

FGR (20)

GUSSROHR-TECHNIK



Informationen
für das Gas- und Wasserfach

INHALT

Wasserversorgung des Flughafens Frankfurt „Rhein-Main“ Dipl.-Ing. Albert Wolff	Seite 4
Wasserverbundleitung DN 600 zwischen den Wasserwerken Mannheim-Käfertal und Mannheim-Rheinau Dipl.-Ing. Dr. Helmut Busse Dipl.-Ing. Artur Schäfer	Seite 9
Trinkwasserversorgung und Umwelttechnik Dipl.-Ing. Horst Menk	Seite 12
Desinfektion – Neutralisation; Untersuchung der Vermischung von Desinfektionsmittel und Wasser sowie der anschließenden Neutralisation Dipl.-Ing. Rolf-Dieter Sowalder	Seite 21
Beregnung und Grundwasseranreicherung im mittleren Hessischen Ried – ein Sanierungsprogramm Dipl.-Ing. Hans Iven	Seite 24
Abwasserleitungen aus duktilen Gußrohren in Trinkwasser-Schutzgebieten Dipl.-Ing. Adolf Wolf Ing. (grad.) Manfred Jung	Seite 29
Druckrohre aus duktilem Gußeisen im Verbundsystem der Transportleitungen städtischer Abwasserpumpwerke mit den Bremerhavener Kläranlagen Dipl.-Ing. Werner Völz Dipl.-Ing. Bernd Heiming	Seite 36
Rohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen für Entwässerungskanäle und -leitungen Dipl.-Ing. Norbert Raffenberg	Seite 44
Rohrleitungen im Senkungstrog. Ein Beitrag zur Anpassung linienförmiger Bauwerke an bergbauliche Bodenbewegungen Prof. Dr.-Ing. Friedrich Hollmann	Seite 49
Einsatzmöglichkeiten wärme-schrumpfender Umhüllungsmaterialien in Rohrnetzen aus duktilen Gußrohren und Formstücken Dipl.-Ing. Dieter Opitz Dipl.-Ing. Rudolf Schluchtmann	Seite 54

Titelbild:

Verlegung einer Abwasserleitung DN 1400 aus duktilen Gußrohren in einem Trinkwasser-Schutzgebiet



Duktile Gußrohre für die Abwasserentsorgung

Das Titelbild zeigt die Verlegung von Gußrohren für eine Abwasserleitung. 3 Aufsätze dieses Heftes befassen sich ebenfalls mit dem Thema „Abwasserentsorgung“. Zufälliges Zusammentreffen?

Nun, so ganz zufällig doch wohl nicht: Wir möchten neben dem Hauptanwendungsgebiet duktiler Gußrohre, nämlich Trinkwasserleitungen, nicht andere Einsatzbereiche vernachlässigen. Ein solcher Bereich ist der Transport von Abwasser. Hier steigen die Anforderungen an die Entsorger mehr und mehr. Größere und leistungsfähigere Klärwerke und ihre Standortprobleme bedingen immer häufiger Sammelleitungen. Auch Druckleitungen für Abwässer sind keine Seltenheit mehr. Dabei bieten sich duktile Gußrohre gerade dort an, wo schwierige Trassierungen vorliegen, z.B. bei besonders hoher oder niedriger Überdeckung, bei felsigen Böden, an Steilhängen, aber auch für Dükerleitungen.

Den duktilen Gußrohren mit ihren hohen Sicherheitswerten kommt da eine besondere Bedeutung zu. Typisch ist z.B. die Situation im Bliestal (siehe Seite 29), wo eine Abwasser-Sammelleitung durch ein Trinkwasser-Schutzgebiet geführt werden muß. Etwas anders gelagert sind die Verhältnisse in Bremerhaven (siehe Seite 36). Dort handelt es sich um Druckrohrleitungen mit zusätzlichen Problemen durch die Verlegung im Stadtgebiet.

In beiden Fällen fiel die Entscheidung zugunsten duktiler Gußrohre. Die Erfahrungen mit diesen Leitungen können sicher auch für andere, ähnliche Problemstellungen hilf-

reich sein. Der Artikel ab Seite 44 ergänzt die beiden Praxisberichte mit einer umfassenden Übersicht über duktile Gußrohre und Formstücke und ihre Verwendung für Abwasserleitungen.

Die vorliegende Informationsschrift beschreibt neben diesem Themenkomplex aber auch noch andere interessante Entwicklungen und Problemlösungen.

Löschwasser für Flugfeld

Es gibt wenige Superlative, die auf den Frankfurter Flughafen noch nicht angewendet wurden. 70 km Wasserrohrnetz und eine Löschwasserleistung bis zu 4600 l/min, das sind sicher auch Zahlen, die sich da einreihen lassen.

Bei Abfluggewichten bis zu 1.000 t eignen sich duktile Gußrohre besonders, um einen störungsfreien Betrieb zu sichern. Die wichtigste Aufgabe ist der Transport von enormen Mengen an Löschwasser im Brandfall; daher kommt es hier besonders auf die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der Leitung an. Was die Wasserversorgung des Frankfurter Flughafens darüber hinaus noch für Anforderungen bringt, schildert der Autor in dem Bericht auf Seite 4



Innerstädtische Leitungsvernetzung

Vor allem im großstädtischen Bereich ist zur Sicherung der Trinkwasserversorgung ein dichtes Verbundnetz unumgänglich. Mannheim, bekannt durch seine streng geometrische Straßenanordnung im Stadtkern, bietet auch hier ein klar überschaubares Bild: Eine Ringleitung mit nach innen und außen strahlenden Netzleitungen. Der Aufsatz beschreibt den Bau einer er-

gänzenden Leitung zur Verbindung der beiden wichtigsten Mannheimer Wasserwerke. Besondere Erschwernis boten dabei die Unterquerung von Neckar und Neckarseitenkanal sowie die Verlegung durch ein Überschwemmungsgebiet. Seite 9



Chlorinjektion, richtig dosiert

Die Desinfektion neuer Trinkwasserleitungen mit Chlor ist nur scheinbar ein problemloses Verfahren. Die Erfahrungen bei den Stadtwerken Düsseldorf haben gezeigt, daß die Vermischung von Wasser und Chlorbleichlauge durchaus nicht immer in der gewünschten Weise vonstatten geht. Durch Versuche hat man ermittelt, welche Hilfsgeräte und Dosierungen für eine gute Durchmischung bei der Chlorung wie auch bei der Neutralisierung erforderlich sind. Seite 21

IMPRESSUM

Herausgeber:

Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre
Konrad-Adenauer-Ufer 33
5000 Köln 1
Tel. (0221) 125064

Erscheinungsweise:

jährlich

Copyright:

Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre
Nachdruck mit Quellenangabe erlaubt
Belegexemplar erbeten

Druck:

Schottedruck, Krefeld

März 1985

Wasserversorgung des Flughafens Frankfurt „Rhein-Main“

Von Albert Wolff

1. Einleitung – Rückblick

Mit den ersten Maßnahmen für den Bau eines neuen Flughafens in Frankfurt – die bestehenden Flughafenanlagen „Rebstock“ waren zu klein und durch ihre Lage zwischen Bahndämmen, Wohnvierteln und Industriebetrieben wenig geeignet – wurde 1934 begonnen. Zunächst entstand der weltbekannte Zeppelin-Hafen und im Anschluß die heute noch teilweise im nordöstlichen Bereich vorhandene Anlage Rhein-Main. Krieg, Zerstörung, Besatzung, militärischer Wiederaufbau brachten Zwischenstadien, die erst nach Über-

nahme der Verwaltung durch die Flughafen AG wieder zu einem gezielten und durchdachten Ausbau zu einem Großflughafen führten. Heute stehen im zivilen Bereich auf einer ca. 1400 ha großen Fläche 2 Start- und Landebahnen, 1 Startbahn, ein enges Netz von Rollwegen, über 90 Flugzeugabstellpositionen, Empfangsgebäude für ab- und anfliegende Passagiere sowie in einem speziellen Frachtbereich umfangreiche Anlagen zur Frachtabfertigung und -lagerung zur Verfügung (Bild 1 a und 1 b). Start-, Lande- und Rollbahnen dienen hierbei gleichzeitig zur Abfertigung der Zivil- und der Militärflugzeuge.

2. Ein paar Zahlen

Zur Verdeutlichung der Größenverhältnisse und der Leistungen einige recht einprägsame und teilweise für sich selbst sprechende Zahlen:

Größe des gesamten Flughafengeländes einschließlich anliegender Waldgebiete	1900 ha
Flughafenbereich einschließlich des von der US-Luftwaffe genutzten Südteiles	1700 ha
Länge der Start- und S/L-Bahnen	ca. 4000 m
Breite der Start- und S/L-Bahnen	60 m, bzw. 45 m mit 2 je 7,50 m breiten befestigten Schultern



Bild 1a:
Flughafen
Frankfurt
am Main

Größe der Flugzeug-Abstellflächen	1 610 000 m ²
Länge der Rollbahnen	33 000 m
Flugzeugbewegungen, Start oder Landung, max. je Stunde max. je Tag	ca. 60 ca. 700
Beschäftigte auf dem Flughafen	ca. 33 000 Pers.
Beschäftigte bei der Flughafen AG	ca. 6 500 Pers.
Passagiere je Jahr	ca. 18,0 Mio
Passagiere je Tag (maximal)	ca. 70 000 Pers.
Wasserverbrauch je Jahr	ca. 1 500 000 m ³
Länge des Wasserrohrnetzes	ca. 70 000 m
Anzahl der Hydranten (Unter- und Überflurhydranten)	ca. 300 Stck.

3. Wasserversorgung

Daß der Wasserverbrauch sich über den Zeitraum von 1936 bis 1984 ständig steigerte, ja in den letzten 10 bis 15 Jahren nach dem Ausbau der neuen Empfangsanlage und des Frachtzentrums enorm anstieg, war klar abzusehen. Darüber hinaus spielte bei Vergrößerung der Flugbetriebsflächen und dem Neubau von Wartungshallen die Löschwasserversorgung schnell die Hauptrolle. So war auch dann 1970 die über eigene Brunnen betriebene Wassergewinnung nicht mehr ausreichend. Sie dient heute nur noch zur Versorgung des südlichen und von den Amerikanern genutzten Flughafenteils, der „Rhein-Main Air Base“. Der zivile, nördliche Bereich wird seitdem von einem Wasserversorgungsunternehmen der Stadt Frankfurt aus versorgt. Die Einspeisung erfolgt über 2 in verschiedenen Trassen verlegten Druckleitungen zu Übergabestationen, in denen der Eingangsdruck von 8 bis 9 bar auf 5,5 bar reduziert wird, bei gleichzeitiger Wasserzählung und Chlorierung auf einen Gehalt von 0,3 mg/l.

Bild 1b: Flughafen Frankfurt am Main (Foto: Milan Skaryd)

Freigeg. Darmstadt, Nr. 122/84





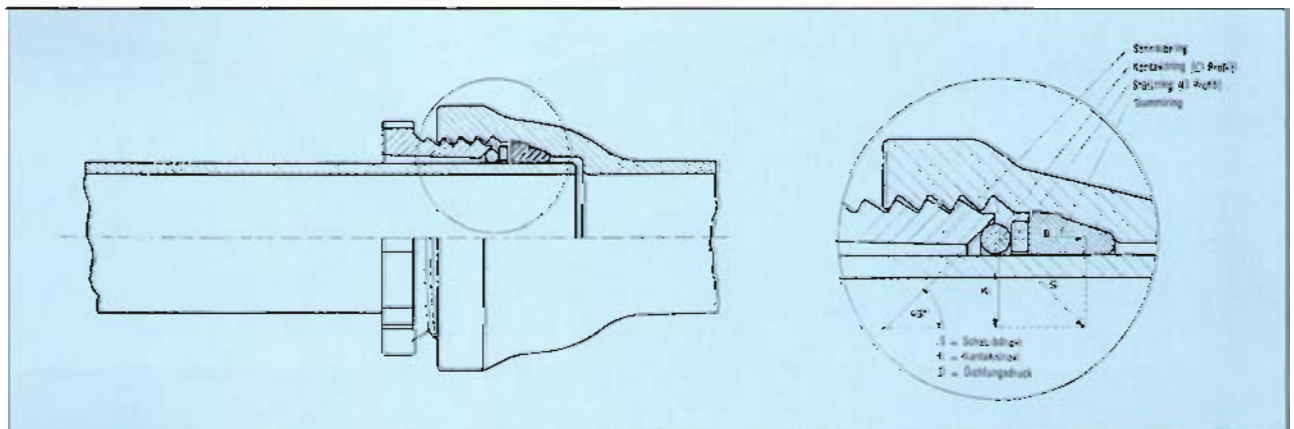
Bild 2: Groß-Löschfahrzeug der Flughafen-Feuerwehr

4. Wasserverteilung, Rohrnetz

Ähnlich wie bei einer Stadt ist das Trinkwasserrohrnetz – ein separates Löschwassernetz oder Reservoir gibt es nicht – als Ringleitungssystem ausgebaut. Hiermit sollte erreicht werden, daß im Falle eines Brandes, und dieser war zur Dimensionierung der Leitungsdurchmesser maßgebend, immer von mehreren Richtungen aus genügend Wasser zur Verfügung steht. Bemessungsgrundlagen waren dann auch Forderungen wie 3 200 l/min über einen Zeitraum von 15 min an einem Überflurhydranten (zum Nachfüllen der Löschfahrzeuge mit 38 000 l Wassertank, Bild 2) oder 4 600 l/min an einem stationären Löschmonitor in einer Flugzeug-Wartungshalle (Bild 3).

Insgesamt sind hierdurch das Rohrnetz und die im Wasserwerk vorgehaltene Brand- und Notleistung überdimensioniert; die Forderung nach der größtmöglichen Sicherheit gab aber hierzu den Ausschlag. Somit liegen auch alle verlegten Nennweiten zwischen DN 150 und DN 350.

Bild 4: Schraubmuffen-Verbindung, System RYF



5. Rohrwerkstoffe und Rohrverbindungen

Bis zur Einführung der Rohre aus duktilem Gußeisen wurden fast ausschließlich Rohre aus Grauguß verlegt. Die ältesten Abschnitte, zumeist während des Krieges stark beschädigt oder zerstört, wurden schon vor einigen Jahren ausgewechselt, so daß heute praktisch keine Leitungen mit bleiverstemten Muffen als Rohrverbindungen mehr vorhanden sind. Bei allen Rohrarten herrscht die Schraubmuffen-Verbindung vor, und zwar meist die leitende Sonderausführung nach dem System RYF (Bild 4). Durch die Vielzahl der elektrischen Anlagen für Beleuchtung, Befuerung, Anlaßhilfen und Sendeanlagen wurde größter Wert auf eine sichere und gute Erdung über das Wasserrohrnetz gelegt. So kam es, daß nur wenige, abgelegene Teilstränge mit der sicher problemloseren TYTON-Muffenverbindung ausgerüstet wurden.



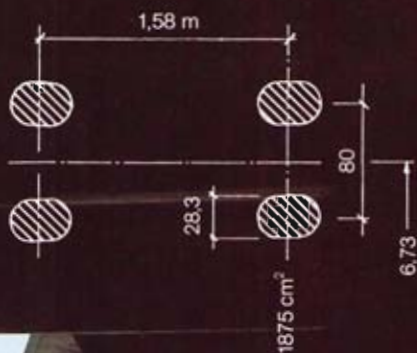
Bild 3: Flugzeugwartungshalle V
Nutzer: Deutsche Lufthansa
Länge: 320 m; Tiefe: 100 m; Höhe: 34 m

6. Probleme durch hohe Belastung

Während in den Anfangsjahren mit Grasbahnen und auch den ersten befestigten Start- und Landebahnen die Fluggewichte relativ gering waren, änderte sich dies im Laufe der Jahre doch sehr schnell. Alleine in letzter Zeit wurde bis etwa 1962 mit einem Bemessungsflugzeug von 150 t Abfluggewicht gerechnet, dann folgten 330 t und bis heute 750 t, teilweise 1 000 t. Diese enormen Lasten, die sich zwar auf immer größere Fahrwerke mit

Flugzeug mit Doppeltandem-Fahrgestell

Tandem-Doppel-Rad



Maßgebend für alle Bauwerke unter dem Rollfeld.

2 Fahrgestelle à 150 t	= 300 t
Bugrad	= 30 t
Gesamtlast des Flugzeuges	= 330 t

Reifenpressung = 20 kg/cm²

Aufstandsfläche eines Reifens:

$$\frac{150}{20 \cdot 4} = 1875 \text{ cm}^2$$

$$P_1 = \frac{150}{4} = 37,5 \text{ t}$$



Bild 5: Lastbild zur Bemessung unterirdischer Anlagen im Bereich der Flugbetriebsflächen

steigender Räderzahl verteilen, stellen doch eine hohe Beanspruchung der erdverlegten Leitungen dar. Zur sicheren Bemessung unterirdischer Bauwerke und Leitungen dient heute ein Lastbild, bei dem das Gewicht eines 330 t-Flugzeuges auf das Fahrwerk mit den Abmessungen eines 145 t-Flugzeuges übertragen wurde (Bild 5).

Bei Start- und Rollbahnen waren schon immer Schutzrohre in Stahl oder Stahlbeton verlegt worden, bei den weiträumigen Vorfeldflächen war dies jedoch im Hinblick auf Abzweige und Hydrantenanschlüsse praktisch undurchführbar. Hier bot sich mit der Einführung der duktilen Gußrohre endlich ein Rohrmaterial an, das die Wasserversorgung und den Flugzeug-Abfertigungsbetrieb sicherer gestaltete. Während früher bei Grauguß-Rohren ein Riß oder Schalenausbruch unter Betonflächen zu einem erheblichen Anheben mehrerer Betonplatten führte, ist diese Schadensart durch den neuen Werkstoff weitgehendst ausgeschlossen.

Bei der Neugestaltung von Vorfeldflächen in den letzten Jahren sowie der kompletten Erneuerung alter Abstellpositionen (Bild 6) wurden daher nur Rohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen eingebaut.

Bild 6: Überflurhydranten im Flugzeugabfertigungsbereich



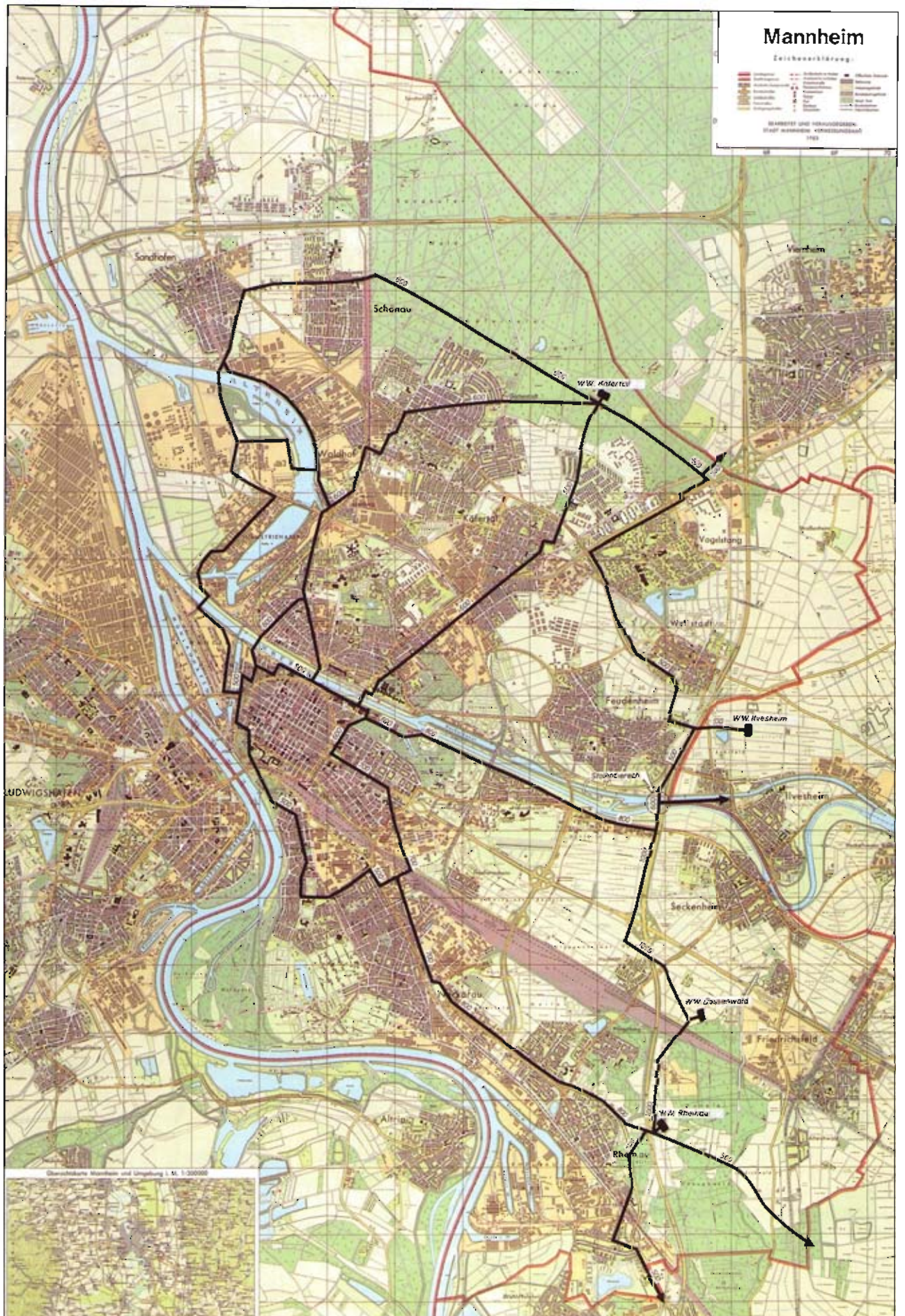


Bild 1: Zubringer- und Hauptleitungen Stadtwerke Mannheim

Wasserverbundleitung DN 600 zwischen den Wasserwerken Mannheim-Käfertal und Mannheim-Rheinau

Von Helmut Busse und Artur Schäfer

1. Einleitung

Die Stadtwerke Mannheim Aktiengesellschaft (SMA) versorgen ca. 360 000 Einwohner im Rhein-Neckar-Raum mit Trinkwasser. Neben dem Stadtgebiet Mannheim werden noch die Stadt Viernheim und die Gemeinden Ivesheim und Brühl versorgt. Des weiteren erhalten die Stadtwerke Heidelberg Zusatzwasser über die Transportleitung DN 500 vom Wasserwerk (WW) Rheinau.

Das Bild 1 zeigt, wie von den beiden Hauptwasserwerken Käfertal und Rheinau im Norden und Süden Mannheims die Haupttransportleitungen strahlenförmig in das Versorgungsgebiet der SMA hineinreichen und dort zusammentreffen. Es entstehen dadurch wechselnde Grenzlinien bzw. Bereiche, bei denen Trinkwasser aus beiden Wasserwerken anstehen kann. Wichtige Voraussetzung für diese Fahrweise ist, daß die Wässer aus Käfertal und Rheinau miteinander verträglich sind. Das Mannheimer Transport- und Versorgungsnetz ist insgesamt darauf abgestimmt, daß die beiden Hauptwerke Rheinau und Käfertal im Verhältnis 60 : 40 in das Netz einspeisen.

Vom Wasserwerk Rheinau führen zwei Transportleitungen in den Nennweiten DN 800 und DN 1000 in das Stadtzentrum. Eine weitere Fernleitung DN 500 führt nach Heidelberg, das hierüber mit Wasser vom Wasserwerk Rheinau zusätzlich versorgt wird. Ein weiterer Leitungsstrang führt nach Süden zur Versorgung des südlichen Teils von Rheinau sowie von Brühl und Rohrhof. An diese Leitung ist auch das Netz von Schwetzingen für eine Spitzen- und Reserveeinspeisung angeschlossen.

Bei Störung eines der beiden Hauptwasserwerke ist ein leistungsfähiger Verbund zwischen dem Wasserwerk Käfertal im Norden der Gemarkung und dem Wasserwerk Rheinau im Süden der Gemarkung erforderlich.

2. Verbundleitung im Störfall

Durch umfangreiche, im eigenen Hause mittels moderner EDV-Programme durchgeführte Rohrnetzrechnungen wurde festgestellt, daß eine

weitere Verbundleitung DN 600 im Osten des Versorgungsnetzes erforderlich ist. Diese Leitung unterquert den Neckar sowie den Neckarseitenkanal.

Die Stunden- und Tagesleistungen jeder der beiden Wasserwerke sind so ausgebaut, daß in Spitzenabgabezeiten eine ausreichende Trinkwasserversorgung im gesamten Versorgungsgebiet möglich ist. Im Norden wie auch im Süden des Versorgungsgebietes ist noch ein kleineres Wasserwerk vorhanden, das im Bedarfsfall zur Unterstützung der großen Wasserwerke eingesetzt werden kann.

Mit der Fertigstellung der Verbundleitung DN 600 im Jahre 1984 bestehen im Wasser-Versorgungsnetz der Stadtwerke Mannheim 5 neckarquersende Leitungen, wovon 3 als Brückenleitungen und 2 als Dükerleitungen ausgeführt sind.

3. Werkstoffauswahl

Die Werkstoffe und Rohrverbindungen bei den Wasserleitungen haben sich im Laufe der Jahre gewandelt. So war z. B. bei den Graugußrohren bis Anfang der dreißiger Jahre die Stemmuffe die gebräuchliche Verbindung; hierbei wurde zur Abdichtung Hanf mit Blei verstemmt verwendet. Heute werden längskraftschlüssige Steckmuffen (TYTON-Verbindungen) eingesetzt. Die ältesten Wasserleitungen in Mannheim stammen aus dem Jahre 1886. Seit 1961 wird anstelle von Grauguß (Gußeisen mit lamellenförmigen Graphiteinlagerungen) duktiler Gußeisen (Gußeisen mit kugelförmigen Graphiteinlagerungen) als Werkstoff für die Wasserleitungen eingesetzt, da sich dieser Werkstoff zum Bau von Wasserleitungen besonders eignet. Zusätzlich ist noch die Innenseite der Rohre mit Zementmörtel ausgeschleudert. Dadurch werden Inkrustationen, Korrosionen und Rohrreibungsverluste stark vermindert, wodurch ein hygienisch einwandfreier Transport des Trinkwassers sichergestellt wird.

Im vorliegenden Fall wurde im Jahre 1983 beschlossen, duktile Gußrohre nach DIN 28610 Teil 1 [1] mit Zementmörtel-Auskleidung und TYTON-Verbindung DN 600, PN 16 zu verwenden, weil das in die Einheitlichkeit des vorhandenen Netzes paßt. Aber noch eine andere Trassenbesonderheit verhalf zu diesem Entschluß. Etwa 300 m von 500 m Gesamttrassenlänge waren in Stollenverlegung auszuführen. Der Stollen war vorhanden und bereits mit einer Hochdruck-Gasleitung DN 400, PN 64 bestückt. Durch die Verwendung von TYTON-Steckmuffenrohren entfiel das Schweißen im Stollen (Bild 2 und Bild 3).

4. Trassenbeschreibung

Da die Trasse zum größten Teil im Neckarvorlandbereich verläuft, wurden vorwiegend landwirtschaftlich genutzte Flächen und Überschwemmungsgebiete angetroffen, die zum großen Teil im Eigentum der öffentlichen Hand sind. Lediglich am rechtsseitigen Bereich der beiden, in engem Abstand parallel verlaufenden Wasserläufe mußten einige als Schrebergarten genutzte Flächen in Anspruch genommen werden. In einem Fall konnte mit dem Grundstückseigentümer keine Einigung

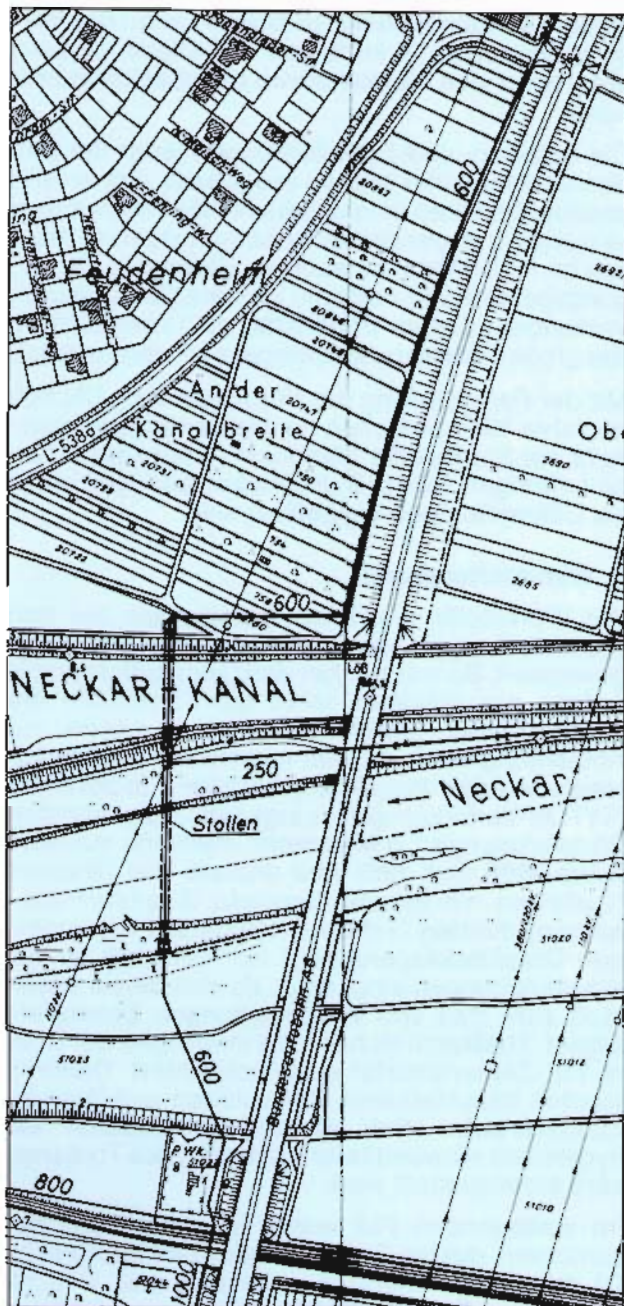


Bild 2: Stollen Feudenheim

für die Leitungssicherung in Form der Eintragung einer beschränkten persönlichen Dienstbarkeit im Grundbuch erreicht werden. Durch Grundstückstausch zwischen dem Privatgrundstückseigentümer und der Stadt Mannheim konnte die benötigte Trasse für die Wasserleitung gesichert werden. Die Duldung der Leitungen in stadteigenen Grundstücken ist im Konzessionsvertrag zwischen der Stadt und den Stadtwerken geregelt.

Für die Kreuzung der beiden Wasserläufe wurde entsprechend den allgemeinen Richtlinien ein Gestattungsvertrag zwischen dem Wasser- und Schiffsamt und den Stadtwerken Mannheim AG abgeschlossen.

Etwa in der Mitte des Stollens, im Inselbereich zwischen Neckar und Neckarseitenkanal wurde eine nach oben abzweigende Leitung DN 250 eingebaut, um der Inselgemeinde Ilvesheim eine zweite Einspeisung für das Trinkwassernetz zu schaffen.

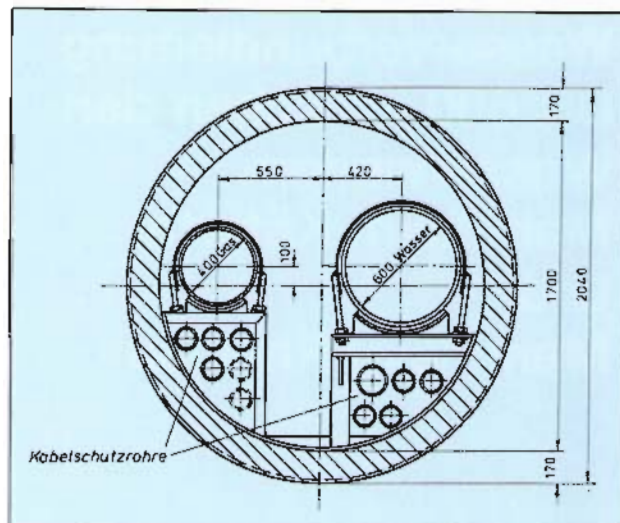


Bild 3: Stollen Neckar-Neckarseitenkanal
Schnitt mit Blickrichtung nach Feudenheim

Die Leitung besteht ebenfalls aus duktilem Gußeisen mit TYTON-Verbindung und Zementmörtel-Auskleidung (Bild 4).

Beim seinerzeitigen Bau des Stollens wurden bereits Vorkehrungen getroffen, um diesen Anschluß nachträglich herstellen zu können.

