100 % genommen wurde. Wasser wird mit etwa 2,2 % vom Luftwert angezeigt. Deutlich ist der Einfluß der Überdeckung zu erkennen, insbesondere der Einfluß von gleichzeitigem Wasser- und Luftanfall; $\Delta p_l = 1 \text{ mbar}$.

In Bild 6 ist eine zweite Abszisse in einem Zeitmaßstab (min;h) aufgetragen. Diese Werte gelten für ein α von 0,05 oder die Wertepaare d und V_0 .

| | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| d | 0,7 | 1,6 | 2,2 | 3,2 | 5 |
| V_0 | 10 | 50 | 100 | 200 | 500 |

Tabelle 2

Aus Tabelle 2 geht hervor, daß relativ kleine Löcher in kurzer Zeit geortet werden können; Voraussetzung ist jedoch ein Rohr mit einer

Bild 4: Druckabfall bei Grundwasserstand unter Leckstelle (**Wassereintritt**)

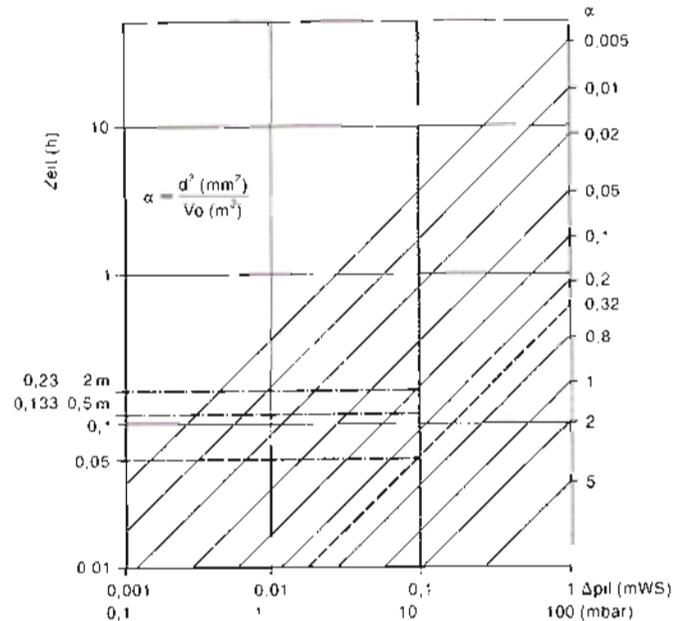
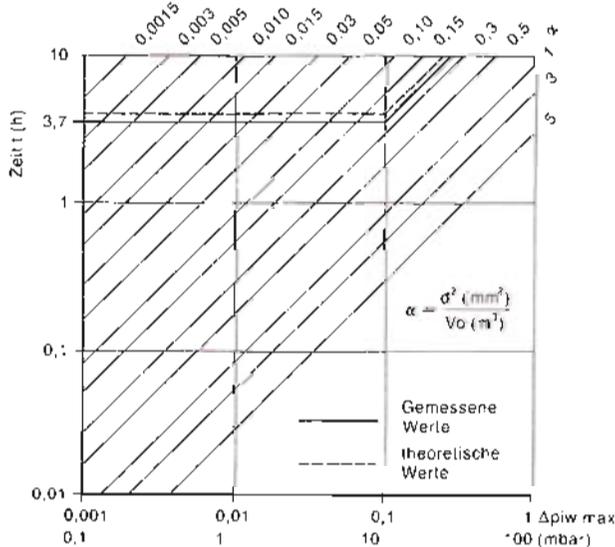


Bild 5: Druckabfall bei Grundwasserstand unter Leckstelle (**Lufteintritt**)

absolut gas- und wasserdichten Wandung und Verbindungstechnik.

Zwischenzeitlich wurde eine Haltung DN 800 von 340 m Länge einschließlich ihrer 5 Schächte erfolgreich geprüft.

Die Prüfbohrungen waren bei den oben beschriebenen Versuchen so angebracht worden, daß sie durch ein Fenster im Deckel beobachtet werden konnten. Das Eintreten von Wasser ist deutlich daran zu erkennen, daß im vorliegenden Fall ein dünner Wasserstrahl fast waagrecht bis zur gegenüberliegenden Wand spritzte. Das dabei auftretende Geräusch ist ebenso wie beim Eintreten von Luft sofort feststellbar und mit gängigen Methoden zu orten.

6. Vergleich Überdruckprüfung — Unterdruckprüfung

Eigentlich muß eine Überdruckprüfung mit Wasser mit einer Unterdruckprüfung mit Luft verglichen werden, d. h.

- 1) Wasser/Luft
- 2) Überdruck/Unterdruck

Zu Punkt 1) kann gesagt werden, daß Rohre aus duktilem Gußeisen nach DIN 28 600 ff. sowohl für Wasser bis 40 bar als auch für Gashochdruck bis 16 bar zugelassen sind.

Grundlage der Norm waren umfangreiche Untersuchungen in eigenen Labors und unabhängigen Instituten sowie Feldversuche, um Rohr und Verbindung auf ihr Langzeitverhalten unter extremsten Bedingungen zu testen. Diese Versuche wurden nur dank der absoluten Dichtheit von Rohr und Verbindung bestanden.

Der Punkt 2) bezieht sich auf die Dichtung und ihre Funktionsweise. Seit etwa 30 Jahren ist die Steckmuffenverbindung auf dem Markt und wird heute zu fast 100 % eingesetzt. Ihre Wirkungsweise beruht darauf, daß ein Dichtring beim Herstellen der Verbindung zwischen zwei parallelen

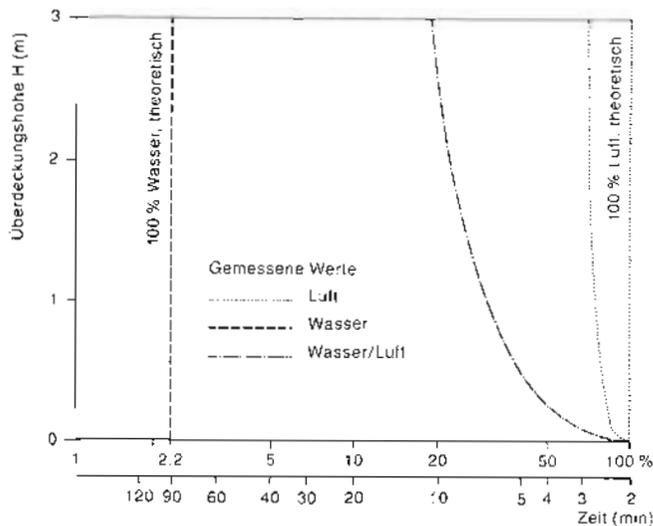


Bild 6: Anzeige als Funktion der Überdeckungshöhe H (m)

Dichtflächen komprimiert wird. Außerdem wird der Ring dank seiner Profilierung in der Muffe gegenüber auftretenden Innen- und Außen-druckkräften festgehalten. Das Dichtringmaterial verhält sich hydrostatisch, d. h. zusätzlich auf-gebrachte Drücke überlagern sich direkt, und zwar in allen Richtungen gleich, jedoch mit dem Unterschied, daß sie sich bei der vorgegebenen Dichtungskonstruktion im Falle inneren Über-drucks zur Vorkompression addieren, im Falle von Unterdruck subtrahieren. In einer ausführlichen Untersuchung [1] wurde folgender Sach-verhalt nachgewiesen:

a) Wird eine Verbindung auf Unterdruck bean-sprucht, so muß die Vorkompression p dop-pelt so hoch sein wie die zu erwartende Unter-druckdifferenz. Die Vorkompression p er-rechnet sich aus den Kompressionsverhält-nissen ϵ und dem Elastizitätsmodul E des Dichtringes zu:

$$p = \epsilon \cdot E \quad (17)$$

Nach Messungen von Timm [2] ist E eine Funktion der Shorehärte; für den für Steck-muffen System TYTON® vorgeschriebenen Shore-Wert von 55 ± 3 ergibt sich ein E_{\min} von 32 kp/cm^2 . Zusammen mit der Minimal-kompression ϵ_{\min} von $5\% = 0,05$ wird nach (17) ein p von $1,6 \text{ kp/cm}^2 = 1,6 \text{ bar}$ errechnet. Damit ist garantiert, daß die Verbindungen bis mindestens $0,8 \text{ bar}$ Druckdifferenz $\geq 0,2$ absoluten Druck dicht sind.

b) Aus dem Umkehrschluß von a) geht hervor, daß eine Steckverbindung bezüglich Unter-druck nur dicht sein kann, wenn eine Vorkom-pression vorhanden ist. Das Vorhandensein von p bedingt unabhängig von seiner Größe ein Dichthalten der Verbindung, da sich der Überdruck — wie oben ausgeführt — additiv überlagert und die Dichtwirkung mit steigen-dem Überdruck linear verstärkt.

Diese ganzen Darlegungen gelten nur für Steckverbindungen; sie sind auf Lippendich-tungen u. ä. nicht übertragbar.

7. Zusammenfassung

Es ist also durchaus möglich, mit Hilfe einer bestandenen Unterdruckprüfung Aussagen über das Verhalten einer Steckverbindung bei Über-druck zu machen. Dabei spielt der Wechsel des Prüfmediums keine Rolle.

Eine Unterdruckprüfung prüft eine Undichtheit in der „verkehrten Richtung“, wenn es darum geht, austretendes Medium festzustellen, genauso wie eine Überdruckprüfung einem Nachweis der „Drainagewirkung“ einer Abwasserleitung ent-gegenläuft. Dies sind jedoch nur scheinbare Widersprüche, da es nur darauf ankommt, undichte Verbindungen und Löcher zu finden.

Die Versuche haben bewiesen, daß bei einer Unterdruckprüfung vorhandene Löcher durch das umgebende Erdreich nicht verstopft werden, sei es mit und ohne Grundwasser. Es zeigte sich, daß beim Ansaugen von Luft ein Einfluß der Überdeckung festzustellen ist, jedoch ist die-ser Einfluß so gering, daß er das Prinzip der Meßmethode nicht beeinträchtigt.

Schrifttum

- [1] Hein, Hg.:
Eine neue Generation von Gußrohren für die Entsorgung
3R international, Heft 1/1988
- [2] Timm, Th.:
Die Abdichtung von Rohrstößen mit Dichtun-gen aus Vollgummi
Wasser und Boden, Heft 8/1966
- [3] Wolf, A. und Jung, M.:
Abwasserleitungen aus duktilen Gußrohren in Trinkwasser-Schutzgebieten
FGR-Informationen für das Gas- und Was-serfach, Heft FGR 20, März 1985

Dradenau-Düker mit duktilen Gußrohren

Von Peter Dammann und Jürgen Rammelsberg

1. Einleitung

Heute können etwa 95 % aller Hamburger davon ausgehen, daß ihr Abwasser (jährlich über 200 Mio m³ Schmutz- und Regenwasser) geordnet durch die vorhandenen 5000 km Siele und etwa 200 Pumpwerke abfließt. Dieser Abwasserstrom endet zu 90 % (das sind fast 400 000 m³ täglich) am Klärwerk „Köhlbrandhöft“ im Hafengebiet. Der Rest fließt dem Klärwerk „Stellinger Moor“ zu.

Das Klärwerk „Köhlbrandhöft“ wurde 1961 am Zusammenfluß von Norderelbe und Köhlbrand in Betrieb genommen. Da das Umweltbewußtsein damals noch nicht so ausgeprägt entwickelt war wie heute, war die Anlage sowohl für biologischen (im Sommer) als auch nur für mechanischen Betrieb (im Winter) ausgelegt. Mit der 1973 fertiggestellten ersten Erweiterung wurde dann aber auf der am Köhlbrand verfügbaren Fläche ein Maximum an Klärkapazität für den ausschließlich biologischen Betrieb geschaffen.

Der Ausbau der hamburgischen Entwässerungsanlagen löste dann den Neubau des Klärwerkes „Köhlbrandhöft-Süd“ aus. Seine Inbetriebnahme im Jahre 1983 brachte schlagartig eine Entlastung der Elbe von sauerstoffzehrenden Substanzen um mehr als 60 %.

Trotz Investitionen von rd. 250 Mio DM können

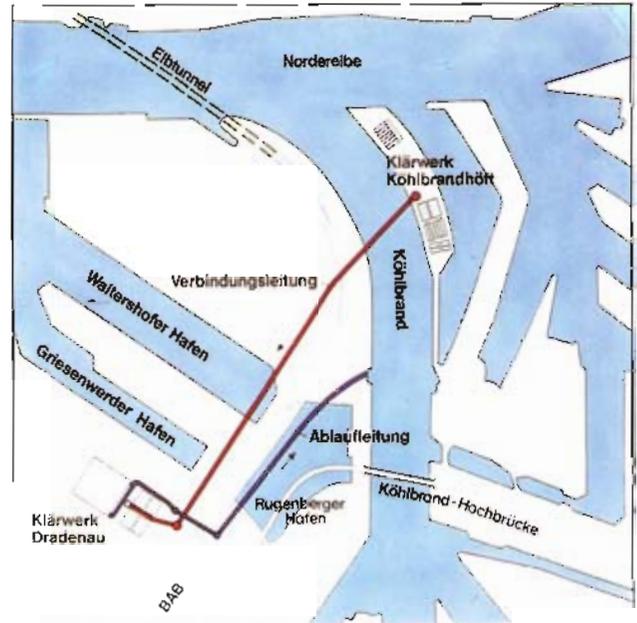


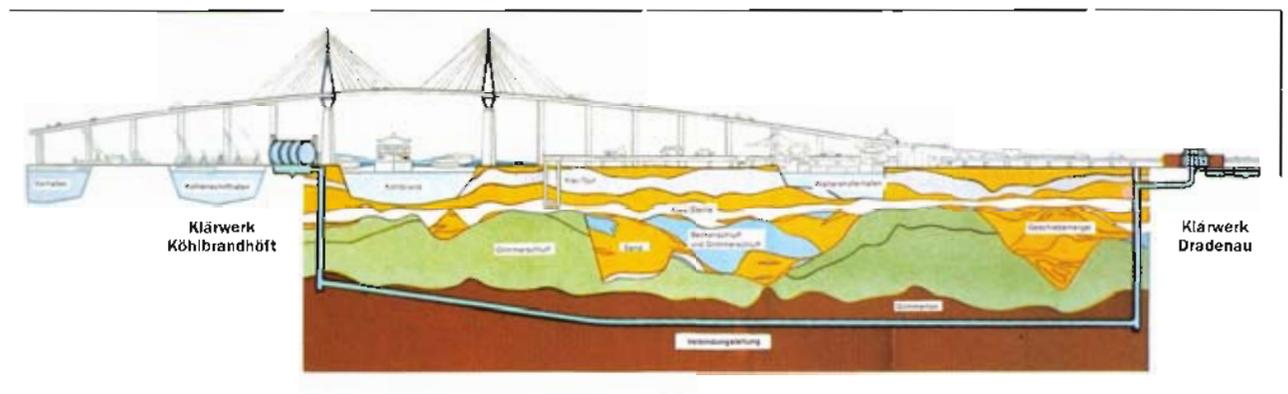
Bild 1: Lageplan

die Anlagen auf Köhlbrandhöft die zwischenzeitlich erhöhten gesetzlichen Anforderungen noch nicht erfüllen. Entscheidendes Hindernis ist der große Platzbedarf, der am gegenwärtigen Standort nicht gedeckt werden kann, zumal zur weiteren Entlastung der Elbe eine weitergehende Abwasserbehandlung (Nitrifikation) erforderlich ist.

Diese Aufgabe soll die Erweiterung des Klärwerkes Köhlbrandhöft durch das Klärwerk Dradenau erfüllen. Es ist seit 1983 im Bau, wird fast 400 Mio DM kosten und im wesentlichen aus einer weiteren biologischen Reinigungsstufe bestehen.

Beide Anlagen werden klärtechnisch eine Einheit darstellen, also im Verbundbetrieb arbeiten. Dazu war der Bau einer 2200 m langen Verbindungsleitung zwischen beiden Standorten erforderlich (Bild 1). Ingenieurtechnisches Neuland wurde betreten und Spitzentechnologie im Tunnelbau angewandt, um den Stollen aus Stahlbetontübbings mit einem Innendurchmesser von 3,20 m in einer Tiefe von 65 bis 85 m aufzufahren. Diese extreme Tiefenlage wurde gewählt, um das gesamte Urstromtal der Elbe mit seinen

Bild 2: Geologischer Längsschnitt



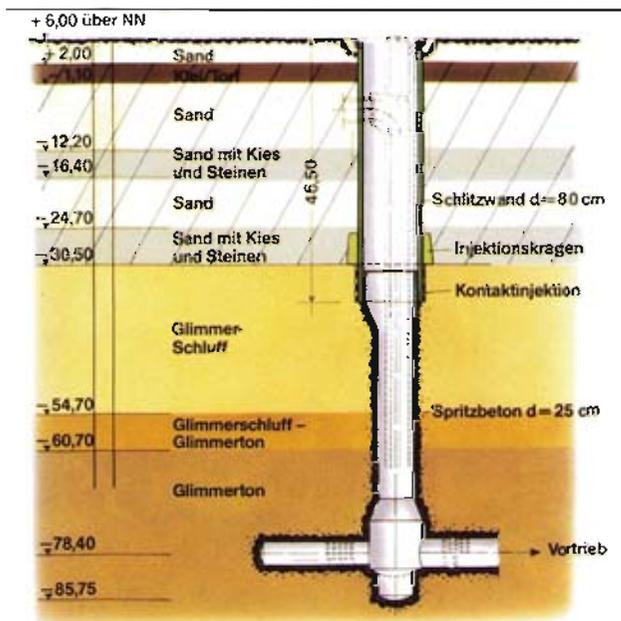


Bild 3: Vertikalschnitt durch den Schacht Dradenau

wechselnden Bodenschichten unterfahren zu können und das Baurisiko erheblich zu reduzieren. Die Herstellung der als Düker zu betriebsenden Verbindungsleitung im grundwasserfreien Glimmerton war so unter atmosphärischen Bedingungen ohne den Einsatz von Druckluft möglich (Bild 2). An die Bauausführung und die eingesetzten Werkstoffe waren jedoch erhebliche Anforderungen zu stellen.

Die beiden Schächte wurden im quartären Grundwasserbereich vorauslaufend durch ein wasserdichtes Schlitzwandpolygon verbaut. Die Schlitzwände erhielten eine Einbindung von mehreren Metern in den relativ undurchlässigen Glimmerschluff. Der untere Schachtbereich und die baubetrieblich bedingten Aufweitungen am Schachtfuß wurden im Rohbau durch bewehrten Spritzbeton gesichert (Bild 3).

In die Sohle des Dükers wurden vier Versorgungsrohre mit Durchmessern bis zu DN 300 eingebunden. Sie werden für den Verbundbetrieb der beiden Klärwerke benötigt und sind im Bereich der Schachtbauwerke 65 bzw. 85 m vertikal nach oben zu führen. In ihnen sollen Brauchwasser, Überschussschlamm und Faulgas transportiert werden. Die in der Sohle des Dükers einbetonierten Rohrleitungen (Bild 4) sind für einen Betriebsdruck von 16 bar auszulegen, wovon allein bis zu 8 bar aus der geodätischen Höhendifferenz resultieren.

Nach der 1987/88 vorgesehenen Inbetriebnahme des Klärwerkskomplexes Köhlbrandhöft/Dradenau steigt der Gesamtreinigungsgrad auf über 97 % an, die Restbelastung der Elbe mit sauerstoffzehrenden Substanzen aus Hamburg verringert sich also auf ein Minimum.

2. Randbedingungen für die Materialwahl der Versorgungsleitungen

Die besondere Situation des Anlagenverbundes und der Verbindungsleitung machten wertanaly-

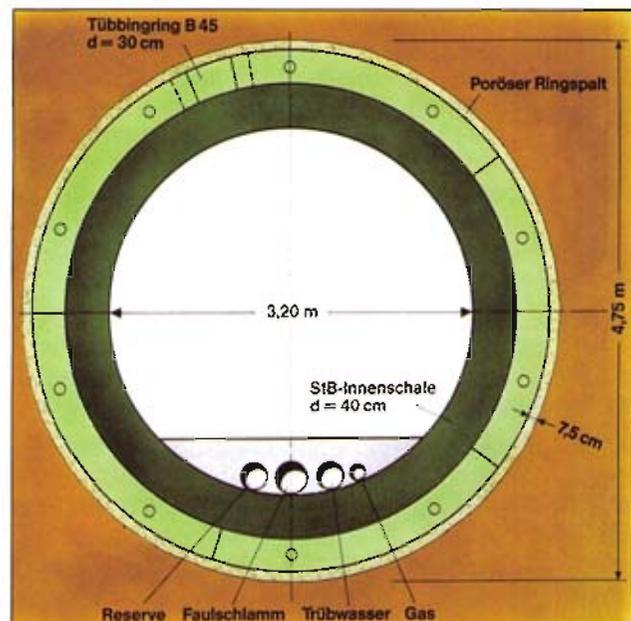


Bild 4: Querschnitt durch den Düker

tische Überlegungen mit hauptsächlich durch technische Risikobetrachtungen geprägten Gewichtungsfaktoren notwendig.

Auf die Erfüllung folgender Randbedingungen wurde das Hauptaugenmerk gerichtet:

- Der Düker, in 85 m Tiefe unter Verkehrsflächen, Lagerhallen und zwei Hafenbecken installiert, wird nach der Inbetriebnahme für Reparaturarbeiten nur schwer zugänglich sein.
- Die vier Versorgungsleitungen sind selbst nach dem Leerpumpen des Dükers praktisch nicht mehr zugänglich.
- Sämtliche technischen Erwägungen zur Materialwahl haben sich in erster Linie an der langfristig absolut gesicherten Verfügbarkeit zu orientieren.
- Die Versorgungsleitungen müssen geeignet sein, im Laufe der gesamten Lebensdauer der Verbindungsleitung einen Wechsel des Mediums und der Betriebsbedingungen ohne Einbuße an Funktionssicherheit hinzunehmen.
- Materialbedingte Kostengesichtspunkte haben sich den technischen Verfügbarkeitsanforderungen unterzuordnen.

Aus diesen Gründen wurde die vom Auftraggeber — Stadtentwässerung Hamburg, Abteilung Sonderbaumaßnahmen — zunächst getroffene Entscheidung, für die Versorgungsleitungen Kunststoffrohre einzusetzen, erneut überdacht.

Aus den Randbedingungen entstehende hohe Radial- und Ringzugspannungen, die zu einer vorzeitigen Alterung von Kunststoffen führen können, sind nicht auszuschließen.

Ebenso können punktuelle Belastungen der Rohre, wie sie z. B. auch durch Haltekonstruktionen entstehen, langfristig zum vorzeitigen Bruch von Kunststoffrohren führen.

Bei größeren Rohrdurchmessern (ab DN 250) mit großen Wanddicken entstehen innere Spannungen durch die unterschiedliche Abkühlung bei der Fertigung. Da Kunststoffrohre ein etwa 8fach höheres Wärmeausdehnungsverhalten als Beton haben, wären bei einem Einsatz in der Verbindungsleitung mit dem notwendigen Umgebungsbeton außerdem Spannungsspitzen wahrscheinlich, die ebenfalls zum vorzeitigen Bruch der Rohre führen können.

