

FGR (22)

GUSSROHR-TECHNIK



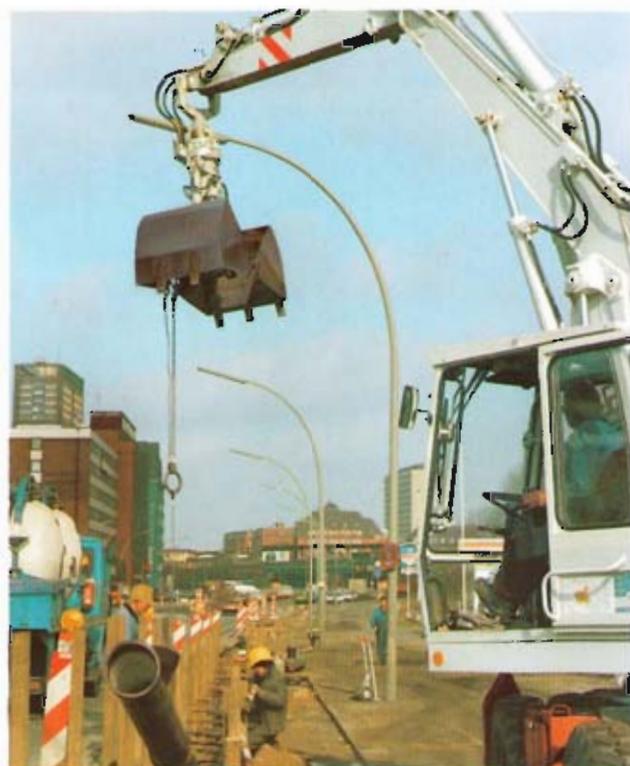
**Informationen
für das Gas- und Wasserfach**

INHALT

Impressum	Seite 3
Neubau der Wartberg-Wasserleitungen Dipl.-Ing. Rudolf Milke	Seite 4
Ausbau einer zentralen Wasserversorgung in einer ländlichen Flächengemeinde Dipl.-Verwaltungswirt Josef Schmitz	Seite 15
Das Trinkwassertransportleitungssystem des Wasserbeschaffungsverbandes Lüdenscheid Dipl.-Ing. Ernst Otto Brucke Ing. Ralf Pittius	Seite 19
Einziehen einer 300 m langen duktilen Wasserleitung DN 250 in eine vorhandene Graugußrohrleitung DN 400 Erwin Frank	Seite 24
Die Trinkwasserversorgung im Raum Würzburg Dipl.-Ing. Helmut Wagner	Seite 27
Das CARIX-Verfahren zur Enthärtung von Trinkwasser Dr.-Ing. habil. Wolfgang H. Höll Dipl.-Ing. Wolfgang Kretzschmar Dipl.-Verwaltungswirt Bernd Steeb	Seite 36
Ersatzbau einer Abwasserdruckleitung aus duktilen Gußrohren DN 700 und DN 600 Dipl.-Ing. Thomas Morszeck	Seite 43
Duktile Gußrohre für die Fernwärmeversorgung – Verlegung der Fernwärmeschiene Saar-West Dr.-Ing. Hansgeorg Hein Horst Steinmetz	Seite 46
Untersuchungen an wärmedämmten kompensierenden Gußrohren „System WKG“ für Fernwärmeleitungen Dr.-Ing. Hansgeorg Hein	Seite 51
Bildnachweis	Seite 60

Titelbild:

Verlegen einer Abwasserleitung aus duktilen Gußrohren DN 300 im großstädtischen Bereich



Einseitigkeit nicht gefragt!

Wenn man sich die verschiedenen Verlegeobjekte ansieht, über die wir in diesem Heft berichten, so kann man eines mit Sicherheit feststellen: Keines ist wie das andere! Und das gilt nicht nur für dieses Heft, sondern dieses Bild zieht sich wie ein roter Faden durch alle Ausgaben von der Nummer 1 an. Gewiß, über die alltäglichen Objekte schreibt man keinen Artikel; aber selbst dann bliebe immer noch die Erkenntnis, daß Leitungsplanung und Leitungsbau natürlich den Fachmann, aber den mit dem universell und flexibel denkenden Kopf erfordern.

Das schließt nicht aus, daß man die Fachleute aus anderen Fachgebieten zu Rate zieht, z. B. die Geologen bei der Planung der Wartbergleitung (Seite 4), die Chemiker beim CARIX-Verfahren (Seite 36), die Raumplaner bei den Verbundleitungen im Raum Würzburg (Seite 27) oder auch die Rohrhersteller bei der Entwicklung geeigneter Rohre für Fernwärmeleitungen (Seite 46). Aber verstehen muß man sie schon können, und ihre Ergebnisse umzusetzen in den Leitungsbau-Problemkreis muß man schon fähig sein.

Gußrohre helfen dabei; die Vielfalt ihrer

Belastungsfähigkeiten macht sie anpassungsfähig an praktisch jeden Anwendungsfall. So ist es auch gar nicht verwunderlich, daß bei Leitungen mit besonders hohen oder ungewöhnlichen Anforderungen an das Rohrmaterial meistens Gußrohre verwendet werden. Wobei man hinzufügen muß, daß die Leitungen ohne besondere Anforderungen immer seltener werden. Dafür sorgen allein schon die zunehmenden umweltspezifischen Auflagen.

Nun gut, die Ansprüche an Leitungsmaterial wie Leitungsplaner und -bauer steigen. Na und?

Was Fachleute und Rohrmaterial so alles zu leisten vermögen, das zeigt sich beim

Überlisten von Erdbewegungen am Hang

Dabei galt es, bei einer hangabwärts laufenden Leitung mit Setzungen und Rutschungen fertig zu werden. Alte Grabungen, Hohlwege u. ä. führten zu den



Setzungenbewegungen, eine diagonal verlaufende Eiszeitrinne zu den Rutschungen. Der Aufsatz beschreibt ausführlich die Ermittlung der Ursachen für die Bodenbewegungen und die Ermittlung der bestmöglichen Lösung für die Leitung. Man entschied sich für ein Unterfahren der Rinne im Vorpreßverfahren. Seite 4

Guß-in-Guß-Relining

Eine alte Leitung DN 400 stand zur Erneuerung an. Eine Aufgrabung an dieser Stelle hätte große Kosten verursacht; andererseits genügte für die Leitung aber DN 250. Zudem verlief die alte Leitung

schnurgerade. So entschloß man sich, die neue Leitung einzuziehen. Ob und wie das klappte, lesen Sie ab Seite 24

Weiches Wasser

Härtereduzierung von 30° auf 16°, Sulfat-reduzierung auf 20 %, und das bei Betriebsmittelkosten von DM 0,15/m³ — drei typische Werte, die sich bei der Wasseraufbereitung nach dem CARIX-Verfahren ergeben.



Zugegeben, in diesem Beitrag geht es um viel Chemie und wenig Gußrohre, aber wir sind sicher, daß ein solcher Bericht für unsere Leser hochinteressant ist. Schließlich wirkt sich beispielsweise der geringere Kalkgehalt ja auch auf die Rohrleitungen aus. Seite 36

IMPRESSUM

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

Erscheinungsweise:
jährlich

Copyright:
Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre
Nachdruck mit Quellenangabe erlaubt
Belegexemplar erbeten

Druck:
Druckhaus Lübbecke, Bergisch Gladbach März 1987

Neubau der Wartberg-Wasser- leitungen

Von Rudolf Milke

Geologie

Das Heilbronner Becken wird auf seiner Ostseite begrenzt durch die Ausläufer der Löwensteiner Berge. Diese erstrecken sich in einer Höhe von rd. 300 m über NN vom Süden her um den Osten Heilbronn herum und enden im Nordosten mit dem Wartberg (309 m über NN), einem markanten Wahrzeichen der Stadt und rd. 150 m hoch über der Talebene (Bild 1).

Der obere Abschluß dieses Bergrückens wird von einer ca. 20 m mächtigen Schilfsandsteinschicht gebildet.

Darunter steht Gipskeuper an zwischen 280 m über NN bis ca. 145 m über NN in sehr unterschiedlicher Ausbildung.

Im Auslaufbereich des Hangfußes auf ca. 210 m über NN liegen – durch Bohrungen nachgewie-

sen – Löß und Neckarflussschotter in Mächtigkeiten bis zu 10 m und mehr (heutige Flußsohle auf ca. 148 m über NN).

Der Grenzdolomit wird im Heilbronner Becken bei ca. 140 m über NN angetroffen.

Diesem geologischen Aufbau entsprechend stellt sich auch die Oberflächennutzung des Berghanges dar.

Der den Bergrücken bedeckende Wald erstreckt sich herunter bis zur Untergrenze des Schilfsandsteins bei ca. 280 m über NN. Dem folgt im Bereich des Gipskeupers der Rebgrübel zwischen rd. 280 m und 200 bis 220 m über NN.

Darunter setzt dann die landwirtschaftliche oder gärtnerische Nutzung bzw. die Besiedlung ein.

Diese Dreiteilung gibt fast der gesamten östlichen Hälfte der Heilbronner Peripherie seit Jahrhunderten einen prägenden Charakter (Bild 2).

Vorgeschichte

Blättert man in der Geschichte der Heilbronner Wasserversorgung Jahrzehnte bzw. Jahrhunderte zurück, so ist besonders augenfällig die jeweils der Entwicklung vorausseilende Weitsicht in der Planung der Wasserversorgungsanlagen.

Als sich z. B. nach mehr als 10jährigem Stillstand (1914 bis 1925) in der Entwicklung der Einwohnerzahl zur Mitte der 20er Jahre ein weiterer Anstieg abzeichnete und bereits durch Bauplatzmangel und -kosten im Innenstadtbereich die weitere Ausdehnung der Stadt nach Osten hin erforderten – im Westen der Neckar, im Norden das Industriegebiet und im Süden die damalige Nachbargemeinde Sontheim als Erweiterungsgrenzen – wurde planmäßig eine zusätzliche Versorgungszone im Bereich zwi-

Bild 1: Lageplan von Heilbronn und Umgebung



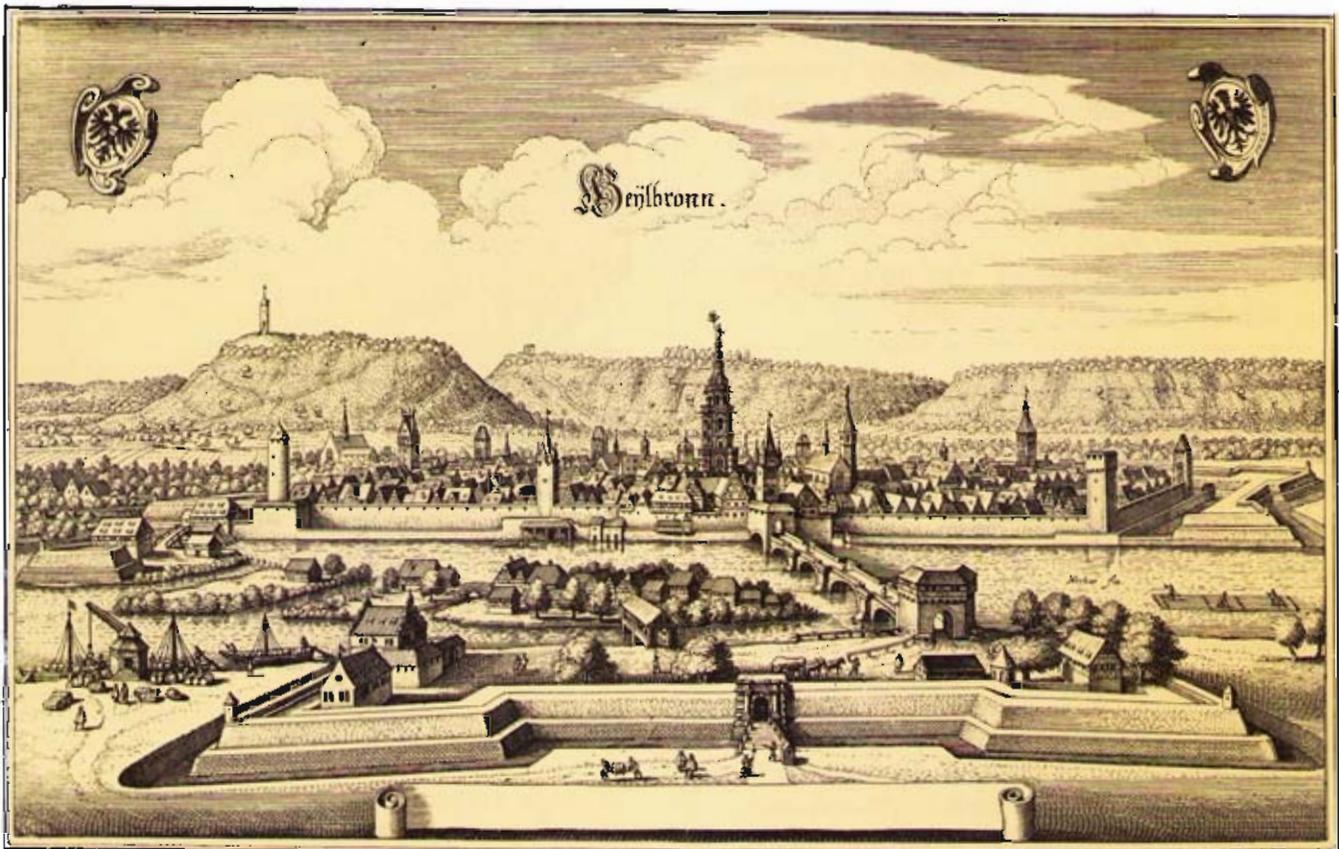


Bild 2: Heilbronn nach Merian 1643

schen 180 m bis 220 m über NN zur Besiedlung vorbereitet.

Diese für Heilbronn zweite Druckzone setzte den Bau eines weiteren, entsprechend hoch gelegenen Wasserbehälters voraus.

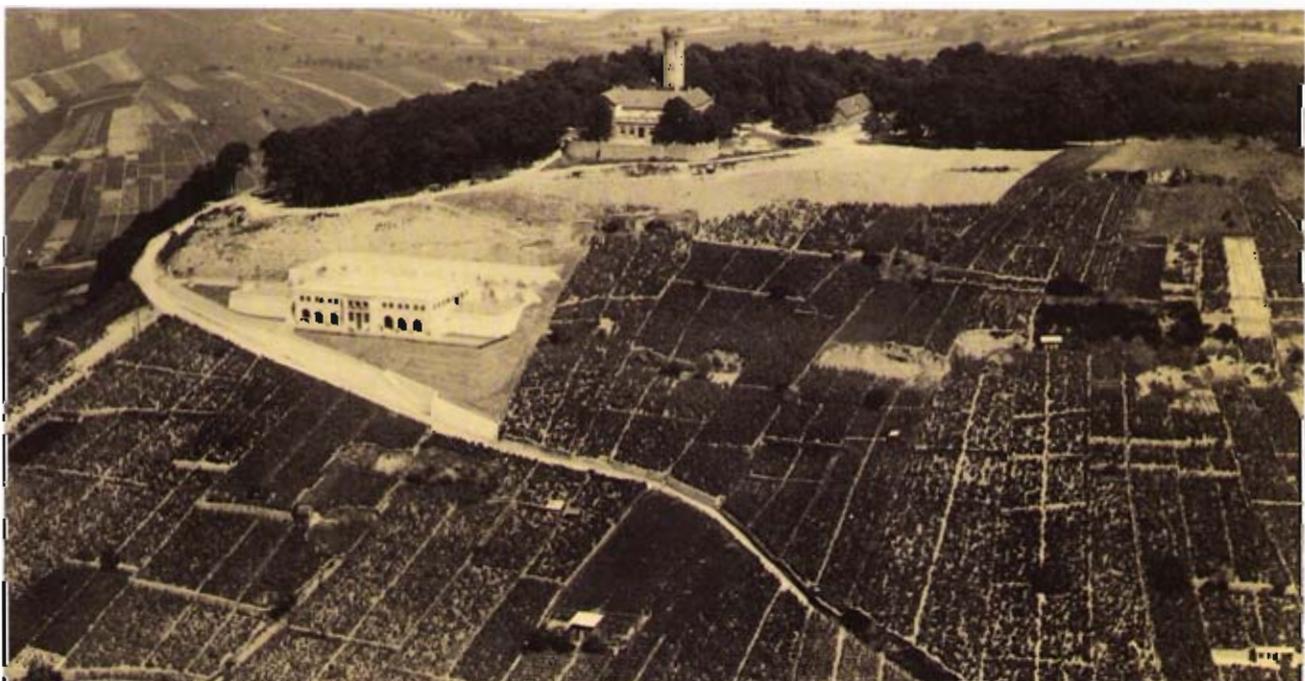
Nach eingehenden Überlegungen und aufgrund von Rutengängerversuchen sowie insbesondere mündlichen Überlieferungen von Beobachtungen aus Weingärtnerfamilien wurde ein Platz am Südhang des Wartberges ausgewählt. Dieses ist

auch die topographisch günstigste Lage zwischen den Pumpstationen Salzstraße und dem Versorgungsgebiet und auch vorgegeben durch den „Wartberg-Niederdruckbehälter“ (Bild 3).

Mittels Probeschlitzten wurde sichergestellt, daß der Behälter durch Anordnung gegen den Berg hin im unverwitterten, waagrecht geschichteten Gipskeuper gegründet werden konnte.

Kenndaten des Wasserbehälters „Wartberg-Hochdruck“ (bitte umblättern):

Bild 3: Wartberg mit Niederdruckbehälter



Inhalt	1 900 m ³ Trinkwasser
Wasserspiegel	278,70 m über NN
Behältersohle	274,80 m über NN
Hochpunkt des Versorgungsgebietes	241,00 m über NN
Tiefpunkt des Versorgungsgebietes	167,00 m über NN
Baujahr	1926

Die erforderlichen Leitungsverlegungen erfolgten weitgehend in vorhandenen Wegen bzw. in kurzen abgewinkelten Teilstrecken.

Die Wasserversorgung erfolgte weitgehend über die Pumpstation Salzstraße.

Als im Jahre 1968 die Rebflurbereinigung des Wartberges geplant wurde, lag es nahe, die 44 Jahre alten Leitungen zu erneuern und in Anpassung an die Durchführung der Rebflurbereinigung eine neue Trasse so zu wählen, daß der kontinuierliche Betrieb der Wasserversorgung gewährleistet war.

Die Festlegung der Trasse erfolgte im Einvernehmen mit den beteiligten Fachbehörden.

Im Gegensatz zur alten, mehrfach abgewinkelten Trasse verlief die neue Leitung in Fallinie bergab mit max. rd. 30° Gefälle und rd. 50 m Höhenunterschied bis zum Anschluß an vorhandene Leitungen.

Ausgeführt wurde sie als Gußrohrleitung mit einem Durchmesser DN 300. Bereits zwei Jahre nach der Inbetriebnahme der neuen Leitung im Jahre 1969 gab es einen Leitungsschaden infolge auseinandergedzogener Muffen. Weitere 4 Jahre später, im Jahre 1975, entstand der nächste Leitungsschaden. Am Fußpunkt der neuen Leitung hatte sich das Spitzende eines Rohres ca. 15 cm tief in die Muffe eines Anschlußstückes hineingepreßt. Dabei war das Spitzende in einzelne, ca. 20 bis 30 mm breite

Bild 4: Muffenrohrstück DN300 mit hineingepreßtem Einsteckende



Bild 5: Erdoberfläche mit bis zu 15 cm breiten Rissen

Teilringe aufgesplittert in Verbindung mit einer geringfügigen Abwinkelung in der Muffe. Der Dichttring wurde ungleichmäßig verformt mit der Folge einer unbedeutenden Leckage, durch die der Schaden erkennbar wurde, bevor größere Sekundärschäden auftreten konnten (Bild 4).

Die Untersuchung der Leitung mittels Fernauge ließ keine weiteren Schäden erkennen. Die Länge der Stauchung in einer Muffe mußte also durch schadlose Summierung der Plus-Toleranzen über mehrere Muffen hinweg zusammengekommen sein.

Der Schaden wurde repariert und die Leitung in Betrieb genommen.

Weitere 7 Jahre später — im Frühjahr 1982 — zeigten sich im Bereich des oberen Drittelpunktes der Leitung in der Erdoberfläche bis zu 15 cm breite Risse und 30 bis 40 cm tiefe Absätze, die auf umfangreiche Erdbewegungen schließen ließen. Zwar waren seit der Rebflurbereinigung mehrere Weinbergwege an bestimmten Stellen jährlich ausgebessert worden, ein größerer Zusammenhang von den mit diesen Arbeiten Beauftragten aber nicht gesehen worden (Bild 5).

Im Zusammenhang mit dieser Erdbewegung ergab sich ein weiterer Schaden an der Wasserleitung.

Der Umfang des Sekundärschadens konnte zum einen infolge der Vorwarnung durch die Rutschung und zum anderen wegen des sehr geringen freien Querschnittes des Quetschrisse in Grenzen gehalten werden (Bild 6).

Die Bilder 4 und 6 der Schadstellen zeigen typische Schadensbilder bei verschiedenen Randbedingungen.

Das Bild 4 (Schaden 1975) stellt die Verformung dar bei hohem zentrischen Druck ohne seitliche

Ausweichmöglichkeiten (Knicken) im Muffenbereich, da dieser durch Querriegel gesichert war.

Die gesamte Verformung bzw. Zerstörung des Spitzendes vollzog sich innerhalb des verstärkten Muffenbereiches und innerhalb der Leitung hinter dem Dichtring. Lediglich der ungleichmäßig verquetschte Dichtring verursachte eine geringfügige Leckage.

Das Bild 6 (Schaden 1982) zeigt die Verformung ebenfalls bei hohem zentrischen Druck mit seitlicher Ausweichmöglichkeit der Muffe. Der Abweichungswinkel beträgt rd. 14° (max. zulässig 5°). Der Schaden — Quetschriß mit relativ geringem freien Querschnitt — liegt in diesem Fall außerhalb der Muffe mit geringem Wasseraustritt. Bemerkenswert ist dabei das große Verformungsvermögen des verwendeten Materials.

Das Ausmaß der Rutschung aber gab in Anbetracht des unterhalb gelegenen Wasserbehälters „Wartberg-Niederdruck“ sowie der nur wenige Meter weiter beginnenden Besiedlung Anlaß zu einer gründlichen Untersuchung mit folgender Aufgabenstellung:

Aufgabenstellung

1. Möglichst kurzfristig: Besteht eine Gefährdung des Wasserbehälters „Wartberg-Niederdruck“ und der nahegelegenen Bebauung?
2. Ermittlung der Schadensursache
3. Ausweisung einer neuen Trasse für die Wasserleitung

Um die sich aus der Aufgabenstellung ergebenden Fragen beantworten zu können, wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Oberflächenuntersuchungen unter Einbeziehung des Bewuchses und insbesondere der Reb-Pfosten einschließlich Drahtverspannungen.
- Dokumentarische Befliegung wenige Tage nach der Rutschung und Vergleich mit Luftbildern aus der Zeit vor (1968) und nach der Rebflurbereinigung (1970).

Bild 6: Muffenrohrstück DN 300 mit hineingeprüßtem Einsteckende



- Rammsondierungen als schnelle und sichere Arbeitsmethode zur geologischen Aufnahme.
- Sickerwasserdruckversuche, um Aufschluß über das Aufnahmevermögen bei starkem Niederschlag und einer Versickerungsrate im Untergrund bei 1 m Wassersäule zu erhalten und
- im Zusammenhang damit eine geoelektrische Bohrlochsondierung, um die Horizonte feststellen zu können, in denen das Wasser vom Bohrloch aus besonders gut in den Boden eindringt.
- Durch Geoelektrik Ausweisung von Gleitflächen im Untergrund und eventuell Überprüfung vorhandener Erdbewegungen, die durch die Meßbilder von 1968 und 1970 nicht nachweisbar sind.
- Geophysikalische Messungen in Form von Refraktionsseismik mit Hilfe von Sprengungen, um damit Aufschluß über verschiedene Bodenbeschaffenheiten, Schichtung, Lagerung und Verwerfungen im Bereich von einzelnen geologischen Horizonten zu erhalten. Weiterhin kann damit unterirdisch die Grenze zwischen dem gewachsenen Untergrund und dem aufgeschütteten Material im Zuge der Flurbereinigung im Nachhinein festgestellt werden.

Aus diesen Untersuchungen ergaben sich folgende Antworten zur Aufgabenstellung:

Zu 1.: Eine Gefährdung des Wasserbehälters Wartberg ND sowie der Wohnbebauung konnte ausgeschlossen werden, da die Erdbewegungen sich zwar teils aus Rutschung, teils — überwiegend — aus Setzungen ergeben, letztere aber mit genügend Sicherheitsabstand oberhalb des Niederdruckbehälters zum Stillstand kommen, während die Rutschung zwar stetig, aber mit äußerst geringer Geschwindigkeit und in Abhängigkeit vom Oberflächenwasserzutritt in Bewegung ist.

Zu 2.: Zur Schadensursache kommen folgende Faktoren zusammen:

Die Hauptbewegung läuft innerhalb einer sog. Runse — einem vor Jahrtausenden in der Zwischeneiszeit entstandenen Rutschungsgraben — ab, die den Weinberghang diagonal von Nordosten nach Südwesten kreuzt.

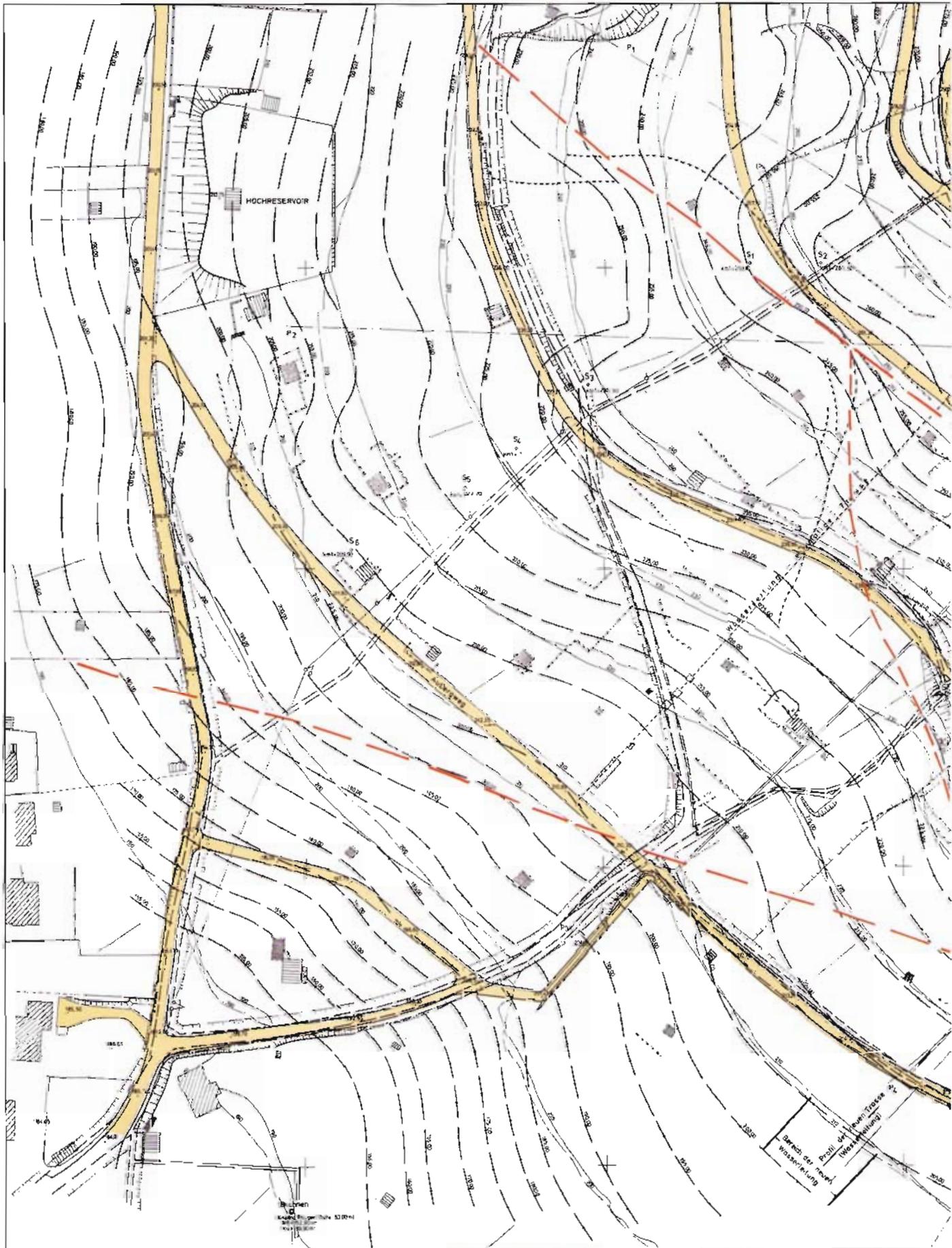
Einen weiteren erheblichen Einfluß haben alte Keuperentnahmegruben, unterirdischer Gipsabbau, zugeschüttete Hohlwege, zu starke Auffüllungen von 3 bis 5 m und mehr, insbesondere im Zusammenhang mit der Freilegung des Weinberggeländes von Bewuchs, denn in diesem Stadium — bei der Durchführung großflächiger Erdarbeiten — kann die Versickerungsrate der Niederschläge ein Mehrfaches des üblichen Maßes erreichen. Je größer aber die Versickerungsrate ist, um so größer wird einerseits die innere Erosion und andererseits die Gefahr von Gleitflächenbildung.