5. Leitungsverlegung, Tiefbau und Rohrbau

Beim Tiefbau haben sich keine wesentlichen Probleme ergeben, da das Problemstück – Kreuzung des Neckars und Neckarseitenkanals – durch einen vor Jahren bereits erstellten Stollen bewältigt war. Die restlichen Teilstrecken durchlaufen offenes Gelände, der Graben konnte durchweg geböscht ausgeführt werden. Besondere Grabensohlenverdichtungen waren nicht notwendig, da auf der gesamten Grabenlänge gewachsener Boden angetroffen wurde. Bis zu einer Tiefe von durchschnittlich 3 m lag ausschließlich steinfreier Sand vor, der ausnahmslos zur Rohreinbettung und Grabenwiederverfüllung verwendet werden konnte. Ein Teilabschnitt der Leitungstrasse im linksseitigen Neckarvorland ist Überschwemmungsfläche. Deshalb mußte der obere Grabenbereich vor dem Aufbringen des Oberbodens besonders sorgfältig verdichtet und die ganze in Anspruch genommene Fläche (Baustreifen) mit einem für Überschwemmungsgebiete ausgewählten Grassamen besät werden.

6. Rohrverlegung

Vom Rohrhersteller wurden die Rohre und Formstücke, die nach exakter Vorplanung ermittelt wurden, nach Abstimmung mit der Bauleitung direkt an die Baustelle geliefert.

Die Verwendung von duktilen Gußrohren mit TYTON-Verbindungen stellt für eine Rohrverlegungsfirma mit ausreichenden Erfahrungen kein besonderes Problem dar (Bild 5). Einen größeren Aufwand erforderte das Einbringen der Rohre in den Stollen. Die Stolleneinstiege beiderseits des Neckars haben einen Durchmesser von 1,5 m. Es bestand die Möglichkeit, den Stollen von den beiden Außeneinstiegen zu bedienen, so daß der un-

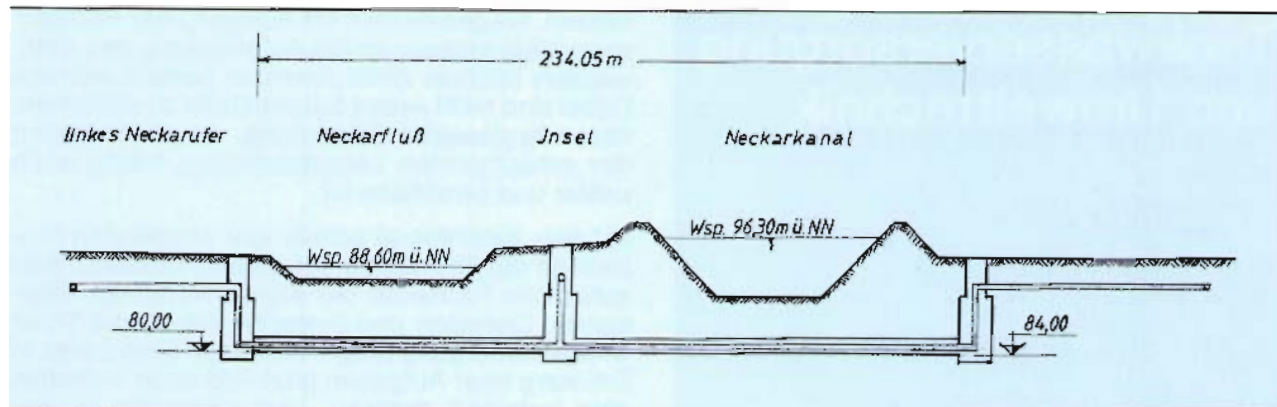


Bild 4: Längsschnitt Dükerrohr mit Seitenanschlüssen

tere Rohrtransport nur auf halber Stollenlänge notwendig wurde. Für den Transport im Stollen mußten Vorrichtungen eingerichtet werden. Dabei wurden die mit Montagerollen versehenen Einzelrohre auf einem aus U-Stahl bestehenden Montageschienenpaar in die Verlegeposition im Düker mittels einer Seilwinde eingezogen. Nach dem Zusammenfügen der Rohre wurde die Montageschiene abgebaut und die Rohre in entsprechend ausgebildete Auflagerschalen abgesenkt. Zur Verhinderung von Beschädigungen des Rohraußenschutzes bei nicht ganz auszuschließenden Bewegungen am Auflager sind die Auflagerschalen mit Gummi ausgekleidet. Alle Eisenteile sind doppelt-feuerverzinkt.

Die nach außen wirkenden Kräfte der Rohrleitung im Falle von Richtungsänderungen sowie bei nicht erdbedeckten Teilstrecken wurden entweder über Betonwiderlager oder über schubgesicherte TYTON-Verbindungen abgefangen.

Durch die verhältnismäßig große Tiefenlage des Dükerstollens stellt sich ein Temperatenausgleich zwischen Wasserleitung und Temperatur im Stollen ein. Damit wurde das unangenehme Schwitzen der Leitungen weitestgehend verhindert.

Es war auch nicht notwendig, einen besonderen Außenschutz der Rohre vorzunehmen. Der werkseitig aufgebrachte Standard-Außenschutz (Zink-Überzug mit Bitumen-Deckbeschichtung) stellt einen ausreichenden Schutz dar.

Die Einbindungsarbeiten des Dükers in das bestehende Trinkwassernetz gestalteten sich unterschiedlich. Auf der Feudenheimer Seite wurde die Dükerleitung an eine Graugußleitung DN 500 eingebunden. Dies war mit den marktüblichen Formstücken und Verbindungszubehöerteilen einfach zu lösen. Mehr Aufwand erforderte der Anschluß an der Südseite. Hierzu mußte die neuverlegte Leitung an eine Stahlleitung DN 800 eingebunden werden. Es mußte ein geschweißtes Formstück (Hosenstück) angefertigt werden, das mittels zweier Stumpfnähte in den bestehenden Zubringer eingefügt wurde. Zu beachten waren bei der Rohrtrennung des Stahlrohres die Richtlinien des DVGW-Arbeitsblattes GW 309 [2]. Die eigentliche Verbindung zwischen den zwei Rohrsystemen erfolgte über eine Absperrklappe mit Flanschverbindungen.

Die Druckprüfung der verlegten Leitung erfolgte in

einem Abschnitt nach DIN 4279 [3]. Undichtheiten und Lageveränderungen an Bogen wurden nicht festgestellt.

Infolge der Innenauskleidung der Rohre mit Zementmörtel waren auch die Richtlinien nach dem DVGW-Arbeitsblatt W 291 [4] streng zu beachten. Die Keimfreiheit wurde vom stadtwerkeigenen chemischen Labor überprüft und schließlich nach zweimaliger Nachchlorung bestätigt.

Zusammenfassung

Mit der Inbetriebnahme des Neckardükers DN 600 wurde ein weiterer Schritt getan, die beiden Großwasserwerke Rheinau und Käfertal so zu vermaschen, um die Gesamtversorgung der Stadt Mannheim aus Richtung eines Wasserwerkes zu ermöglichen.

Schrifttum

- [1] DIN 28610 Teil 1 (Januar 1983)
Druckrohre aus duktilem Gußeisen mit Muffe, mit Zementmörtel-Auskleidung, für Gas- und Wasserleitungen; Maße, Massen und Anwendungsbereiche
- [2] DVGW-Arbeitsblatt GW 309 (März 1972)
Elektrische Überbrückung bei Rohrtrennungen
ZfGW-Verlag GmbH, Frankfurt
- [3] DIN 4279 (November 1975)
Innendruckprüfung von Druckrohrleitungen für Wasser
- [4] DVGW-Arbeitsblatt W 291 (Dezember 1973)
Desinfektion von Wasserversorgungsanlagen
ZfGW-Verlag GmbH, Frankfurt

Bild 5: Verlegung der Dükerleitung auf der rechten Neckarseite



Trinkwasserversorgung und Umwelttechnik

Von Horst Menk

1. Einleitung

Die Wasserversorgung ist eine der ältesten Gemeinschaftsaufgaben der Menschheit. Knapp und kostbar war Wasser, wie heute in den trockenen und heißen Regionen unserer Erde, in den Gebieten um das Mittelmeer. Von dort gingen die frühesten Kulturen der Menschheit aus und Wasser bedeutete Leben im Sinne des Überlebens.

Bei uns ist das Wasserdargebot dank der günstigen geographischen Lage zumindestens mengenmäßig ausreichend. Regional unterschiedliche Dargabote sowie jahreszeitlich bedingte Schwankungen lassen sich durch technische Maßnahmen ausgleichen. Der Ausgleich zwischen Wasserüberschuß- und Wassermangelgebieten, wie er bei uns von größeren Wasserversorgungsunternehmen oft durchgeführt wird, ist keine neuzeitliche Erfindung. Er wurde schon vor mehr als 2000 Jahren erfolgreich praktiziert. Weniger günstig sieht es jedoch in gütemäßiger Hinsicht aus. Viele Wasservorkommen sind verunreinigt und geben zur Besorgnis Anlaß.

Die Fragen der Wasserversorgung sind in letzter Zeit zunehmend in das Bewußtsein und die Diskussion der Öffentlichkeit gedrungen. Zwar wird der Vorrang der Wasserversorgung gegenüber anderen Interessen am Wasser – insbesondere bei Nutzung von Grundwasservorkommen – im allgemeinen anerkannt, in der Praxis jedoch stößt die Grundwassererschließung für die öffentliche Wasserversorgung immer mehr auf Schwierigkeiten. Ursachen sind nicht nur konkurrierende Interessen, sondern auch die massiven Widerstände von Bürgerinitiativen zum Umweltschutz. Vor allem Ballungsgebiete geraten hierdurch in Bedrängnis, wenn zu ihrer Versorgung Grundwasservorkommen aus geringer besiedelten und weniger verunreinigten Räumen erschlossen werden sollen.

Mit verbesserter Lebensqualität steigen auch die Ansprüche der Verbraucher an die Güte des Trinkwassers. In der Bundesrepublik Deutschland wird der Trinkwasserbedarf zu etwa $\frac{3}{4}$ aus dem Grundwasser gedeckt. Jedoch wird es durch umweltbedingte Faktoren immer mehr gefährdet. So ist man heute zunehmend auf Oberflächenwasser ange-

wiesen. Wegen dessen oft mangelhafter Rohwasserqualität müssen an die Aufbereitung des Trinkwassers höchste Anforderungen gestellt werden. Dabei sind nicht selten Spurenstoffe zu entfernen, deren hygienische Bedeutung, vor allem wegen der schädigenden Langzeitwirkung, häufig noch unklar und umstritten ist.

Mit den zunehmend schwieriger werdenden Problemen der Trinkwasserversorgung befassen sich zahlreiche Fachleute der Wasserwirtschaft. Ingenieure, Chemiker und Biologen, die für die Trinkwasserversorgung tätig sind, setzen alles daran, in Erfüllung ihrer Aufgaben jetzt und auch weiterhin eine jederzeit mengen- und gütemäßig ausreichende Versorgung der Bevölkerung mit dem unersetzlichen Lebensmittel „Wasser“ sicherzustellen. Sie sorgen dafür, daß wir einer schon vielfach befürchteten Wasserkatastrophe nicht entgegenzusehen brauchen.

2. Trinkwasserversorgung in vergangenen Zeiten

In der Antike befand sich die Trinkwasserversorgung und öffentliche Hygiene auf einem Stand, der uns heute noch in Erstaunen setzt. Zahlreiche Ausgrabungen lassen erkennen, daß in den Städten eine ausreichende Versorgung mit Wasser der gesamten Bevölkerung zugute kam. Die Anlagen für die Wasserversorgung waren in die städtebaulichen Planungen einbezogen. Wohl verfügten nur die wohlhabenden Bürger über ein eigenes Bad im Hause, doch die öffentlichen Bäder, die zahlreichen Laufbrunnen und die Kanalisationsanlagen innerhalb des römischen Imperiums sind ein Beweis dafür, daß damals der Wasserverbrauch in den Städten hoch war.

Den höchsten Wasserverbrauch erreichte das kaiserliche Rom, das etwa eine Million Einwohner zählte. Nach den Berechnungen des Sixtus Julius Frontinus, des kaiserlichen Verwalters der Wasserwerke im antiken Rom um 100 n. Chr., wurden nach Rom täglich über 400 000 m³ Wasser gefördert. Ein Teil davon wurde aber bereits unterwegs entnommen und die Verluste in den bis zu 80 km langen Transportleitungen waren sicherlich nicht unbeträchtlich. Der Wasserverbrauch in Rom dürfte zwischen 200 und 250 l/E, d gelegen haben. Andere Quellen geben an, daß der Wasserverbrauch noch erheblich größer gewesen sein soll.

Z. Zt. des Kaisers Augustus befaßte sich der römische Baumeister Marcus Vitruvius in seinen zehn Büchern über die Baukunst (de architectura libri decem) u.a. mit den Anforderungen an die Wasserbeschaffenheit, die in den Kernpunkten auch heutigen Anforderungen entsprechen:

„Sind die in der Nähe des Wasservorkommens wohnenden Menschen gesund, von frischer Gesichtsfarbe und leiden weder an Fußkrankheiten (vermutlich: Knochenerkrankungen, d.V.) noch an tiefenden Augen, so ist das Wasser geeignet. Man bespritze aber auch mit dem Wasser metallene Gefäße und prüfe, ob es keine Flecken hinterläßt. In einem Gefäß darf das Wasser keinen Bodensatz hinterlassen. Ein Zeichen von gutem Wasser ist es, wenn damit das Gemüse geschwind gekocht werden kann. Ferner muß das Wasser klar

und durchsichtig sein; an der Stelle seines Austritts dürfen keine Binsen wachsen.“

Höchste Anerkennung finden immer wieder die Fernleitungen der alten Römer in gemauerten Kanälen, die zum Teil auf einem Unterbau aus halbkreisförmigen Bögen, den bekannten Aquädukten, verliefen. Die Aquädukte waren nicht nur in Rom anzutreffen, wo sie zum Teil auch heute noch als Sehenswürdigkeit bestehen, sie bestimmten auch das Bild vieler anderer Städte im römischen Imperium. Die Bogentechnik ist nicht, wie vielfach angenommen wird, eine Erfindung der Antike, sie wurde bereits vor mehr als 5000 Jahren bei den alten Ägyptern, also noch vor der Pyramidenzeit, angewandt.

Die erste Fernleitung nach Rom, die Appia (benannt nach ihrem Erbauer Appius Claudius) wurde bereits im Jahre 12 v. Chr. in Betrieb genommen. Im Jahre 100 n. Chr. versorgten neun Fernleitungen mit einer Gesamtlänge von 430 km die Hauptstadt des damaligen römischen Weltreiches. Aus Sicherheitsgründen waren in den Fernleitungen in Abständen bis zu 24000 Fuß (= rd. 7 km) Zwischenbehälter mit Absperrvorrichtungen eingeschaltet.

Voller Stolz berichtet Plinius der Ältere im ersten Jahrhundert n. Chr.: „Wenn wir den Überfluß an Wasser in den öffentlichen Gebäuden, Bädern, Teichen, Häusern, Gärten und Landgütern in der Nähe von Rom sorgfältig betrachten, wenn wir uns

die Entfernungen vor Augen halten, die das Wasser durchmißt, ehe es seinen Bestimmungsort erreicht, die Errichtung von Bogenbrücken, die Durchbohrung von Bergen, den Bau waagerechter Leitungen durch tiefe Täler, so müssen wir zugeben, daß es auf der ganzen Erde niemals etwas Erstaunlicheres gegeben hat.“

Auf den Komfort eines hohen Wasserverbrauchs wollten die Römer auch fern ihrer Heimat nicht verzichten. So ließen sie in der Colonia Claudia Ara Agrippinensis, dem heutigen Köln, eine Fernwasserleitung errichten, um über eine Entfernung von fast 100 km Eifel-Quellwasser in die Stadt zu leiten.

Für die Ortsnetze in den damaligen Großstädten verlegten die Römer mit Vorliebe Bleirohre. Der Werkstoff kam vorwiegend aus Spanien, wo in den Bleigruben Zehntausende von Sklaven harte und gesundheitsschädliche Arbeit verrichten mußten. Auf die Rohre waren Hinweise über die Hersteller und Bauträger sowie Kontrollzeichen über die Abnahme eingeprägt. Eine altrömische Bleirohrleitung in Wiesbaden trägt das Zeichen der XIV. Legion, ein Beweis dafür, daß die ökonomischen Römer ihre Streitkräfte in Friedenszeiten sehr nutzbringend zu beschäftigen wußten. Mancherorts, besonders in den von den Römern eroberten und kolonisierten waldreichen Gebieten wurden auch Holzrohre aus durchbohrten Stämmen verlegt, die durch eiserne Ringdübel und Metallschellen miteinander verbunden waren.



3. Trinkwassergüte und -anforderungen

Lange Zeit ist in der Bundesrepublik Deutschland für die chemischen und hygienischen Anforderungen an das Trinkwasser nur die DIN 2000 maßgeblich gewesen. Denn das schon recht bejahrte Bundesseuchengesetz vom 18. Juli 1961 enthält zu der Güte eines Trinkwassers lediglich einen richtungsweisenden Satz:

„Trinkwasser sowie Wasser für Betriebe, in denen Lebensmittel hergestellt und behandelt werden, oder die Lebensmittel in den Verkehr bringen, muß so beschaffen sein, daß durch seinen Genuß oder Gebrauch eine Schädigung der menschlichen Gesundheit, insbesondere durch Krankheitserreger, nicht zu besorgen ist.“

Erst durch die aufgrund des Bundesseuchengesetzes erlassene **Trinkwasserverordnung** vom 31. Januar 1975 wurden in der Bundesrepublik neben den hygienischen Anforderungen für eine Reihe von Inhaltsstoffen auch rechtlich verbindliche Grenzwerte festgelegt.

Tabelle 1: Grenzwerte nach der Trinkwasserverordnung und der EG-Richtlinie

		Trinkwasser-Verordnung	Grenzwert EG-Richtlinie
Arsen	mg/l	0,04	0,05
Blei	mg/l	0,04	0,05
Cadmium	mg/l	0,006	0,005
Chrom	mg/l	0,05	0,05
Cyanide	mg/l	0,05	0,05
Fluoride	mg/l	1,50	1,50
Nitrate	mg/l	90	50
Quecksilber	mg/l	0,004	0,001
Selen	mg/l	0,008	0,01
Sulfate	mg/l	240	250
Zink	mg/l	2	5
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe	mg/l	0,00025	0,00020

Tabelle 2: Richtzahl und zulässige Höchstkonzentration für physikalisch-chemische Faktoren nach der EG-Richtlinie

Parameter	Angabe des Ergebnisses	Richtzahl	zulässige Höchstkonzentration
Temperatur	°C	12	25
pH-Wert	pH-Einheiten	6,5-8,5	-
Leitfähigkeit	µS/cm bei 20°C	400	-
Chloride	mg/l Cl	25	-
Sulfate	mg/l SO ₄	25	250
Calcium	mg/l Ca	100	-
Magnesium	mg/l Mg	30	50
Natrium	mg/l Na	20	175
Kalium	mg/l K	10	12
Aluminium	mg/l Al	0,05	0,2
Trockenrückstand	mg/l bei 180 °C	-	1500

Aus der Sicht der Umwelttechnik sind heute aber nicht nur die Bedingungen der Trinkwasserverordnung, sondern auch die Vorschriften der auf dem Lebensmittelgesetz basierenden Trinkwasseraufbereitungsverordnung vom 19. Dezember 1959 in ihrer Fassung vom 27. Juni 1966 von Interesse. Diese Verordnung bestimmt nämlich, welche Zusatzstoffe bei der Aufbereitung verwendet werden dürfen und welche Konzentrationen nach der Aufbereitung im Trinkwasser verbleiben dürfen.

Schließlich hat am 15. Juli 1980 der Rat der EG die

Tabelle 3: Richtzahl und zulässige Höchstkonzentration für toxische Faktoren nach der EG-Richtlinie

Parameter	Angabe des Ergebnisses	Richtzahl	zulässige Höchstkonzentration
Arsen	mg/l As	-	0,05
Cadmium	mg/l Cd	-	0,005
Cyanverbindungen	mg/l CN	-	0,05
Gesamtchrom	mg/l Cr	-	0,05
Quecksilber	mg/l Hg	-	0,001
Nickel	mg/l Ni	-	0,05
Blei	mg/l Pb	-	0,05
			(in fließendem Wasser)
Antimon	mg/l Sb	-	0,01
Selen	mg/l Se	-	0,01
Pestizide und ähnliche Produkte	mg/l	-	
- je Substanz		-	0,0001
- insgesamt		-	0,0005
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe	mg/l	-	0,0002

Tabelle 4: Richtzahl und zulässige Höchstkonzentration für unerwünschte Faktoren nach der EG-Richtlinie

Parameter	Angabe des Ergebnisses	Richtzahl	zulässige Höchstkonzentration
Nitrate	mg/l NO ₃	25	50
Nitrite	mg/l NO ₂	-	0,1
Ammonium	mg/l NH ₄	0,05	0,5
Kjeldahl-Stickstoff (ohne NO ₂ u. NO ₃)	mg/l N	-	1
Oxidierbarkeit (KMnO ₄)	mg/l O ₂	2	5
Schwefelwasserstoff	µg/l S	-	organoleptisch nicht nachweisbar
mit Chloroform extrahierbare Substanzen	mg/l Trockenrückstand	0,1	-
geloste oder emulgierte Kohlenwasserstoffe	µg/l	-	10
Phenole	µg/l C ₆ H ₅ OH	-	0,5
Bor	µg/l B	1000	-
oberflächenaktive Stoffe	µg/l eq Laurylsulfat	-	200
organische Chlorverbindungen (außer Pestiziden)	µg/l	1	-
Eisen	µg/l Fe	50	200
Mangan	µg/l Mn	20	50
Kupfer	µg/l Cu	100	-
		(ab Wasserwerk)	3000
		(nach 12stündigem Verbleib in Leitung)	100
Zink	µg/l Zn	-	(ab Wasserwerk) 5000
			(nach 12stündigem Verbleib in Leitung)
Phosphor	µg/l P ₂ O ₅	400	5000
Fluor	µg/l F bei 8-12°C	-	1500
	bei 25-30°C	-	700
ungelöste Stoffe		keine	
Barium	µg/l Ba	100	-
Silber	µg/l Ag	-	10

„Richtlinie über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch“ verabschiedet. Hierin sind 62 Parameter enthalten, denen das Trinkwasser genügen muß. Die Regelungen weichen zum Teil von den Anforderungen der Trinkwasserverordnung ab (siehe Tabelle 1).

Der Vollständigkeit halber seien hier auch die Parameter für die physikalisch-chemischen und toxischen und schließlich auch für die uner-

wünschten Faktoren (nach der EG-Richtlinie) aufgeführt (siehe Tabellen 2 bis 4).

Die Überschreitung der in den erwähnten Verordnungen und Richtlinien aufgeführten Grenzwerte kann auf die verschiedensten Ursachen zurückgeführt werden. Sobald diese in oft mühseliger Kleinarbeit gefunden worden sind, müssen die aufgetretenen Mängel möglichst schnell beseitigt werden. Zur Einkreisung der Fehlerquellen bieten die Untersuchungsbefunde eine wesentliche Hilfe. Schon die Parameter allein lassen nicht selten auf Fehlerquellen schließen.

4. Wasserschutzgebiete

In der Bundesrepublik Deutschland stammt der größte Teil des Trinkwassers aus Grundwasservorkommen. Vorwiegend wird es aus Brunnen gewonnen; Quellen, Sickerstränge und Stollen sind hierbei nur von untergeordneter Bedeutung.

Das Grundwasser ist durch die Nutzung und sonstige Inanspruchnahme des Grund und Bodens einer vielfältigen Gefährdung ausgesetzt. Sie entsteht durch das Eindringen oder Einleiten von Schadstoffen, z.B. Abwasser, Industrieabfällen, in den Untergrund. Solches trifft auch für das Aufbringen derartiger Stoffe auf die Erdoberfläche zu. Durch die auslaugende Wirkung des Niederschlagswassers können, ganz abgesehen von den Krankheitserregern, die wasserlöslichen und schädlichen Bestandteile und die Abbauprodukte der organischen Substanzen in das Grundwasser gelangen.

Die Gefahr, daß Grund- und Quellwasser verunreinigt wird, nimmt im allgemeinen mit geringer werdender Entfernung von den Wasserentnahmestellen zu. Je näher die Verunreinigungsherde an den Fassungsanlagen gelegen sind, umso leichter wird das Reinigungsvermögen des Bodens überschritten. Besonders ist das der Fall bei ungünstigen Untergrundverhältnissen mit wenig reinigender Filterwirkung.

Ein besonderes Problem für das Grundwasser stellt das Mineralöl dar. Bereits 1 l versickertes Öl kann eine Grundwassermenge von mehr als 1000 m³ über Jahre hinaus unbrauchbar machen. Ein solches Wasser ist ungenießbar. Mineralöle dehnen sich weit auf dem Grundwasser aus. Daher kann ein Ölunfall unter Umständen den Zusammenbruch einer ganzen örtlichen Wasserversorgung zur Folge haben.

Um im Interesse der öffentlichen Trinkwasserversorgung das Grundwasser vor allen nachteiligen Einflüssen zu bewahren, müssen Wasserschutzgebiete eingerichtet werden. Schutzgebiete sind nicht neu, wenn auch noch nicht allzu lange an den Straßen die Schilder „Wasserschutzgebiete“ aufgestellt sind. Die Tafel mit dem stilisierten Tankwagen soll dem Tankwagenfahrer Geschwindigkeitsbegrenzungen auferlegen und das Überholen verbieten, um so die Gefahr von Verkehrsunfällen und damit das Auslaufen von Öl und anderen wassergefährdenden Flüssigkeiten zu verhindern.

Hinweise für mögliche Verunreinigungen und den Zweck und die Ausdehnung der Schutzgebiete

geben die sogenannten Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete, die bereits im Jahre 1953 vom DVGW aufgestellt und im Jahre 1975 in enger Zusammenarbeit mit der LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) überarbeitet worden sind. Diese „Richtlinien“ gelten nun keineswegs als „Gebetbuch“ für diejenigen, die mit der Ausweisung der Schutzgebiete befaßt sind, sie sollen den Beteiligten lediglich Anhaltspunkte und Anregungen geben.

Fast immer wird das Schutzgebiet in drei Zonen unterteilt:

4.1 Fassungsbereich

Zone I als Fassungsbereich ist die unmittelbare Umgebung der Fassungsanlage. Sie muß vor jeder Verunreinigung geschützt werden. Der Fassungsbereich wird in der Regel vom Wasserversorgungsunternehmen käuflich erworben. Die Ausdehnung beträgt allseitig ab Wasserfassung, bei Quelfassungen einseitig in Richtung des ankommenden Grundwassers, im allgemeinen 10 bis 50 m.

4.2 Engere Schutzzone

Zone II als engere Schutzzone, die sich an den Fassungsbereich anschließt, sichert besonders gegen die bakteriologischen Verunreinigungen des Grundwassers ab. In ihrem Bereich ist eine Bebauung, so auch die von Wohnungen und Gewerbebetrieben, nicht erlaubt. Denn die belebte Bodenzone und die Deckschichten dürfen nicht durch Abtragungen zerstört werden. Keineswegs

Foto: Angers' Söhne, Hess. Lichtenau



wird das Ablagern von Schutt und Abfallstoffen geduldet. Die Lagerung und der Transport von wassergefährdenden Flüssigkeiten, z.B. Treibstoffe, Mineralöle, Lösungsmittel, muß unterbleiben. Weiterhin sind in der engeren Schutzzone neben vielen anderen Nutzungen auch die Anlage von Sportstätten und Parkplätzen sowie das Wagenwaschen untersagt.

Wenn die engere Schutzzone teilweise oder bereits ganz bebaut ist oder sich die wassergefährdenden Anlagen nicht sofort beseitigen lassen, müssen bis zur endgültigen Beseitigung der Gefahrenherde diese wenigstens gemindert werden. So müssen vorhandene Bauten mit besonders dichten Leitungen an die Kanalisation angeschlossen werden. Die abwasserbelasteten Wasserläufe werden gedichtet, um das Versickern von Schmutzstoffen zu verhindern. Mulden und Erdaufschüttungen werden mit einwandfreiem Material aufgefüllt. Schädliche Ablagerungen müssen beseitigt werden.

Die Zone II wird so abgegrenzt, daß die Fließzeit des Grundwassers von der äußeren Begrenzung bis zur Wasserfassung etwa 50 Tage dauert. Bei einem Untergrund aus Buntsandstein z.B. besteht die Ausdehnung ab Wasserfassung im allgemeinen 50 bis 150 m. Bei durchlässigem Untergrund, z.B. Zechstein, richtet sich die Ausdehnung der Schutzzone II u.a. nach der Bodenüberdeckung. Sie dürfte dann ab Wasserfassung mindestens bei 200 bis 300 m liegen. Wenn im Untergrund Spalten und Klüfte vorhanden sind, z.B. im Karst, und dort die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers bis zu 2600 m/d betragen kann, reicht die 50 Tage-Grenze bis zu 15 km.

4.3 Weitere Schutzzone

Weitreichenden Schutz vor chemischen und sonstigen Verunreinigungen des Grundwassers soll die Zone III als weitere Schutzzone gewährleisten. Wenn das Einzugsgebiet des Grundwassers weiter als etwa 2 km reicht, wird das Schutzgebiet in die Zone III A und III B unterteilt.

In der Zone III A, deren Abgrenzung von der Untergrundbeschaffenheit abhängt, z.B. bei Buntsandstein ca. 2 km ab Wasserfassung, sind Wohnsiedlungen und Gewerbebetriebe nur dann zugelassen, wenn diese ordnungsgemäß kanalisiert sind. U.a. ist die Anlage von Tankstellen, Tanklagern und Mineralölleitungen nicht erlaubt. Ölheizungsanlagen dürfen nur unter Beachtung besonderer Sicherheitsmaßnahmen eingebaut werden.

Müllkippen und Halden mit auslaugbaren Stoffen gefährden das Grundwasser erheblich. Gerade hier überschneiden sich vielfach die Interessen der Beteiligten. Industrie und Kommunalverwaltungen wollen sich der Abfälle so billig wie möglich entledigen. Die Wasserversorgungsunternehmen dagegen sehen ebenso wie die Wasseraufsichts- und Fachbehörden in den Müllkippen schlimmste Verunreinigungsherde des Grundwassers.

In der Zone III A werden außer Kläranlagen und wegen der Abfall- und Abwasserprobleme auch Massentierhaltungen für schädlich gehalten und daher in der Regel als nicht tragbar erachtet. Wei-

terhin gilt hier die offene Lagerung und Anwendung wassergefährdender Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel als gefährlich. Hier soll auch kein Kühlwasser versenkt oder versickert werden. Eine Gefährdung besteht auch bei Wärmeaustauschern mit Wärmepumpen, mit denen sich heute mancher Hauseigentümer zur Einsparung von Heizmaterial eine umweltfreundliche Energiequelle erschließen möchte. Durch mögliches Auslaufen von Wärmeaustauschmitteln oder durch Wärmeentzug wird das Grundwasser nachhaltig geschädigt.

In der weiterreichenden Zone III B, deren äußere Abgrenzungen manchmal so weit reichen, daß sie mit dem Einzugsgebiet des Wasservorkommens zusammenfallen, gilt z.B. die Ablagerung von Mineralöl, Teer, Giften und Schädlingsbekämpfungsmitteln in offenen und nicht sorgfältig gedichteten Gruben als gefährlich und ist daher nicht zulässig. Vorhandene abwassergefährliche Betriebe müssen ihr Abwasser nach dessen Aufbereitung vollständig und sicher aus der Zone herausleiten.

5. Aktuelle Trinkwasserprobleme

Seit einigen Jahren besteht in der Öffentlichkeit große Unruhe über Kontaminationen des Grundwassers, deren Ursachen oft schon sehr lange zurückliegen. Vor allem sind hierbei die zunehmende Nitratkonzentration in zahlreichen Gebieten und der leicht flüchtige Chlorkohlenwasserstoff zu nennen. Gesundheitliche Schäden hierdurch treten meist erst nach langjähriger Einwirkung auf. Die Langzeiteinwirkung dieser und auch manch anderer Schadstoffe ist erst in neuerer Zeit bekannt geworden, nachdem es gelang, mit Hilfe der Mikroelektronik Untersuchungsmethoden zu entwickeln, mit denen selbst geringste Konzentrationen nachzuweisen sind.