Ebenso ist die Beulsicherheit der größeren Rohre (ab DN 250) gegenüber einem äußeren Wasserdruck von über 8 bar ohne entsprechenden Innendruck sehr kritisch zu bewerten.

Auch für den vorgesehenen Gastransport sind in bezug auf sich ändernde Zusammensetzungen extreme Anforderungen an das Rohrmaterial zu stellen.

Aufgrund dieser Randbedingungen und im Hinblick darauf, daß Reparaturen an den Versorgungsleitungen im Betriebszustand nicht mehr durchführbar sind, war eine exakte Risikoabschätzung nicht möglich. Der Auftraggeber hat deshalb entschieden, für die in der Sohle der Verbindungsleitung einzubetonierenden Versorgungsleitungen duktile Gußrohre einzusetzen.

3. Technische Anforderungen an das Rohrmaterial

Aus den genannten Randbedingungen leiten sich konkret folgende technischen Anforderungen ab, die an das Rohrmaterial zu stellen sind:

- mechanisch-technologische Eigenschaften des Werkstoffes und des Rohres
- chemisches Verhalten des Werkstoffes
- spezifische Eigenschaften bei Transport und Montage
- Dichtheitsanforderungen an das Leitungssystem während des Betriebes.

3.1 Mechanisch-technologische Eigenschaften

Bei der Verlegung der Rohre in der Dükersohle sind diese an gemeinsamen Traversen zu fixieren und gegen den beim Einbetonieren herrschenden Auftrieb zu sichern.

Die Auftriebskraft eines Rohres DN 300 im flüssigen Beton errechnet sich überschlägig zu ca. 10 kN.

Diese Auftriebskraft wurde mit an der Dükersohle festgedübelten Traversen (U-Profil) aufgefangen, wobei sich aus dem Abstand der Traversen von 3 m und ihrer tragenden Breite von 50 mm Scheitellasten von ca. 100 N/mm ergaben. Das Gewicht duktiler Gußrohre, verbunden mit ihrer hohen Scheiteldruckfestigkeit, stellt in diesem Anwendungsfall (Befestigung und Auftriebssicherung) einen erheblichen Vorteil dar.

Die genannten Scheitellasten bzw. die daraus resultierenden Spannungen in der Rohrwand liegen bei duktilen Gußrohren weit unterhalb aller



Bild 5: Druckprobe im Horizontalstollen

dimensionierungsrelevanten Materialgrenzwerte, so daß sich jegliche Zeitstandsbetrachtungen vor dem Hintergrund der Langzeitverfügbarkeit erübrigen.

Zusätzliche Spannungen in den Rohrleitungen sind zu erwarten aus der Differenz zwischen dem Temperaturmaximum während der Hydratation (35 °C) des Sohlenbetons und der Temperatur im Rohrinnen ($> 10\text{ °C}$). Diese Temperaturdifferenz von 25 °C würde im Falle einer starren Leitung (Stahl oder HDPE geschweißt) zu Längenänderungen — bezogen auf die Gesamtlänge von 2200 m — von 55,0 cm (Stahl) oder 11,0 m (HDPE) führen, die in Form von Spannungen aufgenommen werden müßten.

Selbst bei Kunststoffrohren (PVC) mit Muffenverbindung ist ein Verbleiben von Restspannungen aus der Verbundwirkung des umschließenden und abkühlenden Betons zu erwarten, dessen thermischer Längenänderungskoeffizient ca. 8 mal kleiner als von PVC ist.

Die längsbewegliche Muffenverbindung duktiler Gußrohre nimmt die temperaturbedingten Längenänderungen in Form von Bewegungen auf, so daß keinerlei Spannungen aufgebaut werden können, welche den Beton der Dükersohle oder das Rohr selbst beanspruchen würden.

3.2 Chemisches Verhalten des Werkstoffes

Die in der Dükersohle einbetonierten und im unteren Schachtbereich mit Dämmern umgebenen duktilen Gußrohre benötigen außer einer Bitumenbeschichtung nach DIN 30 674 Teil 4 keinen besonderen Schutz; das Porenwasser im Umhüllungsbeton ist durch die Kalkhydrate stark alkalisch, ein Angriff von außen ist ausgeschlossen.

Anders sieht dies bei den Rohren im oberen Teil der aufsteigenden Schächte aus, wo die Rohre in einer mit dem Grundwasser in Verbindung stehenden wasserdurchlässigen Sandauffüllung eingebettet sind (Bild 3).

Hier wurde die werkseitig aufgebrachte PE-

Umhüllung nach DIN 30674 Teil 1 gewählt, wobei die Muffenverbindungen nach der Montage mit Schrumpfschläuchen aus strahlenvernetztem PE geschützt wurden.

Als innerer Schutz der Rohre wurde die Innenzementierung nach DIN 2614 mit hochsulfatbeständigem Hochofenzement als Bindemittel gewählt.

Die Leitungen werden als Druckleitungen betrieben; die Medien sind nur schwach aggressiv, so daß der Einsatzbereich des Hochofenzements ausreicht. Eine biogene Schwefelsäurekorrosion findet nicht statt, da die Leitungen dauernd gefüllt sind.

3.3 Eigenschaften bei Transport und Verlegung

Die Rohre wurden in Bündeln mit der Vertikalfördereinrichtung der zuvor verbauten Stahlbeton-Tübbings bis zur Sohle des Stollens abgesenkt. Zur Horizontalförderung stand ein im Stollen verfahrbarer offener Wagen mit Elektroantrieb zur Verfügung, mit dessen Hilfe die Rohre über die Länge verstreckt wurden. Zum Abladen und Montieren wurde ein kleiner verfahrbarer Portal-Hebezug eingesetzt.

Unter den beengten Verhältnissen im über 2 km langen Horizontalstollen hatte sich die einfache und sichere Verlegung des duktilen Gußrohres zu beweisen.

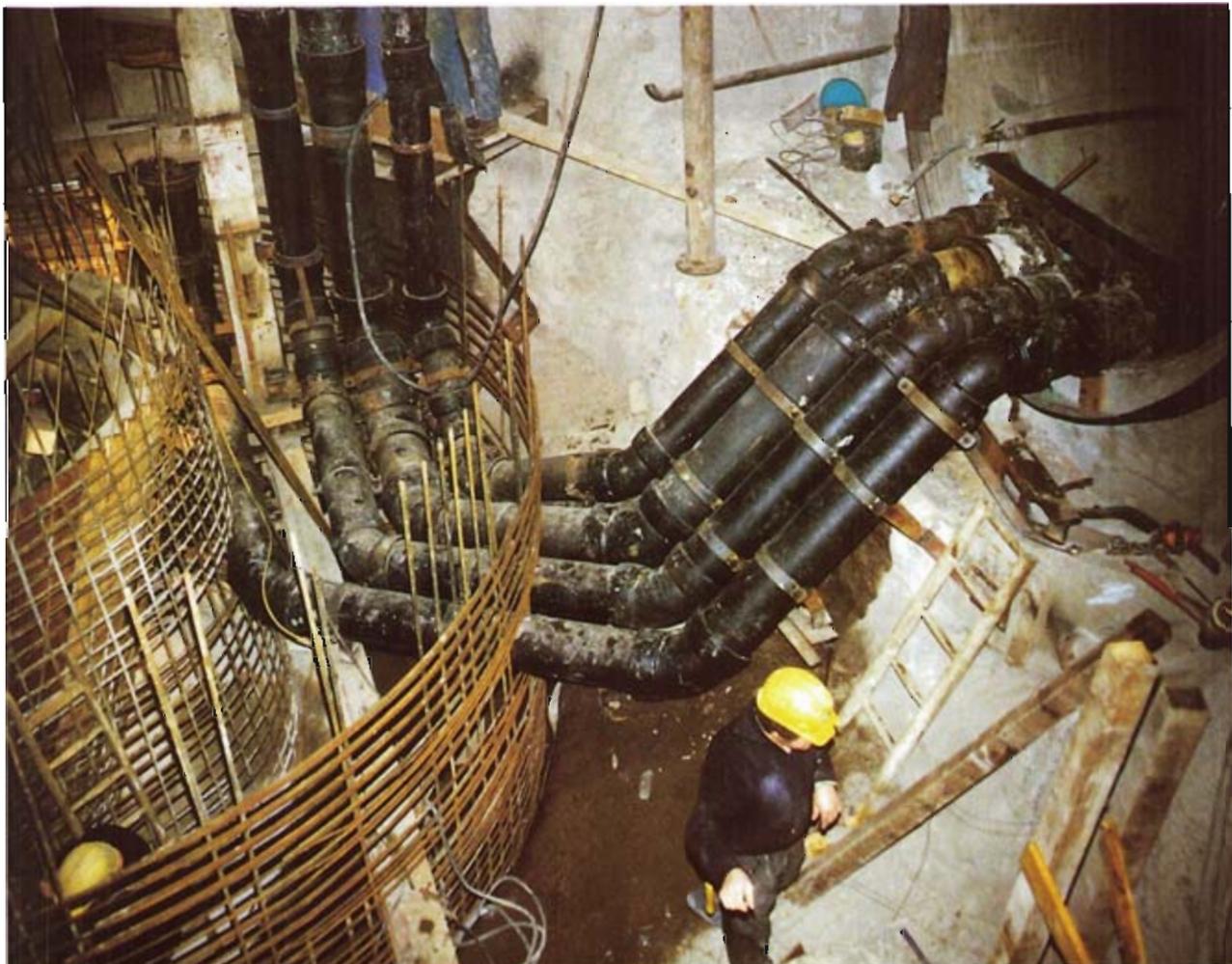
Die Verlegegeschwindigkeit war dank der Einfachheit der Muffenverbindung und der vorbildlichen Organisation der Transportarbeiten hoch: so wurden im waagerechten Stollen die insgesamt 8,8 km Rohre innerhalb von 23 Arbeitstagen verlegt und druckgeprüft (im 3-Schichten-Betrieb).

In den senkrecht aufsteigenden Schächten wurden die Rohre mit Schellenhalterungen, die hinter der Muffe angreifen, an der Schachtwand befestigt, wobei die Muffenöffnungen nach oben wiesen. Hierdurch erleichterte sich der Montagevorgang der TYTON®-Verbindung erheblich: durch das Eigengewicht wurden die Einschubkräfte erreicht, so daß sich der Einsatz von Verlegegeräten erübrigte. Die Montage der Rohre in den Schächten folgte dem Baufortschritt des Schachtausbaus.

Die Kontrolle auf Dichtheit wurde in zwei Teilabschnitten à 4 x 1100 m im waagerechten Teil und in den senkrechten Abschnitten jeweils auf der ganzen Schachtlänge mit einer 6stündigen Wasserdruckprobe bei 16 bar (Kurzprobe nach DIN 4279) ausgeführt. Die Axialkräfte wurden dabei mit stabilen Stahlhalterungen in der Betonwand aufgenommen. Sämtliche Teildruckproben wurden anstandslos bestanden (Bild 5).

Eine besonders schwierige Aufgabe bestand in der Verbindung der Rohrleitungen im horizonta-

Bild 6: Übergang vom Horizontalstollen zum vertikalen Schacht



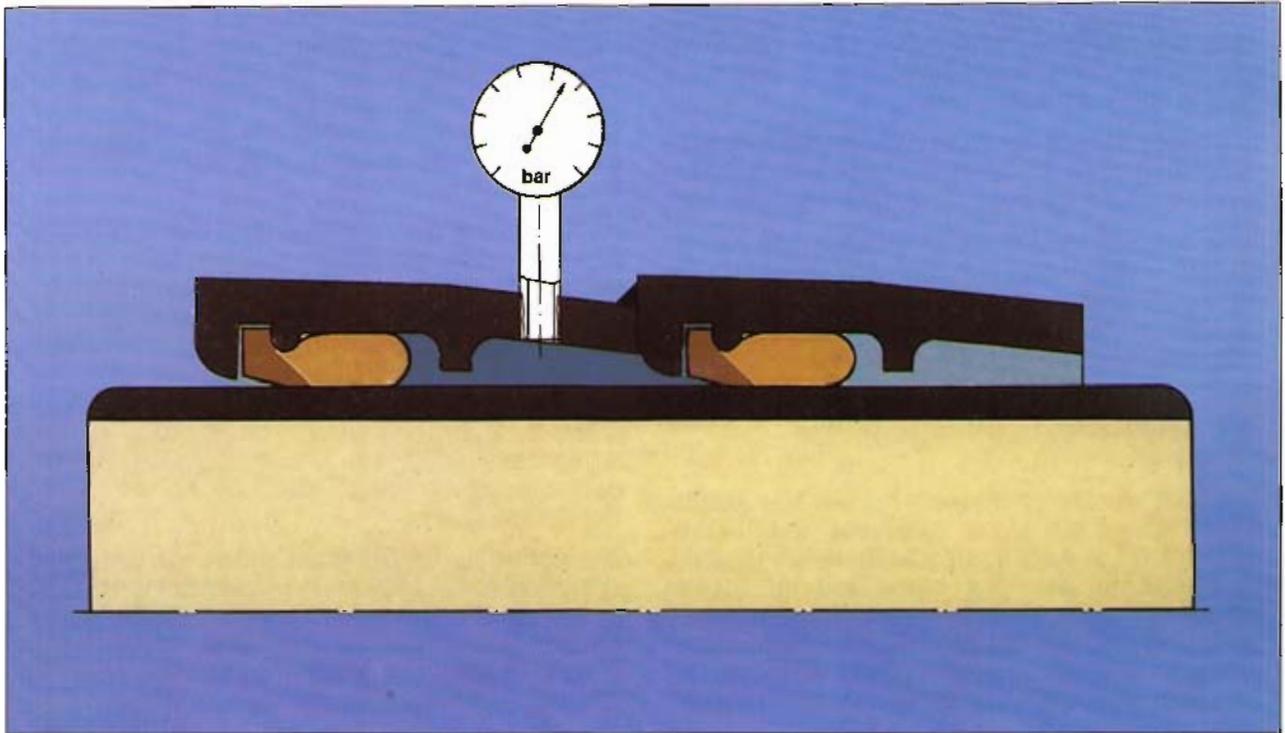


Bild 7: Anordnung zur Demonstration der Dichtheit von TYTON®-Verbindungen gegen Wasserdruck von innen und von außen

len Stollen mit den vertikal an der Schachtwand angeordneten Leitungsabschnitten. Diese Aufgabe wurde mit 5 Doppelmuffenbögen MMK 45 und dazwischen geschalteten Glattrohrabschnitten gelöst. Der im Bild 6 dargestellte Verlauf dieses Leitungsabschnittes war notwendig, um

- einen Tiefpunkt als Sumpf für Tauchmotorpumpen zu bekommen und um
- die Leitung für Molchzwecke leicht durchgängig auszubilden.

Die Übergangskonstruktion wurde ebenfalls Strang für Strang druckgeprüft und anschließend an die bereits verlegten Abschnitte angebunden.

3.4 Dichtheitsanforderungen während des Betriebes

Wie schon mehrfach dargelegt, hatten Anforderungen hinsichtlich absoluter Betriebszuverlässigkeit und Langzeitbeständigkeit bei den Überlegungen zur Materialwahl erste Priorität.

Die Rohrverbindungen, insbesondere im verdämmten Bereich der Übergänge vertikal/horizontal stehen unter einem Außendruck von ca. 8 bar. Es darf dabei kein Abwasser aus der Hauptleitung in die Versorgungsleitungen infiltrieren. Für jede der vier Betriebsleitungen besteht die Möglichkeit, als Gasleitung mit ca. 0,5 bar Betriebsdruck betrieben zu werden. Die TYTON-Verbindung ist für diese wechselnde Möglichkeit der Druckbelastung ideal geeignet.

Das in Bild 7 dargestellte Demonstrationsteil weist auf einfache Art und Weise die Druckdicht-

heit gegen äußeren Überdruck nach: während die linke Hälfte des „Doppelmuffenüberschiebers“ wie gewöhnlich gegen den inneren Überdruck abzudichten hat, tut dies die rechte Hälfte gegen einen gleich hohen Druck, der auf die Konstruktion von „außen“ wirkt. Dieser einfache Versuch zeigt auch deutlich, daß die hydraulische Umsetzung des Medium-Druckes auf das Dichtelement unabhängig von der Richtung des Druckes stattfindet.

Für die Dichtringe wurde in allen Fällen Perbunan (NBR) gewählt, da dieses Material für die geförderten Wässer, Schlämme und Gase das ausgeglichene Leistungsprofil aufweist. Ausführliche Angaben zu diesem Material sind im folgenden Beitrag zu finden.

4. Zusammenfassung

Die besonderen Anforderungen an das Material für die Versorgungsleitungen des Klärwerkverbundes Köhlbrandhöft/Dradenau werden abgehandelt, wobei die außergewöhnlichen Randbedingungen dieses Jahrhundertbauwerkes gewürdigt werden.

An erster Stelle stehen dabei die Sicherheits- und Zuverlässigkeitsaspekte, die sich aus den bau- und betriebstechnischen Zwängen ableiten.

Die jahrzehntelange Bewährung, verbunden mit Robustheit, hohen Belastungsreserven und Langzeitbeständigkeit, gaben den Ausschlag, das duktile Gußrohr-System in diesem sicherheitsempfindlichen Bauwerk einzusetzen.

Verhalten von Dicht- ringen in Gußrohr- Abwasserleitungen — auch bei CKW- Belastung

Von Horst Nöh
und Werner Wolf

1. Einleitung

Die zur Abdichtung von Muffenverbindungen verwendeten Dichtringe bestehen aus Gummi. Der Nichtfachmann kennt in erster Linie den Naturgummi. Die chemische Industrie hat darüber hinaus im Laufe der letzten Jahrzehnte zahlreiche Typen von synthetischem Gummi mit unterschiedlichen Eigenschaftsprofilen entwickelt.

Der Naturgummi wird heute fast ausschließlich aus dem Milchsaft des tropischen Baumes *hevea brasiliensis* hergestellt. Dieser Milchsaft besteht aus einer wäßrigen Dispersion von Polysopren, aus der man durch Entzug von Wasser den Naturkautschuk gewinnt. Der so gewonnene Naturkautschuk ist noch nicht in der bekannten Weise gummielastisch. Diese Eigenschaft erhält er erst durch Vermischen mit Schwefel und anschließendes Erhitzen, einen Vorgang, den man als Vulkanisation bezeichnet. Bei der Vulkanisation erfolgt eine Vernetzung zwischen den Kettenmolekülen des Kautschuks.

Im allgemeinen bezeichnet man das Ausgangsprodukt zur Gummiherstellung als Kautschuk, das vulkanisierte elastische Material als Gummi oder Elastomer. Der Synthetikgummi wird von der chemischen Industrie geliefert. Auch er muß bei der Verarbeitung zu Synthetikgummitteilen vulkanisiert werden, wobei außer Schwefel auch noch andere Vernetzungsmittel zur Anwendung kommen.

2. Was ist Gummi?

Gummi ist ein Elastomer und gehört in die Gruppe der Kunststoffe. Es erleichtert das Verständnis, wenn man sich das Ordnungsschema klarmacht, nach dem die Kunststoffe eingeteilt werden. Man unterscheidet:

- Thermoplaste
- Duroplaste
- Elastomere

Thermoplaste sind aus großen, geradkettigen oder verzweigten Molekülen aufgebaut, die mit-

einander verknüpft, aber nicht durch chemische Bindung vernetzt sind. Thermoplaste werden durch Erwärmen plastisch verformbar. Von dieser Eigenschaft ist ihr Name abgeleitet. Die bekanntesten Beispiele für Thermoplaste sind Polyethylen (PE) und Polyvinylchlorid (PVC).

Duroplaste werden durch Vernetzung aus relativ kleinen Molekülketten hergestellt. Die Vernetzungsreaktion zwischen den Ausgangsstoffen läßt man im Anschluß an die Formgebung ablaufen. Dadurch entsteht ein Riesenmolekül, das sich dann auch nach Erwärmen nicht mehr verformen läßt. Beispiele für Duroplaste sind die Phenolharze, aus denen z. B. häufig die Abdeckungen elektrischer Schalter hergestellt werden.

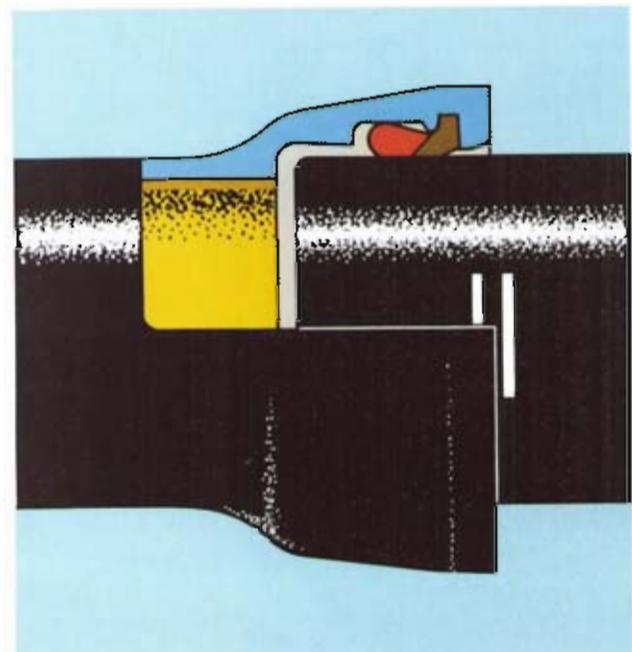
Die Elastomere werden durch Vernetzung aus großen Molekülketten hergestellt, die im Vergleich zu den Duroplasten nur an relativ wenigen Stellen räumlich vernetzt sind. Diese Struktur bedingt die für die Elastomeren typischen elastischen Eigenschaften [1] [2].

Rohre aus duktilem Gußeisen werden heute überwiegend mit der Steckmuffen-Verbindung System TYTON® verlegt. Als Dichtelement dient der TYTON-Gummiring; siehe Bild 1.

Der Gummiring wird beim Einschleiben des Rohrendes in die Muffe je nach Paarung von Rohraußen- und Muffeninnendurchmesser um ca. 23 bis ca. 40 % zusammengepreßt, ohne daß ein Verformen oder gar Sprengen der Muffe befürchtet werden muß. Außerdem wird eine einseitig übermäßige Belastung des Gummiringes z. B. durch das Einwirken von Scheitellasten auf den Rohrschaft vom Zentrierbund am Muffeneingang verhindert, der ein eventuell mögliches Absenken des Rohrendes auf ein Minimum begrenzt.

Das Einlegen eines TYTON®-Ringes während der Verlegung einer Leitung zeigt Bild 2.

Bild 1: Steckmuffen-Verbindung System TYTON®



In Abwasserrohren aus duktilem Gußeisen werden üblicherweise Dichtringe aus

- NR (Naturgummi) und aus
- NBR (Acrylnitril-Butadien-Gummi, kurz: Nitril-Gummi)

eingebaut.

Die Buchstabenabkürzungen entsprechen einer internationalen Konvention und stimmen nur zum Teil mit den Anfangsbuchstaben der deutschen Bezeichnungen überein.

NR ist die Abkürzung von Natural-Rubber.

NBR ist die Abkürzung von Nitril-Butadien-Rubber. NBR ist in Deutschland auch unter dem Handelsnamen „Perbunan N“ bekannt.