Deshalb ist allen Einflüssen gemeinsam, daß sie

in Abhängigkeit von Oberflächenwasserzuführungen reagieren.

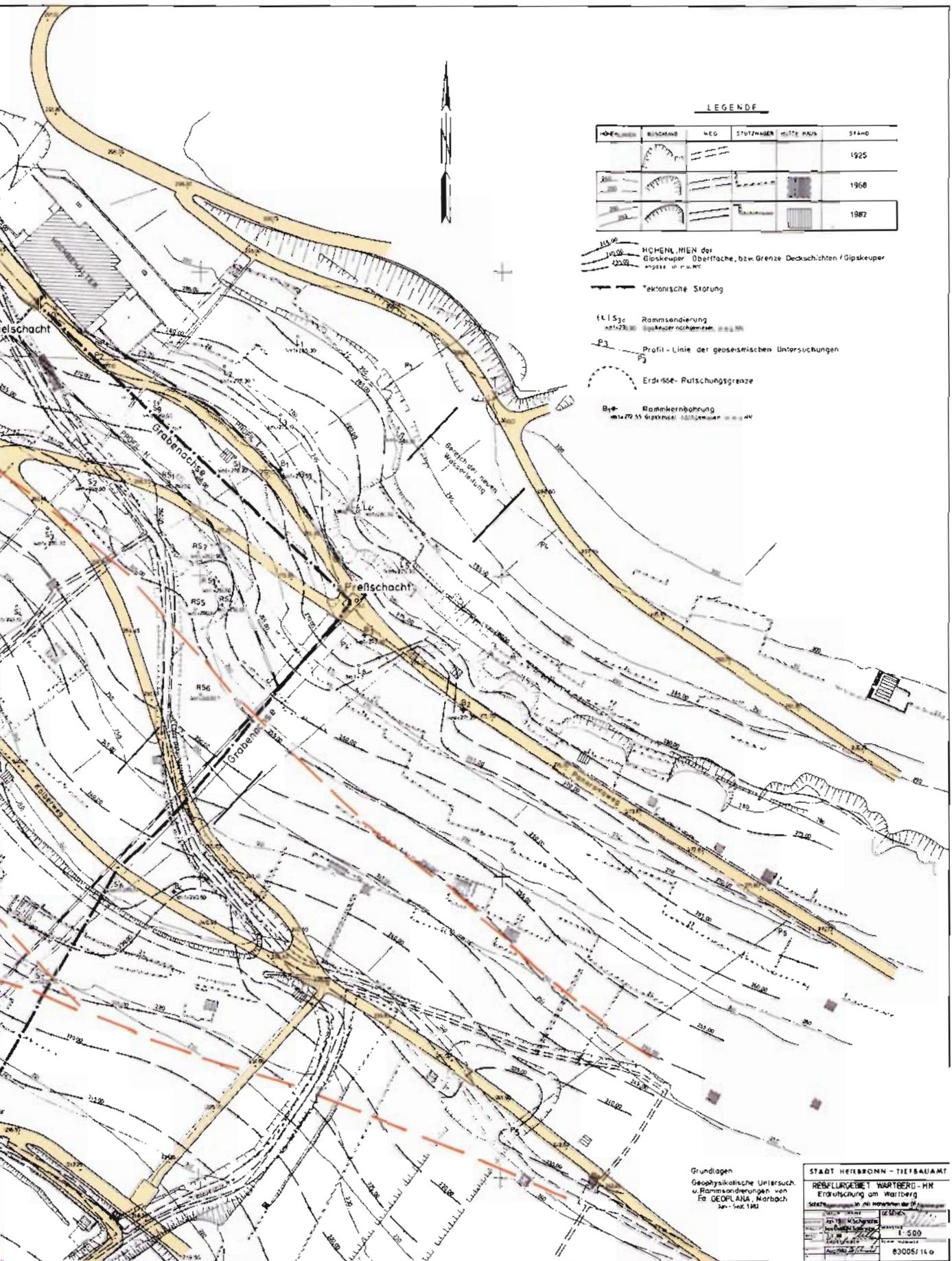
Während jedoch die Bewegungen innerhalb der Runse — und zwar der Rutschungsanteil — nicht

Bild 7: Geologischer Lageplan der Erdrutschung am Wartberg



zum Stillstand kommen werden, ist im Laufe der Jahre mit dem Abklingen der Setzungsanteile zu rechnen.

Zu 3.: Die Ausweisung einer neuen Wasserleitungstrasse — zunächst nur als Nebenprodukt der Untersuchung angesehen — gestaltete sich äußerst langwierig und schwierig (Bild 7).



Erst die Überlagerung mehrerer „Weinberggenerationen“ in einem Lageplan M 1:500, und zwar aus den Jahren 1925, 1968 (vor der letzten Rebflurbereinigung) und 1982, die aus alten Karten, Aufzeichnungen, Fotos, Luftbildaufnahmen und insbesondere aus mündlichen Überlieferungen von Weingärtnerfamilien „rekonstruiert“ wurde, ergab die erforderliche Übersicht über vorhandene Vorbelastungen infolge der bereits erwähnten menschlichen Eingriffe.

Innerhalb des gesamten Hangbereiches hat sich dabei nur eine Möglichkeit einer neuen Trassenführung herausgestellt, bei der aber den geologischen Vorbelastungen nicht ausgewichen werden konnte.

Diese Trasse verläuft vom Wasserbehälter aus ca. 140 m lang ungefähr hangparallel in Richtung Südost und knickt dann um ca. 90° ab in Richtung Südwest in die Falllinie auf ca. 230 m Länge (Bild 8).

Dabei muß im hangparallelen Bereich die sog. Runse gequert werden. In der Falllinie haben sich bei den geologischen Untersuchungen insgesamt 3 Verwerfungen herausgestellt, die ebenfalls bei den weiteren Planungen zu berücksichtigen sind.

Vorplanung und Vergleich der verschiedenen Möglichkeiten

Neben der Ausweisung einer neuen Leitungstrasse wurden auch die Reparaturmöglichkeiten an den vorhandenen Leitungen untersucht.

1. Reparatur der Leitung

Als Dauerlösung ist eine Reparatur nicht zu verantworten, da immer wieder neue Schäden zu befürchten sind mit u. U. sehr erheblichen

Sekundärschäden und deshalb die Wasserversorgung nicht sichergestellt ist.

2. Inliner

Bei dieser Lösung wird die Förderkapazität der Leitung ganz erheblich verringert, mit enormen Schwierigkeiten beim Einziehen der Rohre ist zu rechnen, da die vorhandenen Leitungen infolge der Hangbewegungen zumindest an den Muffen abgeknickt sind, und schließlich ist die Gefahr der mechanischen Zerstörung des Inliners bei Verformung von Spitzenden in den Muffen in den Stauchungsbereichen des Hanges unverantwortlich groß.

Um trotz der nicht zu beseitigenden geologischen Schwierigkeiten die Trinkwasserversorgung sicherzustellen, wurden für die neue Leitungstrasse, und zwar für den hangparallelen Bereich mit der Querung der Runse verschiedene Möglichkeiten zur Stabilisierung der Leitungen untersucht.

3. Konventionelle Grabenverlegung

Hierbei ergeben sich aus dem Hangschub erhebliche Scher- und Biegebeanspruchungen der Leitungen an den Übergangsstellen zur „Runse“. Aufgrund der absehbaren Verformungen der Leitungen wäre in wenigen Jahren mit neuen Schäden zu rechnen.

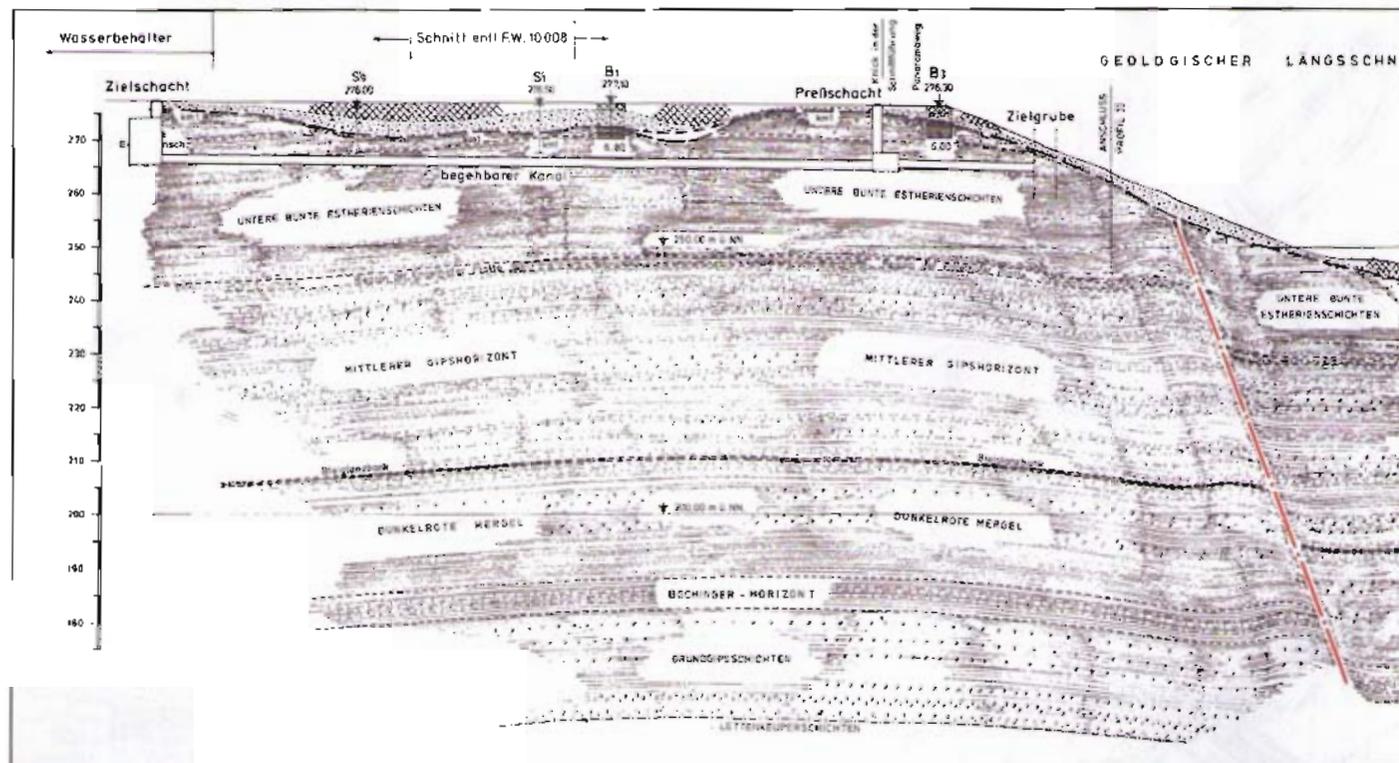
Hinzu kommt die Gefahr einer größeren Hangrutschung, da der Hang im Runsenbereich in Abhängigkeit von der Oberflächenwasserzuführung nur im labilen Gleichgewichtszustand ist.

Hieraus können bereits während der Bauzeit sehr kritische Situationen entstehen.

4. Verlegung in einem zugänglichen Schutzrohr

Dieses Schutzrohr wird konventionell im offenen

Bild 8: Geologischer Längsschnitt des Wartbergs



Graben verlegt. Es ermöglicht in gewissem Umfang das Nachrücken der Produktröhre, wenn sich die Schutzrohranlage infolge Hangschub verändert hat.

Trotz großen Aufwands und Risikos wie bei Lösung 3 während der Bauzeit sind die Aussichten als Dauerlösung ungenügend, zumal sich bautechnische Probleme hinsichtlich Verformbarkeit des Schutzrohrs ergeben.

5. Verlegung der Leitungen auf A-Böcken

Die Leitungen werden in Normaltiefe (1,40 m Überdeckung) im Erdreich auf Stahlbeton-Balken verlegt, die ihrerseits auf bis zu 12 bis 15 m tief gegründeten A-Böcken aus Ortbeton-Bohrpfählen im Abstand von ca. 6 m aufgelagert sind.

Diese A-Böcke sollen die Leitungen so stabilisieren, daß sie ihre Lage trotz Hangschubes beibehalten. Dabei ergeben sich schon für die Lastannahmen zur Dimensionierung der Balken und Böcke erhebliche Probleme.

Die Durchführung der Arbeiten selbst im Hang bis zu 30° Neigung mit den erforderlichen großen Bohrgeräten ist äußerst schwierig und aufwendig und führt zu ganz erheblichen Flurschäden.

Nachdem weder die „nachgiebigen Lösungen“ Punkt 3 und 4 noch die starre Lösung Punkt 5 zu einem befriedigenden Ergebnis führten, wurde die Lösung im „Umweg“ gesucht.

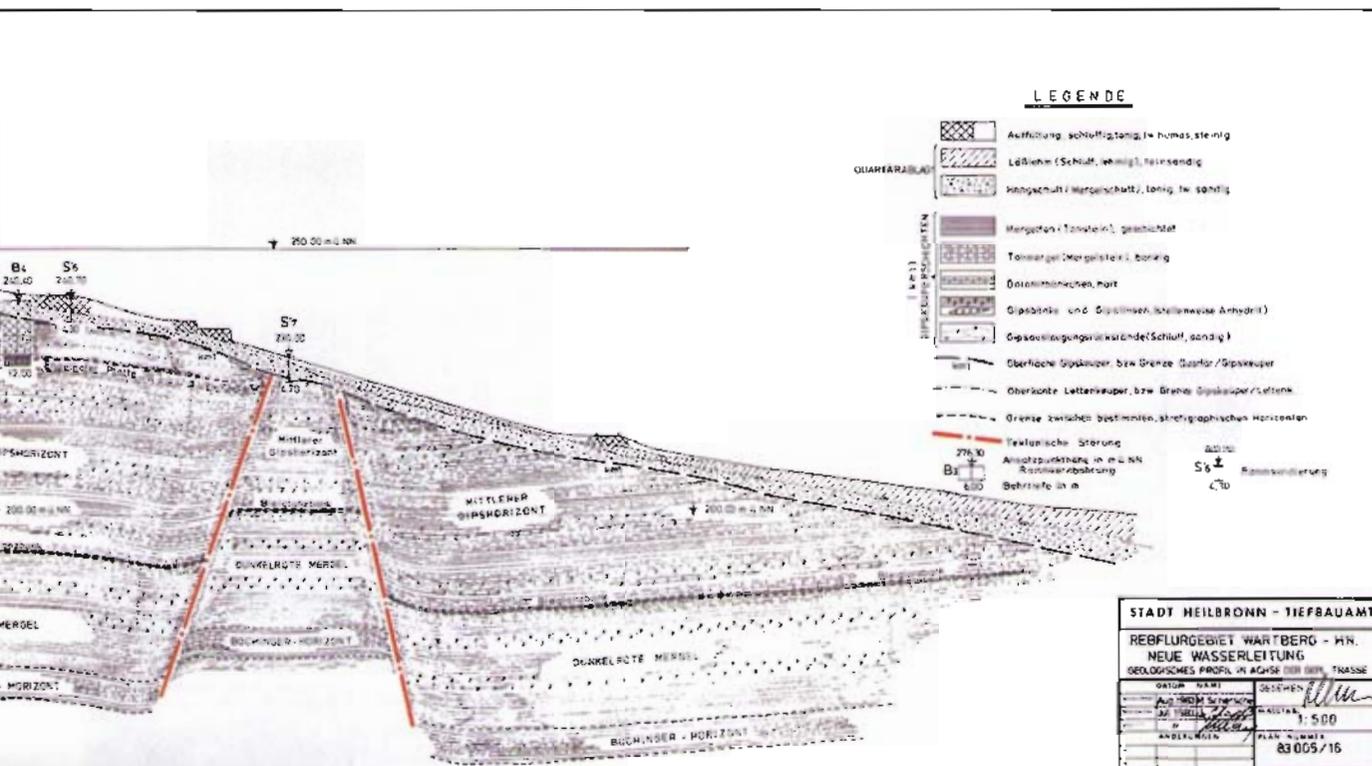
6. Unterfahrung der „Runse“ im Vorpreßverfahren

Nachdem die Vorpreßtechnik in den letzten Jahren immer weiter entwickelt und durch verbreitete Anwendung auch immer wirtschaftlicher wurde, wurde diese Möglichkeit ebenfalls untersucht.

Bestandteile dieser Lösung sind:

- Ein Preß-Schacht am Knickpunkt der Leitungstrasse aus der hangparallelen Führung hangabwärts, ca. 12 m tief.
 - Ein Zielschacht vor dem Wasserbehälter, ebenfalls ca. 12 m tief.
 - Ein Vorpreß-Schutzrohr zur Verbindung der beiden Schächte aus Stahlbetonrohren ($D_a = 1,80\text{ m}$, $D_i = 1,40\text{ m}$, je 3 m lang) insgesamt 136 m lang mit 1 % Gefälle.
 - Eine Zielgrube im Hangbereich in Gefällerrichtung, ca. 25 m von dem Preß-Schacht entfernt, als Übergang von einem weiteren Vorpreß-Schutzrohr zum normalen Leitungsgraben.
 - Ein Vorpreß-Schutzrohr vom Preß-Schacht zur Zielgrube, um aus ca. 12 m Tiefe mit 1 % Gefälle in die normale Grabentiefe zu kommen.
- Dieser Kanal ist 25 m lang, sonstige Abmessungen wie vor.
- Normale Leitungsverlegungen im Erdgraben mit 1,50 m Überdeckung (mit Rücksicht auf die Tiefenbearbeitung des Weinberggeländes) von der Zielgrube hangabwärts bis zum Anschluß an die vorhandene Leitungstrasse im Abergweg über eine Länge von ca. 230 m mit einer mittleren Neigung von rd. 22°.

Bei diesem Konzept wird die „Runse“ unterfahren. Damit entfallen alle Überlegungen hinsichtlich unterschiedlicher Verschiebungen usw. und insbesondere aller Störungen im Runsenbereich und damit auch die Gefährdung der nach der Reparatur weiter betriebenen Wasserleitungen in der vorhandenen Lei-



ungstrasse bis zur Fertigstellung der neuen Trasse.

Bei einer sorgfältigen Abwägung der Vor- und Nachteile aller erwähnten Lösungen einschl. Einschätzung der verschiedenen Risiken hat sich die Unterfahrung der Runse als die zwar technisch aufwendigste, aber auf längste Zeit Sicherheit bietende Lösung mit einem vertretbaren wirtschaftlichen Aufwand erwiesen.

Sie wurde deshalb für die Ausführung vorgesehen.

Planung

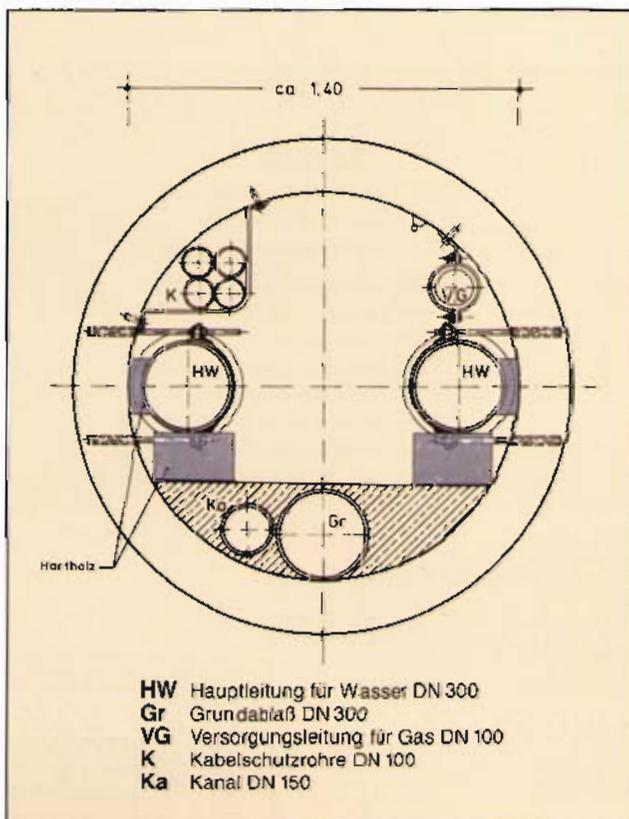
In der neuen Leitungstrasse wurden folgende Leitungen verlegt:

- 2 Wasserleitungen DN 300
- 1 Entleerungsleitung DN 250
- 1 Abwasserleitung DN 200
- 1 Gasleitung DN 100
- 4 Kabelleerrohre DN 100 für Steuerleitungen
- 1 Belüftungs- und Entwässerungsleitung DN 150

Alle Leitungen wurden unten an das bestehende Leitungsnetz im Abergweg am Hangfuß angeschlossen und oben an den Wasserbehälter Wartberg HD mit Ausnahme der Belüftungs- und Entwässerungsleitung.

Diese Leitung soll die Schutzrohre in besonderen Fällen entwässern und verläuft deshalb vom Ende des Schutzrohres in der Zielgrube bis zum nächsten querenden Feldweg ca. 60 m entfernt. Dort entwässert diese Leitung über einen Schacht in den Straßeneinlauf dieses Feldweges. Mit Wasseranfall in dieser Leitung ist nur in Ausnahmefällen zu rechnen.

Bild 9: Regelquerschnitt der Vorpreßstrecke



Ständig aber wird über diese Leitung unter Ausnutzung der Höhendifferenz zum Wasserbehälter auf natürliche Weise Luft angesaugt, da der Zielschacht ebenfalls mittels Leitung an die Außenluft angeschlossen ist. Auf diese Weise werden die Leitungen in den Schutzrohrstrecken ständig belüftet und trocken gehalten.

Der bereits genannte Innendurchmesser von 1,40 m ergab sich aus der Forderung der Zugänglichkeit der Leitungen und der Überwachung der Lage des Schutzrohres (Bild 9).

Der Preß-Schacht hat im unteren Bereich, in dem die Leitungen um ca. 90° abgewinkelt sind, die Abmessungen 3,40 × 3,40 × 2,5 m.

Der aufgehende Schacht wurde mit den gleichen Rohren wie bei der Schutzrohrstrecke hochgezogen.

Im Zielschacht wurden die Leitungen bis auf die Verlegetiefe vor dem Behälter (ca. 4 m) hochgezogen (Bild 10).

Deshalb war für den unteren Bereich eine Höhe von ca. 8 m erforderlich. Der aufgehende Teil wurde in gleicher Weise wie beim Preß-Schacht ausgeführt.

Beide Schächte wurden mit je 3 versetzt angeordneten Steigleitern und 2 leicht demontierbaren Zwischenpodesten ausgerüstet.

Schächte und Schutzrohre haben eine Elektroinstallation (Lampen und Steckdosen) zur Erleichterung der Inspektionen.

Der Materialwahl für die Leitungen war aufgrund der Ergebnisse der intensiven geologischen

Bild 10: Blick von der Vorpreßstrecke in den Zielschacht



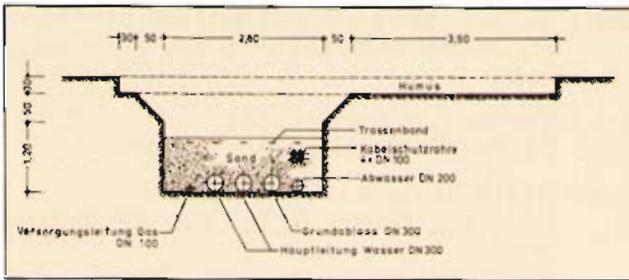


Bild 11: Regelquerschnitt der Erdverlegung

Untersuchungen besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

Für die beiden Wasserleitungen — Steig- und Falleitung — wurden im Bereich der Erdverlegung Muffendruckrohre aus duktilem Gußeisen nach DIN 28 600 und DIN 28 610 mit TYTON®-Langmuffen gewählt. Als Außenschutz wurde eine Zementmörtel-(ZM-)Umhüllung nach DIN 30 674 Teil 2 (Vornorm) festgelegt. Innen haben die Rohre eine Zementmörtel-(ZM-)Auskleidung nach DVGW-Arbeitsblatt W 342 (Bild 11).

Da aufgrund der nachgewiesenen geologischen Verwerfungen mit gewissen Bewegungen gerechnet werden muß, werden die Langmuffenverbindungen zusätzlich mit Huckenbeckschubsicherungen versehen, die so montiert werden, daß sie Längsbewegungen bis zu 60 mm nachgeben können, ohne auseinandergezogen zu werden. Weiterhin wurde jeder dritte bis vierte Rohrstoß mit Betonquerriegeln verankert. Diese Riegel wurden oberhalb des Betons mit tonigem Lehm bis unter den Humus hochgezogen, um unbeabsichtigte Längsdrainagen im Weinberg zu vermeiden (Bild 12).

Bild 12: Duktile Gußrohre mit ZM-Umhüllung und Huckenbeck-Schubsicherungen

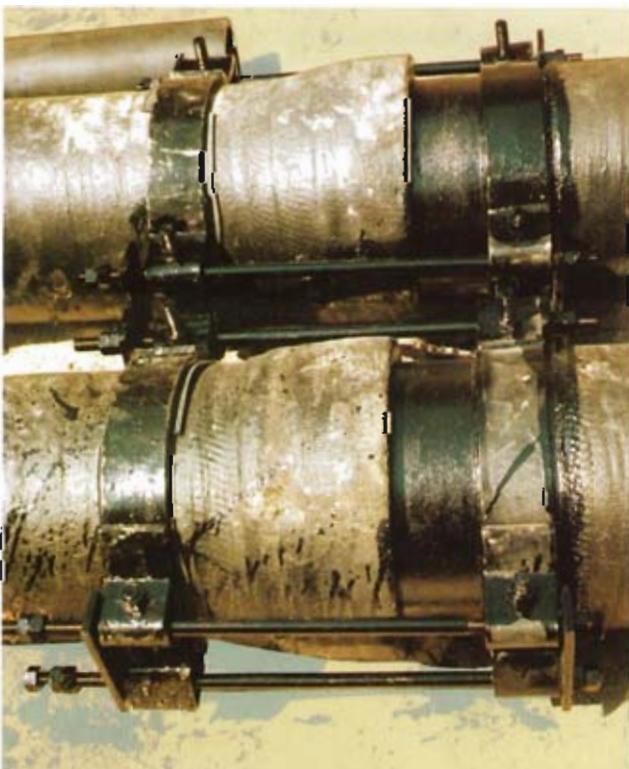


Bild 13: Verlegung der Rohre am Hang des Wartbergs

Diese Rohrkonstruktion entspricht den erforderlichen Drücken (10 bar), ist in Längsrichtung und trotz der Langmuffen in Querrichtung relativ flexibel und entspricht damit den gestellten Anforderungen (Bild 13).