Andere der gegenwärtig heftig diskutierten Wasserschadstoffe, wie Blei, Quecksilber, Cadmium und andere Schwermetalle sind schon seit langem bekannt. Man wußte auch früher, daß sie in geringen und in damals feststellbaren Mengen wegen ihrer kumulierenden Wirkung schwerste gesundheitliche Schäden hervorrufen.

Diese Schadstoffe in sehr geringen Mengen lassen wohl keine akute Vergiftung erwarten. Krankheitszeichen sind zunächst auch nicht erkennbar. Wer aber viele Jahre diesen kumulierenden Schadstoffen ausgesetzt ist, wird in seiner Gesundheit erheblich beeinträchtigt. Davon sind Kinder betroffen wie Erwachsene, Gesunde ebenso wie Kranke.

5.1 Nitrat

Der Stickstoff ist der wichtigste Baustein für das Eiweiß. Die Pflanzen nehmen den Stickstoff vorwiegend als Nitrat (NO_3) aus dem Boden auf und bauen daraus Aminosäuren und das lebensnotwendige Eiweiß auf. Von dem Gesamtstickstoff, der aus natürlichen und künstlichen Quellen in den Boden gelangt, gehen im allgemeinen nur wenige Anteile als Nitrat in das Grundwasser. Erst bei zu intensiver Düngung kommt es zur Nitratanschwemmung in das Grundwasser. Auch extensi-

ve Bodenbearbeitung und Humusarmut verringern die Stickstoffverbindungsfähigkeit erheblich und fördern daher die Ausschwemmung.

Ein zu hoher Nitratgehalt im Trinkwasser, aber auch in der menschlichen Nahrung, besonders beim Genuß von Kopfsalat, Rettich, Spinat, Rote Bete, kann durch die Umwandlung in cancerogene Nitrosamine zu schwersten Erkrankungen führen. Außerdem besteht bei Säuglingen durch das Umwandlungsprodukt Nitrit Blausucht- und Erstickungsgefahr.

Die Weltgesundheitsorganisation der Vereinten Nationen (WHO) hält eine tägliche Nitrataufnahme von 220 mg für eine 60 kg schwere Person für vertretbar. Mit seiner täglichen Nahrung nimmt der Bundesbürger durchschnittlich ca. 75 mg NO_3 auf. Dazu tragen pflanzliche Kost zu 60%, nitrat- und nitritbehandelte Fleischwaren zu 20% und Obstwaren, Milchprodukte u. a. zu 20% bei. Dazu kommt der Verbrauch von ca. 2 l Trinkwasser. Bei einem Nitratgehalt im Trinkwasser von nur 50 mg/l führt das zu einer weiteren Aufnahme von 100 mg NO_3 /d. Daraus ist zu ersehen, daß Trinkwasser einen erheblichen Anteil an der täglichen Nitratzufuhr einnimmt, selbst nach der Senkung des heutigen Grenzwertes von 90 auf 50 mg/l entsprechend den EG-Richtlinien.



Die heutige Entwicklung der landwirtschaftlichen Produktionstechnik hat viele landwirtschaftliche Betriebe veranlaßt, ihre Nutzflächen immer intensiver zu bewirtschaften. Mit vermehrten Düngergaben erhöht sich die Grundwassergefährdung, besonders auf durchlässigen Böden und bei Sonderkulturen, z. B. für Feldgemüse und Wein. Aber

auch große Viehbestände können das Grundwasser schädigen, weil aus Gülle, Jauche und Stallmist erhebliche Mengen Nitrat mineralisiert werden, das vor allem in vegetationsarmen Jahreszeiten, wenn die Pflanzenbestände nur wenig Nährstoffe aufnehmen können.

Zur Verminderung der Nitratkonzentration im Trinkwasser bestehen folgende Möglichkeiten:

- Die Düngung, besonders mit animalischem Wirtschaftsdünger, muß besser dem Bedarf der Pflanzen und dem Schutz des Grundwassers angepaßt werden.
- Wo die Möglichkeit besteht, sollten Wasserwerke einen Teil der Geländebereiche um die Werke mit hohem Nitrataustrag käuflich erwerben und einer anderen Nutzung zuführen.
- Wenn mehrere Wasservorkommen mit unterschiedlichen Stoffkonzentrationen zur Verfügung stehen, können die Wässer zum Erreichen zulässiger Nitratwerte miteinander vermischt werden.

Bei den Maßnahmen zur Verminderung der Nitratauswaschung muß man sich aber darüber im klaren sein, daß Reaktionen erst nach längerer Zeit eintreten werden. Sie werden sich etwa in demselben Zeitraum abspielen, wie der über Jahre stetige Anstieg der Nitratgehalte.

Mit der heutigen Trinkwasseraufbereitungstechnik ist Nitrat aus dem Trinkwasser nicht eliminierbar. In einigen Fällen befaßt man sich mit neuartigen Verfahren, so mit der biologischen Nitrifikation, dem Ionenaustausch und der Umkehrosmose. Solche Methoden dürften aber nach dem derzeitigen Erkenntnisstand trotz aller noch zu erwartenden Weiterentwicklungen insbesondere aus Kostengründen nur in Ausnahmefällen in Betracht kommen.

5.2 Chlorkohlenwasserstoffe

Organische Chlorverbindungen sind in Siedlungen und Industriegebieten immer häufiger feststellbar, nicht selten in einem beängstigenden Ausmaß. Wegen ihrer krebserzeugenden Wirkung stehen sie im Vordergrund der heutigen Umweltdiskussion.

Bedingt durch ihre Flüchtigkeit stellen chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW) meist kein direktes Primärproblem dar. Im Grundwasser jedoch können die CKW praktisch weder chemisch noch biologisch abgebaut werden.

Freisickernde CKW, deren Dichte zwischen 1,3 und 1,6 liegt, dringen schneller als Wasser in den Untergrund ein und sinken im Grundwasserleiter rasch ab. Selbst Beton ist für sie kein Hindernis. Sie erreichen schließlich die Sohle des Aquifers und breiten sich dort aus. Bei größerer Mächtigkeit des Aquifers lassen sich Schadensfälle, wenn überhaupt, dann nur in sehr aufwendiger Weise beseitigen.

Bei der hohen Produktion und dem Verbrauch von chlorierten Lösungsmitteln ist es durchaus möglich, daß auch verflüchtigte CKW durch die Niederschläge in das Grundwasser gelangen und es so

mit kontaminieren. Bei einem durchschnittlichen Jahresverbrauch von 1 kg Trichloräthylen je Bundesbürger muß damit gerechnet werden, daß diese gefährlichen Substanzen besonders im Grundwasser, dem schwächsten Glied innerhalb des Wasserkreislaufs, weiträumig auftreten. Metallverarbeitende Betriebe, chemische Reinigungen und viele andere Benutzer von chlorierten Lösungsmitteln sind potentielle Gefahrenherde für die Kontaminierung des Grundwassers mit CKW.

Die Aufbereitung kontaminierter Grundwässer ist in der Regel nur äußerst schwierig durchzuführen. Mit dem heutigen Stand der Technik ist die Aktivkohlefiltration noch die technisch-wirtschaftlichste Lösung. Das Strip-Verfahren, ein Austreiben der Schadstoffe mit Luft, ist aber nur dann anwendbar, wenn die Stripluft ebenfalls mit Aktivkohle gereinigt wird. Hierfür liegen allerdings großtechnisch noch keine Erfahrungen vor. Es bleibt wohl nichts anderes übrig, als den Anfall dieser gefährlichen Schadstoffe durch deren Substitution oder eine umweltfreundlichere Umstellung der Produktion von chlorierten Lösungs- und Reinigungsmitteln zu verhindern.

Als die sicherste und auch billigste Desinfektion von verkeimtem Trinkwasser erweist sich immer noch die altbewährte Chlorung. In neuerer Zeit wird aber vielfach die Meinung geäußert, daß durch die Chlorung halogene Kohlenwasserstoffe entstehen sollen. Hierbei handelt es sich in erster Linie um Verbindungen, die unter der Bezeichnung Haloforme zusammengefaßt sind. Sie entstehen als Nebenprodukte der Chlorung, indem das Chlor mit natürlichen organischen Wasserinhaltsstoffen eine Haloformreaktion eingeht.

Verschiedentlich werden die mit der Trinkwasserchlorung entstehenden Haloforme mit dem vermehrten Auftreten von Krebs in Verbindung gebracht. Derartigen Behauptungen, die vielfach auf amerikanische Veröffentlichungen zurückgehen, ist das Bundesgesundheitsamt in Berlin nachgegangen. Dabei kam es zu dem Ergebnis, daß sich sowohl bei den direkten als auch indirekten Studien der amerikanischen Wissenschaftler keinerlei Hinweise finden lassen, die auf einen kausalen Zusammenhang zwischen Trinkwasserchlorung und Krebshäufigkeit schließen lassen. Das Bundesgesundheitsamt stellte vielmehr fest, daß bei den meisten Veröffentlichungen, die mögliche Beziehungen zwischen Trinkwasserbeschaffenheit und Krankheitserscheinungen beinhalten, wesentliche Gesichtspunkte nicht beachtet worden sind.

5.3 Huminsäure

Das Grundwasser kann mitunter größere Mengen natürlicher Substanzen enthalten, die bei sauerstoffreichem Untergrund in Lösung gehen, so Eisen, Mangan und wasserlösliche Humuskomponenten (Huminsäure). Alle diese Stoffe sind in einem Trinkwasser höchst unerwünscht. Solches „reduzierte“ Grundwasser stellt an die Trinkwasseraufbereitung besonders dort hohe Anforderungen, wo die grundwasserführenden Schichten des Untergrundes durch organische Substanzen beeinflusst sind. Das trifft vor allem für das Grundwasser

in den moorigen Gebieten der norddeutschen Tiefebene zu.

In Hannover erreichte in einem der dortigen Wasserwerke die Huminsäurekonzentration einen Wert von über 18 g/m^3 (als Kohlenstoff $9,3 \text{ g/m}^3$). Da mit der seitherigen Aufbereitung immer noch $12,3 \text{ g/m}^3$ verblieben, konnte das Bakterienwachstum im Rohrnetz nur in einem sehr unbefriedigendem Umfang vermindert werden.

1976 wurden dort zur Entfernung der Huminsäure mit Förderungsmitteln des Bundesministeriums für Forschung und Technik stark basische makroporöse Anionenaustauscher eingesetzt. Mit diesen kann die Konzentration im Wasser bis auf ca. 6 g/m^3 abgesenkt werden. Die Kontaktzeit des Wassers mit der Austauschermasse beträgt nur 1 Minute und damit weniger als 10% wie bei herkömmlichen Adsorptionsverfahren. Als herausragende Vorteile der in Hannover eingesetzten Ionenaustauscher sind außer dem verminderten Chloreinsatz von im Mittel 19 auf nur noch $0,4 \text{ mg/m}^3$ auch die Verringerung des Mangan gehaltes von etwa 15 auf 1 mg/m^3 zu erwähnen.

6. Wasserverteilung

Von den baulichen Anlagen aller Wasserversorgungsunternehmen stehen investitionsmäßig die Rohrleitungen für die Wasserverteilung mit Abstand an erster Stelle. Bis zu 70% der Gesamtbaukosten, teilweise sogar mehr, entfallen allein auf die Leitungen der Rohrnetze.



In der Bundesrepublik Deutschland messen die Rohrnetze für die öffentliche Wasserversorgung die gewaltige Länge von ca. 250 000 km, was etwa dem sechsfachen Erdumfang entspricht.

60% der Rohre bestehen aus Gußeisen, einem Werkstoff, der schon mehr als 500 Jahre für die Herstellung von Wasserleitungsrohren verwendet wird. Zunächst waren es Rohre aus Grauguß, die – wie es zahlreiche Beispiele beweisen – eine überaus lange Lebensdauer haben. Erst in neuerer Zeit kamen die duktilen, d.h. verformungsfähigen Gußrohre auf den Markt, deren besondere

Werkstoffeigenschaften selbst höchsten Festigkeitsansprüchen für die Rohrnetze gerecht werden.

Die nach der gesetzlichen Trinkwasserverordnung durchzuführenden Wasseruntersuchungen zeigen dem Betreiber von Wasserversorgungsanlagen, ob diese derart betrieben werden, daß mit dem über die Rohrnetze abgegebenen Wasser die menschliche Gesundheit nicht geschädigt werden kann. Sobald negative Untersuchungsergebnisse vorliegen, müssen die Wasserversorgungsunternehmen und die für die technische Überwachung zuständigen Fachbehörden, z.B. Wasserwirtschaftsämter, den Ursachen der Verunreinigungen des Wassers nachgehen, damit diese so schnell wie möglich beseitigt werden.

7. Getrennte Rohrnetze für Trink- und Brauchwasser?

Immer wieder ist heute aus der Bevölkerung die Frage zu hören: Ist kostbares Trinkwasser, das unmittelbar für den menschlichen Genuß bestimmt ist, nicht zu schade, daß es auch für andere Zwecke, z.B. zum Toilettenspülen, verwendet wird? Mit dieser Frage stehen zwangsläufig die für Trink- und Brauchwasser getrennten Leitungsnetze zur Diskussion.

Der Bericht über die Wasserversorgung in der Bundesrepublik Deutschland von 1982, der vom Bundesminister des Innern in Zusammenarbeit und Abstimmung mit der LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) erstellt worden ist, kommt zu dem Ergebnis, daß in der Bundesrepublik die Wasserversorgung gesichert ist und vom Grundsatz her keine Mengenprobleme bestehen. Allerdings dürfe hierbei das Problem der Rohwasserqualität und des regionalen Mengenausgleichs nicht übersehen werden.

Im industriellen Bereich wird heute schon sehr weitgehend das Betriebswasser aus eigenen Gewinnungsanlagen, die oft nur Wasser minderer Qualität liefern, entnommen. Soweit gewerbliche Betriebe ihren verhältnismäßig geringen Wasserbedarf aus öffentlichen Versorgungsanlagen decken, gehen sie mehr und mehr dazu über, zur Mehrfachnutzung des Wassers interne Kreislaufsysteme einzusetzen. Für die Überlegungen, wie Trinkwasser gespart werden kann, bleiben demnach nur noch die Wohnsiedlungen von Interesse.

Der Wasserversorgungsbericht des Bundesministers des Innern sowie ein vorausgegangenes, im Auftrag des Bundesumweltamtes erstelltes Gutachten besagen, daß die immer wieder diskutierten Einsparungsvorschläge mit zwei Versorgungsnetzen, so gut sie auch gemeint sein mögen, praktisch nicht durchführbar sind. Folgende Argumente sollten auch den ärgsten Verfechter des Doppelrohrsystems davon überzeugen, daß seine Theorie nicht haltbar ist.

- Der Ausbau doppelter Netze in bestehenden Wohnsiedlungen würde Jahrzehnte benötigen. Man denke dabei auch an die Schwierigkeiten mit Straßenaufbrüchen und Verkehrsbeschränkungen. Nach eingehenden Untersuchungen ist mit Investitionen von 1100 DM je Einwohner zu

rechnen, was eine Verdoppelung des heutigen Wasserpreises zur Folge haben würde. Ein derart hoher finanzieller Aufwand steht mit der Einsparung von Trinkwasser aber in keinem Verhältnis.

- Die Umrüstung der bestehenden Hausinstallationen auf zwei Wasserarten wird auf 5000,— DM bis 10000,— DM je Wohnung geschätzt. Dazu kommen noch die meist mit sehr viel Ärger verbundenen Folgeeinwirkungen bei den Umbauarbeiten im Hause. Und im Endeffekt wird, insgesamt gesehen, Wasser von geringerer Qualität geliefert. Wie soll der zahlende Verbraucher dafür gewonnen werden?
- Auch dort, wo für die Trinkwasserversorgung nur Oberflächenwasser zur Verfügung steht, ist es wirtschaftlicher, die Gesamtmenge in Trinkwasserqualität zu liefern und dabei auf ein Doppelnetz zu verzichten. Wichtig ist jedoch hierbei, daß die Qualität des Flußwassers so erhalten wird, daß eine einwandfreie Aufbereitung möglich ist.

Manche meinen nun, wenn mit zwei Leitungsnetzen eine Wassereinsparung nicht realisierbar ist, so sollten die Haushalte wenigstens dazu gebracht werden, aus den Einrohrnetzen weniger Wasser zu entnehmen als bisher. Bei gleichbleibender Lebensqualität sind im Haushaltsbereich auch hier jedoch keine gravierenden Einsparungsmöglichkeiten zu erwarten.

Betriebswirtschaftlich würde eine geringere Wasserabgabe den Gesamtpreis, der vom Verbraucher zu entrichten ist, kaum senken. Das Wasserverteilungsnetz, das etwa zu 65% in die Wasserkosten eingeht, ist nach dem Spitzenbedarf, der sich im allgemeinen nur im Brandfall einstellt, dimensioniert. Der hohe Anteil, der auf die Wasserverteilung entfällt, muß bezahlt werden, gleich ob ein Haushalt viel oder weniger Wasser verbraucht.

Der Einsatz von Betriebswasser in einem gesonderten Rohrleitungssystem sollte noch intensiver als bisher überall dort angestrebt werden, wo Wasser mit geringerer, für den Bedarf aber ausreichender Qualität vorhanden ist und die Entfernung bis zum Verbrauchsort nicht zu groß ist. Im Ruhrgebiet bestehen bereits derartige Betriebswassernetze, die speziell für industrielle Zwecke von den dortigen öffentlichen Wasserversorgungsunternehmen eingerichtet worden sind.

Schrifttum

- J. Beckert
Akute Gesundheitsgefahren und Spätschäden durch Inhaltsstoffe des Trinkwassers
Wasser und Boden, April 1984, Heft 4, S. 144 ff
- H.-J. Bertram
Nitrat im Trinkwasser
Deutsche Bauernkorrespondenz, Januar 1983, Heft 1, S. 12 ff
- E.-W. Diesel
Anmerkungen zum Trinkwasserversorgungsbericht
gwf - wasser/abwasser, September 1982, Heft 9, S. 427 ff

DVGW – Deutscher Verein des Gas- und Wasser-
faches e.V.
Jahresbericht '83, S. 44

Kernforschungszentrum Karlsruhe
Trink- und Brauchwasser, 1980, S. 20

E. Lübke
Einfluß der Landwirtschaft auf die Gewässergüte
Wasser und Boden, März 1984, Heft 3, S. 92 ff

H. Menk
Die Trinkwasserversorgung in der Antike
Wasser und Boden, Januar 1968, Heft 1, S. 9 ff

H. Menk
Schutz des Trinkwassers – eine der wesentlichen
Aufgaben der Wasserwirtschaft
Mitteilungen der Wasser- und Bodenverbände,
Hannover, August 1977, S. 14 ff

H. Menk
Trinkwasserversorgung aus der Sicht der Umwelt-
technik
Forum Städtehygiene, März/April 1982, Heft 2,
S. 84 ff

Wasserfachliche Aussprachetagung, Hamburg 1982
gwf – wasser/abwasser, Februar 1983, Heft 2,
S. 62 ff

Desinfektion – Neutralisation; Untersuchung der Vermischung von Desinfektionsmittel und Wasser sowie der anschließenden Neutralisation

Von Rolf-Dieter Sowalder

1. Problemstellung

Anlaß einer näheren Betrachtung der mit der Inbetriebnahme (Desinfektion) von neuerlegten Wasserrohrleitungen zusammenhängenden Arbeitsvorgänge waren Schwierigkeiten bis zum Erreichen der vorgeschriebenen Trinkwasserqualität. Selbst mehrmaliges Desinfizieren (Hochchloren) führte bei einigen Leitungsabschnitten nicht zum gewünschten Erfolg.

Aufgrund dessen wurden künstlich verkeimte Rohrleitungen unter verschiedenen Bedingungen untersucht, mit der Variation von Desinfektionsmittel, Einwirkdauer, Konzentration und Rohrmaterial. Aus dieser Untersuchung ging im wesentlichen hervor, daß bei Verwendung von Chlorbleichlauge als Desinfektionsmittel und zementmörtel ausgekleideten Rohren eine Konzentration von 30 bis 50 mg Chlorbleichlauge je Liter Wasser bei einer Einwirkzeit von 24 Stunden im Normalfall zur Desinfektion ausreicht. Diese Werte bestätigen die übliche Praxis und die bei den Stadtwerken Düsseldorf AG angewandte Vorgehensweise.

Die Ursachen der Problemfälle mußten demnach in Arbeitsgängen zu suchen sein, die bisher keiner näheren Betrachtung unterzogen wurden. Bei der Inbetriebnahme von Rohrleitungen größeren Durchmessers entdeckte man bei Kontrollmessungen des Chlorgehaltes starke Konzentrationsunterschiede. Hier ergaben sich erste Hinweise auf Mängel bei der Vermischung von Desinfektionsmittel und Wasser während des Füllens der Rohrleitung. In einer PVC-Leitung sollte die Chlorzehrung zeitabhängig ermittelt werden. Dabei wurde mittels C-Schläuchen und einer zwischen geschalteten Pumpe eine Ringverbindung hergestellt und der Rohrinhalt „umgepumpt“. Die Meßergebnisse schwankten so stark, daß auch in diesem Fall nur auf eine ungenügende Vermischung der Chlorbleichlauge mit dem Wasser geschlossen werden konnte.

Um diese mögliche Fehlerquelle bei der Inbetriebnahme von Trinkwasserrohrleitungen auszuschalten, soll im folgenden untersucht werden, welches Verfahren zum Füllen einer Leitung für die Praxis empfehlenswert ist.

In diesem Zusammenhang bot es sich an, dem Betrieb ein einfach zu handhabendes Verfahren zur Neutralisation des hochgechlorten Wassers in die Hand zu geben. Denn in vielen Fällen ist die schadlose Beseitigung des Wassers mit hohem Aufwand verbunden. Die im DVGW-Arbeitsblatt W 291 genannten Methoden sind für spezielle Einsatzfälle sicher geeignet, aber interessant ist für den Betrieb nur ein universell einsetzbares Verfahren, das allen Bedingungen des Versorgungsgebietes gerecht wird.

2. Bisherige Praxis

Zwei Verfahren sind seit Jahren beim Füllen einer zu desinfizierenden Rohrleitung bei den Stadtwerken Düsseldorf AG üblich. Die dem Leitungsvolumen entsprechende Menge Chlorbleichlauge wird, vor allem bei Rohren geringer Dimension, auf einmal in die Leitung geschüttet und diese dann mit Trinkwasser gefüllt. Der Chlorgehalt der gefüllten Leitung soll 50 mg/l betragen. Am nächsten Tag wird die Leitung entleert und gespült. Das Labor entnimmt zunächst Proben zur Bestimmung des Restchlorgehaltes, dann eine Probe zur bakteriologischen Untersuchung des Trinkwassers. Bis zur endgültigen Freigabe bzw. Inbetriebnahme bleibt eine Dauerspülstelle eingerichtet. Ist erkennbar, daß die Verbindung zum bestehenden Netz nicht unmittelbar nach der Freigabe erfolgen kann, wird die Leitung nochmals mit Desinfektionsmittel gefüllt und erst am Tage der Verbindung gespült und in Betrieb genommen.

Bei Rohrleitungen größerer Dimension wird die benötigte Desinfektionsmittelmenge portionsweise zugegeben. Ansonsten ist die Vorgehensweise identisch.

Die Methode in einer anderen Arbeitsgruppe unterscheidet sich von der vorgenannten durch Verwendung einer Injektorpumpe zur Beimischung des Desinfektionsmittels während des Füllens der Rohrleitung. In der Regel stehen 10 l Arbeitslösung je Kubikmeter Rohrinhalt zur Verfügung. Die Dosiermenge ist der Geschwindigkeit des zufließenden Wassers so angepaßt, daß ein Vorratsbehälter nach dem Durchfluß von einem Kubikmeter Wasser gerade leer ist. Der weitere Ablauf erfolgt wie oben beschrieben.

Beide Methoden gehen davon aus, daß nach dem Füllen der Leitung Desinfektionsmittel und Wasser ein homogenes Gemisch bilden. Ob diese Voraussetzung zutrifft, soll die Untersuchung zeigen.

3. Versuchsaufbau

Auf einer freien Fläche des Rohr- und Hauptlagers am Höherweg wurden zwei Rohrstrucken von 65 m aus durchsichtigem Kunststoffrohr DN 150 und DN 80 aufgebaut (Bild 1). Zufluß und Abfluß des Wassers erfolgt über Standrohre. Nach jeder zweiten Rohrlänge ist eine Probenahmestelle in Form einer Schelle mit Absperrvorrichtung vorgesehen. Das zufließende Wasser passiert zur einfachen Messung von Druck und Durchflußmenge die mit den erforderlichen Meßgeräten ausgestattete mobile Chlordosierungsanlage. Als Injektor kam das Entkeimungsgerät der Firma Minimax zum Einsatz.

Die Versuche gliedern sich in drei Hauptabschnitte:

- Optische Beurteilung der Vermischung einer intensiven Lebensmittelfarbe mit dem Wasser (mit und ohne Injektor)
- Konzentration des Desinfektionsmittels über Rohrlänge gemessen (Füllen mit und ohne Injektor)
- Neutralisation mit Natriumthiosulfat unter Verwendung des gleichen Injektors

4. Versuchsdurchführung

Die erste Versuchsreihe sollte optisch zeigen, wie sich das Desinfektionsmittel mit dem zufließenden Wasser vermischt, wenn es auf einmal oder portionsweise zugegeben wird. Statt eines Desinfektionsmittels kam eine intensiv blau färbende Lebensmittelfarbe (Indigo – Karmin) zum Einsatz.

In der zweiten Versuchsreihe erfolgte die Zumi- schung der Farbe über den Minimax-Injektor.

Vor dem Beginn der eigentlichen Versuche mußte die Dosiermenge des Injektors in Abhängigkeit vom eingestellten Skalenwert ermittelt werden. Der ursprüngliche Wunsch, dem Praktiker vor Ort für eine bestimmte Füllgeschwindigkeit eine Kon- zentration der Arbeitslösung und einen dazugehö- renden Skalenwert anzugeben, läßt sich aufgrund der vorgefundenen Meßergebnisse nicht verwirkli- chen. Die Reproduzierbarkeit der Dosierleistung ist von drei Faktoren bei der Einstellung abhängig. Das Skalenrad wird zunächst auf Null gestellt und dann auf den Wert 1, zurück auf Null und dann auf 2 usw. Im zweiten Fall erfolgt die Grundstellung auf den Skalenwert 10, dann auf 9; von 10 auf 8, von 10

Bild 1: Aufbau der Versuchsstrecke



auf 7 usw. Im dritten Fall wurde die Dosierleistung kontinuierlich von Null aufwärts erhöht. Die in einem Diagramm aufgetragenen Kurven waren keineswegs deckungsgleich. Die größte Abwei- chung trat bei kontinuierlicher Veränderung der Einstellung auf (Differenzen der Dosiermenge ge- genüber den anderen Einstellmöglichkeiten bis zu 100%). Offensichtlich macht sich das ferti- gungstechnisch bedingte Gewindenspiel im Ein- stellmechanismus im Bereich geringer Dosier- mengen derart ungünstig bemerkbar. Auslitern der Dosiermenge war also unumgänglich.

Aufgrund der im nächsten Abschnitt aufgezeigten Ergebnisse entfielen die vorgesehenen Konzen- trationsmessungen nach dem Einfüllen bzw. por- tionsweisen Einfüllen des Desinfektionsmittels. Es schlossen sich direkt die Konzentrationsmessun- gen nach dem Füllen der Leitung mittels Injektor an. Hier ging es weniger um den absoluten Chlor- gehalt des eingefüllten Wassers als um die gleich- mäßige Verteilung über die Rohrlänge.

In der nächsten Versuchsreihe wurde die Leitung wie zuvor mittels Injektor, jedoch mit 50 mg Chlor je Liter Wasser gefüllt. Dann wurde der Injektor an das Auslaufende umgesetzt und Natriumthiosulfat mit einer Konzentration von 80 mg je Liter Wasser zudosiert. Als Reaktionsstrecke diente ein nach- geschalteter C-Schlauch von 15 m Länge. Die Do- sierung wurde dann soweit verändert, bis am Aus- lauf mittels DPD-Methode kein Chlor mehr nach- zuweisen war.

5. Ergebnisse

5.1 Optische Beurteilung der Vermischung (ohne Injektor)

Obwohl durch Vorabüberlegungen zu erwarten war, daß nur eine ungenügende Vermischung stattfindet, überraschte das Ergebnis trotzdem. Bei der Leitung DN 80 schob sich nach dem Ein- füllen der Farbe ein Bereich von etwa 2 m Länge mit hochkonzentrierter Lösung zum Rohrende, das restliche Wasser war klar. Nur aufgrund der Transparenz der Rohre gelang es, das Ausfließen des Konzentrates zu verhindern. In der Praxis wird mittels DPD-Methode Chlor am Rohrende nach- gewiesen und dann der Zustrom gestoppt. In die- sem Falle wäre die Zeitspanne vom Nachweis bis zum Schließen einer Armatur ausreichend, das ge- samte Desinfektionsmittel herauszuspülen. Der Aufwand wäre umsonst.

Bild 2: Übergang vom klaren Wasser zur Zone hoher Konzentration bei der „Einfüllmethode“



Beregnung und Grundwasseranreicherung im mittleren Hessischen Ried – ein Sanierungsprogramm

Von Hans Iven

1. Ursachen der Grundwasserabsenkung

In dem Begriff „Ried“ drückt sich noch heute der ursprüngliche Charakter der Sumpf- und Auenlandschaft aus, die durch den Abfluß des Rheins und des Alt-Neckars am westlichen Odenwaldrand (Bergstraße) geprägt war. Diese natürliche Landschaft hat sich insbesondere in den vergangenen 150 Jahren zu einer dicht besiedelten Kulturlandschaft mit starkem industriellen Anteil, aber auch einer intensiven Landwirtschaft gewandelt.

Die Entwicklung wurde durch menschliche Eingriffe zunächst bewußt eingeleitet. Es bestand das Ziel, das Wasser zum Schutz der Bevölkerung vor Hochwasserwellen und zur Ausweitung der landwirtschaftlichen Produktion so schnell wie möglich abzuleiten. Dies wurde mit den bedeutendsten wasserbaulichen Maßnahmen jener Zeit, der Begradigung des Rheins nach den Plänen von Tulla und der Anlage von Hochwasserdämmen, erreicht. Die gestreckte Linienführung und der verengte Abflußquerschnitt erhöhten allerdings die Fließge-



schwindigkeit und vergrößerten die Sohlenerosion. Als Folge der Vertiefung, die bis heute etwa 1,50 m beträgt, sank auch der Wasserspiegel, so daß insbesondere bei Niedrigwasser ein verstärkter Abfluß von Grundwasser in den Rhein erfolgt.