Im folgenden werden die Bezeichnungen Naturkautschuk und Nitril-Kautschuk für die Ausgangsmaterialien sowie

- Naturgummi und
- NBR bzw. Perbunan N, kurz Perbunan

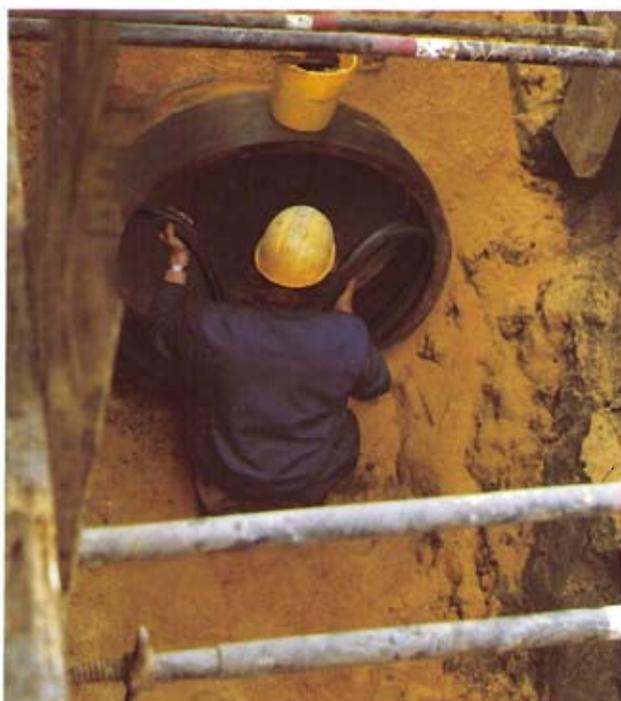
für die vulkanisierten Materialien, d. h. für die Elastomere verwendet.

Bild 3 gibt schematisch den Aufbau der zwei genannten Kautschuktypen wieder.

Die kettenförmigen Kautschukmoleküle werden bei der Vulkanisation durch Schwefelbrücken miteinander vernetzt. Von der Häufigkeit der Vernetzungspunkte hängt die Härte des Gummis ab.

Neben den bis jetzt genannten Elastomeren Naturgummi und NBR werden als Material für TYTON-Dichtringe auch noch in die Diskussion gebracht:

Bild 2: Einlegen eines TYTON®-Ringes während der Verlegung einer Leitung



| | |
|------|---|
| FKM | Fluorelastomer |
| SBR | Styrol-Butadien-Gummi |
| EPDM | Ethylen-Propylen-Dien-Gummi (auch als APTK bezeichnet) |
| CR | Chlor-Butadien-Gummi (Handelsname Neoprene) |

Auf die Eignung dieser Gummisorten für TYTON-Dichtringe wird in Abschnitt 6 eingegangen.

Zur Herstellung von Gummi benötigt man neben dem Ausgangskautschuk und Schwefel noch eine Reihe von Hilfschemikalien wie Zinkoxid, Weichmacher, Vulkanisationsbeschleuniger, Füllstoffe (meist Ruß), Alterungsschutzmittel usw., so daß letztlich eine Gummirezeptur sieben und mehr Positionen umfaßt. Unter einer Rezeptur versteht man dabei die Liste der für eine Gummicharge bzw. -qualität benötigten Substanzen mit Angabe ihrer Mengen.

Die verschiedenen Typen von Elastomeren unterscheiden sich aufgrund ihres chemischen Aufbaus in wichtigen Gebrauchseigenschaften voneinander, wie z. B.:

- Elastizität
- Alterungsverhalten
- Verhalten in der Wärme
- chemische Beständigkeit

Für das hier zu behandelnde Thema bedeutet die zuletzt genannte Gebrauchseigenschaft:

Beständigkeit gegenüber dem Abwasser und den darin enthaltenen Verunreinigungen.

3. Abwasser und seine Wirkung auf die Rohrleitungskomponenten

Im ATV-Arbeitsblatt A 115 [7] heißt es im Geltungsbereich:

„Gewerbliches und industrielles Abwasser im Sinne dieser Hinweise ist das durch den Gebrauch veränderte, insbesondere verunreinigte Wasser sowie das durch Rohstoffe, Zwischen- und Endprodukte verschmutzte Niederschlagswasser.“

Verunreinigungen durch organische Medien können auf den Gummiring einwirken und sind Thema der folgenden Ausführungen.

Ganz allgemein kann man — von Ausnahmen abgesehen — folgendes sagen:

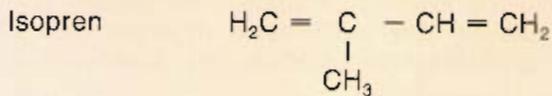
Gußeisen wird von wasserfreien organischen Lösungsmitteln nicht angegriffen.)*

*) Anmerkung: Wasserhaltige Chlorkohlenwasserstoffe bilden durch Reaktion mit Wasser Salzsäure, die Eisen angreift.

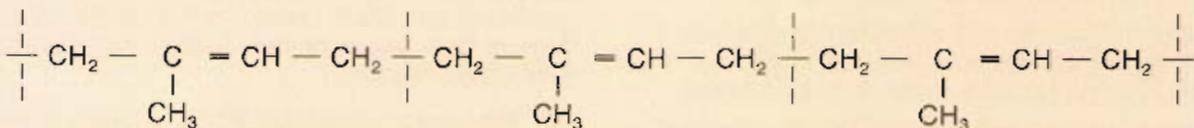
Im Falle einer Abwasserleitung spielt diese Reaktion keine Rolle, da in jedem Falle die sehr geringe Menge an gebildeter Salzsäure durch die Karbonathärte des Abwassers neutralisiert wird und es zu keiner meßbaren pH-Wert-Absenkung kommt.

a) Naturkautschuk

Das Naturkautschukmolekül ist ein Polymer des Isoprens und aus größenordnungsmäßig 100 Isopreneinheiten aufgebaut.

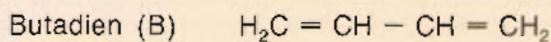
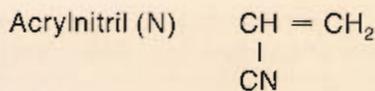


Aus 3 Isopren-Einheiten bestehender Abschnitt eines Naturkautschukmoleküls

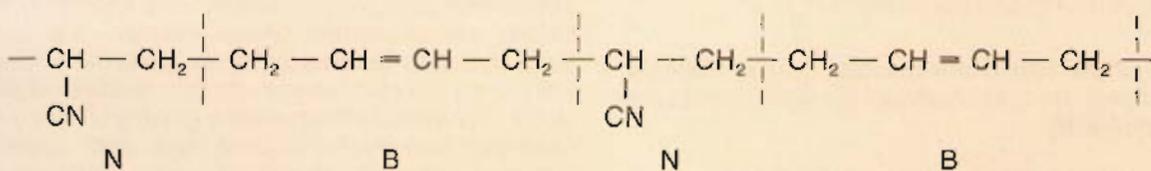


b) Acrylnitril-Butadien-Kautschuk (Nitril-Kautschuk)

Nitril-Kautschuk ist ein Copolymer aus Acrylnitril (N) und Butadien (B). Ein Molekül besteht aus größenordnungsmäßig 100 Monomer-Einheiten.



Aus 2 Acrylnitril- und 2 Butadien-Einheiten bestehender Abschnitt eines Nitril-Kautschuk-Moleküls



Die Reihenfolge der N- und B-Einheiten ist statistisch und nicht notwendigerweise alternierend wie im gezeigten Beispiel. Durch Veränderung des Verhältnisses N/B können die Nitril-Kautschuk-Eigenschaften und damit die des Nitrilgummis beeinflusst werden.

Bild 3: Naturkautschuk (a) und Acrylnitril-Butadien-Kautschuk (b)

Demgegenüber kann es in wäßrigen Medien einen Korrosionsangriff erfahren. Umfangreiche Erfahrungen über die Beständigkeit von Gußeisen gegenüber Wässern verschiedener Zusammensetzung liegen vor. In der weitaus größten Zahl der Fälle sind die Verunreinigungen eines Abwassers im Hinblick auf seine Aggressivität gegenüber dem Gußeisen nur insoweit von Bedeutung, als sie den pH-Wert absenken.

Zementmörtel ist gegenüber organischen Lösungsmitteln sowie gegenüber Abwasser beständig, solange der pH-Wert des Abwassers nicht unter ca. 6,5 bei Zementmörtel auf Basis von Hochofenzement und nicht unter 4 bei Zementmörtel auf Basis von Tonerdeschmelzement absinkt.

Gummi wird im pH-Bereich von etwa 2 bis 12 nicht angegriffen. Demgegenüber quillt Gummi in organischen Medien in unterschiedlichem Umfang. Dieser Quellvorgang hat in vielen Fällen keine Auswirkung auf die Funktionstüchtigkeit eines Gummiringes.

Um es klar auszusprechen: Wenn man ein Gußstück in ein organisches Medium, z. B. in Benzin legt, so bleibt seine Gewichtsveränderung unmeßbar klein. Man kann von einer absoluten Beständigkeit des Gußstückes gegenüber dem Medium sprechen.

Eine solche absolute Beständigkeit eines elastomeren Werkstoffes gegenüber organischen Medien gibt es nicht. Auch dann, wenn durch Versuche oder praktische, langjährige Erfahrun-

gen die Beständigkeit eines elastomeren Werkstoffes gegenüber einem organischen Medium erwiesen ist, findet man in einem Quellversuch mit einer Probe in gewissem Umfang eine Volumen- bzw. Gewichtsveränderung.

Es ist in diesem Zusammenhang erwähnenswert, daß Gummi auch eine Quellung in Wasser erfährt, die aber bei den interessierenden Gummimischungen unter 5 % bleibt.

Im konkreten Fall einer Abwasserleitung wird man davon ausgehen können, daß in ihr ein mehr oder weniger verunreinigtes Wasser, aber doch Wasser abgeleitet wird.

Verunreinigungen mit organischen Medien können auftreten. Dabei sind praktisch nur zwei Gruppen von Stoffen in Betracht zu ziehen:

- Aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe (AKW) und
- Chlorkohlenwasserstoffe (CKW)

Für die Gehalte an AKW und CKW in Abwasser sind im ATV-Arbeitsblatt A 115 [7] obere Grenzwerte genannt:

- Kohlenwasserstoffe gesamt 20 mg/l
- halogenierte Kohlenwasserstoffe 5 mg/l

Diese Grenzwerte, insbesondere der Grenzwert für die halogenierten Kohlenwasserstoffe, liegt weit über dem, was die einzelnen Bundesländer als oberen Grenzwert zulassen. So gilt beispielsweise in Hessen 0,2 mg/l als vorläufiger absoluter Höchstwert für den Gehalt eines CKW in Abwasser. Im Bereich einzelner Wasserwirtschaftsämter wurde die zulässige Einleitung bereits auf 0,1 mg/l reduziert.

4. Verhalten von Gummiringen gegenüber aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen (AKW)

4.1 Was sind Kohlenwasserstoffe?

Kohlenwasserstoffe sind, wie der Name sagt, aus Kohlenstoff und Wasserstoff aufgebaut. Die Moleküle bestehen aus geraden, verzweigten oder zum Ring geschlossenen Kohlenstoffketten aus etwa 5 bis 12 Kohlenstoffatomen, deren restliche Valenzen durch Wasserstoffatome abgesättigt sind. Die Zahl der in flüssigen technischen Kohlenwasserstoffgemischen vorliegenden definierten Verbindungen geht in die Hunderte.

Man unterscheidet unter chemischen Gesichtspunkten:

– Aliphatische Kohlenwasserstoffe

Ihre Moleküle bestehen aus geraden und verzweigten Ketten von Kohlenstoffatomen. Die einfachsten, bei normaler Umgebungstemperatur flüssigen aliphatischen Kohlenwasserstoffe sind Pentan, Hexan, Heptan usw.

Bekannt ist Isooctan als Bezugssubstanz für die Klopfestigkeit von Motoren.

Im technischen Sprachgebrauch faßt man die

Gruppe der aliphatischen Kohlenwasserstoffe unter dem Begriff Benzinkohlenwasserstoffe zusammen.

– Aromatische Kohlenwasserstoffe

Als Baustein ihrer Moleküle enthalten sie den aus 6 Kohlenstoffatomen bestehenden Benzolring. Die einfachsten aromatischen Kohlenwasserstoffe sind Benzol, Toluol, Xylol.

4.2 Untersuchungen über die Quellwirkung von Kohlenwasserstoffen auf Gummi

Aromatische Kohlenwasserstoffe wirken stark quellend auf Elastomere. Unter ihnen gehören Benzol und Toluol zu den Stoffen mit der stärksten Quellwirkung.

Die Benzinkohlenwasserstoffe wirken weniger stark quellend auf Elastomere. Auch Mineralöle sind Kohlenwasserstoffgemische. Ihre Quellwirkung auf Gummi ist geringer als die von aromatischen und aliphatischen Kohlenwasserstoffen. Sie können daher bei den weiteren Betrachtungen unberücksichtigt bleiben.

Im Zusammenhang mit der Zulassung von gummi gedichteten Verbindungen für Gasleitungen sind von der Gußrohrindustrie umfangreiche Untersuchungen über den Einfluß von Kohlenwasserstoffen auf den Gummiring durchgeführt worden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen fanden in der DIN 3535 Teil 3 [4] und dem DVGW-Merkblatt G 480 [6] ihren Niederschlag. Ausgangspunkt für diese Arbeiten war die Feststellung, daß sich in Gasleitungen durch Kondensation flüssige Kohlenwasserstoffgemische, bestehend aus aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen, bilden können. Es zeigte sich, daß die Quellung von eingebauten, ungeschützten Gummiringen durch Kohlenwasserstoffe um eine Zehnerpotenz geringer ist als die Quellung von Probekörpern aus dem gleichen Material, die in die entsprechenden Quellmedien eingehängt werden. In eingebautem Zustand wird der Gummiring an einer unbegrenzten Volumenzunahme durch die räumliche Begrenzung gehindert, die durch die Größe der Muffenkammer gegeben ist. Darüber hinaus ist nur ein kleiner Teil der Gummiringoberfläche dem Quellmedium ausgesetzt. Siehe auch Bild 1.

Nach dem DVGW-Arbeitsblatt G 480 [6] wird für die Zulassung von Gummiringen für den Einbau in Gasleitungen ein Funktionstest vorgeschrieben. Er wird durchgeführt, indem man aus Formstücken eine Muffenverbindung mit dem zu prüfenden Gummiring herstellt.

Diese Prüfanordnung wird mit einem Gemisch von 80 % Isooctan (als Vertreter der Gruppe der aliphatischen Kohlenwasserstoffe) und 20 % Toluol (als Vertreter der Gruppe der aromatischen Kohlenwasserstoffe) gefüllt und 8 Wochen stehen gelassen.

Daran anschließend wird das Kohlenwasserstoffgemisch ausgeleert. Man läßt die Muffenanordnung 14 Tage trocknen und prüft auf Dichtigkeit. Der Ring wird dann ausgebaut, die

Gewichtsdifferenz zum Ausgangsgewicht bestimmt und wieder zur Dichtheitsprüfung eingebaut.

Diese Prüfung wird von TYTON-Dichtringen aus NBR, aber auch von solchen aus Naturgummi bestanden. Sie ist Gegenstand von DVGW-Zulassungsprüfungen nach DIN 3535 Teil 3 [4] für Gummi-Dichtringe zum Einbau in Gasleitungen bis 4 bar Betriebsdruck.

Zur Prüfung von Dichtringen für den Druckbereich von über 4 bis 16 bar ist nach DIN 3535 Teil 3 [4] die gleiche Prüfung unter Verwendung des aromatenreicheren und daher stärker quellend wirkenden Kohlenwasserstoffgemisches aus 70 % Isooctan und 30 % Toluol (Kraftstoff 2) vorgeschrieben. Diese Prüfung wird von NBR problemlos bestanden. NBR ist gegenüber Kohlenwasserstoffgemischen quellbeständiger als Naturgummi. „Nitrilkautschuk ist besonders benz- und mineralölfest“ [2]. (Anmerkung: In diesem Zitat ist das Wort Nitrilkautschuk im Sinne von Nitrilgummi gebraucht).

Für NBR sind in der Norm Begrenzungen für die Quellung vorgeschrieben. Nach DIN 3535 Teil 3 [4] sowie nach ISO 4633 [8] darf bei einer 7tägigen Einwirkung von Kraftstoff 2 auf 2 mm dicke NBR-Proben die Volumenquellung einen Wert von 30 % nicht überschreiten. Nach dem oben Gesagten beträgt die Quellung eines eingebauten NBR-Ringes unter Einwirkung von Kraftstoff 2 nur wenige Prozent.

4.3 Das Verhalten von Gummiringen in Abwasserleitungen mit AKW-Belastung

Auf die Prüfung von Gasleitungsdichtungen wurde so ausführlich eingegangen, weil bei ihr mit wochenlanger Einwirkung der flüssigen Kohlenwasserstoffgemische gearbeitet wird. Demgegenüber muß man davon ausgehen, daß in Abwasserleitungen die Beanspruchung der Dichtringe durch Kohlenwasserstoffe wesentlich geringer und im allgemeinen zeitlich begrenzt ist.

Dabei spielen zwei weitere Faktoren eine Rolle:

Die Aufnahme von Quellmittel durch den Gummiring ist ein Vorgang, der bei den im Abwasser anzutreffenden Temperaturen Tage und Wochen benötigt. Eine zeitlich befristete und sich nur z. B. über Stunden erstreckende Einwirkung von Quellmittel in einer Abwasserleitung wird auch bei einem Gummiring aus einer quellempfindlicheren Gummisorte praktisch nicht zu einer Funktionsbeeinträchtigung des Ringes führen.

Benzin und Superkraftstoff sind leichter als Wasser, ihre Dichten also kleiner als „1“. Ihre Löslichkeit in Wasser ist sehr gering. Gelangt unfallbedingt flüssiger Treibstoff in eine Abwasserleitung, bildet er eine Schicht auf dem Wasserspiegel und schwimmt zur Kläranlage, ohne daß eine längere Einwirkungszeit auf die Gummiringe überhaupt möglich wäre. Deshalb wird die Einwirkung von Kohlenwasserstoffen auf den Dichtring in einer normalen kommunalen Abwasserleitung nicht zu Problemen führen.

Davon abweichend ist die Situation in Ölraffinerien. Dort müssen in gewissem Umfang flüssige Kohlenstoffgemische zusammen mit dem Abwasser zu einer zentralen Sammelstelle abgeleitet werden.

Im Hinblick auf ihre Eignung zum Einbau in Raffinerie-Abwasserleitungen wurde im Jahre 1975 die Beständigkeit von NBR-Ringen unter der Einwirkung eines aromatenreichen Kohlenwasserstoffgemisches (54 % Aromaten) im Engler-Bunte-Institut in Karlsruhe untersucht.

Über diese Untersuchung liegt ein positives Gutachten vor, in dem es heißt:

„Aufgrund der ermittelten Festigkeitseigenschaften, der Alterungs- und Kältebeständigkeit sowie der guten Quellbeständigkeit gegenüber Mineralölprodukten können die geprüften TYTON-Dichtringe aus Nitrilkautschuk als Dichtringe in Leitungen aus duktilem Gußeisen für ungeklärte Raffinerie-Abwässer empfohlen werden.“

Seither sind NBR-Dichtringe in einer Reihe von Raffinerie-Abwasserleitungen eingebaut worden und haben sich gut bewährt.

5. Verhalten von Gummiringen gegenüber Chlorkohlenwasserstoffen (CKW)

5.1 Was sind Chlorkohlenwasserstoffe?

Chlorkohlenwasserstoffe sind im Sinne der chemischen Namensgebung Kohlenwasserstoffe, in denen ein oder mehrere Wasserstoffatome durch Chloratome ersetzt sind. Nach dieser Definition ist die Zahl der Chlorkohlenwasserstoff-Verbindungen noch erheblich größer als die der Kohlenwasserstoff-Verbindungen. Von diesen zahlreichen Chlorkohlenwasserstoffen sind es aber nur 4 Verbindungen, die als sehr gute Lösungsmittel eine Bedeutung haben und vorrangig sind im Hinblick auf die Mengen, die im industriellen und gewerblichen Bereich eingesetzt werden. Sie sind in der Tabelle 1 mit ihren gebräuchlichen Namen und einigen Kennwerten zusammengestellt. Tetrachlorethen (Perchloräthylen) ist das Lösungsmittel, das vorwiegend in chemischen Reinigungen eingesetzt wird.

Darüber hinaus zählen noch Tetrachlormethan (Tetrachlorkohlenstoff) und Trichlormethan (Chloroform) zu den Chlorkohlenwasserstoffen, die dem Nichtfachmann als Lösungsmittel bekannt sind, die aber mengenmäßig nur in geringem Umfang eingesetzt werden und daher unberücksichtigt bleiben können.

5.2 Das Verhalten von Gummiringen unter dem Einfluß von Chlorkohlenwasserstoffen

Gummi quillt in Chlorkohlenwasserstoffen etwa doppelt so stark wie in aromatischen Kohlenwasserstoffen. Dabei bestehen Unterschiede zwischen verschiedenen Gummitypen und verschiedenen Chlorkohlenwasserstoffen, so daß keine Kurzaussagen gemacht werden können.

Chlorkohlenwasserstoffe sind schwerer als Wasser. Ihre Dichte liegt im Bereich von 1,3 bis

1,6 kg/l. Wenn man einen CKW in Wasser gießt, bildet er eine Schicht unter dem Wasser.

Chlorkohlenwasserstoffe haben eine geringe Löslichkeit in Wasser. 1 Liter Wasser vermag bei etwa 20 °C 17 g Dichlormethan (Dichte 1,33 kg/l) zu lösen. Das bedeutet, daß 1 m³ Abwasser 12,8 l Dichlormethan in gelöstem Zustand zu transportieren vermag oder — anders ausgedrückt — daß mit 79 m³ Abwasser 1 m³ Dichlormethan abgeleitet werden kann. Weniger kraß ist die Situation bei Tetrachlorethan (Tetrachloräthylen), dem am wenigsten wasserlöslichen in dieser Reihe. 1 l Wasser löst 0,16 g entsprechend 0,1 ml dieses Chlorkohlenwasserstoffes.

Im Fall einer Abwasserverunreinigung mit Chlorkohlenwasserstoffen sind, als Konsequenz aus dem oben dargelegten, 2 Fälle zu unterscheiden.

— Es kann der heute als Umweltkatastrophe zu bezeichnende Fall eintreten, daß CKW in großen Mengen und über eine längere Zeit in eine Abwasserleitung gelangt, so daß nach Sättigung des Wassers an CKW immer noch eine flüssige CKW-Phase bestehen bleibt. Wenn sie über Tage und Wochen auf die Gummiringe einwirken kann, so führt dies zu einer stärkeren Quellung. Kritisch ist dabei nicht die Quellung, sondern ein Aufplatzen des Ringes bei zu starker Quellung.

— Wenn die abgeleitete CKW-Menge aber mengenmäßig in einem solchen Bereich liegt, daß sie von Wasser gelöst wird, so ist mit einer Schädigung des Gummiringes nicht zu rechnen.

5.3 Orientierungsversuche zum Quellverhalten von Gummi in CKW-belastetem Abwasser

Um das Verhalten von Gummidichtringen in CKW-belastetem Abwasser beurteilen zu können, wurden einige Orientierungsversuche durchgeführt.