Für die Verlegung in den Schutzrohrstrecken wurden die gleichen Rohre, jedoch mit einem Außenschutz, bestehend aus einem Zink-Überzug mit einer bituminösen Deckbeschichtung nach DIN 30 674 Teil 3, verwendet.

Für die drucklos betriebenen Entleerungs-(Grundablaß-) und Abwasserleitungen sowie die 4-bar-Gasleitung wurden HDPE-Rohre (12 m lang, Spiegelschweißverfahren) eingesetzt.

Bild 14: Anordnung der Rohrleitungen in der Vorpreßstrecke



Die Belüftungs- und Entwässerungsleitung sowie die vier Kabelleerrohre wurden als muf-ferverklebte PVC-Leitungen verlegt.

Die Anordnung dieser Leitungen im Rohrgraben ist aus Bild 11, in den Vorpreß-Strecken aus den Bildern 9 und 14 zu ersehen.

Für die Montage der Leitungen in den Vorpreß-Strecken wurden verschiedene Möglichkeiten entworfen und durchgerechnet:

- Vormontage sämtlicher Leitungen in Rollge-stellen innerhalb der Preßgrube als Aneinan-derreihung von 12 m Teillängen.
- Wie vor, jedoch Gleitschlitten in vorverlegten Gleitbahnen, so daß vor Ort nur eine Blockie-rung der Gleitbahn erforderlich war.
- Herkömmliche Montage vor Ort.

Dabei erwies sich die Montage vor Ort als die mit erheblichem Abstand wirtschaftlichste Methode.

Die Montage wurde folgendermaßen aufgeteilt:

1. Verlegen der Entleerungs- und Entwässe-rungsleitung einschließlich Verankerung nach unten gegen Auftrieb während des Einbeto-nierens.
2. Verlegen der konstruktiven Bewehrung und Einbringen des Füll-Betons.
3. Bohren der Löcher für die UPAT-Verbundan-ker UKA 3, M 20 zur Montage der Wasserlei-tungen und M 10 für die Kabel- und Gaslei-tungsschellen,
4. Montage der Wasserleitungen und Befestigung mittels Halbschellen und Abstandshölzern.
5. Montage der Kabelleerrohre und Gasleitung.
6. Elektroinstallation.

Ausschreibung und Ausführung

Die Arbeiten wurden nach öffentlicher Aus-schreibung im Frühjahr 1985 von folgenden Fir-men ausgeführt:

Los 1 Tiefbau (Schächte und Vorpreß-Strecken)
Fa. Südwestbau GmbH & Co. KG, Mann-heim

Los 2 Erdbau (Leitungsgräben)
Fa. Rössle-Bau-GmbH, Heilbronn

Los 3 Rohrleitungsbau
Fa. Laab GmbH & Co. KG, Esslingen-Weil,
als Subunternehmer der Fa. Rössle.

Die Arbeiten wurden im Juni 1985 begonnen und bis auf geringfügige Restarbeiten im Frühjahr 1986 fertiggestellt.

Bei der langen Vorpreß-Strecke betrug die maxi-male Abweichung im Ziel 2 cm.

In der Mitte dieser Strecke wurde unplanmäßig die „Runse“ auf eine Länge von 6 bis 8 m in einer Stärke bis zu ca. 1,40 m angeschnitten. Um das Mantelrohr in diesem Bereich zu verstärken, wurde der Füllbeton über 20 m Länge als hori-zontaler Träger — beidseitig eingespannt — bewehrt.

Das gesamte Aushubmaterial — ein hervorra-gender Gipskeuper — wurde, abgesehen von unbrauchbarem Boden der Deckschichten, den von der Baumaßnahme betroffenen Weingärt-tern zur Verfügung gestellt.

Außerdem wurde auf die Bewirtschaftung der Weinberge weitgehend Rücksicht genommen.

Das gesamte für die Baumaßnahme vorüberge-hend beanspruchte Weinberggelände wurde freiwillig gegen Entschädigung zur Verfügung gestellt.

Die Kosten der Gesamtbaumaßnahme betragen rd. 1,27 Mio DM. Der Anteil für den Spezialtief-bau, d. h. für die beiden Schächte und Vorpreß-Strecken beträgt rd. 50 %.

Der jährliche Gesamtaufwand für die Sicherstel-lung der Trinkwasserversorgung der Heilbronner Bürger liegt z. Z. bei 17 Mio DM.

Ausbau einer zentralen Wasserversorgung in einer ländlichen Flächengemeinde

Von Josef Schmitz

1. Einleitung

An der Quelle der Ahr liegt mitten im Herzen der Eifel, eine Autostunde von Aachen, Köln, Koblenz und Trier entfernt, das alte Burgstädtchen Blankenheim.

Nach der kommunalen Neugliederung im Jahre 1969 setzt sich die Gemeinde Blankenheim, die mit 149 qkm zu den größten Flächengemeinden Nordrhein-Westfalens zählt, aus 17 Ortschaften mit ca. 8 100 Einwohnern zusammen: auf einen qkm entfallen knapp 60 Menschen.

Dies hat viele Vorteile für die räumliche Freiheit des einzelnen, aber auch unbestrittene Nachteile. Durch die geringe Anschlußdichte ergibt sich für die Anschlußnehmer in den Blankenheimer Orten vor allem bei der öffentlichen Wasserversorgung eine recht hohe Kostenbelastung.

2. Grundwassererschließung

Als im Jahre 1969 der Beschluß für die Planung eines Verbundsystems mit neuen Hochbehälteranlagen gefaßt wurde, war für die Verwirklichung des Projektes ausschlaggebend, daß vor allem ein ausreichendes Wasservorkommen erkundet und erschlossen wurde.

Für die Beurteilung der langjährigen Ergiebigkeit eines Grundwasservorkommens im festen Gestein, wie es in der Blankenheimer Mulde im Untergrund vorherrscht, ergeben sich jedoch gewisse Schwierigkeiten. Es sind immer nur die Hohlräume, welche das Grundwasser transportieren. In unmittelbarer Nähe der Klüftzonen ist das Gestein dicht, und so kann es vorkommen, daß unmittelbar neben einer ergiebigen Bohrung eine Fehlbohrung steht. Die Festgesteine lassen nämlich nicht wie Lockergesteine auf einfache Weise eine Beurteilung ihrer hydrologischen Eigenschaften zu. Im Raum Blankenheim sind es besonders die Kalke und Dolomite der Blankenheimer Mulde, die infolge ihrer starken Zerklüftung und Verkarstung als gut wasserhaltig bekannt sind. Die Blankenheimer Mulde ist wie die Rohrer und Dollendorfer Mulde eine der devonischen „Eifelkalkmulden“. Nach ihrer Ab-

gerung im devonischen Meer vor ca. 300 Millionen Jahren wurde sie in karbonischer Zeit, also vor etwa 250 Millionen Jahren, durch gebirgsbildende Vorgänge in den Sockel aus Tonschiefer und Grauwacken eingesenkt. Dadurch blieben die Kalke von der späteren flächenhaften Abtragung verschont.

Die Blankenheimer Mulde erstreckt sich in einem 1 bis 2 km breiten Streifen von Baasem — Dahlem — Schmidtheim — Blankenheim über Tondorf nach Holzmülheim und ist als rippenartige Landmarke gut erkennbar.

3. Brunnenbau

Für die Errichtung eines Verbundsystems war es vor allem notwendig, ein ausreichendes Wasservorkommen zu erschließen. In 1971 wurden 5 Versuchsbohrungen mit anschließender geophysikalischer Bohrlochvermessung durchgeführt.

Die Versuchsbohrung in Blankenheim, Seidenbachtal, führte zu dem Ergebnis, daß hier ausreichende Wassermengen für die Versorgung des gesamten Gemeindegebietes vorhanden waren. Der besondere Erfolg jedoch war die Tatsache der spezifischen Ergiebigkeit, die bei $12 \text{ m}^3/\text{n}$ pro Meter Absenkung lag. Aufgrund der Untersuchungsergebnisse beschloß der Werksausschuß, einen Tiefbrunnen mit einem Brunnenhaus zu bauen. 1972 wurde die Brunnenbohrung mit einer Gesamttiefe von 130 m niedergebracht. Bis 47 m Tiefe hat die Bohrung einen Durchmesser von 1400 mm, und es sind Rilsan-Filterrohre Nennweite DN 1000 eingebaut.

Ab 47 m bis 128 m Tiefe beträgt der Durchmesser 1000 mm, und die Filterrohre haben eine Nennweite von DN 500. In diesem Brunnen sind zwei Unterwasserpumpen installiert. Die Einbautiefen dieser beiden Unterwasserpumpen betragen 45 m und 66 m.

Aus dem Brunnen Seidenbach wird das Grundwasser aus den unteren Nöhner Schichten gefördert; dabei werden Grundwasserleiter in Tiefen von 80 m bis 130 m genutzt. Nach den Erkenntnissen der Planer und Geologen können aus diesem Brunnen täglich bis zu 4000 m^3 gefördert werden.

Bild 1: Zentralhochbehälter



4. Zentralhochbehälter

Nach Einigung hinsichtlich des Ausbaues des Wasserversorgungsnetzes als Ringsystem ergaben sich bei der Planung der Speicheranlage u. a. folgende Überlegungen:

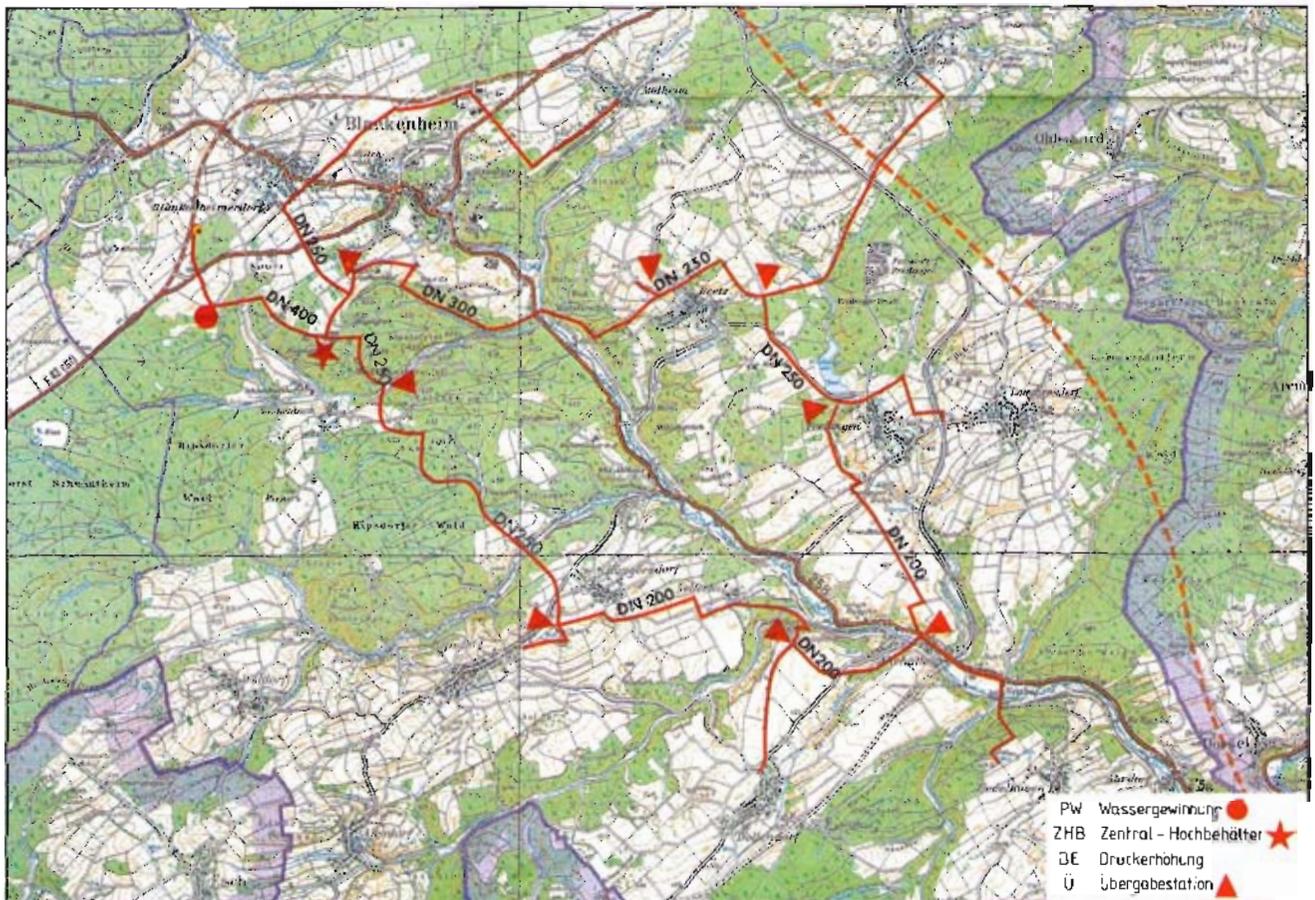
- a) Wahl der Behälterform, die störungsfreie Pflege und Unterhaltung gewährleistet;
- b) Vorhaltung von ausreichenden Wassermengen;
- c) Speicherung zur Vergrößerung der Aufenthalts- und Einwirkzeit des Wassers bei erforderlich werdender Entkeimung;
- d) Auslegung des Behälters auf einen Nutzinhalt, der genügend Zeit zur Behebung von Schäden am Wasserfördersystem gewährleistet und die Ausnutzung der Nachtstromtarife ermöglicht.

Die Standortwahl des Zentralhochbehälters mit Druckerhöhungsanlage wurde durch verschiedene Zwangspunkte beeinflusst, z. B. daß die Ortschaften Blankenheim, Blankenheimerdorf und Mülheim nach der Wasserbedarfsermittlung ca. 50 % der gesamten Tagesförderung beanspruchen. Weiter liegt der überwiegende Teil der zu versorgenden Orte in den Höhen zwischen 340 m und 510 m NN, woraus sich eine Höhe der Reservevorhaltung auf mindestens 561 m NN errechnete. Vom jetzigen Stand des Hochbehälters (565 m NN) können ca. 75 % des Gesamtbedarfs in freiem Gefälle verteilt werden. Unter Berücksichtigung dieser technischen Gesichtspunkte wurde die Hochbehälteranlage mit Druckerhöhungsstation auf die vorgenannte Höhe und in die Nähe des Ortsgebietes gelegt (Bild 1 und Bild 2).



Bild 2: Druckerhöhungsanlage

Bild 3: Ringleitung



Aus Gründen der Zweckmäßigkeit wurde der gesamte Speicherraum auf zwei Behälter mit einem Innendurchmesser von 24 m aufgeteilt, weil so ein reibungsloser Betrieb, auch im Reparaturfall oder bei Anstricherneuerungen, gewährleistet ist. Das Verbindungsgebäude zwischen den Behältern nimmt die Berohrung, die Steuer- und Regelorgane auf und dient als Behälterluftschleuse und Treppenhaus. Die Außenanlagen mit Rasenflächen und randlichen Gehölzanzpflanzungen schaffen einen „weichen“ Übergang zur umgebenden Waldkulisse.

5. Materialauswahl und hydraulische Berechnung

Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist es von entscheidender Wichtigkeit, welcher Werkstoff für den Transport zur Verwendung kommt.

Als Werkstoff für die Ringleitung wurde duktiles Gußeisen nach DIN 28 600 bzw. DIN 28 610 gewählt, weil in unwegsamem Gelände, vor allem im südwestlichen Teil des Versorgungsraumes, Tiefen und Höhen zu überwinden waren und dabei Drücke bis zu 22 bar anstehen.

Ein weiterer Vorteil des Gußrohres liegt in der einfachen und sicheren Montage der Muffenverbindungen mit Gummidichtungen. Diese Verbindungstechnik vereint folgende Vorzüge:

- Schnelle, einfache und sichere Montage im Rohrgraben;
- Abwinkelbarkeit der Muffenverbindung erspart zum Teil beim „Verziehen“ der Leitung den Einsatz von Formstücken;
- Gelenkige und axial bewegliche Verbindungsteile (alle 6 m) verhindern Überbeanspruchung bei Erdsetzungs Kräften (z. B. Bergbau);
- Entfall des Schweißens beim Einbinden in liegende Leitungen.

Von weiterer Bedeutung war die Tatsache, daß das Rohrmaterial zum Teil im Wechselbereich von Bodenmassen nach VOB, Klasse 3 bis 7 zur Verlegung kam, neben dem Innendruck noch erhebliche äußere Erschütterungen aufzunehmen hatte und in Steilhängen verlegt wurde.

Als Rohrverbindung wurde die TYTON®-Langmuffe, eine Steckmuffen-Verbindung nach DIN 28 603, gewählt.

Auf die Zementmörtel-Auskleidung nach DVGW-Arbeitsblatt W 342 mit einem hochgeschlackten Hochofenzement wurde nicht verzichtet. Sie dient als Schutz gegen Korrosion an der Rohrin-nenseite. Der Rohraußenschutz besteht aus einer Spritzverzinkung (130 g/m²) mit bituminöser Deckbeschichtung nach DIN 30 674 Teil 3.

Vor Beginn wurden an mehreren Stellen der Rohrtrasse (z. B. Talauen) Bodenuntersuchungen durchgeführt. Bei stark aggressiven Böden wurden die Gußrohre vor der Verlegung mit einer Polyethylen-Folienumhüllung nach DIN 30 674 Teil 5 zusätzlich umhüllt, und später wurden Rohre nach DIN 30 674 Teil 1 mit Polyethylen-Umhüllung verlegt.

6. Ringleitung, Trasse, Leitungsverlegung, Tiefbau und Rohrbau

Entsprechend der Bereitstellung der Finanzierungsmittel durch das Land NRW wurde 1977 mit dem Leitungsbau begonnen und im April 1985 konnte das letzte duktile Gußrohr in die ca. 25 km lange Ringleitung (DN 200 bis DN 300) eingesetzt werden (siehe Bild 3).

Die Pumpendruckleitung DN 400 zwischen Brunnen Seidenbach und Zentralhochbehälter hat eine Länge von ca. 1700 m. Hinzu kommt eine Hochdruckleitung DN 250 mit einer Länge von ca. 4800 m und Anschlußleitungen DN 150 zu den Ortsnetzen mit ca. 7100 m. Im vorgenannten Zeitraum wurden ca. 41 km duktile Gußrohre verlegt.

Bei der Trassenführung fanden folgende Gedanken Berücksichtigung:

- a) Leichte Auffindbarkeit** ist gewährleistet durch Verlegung der Leitungen in Wegen, an Wegen, Grenzen und möglichst in einer Geraden;
- b) Erleichterter Rohrtransport** durch Verlegung der Leitung in der Nähe von Wegen;
- c) Kleiner Anteil zu entschädigender Flächen** durch Verlegung von Rohrleitungen in Wald- und Feldwegen;
- d) Entleerung und Be- und Entlüftung** an allen Hoch- und Tiefpunkten unter gleichzeitiger Berücksichtigung von kurzen absperrbaren Leitungsstrecken.

Nach Vergabe der Tiefbauarbeiten lieferte der Rohrhersteller die Rohre und Formstücke direkt zur Baustelle. An befahrbaren Wegen wurden die Rohre seitlich gelagert bzw. bei unwegsamem Gelände auf einem Lagerplatz gestapelt und später verfahren.

Es mußte die Eisenbahnlinie Köln—Trier einmal unterpreßt werden, hinzu kamen 14 Kreuzungen von Bundes- und klassifizierten Straßen sowie 7 Bachdurchquerungen. Vor allem bereitete die Verlegung in mehreren Steilhängen Schwierigkeiten, die jedoch von der Tiefbaufirma sagenhaft gemeistert wurden.

Die nach außen wirkenden Kräfte der Rohrleitung bei Richtungsänderungen wurden durch Betonwiderlager oder schubgesicherte TYTON®-Verbindungen (SV-Verbindungen) abgefangen. Auf der gesamten Strecke erfolgte eine Einbettung der Rohre in Lava-Sand. Zur Steuerung und Messung ist im Rohrleitungsgraben ein Fernmeldekabel mitverlegt. Allein 19 unterirdische Übergabeschächte, die sich an Ortsrandnähe befinden, wurden errichtet.

Die Druckprüfung der erdverlegten Rohrleitungen erfolgte nach den jeweils fertiggestellten Bauabschnitten gemäß DIN 4279, und es ergaben sich keine Undichtigkeiten. Bei der Desinfektion der mit Zementmörtel ausgekleideten Rohre wurde das DVGW-Arbeitsblatt W 291 beachtet. Bereits nach der ersten Probeentnahme durch das Hygiene-Institut in Eschweiler konnte bei allen Leitungsstrecken die Keimfrei-

heit bescheinigt werden und die Freigabe des Rohrsystems erfolgen. Für den Ausbau der Verteilungsanlage wurden 15,3 Mio DM investiert.

7. Zusammenfassung

Die vor 15 Jahren begonnenen Gesamtplanungen für den Ausbau einer zentralen Wasserversorgung in einer Flächengemeinde konnten verwirklicht werden.

Derzeit werden 500 000 m³ Trinkwasser an die Endverbraucher abgegeben. Für den zentralen Ausbau wurden insgesamt fast 18,3 Mio DM investiert; damit ist die Wasserversorgung der Gemeinde Blankenheim über das Jahr 2000 hinaus mengenmäßig, hygienisch und technisch gesichert. Gerade die Wasserversorgung im ländlichen Bereich stellt einen wichtigen

Bestandteil für die Lebensqualität der Bevölkerung dar. Auch die aufgestellten Kostenvorschläge sind eingehalten worden.

Die ausführenden Firmen haben in guter Zusammenarbeit mit dem Wasserwerk, dem Regierungspräsidenten in Köln, dem beteiligten Staatlichen Amt für Wasser- und Abfallwirtschaft in Aachen sowie mit der Bau- und Bauoberleitung in zügiger und positiver Arbeitsweise eine mangelfreie Rohrleitung erstellt.

Schrifttum

Prof. Dr. Hans Schneider, Bielefeld, „Entwurfsbericht: zentrale Wasserversorgung Blankenheim, April 1974“; Bearbeiter Claus Diedrich Tusch

Das Trinkwassertransportleitungssystem des Wasserbeschaffungsverbandes Lüdenscheid

Von Ernst Otto Brucke
und Ralf Pittius

1. Naturräumliche Lage und hydrogeologische Situation

Das Versorgungsgebiet des Wasserbeschaffungsverbandes Lüdenscheid (Bild 1) liegt im südlichen Teil des Märkischen Kreises, im Südwesten des Regierungsbezirkes Arnsberg, im Land Nordrhein-Westfalen. Das betrachtete Gebiet umfaßt den weitaus größten Teil des Märkischen Oberlandes und des Südsauerländer Berglandes. Diese beiden naturräumlichen Einheiten gehören zum Süderbergland. Geologisch-tektonisch gehört das Süderbergland dem

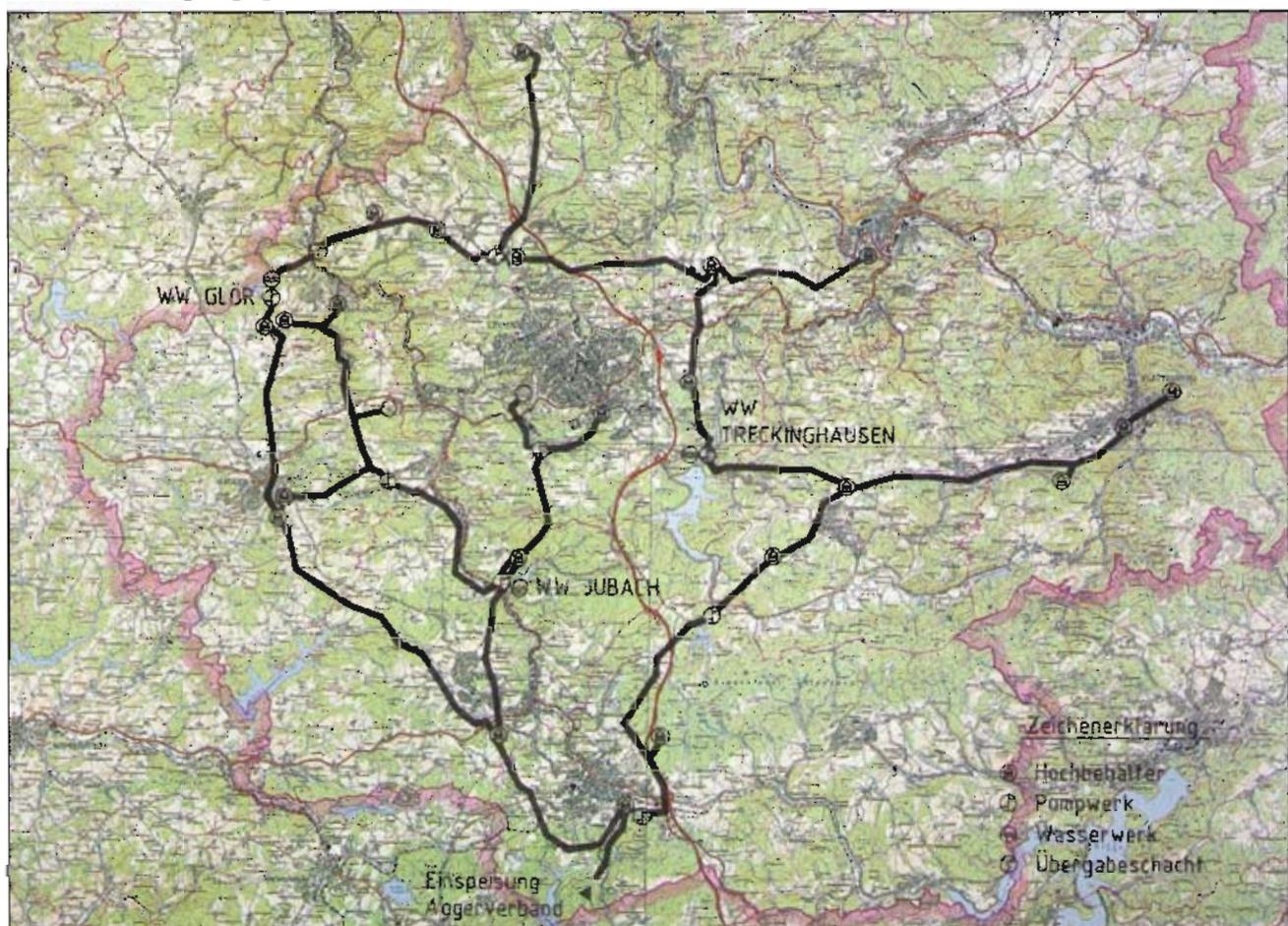
äußeren Nordostflügel des Rheinischen Schiefergebirges an. Das auffälligste Merkmal des Märkischen Oberlandes sind seine tief in die Hochfläche eingerissenen Erosionstäler, die quer zum variszischen Faltenbau des Gebirges der Schiefergebirgsabdachung nach Nordwesten folgen. Die steil reliefierten Talerschneidungsräume, die Hangneigungen von 20° und mehr aufweisen, nehmen zusammen mit der reich zerschnittenen Randstufe im Norden fast die Hälfte des Oberlandes in Anspruch. Als schroff geböschtes und durchweg bewaldetes Gelände stehen sie im scharfen Gegensatz zu den stark verästelten, größtenteils offenen Resthochflächen, zu denen sie naturräumlich ein bezeichnendes Kontrastgefüge bilden.

Die Gesteine des rheinischen Schiefergebirges gehören vorwiegend dem Devon an. Dieses stellt eine mächtige Folge von Schiefen, Sandsteinen, Grauwacken und Kalken verschiedenster Art und Farbe dar; dazu kommen noch Quarzite, Arkosen und Konglomerate. Insgesamt gesehen sind in dem betrachteten Gebiet sehr geringe Grundwassermengen vorhanden.