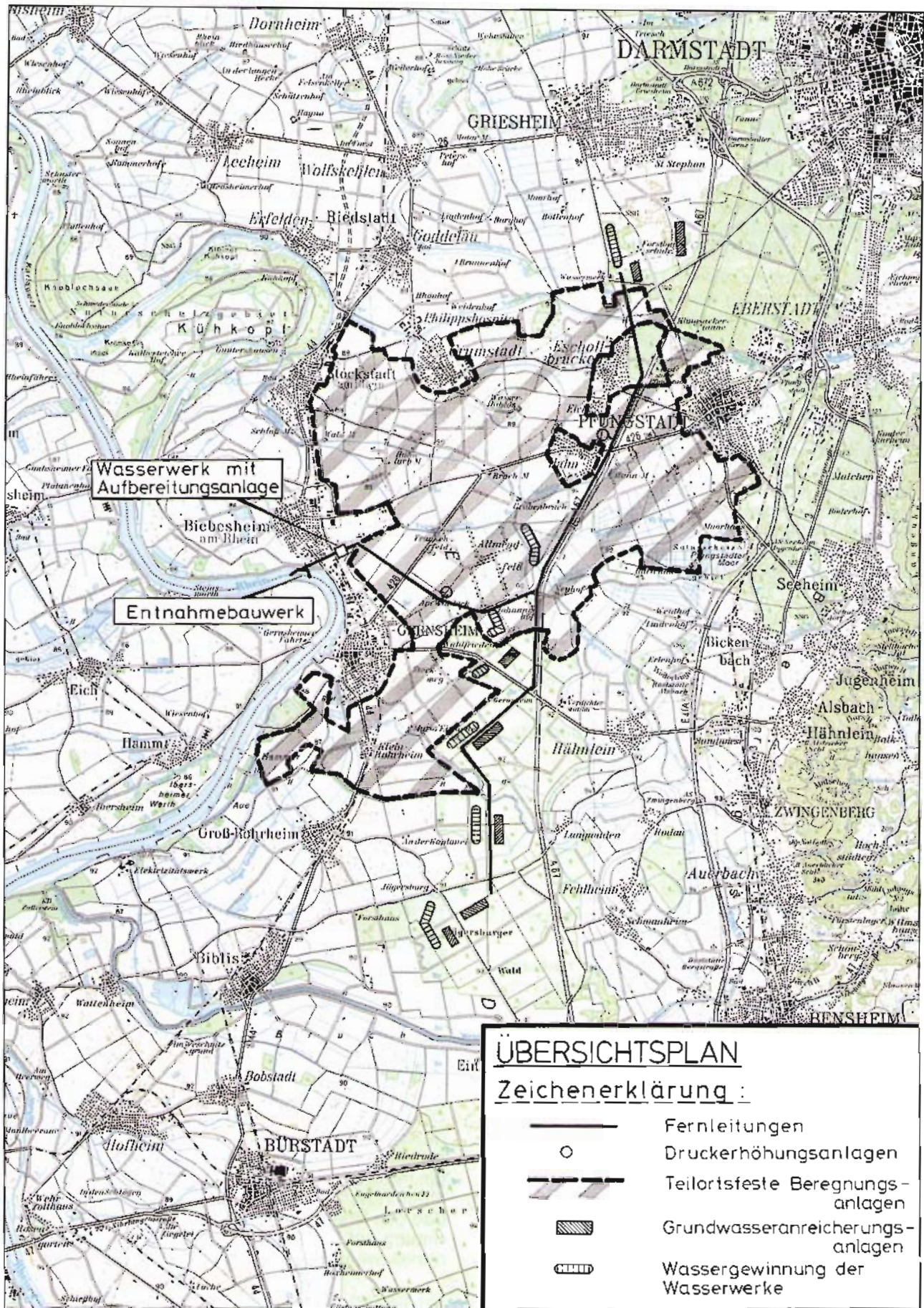
Ein weiterer Entzug von Grundwasser war mit landwirtschaftlichen Kulturbaumaßnahmen verbunden. Eine landwirtschaftliche Nutzung weiter Bereiche des Hessischen Rieds war aufgrund der hohen Grundwasserstände nur mit Einschränkungen möglich. Zwar versuchten die Bewohner des Rieds über Jahrhunderte hinweg den Wasserüberschuß zu beseitigen, jedoch blieb ihnen ein nachhaltiger Erfolg versagt. Erst mit den Mitteln der modernen Technik und entsprechenden Organisationsformen gelang es, durch den Bau oder die Begradigung von Gräben – teilweise durch Schöpfwerke ergänzt – eine künstliche Vorflut für die Entwässerung herzustellen. Bis zum 2. Weltkrieg wurden etwa 800 km Gräben angelegt. Mit der Trockenlegung konnten der bestehende Ackerbau gesichert und vernähte Standorte erstmals ackerfähig gemacht werden.

Die verstärkte Versiegelung der Landschaft nach dem 2. Weltkrieg wirkt sich ebenfalls als Verlust für das Grundwasser aus. So hat die verkehrsmäßig günstige Lage zwischen den beiden Ballungsgebieten Rhein-Main und Rhein-Neckar in Verbindung mit dem Wirtschaftswachstum zu einer dichten Besiedelung mit der Ausweisung neuer Wohn- und Gewerbegebiete sowie zusätzlicher Verkehrsflächen geführt. Der natürliche Niederschlag kann auf diesen befestigten Flächen nur noch in geringem Umfang zur Grundwasserneubildung durch Versickerung beitragen. Das Wasser wurde in Kanälen gefaßt und vielfach in ausgebauten Bachläufen – auch zur Vermeidung von Überflutungen in der Ebene – beseitigt. Damit war auch außerhalb der Baugebiete, bei gleichzeitiger Abdichtung der Sohlen aus der Abwasserbelastung, eine Infiltration in das Erdreich weitgehend unterbunden.

Mit der Zunahme der Bevölkerungsdichte wuchs der Wasserbedarf sprunghaft an. Zur Sicherstellung der Wasserversorgung mußten deshalb die vorhandenen Versorgungsanlagen dem steigenden Verbrauch angepaßt werden. So wurden die Grundwasservorkommen im Hessischen Ried ab dem Jahre 1880 erstmals für eine zentrale Wasserversorgung mit einer Jahresmenge von 0,42 Mio m³ genutzt. Heute werden demgegenüber zur Deckung des örtlichen und überörtlichen Wasserbedarfs der Bevölkerung, der Industrie und der Landwirtschaft etwa 150 Mio m³/a aus dem Grundwasserdargebot des Hessischen Rieds gewonnen.

Für die Entwicklung der Grundwasserstände ist nicht zuletzt eine Reihe von niederschlagsarmen Jahren von 1970 bis 1976 von Bedeutung. In diesem Zeitraum wurde das entzogene Grundwasser nur teilweise durch zusickernde Niederschläge ersetzt und verursachte allein aus diesem Grunde ein großräumiges Abfallen der Grundwasseroberfläche von etwa 1,50 m.

Die aufgezählten Faktoren führten in ihrem Zu-



Ausschnitt aus der Topografischen Karte 1:100 000, Bl.-Nr. C 6314.
 Vervielfältigt mit Genehmigung des Landesvermessungsamtes Rheinland-Pfalz.
 Kontrollnummer 319/84.

sammenwirken in weiten Bereichen des Hessischen Rieds zu einer bis dahin noch nicht gekannten Absenkung des Grundwasserspiegels. Damit waren nicht nur erhebliche ökologische Veränderungen verbunden, sondern auch andere negative Erscheinungen wie Trockenfallen von Flachbrunnen, Setzungsschäden an Gebäuden und Wegen, flächenmäßige Absenkungen des Geländes oder Trocknisschäden an Gehölzen. Eine Beregnung der landwirtschaftlichen Flächen war mit den im Saugbetrieb genutzten herkömmlichen Anlagen vielfach nicht mehr möglich.

Aus der Erkenntnis dieser Entwicklung werden nunmehr Maßnahmen eingeleitet, die auf Verbesserung der wasserwirtschaftlichen Situation hinwirken und damit das Gleichgewicht des Naturhaushaltes und seine Leistungsfähigkeit wieder herstellen sollen.

2. Träger der Maßnahme

Die Aufgabe zur Sanierung des Hessischen Rieds hat der am 26.09.1979 gegründete „Wasserverband Hessisches Ried“ mit Sitz in Biebesheim am Rhein übernommen. Er ist ein Wasser- und Bodenverband im Sinne der „Ersten Verordnung über Wasser- und Bodenverbände (Erste Wasserverbandverordnung)“ vom 03.09.1937 mit folgenden Mitgliedern:

Beregnungs- und Bodenverband Rhein-Main

Riedwerke Kreis Groß-Gerau

Wasserbeschaffungsverband Riedgruppe Ost, Einhausen

Südhessische Gas- und Wasser AG, Darmstadt

Landkreis Darmstadt-Dieburg

Landkreis Groß-Gerau

Landkreis Bergstraße

Stadt Darmstadt

Land Hessen

Die Aufgabe des Verbandes ist in § 3 seiner Satzung wie folgt angegeben:

„Der Verband hat zur Aufgabe, die landwirtschaftliche Beregnung sicherzustellen und auf eine Verbesserung der Grundwasserverhältnisse hinzuwirken. Für die landwirtschaftliche Beregnung und für die Infiltration hat er alle zweckentsprechenden Maßnahmen zur Erschließung von Oberflächen- und Grundwasser sowie zu deren Aufbereitung, Speicherung, Verteilung und zur Grundwasseranreicherung durchzuführen, auch soweit sie der allgemeinen Ökologie zugute kommen.“

Aus naheliegenden Gründen kann eine Verbesserung der Grundwasserverhältnisse nur mit einer künstlichen Anreicherung des Grundwassers bewirkt werden. Neben dem Sanierungseffekt wird mit diesen Maßnahmen eine Stabilisierung der heutigen Nutzungen über eine gezielte Grundwasserbewirtschaftung und eine schrittweise Weiterentwicklung der Grundwasserentnahmen ohne nachteilige Folgen für den Wasser- und Naturhaushalt erreicht.

3. Technische Konzeption

Die Erschließung nennenswerter Wassermengen ist im südhessischen Raum auf den Rhein beschränkt. Die Fließgewässer des Rieds eignen sich nicht für eine ständige Entnahme, da sich während der Sommermonate die Niedrigabflüsse der Gewässer und ein hoher Beregnungswasserbedarf gegenüberstehen. Es war daher folgerichtig, die benötigten Wassermengen sowohl für die landwirtschaftliche Beregnung als auch für die Grundwasseranreicherung ausschließlich aus dem Rhein zu entnehmen und nach entsprechender Aufbereitung der vorgesehenen Verwendung zuzuführen.



Von entscheidender Bedeutung für die Entwicklung dieser Grundkonzeption waren die Fragen der Wasserqualität. Unabhängig vom langjährigen Kenntnisstand über die Aufbereitung von Oberflächenwasser wurden deshalb grundlegende Gutachten zur Hygiene, Radioökologie, Wasseraufbereitung, Infiltration und Pflanzenphysiologie mit ergänzenden Untersuchungen oder Versuchen in Auftrag gegeben. Ihre Ergebnisse zeigen, daß das Rheinwasser bei entsprechender Aufbereitung auf Dauer für den vorgesehenen Verwendungszweck geeignet ist.

Mit diesen Vorgaben konnte sodann die technische Konzeption der Sanierungsmaßnahmen entwickelt werden. Maßgebend für die Dimensionierung der Anlagen war der Wasserbedarf von $Q = 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ für die gemäß Verbandsplan zu be-

grenzende Fläche von etwa 6000 ha. Während der Vegetationsperiode kann damit die landwirtschaftliche Beregnung sichergestellt werden. Außerhalb der Vegetationsperiode oder bei ausreichender Versorgung der Kulturen durch Niederschläge wird demgegenüber vorrangig die Grundwasseranreicherung betrieben.

Die Wasserentnahme erfolgt im Biebesheimer Rheinbogen unmittelbar aus der fließenden Welle des Rheins unterhalb des Wasserspiegels. Vom Entnahmebauwerk fließt das Wasser dann dem Rohwasserpumpwerk zu, das zur mechanischen Vorreinigung mit einem Rechen und einer Siebandmaschine ausgestattet ist.

Von hier wird das Wasser über eine Rohwasserdruckleitung 2 x DN 1000 aus duktilen Gußrohren zum Wasserwerk Biebesheim gefördert, dessen Kernstück die Aufbereitungsanlage darstellt. Unumstößliche Zielsetzung für die Güte des aufbereiteten Wassers waren die Qualitätsanforderungen der Trinkwasser-Verordnung und der EG-Richtlinie vom 15.07.1980. Zur Erfüllung dieser Ansprüche wird eine Verfahrenskombination mit den Aufbereitungsstufen

- Vorozonung
- Flockung und Sedimentation
- Hauptozonung
- Sekundärflockung
- Filtration über Mehrschichtfilter
- Filtration über Aktivkohle

eingesetzt, die die Einhaltung der chemischen und bakteriologischen Parameter der genannten Bestimmungen gewährleistet.

Nach dem Aufbereitungsprozeß wird das Wasser über ein System von Fernleitungen zur Verwendung in der landwirtschaftlichen Beregnung und zur Grundwasseranreicherung in den von der Absenkung besonders betroffenen Gebieten transportiert.

Erfahrungen über eine Grundwasseranreicherung liegen im Hessischen Ried noch nicht vor. Es wurden daher zunächst an mehreren Standorten verschiedene technische Varianten (Sickerbecken, Sickerleitungen, Schluckbrunnen, Waldpolder und Sickerschlitzzgräben) vergleichsweise betrieben. Dabei hat sich unter Berücksichtigung verschiedener Randbedingungen der Sickerschlitzzgräben, ein 1 m breiter, 4 bis 6 m tiefer mit Filtersand wieder verfüllter und abgedeckter Graben, als besonders geeignete Einrichtung erwiesen. Ergänzend zu diesen Versuchen wurden Untersuchungen mit dem mathematischen Grundwasserrechenmodell durchgeführt, die insbesondere Aufschluß über die Auswirkungen der Grundwasseranreicherung geben sollten. Dabei mußten neben dem angestrebten wasserwirtschaftlich-ökologischen Sanierungseffekt auch konkurrierende Interessen wie die Tiefenlage von Entwässerungsgräben oder von Baugebieten beachtet werden. Als Ergebnis dieser Berechnung kann festgestellt werden, daß bei gezielter Anordnung der Infiltrationsorgane und entsprechender Betriebsweise eine großräumige Spiegelanhebung erreicht und

die Lebensgrundlage der Wälder in der Ebene gesichert werden kann.

Die landwirtschaftliche Beregnung kann aufgrund der gegebenen Situation nur durch eine Änderung der bisherigen Verfahren dauerhaft sichergestellt werden. Sie wird daher während der Vegetationsperiode vorrangig gegenüber der Grundwasseranreicherung betrieben. Das benötigte Wasser wird aus den Fernleitungen entnommen und über zwei Druckerhöhungsanlagen in die Beregnungsnetze zur Versorgung einer landwirtschaftlichen Nutzfläche von etwa 6000 ha mit einer Zusatzregengabe von 100 mm/a eingespeist. Die Wasserentnahme erfolgt über Hydranten, wobei in jedem Fall ein Betriebsdruck von 7,5 bar für den Einsatz von Beregnungsmaschinen eingehalten wird. Die Anlagen des Verbandes enden mit Standrohrwasserzählern. Die Beregnungsgeräte sind Eigentum des Landwirts, der sie nach eigenem Ermessen und jeweiligem Bedarf einsetzt.

4. Stand der Maßnahmen

Die Ausführung der Baumaßnahmen erfolgt nach einem Zeitplan, in dem, der Dringlichkeit entsprechend, zunächst die Sicherstellung der landwirtschaftlichen Beregnung in Angriff genommen wurde. Daneben wurden solche Teilmaßnahmen begonnen, die nicht von den Ergebnissen von Versuchen oder Gutachten beeinflusst werden.

Von den mit über 200 Mio DM veranschlagten Kosten wurde bisher für die Durchführung von Baumaßnahmen, für Bau und Betrieb von Versuchsanlagen, für die Erstellung von Gutachten, für Inge-



nieurleistungen sowie für den Grunderwerb ein Investitionsvolumen von rd. 95 Mio DM bewältigt.

Erfreulicherweise konnte im trockenen Sommer 1983 der Betrieb teilortsfester Beregnungsnetze für die landwirtschaftliche Beregnung in vollem Umfang aufgenommen werden. Hierfür wurden insgesamt etwa 230 km Rohrleitungen der Nennweiten DN 100 bis DN 700 verlegt und etwa 3000 Feldhydranten für die Wasserentnahme eingebaut.

Fertiggestellt ist auch der gesamte Bereich zwischen der Entnahme am Rhein und der Einspeisung in das Wasserwerk, dessen Bau mit ersten Maßnahmen eingeleitet wurde.

Die Verlegung der Fernleitungen mit Nennweiten von DN 800 bis DN 1400 ist mit etwa 15 km Länge zur Hälfte abgeschlossen.

Mit der Fertigstellung und Inbetriebnahme der gesamten Anlage ist im Jahre 1987 zu rechnen.

Zusammenfassung

Menschliche Eingriffe, aber auch natürliche Ereignisse haben in den vergangenen 150 Jahren durch den Abfall der Grundwasseroberfläche zu einer nachhaltigen Veränderung des Landschaftsbildes im Hessischen Ried geführt.

Der Wasserverband Hessisches Ried hat nunmehr umfangreiche Maßnahmen eingeleitet, die zur Verbesserung der ökologischen Verhältnisse durch Grundwasseranreicherung beitragen und die landwirtschaftliche Beregnung sicherstellen.

Mit der geplanten Grundwasserbewirtschaftung können sowohl die Probleme der Land- und Forstwirtschaft und die Anforderungen an die Wasserversorgung als auch die Bedürfnisse des Naturhaushaltes ausgeglichen werden.

Schrifttum

H. Hantke, N. Wolters
Wasserversorgung aus dem Hessischen Ried
3 R international, Heft 1/2 (1982)

K. Lambrecht
Landwirtschaftliche Standortverhältnisse und Entwicklung des Bewässerungslandbaus unter dem Einfluß eines veränderten Wasserhaushaltes im Hessischen Ried
Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen
1983

H. Iven, H. Lehr, W. Schanz
Das Hessische Ried innerhalb der überregionalen Wasserversorgung Rhein-Main
Wasser und Boden, Heft 4 (1983)

Abwasserleitungen aus duktilen Guß- rohren in Trinkwasser- Schutzgebieten

Von Adolf Wolf und Manfred Jung

1. Einführung

Die Bedeutung des Trinkwassers als wichtigstes Lebensmittel gewinnt zunehmend an Beachtung im Stellenwert der zu schützenden Güter. Umwelteinflüsse haben die Qualität verschiedener Trinkwasservorkommen bereits so stark beeinträchtigt, daß die Wässer für den menschlichen Genuß nicht mehr brauchbar sind.

Zum Schutz der Trinkwasservorkommen vor direkter Verseuchung wurden diverse Vorschriften erarbeitet: DVGW-Arbeitsblatt W 101. Entsprechend diesem Arbeitsblatt wird das Gebiet um eine Brunnenanlage in die Zone I (Fassungsbereich), Zone II (Engere Schutzzone) und Zone III (Weitere Schutzzone) eingeteilt.

Als Zone I gilt ein 10 m breiter Streifen unmittelbar um die Brunnenfassung, der aufgrund seiner besonderen Schutzbedürftigkeit durch eine Einzäunung gesichert sein muß 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, d.h. bei einem eventuellen Unfall verbleibt Zeit, um den verseuchten Boden abzutragen. In dieser Zone II ist entsprechend der Musterverordnung für Wasserschutzgebiete (MVO) der Bau von Straßen und Abwasserkanälen grundsätzlich verboten.

Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten kann in begründeten Ausnahmefällen eine Befreiung von der Schutzgebietsverordnung ausgesprochen werden, jedoch sind zum Schutz des Grundwassers bei Planung, Ausführung und Prüfung von Abwasserkanälen besondere Maßnahmen und Vorkehrungen zu fordern.

Einschlägige überregionale Schutzbestimmungen als Anforderungen an Abwasserkanäle in Wasserschutzgebieten sind noch nicht erarbeitet, derzeit fällt es in den Aufgabenbereich der Bundesländer, wie die einzelnen Fälle reguliert werden.

Das Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten, Baden-Württemberg, hat einen Anforderungskatalog (Stand Januar 1984) für

die entsprechenden Abwasserkanäle vorgelegt. Die Anforderungen werden in Fachgremien der anderen Bundesländer diskutiert bzw. beim Bau von Leitungen beachtet.

Grundsätzlich gilt, daß Abwasserkanäle nach den anerkannten Regeln der Technik dicht hergestellt sein müssen; insbesondere sind hierbei zu beachten:

- DIN 4033 „Entwässerungskanäle und -leitungen, Richtlinien für die Ausführung“ und die mitgeltenden Normen,
- DIN 18306 „Abwasserkanalarbeiten“, VOB - Teil C.

2. Anforderungen an Abwasserkanäle in Wasserschutzgebieten (Zone II)

Als wesentliche Forderung an die Ausführungsarten der Abwasserkanäle zum Schutze des Grundwassers wird in dem Anforderungskatalog herausgestellt, daß

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

Ferner sind allgemeine Hinweise für Planung, Bauausführung und Dichtheitsprüfungen von Abwasserkanälen und Schächten zu beachten, die im Einzelfall den jeweiligen Verhältnissen anzupassen sind.

Planung

- Es ist ein möglichst großer Abstand zum Fassungsbereich (Zone I) einzuhalten.
- Die Trasse ist so zu wählen, daß schwierige Gelände- und Untergrundverhältnisse umfahren werden.
- Grundwasser- und Bodenaggressivität sind frühzeitig zu erkunden.
- Abwasserkanäle sind möglichst weit über dem Grundwasserspiegel zu verlegen.
- An die dauerhafte Dichtheit und Festigkeit sowie an das Abriebverhalten des Kanals und der Schachtbauwerke sind besonders hohe Anforderungen zu stellen.
- Unbewehrte Rohre nach DIN 4032 sowie gemauerte Schachtbauwerke sind nicht zulässig.
- Rohre und Formstücke müssen der DIN 19550, die Rohrverbindungen der DIN 19543 und DIN 4060 Teil 1 entsprechen.
- Für den gesamten Abwasserkanal ist ein Standortsicherheitsnachweis aufzustellen.
- Einmündungen von Seitenanschlüssen sind nur in Schachtbauwerken zulässig, wobei alle Schachteinführungen gelenkig vorzusehen sind.

Für die Planung der **Abwasserkanäle in einem dichten Schutzrohr** gilt:

- Sorgfältige Abstimmung der zu verwendenden Rohrmaterialien (Schutzrohr, Mediumrohr); es sind möglichst gleiche Baulängen vorzusehen.

- Ausreichend große Schachtbauwerke mit der Möglichkeit zur Sichtkontrolle des Zwischenraumes. Das Abwasserrohr ist geschlossen durch das Bauwerk zu führen mit wasserdicht verschließbaren Kontroll- und Reinigungsöffnungen.

Für **einwandige Abwasserkanäle** gilt:

- An die Rohre sind – auch beim Betrieb als Freispiegelleitung – Druckrohranforderungen zu stellen. Die Rohre und die Verbindungen müssen einem Prüfdruck von 2,4 bar entsprechend dem Nenndruck von 1,6 bar standhalten.
- Beim Standsicherheitsnachweis ist ein erhöhter Sicherheitsbeiwert gegen Versagen der Tragfähigkeit des Abwasserkanals zugrunde zu legen; es ist der Sicherheitsbeiwert gemäß ATV-Arbeitsblatt A 127, Spalte A, um 20% zu erhöhen.
- Der Abwasserkanal ist geschlossen durch die Schächte zu führen. Für Kontroll- und Reinigungszwecke sowie zur Durchführung der Dichtheitsprüfungen sind geeignete verschließbare Öffnungen vorzusehen.

Dichtheitsprüfungen

Abwasserkanäle und Schächte sind jeweils für sich getrennt auf Wasserdichtheit zu prüfen.

Für **Abwasserkanäle in einem dichten Schutzrohr** gilt:

- Schutzrohr und Abwasserkanal sind nach DIN 4033 auf Wasserdichtheit zu prüfen.
- Während des Betriebes ist die Dichtheit des Abwasserkanals regelmäßig zu prüfen.

Für **einwandige Abwasserkanäle** gilt:

- 10% der Rohre – mindestens 4 Stück – sind im Herstellerwerk zusammenzubauen und mit einem Prüfdruck von 2,4 bar nach DIN 4279 zu prüfen.
- Der Prüfdruck von 0,5 bar ist in Abweichung von DIN 4033 am höchsten Punkt der Prüfstrecke einzuhalten.
- Die Dichtheitsprüfungen sind durchzuführen
 - a) im Zuge der Baudurchführung (Rohrverbindungen müssen frei bleiben),
 - b) vor Inbetriebnahme – nach Andecken der Leitung,
 - c) als Wiederholungsprüfung – erstmals vor Ablauf der Gewährleistung – und
 - d) als Wiederholungsprüfung – jeweils nach 5 weiteren Jahren.

3. Darstellung der Problemlösung im Bliestal Objektdarstellung

Der Zweckverband Wasserversorgung Bliestal hat vor ca. 20 Jahren die Wasservorkommen im Bliestal zwischen Wolfersheim und Zweibrücken erschlossen und dort in Abständen von ca. je 500 Metern 28 Brunnen niedergebracht. Versorgt werden zur Zeit Stadtteile von Saarbrücken – Entfer-

nung ca. 30 km – sowie zahlreiche Gemeinden im Bliestal. Gefördert werden pro Stunde durchschnittlich 700 m³ Wasser. Für eine kontinuierliche Förderung von einwandfreiem Trinkwasser ist eine funktionierende Abwasserentsorgung Voraussetzung. Der Abwasserverband Saar (AVS) ist seit Jahren bemüht, unter anderem die Abwasserfrage im Bliestal zu lösen. Mit Rücksicht auf die Brunnengalerie und bedingt durch die geographische Lage wurde vor Jahren unterhalb von Wolfersheim ein zentrales Klärwerk gebaut (Bild 1).

Zur Zeit wird als Element der Abwasseranlage das Projekt „Mittleres Bliestal“ mit dem Abwasserhauptsammler nach Bierbach gebaut. Durch diese Baumaßnahme wird die gesamte Ortslage Bierbach von Abwasser entsorgt und an die Kläranlage Wolfersheim angeschlossen. Die Trasse verläuft im Bliestal entlang der Bundesbahn von Bierbach nach Lautzkirchen, Länge ca. 4,5 km.

Mit dem Trassenverlauf ließ es sich nicht umgehen, daß der Hauptsammler durch das Grundwassereinzugsgebiet des Zweckverbandes Wasserversorgung Bliestal führt und dort bei mehreren Brunnen im Bereich der engeren Schutzzone (Zone II) verlegt werden muß.

Entsprechend der Hydraulik wird der Hauptsammler in den Nennweiten DN 200 bis DN 1400 ausgeführt, wobei die Nennweite DN 200 im Bereich der Pumpendruckleitung eingesetzt wird – aufgrund des fehlenden Gefälles.

Die Rohre der Nennweite DN 1400 sind als Stauraum, der die Funktion eines Regenüberlaufbeckens (RÜB) hat, ausgelegt.

Mehrfachnutzung der gewählten Trasse

Der Zweckverband Wasserversorgung Bliestal beabsichtigte, die Brunnen in Richtung Bierbach-Einöd mit einer Brunnensammelleitung zu fassen. Diese Leitung, die bereits vom Wasserwerk Wolfersheim bis nach Lautzkirchen fertiggestellt ist, wird nun im Zuge dieser Kanalbaumaßnahme um weitere 4,9 km verlängert. Für die Brunnensammelleitung wurden wiederum duktile Gußrohre, und zwar in den Nennweiten DN 250, DN 350 und DN 500 gewählt.

Die Stadt Blieskastel, die auch für die Wasserversorgung der Orte Bierbach und Lautzkirchen zuständig ist, beabsichtigte, die Versorgung von Bierbach über die Wasserversorgung von Blieskastel sicherzustellen. Da sich auch in diesem Fall als günstigste Trasse der Bereich der Bliesau herausstellte, kam es zur Einigung der drei Ver- und Entsorgungsträger zur gemeinsamen Nutzung der Trasse.

Durch diese Vereinbarung werden Kosten eingespart, insbesondere bei den Graben- und Oberflächenarbeiten; somit wird der Trassenbereich nicht mehrmals hintereinander aufgedigelt.

Als Verbindungsleitung wurden duktile Gußrohre DN 200 gewählt.

Wahl des Kanalsystems

Der Bauherr des Abwassersammlers – AVS –, der Zweckverband Wasserversorgung Bliestal sowie

die Aufsichtsbehörde – das Landesamt für Umweltschutz – haben nach Abwägung über Sicherheit, Kosten, Kontroll- und Verlegemöglichkeit beim Projekt „Mittleres Blietal“ die Wahl zugunsten des weniger aufwendigen einwandigen Abwasserkanals getroffen.

Bei der Wahl des Rohrwerkstoffes hat man sich auf duktile Gußrohre, mit denen bereits Erfahrungen aus früheren Bauabschnitten vorliegen, geeinigt.

Erfahrungen – ausgeführte Sonderobjekte mit dem duktilen Gußrohr

Allgemeine Erfahrungen mit dem duktilen Gußrohr im Abwasserbereich liegen bei der Ausführung von folgenden Sonderobjekten vor:

- Leitungen in Dämmen mit Überdeckungshöhen 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; von der Muffenverbindung wird verlangt, daß kein Fremdwasser in die Rohre eindringt und die Klärwerke zusätzlich belastet.

Bild 1



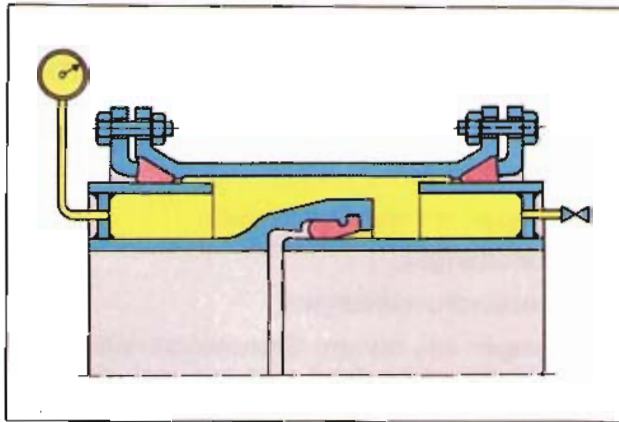


Bild 2

- Leitungen im Grundwasserschutzgebiet; hier wird von den Muffenverbindungen verlangt, daß kein Schmutzwasser austritt, das die Brunnen verseuchen könnte.

Die schematische Darstellung (Bild 2) zeigt den Aufbau einer Demonstration der Steckmuffen-Verbindung System TYTON bei hohem Grundwasserstand, das heißt die Muffenverbindung wurde von außen mit 4 bar Wasser beaufschlagt, was einer Wassersäule von 40 m entspricht.

Die Abwasserrohre aus duktilem Gußeisen nach DIN 19690 und DIN 19691 werden im Werk einer Wasserdruckprüfung mit 10 bar unterzogen und sind bis 6 bar Betriebsdruck zugelassen.

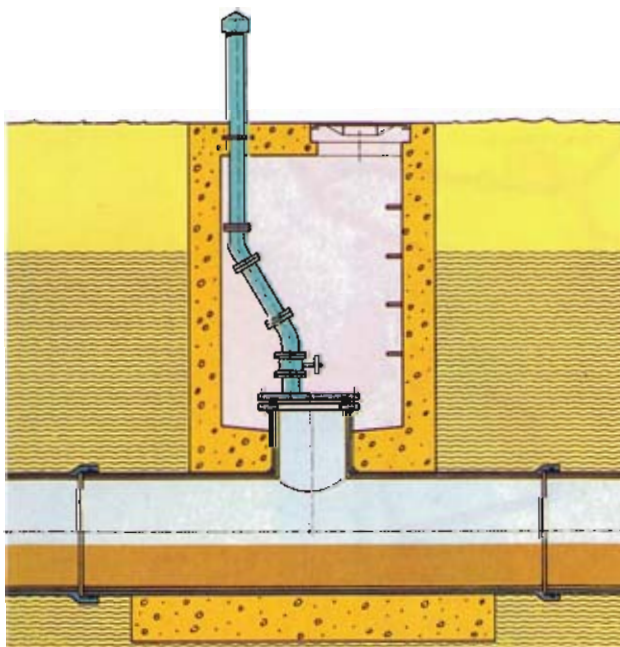
Bauwerke

Damit die Wiederholungsdruckprüfung in kürzester Zeit so einfach wie möglich und sicher durchgeführt werden kann, werden bereits beim Bau der Schächte entsprechende Vorkehrungen getroffen.

Haltungen ohne Zuläufe

In allen Haltungen ohne Zuläufe werden die Kanal-

Bild 3



rohre entsprechend den Anforderungen geschlossen durch die Schächte geführt. Die Öffnungen für Reinigungs- und Kontrollzwecke sind mit einem Deckel dicht verschlossen, wobei für die Be- und Entlüftung des Kanals ein Stutzen aufgeschweißt ist mit einem angeflanschten Schieber, der bei der Druckprüfung geschlossen wird (Bild 3).