Rührt man in einem Becherglas ein Volumen von ca. 1 l Wasser zusammen mit der Menge eines Chlorkohlenwasserstoffes, die ca. 50 % der Sättigungsmenge von CKW in Wasser entspricht, so findet die Auflösung des CKW in Wasser in wenigen Minuten statt. Der Vorgang wird auf 1 bis 2 Minuten abgekürzt, wenn das Wasser Detergentien enthält.

Man kann daraus schließen, daß beim Eingießen von flüssigem CKW in eine Abwasserleitung der Lösevorgang relativ rasch abläuft.

Es wurden Abschnitte von TYTON-Ringen (nur Weichteil) in Wasser eingehängt, das an CKW gesättigt war. Der Versuch wurde mit Dichlormethan und mit Trichlorethan (Trichloräthylen) durchgeführt.

Tabelle 1: Einige Stoffkennwerte von Chlorkohlenwasserstoffen, deren Vorhandensein als Gefährdungsfaktor in Abwasserleitungen nicht auszuschließen ist

| Chemische Bezeichnung ¹⁾ | Sonstige Namen im Geschäftsverkehr | Formel | Molekulargewicht | Maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK-Wert) ²⁾ | | Siedepunkt °C | Dampfdruck mbar (mm) | Dichte g/ml | Löslichkeit in Wasser g/l | In der Reinigung verwendet |
|-------------------------------------|------------------------------------|---|------------------|---|-----------------------|---------------|----------------------|-------------|---------------------------|----------------------------|
| | | | | mg/m ³ | ml/m ³ ppm | | | | | |
| Dichlormethan | Methylenchlorid | $\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{Cl} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$ | 84,93 | 360 | 100 | 40 | 447 (335) | 1,33 | 17 | + |
| 1,1,1-Trichlorethan | Methylchloroform | $\begin{array}{c} \text{Cl} \text{ H} \\ \quad \\ \text{Cl}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \\ \text{Cl} \text{ H} \end{array}$ | 133,41 | 1080 | 200 | 74,1 | 133 (100) | 1,34 | 1,3 | + |
| Trichlorethen | Trichloräthylen, Tri | $\begin{array}{c} \text{Cl} \text{ Cl} \\ \quad \\ \text{C}=\text{C} \\ \quad \\ \text{Cl} \text{ H} \end{array}$ | 131,39 | 270 | 50 | 87 | 77 (58) | 1,46 | 1,1 | + |
| Tetrachlorethen | Tetrachloräthylen, Perchloräthylen | $\begin{array}{c} \text{Cl} \text{ Cl} \\ \quad \\ \text{C}=\text{C} \\ \quad \\ \text{Cl} \text{ Cl} \end{array}$ | 165,83 | 345 | 50 | 121 | 17 (13) | 1,62 | 0,16 | ++ |

¹⁾ Name nach der International anerkannten Nomenklatur der IUPAC (Internationale Union für reine und angewandte Chemie). Nach dieser Nomenklatur wird das deutsche „ä“ zu „e“ — Äthylen wird zu Ethen.

²⁾ nach der MAK-Wert-Liste von 1986

Im Gegensatz zu den Verhältnissen beim eingebauten Ring wurden die Proben allseitig vom CKW gesättigten Wasser umspült, so daß eine relativ große CKW-Aufnahme durch den Gummi erfolgen konnte.

In einem Zeitraum von 50 Std. traten Quellungen von bis zu 22 % in Dichlormethan und bis zu 3 % in Trichlorethan auf.

Im Anschluß an den Quellvorgang wurden die Proben in fließendes Leitungswasser gehängt, in dem ein Rückgang der Quellung durch Abgabe von CKW an das Wasser erfolgte.

Die Abgabe von CKW durch den Gummi an das CKW freie Wasser verläuft langsamer als die Aufnahme. Der Vorgang benötigt näherungsweise 5- bis 10mal so viel Zeit, je nach CKW und Gummityp, wobei ein kleiner Rest von CKW noch sehr lange im Gummi verbleibt.

5.4 Schlußfolgerungen für das Verhalten der Gummiringe in CKW-belasteten Abwasserleitungen

Aus den angestellten Überlegungen läßt sich folgern:

Wenn in einem Abwasser die nach dem ATV-Arbeitsblatt A115 noch zulässige Konzentration von nicht mehr als 5 mg/l (berechnet als Chlor) entsprechend 6 mg Dichlormethan/l bzw. 6,2 mg Trichlormethan/l enthalten ist, so wird mit Sicherheit keine Schädigung des Gummiringes auftreten.

Wenn die abgeleitete Menge das 10-fache dieses Wertes beträgt und als Dauerbelastung auftritt, so wird sich ein CKW-Gleichgewicht zwischen Abwasser und Gummiring einstellen. Die Quellung des TYTON-Gummiringes wird vernachlässigbar gering sein. Eine Funktionsbeeinflussung des Gummiringes wird nicht auftreten.

Dichtungsprobleme werden auch dann nicht auftreten, wenn bedingt durch einen Unfall, kurzzeitig, d. h. über mehrere Stunden größere Mengen von CKW abgeleitet werden, weil die Quellung der Dichtringe erst nach Tagen einen nennenswerten Umfang erreicht.

Mit einer Funktionsbeeinflussung der Gummiringe muß erst dann gerechnet werden, wenn über Wochen CKW in Mengen abgeleitet werden, die über der CKW-Löslichkeit im Abwasser liegen und zur Ausbildung einer flüssigen CKW-Phase führen.

Der in diesem Abschnitt vertretene Standpunkt zum Thema CKW-Beständigkeit der Gummidichtringe ist auch in den Erläuterungen zu der als Entwurf August 87 vorliegenden DIN 4060 [5] zum Ausdruck gebracht.

Es heißt dort:

„Für den Bereich der öffentlichen Kanalisation sind nachteilige Auswirkungen von Chlorkohlenwasserstoffen auf die Dichtmittel nicht zu besorgen. Abgesehen davon, daß Chlorkohlenwasserstoffe nur eine relativ sehr geringe Wasser-

löslichkeit besitzen, gehören sie zu den wassergefährdenden Stoffen, die nach neuen gesetzlichen Bestimmungen nur in für Dichtmittel völlig belanglosen Mengen abgeleitet werden dürfen.“

Ein Thema, das an dieser Stelle behandelt werden sollte, ist die Diffusion von CKW durch die Leitung.

Die druckgeprüfte, das heißt mechanisch dichte Wand eines Gußrohres, ist absolut undurchlässig für alle denkbaren Komponenten eines Abwassers.

Wenn eine Diffusion von CKW aus der Gußrohrleitung in das Erdreich befürchtet wird, so könnte dieser Vorgang nur durch den Dichtring ablaufen [3]. Die Dichtspaltweite einer TYTON-Verbindung, z. B. DN 300, beträgt rund 13 mm. Bezogen auf eine Rohrlänge von 6 m errechnet sich, daß der Ringquerschnitt, durch den eine Diffusion stattfinden könnte, nur 0,22 % der Leitungsoberfläche ausmacht.

Diese Größenabschätzung sowie die Tatsache, daß Geschmacksbeeinflussungen des Trinkwassers durch verseuchtes Erdreich — ein Thema, das vor Jahren eingehend diskutiert worden ist — bei Gußrohrleitungen nie aufgetreten sind, läßt den Schluß zu, daß — umgekehrt — eine Kontamination des Erdreichs durch Diffusion von CKW durch den Gummiring praktisch ausgeschlossen werden kann.

6. Wahl des Dichtungsmaterials für Abwasserleitungen aus duktilem Gußeisen

Die deutsche Gußrohrindustrie liefert seit Jahrzehnten problemlos TYTON-Dichtringe aus Naturgummi zum Einbau in Trinkwasserleitungen, Gasleitungen und in geringerem Umfang in Abwasserleitungen. Ausschlaggebend hierfür waren die sehr guten elastischen Eigenschaften des Naturgummis, die von Synthesegummi im günstigsten Fall erreicht, aber nicht übertroffen werden.

Die in einer normalen Abwasserleitung auftretenden Mengen an Kohlenwasserstoffen und Chlorkohlenwasserstoffen stellen, wie bereits erwähnt, kein Problem für Gummiringe dar.

Vergleicht man die Quellung der verschiedenen Elastomeren in unterschiedlichen Kohlenwasserstoffen und Chlorkohlenwasserstoffen, so stellt man fest, daß Naturgummi zu den quellempfindlichen Elastomeren zählt. Man muß daher in speziellen Fällen, z. B. in Raffinerie-Abwasserleitungen, damit rechnen, daß stark mit aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen belastete Abwässer auftreten und zu einer stärkeren Quellung von Naturgummiringen führen.

Zum Einbau in stark mit AKW und CKW belasteten Leitungen muß daher an Alternativen zum Naturgummi gedacht werden. Dabei sollten alternative Elastomere unter Beibehaltung der für die Dichtfunktion wichtigen Eigenschaften eine bessere Beständigkeit gegenüber technischen Kohlenwasserstoffgemischen und CKW besitzen.

SBR, EPDM (APTK) und CR werden im Bereich der Haus- und Grundstücksentwässerung eingesetzt, wo andere Entscheidungskriterien als bei einer erdverlegten Abwassersammelleitung gelten. So sind bei der Hausentwässerung erhöhte Anforderungen im Hinblick auf die Beständigkeit gegenüber Warmwasser und Licht zu stellen. Die Beständigkeit der genannten Werkstoffe gegenüber AKW und CKW ist je nach Material nicht oder nicht wesentlich besser als die von Naturgummi, aber deutlich schlechter als die von NBR.

Fluorelastomere haben eine hervorragende Quellbeständigkeit gegenüber AKW und CKW. Sie haben den Nachteil, daß ihre elastischen Eigenschaften weit hinter dem Naturgummi zurückstehen. Damit erfüllt ein aus einem Fluorelastomer hergestellter Dichtring nur bedingt die an ihn zu stellende Hauptanforderung, nämlich über Jahrzehnte eine dichte Verbindung zu gewährleisten.

In den vorangegangenen Abschnitten ist nur NBR als Alternative zum Naturgummi eingehender diskutiert worden. Beim gegenwärtigen Stand der technischen Entwicklung erweist sich diese Alternative bei eingehender Prüfung als die beste für die spezifischen Belange des Gußrohres. NBR hat erwiesenermaßen eine gute Beständigkeit in mit Kohlenwasserstoffgemischen belasteten Abwässern (siehe Abschnitte 4.2 und 4.3). Seine Beständigkeit gegenüber CKW in einem Konzentrationsbereich, der weit über den behördlich zulässigen Werten liegt, ist gegeben. Im „Leitfaden“ [9] wird er als beständig gegenüber Tetrachlorkohlenstoff, Trichlorethylen und Perchlorethylen eingestuft.

Durch den Einsatz von NBR-Ringen wird das Thema einer mikrobiologischen Zerstörung von Gummiringen in Abwasserleitungen gegenstandslos. Dieses Thema wird von niederländischer und englischer Seite Trink- und Abwasserleitungen betreffend in die Diskussion gebracht. Es bleibt dabei festzustellen, daß den deutschen Gußrohrwerken bis heute kein Fall einer mikrobiologischen Zerstörung von Gummiringen bekannt geworden ist.

Zusammenfassung

Es wird die Gefährdung von Gummiringen in Abwasserleitungen aus duktilem Gußeisen durch aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe sowie durch Chlorkohlenwasserstoffe diskutiert. In normalen Abwasserleitungen ergeben sich keine Probleme, wie eine jahrzehntelange allgemeine Erfahrung gezeigt hat.

Ist mit erhöhten Gehalten an Kohlenwasserstoffgemischen (Benzin und Superkraftstoff) im Abwasser zu rechnen, so steht im Nitrilgummi-TYTON-Ring (Perbunanring) ein beständiges Dichtelement zur Verfügung. Es liegt ein Gut-

achten des Engler-Bunte-Instituts über die Beständigkeit von Nitrilgummi-TYTON-Ringen in Raffinerieabwässern vor.

Auch beim Auftreten von Chlorkohlenwasserstoffen im Abwasser stellt der Nitrilgummiring ein zuverlässiges Dichtelement der Leitung dar.

Bei einer Dauerbelastung durch Chlorkohlenwasserstoffe kommt zum Tragen, daß nach neueren gesetzlichen Bestimmungen Chlorkohlenwasserstoffe nur in Mengen abgeleitet werden dürfen, die für Gummi völlig ungefährlich sind.

Bei einer unfallbedingten Stoßeinleitung von Chlorkohlenwasserstoffen in hohen Konzentrationen reicht eine Einwirkungszeit von Stunden bis zu wenigen Tagen nicht aus, um den TYTON-Ring in seiner Dichtfunktion zu beeinträchtigen.

Schrifttum

- [1] B. Batzer
Polymere Werkstoffe — Band III — Technologie 2
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York (1984)
- [2] A. Franck und K. Biederbick
Kunststoff-Kompendium
Vogel-Buchverlag, Würzburg, 1. Aufl. 1984
- [3] W. Wolf
Einsatz von Gummidichtringen in Gasleitungen aus Gußrohren
gwf — gas/erdgas, 111 (1970), Heft 8, S. 427
- [4] DIN 3535 Teil 3, April 1986
Dichtungen für die Gasversorgung; Dichtungswerkstoffe aus Elastomeren für Gasversorgungs- und Gasfernleitungen; Anforderungen und Prüfung
- [5] DIN 4060, Entwurf August 1987
Dichtmittel aus Elastomeren für Rohrverbindungen von Abwasserkanälen und -leitungen; Anforderungen und Prüfungen
- [6] DVGW-Merkblatt G 480, Juni 1982
Einsatz von Dichtungen aus Elastomeren für Gasversorgungs- und Gasfernleitungen
- [7] ATV-Arbeitsblatt A 115, Januar 1983
Hinweise für das Einleiten von Abwasser in eine öffentliche Abwasseranlage
- [8] ISO 4633, 1983
Rubber seals — Joint for water supply, drainage and sewerage pipelines — Specification for materials
- [9] Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Baden-Württemberg
Leitfaden — Umgang mit leichtflüchtigen chlorierten und aromatischen Kohlenwasserstoffen
Heft 15, Januar 1985

Auskleidung von duktilen Gußrohren mit Tonerdeschmelzementmörtel für den Abwassertransport

Von Alain Mathieu,
Michel Langenfeld
und Jürgen Rammelsberg

1. Einleitung, Stand der technischen Regeln

Duktile Gußrohre für den Wassertransport sind in zwei Normenreihen genormt, und zwar:

- Rohre für den Transport von Trinkwasser und Gas in DIN 28 600 und DIN 28 610 Teil 1 [1; 2]
- Rohre für den Abwassertransport in DIN 19 690 und DIN 19 691 [3; 4]

Für beide Einsatzfälle — ausgenommen bei Gasrohren — ist eine Auskleidung mit Zementmörtel als Korrosionsschutz gegenüber Angriffen des transportierten Mediums vorgesehen.

Zur Beurteilung des Angriffsgrades von Wässern vorwiegend natürlicher Zusammensetzung, die betonangreifende Stoffe enthalten und auf erhärteten Beton aller Art chemisch einwirken, gilt Tabelle 2 der DIN 4030 [5]. Sie gilt namentlich u. a. für Abwässer, nicht jedoch für konzentrierte Lösungen.

Dieser vorgestellte Zweig des technischen Regelwerks wird ergänzt um eine Richtlinie des DVGW, das Arbeitsblatt W 342 [8], das zur Zeit zur DIN 2614 [9] umgewandelt wird. Unter den zu transportierenden Wässern ist hier das Abwasser ausdrücklich erwähnt. Die Verwendung von Tonerdeschmelzzement als Bindemittel für Auskleidungen, die betonaggressiven Wässern ausgesetzt sind, wird hier ausdrücklich angegeben.

Richtlinien für die Ausführung von Bauten aus Beton und Stahlbeton, die angreifenden Wässern ausgesetzt werden, sind in DIN 1045 [6] enthalten; von dort wird man auf die DIN 1164 Teil 1 [7] verwiesen, die als genormte Zementarten nennt:

- Portlandzement (PZ)
- Eisenportlandzement (EPZ)
- Hochofenzement (HOZ)
- Traßzement (TrZ)

Tonerdeschmelzzement (TSZ) ist in Deutschland nicht genormt.

Faßt man die Angriffsgrade nach DIN 4030, Tabelle 2, die Anforderungen an Betone mit hohem Widerstand gegen chemische Angriffe (DIN 1045) und die Einsatzbereiche von Zementmörtelauskleidungen nach DIN 2614 (Entwurf) zusammen, so lassen sich unter Berücksichtigung der Sicherheit relativ dünner Auskleidungen die folgenden Einsatzgrenzen ableiten:

Im „schwach angreifenden“ Bereich mit

| | | |
|-------------------------------|---|----------|
| pH | ≥ | 6,5 |
| SO ₄ ²⁻ | < | 600 mg/l |
| CO ₂ | < | 30 mg/l |

sind Portland- bzw. Hochofenzemente mit hohem Sulfatwiderstand die geeignete Lösung. Der niedrige Wasser/Zement-Wert und die damit zusammenhängende besondere Dichtigkeit des Mörtelgefüges sind aus der Herstelltechnik heraus sichergestellt.

Für „stark angreifende“ Wässer mit

| | | |
|-------------------------------|---|-----------|
| pH | > | 4,5 |
| Mg ²⁺ | < | 1500 mg/l |
| SO ₄ ²⁻ | < | 3000 mg/l |

ist die Mörtelauskleidung mit Tonerdeschmelzzement geeignet.

Die vorliegende Arbeit hat sich die Aufgabe gestellt, die Leistungsfähigkeit einer Mörtelauskleidung mit dem in DIN 1164 nicht genannten Tonerdeschmelzzement, insbesondere als Korrosionsschutz von Abwasserleitungen, anhand von Versuchsergebnissen darzustellen und damit einen Beitrag zur Weiterentwicklung des bewährten duktilen Gußrohres mit Zementmörtelauskleidung für diesen speziellen Anwendungsbereich zu leisten.

2. Hydratation der tonerdehaltigen Zemente

Bei der Hydratation von hauptsächlich Calciumsilikat enthaltendem Zement wird hydratisierter Kalk frei, der das ungünstige Verhalten von Betonen gegenüber aggressiven, besonders sauren, Lösungen hervorruft.

Im Vergleich hierzu ist die Hydratation der Tonerde enthaltenden Zemente völlig verschieden. Sie läuft in mehreren Schritten einschließlich einer Kristall-Transformation der Hydrate ab, bekannt als „Umwandlung“ [11]; es entsteht kein freies Kalkhydrat.

Die Umwandlung des CAH₁₀ (hexagonale Struktur) in C₃AH₆ (stabile kubische Struktur) geschieht unter Freisetzung von Gibbsit AH₃ und freiem Wasser. Die Umwandlung der Aluminate dauert bei 20 °C einige Zeit und beschleunigt sich mit steigender Temperatur. Die Umwandlung ist irreversibel.

Die metastabilen hexagonalen Hydrate enthalten mehr Wasser als die stabilen kubischen. Folglich wird bei der Umwandlung Wasser frei. Daher ist es wichtig, daß der Wasser/Zement-

Wert nur für die Hydratation des Zements in der kubischen Struktur bemessen wird.

Wenn die Lagerungsbedingungen anfänglich zu hexagonalen Hydraten führen, kann das bei der späteren Umwandlung frei werdende Wasser durch die Hydratation des noch nicht hydratisierten Restzementkorns gebunden werden.

In diesem Fall wird es keinen Anstieg der Porosität und keine mit der Freisetzung von Wasser verbundene Festigkeitsabnahme geben. Der für die Hydratation von Tonerdeschmelzzement in kubischer Form benötigte W/Z-Faktor beträgt etwa 0,35. Dieser Wert wird der kritische W/Z-Faktor genannt.

Zahlreiche Arbeiten haben gezeigt, daß ein W/Z-Faktor von 0,4 eine brauchbare Grenze ist, die gewährleistet, daß bei der Umwandlung die Druckfestigkeit des Betons nicht unter 40 N/mm² absinkt.

Sowohl der Wasser/Zement-Wert als auch die Reifetemperatur spielen eine wichtige Rolle für die Umwandlung des Tonerdezementmörtels.

Eine Aushärtung unter Wärme erzeugt direkt die stabilen Hydrate und somit auch die mechanischen Festigkeiten der umgewandelten Phasen [12].

3. Chemisches Verhalten der Tonerdeschmelzzementmörtelauskleidung; Anwendungsgebiete und Anwendungsgrenzen

Tonerdeschmelzzement wurde ursprünglich wegen seiner guten Beständigkeit gegen Sulfate, Meerwasser und Industrieabwasser entwickelt. Er weist gegenüber diesen aggressiven Substanzen ein besseres Verhalten auf als Portlandzement.

Einer der Gründe dafür ist darin zu sehen, daß die Hydrate von Tonerdeschmelzzement in Mineralsäuren viel weniger löslich sind als die von Portlandzement. Das Verhalten eines

Bild 1: Gewichtsverlust von Zementmörtelprismen in verdünnter Schwefelsäure (pH = 3) als Funktion der Zeit

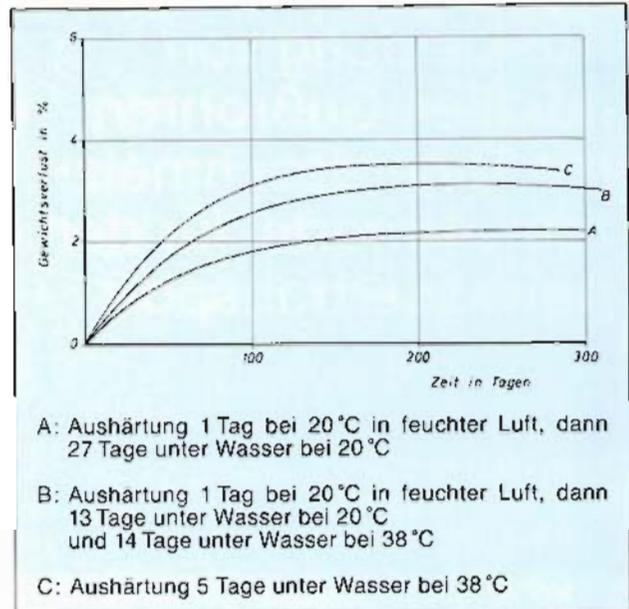
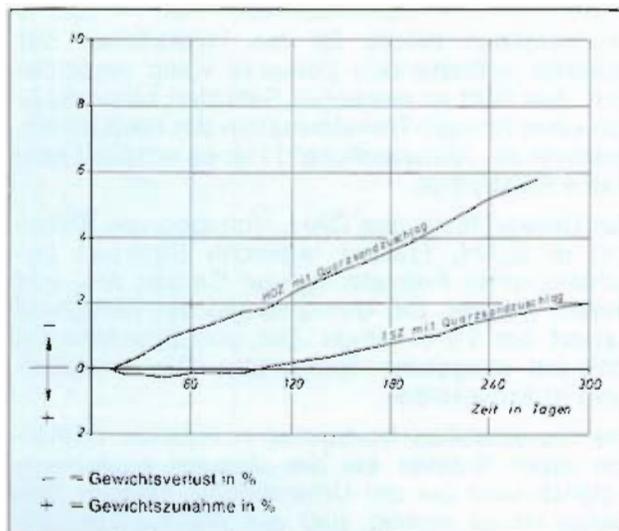


Bild 2: Gewichtsverlust von TSZ-Mörtelprismen in NaOH-Lösung (pH = 11) als Funktion der Zeit

Betons oder eines Mörtels hängt jedoch nicht ausschließlich von seinen Bestandteilen ab, sondern gleichermaßen von seiner Struktur (Porosität, Durchlässigkeit, Porengröße, Porengrößenverteilung) [12; 13].