Da das Versorgungsgebiet am Rande der Mittelgebirgsschwelle des Sauerlandes liegt, regnen hier die Wolken aus westlicher und nördlicher Richtung sehr stark ab. Die Niederschlagsmenge liegt mit rd. 1200 mm/a weit über dem Bundesdurchschnitt.

Bedingt durch die topographischen und geologischen Verhältnisse flossen die hier abregnenden

Bild 1: Versorgungsgebiet des Wasserbeschaffungsverbandes Lüdenscheid



Wassermengen teilweise mit großer Geschwindigkeit in die Täler und überfluteten regelmäßig die Talauen, bis hin zum Ruhrtal. Während der niederschlagsarmen Zeiten herrschte Wassermangel, der jedoch wegen des relativ großen Anteils von Wald- und Forstflächen mit ihrer speichernden Wirkung meistens erst bei sehr langanhaltender Trockenheit bemerkbar wurde.

Ausgehend von dieser Situation wurde schon kurz nach der Jahrhundertwende mit dem Bau von Talsperren begonnen, die allerdings zu dem damaligen Zeitpunkt vornehmlich der Flußregulierung und der Sicherstellung der Triebwasserversorgung für die in den Tälern ansässigen Hammerschmieden und sonstigen Gewerbebetrieben dienten.

Die Trinkwasserversorgung war zu diesem Zeitpunkt vornehmlich auf Brunnenanlagen gestützt, die jedoch bei langanhaltender Trockenheit sehr schnell trocken fielen. Es wurden deshalb, ebenfalls beginnend mit dem Ausgang des vergangenen Jahrhunderts, in den Fluß- und Bachtälern Wassergewinnungsanlagen erstellt und die Talsperren als Wasserreservoir genutzt.

Im südlichen Teil des Märkischen Kreises entstanden insgesamt 10 Talsperren mit einem Stauvermögen von etwas mehr als 91 hm³. Allerdings ist der Ausbaugrad dieser Talsperren sehr unterschiedlich.

2. Entstehung und Aufgabenstellung des Wasserbeschaffungsverbandes Lüdenscheid

Die Wasserversorgung im Gebiet des heutigen Märkischen Kreises wurde ab 1971 außerordentlich problematisch. Bis zu diesem Zeitpunkt stützten sich die Wasserversorger in diesem Gebiet auf jeweils einzelne Spender. Die Versorgungssysteme waren bis auf wenige Ausnahmen nicht miteinander verbunden. Nachdem in fast allen Versorgungsgebieten Wasserbedarfsengpässe entstanden waren, wurden im Jahre 1972 auf Veranlassung des Ministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen Arbeitsgemeinschaften gebildet mit dem Auftrag, Planungsvorschläge für eine zukünftige Wasserversorgung zu erarbeiten. Unter der Federführung der Stadtwerke Lüdenscheid GmbH wurde von einem dieser Arbeitskreise eine Studie erstellt, die sich mit der Sicherstellung der Wasserversorgung im südlichen Teil des Märkischen Kreisgebietes befaßte.

Eine sichere Wasserversorgung des Raumes konnte nur durch ein Zusammenwirken aller betroffenen Städte und Gemeinden erreicht werden.

Es sollte ein leistungsfähiges Transportsystem geschaffen werden, das die vorhandenen Wasserspender untereinander und mit den Versorgungsschwerpunkten der Mitgliedsgemeinden verbindet und die Möglichkeit bietet, die vorhandenen Wasser-Ressourcen optimal zu bewirtschaften.

Mit Rücksicht auf die topographische Situation und auch darauf, daß die Leitungen durch teil-

weise sehr unwegsames Gelände geführt werden mußten, wurde ein Ringleitungskonzept erarbeitet, das die Möglichkeit bietet, bei Ausfall einer einzelnen Transportstrecke die Verteilerwerke trotzdem weiter zu beliefern. Um die räumliche Ausdehnung dieses Ringsystemes nicht allzu groß werden zu lassen, wurden für einzelne Gebiete im Norden und Osten des Versorgungsgebietes Abzweige vorgesehen, die jedoch in einer späteren Ausbauphase durch einen überlagerten zweiten nördlichen Ring untereinander verbunden werden können.

Rechtsvorgänger des Wasserbeschaffungsverbandes Lüdenscheid war der Jubach-Verband, der Anfang der 50er Jahre von den Gemeinden des Volmetalles gegründet wurde. Dieser Verband errichtete unterhalb der Jubach-Talsperre (Bild 2) eine Trinkwasseraufbereitungsanlage, baute Hochbehälter und verlegte Zuleitungen zu den Verbrauchsschwerpunkten der Mitgliedsgemeinden.

Im Jahr 1971 war die Wasserversorgung dieses Versorgungsgebietes ernsthaft gefährdet, weil der einzige Wasserspender des Verbandes, die Jubach-Talsperre, mit einem Speicherraum von nur 1,05 hm³ bei einem Ausbauverhältnis von etwa 20 % bis auf ein Minimum-Stauziel abgesenkt war. In einer dramatischen Aktion wurde mit Hilfe von Pipeline-Einheiten der Bundeswehr und Feuerwehren der beteiligten Gemeinden aus der benachbarten Verse-Talsperre (Bild 3) Rohwasser über die Wasserscheide gepumpt. Nur durch diesen Einsatz konnte eine Trinkwasserkatastrophe vermieden werden.

Im Jahre 1974 trat zunächst die Stadt Lüdenscheid dem Jubach-Verband bei; die Stadtwerke

Bild 2: Staumauer der Jubachtalsperre

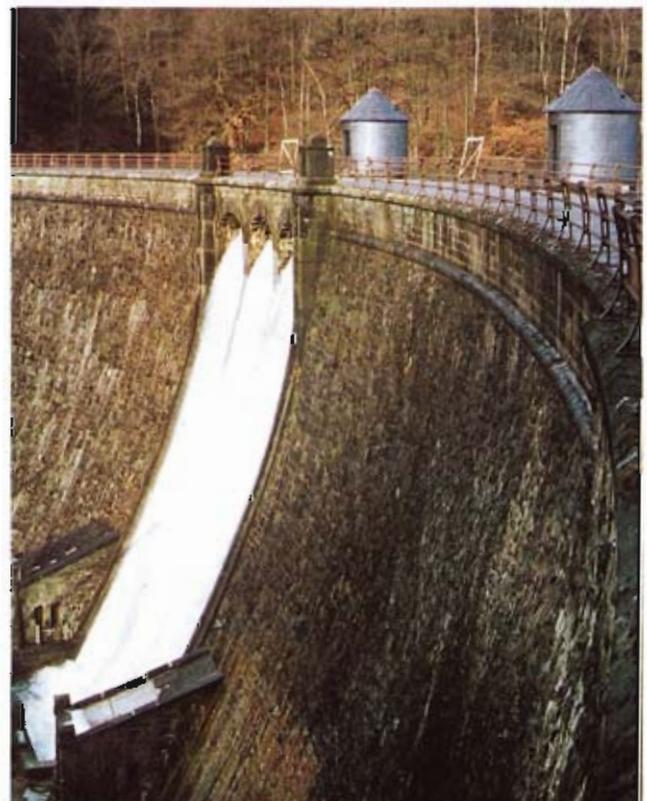




Bild 3: Versetalsperre, Stauinhalt 32 hm³

Lüdenscheid GmbH übernahm die Geschäftsführung, erarbeitete eine neue Satzung und der Verband gab sich den neuen Namen „Wasserbeschaffungsverband Lüdenscheid“.

Heute vereinigt der Verband sämtliche Städte und Gemeinden im südlichen Teil des Märkischen Kreises, mit Ausnahme der Städte Altena und Meinerzhagen.

Im Verbandsgebiet werden etwa 175 000 Einwohner mit Trinkwasser versorgt. Der Wasserbedarf aller Mitgliedsgemeinden beträgt z. Z. insgesamt etwa 12 Mio m³/a. Fast alle Mitglieder verfügen über eigene Gewinnungsanlagen, die weiterhin genutzt werden.

Ende des Jahres 1976 wurde der Entwurf eines Verbandsplanes vorgelegt, der kurz darauf von der zuständigen Bezirksregierung Arnsberg und dem STAWA Hagen geprüft und genehmigt wurde.

Das geplante Transportleitungssystem besteht aus 16 Hochbehältern (Bild 4), 4 Förderanlagen und 115 km Rohrleitungen. Es wird mit Baukosten von insgesamt 85 Mio DM gerechnet. Das Land Nordrhein-Westfalen fördert den Ausbau durch nicht unerhebliche Landesbeihilfen.

Bild 4: Rohrinstallation im Hochbehälter Brunscheid



3. Auswahl des Rohrmaterials für die Transportleitungen

3.1 Allgemeines

Das Transportleitungssystem besteht im wesentlichen aus Rohren der Nennweiten DN 300 bis DN 500. Nur für eine Rohrstrecke ist die Nennweite DN 600 erforderlich. Die Nenndrücke liegen im Bereich PN 16 bis PN 25. Alternativ ausgeschrieben wurden die Werkstoffe Asbestzement, Stahl und duktilen Gußeisen. Die Ausschreibung verlief zugunsten des duktilen Gußeisens. Mit Ausnahme der Leitung DN 600 wurde das System bisher nur aus duktilem Gußeisen mit TYTON®-Muffen und Zementmörtelauskleidung gebaut.

3.2 Einfluß der topographischen Verhältnisse auf den Rohrwerkstoff

Die Höhendifferenz der Rohrleitungstrassen zwischen den Flußauen der Volme und Lenne und den höchsten Erhebungen der Hochfläche beträgt etwa 420 m. Bei der Trassierung der Leitung konnte aus Gründen des Landschaftschutzes den berechtigten Wünschen der Forstwirtschaft und auch bedingt durch die teilweise sehr dichte Besiedlung der Talauen nicht den natürlichen Talläufen gefolgt werden. Ganz abgesehen davon, daß auch teilweise zur Schließung des Ringsystems der Leitungsvorlauf bewußt quer zur vorhandenen Gebirgsfaltung geplant werden mußte. Auf Grund dieser besonderen Verhältnisse war es erforderlich, eine Vielzahl von Hoch- und Tiefpunktschächten in das Transportleitungssystem einzubauen.

Bei der Auswahl des Rohrmaterials kam es darauf an, einen Rohrwerkstoff zu finden, der den Anschluß dieser Schächte und die Installation mit Standard-Formstücken ermöglichte. Das reichhaltige Formstückangebot sprach hier für das duktile Gußeisen.

Wegen der streckenweise nur schwer zugänglichen Rohrtrassen darf der Rohrwerkstoff nicht zu Schalen-Brüchen neigen. Umfangreiche Reparaturen, die bei solchen Rohrwerkstoffen bei Beschädigung erforderlich werden, können auch wegen der begrenzten Hochbehälterräume nicht hingenommen werden.

Die Geländeverhältnisse erfordern sehr viele horizontale und vertikale Richtungsänderungen (Bild 5); auch hier ist das Formstückangebot der duktilen Gußrohre und die Beweglichkeit in den Muffen ein wesentlicher Vorteil dieses Werkstoffes.

3.3 Einfluß der Bodenverhältnisse auf den Rohrwerkstoff

Wie bereits vorher ausgeführt, besteht der Untergrund weitgehend aus devonischen Gesteinen mit Schichten aus Ton, Schiefer und Grauwacke. Die Gesteine haben nur eine geringe Wasserwegsamkeit in Klüften und Spalten. Über dem festen Gestein befindet sich in der Regel eine Decke aus Verwitterungsschutt, der teilweise verlehmt ist. Dieser felsige Untergrund, bei dem im Mittel 60 % des Grabenaus-



Bild 5: Transportleitung DN 500
Sicherung eines Überbogens

hubes der Bodenklasse 6 zuzuordnen ist, erfordert einen Rohrwerkstoff, der in der Lage ist, im gewissen Umfang Druck- und Zugspannungen aufzunehmen. Die hohe Festigkeit des Bodens erleichtert andererseits den Einsatz von Muffenrohren, weil der Aufwand für Krümmer-Widerlager bei diesem Boden gering ist. Der Boden ist in der Regel nicht aggressiv. Verstärkter äußerer Korrosionsschutz ist nur an Bachkreuzungen und den wenigen anderen Problemzonen erforderlich.

Allerdings wird bei Rohrstrecken, bei denen aus Gründen des Landschaftsschutzes kein Bodenaustausch vorgenommen werden darf, als äußerer Schutz der Rohre eine Felsschutzmatte zusätzlich vorgesehen.

3.4 Einfluß der Wassergüte auf den Rohrwerkstoff

Das im Transportleitungssystem zur Verteilung anstehende Trinkwasser wird aus Talsperren entnommen. Im wesentlichen stützt sich das System z. Z. auf die Verse- und Jubach-Talsperre und auf den Bezug vom Aggerverband, der ebenfalls Talsperrenwasser verteilt. Der Anschluß von weiteren Talsperren ist in Zukunft möglich.

Da die Einzugsgebiete und insbesondere auch die geologischen Verhältnisse aller Talsperren nahezu identisch sind, ist auch die Wasserqualität in etwa gleich.

Die Wässer sind außerordentlich weich; die Gesamthärte der aufbereiteten Wässer liegt im Bereich von 2,5° bis 3,5°dH. Die elektrische Leitfähigkeit ist gering und liegt im Bereich von 120

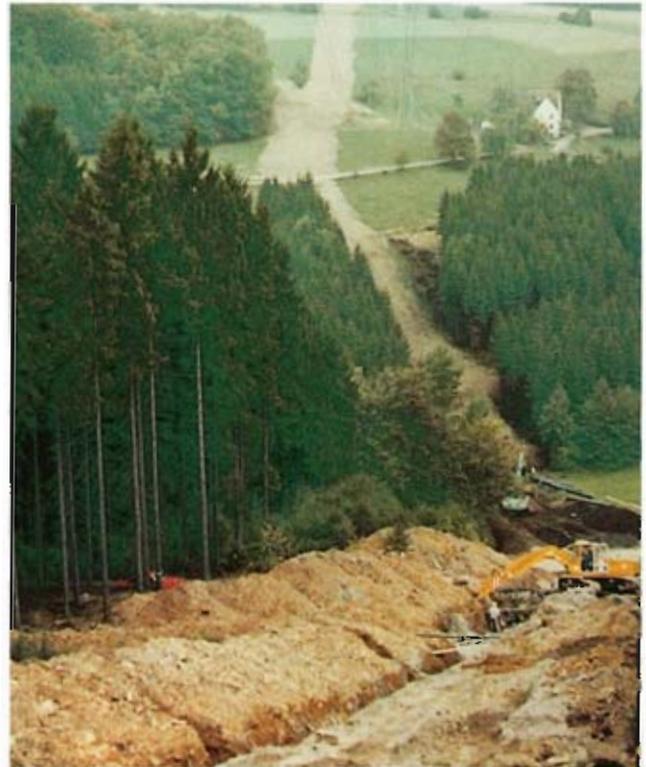


Bild 6: Transportleitung DN 500 vom Wasserwerk Treckinghausen zum Hochbehälter Brunscheid

bis 160 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Bei der Aufbereitung wird der pH-Wert auf etwa pH 9 eingestellt.

4. Bauausführung

Nach Abstimmung der Trassenführung mit den zuständigen Behörden und nach Abschluß der Grunddienstbarkeitsverträge mit den Eigentümern werden die Baumaßnahmen abschnittsweise öffentlich ausgeschrieben.

Die Rohrverlegung (Bild 6) erfolgt gemäß DIN 19 630. Parallel zur Transportleitung wird ein Fernmeldekabel verlegt. Die Entleerungs- sowie Be- und Entlüftungseinrichtungen werden in Schachtbauwerken installiert. Um bei Betriebsstörungen Teilabschnitte einer Rohrstrecke außer Betrieb nehmen zu können, werden an zugänglichen Stellen in Abschnitten von etwa 1000m Trassenlänge erdverlegte Streckenschieber angeordnet.

In Steilhängen von mehr als 15 % Neigung kommen schubgesicherte TYTON®-Verbindungen zum Einsatz. In diesen Bereichen wird die Rohrbettung durch seitlich eingespannte Riegel gegen Abrutschen und Ausspülen gesichert.

Zur Überwachung der Abgabemenge und zur Feststellung von Rohrbrüchen sind die Rohrstrecken ein- und ausgangsseitig der Wasserwerke, der Behälter und der Pumpwerke mit Durchflußmengenmeßgeräten ausgerüstet. Die Meßwertübertragung erfolgt durch Zeitmultiplexanlagen über Fernmeldekabel oder über Richtfunkstrecken zu einer zentralen Warte.

Die Krümmer-Widerlager werden gemäß DVGW-Arbeitsblatt GW 310 ausgeführt. Nach Abschluß

der Rohrverlegung werden die Rohrleitungen einer Wasserinnendruck-Prüfung nach DIN 4279 unterzogen.

5. Zusammenfassung

Das Transportleitungssystem des Wasserbeschaffungsverbandes Lüdenscheid besteht fast ausschließlich aus duktilen Gußrohren mit Zementmörtelauskleidung. Die bisherige Erfahrung bei Bau und Betrieb ist uneingeschränkt gut. Da in Zukunft eine gestreckte Linienführung der Rohrtrassen durch Einsprüche der Aufsichts- und Fachbehörden immer schwieriger werden dürfte, wird man noch weitgehender mit bogenförmiger Rohrführung arbeiten müssen. Bei dieser Bauweise erfolgt die Abwinkelung in den Muffen, die Schubkräfte werden durch längskraftschlüssige Muffenverbindungen aufgefangen.

Der Verband hofft, die noch laufenden Bauarbeiten in den nächsten Jahren abzuschließen, um damit der Bevölkerung dieses Raumes eine optimale, sichere und gut funktionierende Wasserversorgung bieten zu können.

Schrifttum

Statistische Rundschau für den Kreis Lüdenscheid, herausgegeben vom Statistischen Landesamt NRW, Düsseldorf 1972

Erläuterungen z. d. Blättern Münster und Köln der hydrogeologischen Übersichtskarte, herausgegeben vom Bundesministerium für Wirtschaft, Hydrogeologischer Arbeitskreis

Verbandsplan des Wasserbeschaffungsverbandes Lüdenscheid 1976

Bildnachweis

Stadtwerke Lüdenscheid GmbH

Einziehen einer 300 m langen duktilen Wasserleitung DN250 in eine vorhandene Graugußrohrleitung DN400

Von Erwin Frank

Vorbemerkung

In Marburg mußten in den letzten Jahren wiederholt Schäden an einer Grauguß-Wasserleitung DN 400 beseitigt werden, was nur unter großem Aufwand möglich war und erhebliche Kosten verursachte. Erschwerend wirkte sich dabei vor allem aus, daß diese Leitung in 3 m Tiefe verläuft und die bituminierte Straßendecke eine Dicke von 25 cm aufweist, wozu jeweils Rammarbeiten bei den Aufgrabungen notwendig waren. Aus wirtschaftlichen Gründen stellte sich daher zwangsläufig die Frage nach einer Neuverlegung.

Da die Berechnungen ergaben, daß eine Leitung DN 250 ausreichen würde, entschieden wir uns dafür, die vorhandene Graugußleitung DN 400 als Mantelrohr für ein Reliningverfahren zu verwenden. Die Voraussetzungen hierfür schienen günstig, da nach unseren Unterlagen die alte Leitung — sieht man von den Reparaturstellen ab — ohne Krümmer und exakt gerade verlaufend verlegt ist.

Nach eingehenden Vorbereitungen wurde eine Fachfirma mit der Durchführung im Herbst 1985 beauftragt.

Arbeitsablauf

Am Anfang und am Ende der zu erneuernden Leitungsstrecke wurden Baugruben (ca. 8 m × 2 m) ausgehoben, die mit Spundbohlen abgesichert wurden. Nach der anschließenden beidseitigen Leitungstrennung bestätigte sich durch Lichteinstrahlung, daß die Leitung DN 400 gerade verläuft; dies war wichtig für das Gelingen einer solchen Maßnahme.

Für die neue Leitung wurden GGG-Rohre mit ZM-Auskleidung und TYTON®-Muffen und TYTON®-SIT-Schubsicherungen verwendet. Geplant war, die Rohre mit den Einsteckenden voran einzuziehen, weil sich dadurch die Schubsicherungen bereits während des Einziehens verankern und so beim Füllen mit Wasser oder während der Druckprüfung keine Längenänderungen mehr an der Leitung entstehen.

Da uns Erfahrungen über das Einziehen duktiler Leitungen mit einer Länge von 300 m nicht vorlagen, entschlossen wir uns, vor dem endgültigen Einziehen der Leitung Versuche mit einem bzw. zwei Rohren durchzuführen, was sich auch als notwendig erweisen sollte.

Als erstes wurde ein Molch mit einem Wasserdruck von ca. 2 bar durch das Mantelrohr geschickt. Dieser Molch, der speziell dafür gefertigt wurde, hatte die Aufgabe, eine Nylonschnur durch das Mantelrohr zu ziehen, womit dann das erforderliche Drahtseil für die Seilwinde nachgeholt werden sollte. Bei diesem Vorgang wurde die Nylonschnur durch eine am EU-Stück angebrachte Hülse mit Abdichtung geführt; siehe Bild 1.

Das dafür benötigte Wasser wurde einem Hydranten entnommen und dem Rohr über eine Anbohrschelle und einen zwischengeschalteten Wasserzähler (20 m³/h) zugeführt. Anhand der einfließenden Wassermengen sowie an der Restlänge der eingeführten Schnur konnte die Position des Molches verfolgt werden. Mit der so durchgezogenen Nylonschnur wurde dann das Drahtseil der Seilwinde nachgezogen.

Nun konnte mit dem ersten Versuch begonnen werden. Dazu wurde in der Baugrube ein dafür

Bild 1: Detail des Molchvortriebes

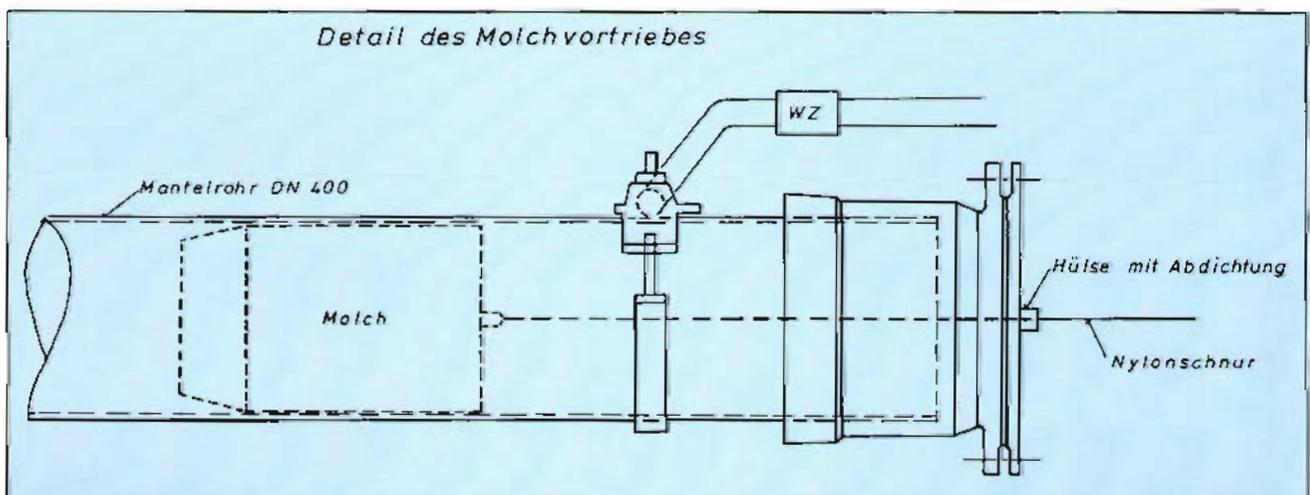




Bild 2: Einziehen des Versuchsrohres DN 250

vorgefertigter Montagetisch aufgestellt und befestigt. Das Einziehen des Versuchsrohres erfolgte dann wie auf Bild 2 ersichtlich.

Es sollte sich zeigen, daß die Erkenntnisse aus den zwei Probedurchgängen für das Gelingen der Maßnahme notwendig waren, denn das erste Versuchsrohr, das mit je einer Gleitkufe am Einsteck- und am Muffenende versehen war, ließ sich nur bis etwa 200 m einwandfrei einziehen; dann saß es fest. Ein Weiterziehen war nicht mehr möglich. Mit dem miteingefahrenen Seil

Bild 3: Führungsrohr mit Stahlgleitkufe und Zuganker



wurde das Versuchsrohr zurückgeholt. Dabei stellte sich heraus, daß die Führungsgleitkufe am Einsteckende bis zur zweiten Gleitkufe am Muffenende zurückgerutscht war. Wahrscheinlich hatte sich das Rohr an einer Muffenverbindung oder Reparaturstelle im Mantelrohr festgesetzt. Der Hersteller dieser Gleitkufen aus Kunststoff empfahl uns daraufhin, sogenannte Haftbinden im Bereich der Kufen um das Rohr anzubringen.

Der zweite Versuch wurde mit zwei aneinandermontierten Rohren durchgeführt, wozu eine Führungskufe aus Stahl angefertigt wurde, welche dann zusätzlich am Einsteckende des ersten Rohres durch Schrauben gesichert war; siehe Bild 3.

Die beiden Rohre ließen sich jetzt ohne Schwierigkeiten durch das 300 m lange Mantelrohr ziehen. Allerdings zeigte sich nach dem Durchfahren, daß die Schrauben zum Teil in den Kunststoff eingedrungen waren und die Kufen sich zu lösen drohten. Daraufhin wurden alle Gleitkufen vor der Montage aufgebohrt und mit größeren Schrauben ausgestattet.

Jetzt konnte mit dem endgültigen Einziehen der Leitung begonnen werden. Die Rohre wurden mit einem Autokran in die Montagegrube hinabgelassen, die Muffenverbindung hergestellt, kontrolliert und die TYTON®-SIT-Schubsicherungen mit dem Montagegerät verankert.

Bild 4: Drei Gleitkufen je Rohr



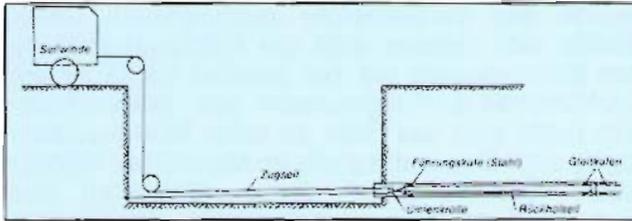


Bild 5: Schema des Rohreinzuges

Aus Sicherheitsgründen wurden 3 Gleitkufen je Rohr angebracht; siehe Bild 4.

Zwischen der Bedienung der Seilwinde und den Monteuren in der Montagegrube bestand Kontakt über Sprechfunkgeräte. Einziehen waren 50 Rohre mit einem Gesamtgewicht von 18 200 kg. Unter Zugrundelegung eines Reibungsfaktors von $\mu=0,2$ ergab sich eine notwendige Zugkraft von 3 640 kg.

Seilwinde und Drahtseil wurden jedoch für eine wesentlich höhere Zugkraft ausgelegt. Dies war notwendig, da durch die Elastizität des Drahtseiles es wiederholt zu ruckartigen Bewegungen am Rohr kam, die höhere Zugkräfte auslösten. Allerdings reduzierten wir die auftretende Zugkraft an der Seilwinde und am Drahtseil durch Anbringen einer Umlenkrolle nochmals um 50 %; siehe Bild 5.

Da die vorhandene Graugußleitung auf 300 m Länge ein Gefälle von 0,27 m aufwies, wurde darüber hinaus während des Ziehvorganges Wasser durchgelassen. Dadurch konnte der Reibungsfaktor zusätzlich vermindert werden.

Leider konnte die tatsächlich angefallene Zugkraft an der Seilwinde nicht gemessen werden.

Das Einziehen dauerte insgesamt 3 Tage. Bild 6 zeigt das Führungsrohr nach dem Durchziehen durch die alte Leitung. Die durchgeführte Druckprüfung mit 15 bar nach Abschluß dieses Reliningverfahrens stand auf Antrieb.