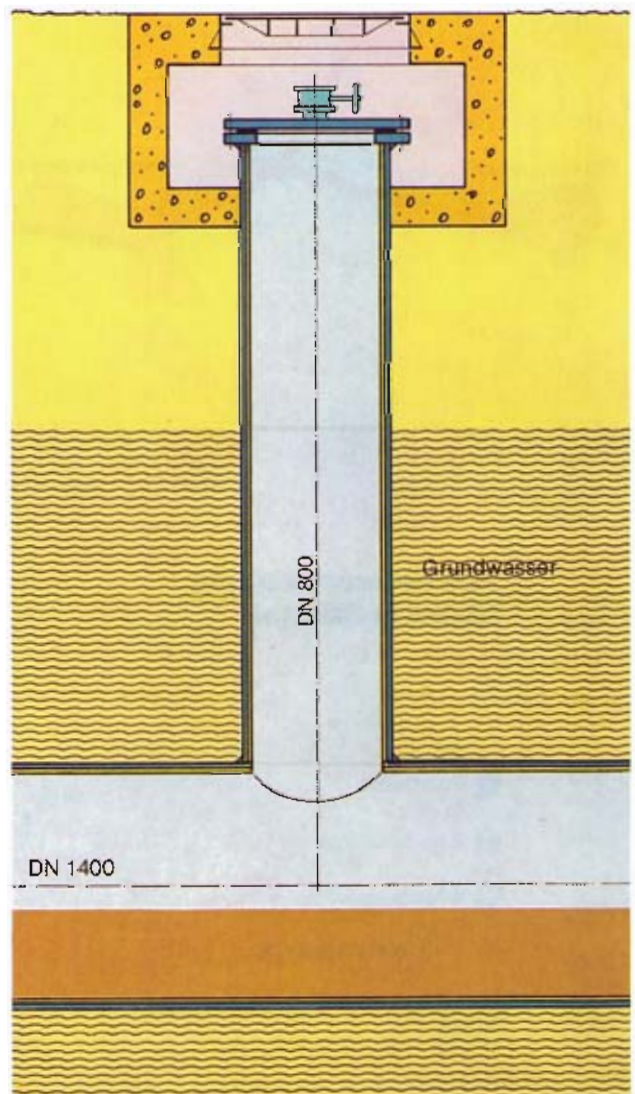
Bei den Schachtkonstruktionen mit betoniertem Aufbau wird das duktile Gußrohr annähernd auf seiner ganzen Länge in das Fundament des Schachtes integriert. Durch diese Maßnahme erzielt man, ohne das Rohr zu trennen und ohne Einbau eines Formstückes, einen gelenkigen Anschluß an die benachbarten Rohre.

Als Kontrollschacht bei den Rohren der Nennweite DN 1400 wird vor Ort ein ca. 3,5 m hoher Dom aus einem duktilen Gußrohr DN 800 aufgeschweißt. Der Schachtaufbau – wie zuvor beschrieben – wird durch eine Betonplatte geschützt (Bild 4).

Richtungsänderungen

An Richtungsänderungen werden die Schächte – wie zuvor erwähnt – ausgeführt, wobei die Krümmen direkt nach den Bauwerken angeordnet sind.

Bild 4



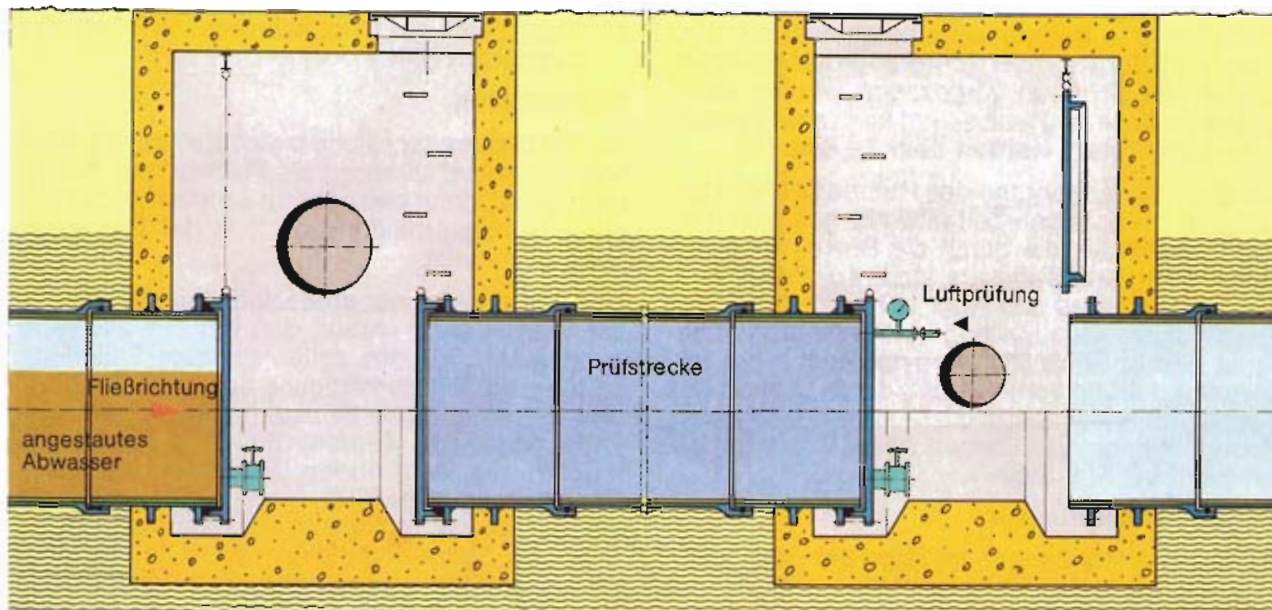


Bild 5

Durch diese Ausführungsart können die Schächte relativ eng gebaut werden.

Zuläufe

Entsprechend den Anforderungen werden die Zuläufe nur in Schächte eingeführt. Da hier der Hauptkanal zwangsläufig unterbrochen werden muß, bieten sich diese Schächte zur Durchführung der Wiederholungsprüfungen an. Die in den Schacht einmündenden Kanalrohre tragen einen Flanschring, an dem bei der Druckprüfung eine Edelstahl-Abdichtplatte mit Stopfbuchse fixiert werden kann (Bild 5).

Die Abdichtplatten sind so dimensioniert, daß sie max. 90 kg wiegen und von zwei Arbeitern montiert werden können. In den jeweiligen Schächten werden die Platten an nicht störenden Stellen aufgehängt und verbleiben dort. Als Montagehilfe sind an den Bauwerkdecken Laufschielen angebracht, so daß mittels Flaschenzug die Preßplatten zur Einbaustelle verfahrbar sind.

Die in den Schacht führenden Kurz-Rohre tragen weiterhin einen aufgeschweißten Mauerflansch, damit bei dem vorliegend hohen Grundwasserstand kein Fremdwasser in den Schacht eindringen kann. Diese Schächte sind weiterhin so konstruiert,

daß ca. 0,5 m außerhalb des Bauwerkes eine bewegliche Muffenverbindung zu liegen kommt.

4. Verlegung der duktilen Gußrohre DN 1400

Die relativ große Verlegetiefe von ca. 7 m erfordert bei den Rohren DN 1400 – Baulänge 8 m – eine besondere Verlegetechnik, und zwar bedingt durch den Ausleger des Baggers. Die Rohrsohle verläuft auf der gesamten Trasse nur wenige Zentimeter über einem durchgehenden Buntsandsteinhorizont mit darüberliegendem, stark wasserführendem Sand, der in verschiedenen Ebenen lehmige Einschlüsse hat.

Die Baugrube wird, nachdem der Mutterboden abgeschoben ist, in entsprechend geböschter Form ausgehoben. In der Rohrleitungszone wird der Arbeitsbereich mit einem Verbau in Form eines Schlittens gegenüber dem nachfließenden Sand gesichert. Der Aushub für ein Rohr wird in zwei Takten ausgeführt, und zwar wird, nachdem ein Rohr verlegt ist, die Rohrsohle grob hergerichtet; dann wird der Schlitten um seine Baulänge von 6 m vorgezogen und zur Sicherung in den Boden eingeschlagen; ebenso werden zwei 3 m lange Verbaufeln in Muffenhöhe außerhalb des Schlittens in den Boden gerammt (Bild 6).

Bild 6

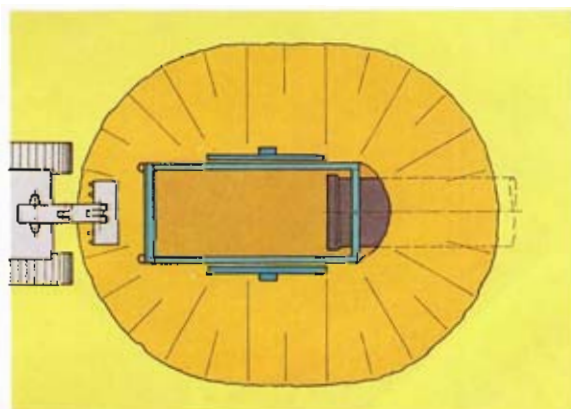
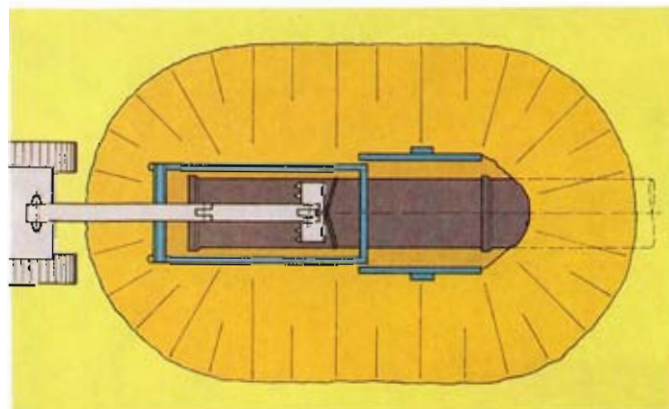


Bild 7 a



Nachdem das Rohraufleger hergestellt ist, wird hinter dem Schlitten der Rohrgraben ausgehoben, so daß der Schlitten vorgezogen werden kann. Erst nach diesem Arbeitsschritt kann das Rohraufleger komplettiert werden (Bild 7 a und 7 b).

Die eigentliche Montage des Rohres DN 1400 benötigt einen geringen Zeitaufwand, gemessen an den Erdarbeiten, die durch die Bewältigung des anfallenden Grundwassers stark erschwert sind. Zur Montage wird das Rohr DN 1400 durch den Bagger aufgenommen und in den Graben abgesenkt (Bild 8). Schließlich wird das Rohr in der vorbereiteten Muffe zentriert und durch Drehen des Baggerlöffels langsam in die Muffe eingeschoben. Vom Rohrrinnern aus überwacht ein Rohrleger die einwandfreie Montage.

5. Dichtheitsprüfungen

Die Dichtheitsprüfungen im Zuge der Bauausführung und vor der Inbetriebnahme werden mit einem Prüfdruck von 1 bar Wasser vorgenommen.

Im Hinblick auf die erforderlichen Wiederholungsprüfungen ist der Abwasserhauptsammler so konzipiert, daß die Dichtheit grundsätzlich kontrollierbar ist, und zwar sind zwei Prüfmöglichkeiten sichergestellt:

- a) Begehrbarkeit der großen Querschnitte bzw. fotografische Aufnahmen der kleineren Querschnitte

- b) Möglichkeit zur Durchführung von Wiederholungsprüfungen

Prüfverfahren

Für die Dichtheitsprüfung bietet sich beim Einsatz von duktilen Gußrohren als Prüfmedium Wasser und Luft an, denn diese Rohre werden mit der gleichen Muffenverbindung auch in der Gasversorgung eingesetzt.

Das Abpressen einer großvolumigen Kanalleitung mit Wasser setzt voraus, daß viel Zeit zur Verfügung steht. Für das zeitaufwendige Füllen der Leitung, die Wassersättigung des Zementmörtels und die eigentliche Druckprüfung müssen zwei Tage angesetzt werden. Während dieser Zeit müßten die anfallenden Abwässer über eine Bypaßleitung abgeleitet werden, oder die angestauten Wässer müßten über eine temporäre Leitung aus Schnellkupplungsrohren um die Prüfstrecke umpumpt werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Wässer in einem Speicherbecken zurückzuhalten.

Die Wiederholungsprüfung mit Wasser, die neben der funktionierenden Entsorgung ausgeführt werden müßte, stellt ein teures und aufwendiges Verfahren dar.

Die Verantwortlichen haben sich daher für ein anderes Prüfverfahren entschieden, das in seiner endgültigen Form während der Abnahmeprüfung

Bild 7 b



getestet werden soll. Demnach wird der mit 1 bar Wasser geprüfte Abschnitt einer Luftdruckprüfung von 1 bar unterzogen und als weitere Alternative mit einem Unterdruck von 0,2 bar.

Prüfvorgang

Die Wiederholungsprüfung soll als Zielsetzung innerhalb von 8 Stunden abgeschlossen sein.

Damit die während der Prüfzeit anfallenden Wässer beherrscht werden können, ist die Prüfung zur Nachtzeit durchzuführen, und zwar in den Sommermonaten, in denen mit dem geringsten Wasseranfall zu rechnen ist.

Es ist vorgesehen, die während der Druckprüfung anfallende Schmutzwassermenge in den oberhalb liegenden Kanal zurückzustauen.

Die Nachweise hierzu wurden unter folgenden Annahmen geführt:

- Der nächtliche Zufluß setzt sich zusammen aus $Q_f + 1/10 Q_s$, wobei $Q_f = Q_s$ ist (f = Fremdwasser, s = Schmutzwasser).
- Der oberhalb zur Verfügung stehende Kanalstauraum wurde lediglich als ganze Haltungslänge mit Vollfüllung gerechnet.
- Durch die Tiefenlage des Kanals, die hochgezogenen Schwellen beim Regenüberlauf und Kanalstauraum ist die Vollfüllung oberhalb der Prüfstrecke schadlos möglich.

Die Vorbereitungen für die Druckprüfung können bereits tagsüber getätigt werden. Hierzu gehören:

- Das Abschiebern bzw. Abschließen der Kontroll- und Reinigungsöffnungen sowie
- das Antransportieren der erforderlichen Geräte zur Druckluft- bzw. Vakuumerzeugung und Säuberung der Schachtsohlen.

6. Schlußbemerkung

Duktile Gußrohre für Entwässerungsleitungen sind mit den bekannten Steckmuffen ausgestattet, wie



Bild 8

sie sich in den Druckleitungen auf dem Wasser- und Gassektor bewährt haben.

Diese Rohre erlauben es, mehrere Arten der Dichtheitsprüfung anzuwenden, so daß Wiederholungsprüfungen in kürzester Zeit möglich sind.

Druckrohre aus duktilem Gußeisen im Verbundsystem der Transportleitungen städtischer Abwasserpumpwerke mit den Bremerhavener Kläranlagen

Von Werner Völz und Bernd Heiming

Allgemeine Betrachtungen

Wer mit der Abwasserbeseitigung von der Aufgabenstellung über die Planung und die Durchführung konkreter Maßnahmen, die Unterhaltung und den Betrieb von Abwasseranlagen bis hin zur Umsetzung der daraus resultierenden Kosten in kostendeckende Gebühren zu tun hat, weiß, wie wichtig die Wahl des richtigen Werkstoffes für diese Anlagen ist.

Die Entscheidung für das jeweils am besten geeignete Material erfordert die gründliche Kenntnis der Materialeigenschaften, der Baubedingungen und der Betriebsverhältnisse. Aber auch die Erfahrung mit über lange Zeit im Betrieb bewährten Werkstoffen spielt eine nicht unbedeutende Rolle. Einen besseren Beweis für die Eignung eines Materials als lange Nutzungsdauer und geringer Unterhaltungsaufwand dürfte es wohl kaum geben.

Der natürlich angemessene Preis kann immer nur in Verbindung damit als für die spätere Kostenbelastung wesentlicher Faktor beurteilt werden. Aus solchen positiven Langzeiterfahrungen mit geeigneten Werkstoffen entwickelt sich oft ein begründetes, traditionsähnliches Verhältnis.

In der Stadtentwässerung Bremerhaven hat u.a. der Werkstoff Gußeisen für Abwasserdruckleitungen eine gewisse Tradition.

Die Geländehöhe des Gebietes der Stadt Bremerhaven im Verhältnis zu den Wasserständen des Vorfluters Weser erfordert, daß das anfallende Abwasser vollkommen und ständig gepumpt werden muß. Abwasserpumpwerke und die dazugehörigen Druckleitungen sind seit Beginn des planmäßigen Ausbaues feste Bestandteile der öffentlichen Abwasseranlagen Bremerhavens.

Pumpwerke für die Stadtentwässerung

Die Stadtentwässerung betreibt 46 Abwasserpumpwerke und die dazugehörigen Druckrohrleitungen.

So wurde das Pumpwerk für das Mischwassergebiet Geestemünde 1902 gebaut und bis 1976, bis zum Ersatz durch einen Neubau, betrieben. Die

Druckleitungen aus Grauguß wurden für die Neubauarbeiten freigelegt.

Das Pumpwerk für das Schmutzwasser des Trenngebietes Wuisdorf/Fischereihafen wurde 1925 gebaut. Die Druckleitung DN 700 aus Stahl wurde gelegentlich der Reparatur eines Deichschadens 1983 freigelegt und geprüft. Es wurde eine einwandfreie Wanddicke von im Mittel 8 mm festgestellt. Die Rohrleitung wird weiterhin für den Notbetrieb vorgehalten.

Die Pumpstation für das Regenwasser des Trenngebietes Geestemünde Süd wurde 1930 mit einer Druckleitung DN 700 aus Grauguß gebaut. Die Druckleitung zeigte erste Schäden und wurde vorsorglich durch eine Druckleitung DN 1000 aus duktilem Gußeisen verstärkt.

Nach vielen weiteren kleinen Pumpwerken wurde 1953 das Hauptpumpwerk am Neuen Hafen in Betrieb genommen.

Abwasserdruckleitungen mit unterschiedlichen Korrosionsschutzarten

Die ca. 450 m lange Druckleitung zur Weser wurde aus „Gußeisernen Muffenrohren DN 700 mit Stopfbuchsenmuffe, innen und außen heiß asphaltiert“ hergestellt. Bei Umbauarbeiten 1982 wurde die Rohrleitung an verschiedenen Stellen freigelegt. Die freigelegten Strecken waren in gutem Zustand. Die Rohrleitung wird weiterhin betrieben.

Seit Einführung des duktilen Gußeisens für Druckrohre wurden die erdverlegten Druckleitungen für die neuen Pumpwerke z.B. Am Rübenberge, Gleisbogen, Feuerwache u. a. aus diesem Material gebaut. Es wurden tauchgeteerte Rohre bis DN 300 mit Muffenverbindung verwendet. Schon nach Betriebszeiten von 6 Jahren mußten durch Lochfraß an der Außenwand zerstörte Rohre ersetzt werden. Die Ursachen für die nach den bis dahin positiven Erfahrungen vorzeitige Zerstörung wurden unter Beteiligung eines unabhängigen Gutachters, des Landesamtes für Baustoffprüfung [5] und der Lieferfirma gründlich untersucht. Der Untersuchung wurde deshalb besondere Bedeutung beigemessen, weil gleichzeitig umfangreiche Arbeiten zur Herstellung der Zuleitungen zur im Bau befindlichen Zentralen Kläranlage angelaufen waren. Für Teile der Druckleitungsstrecken dieses Systems waren Rohre aus duktilem Gußeisen mit einem Innenschutz aus Epoxidharz und einer Polyethylen-Umhüllung nach DIN 30674 Teil 1 vorgesehen.

Die Annahmen, die zur Wahl des Rohrschutzes auf Empfehlung des Planers [1] und nach gutachtlicher Äußerung des Landesamtes für Baustoffprüfung [2] führten, fanden hier ihre Bestätigung durch Feststellungen am praktischen Beispiel.

Die untersuchte Rohrleitung wurde 1976 als Druckleitung für ein Abwasserpumpwerk eines Gewerbegebietes in einer Länge von rd. 2000 m aus Rohren DN 200 aus duktilem Gußeisen hergestellt. Die Rohre waren werkseitig mit einem Steinkohlenteerpech versehen. Die Rohrverlegung erfolgte in Sandbettung. Im Baugrubenbereich steht starkbindiger Boden (Klei) mit unterschiedlich starken Schilfforfeinschlüssen an. Für die Einbau-



Bild 1: Entwässerungsgebiet

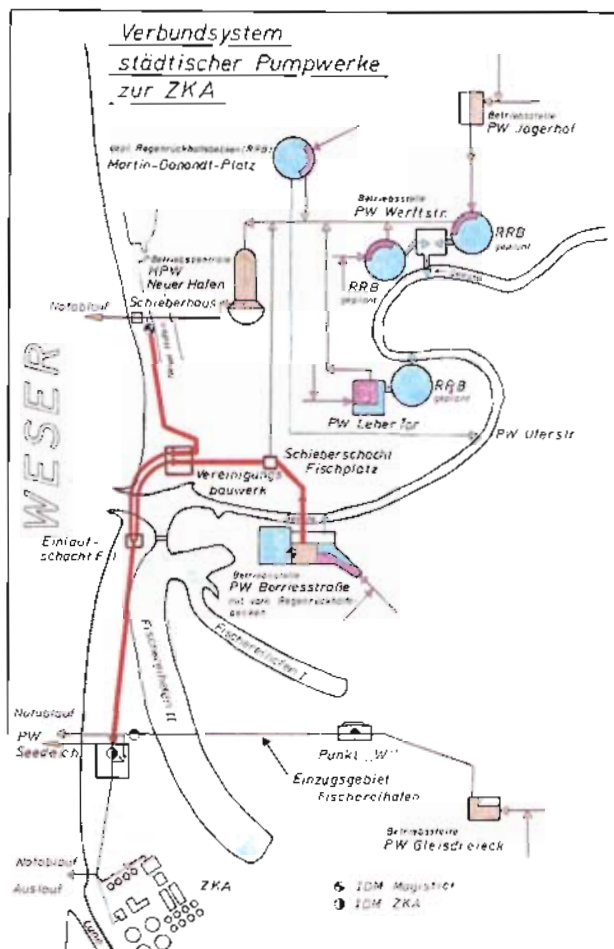


Bild 2: Verbundsystem der Pumpwerke zur ZKA

verhältnisse, die zumindest für Bremerhaven üblich sind, reicht die bis dahin für Rohre aus duktilem Gußeisen gebräuchliche werkseitige Tauchteerung nicht aus. Die neuerdings verwendete PE-Umhüllung als Außenschutz beseitigt den hier aufgezeigten Mangel.

Abwasserdruckleitungen zur Zentralkläranlage

Seit Beginn 1983 wird das Abwasser Bremerhavens in den Kläranlagen der Zentralkläranlage Bremerhaven GmbH gereinigt. Die bisherigen Einleitungen für das ungereinigte Abwasser wurden durch ein Rohrleitungssystem zusammengefaßt und mit den Kläranlagen verbunden.

In der Informationsschrift FGR 18, Ausgabe Februar 1983, wurde in dem Aufsatz „Das Druckrohrleitungssystem zur Zentralkläranlage Bremerhaven“ über die Herstellung der Leitungen vom Übergabepumpwerk „Seedeich“ zur Zentralkläranlage berichtet [4]. Auf der Luftaufnahme zu diesem Aufsatz sind sowohl die direkten Zuleitungen zur ZKA als auch die Sammelleitungen von den bisherigen Einleitungen zur ZKA dargestellt. Über den Bau dieser Sammelleitungen, insbesondere die Druckleistungsstrecken dieses Systems, wird nachstehend berichtet.

Mit dem Ziel, jeweils bei Fertigstellung der Kläranlagen das Abwasser sofort anschließen zu können, wurde das erforderliche Zuleitungssystem in Abschnitten gebaut. Der Gesamtinvestitionsaufwand beträgt rd. 26 Millionen DM.

Zeitlicher Ablauf der Errichtung der Kläranlage Nord und der Zentralkläranlage

Als Ergänzung zum Luftbild in der Informationsschrift FGR 18 zeigt Bild 1 das Entwässerungsgebiet der Stadtentwässerung Bremerhaven, aufgeteilt nach Einzugsgebieten für die Kläranlage Nord und die Zentralkläranlage im Süden der Stadt. Der terminliche Ablauf stellt sich so dar:

- 1974 Neuaufgabe Generalplan Stadtentwässerung Bremerhaven [7]
- 1976 Inbetriebnahme Kläranlage Nord [KAN]
- 1974 bis 1976 Druckrohrleitung Anschluß Pumpwerk Gleisbogen – KAN
- 1983 Druckleitung Anschluß Überseehafen – KAN
- 1983 Inbetriebnahme Zentrale Kläranlage
- 1976 Inbetriebnahme Druckrohrleitung für das Mischwasserpumpwerk mit Regenüberlaufbecken an der Borriesstraße
- 1979 Plan Druckrohrleitungssystem ZKA [1]
- 1979 Niederdruckleitung Geestedüker – Pumpwerk Seedeich
- 1980 Druckrohrleitung Geestedüker Borriesstraße – Vereinigungsbauwerk
- 1980 bis 1983 Geestedüker mit Vereinigungsbauwerk
- 1981 bis 1983 Druckrohrleitung Pumpwerk Neuer Hafen – Vereinigungsbauwerk Geestedüker

Kläranlage Nord

An die Kläranlage im Norden der Stadt sind der Ortsteil Weddewarden mit reiner Wohnbebauung sowie die Gewerbegebiete Gleisbogen und Überseehafen angeschlossen. Das Abwasser des Ortsteiles Weddewarden fließt in freiem Gefälle zur Kläranlage. Ein Wasserlauf, der Grau-Wall-Kanal, wurde auf eine Länge von 60 m unterdükert.

Die Dükerleitung wurde aus duktilen Gußrohren DN 300 mit Schraubmuffen-Verbindungen ca. 1,50 m unter Gewässersohle in einem Schutzrohr aus nahtlosem Stahlrohr mit einem Außendurchmesser von 513 mm verlegt. Die Verlegung erfolgte in einer ausgebaggerten Dükerrinne mit Taucherhilfe.

Aus dem Gewerbegebiet Gleisbogen wird das Schmutzwasser über eine rd. 2200 m lange Druckleitung zur Kläranlage gefördert. Es wurden Rohre aus duktilem Gußeisen DN 300 mit TYTON-Verbindung erdverlegt. Die Rohre wurden werkseitig tauchgeteert geliefert. Ein Bundesbahndamm wurde mit einem Schutzrohr DN 500 durchpreßt. An den Hochpunkten der Leitung wurden Be- und Entlüftungsventile eingebaut. Neben der verlegten Leitung ist für die volle Bebauung des Einzugsgebietes eine zweite Druckleitung mit gleichem Durchmesser geplant. Das Überseehafengebiet fördert das anfallende Schmutzwasser mit einem eigenen Pumpwerk seit 1983 über eine ca. 500 m lange Druckleitung zur Kläranlage Nord. Für diese Leitung wurden Rohre DN 300 aus PVC verwendet.

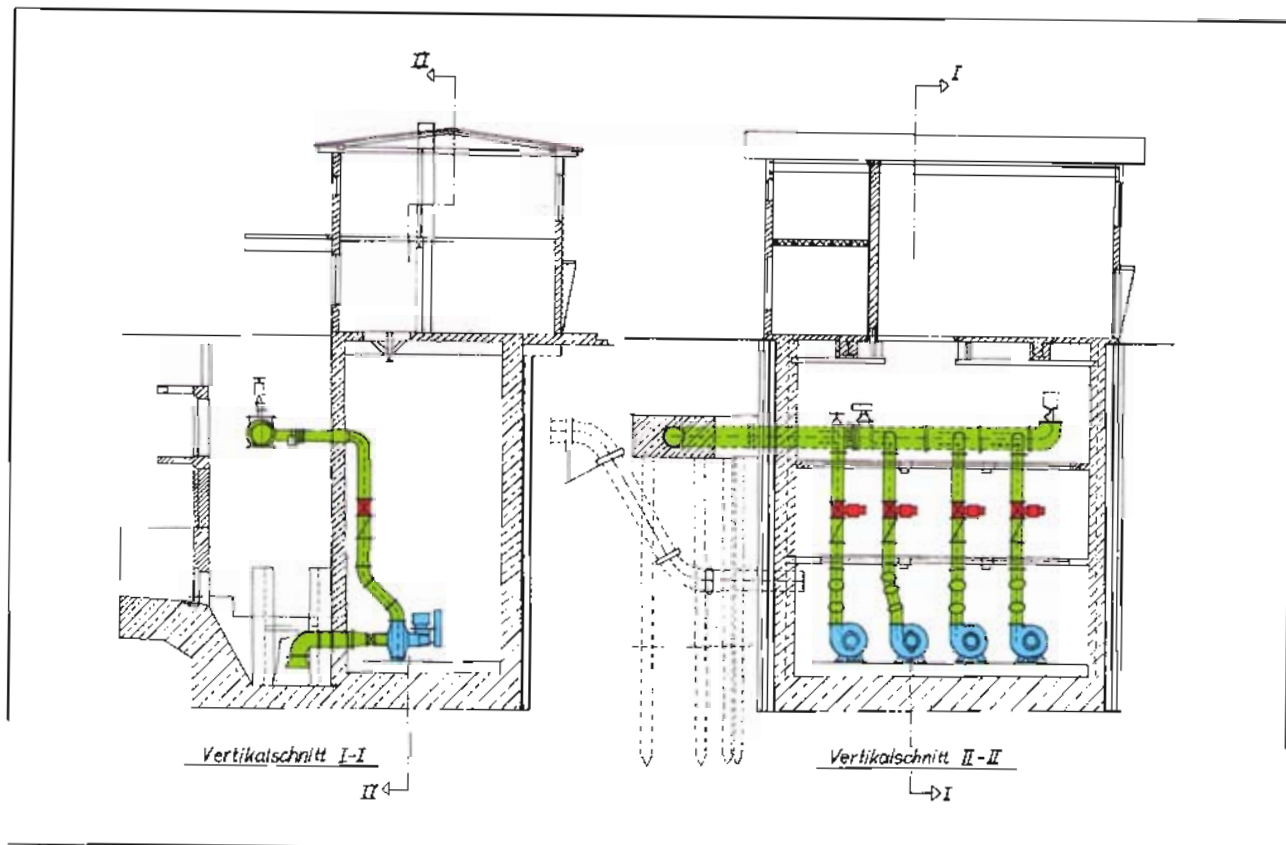


Bild 3: Pumpwerk Neuer Hafen, Schnittzeichnung

Zentrale Kläranlage

Dem Bau des Zuleitungssystems (Bild 2) von den bisherigen Direkteinleitungen der verschiedenen Kanalsysteme in die Gewässer Geeste und Weser bis an das Kläranlageübernahmepumpwerk „Seedeich“ liegt der Plan „Druckrohrleitungssystem zur ZKA“ der Planungsgemeinschaft für Ingenieurbau Dr.-Ing. Wetzorke – Dr. Stobbe vom 21. 09. 1979 zugrunde [1]. Danach wird für das Pumpwerk Neuer Hafen (Bild 3 und Bild 4) der 1953 gebaute Rohrleitungsdüker bei entsprechender Eignung vorerst bis zur Westseite des Neuen Hafens weiterbenutzt. Der Zeitpunkt der notwendigen Erweiterung dieser Rohrleitung DN 700 ist vom Erreichen der max. Fördermengen bei Endausbau abhängig und heute noch nicht abzusehen. An die vorhandene Druckleitung wird die neue Druckleitung DN 700 in Verbindung mit einem Meß- und Schieberschacht angebunden und bis zu einem Schacht auf der Südseite der alten Schleusenzufahrt geführt.

Für die Querung der alten Schleusenzufahrt sieht der Plan verschiedene Varianten vor. Es wurde die kostengünstigste höhengleiche Lösung der Dükering vorgezogen, weil der Zeitpunkt einer geplanten Wiedereröffnung der Schleuse noch nicht abzusehen ist und die Dükering im Zusammenhang mit Bauarbeiten an der Schleuse günstiger auszuführen ist. Von diesem Schacht, der als Leitungshochpunkt des aufsteigenden Leitungssastes des Hafendükers ausgebildet ist, verläuft eine neue Druckleitung DN 1000 auf einer Länge von rd. 1000 m auf der Binnenseite des Weserdeiches bis zum Vereinigungsbauwerk südlich des Deutschen Schifffahrtsmuseums auf der Nordseite der Geestemündung.

Das Pumpwerk Borriesstraße fördert seit 1976 das Abwasser des Einzugsgebietes Geestemünde südlich der Geeste durch eine Druckleitung aus duktilen Gußrohren DN 500 in Form eines Dükers auf die Nordseite der Geeste in den vorhandenen Sammler zum Pumpwerk Neuer Hafen. Die Betriebsart wurde als Übergangslösung gefahren, um

Bild 4: PW Neuer Hafen, Druckleitung



schon vor Betrieb der ZKA die Anforderungen des Wasserrechts zu erfüllen. Aufgrund eines kostengünstigen Sondervorschlages der ausführenden Firmen wurde für die Verlegung der Mediumleitung und der Aufnahme anderer Versorgungsleitungen eine begehbare Betonrohrleitung mit einer lichten Weite von 1,75 m gebaut. Der Rohrtunnel wurde unter der Sohle der Geeste mit einer Länge von rd. 200 m im hydraulischen Vorpreßverfahren unter Druckluft hergestellt.

Nach Plan wird auf der Geestenordseite Ecke Deichstraße – Fahrstraße in dem Dükerendschacht eine neue Druckleitung DN 500 angebunden und auf eine Länge von rd. 600 m ebenfalls zum Vereinigungsbauwerk Nordseite Geeste geführt.