Beton aus Tonerdeschmelzzement ist nur wenig porös, auch nach Umwandlung, da parallel zur Umwandlung eine Hydratation der noch nicht hydratisierten Körner erfolgt, was eine Auffüllung der Poren bewirkt. Dies gilt in noch stärkerem Maße für die zentrifugierte Mörtelauskleidung mit Tonerdeschmelzzement.

3.1 Beständigkeit gegenüber verdünnten Säuren

Eintauchversuche von Mörtelprismen der Abmessungen 2 × 2 × 10 cm³ in täglich erneuerten Schwefelsäurelösung (pH = 3) lassen einen Vergleich zwischen Tonerdezement und Hochofenzement mit 74 % Schlackensand zu. Beide Mörtel haben ein Sand/Zement-Verhältnis von 1,6 und gleiche Fließfähigkeit, die einem W/Z-Faktor des TSZ-Mörtels von 0,30 entspricht.

Das für die Bewertung benutzte Kriterium ist der Gewichtsverlust der Proben als Funktion der Zeit. Die Kurven in Bild 1 fassen die erhaltenen Ergebnisse zusammen. Der halb umgewandelte TSZ hat bei pH 3 ein besseres Verhalten als der HOZ. Die Gewichtsverluste nach 9 Monaten betragen nur 2 %.

3.2 Beständigkeit gegen starke Basen

Um das Verhalten von TSZ gegenüber starken Basen zu ermitteln, wurde der Gewichtsverlust von 2 × 2 × 10 cm³ großen Proben aus TSZ-Mörtel bestimmt, die in Soda- oder Ammoniaklösungen eintauchen.

Der Zuschlag (0 bis 4 mm) ist Quarzsand; das Sand/Zement-Verhältnis liegt bei 0,5.

Bei Natronlauge mit pH-Werten von 14 und 13 erfolgt der Angriff sehr schnell. In einem Zeitraum von 20 Tagen kommt es zu einem Gewichtsverlust von 2 bis 3 %. Nach 400 Tagen tritt eine Stabilisierung des Gewichtsverlustes bei rund 9 % bei pH = 14 und 5 % bei pH = 13 ein.

Bei NaOH mit einem pH-Wert von 11 liegt der Gewichtsverlust nach 100 Tagen zwischen 2 und 3 %. Nach mehr als 250 Tagen ist praktisch kein Angriff mehr festzustellen. Nach 360 Tagen beträgt der Gewichtsverlust ca. 3 %. Die nicht umgewandelte Probe A verhält sich geringfügig besser (Bild 2).

In Ammoniaklösung mit einem pH-Wert von 13 zeigen die Mörtel aus TSZ keinen Gewichtsverlust. Es ist sogar eine leichte Zunahme festzustellen (Bild 3).

Die Ergebnisse weisen darauf hin, daß mehr die Alkaliart der Lösung und weniger der pH-Wert für den Angriff eines Mörtels aus TSZ bestimmend sein kann.

3.3 Versuche an Rohrauskleidungen mit Rissen

Es wurden Versuche über die Beständigkeit von Gußbrohrauskleidungen gegen ein tropfenweises Einwirken von Schwefelsäure (pH 3) durchgeführt. Die Auskleidung aus TSZ wies unterschiedlich tiefe Risse von 0,1, 0,4 und 0,6 mm Breite auf; sie wurden durch Scheiteldruckverformungen am Rohr (DN 150) erzeugt.

Nach viereinhalb Monaten, bei denen Schwefelsäure (pH 3) tropfenweise auf die Risse gegeben wurde, zeigten sich folgende Ergebnisse:

Die Probe mit dem 0,6 mm breiten Riß weist einen Angriff des Gußeisens auf. In diesem Fall durchbrach die Säure die Kontaktfläche zwischen Zementmörtel und Gußrohr.

Dagegen wiesen die Proben mit Rißbreiten von 0,1 und 0,4 mm keinerlei Korrosion des Gußrohrs auf.

3.4 Beständigkeit von Rohrauskleidungen aus Tonerdeschmelzzementmörtel in einer simulierten Abwasserkanalatmosphäre

Die Einwirkung von biogen gebildeter Schwefelsäure auf Kanalbau-Materialien wird unter simulierten und zeitgerafften Bedingungen in sogenannten Schadgasschränken beobachtet. Im H₂S-Schadgasschrank der Abteilung Mikrobiologie des Instituts für Allgemeine Botanik der Universität Hamburg wurden Rohrsegmente mit TSZ-Mörtelauskleidung folgenden Bedingungen ausgesetzt: Temperatur 30 °C; relative Luftfeuchte über 95 %; Schwefelsäurevorstufen im Überschuß, Beimpfung mit schwefelsäurebildenden Bakterien (Thiobacillen).

Als Vorstufe für biogene Schwefelsäure diente Natrium-Thiosulfatlösung.

Im Verlauf der 300 Tage dauernden Exposition fiel der pH-Wert im Oberflächenfilm des Mörtels auf den Wert 2,3. Die optische Prüfung der Proben ließ keine Schadstelle erkennen.

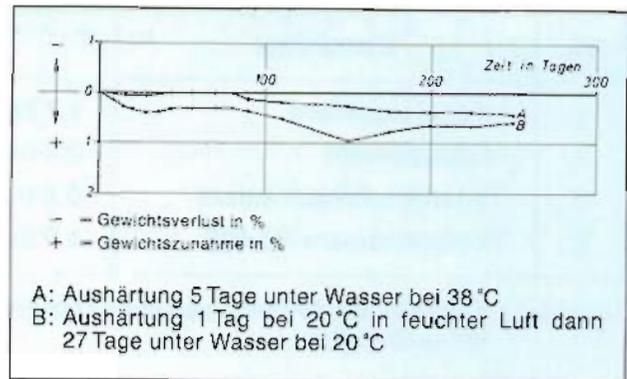


Bild 3: Gewichtszunahme von Zementmörtelprismen in NH₄OH-Lösung bei pH = 13 als Funktion der Zeit

Im abschließenden Bericht wird festgestellt, daß sich der Tonerdeschmelzzementmörtel im Schadgasschrank und bei einem mittleren Angriffsgrad gut bewährt hat, wobei folgende Bewertungsskala gilt:

wenig bewährt
 bewährt
 gut bewährt.

3.5 Simulierung der Korrosion durch Schwefelwasserstoff in Abwasserkanälen

Die Tests wurden an Proben von Gußrohren DN 100 durchgeführt, die durch Ausschleudern mit Mörtel ausgekleidet worden waren; dabei wurden vier verschiedene Zementarten verwendet:

- ein Hochofenzement (70 % Schlackensand)
- ein Hüttenzement (80 % Schlackensand)
- Tonerdeschmelzzement
- Portlandzement.

Die Rohrabschnitte (Länge 450 mm) wurden horizontal angeordnet, an ihren Enden mit Plexiglasplatten abgeschlossen und zu rund 1/3 mit Abwasser gefüllt; die miteinander verbundenen Gasräume wurden durch einen Luftstrom von 400 l/h mit 100 ppm H₂S durchflossen. Dieser H₂S-Gehalt führt erfahrungsgemäß zu extrem hohen bakteriogenen Schwefelsäure-Korrosionsbeanspruchungen.

Die Prüflinge ruhten mit ihrem unteren Teil in einem 37 °C warmen Wasserbad. Eine Kühlvorrichtung im Scheitelbereich rief eine Kondenswasserbildung hervor.

Nach zwei Jahren Versuchsdauer waren auf Wasserniveau und etwas darüber alle Mörtelarten, mit Ausnahme des Tonerdezementmörtels mürbe. Durch einfaches Überstreichen mit der Bürste löste sich der Mörtel. Nach der Reinigung waren im noch haftenden Mörtel die Zuschlagstoffe freigelegt.

Die nachfolgende Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Eindringtiefe der Korrosion im Bereich des Wasserniveaus für verschiedene Mörteltypen.

| Nr. | Zementtyp | Korrosionstiefe auf Wasserniveau |
|-----|-----------------------|--------------------------------------|
| 1 | Hochofenzement | 1,7 bis 2 mm |
| 2 | Hüttenzement | 2,4 bis 2,7 mm |
| 3 | Tonerdeschmelzzement | 0,6 mm (Beseitigung der Zementmilch) |
| 8 | Portlandzement PZ 400 | 1,9 bis 2,3 mm |

Tabelle 1: Korrosionstiefe verschiedener Zementmörtelauskleidungen nach zwei Jahren Versuchsdauer

Die Photos in Bild 4 veranschaulichen die Korrosionsangriffe, insbesondere auf der Höhe der Wasserlinie.

Der Tonerdeschmelzzement weist ein besonders günstiges Verhalten auf; dabei ist zu bemerken, daß die verschärften Versuchsbedingungen einen Zeitraffereffekt gegenüber den meisten praktisch vorkommenden Verhältnissen bewirkt haben.

3.6 Verhalten in künstlichem, stark aggressiven Abwasser bei verschiedenen pH-Werten

Über das Korrosionsverhalten von Tonerdeschmelzzementmörteln in aggressiven Medien, insbesondere bei dünnen Mörtelbeschichtungen, ist relativ wenig bekannt.

Angaben im Schrifttum beziehen sich meist auf massive Teile aus Tonerdeschmelzzementbeton; in möglichst praxisnahen Versuchen in Pumpleitungen mit Rohren mit Tonerdeschmelzzementmörtel-Auskleidung wurde das Verhalten unter stark aggressiven Verhältnissen getestet. Als aggressives Abwasser wurde eine hochkonzentrierte Mischung verschiedener Salze verwendet, die im wesentlichen aus Chloriden des Natriums und des Calciums sowie Sulfaten des Magnesiums, des Eisens, des Mangans, des Kupfers und des Nickels bestand mit Beimengung von Acetaten, Nitraten, Chromaten sowie als organischem Bestandteil Harnstoff und Detergentien, wie sie in kommunalen Abwässern häufig zu finden sind. Diese Mischung war in destilliertem Wasser gelöst und wurde in 3 Versuchsleitungen mit automatischen Dosierein-

richtungen unter Verwendung verdünnter Schwefelsäure auf die pH-Werte 2 sowie 4 und 5 eingestellt. Die Fließgeschwindigkeit betrug 0,2 m/sec bei Raumtemperatur; das Abwasservolumen pro Anlage betrug ca. 150 l.

Die Ergebnisse nach 4½ und 9 Jahren Betriebszeit sind in der Tabelle 2 zusammengefaßt. Die Ergebnisse zeigen, daß eine Rohrauskleidung auf der Basis Tonerdeschmelzzement für den Transport saurer Abwässer mit industriellem Charakter gut einsetzbar ist. Dabei ist zu bedenken, daß die Konzentration der aggressiven Inhaltsstoffe, die bei den Versuchen aus Zeitraffungsgründen unzulässig hoch gewählt wurden, in realen Abwässern deutlich niedriger liegt.

3.7 Folgerungen für den Einsatzbereich

Aufgrund der Versuchsergebnisse und der Bewährung im praktischen Einsatz können die Einsatzgrenzen für Tonerdeschmelzzementmörtel-Auskleidungen von Gußrohren und Formstücken mit einem pH-Wert von 5 bis 9 ohne Einschränkungen angegeben werden. Sind jedoch normale kommunale Abwässer zu transportieren, so wird der Einsatzbereich an einzelnen Einleitungsstellen für den pH-Wert-Bereich des berührenden Abwassers ohne Schwierigkeiten auf 4 bis 12 erweitert.

Der untere Grenzwert von pH = 4 wurde übrigens auch von GEORGE [12] und im Leitfaden zur Auswahl und Verwendung von Hydraulikzement des American Concrete Institute [14] empfohlen.

Tabelle 2: Pumpversuche in Versuchsleitungen mit künstlichen, extrem aggressiven Abwässern; Korrosion von TSZ-Mörtelauskleidungen

| pH | nach 4½ Jahren | nach 9 Jahren |
|----|--|--|
| 2 | Auskleidung ist bis auf den Eisengrund erweicht. | Auskleidung ist bis auf den Eisengrund erweicht. Die oberen Schichten sind teilweise herausgelöst. |
| 4 | Die Schlamm- und Feinsandschicht ist ca. 2 mm tief erweicht. | Schlamm- und Feinsandschicht sandet ab. Teile der obersten Schicht sind abgelöst, darunter ca. 2 mm Erweichung. |
| 5 | Die Schlamm- und Feinsandschicht ist ca. 2 mm tief erweicht. | Oberfläche ca. 1 mm tief erweicht. (Besseres Prüfergebnis als bei 4½ Jahren; wahrscheinlich durch Nachhärten bei kurzfristigem Austrocknen.) |

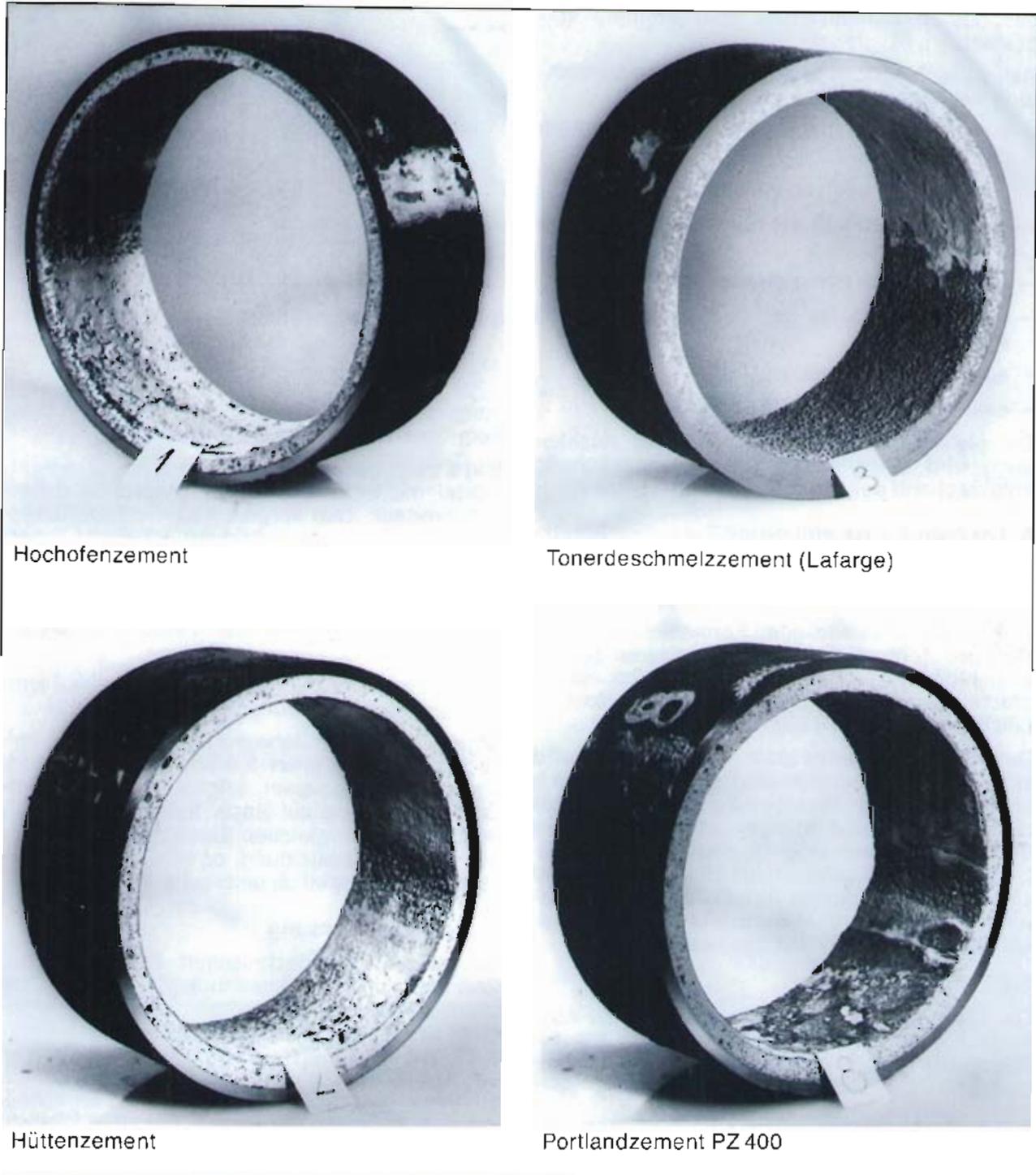


Bild 4: Korrosion von Zementmörtelauskleidungen von Gußrohren in simulierten Abwasserkanal-Bedingungen

4. Rohrauskleidungstechnik

Der für die Auskleidung von Gußrohren verwendete Mörtel setzt sich aus Zement, Quarzsand (über 90 % SiO_2) und Trinkwasser zusammen.

Kennzeichnend für die Mörtelzusammensetzung sind das

- Verhältnis Sand/Zement (S/Z) und das
- Verhältnis Wasser/Zement (W/Z).

Der Mörtel wird in das horizontal liegende Rohr eingebracht; in der Schleuderphase wird der Mörtel zentrifugiert und verdichtet, wobei das

überschüssige Anmachwasser ausgetrieben wird. Die wesentlichen Verfahrensparameter sind:

- maximale Drehgeschwindigkeit
- Drehzeit
- Schwingungen und ihr Auftreten während des Zyklus.

Für eine gute Hydratisierung des Mörtels benötigt man eine Atmosphäre mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von 100 % unabhängig von der Temperatur. Diese Bedingungen werden in

besonderen, klimatisierten Reifekammern eingestellt.

Das Ausschleudern bewirkt eine hohe Verdichtung der Mörtelauskleidung. So entsteht:

- eine Mörtelauskleidung, die am Gußrohr sehr gut haftet
- eine Auskleidung von gleichmäßiger Dicke
- eine Konzentration der feinen Partikel an der Oberfläche
- hervorragende hydraulische Eigenschaft
- ein W/Z-Faktor in der Größenordnung von 0,28 bis 0,30
- eine niedrige Porosität
- eine hohe mechanische Festigkeit.

Die gleichbleibend hohe Qualität der Auskleidung wird durch eine intensive Überwachung entsprechend der DIN 2614 [9] sichergestellt.

5. Formstückauskleidung mit Tonerdeschmelzementmörtel

5.1 Auskleidungsverfahren

Wegen der oft verwickelten Formstückgeometrie muß der Zementmörtel mit besonderen Spritzeinrichtungen in das ruhende Formstück eingebracht werden; dies geschieht nach dem in Bild 5 dargestellten Radial-Spritzverfahren.

Der Wasser/Zement-Faktor von max. 0,40 wird schon in der zu verarbeitenden Mörtelmischung eingestellt. Eine Verarbeitung dieses Mörtels durch Pumpen und Spritzen ist mit Hilfe eines Betonzusatzmittels möglich, das aus einer Kombination aus zementreaktiven Mineralstoffen und einer verseifungsfesten Acrylharzdispersion sowie Füllstoffen, wassereinsparenden und wasserrückhaltenden Wirkstoffen besteht.

5.2 Erhärtung

Die Zementmörtelauskleidung wird vor der Auslieferung der Formstücke mindestens bis zur Transportfestigkeit ausgehärtet, so daß bei ord-

Bild 5: Auskleidung eines Formstückes im Radialspritzverfahren



Bild 6: Erhärtungsverlauf von Zementauskleidungen auf Basis Tonerdeschmelzement, mit und ohne Zusatzmittel

nungsgemäßer Verladung und ordnungsgemäßen Transport keine Schäden auftreten.

Bild 6 zeigt den für den Tonerdeschmelzementmörtel mit Betonzusatzmittel typischen Erhärtungsverlauf. Zum Vergleich ist die Erhärtungskurve für die Rohrauskleidung auf Basis Tonerdeschmelzement ohne Zusatzmittel mit eingetragen.

5.3 Anforderungen an die Zementmörtelauskleidung

Wie bei den Rohren gelten auch bei den Formstücken die Anforderungen der DIN 2614 [9].

Ergebnisse von 6 Jahren dauernden Pumpversuchen mit dem unter 3.5 beschriebenen stark aggressiven Abwasser zeigen, daß die Formstückauskleidung auf Basis Tonerdeschmelzementmörtel den gleichen Einsatzbereich besitzt wie die Rohrauskleidung, obwohl sich die Herstellverfahren deutlich unterscheiden.

6. Zusammenfassung

Ausgehend vom technischen Regelwerk der Gußrohr- und Betontechnologie werden die besonderen Eigenschaften des Tonerdeschmelzements behandelt, die diesen Werkstoff zur geeigneten Basis einer Korrosionsschutzauskleidung duktiler Gußrohre für die erhöhten Anforderungen in der Abwassertechnik machen. Aufgrund der Ergebnisse einer Vielzahl von Untersuchungen, insbesondere zur Beständigkeit gegenüber bakteriogener Schwefelsäure-Korrosion sowie in Langzeitbelastungen (Pumpversuche mit hochaggressiven Abwässern) werden die Einsatzgrenzen festgelegt. Zusätzlich werden die speziellen Herstellverfahren von Tonerdeschmelzementmörtelauskleidungen von Rohren und Formstücken aus duktilem Gußeisen und die integrierten Qualitätssicherungsverfahren beschrieben.

Schrifttum

- [1] DIN 28 600
Druckrohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen für Gas- und Wasserleitungen; Technische Lieferbedingungen; Januar 1983

- [2] DIN 28 610 Teil 1
Druckrohre aus duktilem Gußeisen mit Muffe mit Zementmörtelauskleidung für Gas- und Wasserleitungen; Maße, Massen und Anwendungsbereiche; Januar 1983
- [3] DIN 19 690
Technische Lieferbedingungen für Rohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen für Entwässerungskanäle und -leitungen; Juli 1978
- [4] DIN 19 691
Rohre aus duktilem Gußeisen mit Steckmuffe für Entwässerungskanäle und -leitungen; Maße; Juli 1978
- [5] DIN 4030
Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase; November 1969
- [6] DIN 1045
Beton und Stahlbeton — Bemessung und Ausführung — Dezember 1978
- [7] DIN 1164 Teil 1
Portland-, Eisenportland-, Hochofen- und Traßzement; Begriffe, Bestandteile, Anforderungen, Lieferung; Dezember 1986
- [8] DVGW-Arbeitsblatt W 342
Werksseitig hergestellte Zementmörtelauskleidungen für Guß- und Stahlrohre — Anforderungen und Prüfungen, Einsatzbereich; Dezember 1978
- [9] DIN 2614
Zementmörtelauskleidungen für Gußrohre, Stahlrohre und Formstücke; Verfahren, Anforderungen, Prüfungen; Entwurf April 1987
- [10] George, C. M.
Emploi du béton de ciment alumineux dans la construction
Révue des matériaux de construction Nr. 701, April 1976
- [11] Alegre, R.
Etude des effets sur les ciments alumineux hydratés de la transformation de $\text{CaOAl}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ sous l'action de la température
Révue des matériaux de construction „Ciment et Béton“ Nr. 630, März 1968
- [12] George, C. M.
Industrial Aluminous Cements in: Structure and performance of cements, S. 415 ff.; edited by P. Barnes, Applied Science Publishers 1983
- [13] Robson, T. D.
High Alumina Cements and Concretes, Contractors Record Ltd. London 1962
- [14] Guide to the selection and use of hydraulic Cements;
ACI-Committee 225 — Committee Report Nov. 1985

Einsatz von duktilen Gußrohren bei Abwasseranlagen

Von Werner Brübach

1. Allgemeines

Die Stadt Witzzenhausen im Werra-Meißner-Kreis (Nordhessen) hat mit der Stadt Bad Sooden-Allendorf einen Abwasserverband gegründet, der die Aufgabe hat, für insgesamt 13 Stadtteile Abwasserbehandlungsanlagen zu planen und zu erstellen.