Schlußbemerkung

Das Einziehen der 300 m langen Wasserleitung aus duktilen Gußrohren DN 250 in eine vorhandene Graugußrohrleitung DN 400 ist im Prinzip



Bild 6: Führungsrohr nach dem Durchziehen

zufriedenstellend verlaufen. Im Wiederholungsfalle würden wir jedoch statt Gleitkufen aus Kunststoff Stahlblechschellen mit Rollen verwenden und diese in unserer Werkstatt selbst anfertigen. Aufgrund der höheren Belastbarkeit wäre dann auch nur eine Schelle je Rohr notwendig. Stellt man die Kosten dieses Reliningverfahrens einer Neuverlegung gegenüber, so konnten damit etwa DM 61 000,— eingespart werden.

Die Trinkwasser- versorgung im Raum Würzburg

Von Helmut Wagner

Vorbemerkung

Unternehmungsträger für den Neubau der Fernwasserleitung zwischen dem vorhandenen Hochbehälter (HB) Neuhof des Zweckverbandes Fernwasserversorgung Franken (FWF), dem im Bau befindlichen HB Gieshügel des Zweckverbandes Fernwasserversorgung Mittelmain (FWM) und dem derzeitigen Leitungsende der Fernwasserleitung Würzburg-Ost, dem Abzweigschacht Lengfeld, Hochbehälter, ist der Zweckverband FWM, Würzburg, Ludwigstraße 3.

Vorgeschichte

Eine anhaltende Trockenheit im Jahre 1964 führte vor allem im Raum Würzburg zu Schwierigkeiten in der Wasserversorgung. Zahlreiche Gemeinden baten daraufhin das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft in München um Beratung hinsichtlich ihrer Wasserversorgung. Dies bot Anlaß, die Wasserversorgungsverhältnisse im gesamten mittleren Unterfranken eingehend zu untersuchen. Aufgrund der Ergebnisse dieser Untersuchung erklärten sich die Stadt Würzburg und die Landkreise Gemünden, Hammelburg, Karlstadt, Lohr, Marktheidenfeld und Würzburg bereit, einem Zweckverband beizutreten, der sich am 27. Juni 1966 als Zweckverband „Wasserversorgung Mittelmain“ konstituierte. Das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft wurde mit dem Vorentwurf zu dem Fernleitungsnetz beauftragt.

Nach der Gebietsreform gehören heute dem Zweckverband Fernwasserversorgung Mittelmain (FWM) die Stadt Würzburg, die Landkreise Bad Kissingen, Main-Spessart und Würzburg an. Der Zweckverband ist eine Körperschaft des öffentlichen Rechts und gemeinnützig im Sinne der Gemeinnützigkeitsverordnung. Seine Aufgabe ist es, nach der Satzung Trinkwasser im Verbandsgebiet auf vertraglicher Basis zu liefern und die notwendigen Anlagen zu errichten und zu betreiben.

Deckung des Wasserbedarfs

In den Jahren 1962 bis 1968 wurden Untersuchungen über die Grundwasserhäufigkeit am Ostrand des Buntsandstein-Spessarts durchgeführt, die erbrachten, daß nur im unmittelbaren Bereich der großen Vorfluter Main und Sinn — und hier auch nur in den von Nord nach Süd streichenden tektonisch angelegten Talstücken aus dem Buntsandstein — größere Wassermengen erschlossen werden können. Es wurden seinerzeit folgende Erschließungsgebiete für den Ausbau vorgesehen, aus denen man sich folgende zu gewinnende Wassermengen erhoffte:

Erlach Süd + Nord	=	340 bis 370 l/s
Rodenbach	=	110 l/s
Hofstetten	=	200 bis 250 l/s
Rieneck	=	40 bis 50 l/s
Schonderfeld	=	50 l/s

Voraussichtliche damals errechnete Gesamtergiebigkeit: 740 bis 830 l/s

Tatsächlich sind bis 1986 nur nachfolgende Erschließungsgebiete durch den Zweckverband FWM ausgebaut worden:

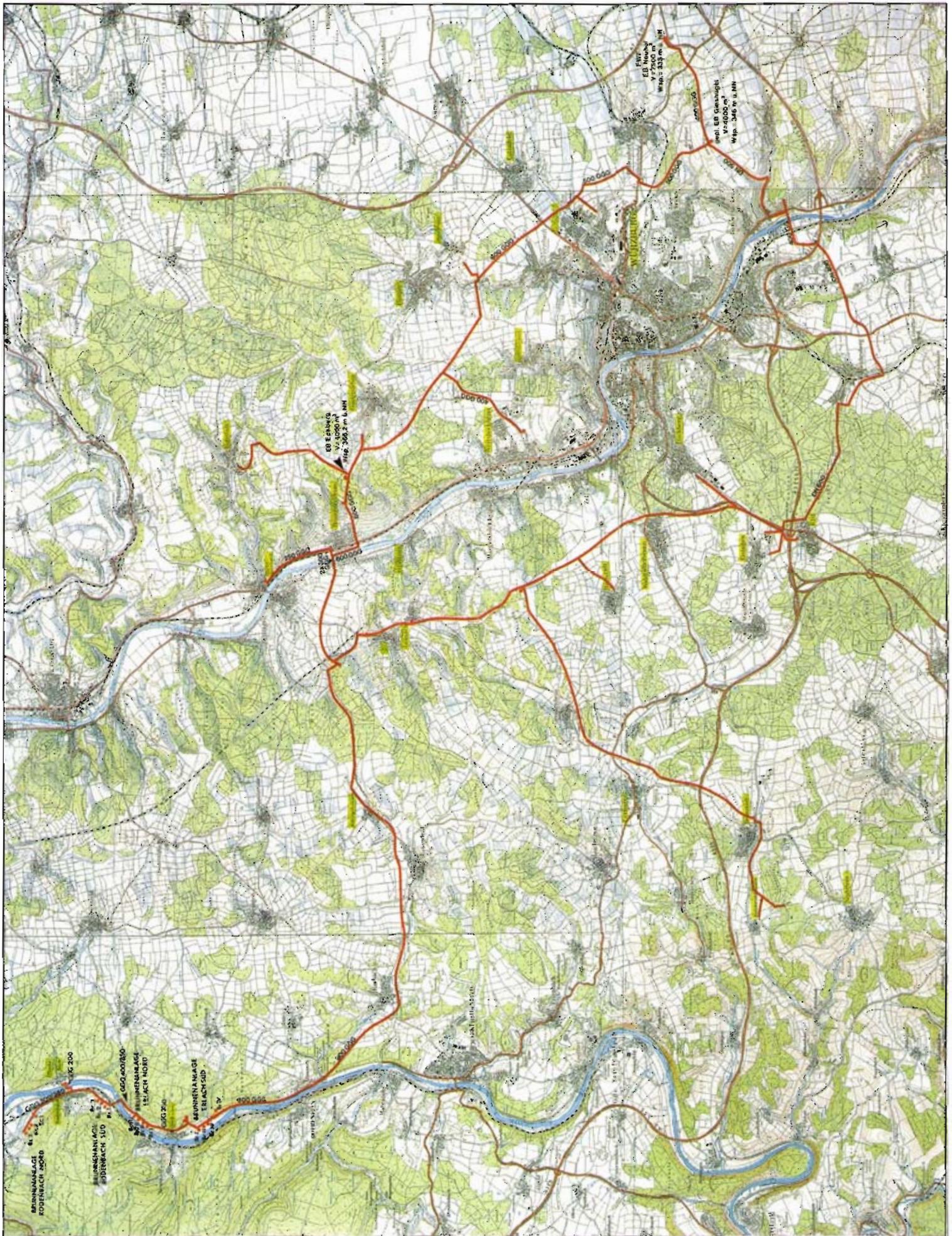
Erlach Süd		
4 Brunnen	=	40 l/s
Erlach Nord		
4 Brunnen	=	50 l/s
Rodenbach Süd		
3 Brunnen	=	20 l/s
Rodenbach Nord		
3 Brunnen	=	40 l/s
		<u>150 l/s</u>

Die Bauabschnitte

Als erster Bauabschnitt wurde im Jahre 1968 die Wassererschließung Erlach, die Fernleitung Zelllingen-Kist mit Bauwerken, die Fernleitung Brunnen-HB Neubrunn und die Planung Zelllingen-Retzstadt in Angriff genommen. Der zweite Bauabschnitt umfaßte die Fernleitung Würzburg-Ost über Thüngersheim—Güntersleben—Rimpar/Maidbrunn und vom HB Eckberg bis Retzstadt. In diesen beiden Bauabschnitten wurden bereits in relativ kurzer Zeit rund 53 km Druckleitungen DN 200 bis DN 600, PN 10 bis PN 25 verlegt (Bild 1).

Die Brunnenerschließungen Erlach Nord und Süd mit dem Bau der Wasseraufbereitungsanlage und der Fernleitung zum wichtigen Sammel- und Verteilungspunkt, dem HB Zelllingen, mit der Erweiterung des HB Zellingen, wurden im Rahmen des dritten Bauabschnittes ab Frühling 1975 wegen dringenden Wasserbedarfs der Stadt Würzburg begonnen und bereits im Herbst 1976 im wesentlichen fertiggestellt.

Unmittelbar im Anschluß an den dritten Bauabschnitt wurden in einem vierten Bauabschnitt die Brunnenerschließungen Rodenbach Süd und Nord mit Fernleitungsanschluß an die Wasseraufbereitungsanlage Erlach durch den Zweckverband FWM durchgeführt. Zum vierten Bauab-



schnitt gehören weiter die Fernleitungen HB Kühruh bis HB Neubrunn, mit der Erweiterung des HB Kühruh auf insgesamt 5 000 m³, sowie die Fernleitung von Rimpar zum HB Lengfeld mit Anschlußleitung nach Estenfeld.

Der Zweckverband Fernwasserversorgung Mittelmain versorgt mit den Anlagen, die in den Bauabschnitten I mit IV erstellt wurden, inzwischen große Bereiche des aufgrund der Studie des Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft von 1965 und der Fortschreibung dieser Studie von 1979 vorgesehenen Versorgungsgebietes. Bei den in den Bauabschnitten III und IV durchgeführten Grundwassererschließungen in Erlach und Rodenbach haben die bisherigen Betriebsverfahren gezeigt, daß das auf die Dauer verfügbare Grundwasserdargebot weit geringer ist, als ursprünglich angenommen wurde. Aus den beiden Erschließungsgebieten Erlach (Nord und Süd) und Rodenbach (Nord und Süd) stehen dem Zweckverband 15 000 m³/Tag zur Verfügung. Diese Wassermengen reichen gerade aus, um derzeit den durchschnittlichen täglichen Wasserbedarf des Zweckverbandes Fernwasserversorgung Mittelmain zu decken. An verbrauchsreichen Tagen ergeben sich jedoch Fehlmengen bis zu 9 000 m³/Tag.

Nachdem die beabsichtigte Grundwassererschließung im Raum Hofstetten-Gemünden nicht zu den gewünschten Ergebnissen geführt hat, war der Zweckverband FWM gezwungen, anderweitig das benötigte Wasser zu beschaffen. Der Zweckverband Fernwasserversorgung Franken (FWF) hat sich bereiterklärt, diese fehlenden Wassermengen bis zu $Q_{max} = 100 \text{ l/s} = 8 640 \text{ m}^3/\text{Tag}$ zu liefern und bereitzustellen. Es soll deshalb im Rahmen des Bauabschnittes V, der z. Z. im Bau ist und über den im nachfolgenden näher berichtet werden wird, die Verbindung zwischen dem Zweckverband Fernwasserversorgung Franken und dem Zweckverband FWM hergestellt werden. Für den Verbund zwischen den beiden Zweckverbänden sind auf seiten des Zweckverbandes FWM folgende Baumaßnahmen erforderlich:

Fernwasserleitung vom vorhandenen HB Neuhof des Zweckverbandes FWF zum HB Gieshügel des Zweckverbandes FWM in duktilen Gußrohren DN 400 auf einer Länge von rd. 4 000 m.

HB Gieshügel mit einem Volumen von rd. 4 000 m³, Wsp. = 346,00 m über NN.

Fernwasserleitung vom HB Gieshügel zum derzeitigen Ende der Fernwasserleitung Würzburg-Ost bei Lengfeld in duktilen Gußrohren DN 500 auf eine Länge von 5 640 m.

Zu einem späteren Zeitpunkt soll dann der Ringschluß, die sog. Südspanne, zwischen dem HB Gieshügel und dem vorhandenen HB Kist des

Zweckverbandes FWM über die Gemeinde Randersacker, die Stadt Würzburg-Heuchelhof und die Gemeinde Reichenberg erstellt werden. Das Raumordnungsverfahren für den Ringschluß ist bereits durchgeführt.

Eine Mischung der Wässer des Zweckverbandes FWM mit denen des Zweckverbandes FWF ist wegen der unterschiedlichen chemischen Zusammensetzung nicht möglich. Es kann deshalb nur eine bestimmte Zone des Zweckverbandes FWM mit Wasser vom Zweckverband FWF versorgt werden.

Die Zoneneinteilung an der Fernleitung Würzburg-Ost wird bestimmt durch die vom Zweckverband FWF gelieferten Wassermengen und den derzeitigen und künftigen Bedarf der an der Fernleitung Würzburg-Ost liegenden Abnehmer. Zur Zeit können demnächst folgende Abnehmer vom HB Gieshügel bzw. mit Wasser vom Zweckverband FWF versorgt werden:

Würzburg-Lengfeld
Estenfeld
Rimpar/Maidbronn
Würzburg-Unter- und -Oberdürbach
Veitshöchheim
Würzburg-Gewerbegebiet Veitshöchheim

Beschreibung der Gesamtkonzeption des Bauabschnittes V

Vorgesehen ist, vom Zweckverband FWF über ein im HB Neuhof zu installierendes Zwischenpumpwerk das benötigte Wasser in den HB Gieshügel zu fördern, in Abhängigkeit vom Wasserstand des HB Gieshügel, bei einer nutzbaren Wassertiefe von 5 m.

Vom HB Gieshügel aus soll das Wasser im freien Gefälle den Abnehmern an der Fernwasserleitung Würzburg-Ost zufließen. Bei den derzeitigen Verbrauchswerten, der vorgegebenen Wasserlieferung des Zweckverbandes FWF und dem Wasserspiegel des HB Gieshügel mit 346,00 m über NN lassen sich die angeschlossenen Abnehmer bis einschl. Veitshöchheim vom HB Gieshügel über das natürliche Gefälle versorgen.

Die Gemeinden Güntersleben und Retzbach werden, wie bisher, mit Wasser des Zweckverbandes FWM aus dem HB Eckberg versorgt.

Bei steigendem Wasserbedarf entlang der Fernleitung Würzburg-Ost können nicht mehr alle Anschlußnehmer über das vom Zweckverband FWF gelieferte Zusatzwasser versorgt werden, so daß zur gegebenen Zeit, ab 1990 etwa, wieder mehrere Anschlußnehmer vom HB Eckberg über den Zweckverband FWM versorgt werden müssen (Bild 2). Durch den Einbau entsprechender Streckenschieber in den jeweiligen Abzweigschächten zu den Anschlußnehmern des Fernleitungssystems Würzburg-Ost kann bei Steigerung des Wasserverbrauches die Versorgungszone entsprechend geändert werden.

Es kann dann das Versorgungsgebiet aus dem HB Eckberg des Zweckverbandes FWM schritt-

Bild 1: Lageplan

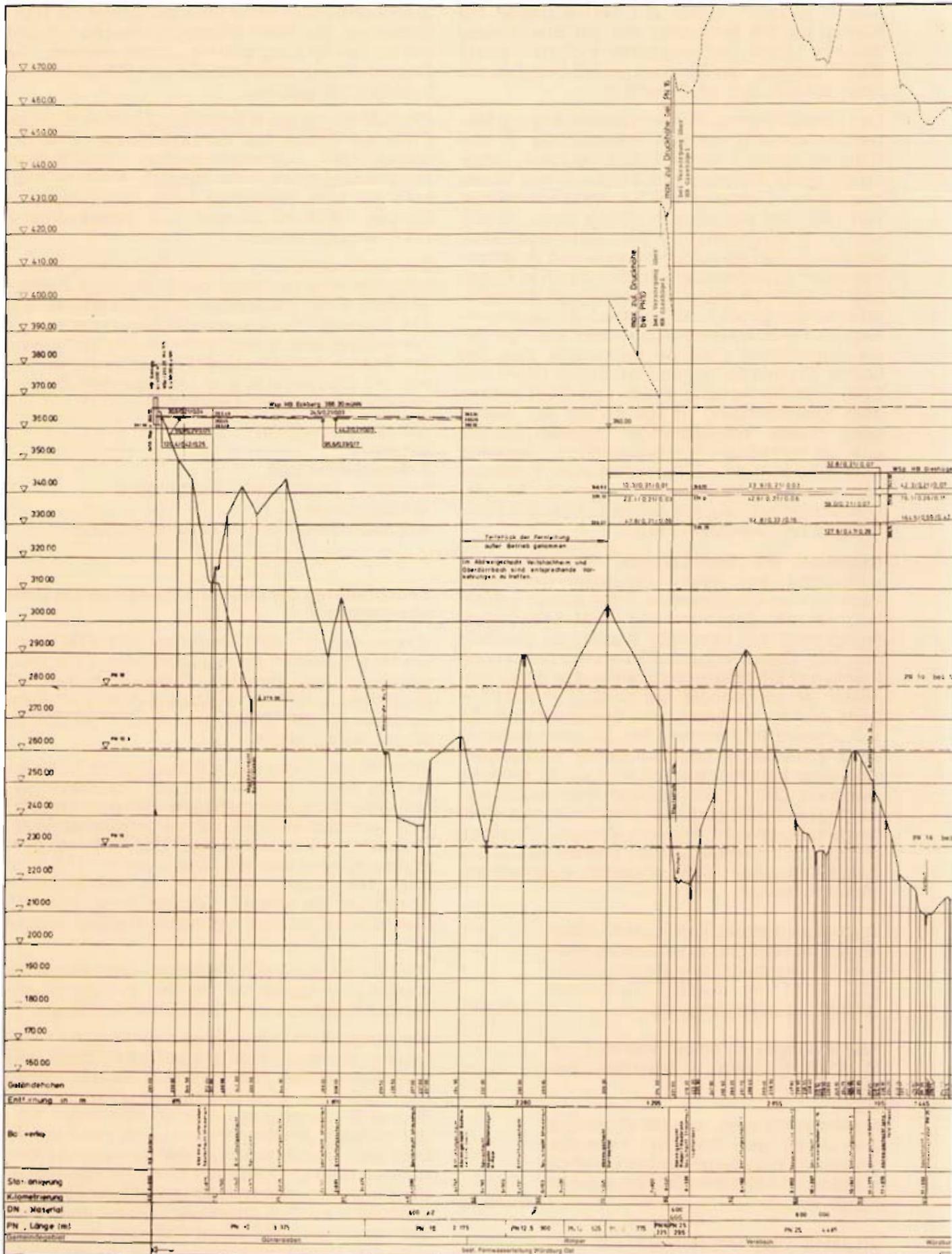
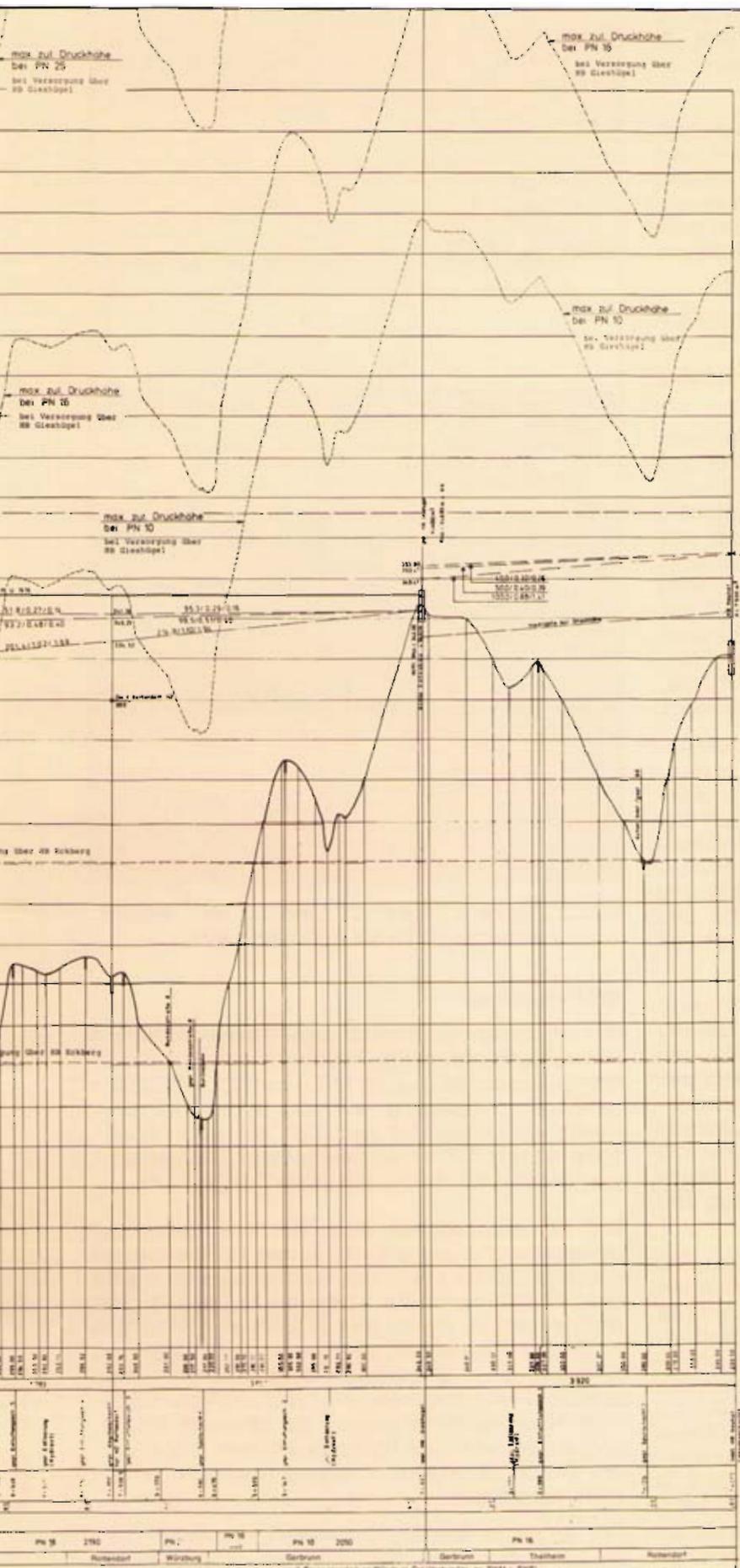


Bild 2: Übersichtslängsschnitt



- Druckkurve für
- Druck
 - Druck mit Angabe der Durchflussmenge $Q = 16 \text{ l/s}$
 - Druck mit Angabe der Durchflussmenge $Q = 16 \text{ l/s}$
 - Druck mit Angabe der Durchflussmenge $Q = 16 \text{ l/s}$

Fernwasserleitung Verbund zwischen FWM und FWF Zweckverband Fernwasserversorgung Mittelfranken		Nr. 57 Proj. Nr. 83-22
Übersichtslängsschnitt Versuchsreihe Zukunft 1 Jahr 1980		Datum: _____ Maßstab: 1:25000/500
Entwurfsverfasser: <i>Karlheinz Leber</i> Auftraggeber: <i>Städt. Wasser- u. Abw.-Büro</i> Auftraggeber: <i>Städt. Wasser- u. Abw.-Büro</i> Auftraggeber: <i>Städt. Wasser- u. Abw.-Büro</i>	Datum: _____ Maßstab: 1:25000/500	
Die Zeichnung ist ein Entwurfsskizzenblatt und ist ohne Gewähr für die Richtigkeit der Angaben zu betrachten. Die Ausführung ist dem Auftraggeber überlassen.		

weise ausgedehnt werden, bis hin zu der Möglichkeit, Wasser des Zweckverbandes FWM an den Zweckverband FWF in den HB Neuhof ohne Zwischenpumpwerk zu liefern.

Im Hinblick auf diese vielfältigen möglichen Betriebsweisen zwischen dem HB Neuhof und dem HB Eckberg wurde, nicht zuletzt einvernehmlich mit der Wasserwirtschaftsverwaltung, das Rohrmaterial gewählt. Entschieden hat man sich für den Einsatz von Rohren aus duktilem Gußeisen nach DIN 28 600 und DIN 28 610.

Zu der Leitungsführung ist folgendes auszuführen:

Die Fernleitungstrasse beginnt am HB Neuhof und endet bei Lengfeld.

Die bereits im wesentlichen fertiggestellte Fernwasserleitung des Zweckverbandes FWM aus duktilen Gußrohren DN400 mit einer Zementmörtelauskleidung nach DVGW-Arbeitsblatt W 342 innen und einem Außenschutz, der aus einem Zink-Überzug mit einer bituminösen Deckbeschichtung nach DIN 30 674 Teil 3 besteht, beginnt am HB Neuhof und verläuft von dort aus in allgemeiner Richtung zur Bundesstraße 22. Im weiteren Verlauf wurde die Fernwasserleitung parallel zu vorhandenen Flurbereinigungswegen bis zur Bundesstraße 8 verlegt.

Die Kreuzung der B 8 wurde unter Berücksichtigung einer bereits vom Straßenbauamt geplanten Verbreiterung durchgeführt. Die Durchpressung erfolgte mit einem Stahlschutzrohr DN 800 (812,8 x 8,8). Um Setzungsschäden zu vermeiden, war ein verdrängungsfreies Verfahren vorgeschrieben. Auf Schieberschächte rechts und links der Durchpressung wurde verzichtet und dafür der Ringraum mit Dämmen entsprechend DVGW-Arbeitsblatt W 307 verpreßt.

Nach der Durchpressung verläuft die Fernwasserleitung in westlicher Richtung meist entlang an Feldwegen, über einen Hochpunkt bei km 2,39, bis zum HB Gieshügel. Die Rohrgrabentiefe wurde, außer an einigen Zwangspunkten an den Hochbehältern und der Durchpressung, mit einem Mindestgefälle von 3 ‰ mit 2,00 m (Sohle) durchgeführt. Für die Steilhänge wurden Gußrohre mit TYTON®-Verbindung und Schubsicherung TYS gewählt (Bild 3).

Vor Ausschreibung der Baumaßnahme hat der Zweckverband FWM ein Baugrundgutachten mit grundbautechnischen Empfehlungen in Auftrag gegeben. Aufgrund der Ergebnisse der Bodenwiderstandswerte und der Probenuntersuchungen nach dem DVGW-Arbeitsblatt GW9 wurden vom Gutachter ebenfalls Rohre aus duktilem Gußeisen zur Verwendung empfohlen, deren Außenschutz einen Zink-Überzug mit einer bituminösen Deckbeschichtung nach DIN 30 674 Teil 3 entsprechend DIN 28 600, Abschnitt 4.8.2 aufweisen sollte. Der Forderung verschiedener Landwirte im Streckenbereich an den Zweckverband FWM, bei der Zuckerrübenerte die Fernwasserleitung mit Schwerlastzügen befahren zu können, wurde ebenfalls durch die Rohrmaterialwahl Rechnung getragen.