Am Vereinigungsbauwerk werden beide Druckleitungsenden als absolute Leitungshochpunkte ausgebildet (Bild 5). Dadurch werden eine ständige Vollfüllung der Druckleitungen und gleichmäßige Förderbedingungen für die einspeisenden Pumpwerke erzielt. Außerdem werden im Vereinigungsbauwerk die beiden ankommenden Druckrohrleitungen mit einer Doppelleitung DN 700 und DN 800 verbunden. Mit diesen beiden Leitungen wird die Geestemündung unterfahren. Die Unterfahrung erfolgte in einer begehbaren Tunnelröhre aus Betonrohren mit einer lichten Weite von 2,50 m. Die Mediumrohre DN 700 und DN 800 werden je nach anfallender Abwassermenge wechselweise oder zusammen beschickt, um durch Einhaltung

Bild 5: Leitungshochpunkt im Vereinigungsbauwerk



von Mindestfließgeschwindigkeiten Ablagerungen weitgehend zu vermeiden. Die Tunnelröhre wurde in hydraulischem Vortrieb unter Druckluft hergestellt. Die wassermengenabhängige Beschickung der Dükerleitungen erfolgt über ferngesteuerte Schieber. Steuerzentrale ist das Hauptpumpwerk Neuer Hafen.

Im Anschluß an den Düker wird das Abwasser auf der Südseite der Geeste von einer Freigefälle- bzw. Niederdruckleitung DN 1400 aufgenommen und dem Kläranlagenpumpwerk „Seedich“ zugeleitet.

Druckrohrleitung PW Neuer Hafen – Vereinigungsbauwerk

Die Leitungsstrecke besteht aus rd. 140 m DN 700 und rd. 930 m DN 1000. Transportiertes Medium ist Abwasser aus Wohn- und Gewerbegebieten mit Trenn- und Mischverfahren. Die Rohrleitung wurde in offener Baugrube hergestellt in einer Tiefe von im Mittel 2,5 m. Der Prüfdruck beträgt 15 bar. Der Baugrund besteht überwiegend aus Klei mit folgenden Daten:

Raumgewicht feucht	1,70 t/m ³
Raumgewicht Auftrieb	0,70 t/m ³
Steifeziffer	2% 6 MN/m ²
Reibungswinkel	22,5°
Kohäsion	4 bis 10 kN/m ²
Bodenpressung	0,05 bis 0,08 MN/m ²

Wegen der Nutzungsplanung im Bereich der Verlegetrasse können Verkehrslasten bis SLW 60 sowie Veränderungen der Überdeckung nicht ausgeschlossen werden.

Die Untersuchung der Wasser- und Bodenproben des anstehenden Bodens, überwiegend Klei abwechselnd mit Feinsand und Bauschutt, ergab u. a. im Wasser Werte von Magnesium (Mg) bis 468 mg/l, Chlorid (Cl) bis 6594 mg/l und Sulfat (SO₄) bis 959 mg/l. Aufgrund der unsicheren statischen und ungünstigen chemischen Einbaubedingungen wurden Rohre aus duktilem Gußeisen nach DIN 28 600 vorgeschrieben mit Wanddicken der Klasse K 10 nach DIN 28 610. Wegen der Unbestimmbarkeit der zu transportierenden Abwasserzusammensetzung wurde auch in diese Rohre innen eine Epoxidbeschichtung von 600 bis 800 µm aus Tornu coat food SF eingebracht. Wegen der wechselnden aber stark aggressiven Böden wurde, nicht zuletzt aufgrund der bisherigen Erfahrungen und der Empfehlung des Landesbauamtes für Baustoffprüfung [2] sowie des Planungsbüros [1] die vom Rohrerhersteller entwickelte extrudierte Polyethylen-Umhüllung aufgebracht. Mit diesen Schutzarten versehen stand ein Rohr zur Verfügung, das allen vorkommenden Korrosionsangriffen widersteht. Die Formstücke erhielten innen denselben Schutz und wurden außen mit einem 2fachen Zinkanstrich und einer bituminösen Schutzschicht versehen. Formstücke und Flanschenrohre, die für Schächte und insbesondere für das Vereinigungsbauwerk vorgesehen wurden, erhielten als Korrosionsschutz und Farbgrundierung außen einen 2fachen Zinkanstrich.

Die Verlegung der einzelnen Leitungsabschnitte verlangte einige interessante Problemlösungen.

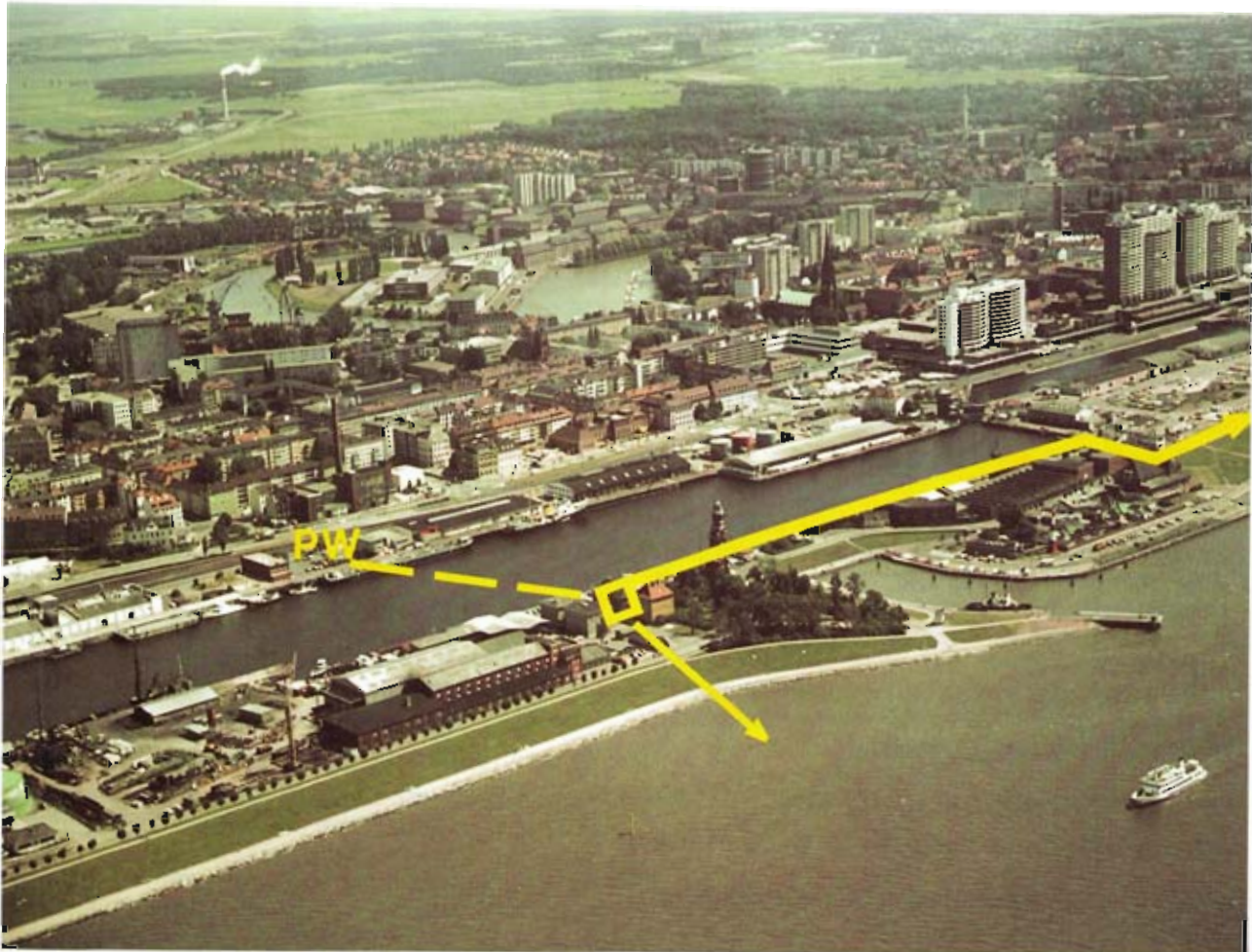


Bild 6: Leitungsführung PW Neuer Hafen zum Vereinigungsbauwerk (Freig. Bremen FE 78-0831/1)

Anbindung des PW Neuer Hafen

Auf der Westseite des Neuen Hafens schließt die neue Druckrohrleitung DN 700 an den aufsteigenden Dükerast der alten Druckrohrleitung DN 700 an. Die vorhandene Druckleitung mit Ausmündung in die Weser wird als Notauslaß weiter betrieben. Die geförderte Wassermenge wird an dieser Stelle für die Schiebersteuerung und die Mengenkontrolle induktiv gemessen. Die Trennung der alten Druckleitung und die Verbindung mit den neuen Leitungen erfolgte unter Aufrechterhaltung des Betriebes. Der gute Zustand der inzwischen über 30 Jahre betriebenen alten Druckleitung aus Graugußrohren konnte bei dieser Gelegenheit festgestellt werden.

Die Rohrleitungsführung im Bereich des PW Neuer Hafen bis zum Vereinigungsbauwerk zeigt Bild 6, wo im Vordergrund die Weser und parallel verlaufend der Neue Hafen liegt. In Bildmitte ist die ehemalige Schleuse mit dem alten Leuchtturm und rechts das zu durchquerende Werftgelände zu sehen.

Kreuzung der alten Schleuseneinfahrt

Es besteht die Absicht, die alte Schleuse für den Sportbootverkehr wieder zu öffnen. Der Zeitpunkt der Wiederinbetriebnahme, die Bauarbeiten erfordert, ist heute nicht zu erkennen. Die an sich geplante Dükerung der Schleuseneinfahrt wurde daher zurückgestellt. Die Rohrkreuzung wurde nach

einem kostengünstigen Sondervorschlag der bauausführenden Firmen als Rohrbrücke in einem stahlbewehrten Betonbalken ausgeführt (Bild 7). Zu diesem Zweck mußten die Rohre DN 700 auf ein erhöht errichtetes Holzaufleger verlegt werden. Die Höhe der Montageaufleger war durch die Dicke der stahlbewehrten Beton-Ummantelung vorgegeben.

Dieser betonierte Rohrleitungsabschnitt wurde nach dem Aushärten des Betons von einem Schiffskran, der eigens für dieses Einheben herangebeordert wurde, auf die vorbereiteten Auflager beiderseits der ehemaligen Schleuseneinfahrt

Bild 7: Stahlbewehrung der Rohrbrücke





Bild 8: Einheben der Rohrbrücke

unterhalb des Leuchtturmes gelegt (Bild 8 und Bild 9). Für den an dieser Stelle vorgesehenen Düker waren die Rohre DN 700 mit längskraftschlüssigen Verbindungen System SV vorgesehen. Da jedoch durch die angewandte Überbrückung der Schleuseneinfahrt in der beschriebenen Weise die anschließenden Verbindungen längskraftfrei wurden, konnte dieser Leitungsabschnitt ohne Schubsicherung verlegt werden.

Erweiterung von DN 700 auf DN 1000

Bereits wenige Meter nach diesem Bauwerk wur-

Bild 10: Vereinigungsbauwerk, Schnittzeichnung

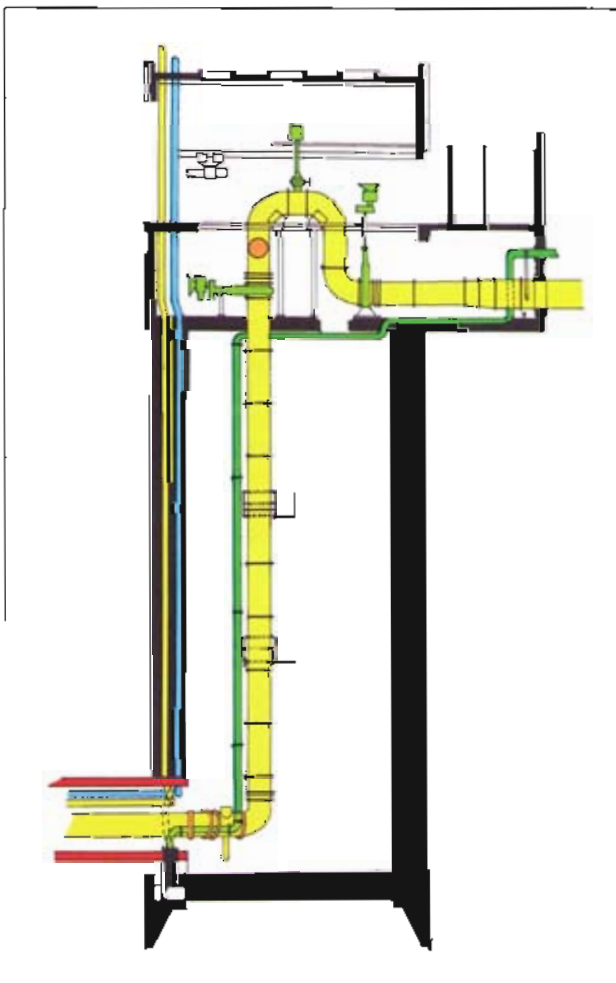


Bild 9: Altes Schleusentor und abgesenkte Rohrbrücke

de die Leitung DN 700 auf DN 1000 erweitert. Dies wurde konstruktiv durch stufenweise Erweiterung von DN 700 auf DN 800 und von DN 800 auf DN 1000 über Reduzierstücke (MMR-Stücke) gelöst. Auch diese Konstruktion war aufgrund der geänderten Schleusenüberquerung längskraftfrei geworden und konnte ohne Schubsicherung vormontiert und eingebunden werden.

Verlegung DN 1000 auf Werftgelände

Wegen des sehr schmalen Geländes, das einerseits vom Hafenbecken und andererseits von den Schienen des Werftkranes begrenzt war, mußten vor Verlegung erhebliche Vorbereitungsarbeiten ausgeführt werden. Um diesen Leitungsabschnitt gegen seitliches Abrutschen zu sichern, wurde vor der Verlegung eine Betonsohle eingegossen. Im Verlauf dieser Leitung bis zum Vereinigungsbauwerk ging die Verlegung zügig und ohne Schwierigkeiten vorstatten.

Leitung PW Borriesstraße zum Vereinigungsbauwerk

Für die Weiterleitung des Abwassers aus dem PW Borriesstraße zur Kläranlage wurde 1980 die Verbindungsdruckleitung vom Dükerendschacht an der Deichstraße (bisheriger Anschluß Freigefällekanal) bis zum Vereinigungsbauwerk gebaut. Für diesen Leitungsabschnitt galten gleiche Einbauverhältnisse wie für den eben näher beschriebenen Streckenabschnitt PW Neuer Hafen – Vereinigungsbauwerk. Die verlegten Druckrohre DN 500 aus duktilem Gußeisen mit TYTON-Verbindung und Schubsicherung erhielten als äußeren Korrosionsschutz ebenfalls eine Polyethylen-Umhüllung. Die Rohrverbindungen wurden außen durch Schrumpfschläuche aus vernetztem Polyethylen nach DIN 30672 nachisoliert. Im Dükerendschacht mußte die Verbindung der Druckleitungen alt – neu unter Aufrechterhaltung des Betriebes durchgeführt werden.

Vereinigungsbauwerk

In dem sogenannten Vereinigungsbauwerk (Bild 10) werden die Druckleitungen der Abwasserpumpwerke Neuer Hafen, DN 1000 und Borriesstraße DN 500 zusammengeführt, als Leitungshochpunkte ausgeführt und in die Rohrleitungen DN 800 und DN 700 zur Weiterführung durch den Geestedüker zum Pumpwerk Seedeich geführt.

Der Zielschacht für die Durchpressung der Geeste wurde als Senkbrunnen niedergebracht.

Er dient heute als Einstieg in die begehbare Düker-
röhre, nimmt die in die Dükerröhre abfallenden
Druckleitungen auf und stellt das Fundament für
den Hochbauteil der Anlage dar. In dem Hochbau
sind die fernbedienten Schieber, die Hochpunkt-
krümmer, die Hochpunktentlüftung und die
Abluftreinigung über Kohlefilter untergebracht.
Die in den Düker abfallenden Leitungen bestehen
wie die ankommenden Druckrohre aus duktilem
Gußeisen mit der beschriebenen inneren Be-
schichtung.

Schrifttum

- [1] Planungsgemeinschaft für Ingenieurbau Han-
nover Dr.-Ing. Manfred Wetzorke – Dr.-Ing. Ger-
hard Stobbe
„Druckrohrleitungssystem der Stadt Bremer-
haven zur ZKA“ vom 21. 9. 1979
- [2] Landesamt für Baustoffprüfung Bremen
„Baugrunduntersuchung und Korrosionsschutz
für die Druckrohrleitungen zur ZKA Bremer-
haven“
- [3] Fa. Thyssen Schalker Verein GmbH, Werk Gel-
senkirchen
„Baustelleneinrichtung zur Verlegung duktiler
Gußrohre für die Stadtentwässerung Bremer-
haven“ vom 6. 8. 1981

Abschließend bleibt noch zu bemerken, daß die
Druckrohrleitungen vor der Inbetriebnahme mit
einem Kanalfernsehgerät auf ihren Zustand über-
prüft worden sind. Diese Überprüfung ergab
keine Beanstandungen. Auch die anschließende
Dichtheitsprüfung gab keinen Anlaß zu Beanstan-
dungen, so daß das gesamte System ab Anfang
1983 in Betrieb genommen werden konnte.

Durch mit Blindflanschen verschlossene Muffen-
formstücke mit Flanschabgängen (MMA-Stücke)
ist die Entleerung und Kontrolle der Rohrin-
nenoberflächen auch weiterhin möglich.

- [4] A. Gralle, B. Heiming
„Das Druckrohrleitungssystem zur Zentral-
kläranlage Bremerhaven“
Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre fgr 18
vom Februar 1983
- [5] Landesamt für Baustoffprüfung Bremen
„Korrosionsschäden an der Abwasserdrucklei-
tung MBA“ vom 29. 7. 1980 und 12. 10. 1981
- [6] Ing. H.-P. Karger – Beratender Ingenieur,
Heinsberg
„Korrosive Einflüsse durch Materialkombina-
tionen für die Druckrohrleitungen zur ZKA Bre-
merhaven“ vom 20. 9. 1982 und 25. 9. 1982
- [7] Arbeitsgemeinschaft Prof. Dr.-Ing. Dietrich
Kehr – Dr.-Ing. Manfred Wetzorke – Dr.-Ing.
Gerhard Stobbe
„Generalkanalisationsplan der Stadt Bremer-
haven“ vom 15. 5. 1974

Rohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen für Entwässerungskanäle und -leitungen

Von Norbert Raffenberg

1. Einleitung

Gußeisen ist einer der ältesten Rohrwerkstoffe. Gußrohre werden schon seit über 500 Jahren im Rohrleitungsbau verwendet. Ihr erster Einsatz erfolgte im Bereich der Wasserversorgung. Zu den ältesten Gußrohr-Leitungen auf deutschem Boden gehört die Wasserleitung von Schloß Dillenburg aus dem Jahre 1455. Wasserleitungen aus dem 16. und 17. Jahrhundert sind auch heute noch vorhanden. Am bekanntesten ist wohl die in den Jahren 1664 bis 1668 erbaute Wasserleitung im Schloßpark von Versailles, die zur Speisung der dortigen Wasserspiele dient [1].

Mit dem Beginn der Gasverteilung im 19. Jahrhundert sowie auch mit der zunehmenden Entwicklung der Abwassertechnik zwecks Fortleitung der ständig steigenden Abwassermengen ergaben sich für die Gußrohre weitere Anwendungsgebiete. Die Gußrohre und zugehörigen Formstücke haben sich im Laufe der Zeit verändert; sie wurden technisch verbessert, standardisiert und modernisiert. So verfügt der Werkstoff „Gußeisen“ im Rohrleitungsbau schon über eine mehr als 100-jährige Erfahrung und eine entsprechende Bewährung.

Gußeisen findet für Rohre und Formstücke zur Abwasserableitung sowohl im Grundstücksbereich als auch im öffentlichen Bereich Anwendung. Im Grundstücksbereich, d.h. für die Gebäude- und Grundstücksentwässerung, ist es der Werkstoff „Grauguß“ bzw. „Gußeisen mit Lamellengraphit“ (GG) und im öffentlichen Bereich, d.h. für Freispiegel- und Druckleitungen, ist es der Werkstoff „Duktiles Gußeisen“, auch „Gußeisen mit Kugelgraphit“ (GGG) genannt.

Die nachstehenden Ausführungen befassen sich mit Rohren und Formstücken aus duktilem Gußeisen, kurz duktile Gußrohre und Formstücke genannt, die in erdverlegten Abwasser-Freispiegelleitungen und -Druckleitungen eingesetzt werden.

Wie alle Rohrnetze, so stellen auch Rohrleitungen für den Transport von Abwässern (häusliches, gewerbliches und industrielles Abwasser) für die Volkswirtschaft hohe Kapitalwerte dar. Die Rohr-

leitungen liegen vorwiegend im Erdboden und entziehen sich damit einer direkten Beobachtung. Sie müssen daher nicht nur aus einem Werkstoff mit hoher Festigkeit und Lebensdauer bestehen, sondern auch mit Verbindungen versehen sein, die auf Dauer bei Einwirkungen von innen und außen dicht sind. Daß diese Anforderungen von den duktilen Gußrohren und Formstücken mit Sicherheit erfüllt werden, sollen die folgenden Ausführungen deutlich machen.

Duktile Gußrohre gibt es in der Bundesrepublik Deutschland seit 1956, also inzwischen seit fast 30 Jahren. Das Wort „duktil“ bedeutet soviel wie „dehnbar, streckbar“, und es ist charakteristisch für diesen Gußwerkstoff. Duktiles Gußeisen, das in Anpassung an die stetig steigenden Belastungen der erdverlegten Rohrnetze als eine echte Weiterentwicklung des Werkstoffes „Grauguß“ anzusehen ist, besitzt neben einer hohen Zugfestigkeit und Streckgrenze bzw. 0,2%-Dehngrenze auch eine beachtliche Bruchdehnung, das heißt: gerade die Eigenschaften, die im modernen Rohrleitungsbau so sehr geschätzt sind.

2. Normung

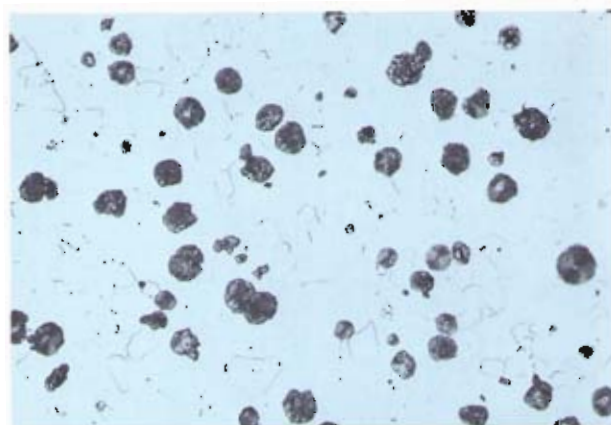
Rohre und Formstücke aus duktilem Gußeisen für Entwässerungskanäle und -leitungen sind in DIN 19690, DIN 19691 sowie DIN 19692 Teil 1 und Teil 2 seit Juli 1978 genormt.

DIN 19690 beinhaltet die Technischen Lieferbedingungen für Rohre und Formstücke, u.a. mit Festlegungen über

- Geltungsbereich
- Verbindungen
- Anforderungen an die allgemeine Beschaffenheit, die Maße und Gewichte, den Werkstoff und Schutzüberzug sowie an die Kennzeichnung und die Dichtheit
- Prüfung der Beschaffenheit, der Maße und Gewichte, des Werkstoffes und Schutzüberzuges sowie der Kennzeichnung und Dichtheit
- Güteüberwachung.

DIN 19691 enthält die Maße und Gewichte (Massen) der Rohre im Bereich von DN 100 bis DN 2000 für Baulängen von 6, 7 und 8 m.

Bild 1: Duktiles Gußeisen, ungeätzt, Vergrößerung 100 : 1



Die duktilen Gußrohre sind maßlich so festgelegt, daß ihre lichte Weite – einschließlich der Zementmörtel-Auskleidung – praktisch der Nennweite entspricht und so auch die Norm DIN 4263 erfüllt.

DIN 19692 beinhaltet in Teil 1 und Teil 2 die Reinigungsstücke mit rechteckiger Öffnung (RS-Stücke) im Bereich von DN 150 bis DN 400.

3. Werkstoff

Der Werkstoff „duktilen Gußeisen“ für die Rohre und Formstücke ist in DIN 19690 festgelegt. Für die duktilen Gußrohre gelten folgende Werkstoffkennwerte:

- Zugfestigkeit mindestens 400 N/mm²
- 0,2%-Dehngrenze mindestens 300 N/mm²
- Bruchdehnung mindestens 7%.

Für die Formstücke ist eine Bruchdehnung von mindestens 5% vorgeschrieben; ansonsten gelten dieselben Werte wie für die Rohre.

Bild 1 zeigt das Gefüge von „duktilen Gußeisen“; der Kohlenstoff liegt als Graphit in weitgehend kugelförmiger Form vor.

Duktile Gußrohre und Formstücke mit diesen Werkstoffeigenschaften sind robust, formbeständig, abriebfest und bruchsicher.

Diese recht beachtlichen Werkstoffeigenschaften werden durch eine spezielle Behandlung des flüssigen Eisens mit Magnesium erreicht, wodurch der im Gefüge als Graphit vorliegende Kohlenstoff eine kugelförmige Form annimmt, die günstiger ist als die Lamellenform des Graphits im Grauguß. Durch die kugelförmige Form des Graphits – sein Anteil beträgt ungefähr 3,5 Gew.-% bzw. 10 Vol.-% – können bei Spannungen im Werkstoff die in der metallischen Grundmasse verlaufenden Kraftlinien nahezu ungehindert an den eingelagerten Graphitteilchen geringer Festigkeit vorbeifließen.

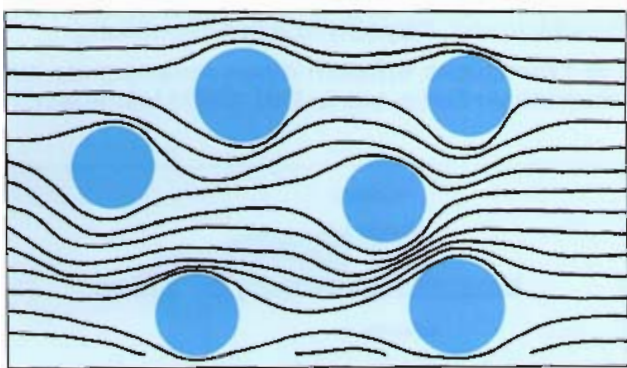


Bild 2: Spannungsbild bei duktilem Gußeisen

Bild 2 zeigt in schematischer Form ein sogenanntes Spannungsbild. Es verdeutlicht, daß beim duktilen Gußeisen der Kraftlinienverlauf durch die in der metallischen Grundmasse eingelagerten Graphitkugeln kaum gestört wird. Es stellt sich vielmehr eine über den gesamten Querschnitt nahezu gleichmäßige plastische Verformung und demzufolge eine beachtliche Dehnungsfähigkeit ein, ein Charakteristikum des duktilen Werkstoffes.

4. Verbindungen

Als Rohrverbindungen werden heute in der Bundesrepublik Deutschland für duktile Gußrohr-Leitungen im Abwasserbereich überwiegend Steckmuffen-Verbindungen nach DIN 28603 verwendet, und zwar für den Bereich von DN 80 bis DN 1400 die Steckmuffen-Verbindung System TYTON®. Bei Rohren im Bereich von DN 1000 bis DN 2000 kann die Steckmuffen-Verbindung System Standard eingesetzt werden [2].

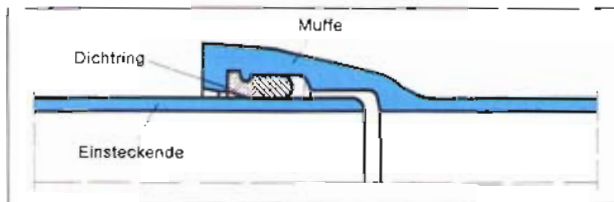


Bild 3: TYTON-Verbindung

Die Steckmuffen-Verbindung System TYTON (Bild 3) wird in Deutschland seit 1957 in Wasser- und Gasleitungen eingesetzt und hat sich bestens bewährt. Sie hat als einziges Zubehörteil einen besonders profilierten Dichttring. Dieser besteht aus einem zusammengesetzten Gummi mit einem härteren und einem weicheren Teil. Der Ring wird bei der Montage unter einer geringen Vorspannung in die Muffe eingelegt und durch das Einschleiben des Rohreinsteckendes so komprimiert, daß er abdichtet. Der härtere Teil des Ringes liegt in der Haltnut der Muffe und hält den Dichttring beim Einschleiben des Rohreinsteckendes und bei der späteren Belastung durch den Innendruck in seiner Lage fest. Der aus weicherem Gummi bestehende Wulst bewirkt die Abdichtung. Die Dichtheit der Verbindung ist durch die aufeinander abgestimmten Abmessungen von Muffe, Dichttring und Rohreinsteckende gegeben.

Steckmuffen-Verbindungen wirken wie ein längsverschiebbares Gelenk und übertragen praktisch keine Biegemomente und Zugkräfte von Rohr zu Rohr. Durch ihre axiale Beweglichkeit und ihre allseitige Abwinkelbarkeit (sie gestatten je nach Nennweite Abwinkelungen bis zu 3° bzw. 5°) sowie durch die Elastizität der Dichtringe können diese Verbindungen den starken Verkehrserschütterungen standhalten und den Bodenbewegungen folgen, ohne daß dadurch ihre Dichtfunktion beeinträchtigt wird.

Die bei Gußrohr-Leitungen eingesetzten Steckmuffen-Verbindungen entsprechen den allgemeinen Anforderungen der DIN 19543 und die dazugehörigen Dichtringe der DIN 4060 Teil 1. Die Dichtringe werden vom Rohrhersteller mitgeliefert, wodurch die Qualität der gesamten Rohrverbindung von einem Lieferanten sichergestellt wird.

Die Übereinstimmung der Anschlußmaße der Steckmuffen-Verbindungen mit den Schraubmuffen-Verbindungen nach DIN 28601 Teil 1 bis Teil 3 sowie mit den Stopfbuchsenmuffen-Verbindungen nach DIN 28602 Teil 1 bis Teil 3 ermöglicht auch die Verwendung der für Wasserleitungen ge-

normten Formstücke aus duktilem Gußeisen (z.B. DIN 28622 bis DIN 28630, DIN 28632, DIN 28648). Für den Anschluß an Entwässerungskanäle und -leitungen aus anderen Werkstoffen sind entsprechende Übergangstücke vorzusehen.

Erdverlegte Leitungen aus duktilen Gußrohren haben im allgemeinen nichtlängskraftschlüssige, abwinkelbare Muffenverbindungen. Für Fälle, in denen längskraftschlüssige Verbindungen notwendig sind, wie zum Beispiel bei der Verlegung in instabilen Böden, beim Einziehen von Dükerleitungen in Flüsse oder Seen bzw. von Leitungen in Mantelrohre, Stollen oder Tunnel, hat die Gußrohrindustrie zugfeste Steckmuffen-Verbindungen entwickelt.

Zum Herstellen der Längskraftschlüssigkeit von Steckmuffen-Verbindungen werden verschiedene Systeme von Schubsicherungen angewendet.

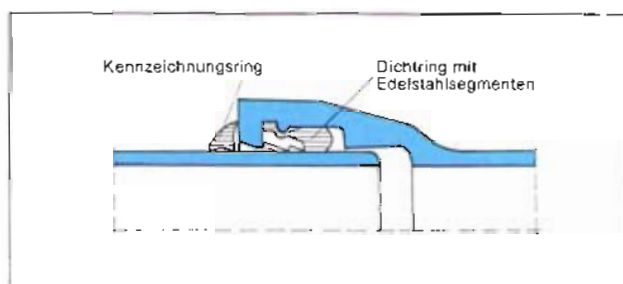


Bild 4: Schubsicherung TYTON-SIT

Bild 4 zeigt die Schubsicherung TYTON-SIT; sie ist einsetzbar, ohne daß eine Änderung der duktilen Gußrohre und Formstücke vorgenommen werden muß. Anstelle des sonst üblichen TYTON-Dichtringes wird hier ein Dichtring mit einvulkanisierten Edelstahlsegmenten verwendet. Diese haben in montiertem Zustand in Richtung quer zur Rohrachse scharfgeschliffene Zähne, die in die Rohroberfläche eingreifen. Die Anzahl der Segmente variiert mit der Nennweite. Die Schubsicherung TYTON-SIT ist bei Nennweiten bis DN 300 bzw. DN 400 einsetzbar.