Eine Gruppe hierbei ist die Abwasserbehandlungsanlage für die Stadtteile (ST) Blickershausen, Ermschwerd, Ziegenhagen, Albshausen und Gertenbach – „Unteres Werratal“ – (Bild 1).

Diese Anlage ist ausgelegt für 4.400 Einwohner-Gleichwerte (EGW).

2. Planung

Bedingt durch die Topographie und die Hochwasserverhältnisse – das Planungsgebiet wird von der Werra durchflossen – ergaben sich bereits unterschiedliche Zwangspunkte.

ST Albshausen – 120 EGW

- Kleiner Vorfluter, ca. 4 qkm;
- Wasserschutzgebiet – Zone II und III –;
- Der ST kann nur im Trennsystem entwässert werden.
- Eine Ortskanalisation war bisher nicht vorhanden.
- Die Abwässer werden zur Zeit in Hausklärgruben geklärt.

Ein Mischsystem für den ST und eine Regenwasserentlastungsanlage in den kleinen Vorfluter zu erstellen, ist nicht möglich; daher wurde aus wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten das Trennsystem gewählt.

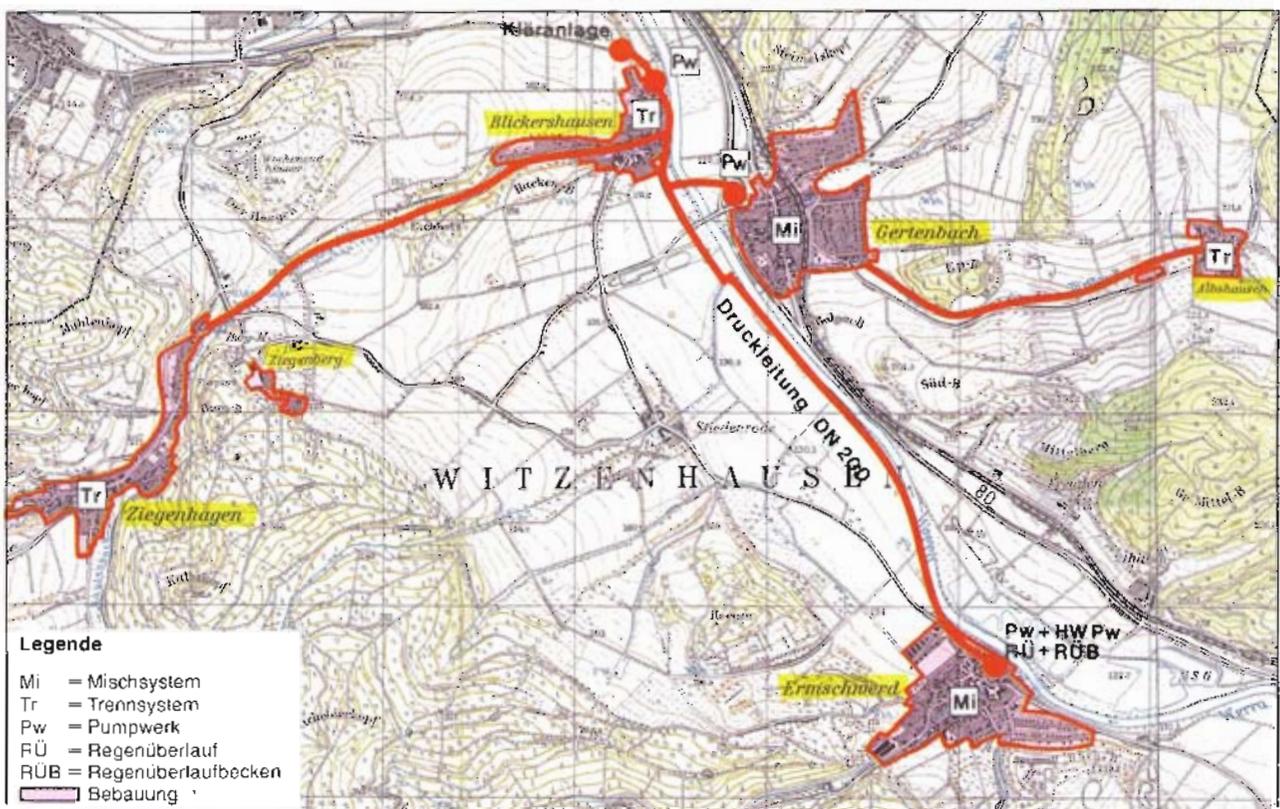
Der Anschluß des ST erfolgt über eine 2,3 km lange Sammelleitung an den nächsten ST Gertenbach.

ST Ermschwerd – 1.700 EGW

Vorhanden ist eine Ortskanalisation im Mischverfahren mit zwei Regenüberläufen. Diese wurden am Ortsende zusammengeführt und einer mechanischen Kläranlage zugeleitet.

Neu erstellt wurde die Kanalisation im unteren Bereich des ST mit Zusammenführung der Mischwasserkanäle zu einem Regenüberlauf;

Bild 1: Lageplan



anschließend nach dem Regenüberlauf wurde ein Regenüberlaufbecken mit einem Fassungsvermögen von 185 cbm errichtet.

Die Weiterführung des Abwassers über Anlagen bzw. Leitungen wird in einem späteren Abschnitt behandelt.

Da der Stadtteil direkt an der Werra liegt, der Regenüberlauf und das Regenüberlaufbecken von der Werra bei Hochwasser überflutet werden, muß hier ein Hochwasserpumpwerk zur Sicherstellung der Funktion der Regenentlastungsanlagen und zur Verhinderung von Rückstau während der Hochwasserphase in das Baugebiet errichtet werden.

ST Blickershausen — 650 EGW

Ein Teil der unteren Ortslage liegt im Überschwemmungsgebiet der Werra. Der Ort wird von einem Vorfluter durchflossen. Hier wurde das Trennsystem als Entwässerungssystem gewählt. Das Regenwasser wird auf dem kürzesten Wege in den Vorfluter abgeleitet.

ST Ziegenhagen — 830 EGW

Die Entwässerung der Ortslage erfolgt im Mischsystem. Der Ort — ein langgestrecktes Baugebiet — wird von dem Vorfluter (Rautenbach) durchflossen. Hier wurde beim Bau der Ortskanalisation bereits darauf geachtet, daß das Regenwasser der Außengebiete direkt zum Vorfluter abgeleitet wird.

Am Ortsende wurden eine vorhandene mechanische Kläranlage und das Absetzbecken als Regenüberlaufbecken umgebaut. Über einen Verbindungssammler wird die zweifache Schmutzwassermenge der Ortslage Blickershausen und damit der Abwassergruppe „Unteres Werratal“ zugeleitet.

ST Gertenbach — 1.100 EGW

Die Entwässerung erfolgt im Mischsystem. Die Ortslage hat zwei Regenüberläufe. Das Abwasser aus den angeschlossenen ST Albshausen und Gertenbach muß von der Nordseite der Werra auf die Südseite gefördert werden. Um hier eine wirtschaftliche und den ökologischen Anforderungen gerechte Lösung zu finden, wird eine Regenwasserbehandlung vor der Werrakreuzung durchgeführt.

Das ankommende Mischwasser wird einem Regenklärbecken — 120 cbm Inhalt — zugeführt. Über ein Schmutzwasserpumpwerk wird die zweifache Schmutzwassermenge unter der Werra hindurch zum Hauptsammler auf die Südseite gefördert. Der sich absetzende Schlamm im Regenklärbecken wird ebenfalls diesem Schmutzwasserpumpwerk zugeführt. Bei Regengüssen, welche die zweifache Schmutzwassermenge übersteigen, erfolgt die mechanische Reinigung im Regenklärbecken. Am Ende des Regenklärbeckens erfolgt der Ablauf in den Vorfluter, die Werra.

Das Regenklärbecken und das Kanalsystem im unteren Bereich von Gertenbach liegen im Rück-

staubereich der Werra. Die Anlage wurde so konzipiert, daß bei Hochwasser und Rückstau in den freien Abfluß des Regenklärbeckens eine Abschieberung erfolgt. Während des Hochwassers wird dann das gesamte Regenwasser über im Pumpwerk installierte Hochwasserpumpen über den Hochwasserspiegel der Werra gehoben und läuft von hier aus über die Freispiegelleitung der Werra zu.

3. Abwasserleitungen

Abschnitt I — Freispiegelleitung —

Der tiefste Punkt des Entwässerungssystems ist das Pumpwerk „Blickershausen“. Diesem Pumpwerk fließt das gesamte Abwasser aus der Abwassergruppe zu. Im letzten Teilstück (Zulauf Gertenbach) handelt es sich um eine Freispiegelleitung. Sie liegt ca. 3,50 bis 4,50 m unter Gelände im Überflutungsbereich der Werra (das umliegende Gelände wird ca. 1 m überflutet). In diesem Teilstück wurden AZ-Rohre verwendet.

Abschnitt II — Abwasserdruckleitung —

Der ST Ermschwerd liegt ca. 3,5 km stromauf der Werra. Er liegt topographisch höher als Blickershausen mit seinen Freispiegelleitungen und Pumpstationen.

Die ursprüngliche Planung sah vor, daß das Abwasser von Ermschwerd über eine Freispiegelleitung parallel zur Werra nach Blickershausen fließt.

Wirtschaftlichkeits-Untersuchungen ergaben jedoch, daß die Baukosten des Freispiegelkanals sehr hoch liegen. Bedingt durch die Tiefenlage des Kanals — er liegt etwa auf Niedrigwasserspiegel der Werra — ist auf die gesamte Baulänge mit Grundwasserhaltung und durch die Talauflage mit ungünstigen Bodenverhältnissen zu rechnen. Die Dimension der Freispiegelleitung DN 300 bei einem Gefälle von rd. 1:600 bedeutet geringe Fließgeschwindigkeiten, eine Gefahr von Ablagerungen und damit verbunden einen erhöhten Reinigungsaufwand.

Die Baukosten hätten sich gemäß vorliegendem Kostenanschlag auf 1,12 Mio DM belaufen.

Alternativ wurde untersucht, wie hoch sich die Kosten mit einer Druckleitung DN 200 sowie den erforderlichen Pumpkosten ergeben. Durch den geringen Durchmesser ergeben sich höhere Fließgeschwindigkeiten. Die Baukosten ermitteln sich zu 0,96 Mio DM. Das ergibt eine Einsparung bei den Investitionen um rd. 15 %; dagegen stehen Förderkosten von 3.816,00 DM jährlich.

Bei der Druckleitung reduzieren sich außerdem die Risiken auf Fremdwasserzufluß und die damit verbundenen erhöhten Pump- und Behandlungskosten auf der Kläranlage.

4. Materialwahl für die Druckleitung

Bei der Auswahl des Rohrmaterials für die Druckleitung wurden Überlegungen angestellt, ein Material zur Ausführung kommen zu lassen,

welches den erhöhten Anforderungen an die Druckleitung gerecht wird, und zwar nach folgenden Kriterien:

Kriterium Nr. 1:

Bei der Werra und bei dem im unmittelbaren Uferbereich anstehenden Grundwasser handelt es sich um stark chloridhaltiges Wasser. Die Trasse der Druckleitung verläuft parallel zur Werra, in ca. 10 m Abstand in einem Feldweg. Die Werra hat einen schwankenden Chloridgehalt; er liegt zwischen 4.000 und 14.000 mg/l. Ursache: In die Werra werden die Abwässer aus den Kaliabbaugebieten in Thüringen (DDR) eingeleitet. Zementgebundene Rohrmaterialien scheiden daher aus, da der Innen- und Außenschutz zu aufwendig wäre.

Kriterium Nr. 2: Druckstöße

Die Druckhöhe H_{MAN} ist 41 m. Sie ergibt sich vorwiegend aus Rohrreibungsverlusten während des Pumpbetriebs = 35 m.

H_{geod} ist lediglich die Höhe zwischen Pumpensumpf und der abgehenden Leitung = 1,50 m; der Rest sind Zuschläge für Krümmer.

Rasche Änderungen der Durchlaufmenge und dadurch Geschwindigkeitsänderungen, insbesondere durch schnelles Öffnen und Schließen von Absperrorganen, Ausschalten von Pumpen (Stromausfall), Störungen an Be- und Entlüftungseinrichtungen sowie Bedienungsfehler erzeugen in Leitungen Druckstöße.

Meist tritt eine Gefährdung durch dynamische Druckerhöhung ein. Diese Druckerhöhungen können entstehen durch direkte Verzögerung der Fließgeschwindigkeit, durch Reflexion von Druckwellen oder durch Abreißen der Flüssigkeitssäule infolge örtlicher Unterdruckbildung

mit nachfolgendem Zusammenschlagen der Flüssigkeitsfronten. Wird die Geschwindigkeit verringert, so erhöht sich der durch die Massenträgheit entstehende Druckanstieg um die freiwerdende Reibungsverlusthöhe. Diese führt dazu, daß am Absperrorgan, wo die Geschwindigkeit nach dem plötzlichen Schließen stets Null sein muß, die Druckänderung über den anfänglichen Joukowsky-Stoß hinaus anwächst.

Wird der Unterdruck bei einem Leitungshochpunkt größer als 8 bis 10 m, so reißt die Wassersäule ab und es kann zum Zusammenprall der beiden nun unabhängig voneinander schwingenden Strömungen und dadurch zu besonders hohen und gefährlichen Druckstößen kommen.

Nach den Betriebsdaten der Leitung kann im vorliegenden Falle ein maximaler Druckstoß nach Joukowsky von ca. ± 100 mWS auftreten. Nach Lage der Leitung, wie sie aus dem Längsschnitt (Bild 2) zu erkennen ist, kann mit fast der gesamten Länge der Leitung (bis ca. 3,50 m vor Anschluß Freispiegelkanal) kurzzeitig ein maximaler Unterdruck auftreten (-10 m WS = $p_{abs} = 0$).

Während des kurzzeitig auftretenden Unterdrucks und des dadurch bedingten Abreißen der Flüssigkeitssäule kann die Leitung Belastungen ausgesetzt sein, die die maximale Stoßlast des positiven Druckstoßes nach Joukowsky weit überschreiten. Leitungen aus spröden, nicht bruchsicheren Werkstoffen sind unter diesen Bedingungen gefährdet.

Sollte es außerdem aus entsorgungstechnischen oder kurzzeitigen betriebstechnischen Gründen irgendwann notwendig sein, die Durchflußmenge in der Leitung zu erhöhen, so kann ein Druckstoß auftreten, dem nicht jedes Rohrmaterial standhält.

Bild 2: Kläranlage Unteres Werratal; mechanisch-biologische Anlage. 4400 Einwohnergleichwerte (EGW)



Zum Einsatz kam daher duktiles Gußrohr DN 200, PN 16, innen mit Zementmörtelauskleidung nach DVGW-Arbeitsblatt W 342, außen mit Zementmörtel-(ZM-)Umhüllung gemäß DIN 30674 Teil 2. Der Schutz der Muffenverbindungen erfolgte durch aufgezoogene Manschetten aus verrottungsfestem Naturkautschuk.

Beim Betrieb dieser Abwasserdruckleitung hat sich bestätigt, daß das ausgewählte und eingesetzte Rohrmaterial den Betriebsanforderungen gerecht wird, eine Gewähr für den sicheren Betrieb bietet und ein dichtes Leitungssystem gegen Fremdwassereintritt sowie Abwasseraustritt ist.

5. Kläranlage

Als Abwasserreinigungsanlage wurde eine mechanisch-biologische Kläranlage errichtet (Bild 2).

Zulaufmenge: Trockenwetter $Q_s = 63 \text{ cbm/h}$
Regenwetter $Q_r = 210 \text{ cbm/h}$

Installiert wurde eine Rechenanlage mit automatischer Räumung und Abwurf in einen Container im Pumpwerk Blickershausen.

Im Zulauf der Kläranlage wurde ein Sandfang

(Längssandfang) in 5 m Baulänge mit mechanischer Räumung und Sandstapelraum installiert. Die mechanische Reinigung erfolgt in zwei Absetzbecken (Emscherbrunnen), Durchmesser 10 m, Tiefe 11,60 m, Inhalt 380 cbm. Aufenthaltszeit bei Trockenwetter: 2,11 Std. Aufenthaltszeit bei Regenwetter: 0,76 Std.

Die biologische Stufe besteht aus:
2 Tropfkörpern mit kunststoffgefülltem Material, Durchmesser 8,80 m, Höhe 4,25 m;
einem Nachklärbecken, Durchmesser 12 m, Tiefe 7,50 m, Inhalt 333 cbm;
Trockenbeeten mit einer Fläche von 250 qm.

In einem Betriebsgebäude sind die Schaltanlagen, sanitären Einrichtungen und Geräte untergebracht.

Die Wartung der Kläranlage erfolgt von einem Klärwärterteam der Stadt Witzenhausen. Die Stadt, mit einer Gesamteinwohnerzahl von 18.500 mit insgesamt 16 Stadtteilen, unterhält 12 Kläranlagen. Das Klärwärterteam ist auf der Hauptkläranlage Witzenhausen (15.000 EGW) untergebracht; die Außenkläranlagen werden durch Kontroll- und Wartungsfahrten überwacht und betrieben.

Der Kartenausschnitt von Seite 36 auf der Kartengrundlage TK 4624 und TK 4625 wurde mit Genehmigung des Hessischen Landesvermessungsamtes vervielfältigt. Vervielfältigungsnummer 88 – 1 – 023.

Mechanisch-technologische und bruchmechanische Untersuchungen an duktilem Gußeisen

Von Dieter Blind,
Hans Kockelmann
und Kurt Reeh

1. Problemstellung

Im vorliegenden Normentwurf zur Berechnung von Flanschverbindungen (DIN 2505, Januar 1986 [1]) sind die Sicherheitsbeiwerte für Gußeisen mit Kugelgraphit gegenüber dem Normentwurf aus dem Jahre 1972 deutlich erhöht worden; siehe Tabelle 1. Die an die Duktilität (Bruchdehnung) angekoppelte Abstufung der Sicherheitsbeiwerte von Gußeisen mit Kugelgraphit im Normentwurf 1972 wurde fallengelassen. Stattdessen wurden im Entwurf Januar 1986 den ferritischen und ferritisch/perlitischen Sorten nach DIN 1693 (GGG 35.3, 40.3, 40 und 50) im geglähten Zustand direkt Sicherheitsbeiwerte zugeordnet; diese Zuordnung entspricht tendenzmäßig der Ankopplung an die Duktilität bei

Bild 1: Schematische Zusammenstellung konventioneller und bruchmechanischer Prüfverfahren

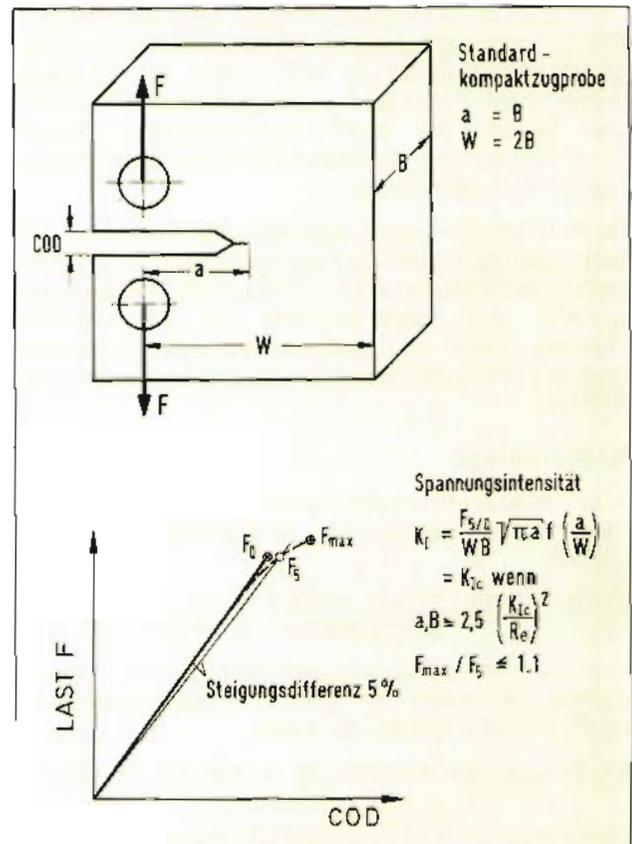
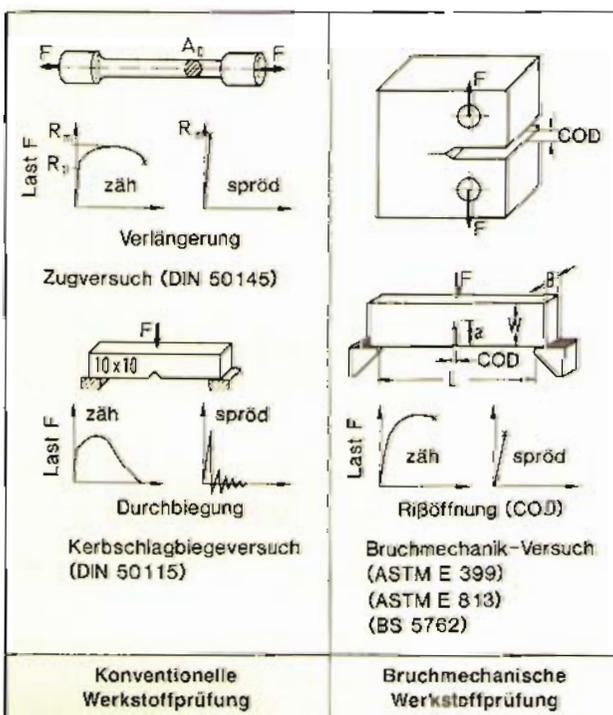


Bild 2: K_{Ic} -Ermittlung nach ASTM E 399

jedoch absolut höheren Sicherheitsbeiwerten bei im Vergleich zu 1972 erheblich erhöhtem Duktilitätsniveau.

Diese Situation gab den Anlaß zu bruchmechanischen Untersuchungen. Diese sollen dazu dienen, eine Basis zu schaffen für die Beurteilung der Verformungsfähigkeit von duktilem Gußeisen — auch von solchem nach DIN 28 600 — unter den verschärften, bruchmechanischen Bedingungen. Nachfolgend wird über diese Untersuchungen und die erhaltenen Ergebnisse berichtet.