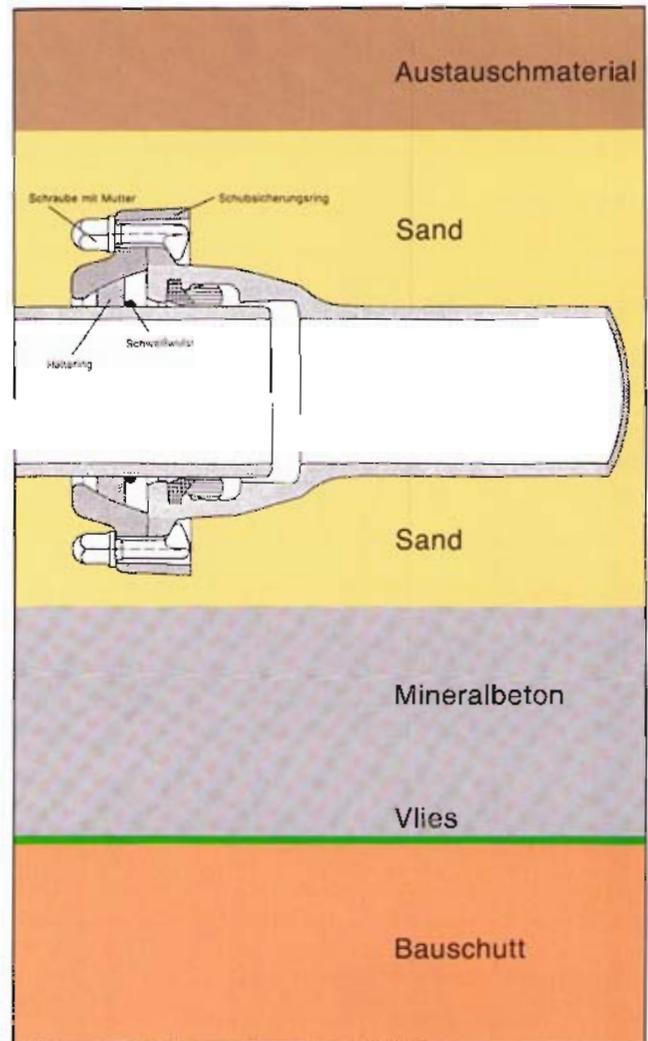


Bild 3: Detail TYTON®-Verbindung mit Schubsicherung TYS im Auffüllbereich

HB Gieshügel

Der HB Gieshügel besitzt zwei Wasserkammern in Rechteckform mit je 2 000 m³ nutzbaren Inhalt, getrennt durch eine Mittelwand ohne durchgehenden Mittelgang. In jeder Wasserkammer wurde eine Leitwand zwischen Zu- und Ablaufseite erstellt. Die lichte Breite einer Wasserkammer beträgt 2 x 6,5 m, die lichte Länge 31 m.

Die Schieberkammer bzw. der Rohrkeller zur Unterbringung der erforderlichen Rohrleitungen und Armaturen sowie das Bedienungshaus sind den Wasserkammern vorgelagert (Bild 4). Die Rohrleitungen, die für den Betrieb des Behälters — Zulauf, Entnahme, Umführung, Überlauf und Entleerung — erforderlich sind, bestehen aus duktilen Flanschrohren und Formstücken. Sämtliche Mauerdurchführungen zur Wasserkammer, und auch die in die Wasserkammern eingebauten Durchführungen, sind aus rostfreiem Edelstahl hergestellt.

Die gesamte Behälterinstallation im Rohrkeller ist so angeordnet, daß jederzeit eine Erweiterung des HB Gieshügel in südlicher Richtung möglich ist. Aufgrund der Rohrinstallation des HB kann durch entsprechende Schieberstellung sowohl ein Parallelbetrieb als auch ein Hinterein-

anderschalten der Wasserkammern beim Betrieb ermöglicht werden.

Über dem Rohrkeller befindet sich das Bedienungshaus. Der Zugang erfolgt ebenerdig von außen. Im Bedienungshaus sind die Fernwärmestationsstation, der Batterieraum, der Aufenthaltsraum sowie die Einspeisungszelle des EVU angeordnet.

Die Zugänge zum 2,90 m höher liegenden Wasserkammervorraum und zum Rohrkeller erfolgen über Stahlbetontreppen mit Zwischenpodesten.

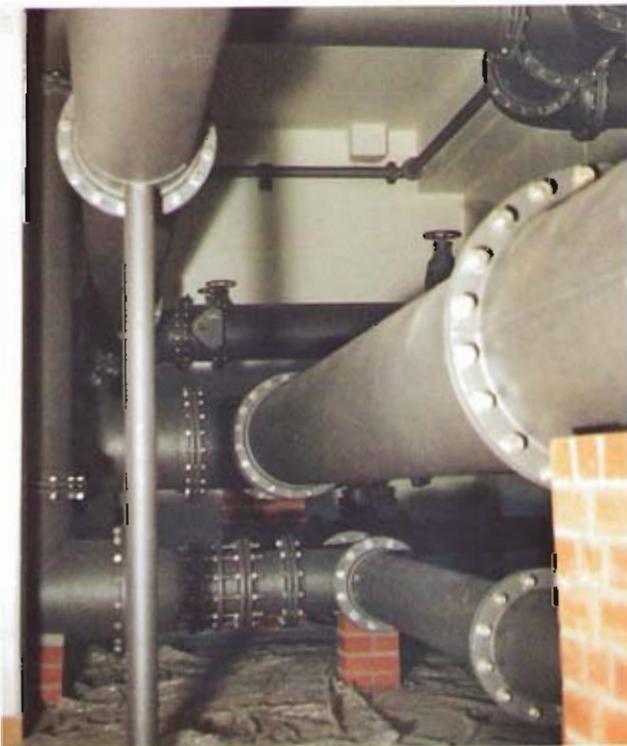
Die Wasserkammern und der Rohrkeller wurden aus wasserundurchlässigem Stahlbeton B35 erstellt. Die Sohle der Wasserkammer dient gleichzeitig als Fundamentplatte, wobei aufgrund der ungünstigen Untergrundverhältnisse und der damit verbundenen unterschiedlichen Setzungsverhältnisse ein 2,50 m tiefer Bodenaushub und dessen Ersatz durch Mineralbeton vorgenommen wurde.

Auf eine Innenbeschichtung des Behälters wurde verzichtet. Die Verwendung von wassersaugenden Schalelementen ergab eine glatte, porenarme Betonoberfläche, die bis auf den Wandsohlenanschluß keiner Nacharbeit bedurfte. Bei der Herstellung der Bodenplatte wurde bei Anwendung des Vakuum-Verfahrens und durch den Einsatz von Flügelglättern eine absolut glatte Betonbodenfläche erzielt, so daß auf einen Zementanstrich verzichtet werden konnte. Weitere Vorteile ergaben sich durch zusätzliche Anforderungen an den Beton wie:

a) Reduzierung des W/Z-Wertes auf 0,5, um Wasserundurchlässigkeit, Sichtbetoncharakter und Verminderung der Rißbildung durch monolithischen Verbund zu erzielen.

b) Erhöhung der Betondeckung gegenüber der

Bild 4: Rohrintallation HB Gieshügel



DIN 1045 nach einer Empfehlung des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton um 1 cm auf 3,5 cm Mindestüberdeckung, um besseren Korrosionsschutz der Stahleinlagen zu erreichen.

- c) Verzicht auf den Einsatz von Betondichtungsmittel
- d) Verwendung von Trinkwasser zum Mischen des Betons
- e) Erzielung eines gleichmäßigen Farbtones der Oberfläche durch die Verwendung immer gleicher Zementsorten und Zuschlagstoffe eines Betonwerkes.

Auf eine separate Be- und Entlüftung der Wasserkammern an den Wasserkammerecken durch Lüftungstürme bzw. Lüftungsschächte sollte verzichtet werden. Deshalb hielt man den Abstand zwischen Behälterdecke und maximalem Wasserspiegel so gering wie möglich. Der Zwischenraum beträgt an der niedrigsten Stelle 0,20 m und an der höchsten Stelle in Behältermitte 0,50 m. Die Be- und Entlüftung der Wasserkammern erfolgt vom Wasserkammervorraum aus über ein 1,00 x 0,50 m Luftkanalkastenprofil aus rostfreiem Edelstahl, das bis zur Vorderseite des Aufbaues über das Bedienungshaus und die Wasserkammern reicht. Dort ist eine Jalousie mit dahinter angebrachtem Druckrahmenluftfilter angeordnet, der das Eindringen von Staub, Blütenpollen und ähnlichem in das Behälterinnere verhindert. Das Eindringen von Flüssigkeiten in die Wasserkammern ist durch Abweisbleche und Leitbleche im Luftkanalkastenprofil ausgeschlossen.

Das Pultdach des Bedienungshauses und des Aufbaues sind als Flachdächer in Betonbauweise mit einem Flachdachaufbau als Warmdach mit entsprechender Wärmeisolierung ausgeführt. Die Decke des Bedienungshauses ist erdangeschüttet, wobei über der Kiesschüttung ein Vlies aufgebracht wurde. Durch die Erdüberdeckung der Wasserkammern war eine zusätzliche Wärmedämmung nicht erforderlich, die Isolierung ist entsprechend dem DVGW-Arbeitsblatt W 311 hergestellt.

Durch das Begrünen mit Gras und das Bepflanzen mit flachwurzeln Sträuchern und Büschen wurde das Bauwerk in die Landschaft eingebunden.

Fernleitung vom HB Gieshügel bis Anschluß Lengfeld

Vom HB Gieshügel aus wurde die weitere Fernwasserleitung in allgemein nördlicher Richtung bis zum derzeitigen Leitungsende bei Lengfeld ebenfalls in duktilen Gußrohren DN 500, Klassen K9 und K10, mit einer Zementmörtelauskleidung nach DVGW-Arbeitsblatt W 342 innen und einem Außenschutz, der aus einem Zink-Überzug mit einer bituminösen Deckbeschichtung nach DIN 30 674 Teil 3 besteht, ausgeführt.

Bis zur Kreuzung der Bundesbahnlinie Würzburg—Rottendorf—Fürth bei km 6,62 wurde die Fernwasserleitung über einen Hochpunkt bei

km 5,55 dann im Bankett der alten Landstraße verlegt. Die Kreuzung der Bundesbahnstrecke sowie die anschließende Kreuzung mit der geplanten Verlegung der Bundesstraße 8 mit der Fernwasserleitung bei km 6,78 und die Kreuzung der bestehenden B8 erfolgten jeweils mittels Durchpressung, entsprechend den Auflagen der Gestattungsverträge zwischen dem Zweckverband FWM und der Bundesbahn bzw. dem Straßenbauamt Würzburg mit einem Stahlrohr DN 900 (914,4 × 10) nach DIN 1626. Der Ringraum zwischen dem Stahlrohr und dem Produktröhre DN 500 wurde mit Dämmmaterial, wie vor bereits erläutert, verpreßt.

Nach der Durchpressung der vorhandenen B8 verläuft die Fernleitung parallel zur B8 und zweigt nach 110 m in östlicher Richtung bis zum Abgabeschacht Rottendorf bei km 7,77 ab. In diesem ist auch gleichzeitig eine Spülmöglichkeit der Fernleitung mit vorgesehen. Von dort verläuft die Fernleitung über zwei weitere Hochpunkte bei km 8,06 und 8,92 am Rande des geplanten Industrie- und Gewerbegebietes Würzburg-Ost parallel zu vorhandenen Flurbereinigungswegen bis an den bestehenden Abzweigschacht HB Lengfeld der Fernleitung Würzburg-Ost bei km 9,56.

Das technisch aufwendigste und schwierigste Fernleitungsstück liegt zwischen der Bundesbahnlinie Würzburg—Rottendorf und dem Wasserabgabeschacht Rottendorf. Zwischen dem Abgabeschacht und dem Wöllrieder Hof wurden

die Gußrohre in ca. 10 Jahre alte Bauschuttuffüllungen mit stellenweise locker gelagerten Zonen verlegt (Bild 5). Zur Stabilisierung des Untergrundes war es notwendig, teilweise nach einer Verdichtung mit Rüttelwalzen eine 40 cm starke Mineralbetonschicht einzubauen, um ein gleichmäßiges Auflager für die duktilen Gußrohre zu erhalten. Wo größere Steine und grober Bauschutt vorhanden waren, in die der Mineralbeton einrieseln konnte, wurde zusätzlich ein Vlies mit eingebaut. Auf eine zusätzliche Betonsole wurde verzichtet, da die Gußrohre mit kraftschlüssiger Längsverbinding, mit der Schubsicherung TYS, verlegt worden sind. Die Verbindung läßt bei einer Rohrlänge von 6 m Abwinkelungen bis zu 30 cm (3°) ohne Beeinträchtigung der Dichtigkeit zu. An den Übergangspunkten zwischen Auffüllung und anstehendem Boden wurden EU-Zwischenstücke eingebaut, um eine gelenkige Ausbildung zu erreichen. Dadurch werden Setzungsunterschiede schadlos aufgenommen.

Wegen unvorhergesehener unterirdischer Gänge mußte die Trasse nördlich des Wöllrieder Hofes in die aufgefüllte Böschung verlegt werden. Da Böschungsbewegungen zu erwarten waren, nahm man von der vorgesehenen langgezogenen Trasse in der Böschung Abstand. Statt dessen wurden Knickpunkte eingebaut und die Rohrleitung in Fallrichtung der Böschung verlegt. Wegen der steilen Neigung ist auf der Auffüllung Beton als Bettung eingebaut worden.

Bild 5: Rohrtrasse im Bereich Wöllrieder Hof



Der Knickpunkt am Böschungsfuß ist auf einen Betonpfeiler gegründet, der 2,00 m im anstehenden Boden eingebunden ist, um die Hangschubkräfte aufnehmen zu können.

Im Bereich der Trasse zwischen dem Bahndamm und dem Wöllrieder Hof wurde Grundwasser mit Fliebsandschichten angetroffen. Im Bereich der Verpreßgruben und der Rohrtrasse stand das Grundwasser über Rohrsohle. Wegen des Wassers trat ein gefährlicher Fliebsandeffekt ein, der zum Ausspülen des Sandes in der Böschung führte. Nur eine Spundung des Grabens mit einer Spundwand Larsen III, in einer Länge von 5,50 bis 6,00 m, ermöglichte eine gefahrungsfreie Rohrverlegung.

Zur Bettung der Rohre drückte ein Baggerlöffel sehr grobes Steinmaterial in die Grabensohle ein. In diesem Bereich wurden ebenfalls duktile Gußrohre mit der Schubsicherung TYS eingesetzt. Eine Drainage DN 150 wurde mit verlegt.

Bei der Durchpressung des Bahndammes bei Bahn-km 89,48 mußte der Grundwasserspiegel um 2 m abgesenkt werden, wobei zusätzliche Auflagen der Deutschen Bundesbahn zu berücksichtigen waren.

Dazu wurde im südlichen Bereich am Fuß des Bahndammes ein Spundwandkasten mit einer Länge von 12,5 m und einer Breite von 5 m entsprechend der statischen Berechnung aus Spundbohlen Larsen III, die oben gestützt und unten frei aufgelagert waren, ausgeführt. Die Durchpressung, die 58 m lang ist, ist im Bohr-Preß-Verfahren ausgeführt worden, wobei beim Vortrieb ein Pfropfen, Rohrquerschnitt + 1,0 m Länge, im Rohr verblieb, um Nachbrüchen entgegenzuwirken.

Die vor Baudurchführung vom Bodengutachter erwarteten Setzungen aus der Grundwasserabsenkung während des Vortriebes waren mit 0,8 bis 1 cm ermittelt worden. Tatsächlich traten Setzungen von 1 bis 3 mm auf, die während der Durchpressungsarbeiten von einem Präzisions-

nivellement an den Gleisen ständig überprüft wurden. Da die Erdüberdeckung bis UK Gleis 9 m beträgt, ergeben sich aus den Setzungen für den Bahndamm und das Gleis keine schädlichen Verformungen.

Nach Abschluß der Durchpressungsarbeiten stellte man innerhalb der Preßgrube den erforderlichen Spülschacht mit Spülauslaßleitung aus duktilen Gußrohren DN 200 in den unmittelbar vorbeiführenden Vorfluter her. Im anschließenden Steilhang in Richtung HB Gieshügel bis zur „Alten Landstraße“ wurden die Rohre ebenfalls mit der Schubsicherung TYS verlegt und wegen der gleichzeitigen Hangschräge zusätzliche Betonsicherungen bei jedem 2. Rohr angeordnet.

Da die Fernwasserleitung entsprechend der Bodenuntersuchung nach DVGW-Arbeitsblatt GW 9 in großen Teilbereichen in aggressivem Boden der Bodengruppe II liegt, wurden die Rohre zusätzlich auf einer Gesamtlänge von rund 6,0 km mit einer PE-Schlauchfolie nach DIN 30 674 Teil 5 geschützt.

Die Bauarbeiten des Zweckverbandes FWM wurden erfolgreich im Herbst 1986 von der Arge Ferrum GmbH/Löhne & Co./WTB/Betzold fertiggestellt und stehen nach Durchführung verschiedener Baumaßnahmen für den Verbund durch den Zweckverband FWF ab Mai 1987 für den Bauherrn zur Nutzung zur Verfügung.

Schlußbemerkung

Die ursprünglich vorgesehene Bauzeit wurde um 4 Monate unterschritten. Die Gesamtnettokosten blieben um rd. 5 % unter den veranschlagten Baukosten.

Durch die vorgesehene Inbetriebnahme im Frühjahr 1987 verwirklicht man durch den Verbund der beiden Zweckverbände FWM und FWF ein Projekt, das die Wasserversorgung im Großraum Würzburg zumindest für die nächsten Jahre sichert.

Das CARIX-Verfahren zur Enthärtung von Trinkwasser

Von Wolfgang H. Höll,
Wolfgang Kretschmar
und Bernd Steeb

1. Problemstellung

Die Erdalkalimetalle Calcium und Magnesium, die sog. Härtebildner, gehören zu den Stoffen, die in jedem natürlichen Wasser enthalten sind. In erhöhter Konzentration machen sie sich für den Verbraucher unangenehm bemerkbar:

- Beim Erwärmen fällt Calciumcarbonat (Kesselstein) auf den Heizflächen aus.
- Beim Waschen erhöht sich der Bedarf an Waschmitteln.

Schließlich ergeben sich beim Verschneiden von Wässern unterschiedlicher Härte Mischungsprobleme, die zu Korrosionserscheinungen im Verteilungsnetz führen können. Eine zentrale Verminderung der Konzentration an Erdalkalien kann daher erhebliche Vorteile für die Abnehmer bringen.

Im Versorgungsgebiet des Zweckverbandes „Wasserversorgungsgruppe Mühlbach“ liegt die Konzentration an Calcium und Magnesium im Rohwasser bei rund $5,4 \text{ mol/m}^3$, d. h. die Härte beträgt etwa 30°dH . Wegen dieser hohen Konzentration sind in zahlreichen Haushalten Enthärtungsanlagen eingebaut, in denen das Wasser mit Ionenaustauschern nachbehandelt wird. Im Jahre 1980 wurden allein im Ortsnetz Bad Rappenau etwa 57 % des verkauften Wassers mit privaten Austauschern enthärtet. Die Regenerierung dieser Austauscher erforderte etwa 300 000 kg Kochsalz, was eine beträchtliche Belastung der Umwelt darstellt [1].

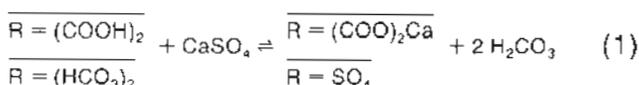
Im Jahre 1981 setzte sich die Verbandsversammlung das Ziel, in einer großangelegten Planung die Wasserversorgung so auszubauen, daß die Versorgung der Bevölkerung mit qualitativ einwandfreiem Wasser über Jahrzehnte gesichert ist. Nachdem der überwiegende Teil des Verbandsgebiets mit Wasser von 30°dH versorgt wird, war der Bau einer zentralen Enthärtungsanlage Bestandteil dieser Planung. Mit dieser Anlage sollte aber auch die Möglichkeit geschaffen werden, die in den vergangenen Jahren stark angestiegene Konzentration des Nitrats (z. Z. über 40 mg/l) auf den Richtwert der EG-

Richtlinie zu vermindern. Zur Aufbereitung mußte also ein Verfahren ausgewählt werden, das sowohl eine Enthärtung als auch eine Nitratelimination gestattet [2].

Eine solche Möglichkeit bietet das CARIX-Verfahren, dessen Grundlagen seit 1980 im Kernforschungszentrum Karlsruhe erarbeitet wurde, und das im Rahmen eines Kooperations- und Lizenzvertrages von der Firma WABAG zur Anwendungsreife weiterentwickelt wurde. Nach Abwägung der Vor- und Nachteile verschiedener konkurrierender Verfahren, und gestützt auf die Ergebnisse von Pilotversuchen, entschloß sich die Wasserversorgungsgruppe Mühlbach im September 1984 zum Bau einer ersten Großanlage nach dem CARIX-Verfahrensprinzip. Der Bau dieser Anlage wurde sowohl vom Land Baden-Württemberg als auch vom Bundesministerium für Forschung und Technologie im Rahmen des Fördervorhabens 02 WT 424 finanziell unterstützt.

2. Prinzip und Eigenschaften des CARIX-Verfahrens

Das CARIX-Verfahren beruht auf dem kombinierten Einsatz eines schwach sauren Kationenaustauschers in der freien Säureform (H-Form) und eines stark oder mittelstark basischen Anionenaustauschers in HCO_3^- -Form als Mischbett [3 bis 6]:



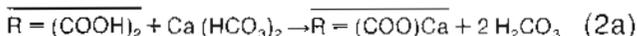
CARIX = CARbon dioxide Regenerated Ion eXchange resins [7].

In Kontakt mit salzhaltigem Rohwasser entfernen die Austauscher Neutralsalze aus der Lösung und geben äquivalente Mengen an Kohlensäure ab. Zur Regeneration wird die Richtung der Austausch„reaktion“ umgekehrt. Es wird CO_2 unter Druck in Wasser gelöst, um Kohlensäure zu erzeugen; diese Kohlensäure wird über das Austauschermischbett geleitet. Dabei regenerieren die Protonen der Säure den Kationenaustauscher und die HCO_3^- -Ionen den Anionenaustauscher. Auf diese Weise gelangt nur gerade wieder die Salzmenge ins Abwasser, die im Eliminationsschritt aus dem Rohwasser entfernt wurde. Aufsalzungen, wie sie bei konventionellen Verfahren auftreten, wo die Austauscher getrennt mit HCl und NaOH regeneriert werden, treten hier grundsätzlich nicht auf. Zwar wird das Regeneriermittel Kohlensäure auch hier im Überschuß benötigt, jedoch führt dies nicht zu einer Erhöhung der Salzkonzentration, da CO_2 entweicht oder zurückgewonnen werden kann. Das Verfahrensprinzip ermöglicht also eine umweltfreundliche Entsalzung von Wasser.

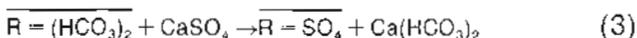
Die Besonderheiten des Verfahrens sind in der Art der Regeneration und der Kombination zweier Harze begründet. Infolge des Kontakts der Regenerierlösung mit beiden Austauschern stellt sich ein mittlerer pH-Wert ein, bei dem

beide Harze nur teilweise in die H- bzw. HCO₃-Form überführt werden können. Infolge der relativ großen Restbelastungen an beiden Austauschern kommt es zu einem beträchtlichen Schlupf von Kationen und Anionen. Das CARIX-Verfahren ermöglicht also nur eine Teil- und keine Vollentsalzung. Für die Belange der Aufbereitung von Trinkwasser ist dies jedoch kein Nachteil, da Trinkwasser ohnehin nicht vollentsalzt sein darf.

Die in Gleichung (1) dargestellte Entfernung von Neutralsalz findet nur dann statt, wenn im Austauscherfilter die Umsätze an Anionen- und Kationenaustauscher äquivalent sind. Dies ist jedoch die Ausnahme. In der Regel sind die Umsätze nicht äquivalent. Überwiegt der Kationenaustausch, so ist die Neutralsalzentfernung von einer Enthärtung mit Entcarbonisierung begleitet:



Überwiegt dagegen der Anionenaustausch, so findet zusätzlich eine Elimination von Anionen starker Säuren statt:



In der Praxis lassen sich solche Überschüsse von Kationen- oder Anionenaustausch leicht dadurch erreichen, daß der Mengenanteil des jeweiligen Austauschers in der Mischung erhöht wird. Auf diese Weise läßt sich das CARIX-Verfahren innerhalb bestimmter Grenzen an unterschiedliche Rohwasserkonzentrationen oder Aufbereitungsziele anpassen. Liegt das Schwerkgewicht der Aufbereitung auf der Entfernung von Erdalkalien, gekoppelt mit einer Entcarbonisierung, so muß der Anteil des Kationenaustauschers groß sein. Sollen dagegen Anionen starker Säuren wie Nitrat und Sulfat eliminiert werden, wird also die Verminderung des Neutralsalzgehalts angestrebt, so muß der Anteil des Anionenaustauschers soweit erhöht werden, daß möglichst äquivalente Umsätze an beiden Harzen ablaufen. Auch bei geringer Wasserhärte sollte der Anteil des Kationenaustauschers

nicht zu klein gewählt werden. Bei zu starkem Überwiegen des Anionenaustausches erhöhen sich gemäß Gleichung (3) sonst die Konzentration der HCO₃-Ionen und damit auch der pH-Wert so weit, daß es zu einem unkontrollierten Ausfall von CaCO₃ kommt [8].

Als Folge der variablen Anteile von Neutralsalzentfernung und Entcarbonisierung bzw. reiner Elimination von Anionen starker Säuren, erlaubt das CARIX-Verfahren somit eine Veränderung des Verhältnisses der Konzentrationen von HCO₃-Ionen zu Anionen starker Säuren, d. h. von Karbonat- zu Nichtkarbonathärte. Mit anderen physikalisch-chemischen Verfahren, bei denen ein Teilstrom vollentsalzt wird, ist dies prinzipiell nicht möglich.

3. Technologische Entwicklung

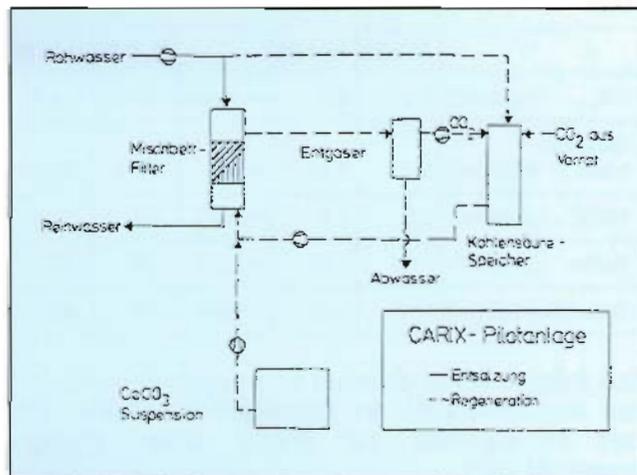
In einer ersten Entwicklungsstufe wurde das CARIX-Verfahren unter praxisnahen Bedingungen mit Hilfe einer Anlage im Laboratoriumsmaßstab getestet [4 bis 6; 9]. Nachdem diese Versuche die grundsätzliche Brauchbarkeit des CARIX-Verfahrens für die Ziele der Trinkwasseraufbereitung nachgewiesen hatten, wurden im zweiten Entwicklungsschritt die technische Realisierbarkeit sowie die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens untersucht. Im Jahre 1982 schloß das Kernforschungszentrum Karlsruhe mit der Firma WABAG einen Kooperations- und Lizenzvertrag mit dem Ziel ab, das CARIX-Verfahren zur Anwendungsreife zu entwickeln. Im Rahmen dieser Kooperation wurde eine mobile Vorfüh- und Versuchsanlage gebaut, die Durchsätze bis zu 5 m³/h und CO₂-Drücke in der Regeneration bis zu 10 bar erlaubte [10].

Der grundsätzliche Aufbau der Pilotanlage und der Ablauf von Entsalzungs- und Regenerationsphasen sind aus Bild 1 ersichtlich. Eine Austauschermischung von maximal 700 Litern ist in einem Filter von 0,8 m Durchmesser (0,5 m² Querschnittsfläche) und 1,6 m zylindrischer Mantelhöhe untergebracht. In der Entsalzungsphase wird das Austauscherharz normalerweise im Abwärtsstrom durchflossen. Die Regeneration erfolgt bei kontinuierlicher Durchströmung des Filterbetts mit Kohlensäurelösung im Aufwärtsstrom zusammen mit gasförmigem CO₂. Verbackungen als Folge des Ausfallens von CaCO₃ oder CaSO₄ können somit nicht auftreten. Die Eluatlösung, das Abwasser, wird über eine Drainage abgezogen und fließt in einen Entgaser, in dem das unverbrauchte Kohlenstoffdioxid weitgehend zurückgewonnen wird. Um in der Regenerierlösung einen möglichst hohen pH-Wert zu haben, kann zusätzlich eine CaCO₃-Suspension zudosiert werden.