Bei einem anderen System der zugfesten Steckmuffen-Verbindung wird ein umlaufender Schweißwulst am Einsteckende des Rohres aufgetragen, und zwar üblicherweise im Werk mittels Schutzgasschweißung. Bei abgeschnittenen Rohren kann der Wulst aber auch auf der Baustelle elektrisch aufgeschweißt werden. Der Schweißwulst übernimmt die Sicherung eines Halteringes, der sich gegen die vorgegossene Sicherungskammer abstützt.

Nach diesem Prinzip arbeitet z.B. die Schubsicherung TYS-K (Bild 5). Der Anwendungsbereich dieser Konstruktion geht von DN 100 bis DN 1200. Die Ausführung ist für Rohre und Formstücke gleich.

5. Schutzüberzüge

5.1 Innenschutz

Nach DIN 19690 werden die Rohre aus duktilem Gußeisen in der Regel innen mit Zementmörtel ausgeschleudert; nähere Angaben über diesen In-

nenschutz der Rohre sind in DIN 19690, Abschnitt 5.4.1, enthalten.

Gemäß DIN 19690, Abschnitt 5.4.2, wurden die Formstücke in der Regel mit einem Innenschutz auf bituminöser Grundlage versehen. Inzwischen sind die Entwicklungsarbeiten aber so weit gediehen, daß heute auch die Formstücke für Abwasserleitungen grundsätzlich eine Auskleidung mit Zementmörtel bzw. auf Zementbasis erhalten.

Die serienmäßige Zementmörtel-Auskleidung unter Verwendung eines hochsulfatbeständigen Hochofenzementes bietet einen ausgezeichneten Schutz, nicht nur bei häuslichen und industriellen Abwässern, sondern auch bei aggressiven Abwässern, ferner gleichbleibende hydraulische Eigenschaften, große Abriebfestigkeit, auch bei hohen Fließgeschwindigkeiten.

In den Fällen, in denen die Zusammensetzung des Abwassers die Einsatzgrenzen der Zementmörtel-Auskleidung überschreitet, können als Sonderchutzarten Auskleidungen mit Tonerdeschmelzement oder auf Kunststoffbasis vereinbart werden.

5.2 Außenschutz

In DIN 19690 ist festgelegt, daß die Rohre und Formstücke in der Regel einen Außenschutz auf bituminöser Grundlage erhalten und daß Sonderchutzarten zu vereinbaren sind. Inzwischen wurden auch hier die Entwicklungsarbeiten weitergeführt.

Die deutschen Gußrohr-Hersteller liefern heute Rohre mit 5 genormten unterschiedlichen Außenschutzarten, von denen 3 auch für den Einsatz in stark aggressiven Böden geeignet sind. Duktile Gußrohre haben also für jede Bodenart den geeigneten Außenschutz.

Für duktile Gußrohre gibt es folgende Außenschutzarten nach DIN 30674 Teil 1 bis Teil 5: Polyethylen-Umhüllung; Zementmörtel-Umhüllung; Zink-Überzug mit Deckbeschichtung; Bituminöse Beschichtung; Polyethylenfolien-Umhüllung.

Die Formstücke erhalten einen Außenschutz auf bituminöser Basis, wie in DIN 19690 festgelegt.

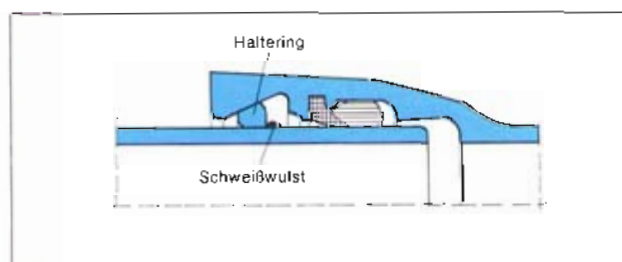


Bild 5: TYS-K-Schubsicherung

6. Verlegung

Die Verlegung duktiler Gußrohr-Leitungen für den Transport von Abwässern erfolgt nach den Richtlinien der DIN 4033 sowie nach den speziellen Verlegeanleitungen der Rohrhersteller.

Darüber hinaus werden in der Norm FGR 60 (Ausgabe Oktober 1982) [3] die wichtigsten Baugrundsätze der Rohrauflagerung und -einbettung behandelt sowie Hinweise und Lösungsvorschläge für Sonderfälle bei der Rohrverlegung, für Anschlüsse an Bauwerke und Schächte, für den Anschluß von Nebenleitungen, für den Einbau von Revisionsöffnungen mit Möglichkeiten des Anschweißens von Stutzen und Abgängen aufgezeigt. Es wird gezeigt, daß mit duktilen Gußrohren praktisch alle in Abwasserleitungen vorkommenden Aufgaben und Probleme bautechnisch sicher und schnell gelöst werden können.

7. Festigkeitsverhalten

Erdverlegte Rohrleitungen sind vielfältigen Beanspruchungen ausgesetzt, und zwar durch Einflüsse von innen und außen. Diese Belastungen muß die Rohrleitung über viele Jahrzehnte ohne Bruch aushalten.

Bei der Belastung durch Innendruck – duktile Gußrohre und Formstücke sind in DIN 19690 für den Einsatz in Abwasser-Druckleitungen bis PN 6 genormt – entstehen im Rohr Spannungen in Umfangsrichtung und – je nach Verlegeart, wie z.B. bei längskraftschlüssigen Verbindungen – auch in axialer Richtung. Um das Verhalten duktiler Gußrohre bei inneren Belastungen zu ermitteln, wurden Wasserinnendruckversuche bis zum Bersten der Rohre durchgeführt.

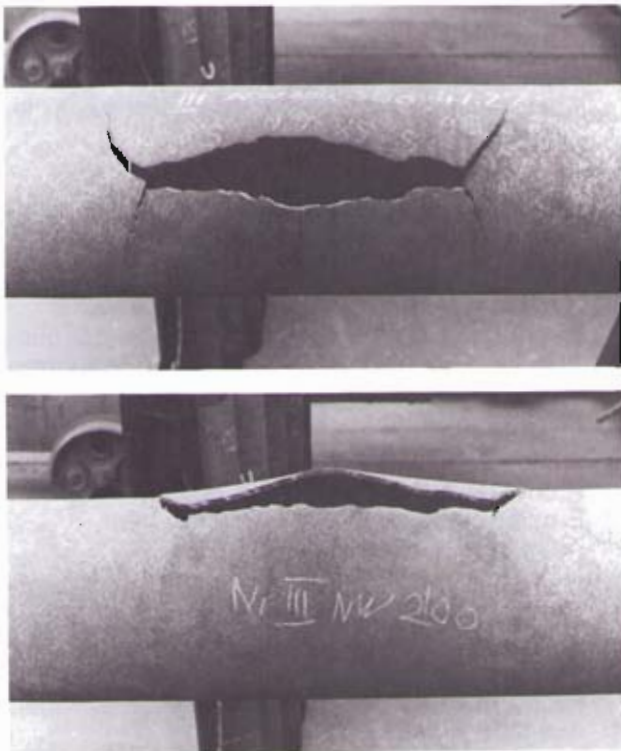


Bild 6: Berstversuch an einem duktilen Gußrohr

Bild 6 zeigt das charakteristische Berstverhalten eines duktilen Gußrohres. Auf der Vorderansicht ist die typische Rißausbildung, das heißt ein Längsriß mit kleinen Rißausläufern, zu sehen; die Seitenansicht läßt die plastischen Verformungen (sprich Aufweitungen) des duktilen Gußrohres erkennen. Die zum Bersten duktiler Gußrohre erforderlichen Innendrucke liegen in einem Bereich weit oberhalb der für Abwasser-Druckleitungen üblichen Drücke. Der Berstdruck des in Bild 6 gezeigten Rohres DN 200 lag z.B. bei 250 bar. Die Berstfestigkeit duktiler Gußrohre liegt in der Größenordnung der in DIN 19690 genormten Mindest-0,2%-Dehngrenze des Rohrwerkstoffes, nämlich bei mindestens 300 N/mm^2 .

Der Berstdruck des in Bild 6 gezeigten Rohres DN 200 lag z.B. bei 250 bar. Die Berstfestigkeit duktiler Gußrohre liegt in der Größenordnung der in DIN 19690 genormten Mindest-0,2%-Dehngrenze des Rohrwerkstoffes, nämlich bei mindestens 300 N/mm^2 .

Erdverlegte Abwasser-Druckleitungen werden außer durch innere Belastung auch noch durch äußere Lasten beansprucht, und zwar hauptsächlich durch Erd- und Verkehrslasten, die zusammen als Scheitellasten auf die Rohrleitung einwirken. Sie rufen im Rohr zusätzliche Spannungen in Umfangsrichtung hervor und verursachen Durchmesseränderungen, das heißt Verformungen des Rohres.

Das Verhalten duktiler Gußrohre unter derartigen äußeren Belastungen läßt sich durch einen Ringfaltversuch sehr anschaulich demonstrieren (Bild 7).

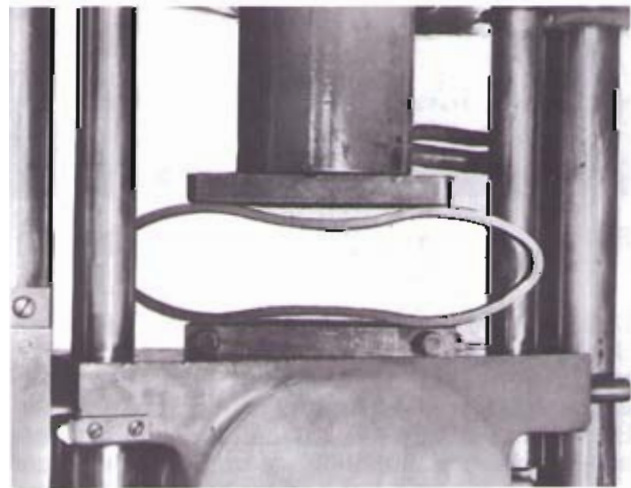


Bild 7: Abschnitt eines duktilen Gußrohres beim Ringfaltversuch

Auf dem Bild ist – neben der Belastungsanordnung – das beachtliche Verformungsvermögen duktiler Gußrohre unter Scheitelbelastung zu erkennen. Der Versuch macht deutlich, daß Brüche durch Scheitellasten an einer duktilen Gußrohrleitung ausgeschlossen sind, da derartig große Verformungen praktisch nicht auftreten können. Die Scheiteldruckfestigkeit beträgt mindestens 550 N/mm^2 .

Darüber hinaus können erdverlegte Leitungen auch noch durch andere äußere Einflüsse, wie zum Beispiel durch unsachgemäße Verlegung, Bodensenkungen oder nachträgliches Untergraben beansprucht werden, und zwar auf Längsbiegung. Die hierbei auftretenden Biegespannungen liegen, wie Berechnungen anhand eines in der Praxis häufig vorkommenden Falles ergeben haben, auch hier wiederum unter der für duktile Gußrohre zulässigen Spannung. Bild 8 zeigt das günstige Verhalten eines duktilen Gußrohres bei einem Längsbiegeversuch. Hier betrug z.B. bei einem Auflagerabstand des Rohres DN 100 von 4500 mm die maximale Durchbiegung ca. 580 mm. Die Längsbiegefestigkeit beträgt mindestens 420 N/mm^2 .

8. Anwendungsbereich

Der Anwendungsbereich duktiler Gußrohre für Abwasserkanäle und -leitungen ist in DIN 19690 und DIN 19691 geregelt. Er umfaßt den Bereich von DN 100 bis DN 2000 für Freispiegelleitungen sowie für Druckleitungen bis 6 bar Innendruck. Für Abwasser-Druckleitungen über 6 bar können duktile Gußrohre nach DIN 28600 und DIN 28610 eingesetzt werden.

Die statische Berechnung von Entwässerungskanälen und -leitungen erfolgt nach dem ATV-Arbeitsblatt A 127 [4]. Für die hydraulische Bemessung von duktilen Gußrohr-Leitungen mit Zementmörtel-Auskleidung gibt es besondere Tabellen [5].

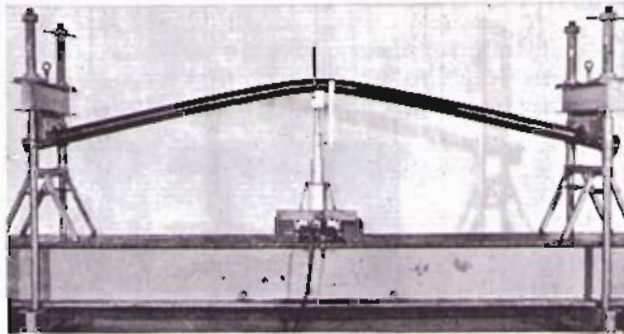


Bild 8: Duktiles Gußrohr bei einem Längsbiegeversuch

Duktile Gußrohre und Formstücke sind bisher im Bereich von DN 100 bis DN 1600 weltweit zum Einsatz gekommen, insbesondere bei Abwasser-Druckleitungen und Leitungen mit besonderen Beanspruchungen, wie z. B. Leitungen in Wasserschutzgebieten, Dükerleitungen, Steilhangleitungen, bei sehr niedrigen oder hohen Überdeckungen, in rutschgefährdeten Gebieten bzw. bei ungünstigen Bodenverhältnissen (z. B. Fels), zur Brückenentwässerung.

Beispiele für den Einsatz von duktilen Gußrohren in Abwasserleitungen sind bereits in den FGR-Informationsschriften Nr. 4, 12, 14 und 15 sowie 17 bis 19 veröffentlicht worden. Im Rahmen dieses Heftes FGR 20 wird über den Einsatz duktiler Gußrohre bei der Durchleitung von Abwasser durch Trinkwasser-Schutzgebiete berichtet.

9. Schlußbemerkung

Kurz zusammengefaßt kann aufgrund der vorstehenden Ausführungen gesagt werden, daß für den Einsatz duktiler Gußrohre und Formstücke in Abwasserleitungen u. a. folgende Tatsachen sprechen:

- Duktile Gußrohre sind aufgrund ihrer Werkstoffeigenschaften und ihres Festigkeitsverhaltens praktisch für alle Lastfälle aus Innendruck, hohen Überdeckungen oder geringen Überdeckungen mit hohen Verkehrslasten geeignet.
- Die gummigedichteten beweglichen Steckmuffen-Verbindungen sind gegen Innen- und Außendruck dicht, selbst bei Setzungen und Senkungen. Die absolute Dichtheit der Rohre und ihrer Verbindungen gibt eine große Sicherheit bei Abwasserleitungen, worauf es z. B. beim Durchqueren von Trinkwasser-Schutzgebieten besonders ankommt.
- Die Steckmuffen-Verbindung erlaubt eine einfache, schnelle und sichere Verlegung.
- Leitungen mit längskraftschlüssigen Muffenverbindungen bieten die Möglichkeit für eine optimale Trassenführung in schwierigem Gelände, wie z. B. in Steilhängen, instabilen Böden und bei Kreuzungen von Flüssen.
- Die Möglichkeit des Schweißens an duktilen Gußrohren erlaubt schnelle und preisgünstige Lösungen (z. B. für Nebenleitungen, Entlüftungen), Mauerflanschen, Kontroll- und Reinigungsöffnungen.

Schrifttum

- [1] Handbuch GUSSROHR-TECHNIK
Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre, Köln,
Ausgabe Dezember 1983
- [2] H. Nöh
Steckmuffen-Verbindungen für Rohre und
Formstücke aus duktilem Gußeisen
FGR-Informationen, Heft 18 (1983)
- [3] K. Niederländer
Besondere Hinweise und Verlegebedingungen
für Entwässerungskanäle und -leitungen
aus duktilem Gußeisen
FGR-Informationen, Heft 18 (1983)
- [4] ATV-Arbeitsblatt A 127
Richtlinie für die statische Berechnung von
Entwässerungskanälen und -leitungen
Ausgabe Dezember 1984
- [5] P. Unger
Tabellen für die hydraulische Bemessung von
duktilen Gußrohrleitungen mit Zementmörtel-
Auskleidung
Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre, Köln,
Ausgabe März 1977

Rohrleitungen im Senkungstrog. Ein Beitrag zur Anpassung linienförmiger Bauwerke an bergbauliche Bodenbewegungen

Von Friedrich Hollmann

Unter der Einwirkung des bergmännischen Abbaus bildet sich an der Geländeoberfläche eine Senkungsmulde aus. In diesem Senkungstrog wird den einzelnen Bodenteilchen durch den bergmännischen Abbau eine räumliche Bewegung aufgezwungen, die sich in die vertikale Wegkomponente Senkung und in die horizontale Wegkomponente Verschiebung zerlegen läßt. Durch längenabhängige Verknüpfung dieser Primärelemente sind alle Sekundärelemente abzuleiten (Bild 1).

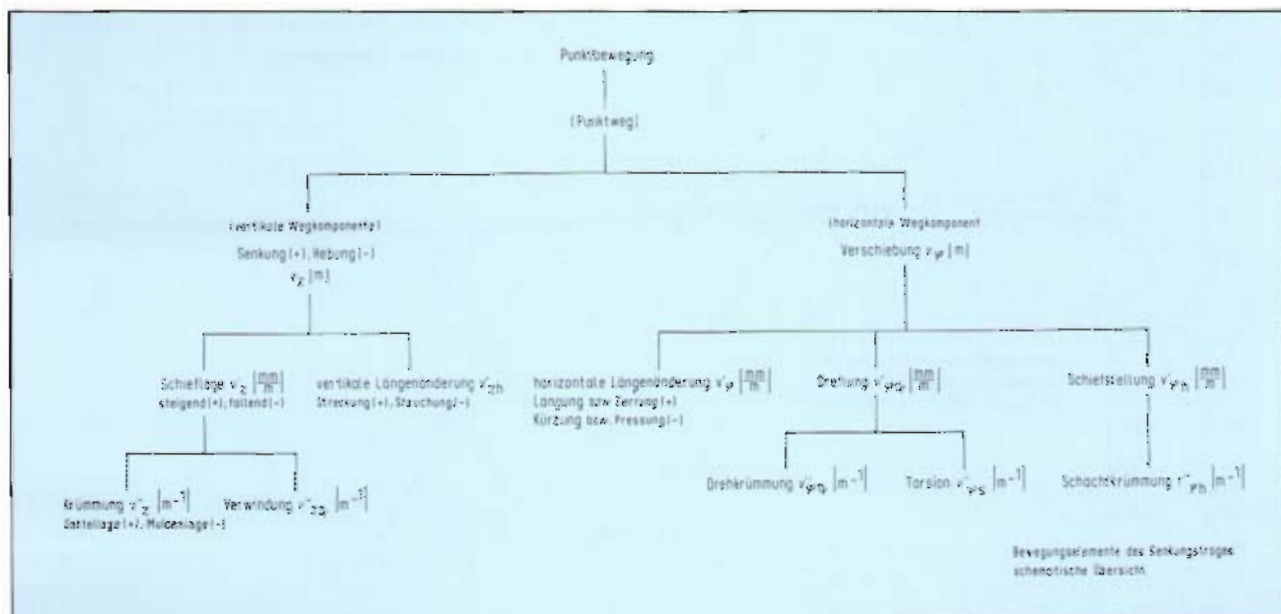
Bei den begrenzten Durchmessern und der allgemein flachen Einerdung von Rohrleitungen sind von den Bodenbewegungselementen lediglich die aus den Verschiebungen abzuleitenden horizontalen Längenänderungen (Längung, Kürzung) und die aus Krümmung und Drehkrümmung beschriebene räumliche Verkrümmung der Leitung auswirkungsrelevant. Die Größenordnung dieser Bodenbewegungselemente liegt in Ausnahmefällen bei $v_{\varphi} \sim \pm 10 \text{ mm/m}$ als obere Grenze für horizontale Längenänderungen und in Ausnahmefällen bei $r \sim \pm 3 \text{ km}$ als untere Grenze für Radien der

Krümmungen. Größenordnungen, die über diese Grenzwerte hinausgehen, weisen auf Diskontinuitäten im Senkungstrog hin. Da die gegebenen Größenordnungen der Krümmungen im allgemeinen nicht bemessungsbestimmend werden, wird darauf im folgenden nicht weiter eingegangen.

Die mehr oder weniger achsparallel gerichteten Bodenverschiebungen versuchen die Leitungen nach einem baugrundspezifischen Schlupf „mitzunehmen“. Die Reibungskraft wird vom baugrundspezifischen Reibungsbeiwert und dem quer zur Rohrleitungsachse unter Berücksichtigung der horizontalen bergbaulichen Längenänderungen wirkenden Erddruck bestimmt. Dieser Zwangsverformung versuchen sich die Leitungen durch Gleiten im Baugrund zu entziehen. Horizontale Längenänderungen quer zur Leitungsachse $v_{\varphi \perp} < -0,5 \text{ mm/m}$ können den Erddruck bis zum passiven Erddruck aufbauen, die Rohrleitungen einklemmen, das Gleiten in der Rohrgrabenverfüllung erschweren oder verhindern und dadurch örtlich Spitzen der Längsspannung σ_y aufbauen. Horizontale Längenänderungen quer zur Leitungsachse $v_{\varphi \perp} > +0,5 \text{ mm/m}$ lassen den Erddruck bis zum aktiven Erddruck absinken und begünstigen damit das Gleiten in der Rohrgrabenverfüllung.

In den Bildern 2 bis 5 ist das Verhalten der Längsspannung σ_y im Rohr für eine längskraftschlüssige und eine nichtlängskraftschlüssige Rohrleitung im Senkungstrog über die Abwicklung dargestellt. Dargestellt sind weiter die bergbauliche Bodenverschiebung VG und die dem Rohr aufgezwungene Verschiebung VR. Vereinfachend wird als Rechenmodell eine \pm geradlinig durch einen Senkungstrog mit geringem Durchmesser verlaufende Rohrleitungstrasse gewählt. Beide Leitungen sind am Trogrand zunächst jeweils durch Festpunkte begrenzt. Dieses Modell wird dann durch die Einführung von 3 „vollständigen“ bzw. „unvollständigen“ Festpunkten im Senkungstrog, womit die durch Richtungsänderungen, Verzweigungen und andere Rohrleitungselemente unterschiedli-

Bild 1: Bewegungselemente des bergbaulichen Senkungstroges (Bild 1 aus [1])



chen Verdübelungen mit dem Baugrund simuliert werden, an wirklichkeitstreuere Verhältnisse angepaßt.

In dem angenommenen stetigen Modelltrog treten horizontale Längenänderungen $-10 \text{ mm/m} < v'_{\phi} < +10 \text{ mm/m}$ auf (= Anstieg der Bodenverschiebungskurve VG in den Bildern 2 bis 5). Die Berechnung erfolgte nach dem Verfahren Meißner [4] mit dem EDV-Programm der Westfälischen Berggewerkschaftskasse [2].

Bild 2 zeigt das geplottete Rechenergebnis für eine längskraftschlüssige Rohrleitung ohne Festpunkte im Senkungstrog. Als Modell liegt der Berechnung eine stumpfnahgeschweißte Stahlleitung St 37, DN 200, PN 1, mit einer Wanddicke von 4,5 mm zugrunde.

Auf der Grundlage der Vergleichsspannungen nach der Hypothese der konstanten Gestaltänderungsarbeit ergeben sich zulässige Längsspannungen $-150 \text{ N/mm}^2 < \sigma_y < +150 \text{ N/mm}^2$. Aus dem Ergebnis für das Beispiel „vollständige“ Festpunkte am Trogrand ergibt sich, daß die errechneten Spannungen einen großen Abstand von den zulässigen Längsspannungen haben. In Wirklichkeit treten aber in den meisten Fällen zwischen Festpunkten und der Rohrgrabenverfüllung Relativverschiebungen in der Größenordnung von wenigen Zentimetern auf, die für das Rohr selbst nur zu unschädlichen Zwängungen führen, Spannungsspitzen an der Einspannstelle aber nicht entstehen lassen. Die sich für solche „unvollständigen“ Festpunkte ergebende Kurve der Längs-

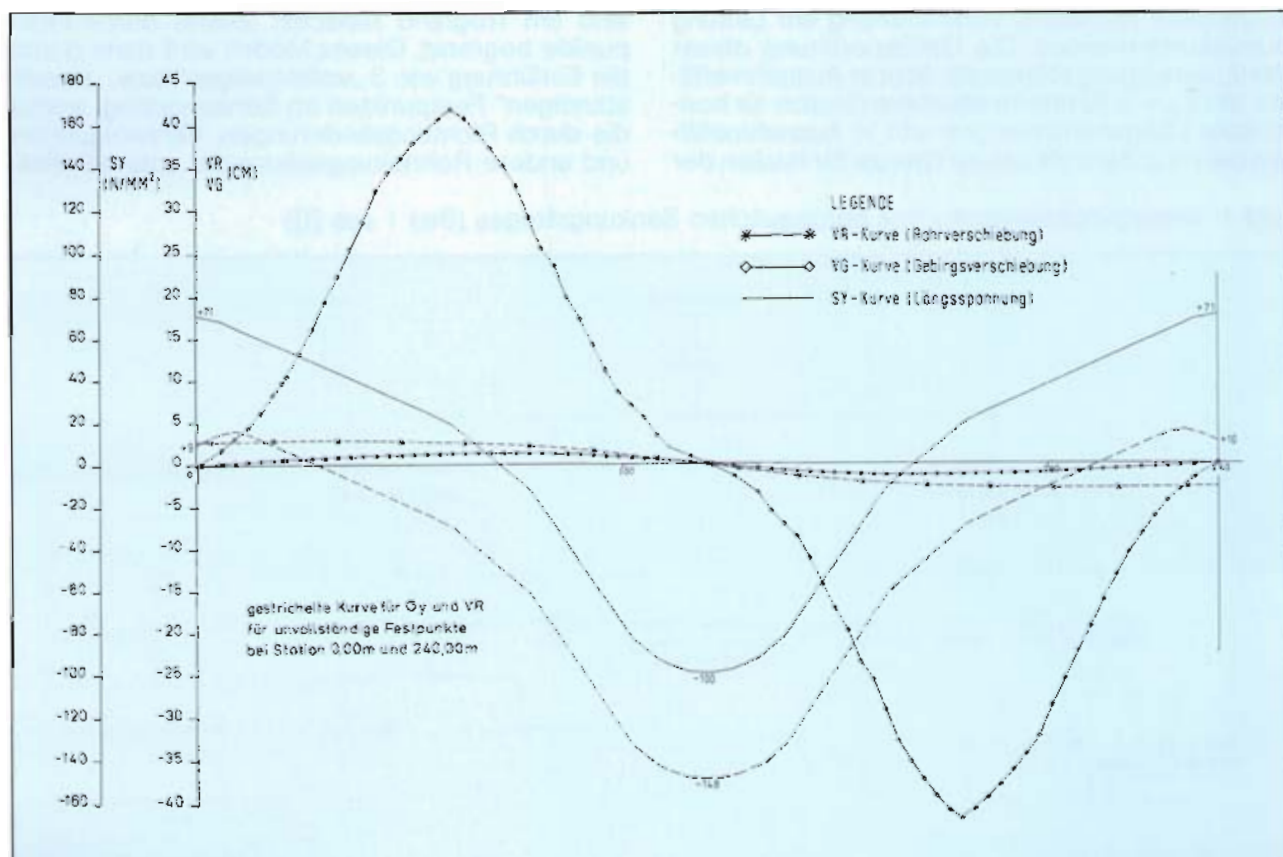
spannung zeigt, daß sich der Abstand im Zugbereich auf das 15fache erhöht, während im Druckbereich die zulässige Längsspannung fast erreicht wird. In der Praxis ist eine solche Leitung als den Bedingungen des Senkungstrog angepaßt anzusehen.

Sobald man aber im Senkungstrog selbst mehr oder weniger vollständige Verdübelungen der Leitung in der Rohrgrabenverfüllung einführt, wie dies bei Verteilerleitungen für Gas und Wasser allgemein die Regel ist, kann eine solche Leitung nicht mehr als angepaßt gelten. Bild 3 zeigt das geplottete Rechenergebnis für eine Leitung mit 3 Festpunkten im Senkungstrog.

Bei der Einführung „vollständiger“ Festpunkte treten im Zugbereich Spannungen auf, die die zulässigen Längsspannungen um das 9fache übersteigen. Auch die wirklichkeitstreuere Einführung „unvollständiger“ Festpunkte bringt nur eine unwesentliche Entlastung. Eine derartige Rohrleitung bedarf zur Anpassung an die bergbauliche Zwangsverformung besonderer Sicherungsmaßnahmen durch den Einbau von Längenänderungsausgleichselementen.