2. Mechanisch-technologische und bruchmechanische Werkstoffprüfung

Die Vorgehensweise zur Beschreibung der Widerstandsfähigkeit der Werkstoffe gegen unzulässige bleibende Verformung und Bruch ist am Beispiel der in Normen festgeschriebenen Versuchsarten Zugversuch, Kerbschlagbiegeversuch und Bruchmechanikversuch schematisch in Bild 1 dargestellt. Diese Prüfverfahren liefern als Werkstoffkennwerte die Festigkeits-, Verformungs- und Energieparameter unter den jeweils gegebenen Beanspruchungsbedingungen.

Über die konventionellen Zug- und Kerbschlagbiegeversuche hinausgehend werden bei der bruchmechanischen Werkstoffprüfung Kennwerte ermittelt, welche zur Beschreibung der kritischen Zustände rißbehafteter Bauteile herangezogen werden. Entsprechend dem jeweiligen Verformungsverhalten der Werkstoffe kommen die Methoden der linear-elastischen und ela-

stisch-plastischen Bruchmechanik zum Einsatz. Die linear-elastische Bruchmechanik (LEBM) wird bei linear-elastischem Werkstoff- und Bauteilverhalten angewandt. Die Gültigkeit der LEBM ist, analog der des Hookeschen Gesetzes gegeben, solange ein linearer Zusammenhang zwischen Last und Verformung besteht. Brüche aus dem linear-elastischen Verhalten heraus sind spontan auftretende „schnelle“ Brüche, bei denen keine oder nur eine sehr geringe bleibende Verformung auftritt, d.h. technische Sprödbrüche.

Wesentlich für den spröden Bruch sind die Verhältnisse an der Rißspitze. Sie werden mit dem Bruchzähigkeitswert K_{Ic} beschrieben. Er wird an Kompaktzug-(CT-) oder Dreipunktbiege-(3PB-) Proben ermittelt; siehe Bild 1. Die Vorgehensweise zur experimentellen Bestimmung ist Inhalt der amerikanischen Norm ASTM E 399 [2] und

der britischen Norm BS 5447 [3]. Das Wesentliche ist dabei, daß der lineare Zusammenhang zwischen Last und Verformung innerhalb einer zulässigen Abweichung bis zum Bruch der Probe besteht. In Bild 2 ist dies schematisch dargestellt. Weiterhin sind zusätzliche Kriterien angegeben, die eingehalten werden müssen, um gültige und reproduzierbare K_{Ic} -Werte zu erhalten.

Bei Bauteilen aus duktilen Werkstoffen treten im Versagensfall im allgemeinen beträchtliche plastische Verformungen auf. Dabei kann sich an die Phase der Plastifizierung und Abstumpfung der Rißspitze eine Phase stabiler Rißerweiterung anschließen. Wird eine kritische Rißtiefe oder Last erreicht, folgt auch hier die Phase instabiler Rißausbreitung, d.h. der Bruch des Bauteils. Die Werkstoffgesetze der elastisch-plastischen Bruchmechanik (EPBM) müssen die Möglichkeit eröffnen, dieses Verhalten zu

Tabelle 1: Sicherheitsbeiwerte für Gußeisen mit Kugelgraphit nach DIN 2505, Entwurf 1972 (Tabelle 1a), nach DIN 2505, Entwurf 1986 (Tabelle 1b) sowie Bruchdehnung nach DIN 1693, Ausgabe 1977 (Tabelle 1c)

a) Festigkeitskennwerte und Sicherheitsbeiwerte nach DIN 2505, Entwurf 1972

| Flansch-Werkstoff | Festigkeitskennwert K | | | Bruchdehnung A_5 (%) bei 20 °C | Sicherheitsbeiwert S_F | | | |
|--------------------------------------|-----------------------|------------|------------|----------------------------------|--------------------------|-----------|---------|-----------|
| | Einbau | Anfahren | Betrieb | | Einbau und Anfahren | | Betrieb | |
| | | | | | geglüht | ungeglüht | geglüht | ungeglüht |
| Gußeisen mit Kugelgraphit bis 250 °C | σ_S | σ_S | σ_S | 2 | 2,2 | 2,6 | 3,0 | 3,5 |
| | | | | 5 | 1,8 | 2,1 | 2,5 | 3,0 |
| | | | | 10 | 1,5 | 1,8 | 2,0 | 2,0 |

b) Sicherheitsbeiwerte S_F für Flansche nach DIN 2505, Entwurf 1986

| Werkstoff | Zustand des Werkstoffes | Sicherheitsbeiwert S_F | | | | | | | | |
|--|-------------------------|----------------------------|----------|--------------------------|----------|--------------------|----------|--------------------------|----------|-------------------|
| | | im Einbau- und Prüfzustand | | | | im Betriebszustand | | | | |
| | | R_m | R_{eH} | $R_{p0,2}$ | R_{p1} | R_m | R_{eH} | $R_{p0,2}$ | R_{p1} | $R_{m/100.000/-}$ |
| Sphäroguß GGG 35.3 40.3 40 50 | geglüht | | | 1,5 1,5 1,7 2,0 | | | | 3,0 3,0 3,5 4,0 | | |

c) Bruchdehnung von Gußeisen mit Kugelgraphit nach DIN 1693, Ausgabe 1977

| Sorte | Mindest-Bruchdehnung in % bei 20 °C |
|----------|-------------------------------------|
| GGG 35.3 | 22 |
| GGG 40.3 | 18 |
| GGG 40 | 15 |
| GGG 50 | 7 |

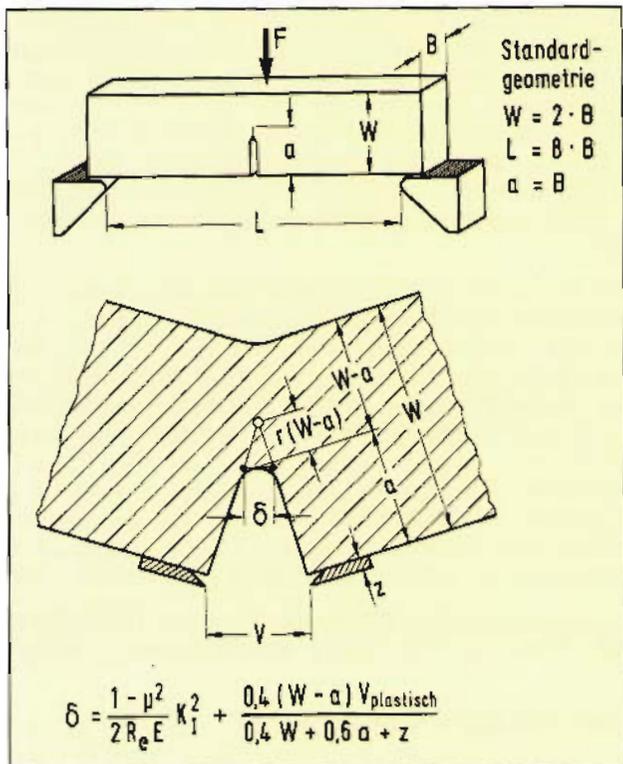


Bild 3: Ermittlung der Rißspitzenaufweitung δ nach BS 5762

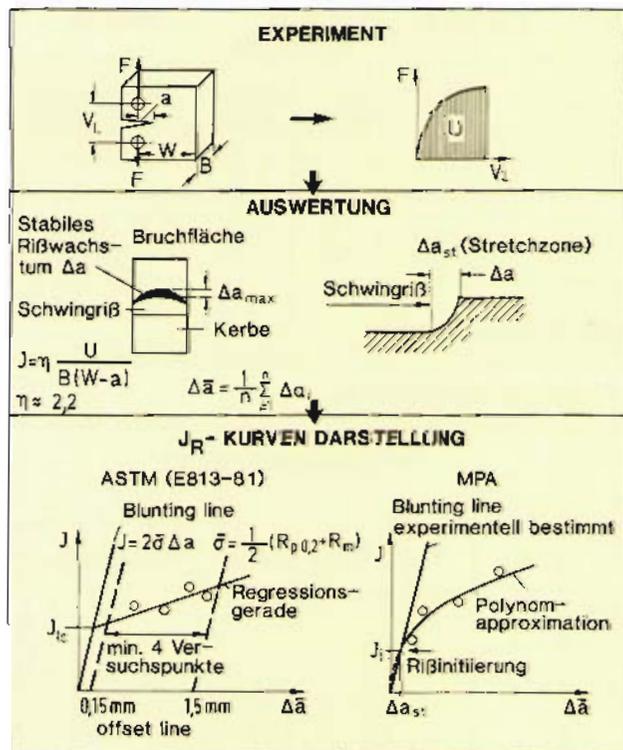


Bild 4: J_R -Ermittlung nach ASTM E 813 und einem fortgeschrittenen Verfahren der MPA Stuttgart

beschreiben. Dies ist der Fall, wenn der entsprechende Zähbruchparameter für die Rißeinleitung oder darüber hinaus als Funktion der stabilen Rißerweiterung ermittelt wird. Damit liegt ein Werkstoffgesetz vor, das den Widerstand des Werkstoffes gegen An- und Weiterreißen beschreibt und als Reißwiderstand bezeichnet wird.

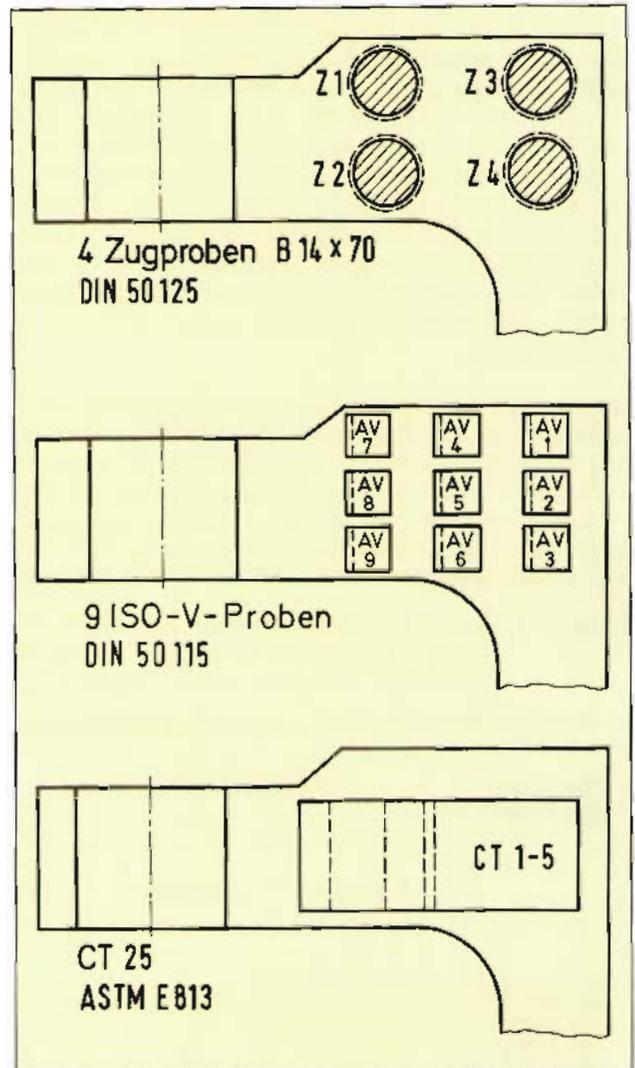


Bild 5: Probenentnahme

International haben sich zwei Kenngrößen zur Beschreibung des Zähbruches durchgesetzt. Die eine ist die Rißspitzenaufweitung bzw. CTOD (Crack Tip Opening Displacement). Sie wird an Dreipunktbiegeproben gemäß der Darstellung in Bild 3 oder an Kompaktzugproben experimentell ermittelt. Das Prüf- und Auswerteverfahren ist in der britischen Norm BS 5762 [4] niedergelegt. Die andere Kenngröße ist das J-Integral. Das J-Integral wird nach der amerikanischen Norm ASTM E 813 [5] an CT- oder auch Dreipunktbiegeproben ermittelt. Der Wert des J-Integrals wird aus der auf den tragenden Querschnitt bezogenen Formänderungsenergie der Probe (Fläche unter der Last-Aufweitungskurve) bestimmt (Bild 4), wobei die jeweilige Probenform mittels dimensionsloser Geometriefaktoren (η) berücksichtigt wird.

Wird das J-Integral oder der CTOD-Wert über der zugehörigen stabilen Rißerweiterung aufgetragen, erhält man den Reißwiderstand des Werkstoffes in Form der Reißwiderstandskurve, die auf der Basis des J-Integrals auch als J_R -Kurve bezeichnet wird; siehe Bild 4. Der Rißeinleitungswert ergibt sich durch Schnitt der „blunting line“, die das plastische Abstumpfen der Rißspitze beschreibt, mit der Reißwiderstandskurve. In Bild 4 ist das mehr schematische Ver-

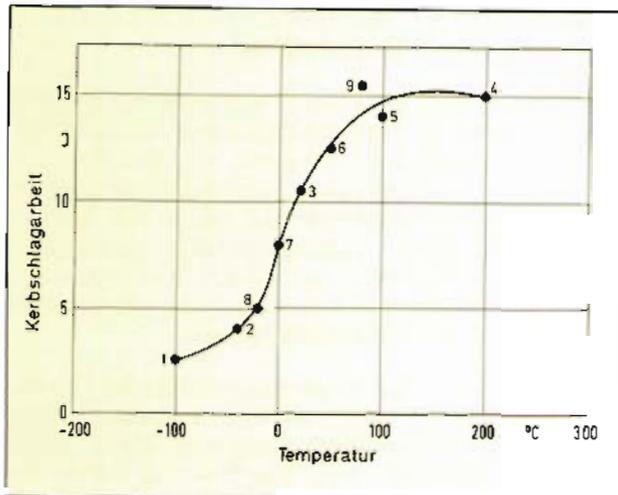
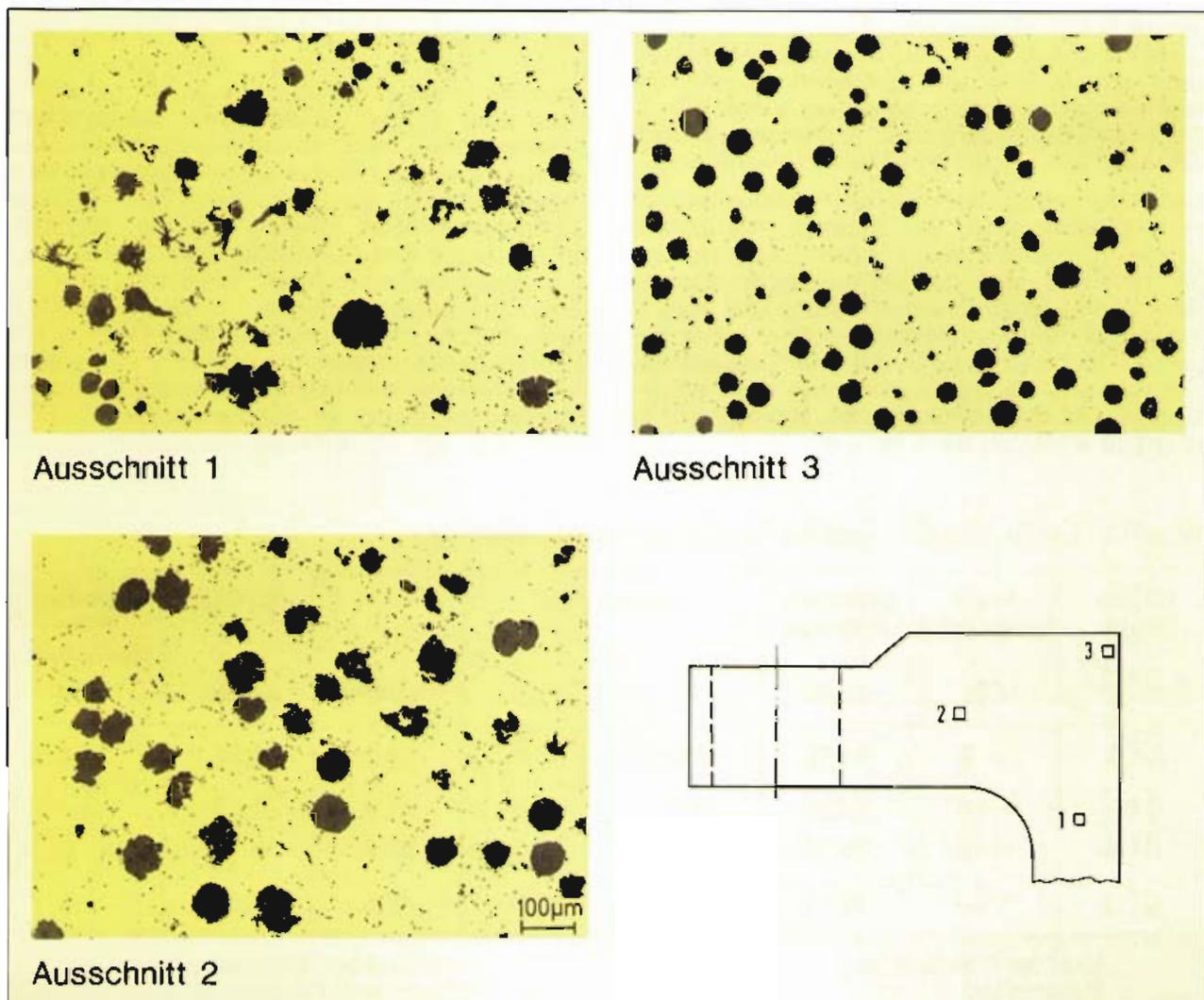


Bild 6: Kerbschlagarbeit-Temperatur-Kurve (die Zahlen geben die Probennummern gemäß Bild 5 wieder)
ISO-V-Proben DIN 50 115

fahren nach ASTM E 813, das zum J_{Ic} -Wert führt, dem in der MPA Stuttgart entwickelten Verfahren [6] gegenübergestellt, mit dem der physikalische Rißeinleitungswert J_I , d. h. die bis zum Beginn des Rißwachstums einzubringende Energie ermittelt wird.

Bild 7: Gefügeaufnahmen aus dem Querschliff im Übergang Flanschblatt – zylindrischer Teil



| Probe | Prüf- temperatur (°C) | R_m (N/mm ²) | $R_{p0,2}$ (N/mm ²) | A_5 (%) | Z |
|-------|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------------|--------------|----|
| Z 1 | 20 | 441 | 280 | 10 | 8 |
| Z 2 | | 372 | 275 | 4 | 4 |
| Z 3 | -20 | 481 | 302 | 16 | 13 |
| Z 4 | | 474 | 307 | 12 | 10 |

Tabelle 2: Ergebnisse der Zugversuche (Zugproben B 10 × 50 DIN 50 125)

3. Untersuchungen und Ergebnisse

Für die Untersuchungen wurde ein T-Stück DN 600 × DN 200 für PN 16 nach DIN 28 643 aus duktilem Gußeisen nach DIN 28 600 im Gußzustand gewählt. Die Proben wurden aus dem aus gießtechnischer Sicht interessierenden Bereich, nämlich dem verdickten Übergang vom Flanschblatt zum Rohrkörper entnommen; siehe Bild 5.

Die Ergebnisse der Kerbschlagbiege- und Zugversuche sind in Bild 6 bzw. Tabelle 2 dargestellt. Tief- bzw. Hochlage der Kerbschlagarbeit sind

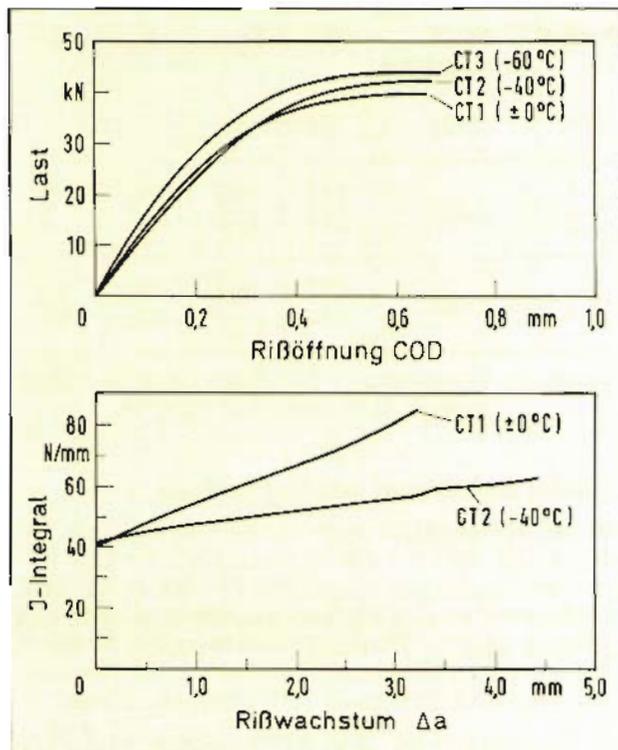


Bild 8: Last-Rißaufweitungsdiagramme (oben) und Rißwiderstandskurven (unten)

bei etwa -100 bzw. $+100$ °C erreicht. Das Gefüge zeigt in weitgehend ferritischer Matrix Graphitbildungen, die sich zwischen weitgehend kugelförmig und größeren Kugeln mit beginnender Entartung bewegen; siehe Bild 7. Die Graphitbildung und -verteilung erweist sich qualitativ betrachtet als nicht gleichförmig.

Erwartungsgemäß nehmen die Festigkeitskennwerte (Zugfestigkeit, Streckgrenze) mit abnehmender Temperatur im untersuchten Bereich zu. Der Umstand, daß die Verformungskennwerte (Bruchdehnung, Brucheinschnürung) bei -20 °C gegenüber Raumtemperatur deutlich höher liegen, hat seine Ursache in örtlichen Gefügeinhomogenitäten, auf die weiter unten noch eingegangen wird. Die besonders bei Raumtemperatur große Streuung der Kennwerte ist hierzu ein

Hinweis, ebenso die beobachtete ungleichförmige Struktur der Bruchflächen.

Die bruchmechanischen Kompaktzugproben wurden unter schwellender Beanspruchung mit einem Ermüdungsriß versehen. Die Randbedingungen (u. a. maximale Spannungsamplitude und Mindestschwingrißlänge) sowie die Details des nachfolgend durchgeführten quasistatischen „Zugversuchs“ an dieser Kompaktzugprobe mit Schwingriß und der Auswertung sind in ASTM E 813 [5] festgeschrieben.

Die Ergebnisse der bruchmechanischen Untersuchungen sind in Tabelle 3 und grafisch auszugswise in Bild 8 wiedergegeben. Alle Proben verhielten sich zäh und versagten durch stabiles Rißwachstum und anschließenden Gewaltbruch nach Erreichen der Höchstlast und bei etwa gleicher maximaler Rißaufweitung. Das stabile Rißwachstum erreichte nur bei den Proben CT 1 (0 °C) und CT 2 (-40 °C) nennenswerten Umfang, so daß für die anderen Proben nur Rißinitiationkennwerte angegeben werden können. Die Rißinitiationkennwerte (J_i und $CTOD_i$) zeigen innerhalb der Streuung keine Abhängigkeit von der Temperatur. Die Steigung der Rißwiderstandskurven in Bild 8 ist bei ± 0 °C Prüftemperatur gegenüber -40 °C deutlich höher, was einem höheren Weiterreißwiderstand entspricht.