Mit dieser Anlage wurde das CARIX-Verfahren in den Jahren 1982 bis 1984 unter technischen Bedingungen in insgesamt fünf Wasserwerken in der Bundesrepublik Deutschland für folgende Zielsetzungen getestet und demonstriert [10 bis 14]:

- a) Hauptsächlich Verminderung des Nitratgehalts;

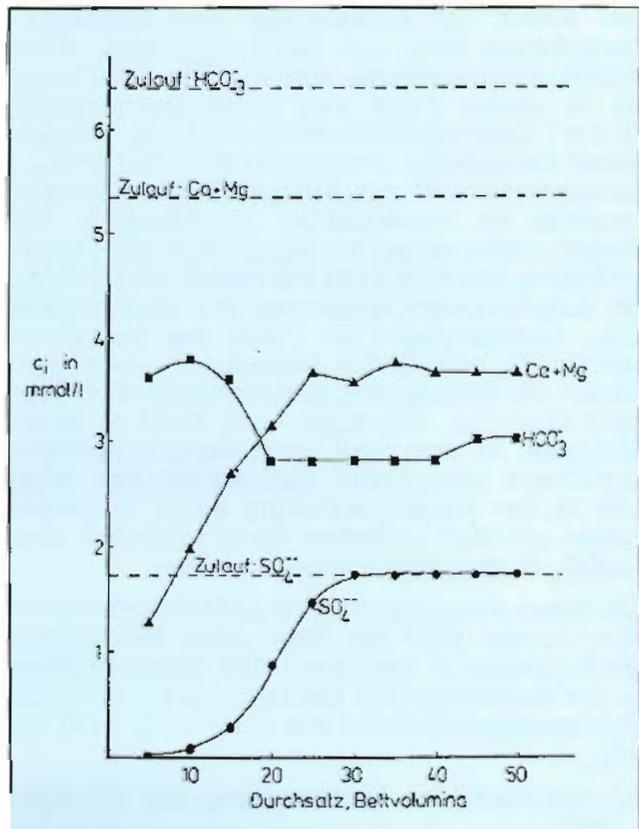
Bild 1: Schema der Pilotanlage



- b) Hauptsächliche Verminderung des Sulfatgehalts;
- c) Hauptsächliche Enthärtung;
- d) Kombinierte Enthärtung und Sulfatentfernung.

Einer der Standorte der Pilotanlage war Bad Rappenau; das Hauptziel der Aufbereitung war dort die Enthärtung. Ergebnisse eines typischen Versuchs sind in Bild 2 dargestellt. Die Austauschermischung bestand hier aus 460 Litern Kationenaustauscher (AMBERLITE IRC 50) und 230 Litern Anionenaustauscher (AMBERLITE IRA 458). Während der Entsalzungsphase wurden je 50 Bettvolumina Rohwasser bei einem Durchsatz von 3,5 m³/h (entsprechend einer Filtergeschwindigkeit von 7 m/h) durchgesetzt. Die Regeneration erfolgt bei p(CO₂) = 6 bar mit je 5 Bettvolumina Rohwasser, anschließend wurde mit je einem Bettvolumen Rohwasser gespült. Der Verlauf der Durchbruchskurven zeigt, daß die Konzentration an Calcium und Magnesium von 5,6 mol/m³ im Rohwasser auf anfänglich etwa 1,3 mmol/l vermindert wird, ab etwa 20 Bettvolumina dann nur noch auf ungefähr 3,3 mol/m³. Parallel zum vorderen Teil dieser Kurve verläuft der Durchbruch der Sulfationen. Daraus wird erkennbar, daß im Anfangsbereich die in Abschnitt 2 genannte Entfernung von Neutralsalz neben einer Entcarbonisierung abläuft. Nach der Erschöpfung des Anionenaustauschers findet nur noch eine Entcarbonisierung statt, die auch nach Durchsatz von 50 Bettvolumina noch nicht beendet ist, da die Konzentra-

Bild 2: Konzentrationen von Erdalkalien, Hydrogencarbonat und Sulfat im Filterablauf in einem Versuch in Bad Rappenau



tion an Erdalkalien immer noch um 30 % und die der Hydrogencarbonationen noch um ca. 55 % vermindert wird.

Die an verschiedenen Standorten durchgeführten Versuche haben gezeigt, daß mit dem CARIX-Verfahren auch unter praktischen Bedingungen eine befriedigende Teilentsalzung von Trinkwasser erreicht werden kann. Wird in einer großtechnischen Anlage die Regeneration bei einem Druck von 6 bar durchgeführt und das unverbrauchte CO₂ in einem Vakuumentgaser zurückgewonnen, so errechnen sich für die erreichten Verminderungen der Salzgehalte und bei einem CO₂-Preis von DM 300,— pro Tonne Betriebsmittelkosten von DM 0,13 bis DM 0,15 je m³ aufbereitetem Wasser. Die Investitionskosten hängen von den örtlichen Gegebenheiten ab und liegen zwischen DM 0,20 und DM 0,45 je m³ Produktwasser [10].

4. Großtechnische Verwirklichung

Aufgrund der Ergebnisse der Demonstrationsversuche mit der Pilotanlage entschloß sich der Zweckverband „Wasserversorgungsgruppe Mühlbach“ in Bad Rappenau zum Bau einer CARIX-Großanlage für eine maximale Leistung von 170 m³/h. Der Zweckverband „Wasserversorgungsgruppe Mühlbach“ mit Sitz in Bad Rappenau versorgt ca. 22 000 Einwohner in 16 Orten und um Bad Rappenau mit Trink- und Brauchwasser. Das Versorgungsgebiet umfaßt eine Fläche von ca. 119 km². Die jährliche Wasserabgabe beträgt ca. 1,4 Mio m³. Aufgrund nicht ausreichender Eigenwassermengen sind davon ca. 300 000 m³ Bodenseewasser.

Da die Entnahmebrunnen des Verbandes in intensiv landwirtschaftlich genutztem Gebiet um Haßmersheim liegen, kam es in den letzten Jahren zu einem starken Anstieg der Nitratkonzentration. Während der NO₃-Gehalt des Mischwassers bei den Pilotversuchen Ende 83/Anfang 84 noch maximal 32 mg/l betrug, liegt er heute bereits bei maximal 41 mg/l. Der NO₃-Gehalt einzelner Brunnen liegt bereits über dem Grenzwert von 50 mg/l. Die wichtigsten Daten der Rohwasseranalyse sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Wasseranalyse des Mischwassers der Brunnen in Haßmersheim

		22.8.86	15.4.86		22.8.86	15.4.86
KS _{2,3}	(mol/m ³)	6,6	6,4	= mval/l	6,6	6,4
Gesamthärte	(mol/m ³)	5,3	5,46	= °dH	29,7	30,6
Nitrat	(mol/m ³)	0,6	0,5	= mg/l	36	30,3
Sulfat	(mol/m ³)	1,65	1,56	= mg/l	158	150
Chloride	(mol/m ³)	1,41	1,18	= mg/l	50	42

Die Anlage sollte deshalb so ausgelegt sein, daß die Konzentration an Erdalkalien halbiert und der Nitratgehalt auf Werte unter 25 mg/l begrenzt wird.

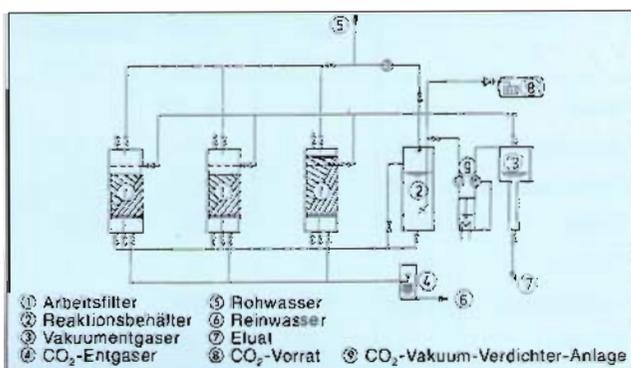
Da eine derartige Aufbereitungsanlage auch während der Zeiten der Regeneration Wasser liefern soll, müssen mindestens zwei Filter vorgesehen werden, die abwechselnd entsalzen bzw. regeneriert werden. Angesichts der begrenzten Filtergeschwindigkeiten wäre die Querschnittsfläche dieser Filter sehr groß geworden. Daher wurden für die Anlage drei Filter vorgesehen, von denen je zwei in Betrieb sind und eines regeneriert wird. Die drei Filter haben je 12,5 m² Querschnittsfläche und enthalten je 18 m³ Kationenaustauscher und 9 m³ Anionenaustauscher bei einer Schütthöhe von 2,20 m. Sollte eine verbesserte Elimination von Anionen erforderlich werden, so kann eine entsprechende Menge an Anionenaustauscher nachgefüllt werden. Bild 3 zeigt ein vereinfachtes Schema der Anlage.

Jedes Filter wird bis zu einem maximalen Durchsatz von 44 Bettvolumina Rohwasser betrieben. Die Anlage wird im Abstrom-Verfahren betrieben, wobei das in Bild 3 mit (5) bezeichnete Rohwasser von oben in das Filter eintritt und unten als teilentsalztes Wasser abgezogen wird. Das Rohwasser wird aus 6 Brunnen in und um Haßmersheim gefördert und einem Rohwasserbehälter von 250 m³ zugeführt. Aus diesem wird die Anlage gespeist. Auf dem Fließbild sind die beiden links angeordneten mit (1) gekennzeichneten Filter im Betriebszustand schematisiert, das rechte der mit (1) bezeichneten Filter ist im Regenerationszustand dargestellt. Beim erwähnten 3-Takt-Verfahren sind jeweils zwei Filter parallel im Betriebszustand, das dritte befindet sich in der Regenerationsphase.

Der Arbeitszyklus des 3-Takt-Verfahrens wurde auf 10 Stunden ausgelegt, wobei in sogenannter „versetzter Arbeitsweise“ gearbeitet wird, d. h. daß jeweils der Beginn eines neuen Arbeitszyklus zeitlich um etwa 5 Stunden gegenüber dem vorher in Betrieb gegangenen Arbeitsfilter versetzt ist.

Das Rohwasser wird über entsprechende Mengenmeß- und -regeleinrichtungen auf beide Arbeitsfilter verteilt, durchströmt das Mischbett, bestehend aus schwach saurem Kationen- und stark basischem Anionenharz und gelangt in den CO₂-Entgaser (4). In diesem Füllkörpergegenstromriesler wird dem teilentsalzten Wasser das überschüssige Kohlendioxid entzogen. Das Reinwasser (6) wird über Reinwasserspeicher

Bild 3: Verfahrensschema



von 1200 m³ Inhalt dem Verbraucher zugeführt.

Zur Regeneration eines Filters wird zunächst im Reaktionsbehälter (2) bei 6 bar die Regenerierlösung hergestellt. Dies erfolgt mit Rohwasser (5), CO₂ aus dem Vorratsbehälter (8) und dem über (9) rückgewonnenen Überschußkohlendioxid.

Die interne Umwälzung der Regenerierlösung erfolgt über eine Kreislaufpumpe. Aus dem Reaktionsbehälter (2) gelangt die Regenerierlösung von unten in das jeweils zur Regeneration anstehende Filter (im Fließbild ist dies das rechts mit (1) bezeichnete Filter), regeneriert das Harzbett im Gegenstrom bei 6 bar und verläßt das Eluat über die obere Drainage (im Fließbild dargestellt als gestrichelte Linie im oberen Drittel des Filters) seitlich als Filter. Der Regeneriermittelspiegel wird während des Regenerationsvorganges über eine Niveauekontrolle konstant gehalten. Das Eluat (= Regenerierwasser) gelangt in den Vakuumentgaser (3), um das unter CO₂-Druck stehende Eluat bei 250 mbar zu entspannen. Das aus dem Eluat wiedergewonnene CO₂ wird über die CO₂-Vakuum-Verdichteranlage (9) wieder in den Reaktionsbehälter (2) rückgeführt. Mit Hilfe einer CO₂-Kreislaufpumpe kann fallweise eine Teilmenge gasförmiges CO₂ zur Harzverwirbelung im Kreislauf gefahren werden, um so ein eventuelles Verfestigen der Harzschrift zu verhindern. Nach der Regeneration schließt sich eine Spülphase von ca. 30 min an (1 Bettvolumen).

Der gesamte Regeneriervorgang — wie beschrieben — nimmt etwa 3½ Stunden in Anspruch. Somit ist gewährleistet, daß das frisch regenerierte Filter nach Ablauf einer ca. 5stündigen Betriebsphase eines Arbeitsfilters (siehe vorstehend „versetzte Arbeitsweise“) die Reinwasserproduktion kontinuierlich fortführen kann und das dann erschöpfte Arbeitsfilter außer Betrieb genommen und zur Regeneration vorbereitet werden kann. Auf diese Weise kann die Anlage ständig die Nennleistung erbringen. Regeneration und Spülung benötigen etwa 6 Bettvolumina Rohwasser. Allerdings wird ein Teil des Regenerierwassers (Eluats) sowie des Spülwassers wiederverwendet. Der Bau dieser

Bild 4: Außenansicht von Aufbereitungsgebäude und Reinwasserspeicher





Bild 5: CARIX-Anlage: links: Reaktionsbehälter (2) (gemäß Verfahrensschema Bild 3), rechts 2 Austauschfilter (1), in der Mitte Blindschaltbild und Steuerschrank, vorne Vakuum- und Kompressorstation (9)

Anlage wurde im November 1984 begonnen und im Oktober 1985 vollendet (Bild 4, 5 und 6).

Das Eluat, das einen pH-Wert von 6,5 bis 7,0 besitzt, das nur die beim Entsalzungsvorgang entnommenen Ionen zusätzlich zum Rohwasser-salzgehalt enthält und feststofffrei ist, wird nach Vergleichmäßigung mittels Eluatspeicher dem Neckar zugeführt.

Spezifische Daten der Anlage (Stand Oktober 1986)

- aufbereitete Wassermenge/h: 170 m³/h
(85 m³/h und Filter)
- mittlere Abwassermenge/
Regeneration: 17 m³/h
- durchschnittliche Ausbeute Reinwasser: 91 %
(Ausbeute = $\frac{\text{aufbereitete Wassermenge}}{\text{Gesamtwassermenge}}$)

Die Steuerung der vollautomatischen Anlage erfolgt mit der freiprogrammierbaren Steuerung Siemens Simatic S 5 — 115 U.

Messungen

- pH-Wert vor und nach dem Reinwasser-Gegenstromriesler
- Leitfähigkeit Eluat
- Leitfähigkeit Reinwasser nach dem Behälter
- NO₃-Wert Rohwasser
- NO₃-Wert Reinwasser
- Wassermengen/Filter
- Wassermengen Eluat
- Höhenstandsmessungen in dem Filter, dem Reaktionsspeicher, dem Reinwasserzwischenbecken und dem Eluatbecken.



Bild 6: Vorne Verdichterstation (9), links Vakuumpumpe (9), hinten oben Vakuumentgaser (3), hinten unten CO₂-Entgaser Reinwasser (4) (gleicher Behälter, durch Zwischenboden getrennt)

- Druck Reaktionsspeicher
- Druck in den Austauscherfiltern
- Inhalt CO₂-Speicher
- Druck Ausgasebehälter

Ergebnisse

Nach neunmonatigem Netzbetrieb mit ca. 6 000 Betriebsstunden lassen sich folgende Ergebnisse zusammenfassen:

a) Ablaufwerte

Über den gesamten Zeitraum wurden folgende durchschnittliche Ablaufwerte nach dem Reinwasserbehälter erreicht (Bild 7 und 8):

		Rohwasser	Reinwasser	Bodensee-wasser
Nitrat	mg/l	40	25—28	4
Gesamthärte	°dH	32	13	8,9
Karbonathärte	°dH	20	9,5	7,0
Sulfat	mg/l	180	35	34
Chlorid	mg/l	40	30	5
Leitfähigkeit	µS/cm	930	470	290
pH-Wert		7,25	7,85	7,86

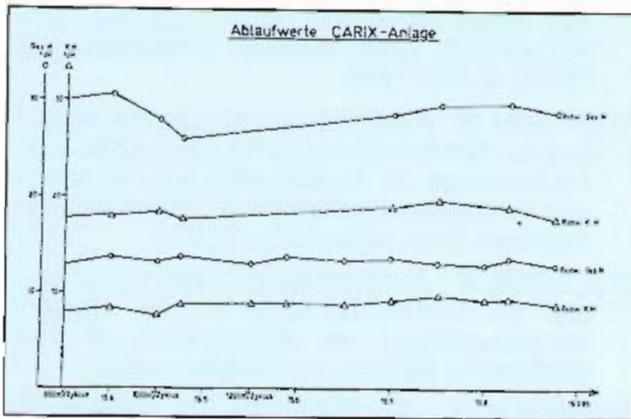


Bild 7: Gesamthärte- und Karbonatwerte

Diese Werte sind besser als die durch Pilotversuche ermittelten und bei der Auslegung zugrundegelegten Werte (z. B. Gesamthärte 13,0 statt 16,0 °dH, Sulfat 35 mg/l statt 75 mg/l).

b) Kapazität

Bei Inbetriebnahme am 17.2. 1986 wurden pro Beladungszyklus eines Filters 850 m³ Rohwasser aufbereitet, bevor regeneriert wurde. Durch Optimierungsschritte bei der Regeneration gelang es, die Zyklen auf 1000 m³ und 1200 m³ zu verlängern.

c) Wasserqualität

Aufgrund der in der Anlage erreichten Aufbereitung bezüglich Karbonathärte, pH-Wert und freiem zugehörigen CO₂ ist es möglich, das aufbereitete Wasser in jedem Verhältnis mit Bodenseewasser zu mischen.

d) Betriebskosten

aa) Strom- und Chemikalienverbrauch

- Stromverbrauch
Der Stromverbrauch für Regeneration und Beladung beträgt umgerechnet je m³ aufbereitetem Wasser 0,21 kWh.
- Kohlendioxidverbrauch
Umgerechnet je m³ aufbereitetem Wasser werden 0,35 kg CO₂ verbraucht.
- Chlorverbrauch
Als Sicherheitschlorung werden dem Reinwasser 0,05 mg Chlor/l zugegeben.

bb) Strom- und Chemikalienkosten

Für die gesamte Wasseraufbereitung betragen die Strom- und Chemikalienkosten derzeit 15,0 Pf/m³ aufbereitetem Wasser.

Die Gesamtkosten der Anlage belaufen sich auf etwa 7,3 Mio DM, wobei rund 4,2 Mio DM auf die reine Austauscheranlage entfallen. Der Bau wurde sowohl vom Land Baden-Württemberg als auch vom Bundesministerium für Forschung und Technologie mit zusammen 5,6 Mio DM unterstützt. Unter Anrechnung dieser Zuschüsse liegen die Kosten der Aufbereitung, d. h. die Mehr-

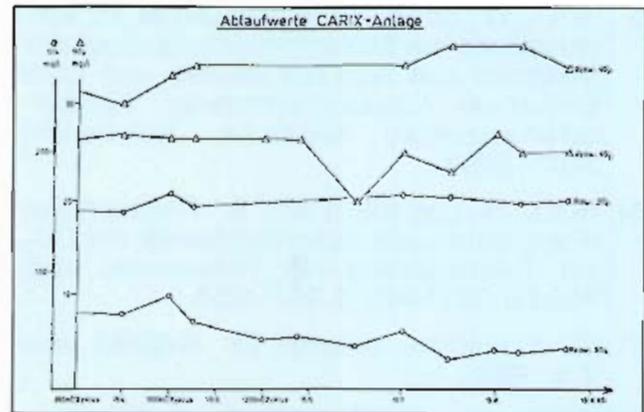


Bild 8: Nitrat- und Sulfatwerte

kosten des Wassers für die Verbraucher bei etwa DM 0,25/m³ [2]. Dieser Mehraufwand wird jedoch durch die Einsparungen an Waschmitteln infolge des wesentlich weicheren Wassers sowie den Fortfall von Regeneriersalz für die privaten Enthärter aufgewogen.

5. Zusammenfassung

Das Prinzip des CARIX-Verfahrens besteht in einem kombinierten Einsatz eines schwach sauren Austauschers in der freien Säureform und eines Anionenaustauschers in HCO₃-Form. Beide Harze werden in Form eines Mischbetts eingesetzt und gemeinsam mit Kohlensäure regeneriert. Das Verfahren wurde im Pilotmaßstab mit einer mobilen Versuchsanlage in mehreren Wasserwerken getestet. Die Ergebnisse belegen, daß CARIX sowohl eine hinreichende als auch wirtschaftliche Teilentsalzung von Trinkwasser ermöglicht. Eine erste Großanlage zur zentralen Enthärtung, ausgelegt für einen Durchsatz von 170 m³/h, wurde im Oktober 1985 in Bad Rappenau in Betrieb genommen.

Schrifttum

- [1] Zweckverband Wasserversorgungsgruppe Mühlbach, Bad Rappenau: Erhebung des Verbands bezüglich privater Enthärtungsanlagen (1981, unveröffentlicht).
- [2] Zweckverband Wasserversorgungsgruppe Mühlbach, Bad Rappenau: Bessere Trinkwasserqualität durch ein neues Aufbereitungsverfahren. Festschrift anlässlich der Einweihung der CARIX-Anlage am 29.10. 1985.
- [3] HÖLL, W., KIEHLING, B.: Verfahren zur Teilentsalzung von Wässern mit einer Kombination von schwach saurem und basischem Ionenaustauschermaterial und anschließender Regeneration des Ionenaustauschermaterials. Europ. Patent Nr. 81109498.6 (1984).
- [4] HÖLL, W.: Entwicklung und Grundlagen eines neuen Verfahrenskonzepts zur Teilentsalzung von Wasser mit Ionenaustauschern unter Verwendung von Kohlenstoffdioxid als Regenerierchemikalie. Habilitationsschrift, Universität Karlsruhe, 1985.

- [5] HÖLL, W., KIEHLING, B. und DAUM, P.: Teilentsalzung mit Entcarbonisierung durch ein Mischbett aus schwach saurem und stark basischem Austauschermaterial. Kernforschungszentrum Karlsruhe, KfK-Bericht 3407 (1982).
- [6] HÖLL, W. und KIEHLING, B.: Regeneration eines Ionenaustauschermischbetts mit CO₂ zur Teilentsalzung von Trinkwasser. Vom Wasser 59 (1982), S. 207—220.
- [7] Dt. Patentamt, Urkunde Nr. 1062682 vom 2. 5. 1984.
- [8] HÖLL, W. und KIEHLING, B.: Sulfatentfernung durch Anionenaustausch gegen Hydrogencarbonationen. Kernforschungszentrum Karlsruhe, KfK-Bericht 2992 (1980).
- [9] HÖLL, W.: Bericht über die 1982 im Wasserwerk Mussum der Stadtwerke Bocholt durchgeführten Versuche (unveröffentlicht).
- [10] FEUERSTEIN, W., HÖLL, W., KRETZSCHMAR, W. und HAGEN, K.: Feldversuche mit dem CARIX-Verfahren zur Verminderung von Nitrat, Sulfat und Härte. Das Gas- und Wasserfach (gwf) Wasser, Abwasser 126 (1985) S. 343—349.
- [11] HAGEN, K.: Abschlußbericht über die Versuche zur Nitratentfernung mit der CARIX-Versuchsanlage im Wasserwerk Aminghausen des Wasserbeschaffungsverbandes Aminghausen-Leteln (unveröffentlicht).
- [12] HAGEN, K.: Abschlußbericht über die Versuche zur Sulfatentfernung mit der CARIX-Versuchsanlage im Wasserwerk III der Stadtwerke Münster (unveröffentlicht).
- [13] HAGEN, K., FEUERSTEIN, W.: Teilentsalzung mit dem CARIX-Verfahren mit Schwerpunkt Enthärtung. Abschlußbericht über die Versuche in Bad Rappenau beim Zweckverband Wasserversorgungsgruppe Mühlbach (unveröffentlicht).
- [14] HAGEN, K.: Teilentsalzung nach dem CARIX-Verfahren mit Schwerpunkt Sulfat-, Härteverringerng. Abschlußbericht über die Versuche im Wasserwerk Poltringen der Ammertal-Schönbuchgruppe (unveröffentlicht).

Ersatzbau einer Abwasserdruckleitung aus duktilen Gußrohren DN 700 und DN 600

Von Thomas Morszeck

Allgemeines

Das gesamte Abwasser der Stadt Wolfsburg wird, nachdem es mechanisch vorgereinigt worden ist, auf ausgedehnten Flächen nördlich der Stadt (bei Brackstedt) verregnet. Die Abwässer fließen zum Pumpwerk Wolfsburg und werden von dort über Druckleitungen DN 600 und DN 500 zum Verregnungsgebiet gefördert. Träger der Abwasserbeseitigung ist der Abwasserverband Wolfsburg.

Das Auftreten von Schäden an der alten Druckleitung DN 500 im Allertal veranlaßte den Abwasserverband zur Vergabe eines Auftrages über Planung und Bau einer Ersatzdruckleitung DN 700 in diesem Bereich. Die Gesamtlänge der zu planenden Druckleitung betrug ca. 950 m bis zum Wiederanschluß an die bestehende Druckleitung DN 500.

Schwierige örtliche Verhältnisse, die im folgenden noch näher zu beschreiben sind, dabei insbesondere eine zu erwartende Verdrängung durch eine geplante Straßenbaumaßnahme, führten zu der Entscheidung, parallel zu der genannten Druckleitung auf einem Teilstück von ca. 340 m eine zweite DN 600 zu verlegen, um so im Rahmen einer Baumaßnahme für diesen Bereich bereits eine ausreichend dimensionierte Ersatzleitung zu schaffen.

Die Dauer der gesamten Baumaßnahme erstreckte sich über 5 Monate von Juli bis Dezember 1985.

Trassierung

Die Trasse der neuen Druckleitung war durch den ausgewiesenen Flächenbedarf des geplanten Verkehrsknotens der B 188 bestimmt und sollte so verlaufen, daß die Leitung zukünftige Straßenbaumaßnahmen nicht tangiert. Diese Verkehrsflächen sind in Bild 1 gerastert dargestellt.

Wie bereits erwähnt, stellten die ersten 300 m hohe Anforderungen an die ausführenden Firmen. Bereits nach 60 m war die Bundesstraße

188 auf 65 m im Preßverfahren zu queren, danach knickt die Trasse nach Norden, um nach 140 m die Aller in offener Baugrube zu kreuzen. Die verbleibenden 600 m der Gesamtstrecke boten keine besonderen Verlegungsprobleme und wurden in offener Baugrube als geböschter Graben ausgeführt. Auch die Stadtstraße (Gifhorner Straße) konnte ebenfalls in offener Baugrube mit jeweils halbseitiger Straßensperrung gequert werden.

Der Anschluß an die alte Druckleitung DN 500 wurde so ausgeführt, daß eine Weiterführung der neuen Trasse jederzeit möglich ist, sofern dieses erforderlich wird.

Werkstoffauswahl

In der Ausschreibung wurden die Positionen Einbau und Lieferung der Druckrohre getrennt, so daß das Material direkt vom Hersteller bezogen werden konnte. Zugelassen wurden Druckrohre aus duktilem Gußeisen, PE-beschichtet und mit Zementmörtel ausgekleidet, sowie alternativ ein anderes Material.