Bild 4 zeigt das Verhalten einer solchen dehnergesicherten Rohrleitung für das – gegenüber dem Beispiel mit „unvollständigen“ Festpunkten – nur wenig ungünstigere Beispiel mit „vollständigen“ Festpunkten. Der Vergleich mit Bild 3 zeigt, daß nach Überschreiten eines Widerstandes von 20 N/mm^2 in den eingeführten Dehnern [3] das Gleiten der Rohrleitung einsetzt, sich die Leitung

Bild 2: Längskraftschlüssige Rohrleitung ohne Festpunkte im Senkungstrog, mit „vollständigen“ und „unvollständigen“ Festpunkten am Trogrand



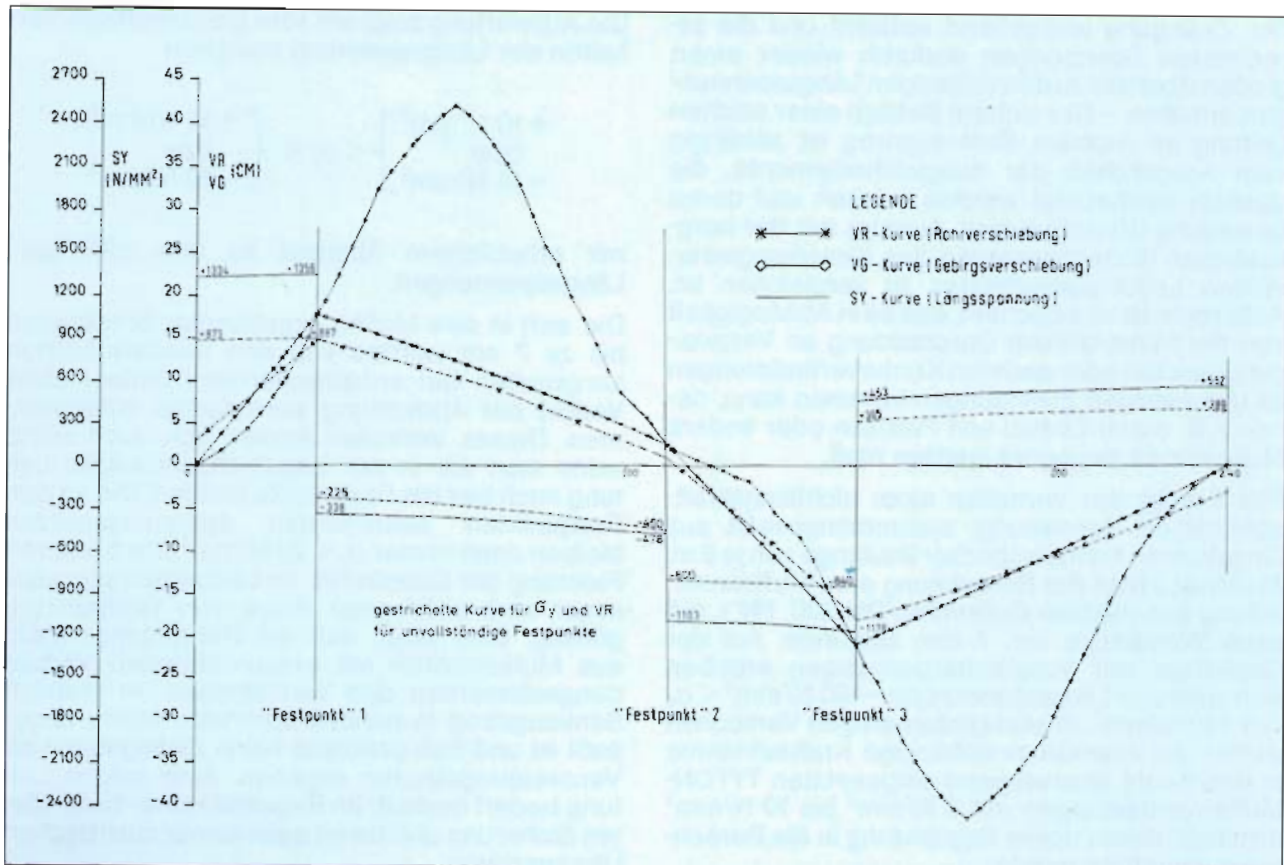
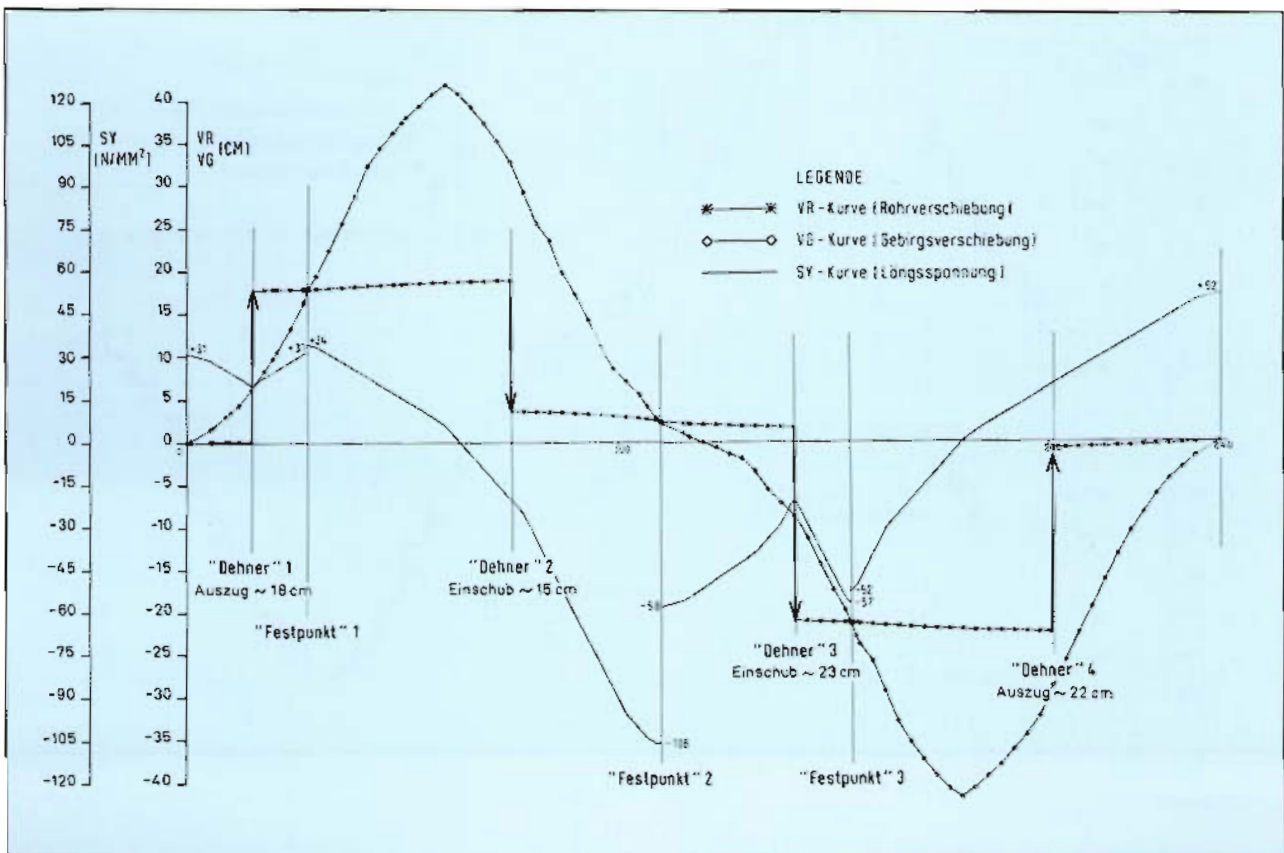


Bild 3: Längskraftschlüssige Rohrleitung mit „vollständigen“ und „unvollständigen“ Festpunkten im Senkungstrog und am Trogrand

Bild 4: Längskraftschlüssige Rohrleitung mit „vollständigen“ Festpunkten im Senkungstrog und am Trogrand sowie Längenänderungs-Ausgleichselementen



der Zwängung weitgehend entzieht und die errechneten Spannungen dadurch wieder einen großen Abstand zu den zulässigen Längsspannungen erhalten. – Der sichere Betrieb einer solchen Leitung im mobilen Senkungstrog ist abhängig vom Ansprechen der Ausgleichselemente, die deshalb beobachtet werden müssen und deren Bewegung (Einschub bzw. Auszug) mit der bergbaulichen Bodenbewegung des einwirkungsrelevanten Leitungsabschnittes zu vergleichen ist. Außerdem ist zu beachten, daß es in Abhängigkeit von der konstruktiven Durchbildung an Verzweigungsknoten oder anderen Konturveränderungen zu unzulässigen Zwängungen kommen kann, denen z.B. durch Einbau von Polstern oder andere Maßnahmen begegnet werden muß.

Bild 5 zeigt das Verhalten einer nichtlängskraftschlüssigen Rohrleitung, zusammengesetzt aus Einzelrohren handelsüblicher Baulänge von je 6 m. Als Modell liegt der Berechnung eine Muffenrohrleitung aus duktilen Gußrohren DN 200, PN 1, mit einer Wanddicke von 7 mm zugrunde. Auf der Grundlage der Vergleichsspannungen ergeben sich zulässige Längsspannungen $-190 \text{ N/mm}^2 < \sigma_y < +190 \text{ N/mm}^2$. In stichprobenartigen Versuchen wurde die Innendruck-abhängige Kraftaufnahme in den heute überwiegend eingesetzten TYTON-Muffenverbindungen mit 3 N/mm^2 bis 10 N/mm^2 ermittelt, deren obere Begrenzung in die Berechnung eingeführt wurde.

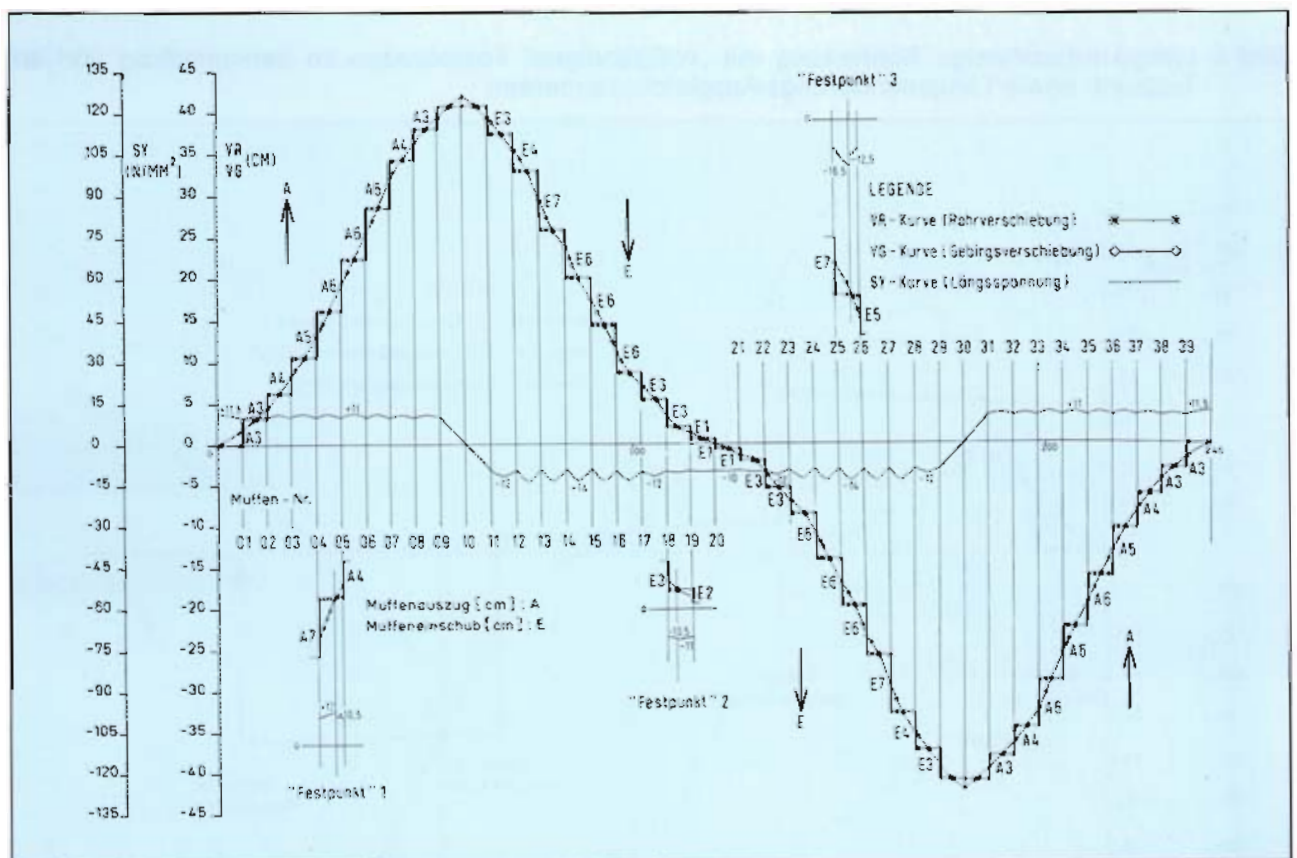
Die Auswertung zeigt ein sehr gleichmäßiges Verhalten der Längsspannung zwischen

$$\left. \begin{array}{l} +10 \text{ N/mm}^2 \\ \text{bzw.} \\ -14 \text{ N/mm}^2 \end{array} \right\} < \sigma_y < \left[\begin{array}{l} +14 \text{ N/mm}^2 \\ \text{bzw.} \\ -10 \text{ N/mm}^2 \end{array} \right.$$

mit erheblichem Abstand zu den zulässigen Längsspannungen.

Die sich in den Muffen ergebenden Schubwege bis zu 7 cm werden von den handelsüblichen Langmuffen bei entsprechendem Einbau ohne Verlust der Abdichtung wartungsfrei aufgenommen. Dieses Verhalten ändert sich auch nicht, wenn man wie in der längskraftschlüssigen Leitung auch hier die Festpunkte einführt. Die an den Festpunkten auftretenden Spannungsspitzen bleiben dann immer $\sigma_y < 20 \text{ N/mm}^2$. Zur besseren Fixierung der Einzelrohre im Leitungsstrang wäre sogar eine sehr enge Folge von Festpunkten günstig. Dies zeigt, daß ein Rohrleitungsstrang aus Muffenrohren mit entsprechenden Verbindungselementen den Verhältnissen im mobilen Senkungstrog in nahezu optimaler Weise angepaßt ist und sich praktisch keine Zwängungen an Verzweigungsknoten ergeben. Eine solche Leitung bedarf deshalb im Regelfall keiner besonderen Sicherung und damit auch keiner zusätzlichen Überwachung.

Bild 5: Nichtlängskraftschlüssige Rohrleitung mit und ohne Festpunkte im Senkungstrog



Schrifttum

- [1] J. Chilian, F. Hollmann und H. Spickernagel
Beitrag zur systematischen Gliederung der Bewegungselemente und Diskontinuitäten des Senkungstrog, Randbedingungen für das Wechselspiel Baugrund-/Bauwerksverhalten unter bergbaulicher Zwangsverformung
Mitteilungen der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, Heft 37 (Baugrundverhalten in Bergbaugebieten I), Bochum 1983, 57-132
- [2] F. Hollmann
Rohrleitungen unter bergbaulicher Einwirkung. Stand der Kenntnis – offene Probleme
Das Markscheidewesen 90 (1983), 203-208
- [3] F. Hollmann und H. Meißner
Beobachtungen am Rohr und im Baugrund der Teststrecke Rungenberg in Gelsenkirchen-
Buer im Rahmen des RAG Forschungsvorhabens „Spannungsverhalten eingeeerdeter Rohrleitungen in Bergbaugebieten“. Vergleich mit den geodätischen Meßergebnissen, Endauswertung
Mitteilungen der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, Heft 44 (Eingeeerdete Rohrleitungen in Bergbaugebieten II), Bochum 1982, 61-152
- [4] H. Meißner
Vorausberechnung des Spannungsverhaltens eingeeerdeter Rohrfemleitungen im Senkungstrog
Mitteilungen der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, Heft 32 (Eingeeerdete Rohrleitungen in Bergbaugebieten I), Bochum 1978, 30-182

Einsatzmöglichkeiten wärmeschrumpfender Umhüllungs- materialien in Rohrnetzen aus duktilen Gußrohren und Formstücken

Von Dieter Opitz und Rudolf Schluchtmann

Werkseitig aufgebrachte Umhüllungen schützen im allgemeinen den Rohrschaft einschließlich der Muffenaußenform. Für Muffen- und Flanschverbindungen sowie für die vielfältigen Konstruktionsformen, die in Rohrnetzen vorkommen, sind besondere Schutzsysteme erforderlich.

Diese sollen applikationsangepaßt, einfach in der Handhabung, möglichst fehlerfrei anwendbar und wirtschaftlich in der Lagerhaltung sein.

Der folgende Bericht befaßt sich mit der Isolationstechnik mit strahlungsvernetzten, wärmeschrumpfenden Produkten aus Kunststoff.

Es soll dabei erklärt werden, was die Strahlungsvernetzung bewirkt, welche material- und produktspezifischen Kriterien bei der Auswahl eine Rolle spielen und welche anwendungstechnischen Erfahrungen vorliegen.

Strahlungsvernetzung von Kunststoffen

Bei der Vernetzung von Kunststoffen werden zweidimensionale Molekülfäden zu einem dreidimensional vernetzten Maschenwerk verbunden (Bild 1).

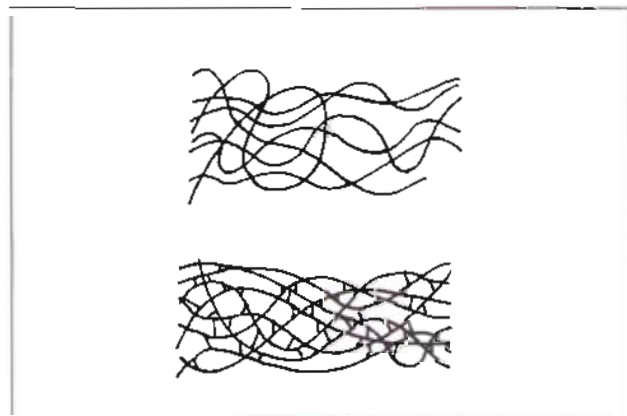


Bild 1: Strukturschema von Polyethylen unvernetzt – oben; vernetzt – unten

Polymere Kunststoffe verändern sich durch Behandlung mit einer nach Zeit und Intensität genau dosierten hochenergetischen Elektronenbestrahlung in ihrer Molekularstruktur.

Bei der Bestrahlung von Polyolefinen (z.B. Polyethylen) werden H-Atome frei und entweichen als Gas (H_2). Die freien Valenzen am Kohlenstoff verbinden sich miteinander zwischen den einzelnen Molekülfäden und schaffen so ein unimolekulares dreidimensionales Netzwerk (Bild 2).

Strahlungsvernetzte Kunststoffe, besonders wenn sie speziell mit Stabilisatoren formuliert werden, weisen folgende technisch bedeutsamen Eigenschaften auf:

1. Die Beständigkeit gegen aggressive Medien ist erhöht. Sie sind in hohem Maße chemisch beständig gegen Öle, Säuren, Laugen, aggressive Erden, Ozon und ultra-violette Strahlung.
2. Die Kaltflußbeständigkeit: Das Material ist unter mechanischer Belastung weitestgehend kriechbeständig.
3. Die Alterungsbeständigkeit ist erhöht.
4. Die Versprödung wird reduziert.
5. Unschmelzbar bis zum pyrolytischen Zerfall; durch die Vernetzung reagieren Polyolefine wie Elastomere. Dieses Elastomerverhalten gibt dem Kunststoff ein sogenanntes elastisches Formgedächtnis, das man konstruktiv nutzen kann.

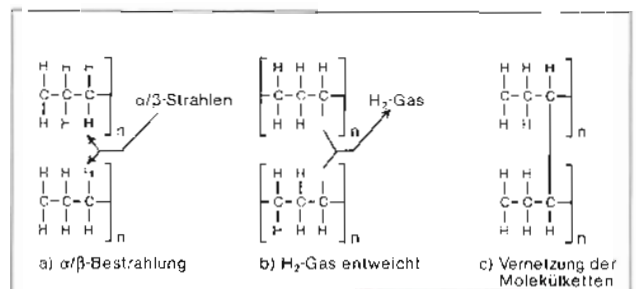
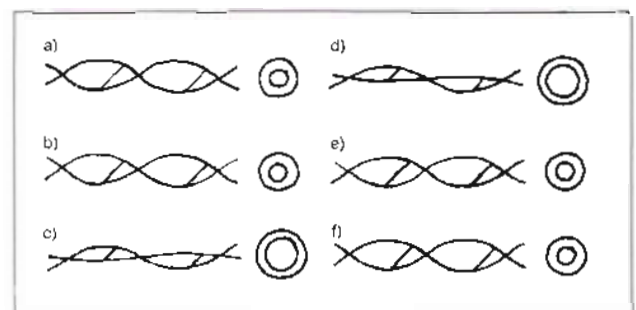


Bild 2: Dreidimensionales Netzwerk

Elastisches Formgedächtnis

Bei einer Temperatur, die über der Schmelztemperatur des unvernetzten Kunststoffes und unter $350^\circ C$ liegt (Bild 3 b), ist das Materialgefüge in solchem Maße elastisch, daß man entsprechend geformte Teile unter bestimmten Voraussetzungen um mehr als 400% aufweiten kann (Bild 3 c). Kühlt man sie in geweitetem Zustand ab, so wird die expandierte Form durch Bildung kristalliner Zonen „eingefroren“ (Bild 3 d). Bei erneuter kurzer Erwärmung über den Umwandlungspunkt weichen die kristallinen Zonen auf (Bild 3 e), die eingefrorenen

Bild 3: Formverhalten von vernetztem Polyethylen



Radialspannungen werden frei und „schrumpfen“ das Teil in die Form und Größe zurück, die es vor dem Aufweiten hatte. Nach Abkühlung auf Raumtemperatur bilden sich wieder die kristallinen Zonen (Bild 3 f); das Material entspricht dann im Molekulargefüge seinem ursprünglichen Zustand (Bild 3 a).

Wird ein solcher Schrumpfschlauch auf der Innenseite mit einem Dichtungskleber beschichtet, kann er als einfach zu installierende Isolation in vielen Bereichen eingesetzt werden.

Qualitätseigenschaften der strahlungsnetzten, wärmeschrumpfenden Korrosionsschutzprodukte aus Kunststoff

Die Qualitätsanforderungen, welche an den bauteilspezifischen Korrosionsschutz von Rohrverbindungen gestellt werden, sind in der DIN 30672 „Umhüllungen aus Korrosionsschutzbinden und Schrumpfschläuchen für erdverlegte Rohrleitungen“ festgelegt.

Die DIN sieht eine Klassifizierung nach verschiedenen Beanspruchungsarten vor. Strahlungsnetzten, wärmeschrumpfende Korrosionsschutz-Erzeugnisse aus Kunststoff erfüllen durch geeignete Materialauswahl und die zugeordnete Kleberbeschichtung die Anforderungen dieser DIN-Norm in den verschiedenen Beanspruchungsklassen, was durch entsprechende DIN-DVGW-Registrier-Nummern belegt ist.

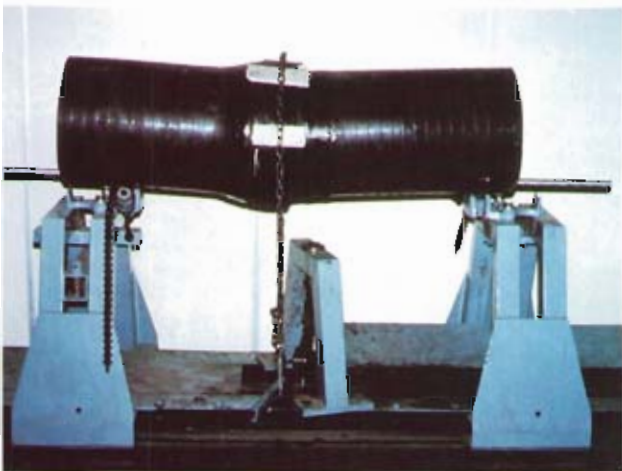


Bild 4: Auswinkelungsversuch

Neben der kontinuierlichen Qualitätskontrolle, entsprechend den Anforderungen der DIN-Norm (wie Schälfestigkeit, Eindruckfestigkeit, Umhüllungswiderstand usw.), werden Laborversuche durchgeführt, welche praxisnahe Beanspruchungen simulieren. Die Funktionstüchtigkeit der Schrumpfprodukte wird z.B. in Auswinkelungsversuchen (Bild 4) nachgewiesen. Darüber hinaus wird das Verhalten der Isolationsprodukte im Erdschubversuch geprüft (Bild 5). Bei diesem Versuch werden Verkehrslasten, Bewegungen im Erdreich, wie z.B. durch Bergsenkung hervorgerufen, in der Weise simuliert, daß ein Rohrprüfling in einem Sandbett mit einer definierten Erdlast in Achsrichtung verschoben wird. Die Anzahl der Zyklen bis

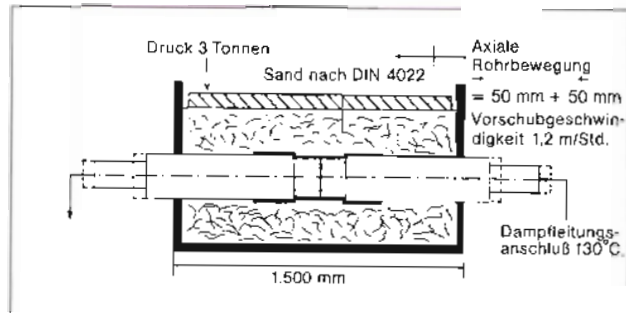


Bild 5: Erdschubprüfanlage

zur Beschädigung der Isolation stellen einen Parameter für die Isoliergüte dar.

Das Langzeitverhalten der Produkte wird nach dem Arrhenius-Verfahren geprüft.

Eine Beständigkeit der Schrumpfmuffen aus strahlungsnetzten Kunststoffen von über 50 Jahren ist sichergestellt.



Bild 6: Schutz einer Flanschverbindung

Einsatzbereich wärmeschrumpfender Korrosionsschutzprodukte

Bei der Auswahl des geeigneten Umhüllungsmaterials sind die durch den Anwendungsfall bedingten Anforderungen und Beanspruchungen zu beachten.

Es ist zunächst festzustellen, welche Beanspruchungsklasse nach DIN 30672 erreicht werden soll. Ferner spielt die äußere Form und die Wirkungsweise der Verbindungsart – starre Verbindung, wie z.B. Flansche (Bild 6), oder bewegliche Verbindung, wie z.B. TYTON-Muffen-Verbindung (Bild 7), – bei der Materialauswahl eine entscheidende Rolle. Die Klärung der nachstehend gestellten Fragen bestimmt die generellen Unterscheidungsmerkmale bei der Materialauswahl der Isolierungen:

- Produktabmessung und -form
- Schrumpfvermögen
- Kleberbeschichtungsart

Die wärmeschrumpfenden Isolationserzeugnisse werden in verschiedenen Ausführungen hergestellt. Anfangs wurden ausschließlich geschlossene Schläuche und nennweitenabhängige geteilte Manschetten eingesetzt.

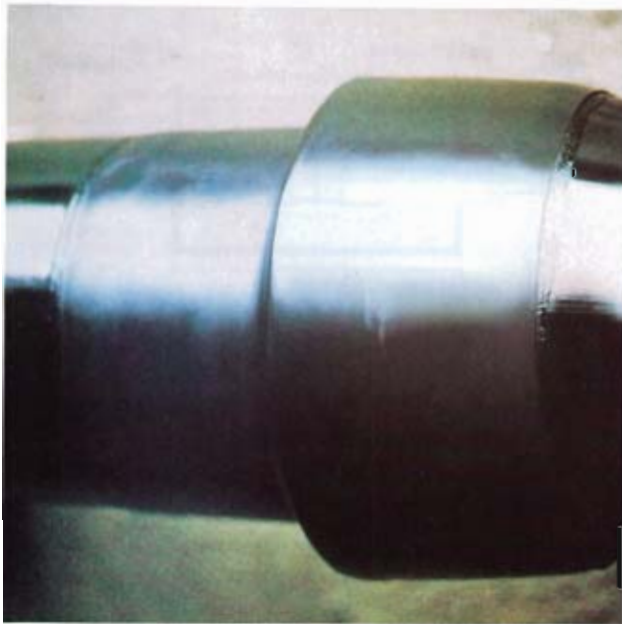


Bild 7: Schutz einer TYTON-Verbindung

Mit der Entwicklung des wärmeschrumpfenden Bandmaterials und eines geeigneten Verschlusssystems, welches ein baustellengerechtes Verbinden des Bandes zu einer geschlossenen Manschette zuläßt, wurden auch die letztgenannten Forderungen nach wirtschaftlicher Lagerhaltung und Einsetzbarkeit erfüllt. Die Verträglichkeit der strahlungsvernetzten Korrosionsschutzprodukte mit handelsüblichen Rohraußenbeschichtungen

Bild 8: Mehrfachbeschichtung



(z.B. PE- oder ZM-Umhüllung) ist mittels DIN-DVGW-Prüfung nachgewiesen.

Durch die Entwicklung neuer Produkte und Techniken sind heute nahezu sämtliche Korrosionsschutzprobleme im Rohrnetz mit der Schrumpftechnik zu lösen.

Für den Bereich der beweglichen Muffenverbindung wurde eine Isolierung entwickelt, die sowohl in der Lage ist, die unterschiedlichen Durchmesserbereiche von Muffe zu Einsteckende sauber zu umhüllen, als auch Abwinkelbarkeit und Längsbewegung der Muffe mit Hilfe eines speziell für diesen Anwendungsfall formulierten Klebers in vollem Umfang zuzulassen.

Die beschriebenen Kriterien werden sowohl von dem geschlossenen Schrumpfschlauch als auch vom wärmeschrumpfenden Bandmaterial (Schrumpfmanschette von der Rolle) erfüllt. Während der Schrumpfschlauch bereits vor der Montage der Rohrverbindung aufgeschoben werden muß, wofür entsprechender Platz im Rohrgraben vorzusehen ist, wird das Bandmaterial erst un-



Bild 9: Schutz einer TYS-Verbindung

mittelbar beim Isolieren auf das Rohr aufgebracht. Das wärmeschrumpfende Bandmaterial ist nennweitenunabhängig einsetzbar, was eine wirtschaftliche Lagerhaltung sicherstellt. Entsprechend der jeweiligen Rohrgröße wird die Manschette abgelängt, einlagig um das gereinigte und auf ca. 40°C vorgewärmte Rohr gelegt und bauseits, mittels einer Verschlussblase, zu einem geschlossenen Schlauch verbunden. Der nachfolgende Schrumpfvorgang ist prinzipiell bei allen wärmeschrumpfenden Korrosionsschutzzeugnissen gleich. Durch Wärmezufuhr wird der Schrumpfvorgang eingeleitet. Die werkseitig eingebrachte Kleberbeschichtung schmilzt dabei auf. Der Anpreßdruck der Schrumpfkraft bewirkt eine gleichmäßige Benetzung des erweichten Kle-



Bild 10: Schutz eines Anschweißstutzens

bers auf der Oberfläche des Bauteiles. Applikationsabhängig angepaßte Kleberbeschichtungen stellen sicher, daß entsprechende Anforderungen nach hoher Schäl- oder Scherfestigkeit, guten Fülleigenschaften bei Unebenheiten und Hohlräumen, Dauerelastizität etc., erfüllt werden. Dabei ist auch den unterschiedlichen Bedingungen von der werksseitigen Rohraußenbeschichtung, wie z.B. PE- oder ZM-Umhüllung, Rechnung zu tragen. Es gibt anwendungsspezifische Fälle, bei denen sich

die Anforderungen in sich widersprechen, wo z.B. einerseits eine hohe Scherfestigkeit, andererseits Dauerelastizität verlangt wird. Mittels Mehrfachbeschichtung in einer Manschette wird diese Aufgabenstellung gelöst (Bild 8).

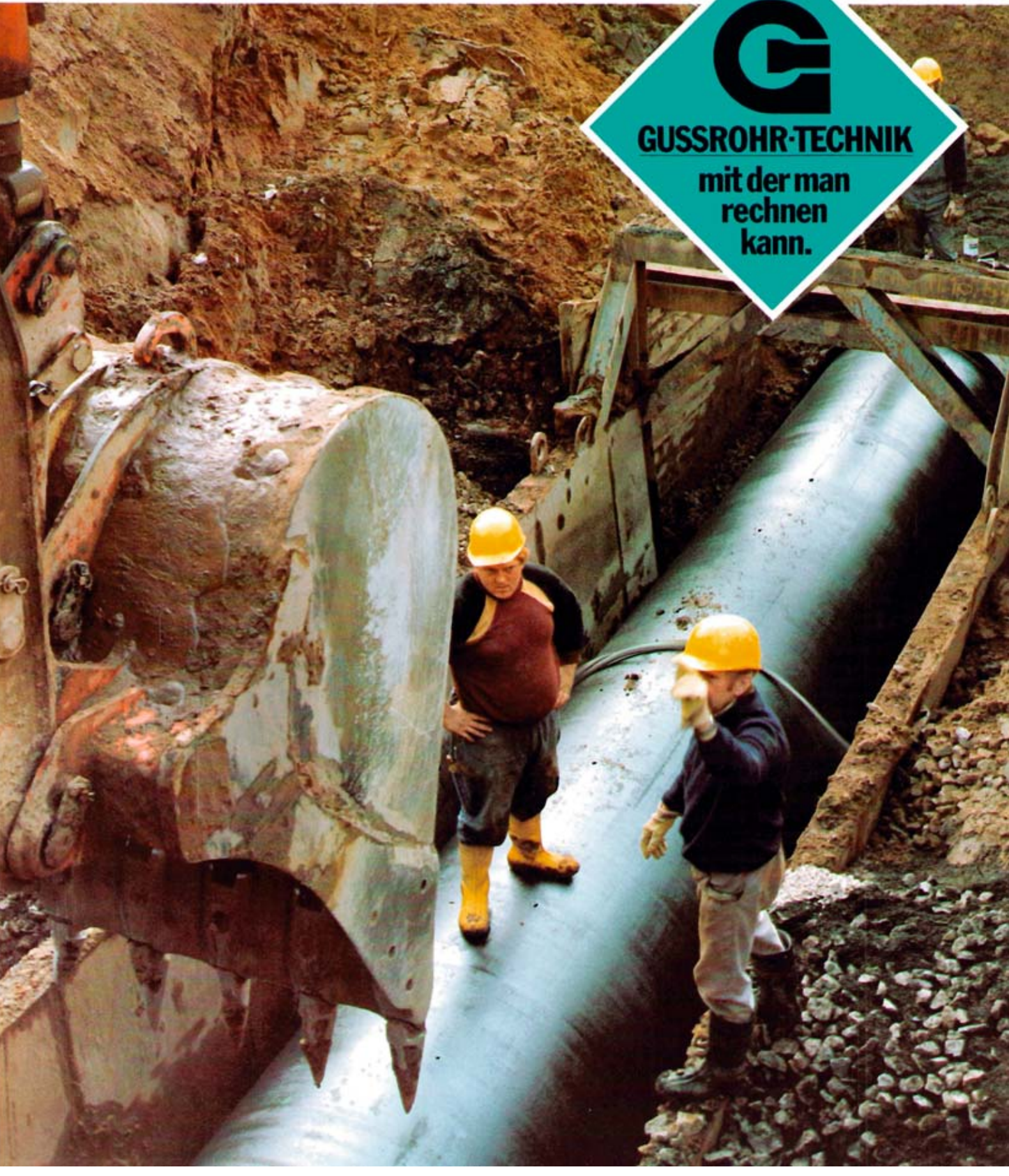
Mittels der Schrumpftechnik lassen sich auch kompliziert geformte Bauteile, wie TYS-Verbindungen (Bild 9), T-Abzweige (Bild 10), Flansche (Bild 6) etc. problemlos und sicher schützen.

Wie die abgebildeten Beispiele zeigen, sind unterschiedliche Umhüllungstechniken mit wärmeschrumpfenden Produkten, je nach Einsatzbedingungen und Anforderungen, möglich.

In der Abbildung der Isolation einer TYS-Verbindung (Bild 9) wird ein neues Verschlusssystem vorgestellt, welches durch neue Materialentwicklungen ermöglicht wird. Sie dienen der Montageerleichterung insofern, als es sich um eine allgemein gebräuchliche Verschlusmethode handelt, die keine speziellen Kenntnisse und Fertigkeiten erfordert.

Schlußbemerkung

Wie die angeführten Produkt- und Anwendungsbeispiele belegen, führen diese Entwicklungen zu Montageerleichterungen mit einem in sich geschlossenen Produktsystem.



GUSSROHR-TECHNIK

mit der man
rechnen
kann.