Zur Untersuchung des Gefüges wurde im Übergang Flanschblatt – zylindrischer Teil ein Querschleiff gelegt; in einzelnen Bereichen wurden charakteristische Gefügebildungen gemacht; siehe Bild 7. Zur quantitativen, statistischen Beschreibung der Graphitpartikelform und -größe wurde eine Bildverarbeitungsanlage eingesetzt, mit der als wesentliche geometrische Gefügekenngößen Fläche, Umfang, mittlerer Durchmesser und Formfaktor*) der geschnittenen Graphiteinlagerungen bestimmt werden. Eine statistische Analyse in den in Bild 7 gekennzeichneten Querschnittsbereichen 1 bis 3 liefert beispielsweise die in Bild 9 angegebenen Mittelwerte und Häufigkeitsverteilungen des Formfaktors. Der mehr qualitative visuelle Eindruck aus der Betrachtung der Schlibfbilder in

Tabelle 3: Ergebnisse der bruchmechanischen Werkstoffprüfung

| CT 25-Probe | Prüf-temperatur (°C) | Schwing-rißlänge (mm) | Lasten (kN) | | J_i (N/mm) | $CTOD_i$ (mm) | Stabiles Riß-wachstum (mm) |
|-------------|-------------------------|--------------------------|-------------|-----------|-----------------|------------------|-------------------------------|
| | | | F_i | F_{max} | | | |
| CT 1 | ± 0 | 23,72 | 38,2 | 40,0 | 35,1 | 0,06 | 2,6 |
| CT 2 | -40 | 23,26 | 40,8 | 42,4 | 41,9 | 0,09 | 4,1 |
| CT 4 | -40 | 23,36 | 44,6 | 45,1 | 60,3 | 0,12 | ≥ 0 |
| CT 3 | -60 | 23,15 | 43,1 | 43,8 | 46,6 | 0,08 | ≥ 0 |

F_i Last bei Rißinitiation
 F_{max} Maximallast
 J_i J-Integral bei Rißinitiation
 $CTOD_i$ Rißspitzenaufweitung bei Rißinitiation

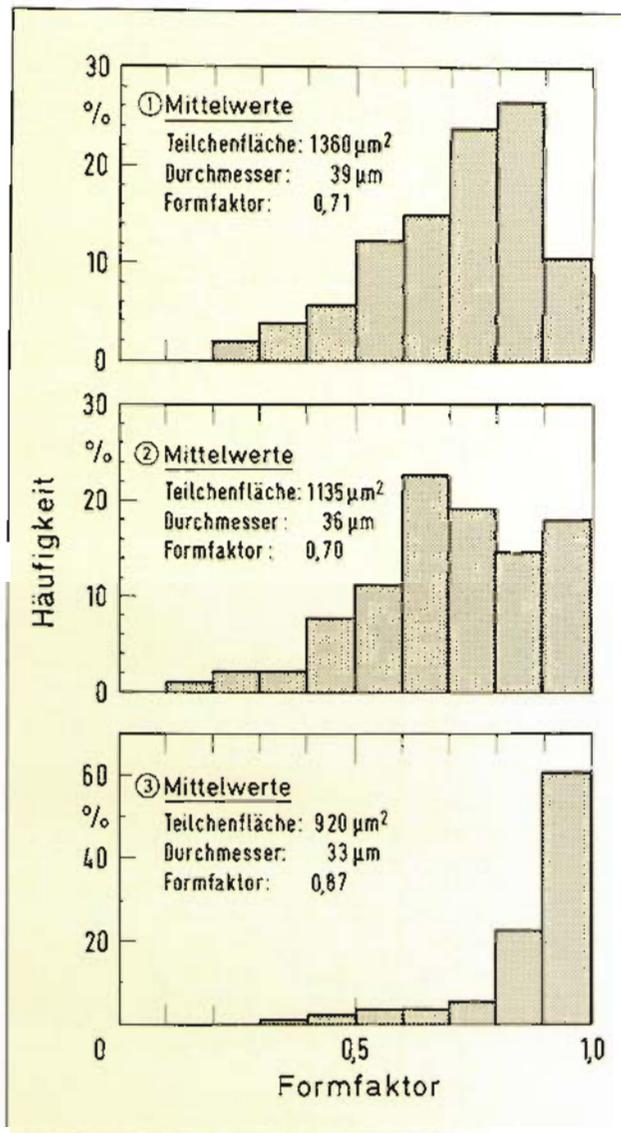


Bild 9: Statistische Gefügeanalyse in den in Bild 7 gekennzeichneten Bereichen

Bild 7 wird mit Bild 9 bestätigt und darüber hinausgehend quantifiziert. Insbesondere fällt auf, daß im Meßbereich 3, Bild 7, ein Gefüge mit relativ kleinen und überwiegend runden Graphitpartikeln vorliegt, während in anderen Bereichen mehr oder weniger große Abweichungen von der idealen Kugelform zu verzeichnen sind.

Der Vergleich der statistischen Gefügeanalysen in Querschliffen an den Bruchausgangsstellen der Zugproben Z1 (Prüftemperatur $+20^\circ\text{C}$) und Z3 (-20°C) zeigt im Mittel deutlich kleinere Graphitteilchengröße und größeren Formfaktor bei Probe Z3. Die gegenüber Raumtemperatur festgestellte höhere Verformungsfähigkeit bei -20°C , Tabelle 2, ist damit, wie bereits aus der Betrachtung der Bruchflächen vermutet, ursächlich mit der Graphitbildung verknüpft.

*) Der Formfaktor ist als auf 1 normierter Quotient von Fläche und Umfang im Quadrat definiert; 1 entspricht einer Kreisfläche, 0 einer Linie

4. Diskussion

Die vorgestellten Untersuchungen an einem T-Stück aus duktilem Gußeisen zeigen, daß auch unter verschärften bruchmechanischen Bedingungen bis herab auf -60°C ein ausgeprägt plastisches Verhalten gegeben ist. In diesem Temperaturbereich ist anders als bei der Kerbschlagarbeit kein signifikanter Einfluß der Temperatur sowohl auf Festigkeit und Verformungsfähigkeit im quasistatischen Zugversuch als auch auf quasistatische bruchmechanische Rißinitiierungskennwerte festzustellen. Bei Temperaturen um 0°C oder höher ist im bruchmechanischen Versuch über den Rißbeginn hinaus nennenswerter Rißwiderstand zu verzeichnen. Mögliche Gefügeinhomogenitäten im betrachteten, aus gießtechnischer Sicht wegen der Wanddickenunterschiede kritischsten Bereich ändern nichts Grundsätzliches an diesen Aussagen, auch wenn sie wegen der geringen Anzahl an Prüfungen nicht als statistisch abgesichert zu betrachten sind.

5. Zusammenfassung

Im vorliegenden Normentwurf zur Berechnung von Flanschverbindungen (DIN 2505, Januar 1986) sind die Sicherheitsbeiwerte für Gußeisen mit Kugelgraphit gegenüber dem Normentwurf aus dem Jahre 1972 deutlich erhöht worden. Diese Situation gab Anlaß zu Untersuchungen, die als Basis für eine diesbezügliche Erörterung die Verformungsfähigkeit auch von duktilem Gußeisen nach DIN 28 600 unter verschärften, bruchmechanischen Prüfbedingungen exemplarisch und tendenzmäßig überprüfen sollten.

Untersucht wurde ein T-Stück DN 600 \times DN 200 für PN 16 gemäß DIN 28 643 im Gußzustand, und zwar der aus gießtechnischer Sicht kritischste Bereich, der verdickte Übergang vom Flanschblatt zum Rohrkörper. Neben der Kerbschlagarbeit-Temperatur-Kurve wurden quasistatische Zugversuche und bruchmechanische Prüfungen im Temperaturbereich -60°C bis $+20^\circ\text{C}$ durchgeführt. In diesem Bereich ist anders als bei der Kerbschlagarbeit kein signifikanter Einfluß der Temperatur sowohl auf Festigkeit und Verformungsfähigkeit als auch auf bruchmechanische Rißinitiierungskennwerte festzustellen. Auch unter verschärften bruchmechanischen Prüfbedingungen ist bei quasistatischer Beanspruchung bis herab auf -60°C ein ausgeprägt plastisches Verhalten gegeben.

Auf der Basis dieser Untersuchungen auch unter Beachtung der Einschränkung einer mehr stichprobenhaften und damit im statistischen Sinne nicht abgesicherten Prüfung und im Hinblick auf die langjährigen positiven Betriebserfahrungen ist kein Hinweis auf die Notwendigkeit gegeben, für weitgehend ferritisches duktilen Gußeisen im vorgesehenen Anwendungsbereich die Sicherheitsbeiwerte gegenüber dem Normentwurf DIN 2505 aus dem Jahre 1972 zu erhöhen.

Schrifttum

- [1] DIN 2505, Entwurf Januar 1986
Berechnung von Flanschverbindungen
(Teil 1)
- [2] ASTM E 399
Standard test method for plane-strain fracture toughness of metallic materials
- [3] BS 5447
Methods of test for plane strain fracture toughness (K_{Ic}) of metallic materials
- [4] BS 5762
Methods for crack opening displacement (COD) testing
- [5] ASTM E 813
Standard test for J_{Ic} , a measure of fracture toughness
- [6] E. Roos and U. Eisele:
Determination of the Material Characteristic Values in the Elastic-Plastic Fracture Mechanics by Means of J-Integral Crack Resistance Curves
Zur Veröffentlichung vorgesehen in „Journal of Testing and Evaluation 1988“

Berechnung von Flanschen aus duktilem Gußeisen

Von Hansgeorg Hein

1. Allgemeines

Die Berechnung von Flanschen baut auf der DIN 2505 auf, die z. Z. als Entwurf Januar 1986 vorliegt. Wesentliche Elemente enthalten die Kapitel 4 „Äußere Kräfte und Momente“, 5.1 „Äußeres Biegemoment“, 5.2 „Flanschwiderstand“ und 5.3 „Festigkeitsbedingung“.

Gegenüber den vorangegangenen Ausgaben der Norm wurde dem Kapitel zur Ermittlung der Kräfte mehr Raum gewidmet, es ist jedoch auch hier keine Aussage über die Größe der Zusatzkräfte und Momente gemacht worden. In Kapitel 4.1 „Rohrkraft“ wird gesagt:

Die Rohrkraft F_R setzt sich aus den 3 Anteilen

- F_{RP} aus Innendruck,
- F_Z aus zusätzlichem Zug und
- F_M aus einem zusätzlichem Biegemoment

in der Form

$$F_R = F_{RP} + F_Z + F_M \quad (1)$$

zusammen.

Nach dem Entwurf DIN 2505 ergeben sich nun F_Z und F_M aus einer statischen oder dynamischen Systemberechnung; eine Fußnote besagt, daß für den Fall, daß diese Berechnung nicht möglich ist,

für

$$F_Z + F_M = F_{RP} \quad (2)$$

zu setzen ist, bzw. F_R wird

$$F_R = 2 F_{RP} \quad (3)$$

In erster Näherung besagt dies, daß die Flansche mit dem doppelten Betriebsdruck zu berechnen sind, da in fast allen den Flansch belastenden Kräften der Druck p enthalten ist. Dieses Vorgehen kann jedoch nicht der Realität entsprechen, da in jeder Konstruktion aus Flanschrohren Belastungen auftreten werden, die nicht vom Innendruck abhängen, wie z. B. Gewichte, Temperaturänderungen usw.

Im folgenden werden Berechnungen abgeleitet,

die es gestatten, den Einfluß von zusätzlichen Kräften und Momenten zu erfassen, und so eine genauere und kostengünstigere Bemessung erlauben.

2. Zusatzkräfte und -momente

Ziel der Untersuchung ist es, die Zusatzbeanspruchungen zu definieren, zu berechnen und in äquivalente Drücke umzusetzen, so daß sie direkt in die Berechnung einfließen können.

Rohre und Formstücke mit Flanschen kommen hauptsächlich beim Ausbau von Schieber-schächten zur Anwendung.

Zusätzliche Kräfte und Momente treten hier durch Biegung freihängender Leitungsteile und durch thermische Längenänderungen von Rohren und Formstücken auf.

2.1 Biegung

In Bild 1 ist eine in einem Schacht freihängende Leitung dargestellt. Die Leitung ist in den Schachtwänden eingespannt, die charakteristische Länge beträgt l ; q ist das Gewicht je Längeneinheit und enthält anteilmäßig das Rohrgewicht, die Wasserfüllung, Flansche, Armaturen usw.

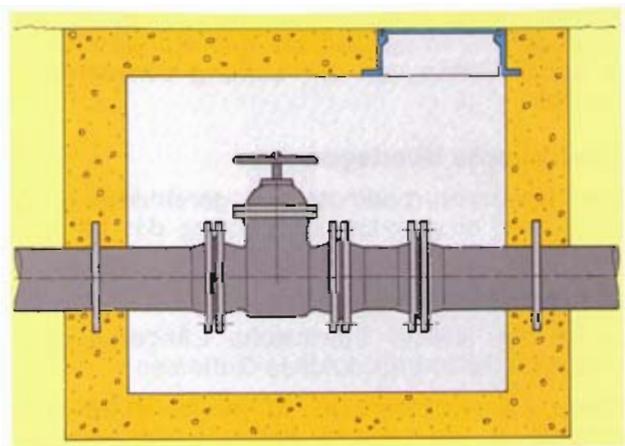


Bild 1: Berechnungsschacht

Das maximale Moment tritt in der Mitte von l — hier kann sich eine Flanschverbindung befinden — auf und beträgt:

$$M_{\max} = \frac{q \cdot l^2}{12} \quad (4)$$

woraus sich mit Hilfe der Formel (2) eine zusätzliche, von der Biegung her stammende Rohrkraft F errechnet:

$$F_M = \frac{4 M_{\max}}{dm} \quad (5)$$

oder mit (4)

$$F_M = \frac{q \cdot l^2}{3 \cdot dm} \quad (6)$$

q ist das Metergewicht, bestehend aus Rohrgewicht plus Wasserfüllung; die Armaturen usw. sind durch einen Multiplikationsfaktor f berücksichtigt, wenn der Betriebsdruck PN folgende Werte hat:

Tabelle 1

| PN | 10 | 16 | 25 | 40 |
|----|----|----|-----|----|
| f | 2 | 2 | 2,5 | 3 |

2.2 Längskräfte

Längskräfte, ob Zug oder Druck, treten hauptsächlich dann auf, wenn die Leitungen mit Wasser unterschiedlicher Temperaturen gefahren werden. Aus Bild 1 ist ersichtlich, daß beim vorgegebenen Einbau mit Mauerflanschen eine Temperaturerhöhung zusätzlichen Druck, ein Temperaturabfall dagegen Zugkräfte in der Leitung und damit auch in den Flanschverbindungen erzeugt. Die Temperaturänderungen $\Delta\vartheta$ wurden von einem DVGW-Ausschuß auf $\pm 10\text{ K}$ festgelegt. Man ging dabei davon aus, daß bei der Entnahme von Wasser aus Flüssen u.ä. Temperaturänderungen von $+2^\circ\text{C}$ bis $+18^\circ\text{C}$ vorkommen können.

Werden keine konstruktiven Gegenmaßnahmen vorgesehen, so müssen die auftretenden Kräfte in voller Größe von der Leitung übernommen werden.

Theoretische Überlegungen

Die temperaturbedingte Längenänderung Δl einer fest eingespannten Leitung der Länge l beträgt:

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta\vartheta \quad (7)$$

α ist der lineare thermische Längenausdehnungskoeffizient für duktilen Gußeisen.

Diese Längenänderung Δl ist behindert und erzeugt in der Leitung Kräfte F , die von den Abmessungen der Leitung und den elastischen Einbauten wie Dichtungen, Flanschen usw. abhängen. Die Längenänderung Δl_1 der Rohrleitung unter einer Kraft F beträgt:

$$\Delta l_1 = l_1 \frac{F}{A \cdot E} \quad (8)$$

mit der Rohrlänge l_1 , der Rohringfläche A und dem E-Modul E des duktilen Gußeisens. Für die elastischen Einbauten wird eine Steifigkeit λ eingesetzt, so daß die Längenänderung der Einbauten Δl_2

$$\Delta l_2 = F \cdot \lambda \quad (9)$$

beträgt.

Die Verträglichkeitsbedingungen fordern nun, daß

$$\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2 \quad (10)$$

und somit

$$\alpha \cdot l \cdot \Delta\vartheta = F \cdot \left[\frac{l_1}{A \cdot E} + \frac{1}{\lambda} \right] \quad (11)$$

ist.

Die Längskraft F aus Temperaturänderung $\Delta\vartheta$ ist die gesuchte Kraft F_z und hat den Wert

$$F_z = \frac{\alpha \cdot l \cdot \Delta\vartheta}{\frac{l_1}{A \cdot E} + \frac{1}{\lambda}} \quad (12)$$

2.2.1

Für den Fall, daß keine Flansche eingebaut sind, wird $l = l_1$ und $1/\lambda = 0$. Man erhält:

$$F_{z\max} = \alpha \cdot A \cdot E \cdot \Delta\vartheta \quad (13)$$

Dies entspricht einem zusätzlichen Innendruck von etwa 50 bar für ein Rohr DN 100, Wanddicke K 10.

2.2.2

Für den Fall, daß Flansche eingebaut sind und $\Delta\vartheta$ positiv und $1/\lambda \neq 0$ ist, wird die Leitung auf Druck beansprucht; die Flansche werden entlastet und die auftretenden Kräfte über die Deformation der Flachdichtungen abgebaut.

Bei DN 100 z. B. reduzieren sich die Kräfte aus (13) auf weniger als 10 %.

2.2.3

Für den Fall, daß Flansche eingebaut sind und $\Delta\vartheta$ negativ und $1/\lambda \neq 0$ ist, wird die Leitung auf Zug beansprucht; entlastend wirken jetzt die Flansche durch die Neigung des Flanschblattes.

Der Wert $1/\lambda$ läßt sich aus der Formel (58) des Entwurfes DIN 2505 berechnen; man erhält:

$$1/\lambda = z \cdot \frac{3(D + d_i) \cdot a_D \cdot a}{4 \cdot E (h_F + h_B) \cdot W_A} \quad (14)$$

z ist die Anzahl der Flansche in der Leitung; sie wurde in der Rechnung mit 6 angesetzt.

2.3 Abschätzung der zusätzlichen Belastungen

Es wird hier der Weg gewählt, die zusätzlichen Belastungen in zusätzliche Drücke umzurechnen. Dies ist naheliegend, da alle Belastungsgrößen linear vom Druck abhängen.

Der äquivalente Druck p_a erzeugt bei reiner Belastung durch Druck die gleichen Belastungen — in diesem Falle Momente — wie der Betriebsdruck p und die Zusatzkräfte zusammen.

Ausgehend von der Momentenformel (22) des Entwurfes DIN 2505 und einigen Umrechnungen erhält man mit

$$F_{\text{ges}} = F_z + F_M = \frac{\alpha \cdot l \cdot \Delta\vartheta}{\frac{l_1}{A \cdot E} + \frac{1}{\lambda} + \frac{q \cdot l^2}{3 \text{ dm}}} \quad (15)$$

$$p_a = p + \frac{4}{\pi} \cdot \frac{(a_R + 0,2 \cdot a_D) \cdot F_{ges}}{(a_R + a_F) d_i^2 + a_D (7,5 b_D \cdot d_D + 0,2 d_D^2 + a_F \cdot d_D^2)} \quad (16)$$

Die Werte a_R , a_D , a_F , d_i , b_D und d_D sind dem Entwurf DIN 2505 zu entnehmen und dimensionsrichtig einzusetzen.

Die Formel (16) kann in der Form

$$p_a = p + p' \quad (17)$$

dargestellt werden.

p' ist dann der infolge von Biegemomenten und Längskräften zu p zu addierende Druck. Die Werte von p' sind in der folgenden Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2

| DN | 100 | 300 | 600 | 1000 | 2000 |
|-------|-----|-----|-----|------|------|
| PN 10 | 7,6 | 3,3 | 2,0 | 1,2 | 0,7 |
| PN 25 | — | — | — | 1,8 | 1,6 |
| PN 40 | 7,0 | 2,9 | 2,3 | — | — |

Man erkennt, daß die Abhängigkeit der Zusatzbelastungen, ausgedrückt in p' , vom Betriebsdruck PN sehr gering ist, ganz im Gegensatz zu den im Entwurf DIN 2505 vorgesehenen Festlegungen.

Als Funktion von der Nennweite DN kann p' wie folgt dargestellt werden:

$$p' = 1,3 + 600/DN \text{ (bar)} \quad (18)$$

Dadurch sind alle vorkommenden Zusatzbelastungen abgedeckt.

3. Festigkeitsberechnung

Diese Rechnung wurde nach dem Entwurf DIN 2505 für den Querschnitt AA durchgeführt, wobei für den Berechnungsdruck p jeweils $p = PN + p'$ eingesetzt wurde. Die Ergebnisse sind in Bild 2 dargestellt. Man erkennt, daß die maximalen Spannungen den Wert von 120 N/mm^2 nicht überschreiten.

4. Zusammenfassung

Bei der Berechnung von Flanschen sind neben

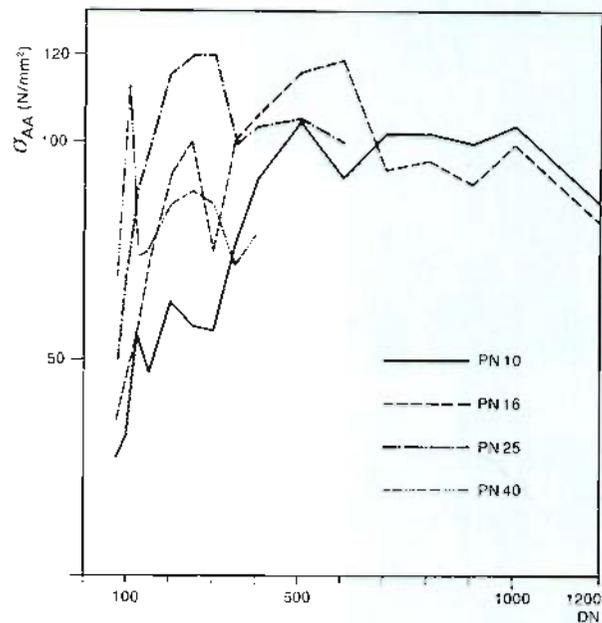


Bild 2: Flansche aus duktilem Gußeisen: Spannungen σ_{AA} als Funktion von PN und DN, Zusatzbelastungen aus Biegung und Wärmedehnung berücksichtigt.

dem Innendruck auch noch Zusatzbelastungen wirksam. Es wird eine Berechnung zu ihrer Erfassung und Darstellung als zusätzliche Druckbelastung vorgelegt. Eine mit diesen Belastungen durchgeführte Berechnung für Flansche aus duktilem Gußeisen nach dem neuen Entwurf DIN 2505 zeigt, daß eine Biegespannung von 120 N/mm^2 nicht überschritten wird. Vergleicht man diesen Wert mit den in der DIN 28 600 garantierten Wert der Streckgrenze bei Zug von 300 N/mm^2 , so erhält man einen Sicherheitsbeiwert S von 2,5, wie er in der Neufassung von DIN 2505 für duktilen Gußeisen vorgesehen ist. Flansche aus duktilem Gußeisen nach DIN 28 604, DIN 28 605, DIN 28 606 und DIN 28 607 sind somit für die vorgesehenen Betriebsdrücke sicher einsetzbar.



GUSSROHR-TECHNIK

**mit der man
rechnen
kann.**