Insbesondere wirtschaftliche Überlegungen, aber auch die Eignung des duktilen Gußmaterials führten zum Zuschlag für rd. 950 m duktilen Gußrohr DN 700 und 340 m DN 600 zuzüglich der entsprechenden Formstücke, Abzweigungen

Bild 1: Trasse der neuen Druckleitungen DN 700 (Länge 950 m) und DN 600 (Länge 340 m)

A: Durchpressung der B 188

B: Allerkreuzung

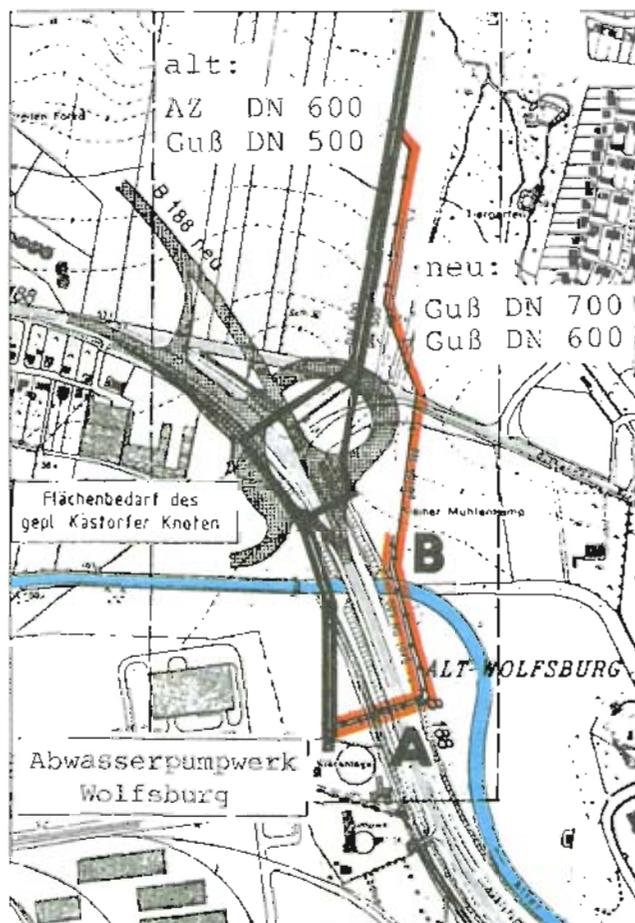




Bild 2: Einbindung der neuen Druckleitung DN 600 in die vorhandene Leitung DN 600 mit Schrumpfschlauchbeschichtung nach der Montage

usw. Für die Verschraubungen der Flanschverbindungen zwischen den Formstücken und Rohren wurden V4A-Stahl-Schrauben ausgewählt.

Da nur die geraden Rohrstücke werkseitig mit PE-Beschichtung geliefert wurden, waren sämtliche Formstücke, Abzweigungen und Muffen vor Ort mit aufgeschumpften Ummantelungen zu schützen.

Die Schrumpfschlauchbeschichtung der Verbindungsstücke sowie die V4A-Verschraubung der Flansche ist deutlich in Bild 2 erkennbar, das die Einbindung der neuen DN 600 in die vorhandene Leitung DN 600 im Bereich des Pumpwerks zeigt.

Die nicht längskraftschlüssige Verbindung der Rohrleitung wurde durch TYTON®-Rohrverbindungen hergestellt.

Die Lieferung des gesamten Rohrmaterials einschließlich aller Verbindungs- und Formstücke erfolgte direkt vom Hersteller.

Untergrundverhältnisse

Für den überwiegenden Teil der Trasse steht, entsprechend den geogenen Verhältnissen in Wolfsburg, nichtbindiger Boden (Sand, sandiger Schluff) mit eingeschlossenen Torf- und Muddeinseln an, der in einigen Bereichen einen Bodenaustausch in der Grabensohle erforderlich machte.

Der Grundwasserspiegel liegt, bedingt durch den benachbarten Allerlauf, durchschnittlich ca. 2,0 m unter Gelände und mußte aufgrund der Tiefenlage der Rohre von bis zu 5,0 bis 6,0 m im Bereich der Pressung auf ca. 250 m um 3,0 bis 4,0 m gesenkt werden (geschlossene Wasserhaltung). Dazu waren 12 Bohrbrunnen (20 m Tiefe, 0,6 m Durchmesser) im Bereich zwischen Pumpwerk und Aller abzuteufen. Für die übrige Strecke nach Kreuzung der Aller mit einer Tiefenlage der Gradienten von weniger als 2,0 m war eine offene Wasserhaltung ausreichend.

Die beschriebenen Untergrundverhältnisse er-

forderten teilweise eine zusätzliche Verankerung der Betonwiderlager durch Spundwände (verlorene Schalung).

Durchpressung der B 188

Die Bohr-Pressung zur Unterfahrung der B 188 (siehe Punkt A, Bild 1) wurde in einer Baugrube östlich der Straße aufgefahren, in der nach Abschluß der Pressung ein Revisionsschacht für den späteren Betrieb der Druckleitung errichtet wurde. Die Strecke bis zur Zielgrube westlich der Straße betrug insgesamt 65 m.

Zwei Stahlbetonrohre DN 1200 bzw. DN 1100 für die Druckleitung DN 700 bzw. DN 600 wurden hydraulisch durch den Untergrund gepreßt und dann abgedichtet.

Bild 3 zeigt den Schneidkopf, für den eine entsprechende Aussparung in die Spundwand zu schweißen war, und das erste Preßrohr DN 1200 unmittelbar vor Beginn der Pressung.

Danach waren die Medienleitungen einzuziehen (Bild 4 zeigt das Rohr DN 700) und zentrisch zu fixieren, um mögliche Druckstöße auf die Schutzrohrwänden abzufangen. Eigens hierfür ist ein Schlitten konstruiert worden, der in Bild 5 im Detail zu erkennen ist. Gleitkufen an den Wandungen sowie Rollen, die in einem U-Profil-Träger geführt wurden, der auf die Sohle des Preßrohres montiert wurde, verhinderten ein Verdrehen der Produktenleitung beim Einziehen.

Gemeinsam mit dem Medienrohr wurde ein Leerrohr für Steuerkabel eingezogen, wie in Bild 4 und Bild 5 deutlich erkennbar ist.

Allerkreuzung

Die Kreuzung der beiden Druckleitungen mit der Aller (siehe Punkt B, Bild 1) konnte in offener Baugrube durchgeführt werden. Dazu wurde die Abflußmenge der Aller durch 2 Stahlrohre DN 1100 geleitet, ein Erddamm quer zum Flußlauf aufgeschüttet und mit beidseitigen Spundwänden gesichert. Die gerammten Spundwände

Bild 3: Vor der Durchpressung der B 188: Schweißung einer Aussparung in die Spundwand für den Schneidkopf und Montage des ersten Stahlbetonpreßrohres DN 1200





Bild 4: Einziehen des Medienrohres DN 700 und Montage des Schlittens zur zentrischen Fixierung der Leitung im Preßrohr DN 1200



Bild 5: Detailaufnahme der Produktenleitung DN 700 im Preßrohr DN 1200 mit Schlitten und Leerrohr für Steuerkabel

stellten sicher, daß nach Aushub des Bodens die Druckleitungen in offener Baugrube verlegt werden konnten. Die verlegten Röhre wurden mit Betonplatten gegen Auftrieb und mechanische Beschädigungen auf der Allersohle gesichert.

Bild 6 zeigt die bereits abgeschlossene Rohrverlegung im Bereich der Aller. An der linken Bildseite ist noch eine der Leitungen DN 1100 zu erkennen, während am rechten Ufer im Schutz



Bild 6: Allerkreuzung: Teilweise Öffnung des Erdammes nach abgeschlossener Rohrverlegung. Davor Sicherung der Rohrleitungen mit Betonplatten gegen Auftrieb und mechanische Beschädigungen

des Restdammes noch die Sohl- und Böschungsbefestigung vorgenommen wird.

Abnahme und Druckprüfung

Im Rahmen der Abnahme wurden beide Leitungen den vorgeschriebenen Druckprüfungen gemäß DIN 4279 unterzogen. Eine Druckprüfung erstreckt sich über 2 Tage und gliedert sich in eine Vor- und eine Hauptprüfung. Während der Vorprüfung wurden die Leitungen mit 11 bar (DN 600) bzw. 14 bar (DN 700) abgedrückt und während der Hauptprüfung am darauffolgenden Tag nochmals mit 17,5 bar (DN 600) bzw. 18,5 bar (DN 700).

Kosten

Die gesamten Baukosten der Maßnahme beliefen sich auf annähernd 3 Mio DM. Davon entfielen der größte Teil auf die Baulichkeiten, wie Pressung, Kreuzung und Rohrverlegung mit über 2,3 Mio DM. An reinen Materialkosten für Druckrohre und Armaturen waren ca. 430 000,— DM anzusetzen. Erforderliche Installationen, wie Schieber, Meßeinrichtungen, induktive Durchflußmessung und elektrische Steuerungen verursachten die verbleibenden Kosten in Höhe von ungefähr 150 000,— DM.

Inzwischen ist die Druckleitung DN 700 in Betrieb gegangen und fördert das gesamte Abwasser der Stadt Wolfsburg in das oben genannte Verregnungsgebiet.

Duktile Gußrohre für die Fernwärmever-sorgung — Verle-gung der Fernwärme-schiene Saar-West

Von Hansgeorg Hein und Horst Steinmetz

1. Allgemeines

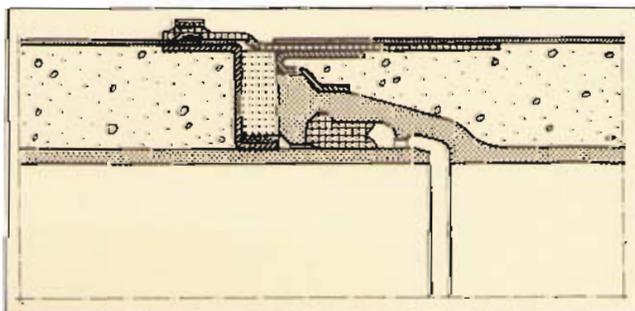
Rohre und Formstücke aus Gußeisen werden seit mehr als einem Jahrhundert mit großem Erfolg für Wasser- und Gasleitungen eingesetzt. Vor 30 Jahren wurde mit der Entwicklung des duktilen Gußeisens ein großer Schritt zu einem hochbelastbaren Rohr getan. Bis Ende 1985 sind bereits mehr als 100 000 km duktile Gußrohre allein in der Bundesrepublik Deutschland verlegt worden. Ausgehend von diesen guten Erfahrungen in Konzeption, Bau und Betrieb wurde vor 10 Jahren durch Adaption dieses Rohrprogramms für den Transport von Heißwasser ein weiteres Anwendungsgebiet erschlossen.

Die Beibehaltung des kompletten Formstückbausatzes war ebenso selbstverständlich wie die Verwendung der Steckmuffen-Verbindung, die neben dem Vorteil der leichten Verlegbarkeit ohne Schweißen auf einfache Weise zu einem wirkungsvollen Kompensator umfunktioniert wurde. Dies wurde durch die Verwendung eines wärmebeständigen und abriebfesten Dichtringes in Verbindung mit einer Gleitbeschichtung auf dem Einsteckende des Rohres möglich. Wärmedämmung und Feuchtigkeitsisolierung werden im Werk aufgebracht.

Heute unterscheiden wir 3 Anwendungsbereiche, und zwar für den Transport von:

- Heißwasser mit einer Dauertemperatur bis 120 °C bei Spitzen bis 140 °C; WKG 120-Fernwärmeleitungen;

Bild 1: Schnitt durch Rohr und Verbindung



- Wasser mit Temperaturen bis 60 °C; WKG 60-Geothermieleitungen;
- Wasser in frostgefährdeten Bereichen und Kaltwasser für Kühlanlagen; WKG 30-Brückenleitungen.

Die Grundkonzeption des Systems ist folgende:

- Weitgehende Vorfertigung im Werk
- Kompensatorfreie Verlegung problemlos wie bei Wasserleitungen
- Einfache Planung durch vollständiges Formstückprogramm
- Kein Schweißen, Schäumen und Schrumpfen auf der Baustelle.

Das Ergebnis ist das wärmege-dämmte kompensierende Gußrohr, das WKG-Rohr.

2. Aufbau des Rohres

Die Rohre werden im Werk mit einer Dämmung aus PUR-Hartschaum und einer Feuchtigkeitsisolation versehen. Der Ringraum zwischen Mediumrohr und Isolation ist stirnseitig gegen Eindringen von Wasser abgeschottet. In die muffenseitige Abschottung ist die Abdichtung der Wärmedämmung über dem Muffenstoß integriert.

Die Isolation der Rohre besteht bis zur Mediumrohrnennweite DN 300 einschließlich aus einem HDPE-Mantel-Rohr; für die größeren Nennweiten wird über dem PUR-Hartschaum eine Deckschicht aus ungeschäumtem Polyurethan aufgebracht.

Formstücke werden bis DN 300 einschließlich ebenso gedämmt und isoliert wie die entsprechenden Rohre; bei größeren Nennweiten tragen sie einen Korrosionsschutz aus PVDF zum Einbau in Widerlager aus Dämmbeton.

Die Verbindung ist eine Steckmuffen-Verbindung System Standard; ihre Wirkung als Kompensator wird durch einen genügend großen Muffenspalt und eine Herabsetzung des Gleitwiderstandes durch eine Beschichtung des Einsteckendes mit PVDF erreicht. Das System ist für Dauertemperaturen bis 120 °C bei Spitzen bis 140 °C geeignet.

Über die Entwicklung und Erprobung des Dicht-ringes und der Spitzendbeschichtung, insbesondere die zu erwartende Lebensdauer, wird in dem Aufsatz „Untersuchungen an wärmege-dämmten kompensierenden Gußrohren ‚System WKG‘ für Fernwärmeleitungen“ an anderer Stelle dieser Informationsschrift berichtet (siehe Seite 51 bis 60).

Bild 1 zeigt einen Schnitt durch Rohr und Verbindung, wie sie bei der Fernwärmeschiene Saar-West zur Anwendung kamen.

3. Fernwärmeschiene Saar-West

Diese Fernwärmeschiene ist der dritte Bauabschnitt der Fernwärmeschiene Saar und führt von der Zentralkokerei Dillingen zur Übergabestation Saarlouis; sie wird nach Ensdorf weitergeführt.



Bild 4: Vorbereiten der Verbindung: Gummiring einlegen, Ring und Spitzende einschmieren.



Bild 7: Umklappen der Dichtmanschette und Befestigen mit dem Spannband



Bild 5: Einhängen der Zugratsche und Zusammenziehen der Leitung



Bild 8: Verziehen der Leitung



Bild 6: Anbringen des dauerplastischen Dichtbandes



Bild 9: Einbau von Bogen

genänderungen des Rohres erzeugen in den Muffen Verschiebekräfte, die von Muffe zu Muffe wegen der Toleranzen etwas streuen können. Sie entsprechen denen, die beim Zusammenschieben der Rohre auftreten. Lediglich die Differenz zweier aufeinanderfolgender Muffenkräfte muß in den Boden abgeleitet werden. Aus Gründen der Sicherheit wird diese Differenz der maximalen Muffenkraft gleichgesetzt. Diese

Kräfte wirken horizontal. Sie werden über einen zwischen Vor- und Rücklauf mitgeführten Zuganker aufgenommen und in die Widerlager am Ende der Freileitung abgeleitet. Auf diese Weise können die Betonaufleger sehr klein gehalten werden, da sie von seitlichen Kräften weitgehend entlastet sind (Bilder 10 und 11).

Diese Bauweise mit nachträglicher Überschüttung ist wirtschaftlich nur mit Muffenrohren dank



Bild 10: Auf Betonaufgaben verlegte Leitung



Bild 11: Verlegte Leitung mit Zuganker

ihrer Kompensatorwirkung möglich. Das KMR-System verlangt in jedem Fall Dehner, die zudem nach der Überdeckung der Leitung anderer Belastung unterworfen wären. Zur Vermeidung größerer Betonaufgaben hätte das KMR-Rohr auf Rollenlager aufgelegt werden müssen, deren Wirkung bei Eindeckung mit Erdreich nicht exakt abzuschätzen wäre.

4.3 Durchpressungen

Die Methode der kompensatorfreien Verlegung wurde auch bei den Durchpressungen eingesetzt. Hier fehlt jedoch die Erdlast, die normalerweise jedes Rohr in seiner Lage fixiert. Auf folgende Weise wurde Abhilfe geschaffen:

- Auf jedem Rohr wurde in der Nähe der Muffe eine Schelle auf dem Rohrmantel befestigt. Diese Schelle ist mit zwei Gleitkufen und einem nach oben gerichteten Sporn versehen, der das Ausknicken verhindert (Bild 12).
- Das Einziehen in das Schutzrohr erfolgt über Zugbänder, mit denen die Schellen untereinander verbunden sind.
- Diese Zugbänder werden anschließend an

den Enden des Schutzrohres befestigt, so daß nun jede Muffe relativ zum Schutzrohr fixiert ist. Dadurch ist sichergestellt, daß die gesamte Dilatation des eingezogenen Rohrstranges sich gleichmäßig auf alle Muffen verteilt. Maßnahmen zur Dehnungsaufnahme sind nicht erforderlich (Bild 13).

4.4 Brückenleitung

Auf dieselbe Art und Weise, wie in Abschnitt 4.3 beschrieben, wurden die Rohre in einer Stahlbogenbrücke verlegt. Je Rohr ist eine Schelle in Muffennähe angebracht, die ein gegen Abheben und seitliches Verschieben gesichertes Gleitlager besitzt. Mit den Schellen verbundene Zugbänder werden in den Brückenwiderlagern befestigt und fixieren so die Rohrmuffen gegeneinander und relativ zu den Widerlagern. Die Brücke kann sich unabhängig von der Leitung bewegen. Damit entfallen Kompensatoren bzw. aufwendige Festpunkte.

5. Schachtbauwerke

Die Einbauten in den Schächten wurden in Stahl ausgeführt. Der Übergang von Stahl auf Guß erfolgt mit Flanschen. Auf der Gußseite gehört der entsprechende Flansch zu einem E-Stück mit oder ohne Mauerflansch. Die normale Aus-

Bild 12: Einziehen in ein Schutzrohr (Querschnitt)

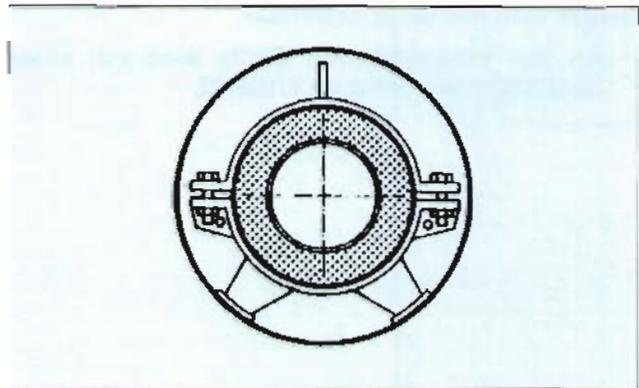
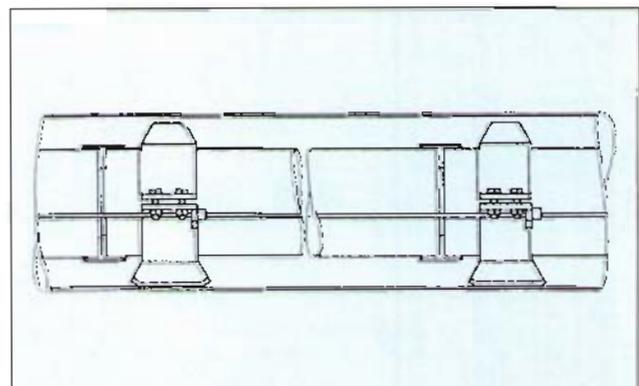


Bild 13: Einziehen in ein Schutzrohr (Längsschnitt)



führung eines Schachtes ist aus Bild 14 zu erkennen. Die thermischen Längenänderungen werden in dem im Schacht angebauten E-Stück kompensiert. Das E-Stück mit Mauerflansch

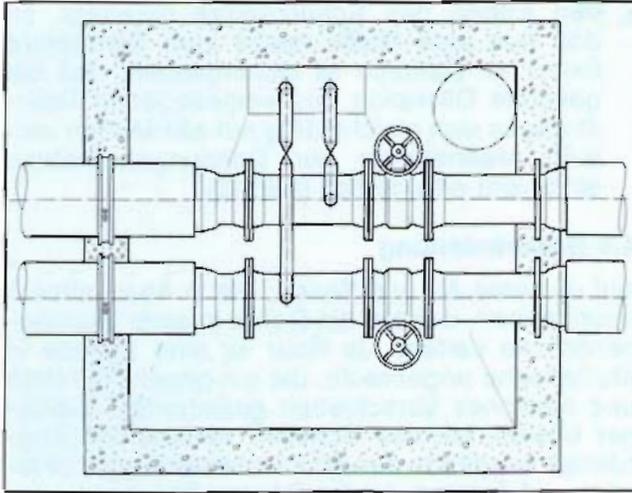


Bild 14: Schachtanschlüsse

überträgt die Längskräfte in die Schachtwand, wobei der ganze Schacht als Widerlager dient. Das an das E-Stück anschließende Rohr wird wasserdicht durch die Schachtwand geführt. Kompensatoren zur Aufnahme der Dehnung der Stahleinbauten entfallen.

6. Nachträgliche Anschlüsse

Für Entleerungen, Entlüftungen und kleinere Abnehmer wurden an Ort und Stelle Abgänge in Stahl angeschweißt. Es handelt sich um Nennweiten DN 60 bis DN 150. Folgende Arbeitsvorgänge sind hierfür erforderlich:

- An der vorgesehenen Stelle wird mit einer Stichsäge der Schaum entfernt.

- Der Stahlabgang wird angeschweißt.
- Die nicht isolierte Fläche wird mit einem Sattel aus HDPE mit aufgeschweißtem Abgang abgedeckt und mit Heißkleber befestigt. Dies geschieht mit einer PE-Folie, die mit Kleber beschichtet ist.
- Anschließend erfolgt das Ausschäumen und der Anschluß an die abgehende Mantelrohrleitung.

Ist als Abgang ein vorisolierter Bogen vorgesehen, so wird der Sattel zum Überstülpen aufgetrennt und an Ort und Stelle verschweißt.

7. Zusammenfassung

Die Verlegung einer 4 km langen Fernwärmeleitung aus wärmegeprägten Gußmuffenrohren mit Durchpressungen und Aufständerungen stellt in Deutschland ein Novum dar. Neben einer beachtlichen Kostenersparnis war die schnelle Verlegbarkeit bei der Vergabe von Bedeutung:

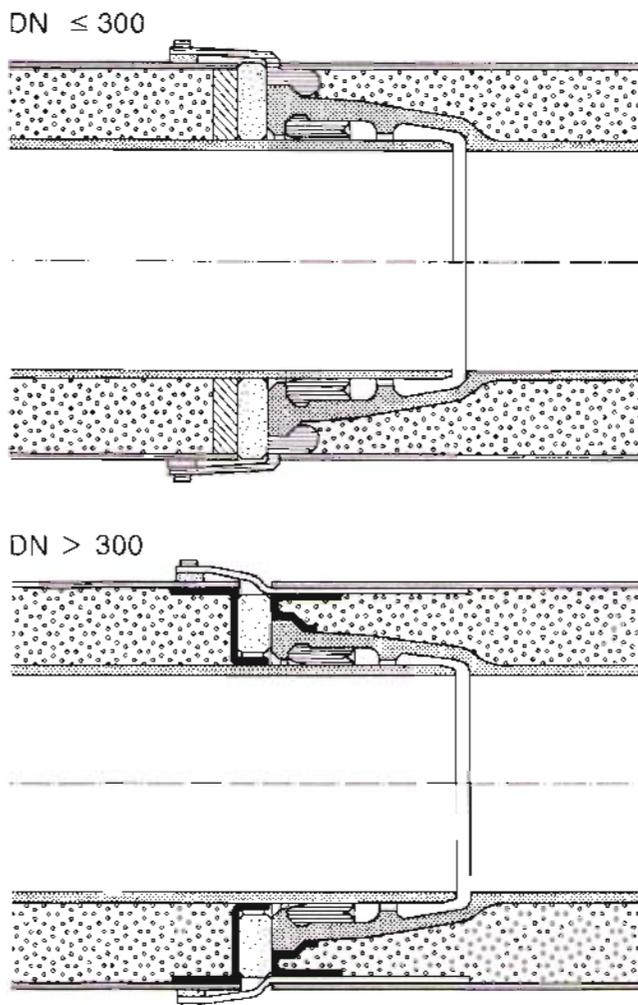
- Die Bestellung der Rohre erfolgte Ende April 1986.
- Erste Rohrlieferung am 9. Juni 1986.
- Beginn der Verlegung am 16. Juni bzw. 14. Juli für die Freileitung.
- Abschluß der Verlegearbeiten Ende September 1986.
- Nach bestandener Druckprüfung ist die Leitung im Oktober 1986 in Betrieb gegangen.

Untersuchungen an wärmege­dämmt­en kompen­sier­en­den Guß­ro­hren „System WKG“ für Fernwär­me­lei­tun­gen

Von Hansgeorg Hein

In der vorliegenden Arbeit werden Ergebnisse von Untersuchungen an wärmege­dämmt­en Guß­ro­hren mitgeteilt. Die Untersuchungen sind einesteils Grundlage einer exakten Produktdefinition, zum anderen sollen sie Fragen beantworten, die während der Einführungsphase des Systems in den Markt gestellt worden sind.

Bild 1: Aufbau und Wirkungsweise der Muffen­ver­bin­dung



Bei dem Fernwärmerohr­system WKG werden die aus dem Bau von Wasser­lei­tun­gen be­kannt­en 6 m lan­gen Guß­ro­hre außenseitig mit einer Wär­me­däm­mung aus Polyurethan-Hartschaum umschlossen. Der Vorteil des Systems liegt darin, daß jeweils in der Muffen­ver­bin­dung die wärme­be­ding­ten Län­gen­än­de­run­gen des Guß­ro­hres aufge­fan­gen wer­den.

Bild 1 zeigt den Aufbau und die Wirkungsweise des Systems.

1. Steckmuffen-Verbindungen für Fernwärmerohre aus duktilem Gußeisen

1.1 Allgemeines

Steckmuffen-Verbindungen für Wasser-, Abwasser- und Gasrohre aus duktilem Gußeisen werden seit mehr als 25 Jahren mit bestem Erfolg eingesetzt. Weltweit wurden in dieser Zeit mehr als eine halbe Milliarde Steckmuffen gefertigt.

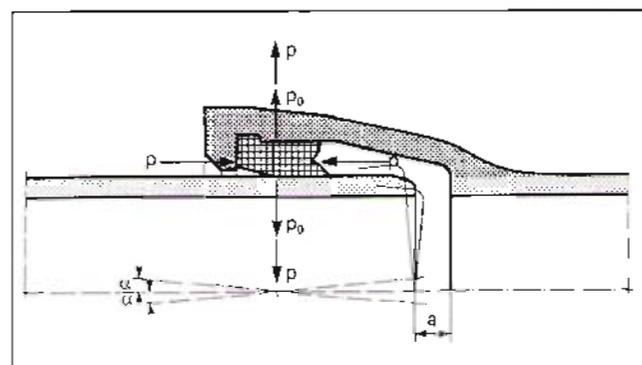
Die Abdichtung erfolgt über einen vorkomprimierten Gummidichtring in einem parallelen Spalt zwischen Muffe und Einsteckende; die Vorkompression p_0 des Dichtmaterials erfolgt beim Einschieben des Einsteckendes in die Muffe, wobei die richtige Wahl der Abmessungen und deren Toleranzen von ausschlaggebender Bedeutung sind.

Der vorkomprimierte Dichtring erfährt eine zusätzliche Anpressung auf die Dichtflächen durch den Druck p des Mediums derart, daß die Summe der Anpreßdrücke $p_0 + p$ immer größer als der Innendruck ist. Eine geeignete Form von Muffe und Dichtring verhindert, daß die Dichtung durch den Innendruck herausgedrückt wird. Das Innenprofil der Muffe ist gußtechnisch sehr einfach in jeder gewünschten Form herzustellen (Bild 2).

Die Verbindung läßt Abwinkelungen je nach Nennweite bis zu 6° zu und erlaubt axiale Bewegungen von Muffe und Einsteckende relativ zueinander, selbstverständlich auch während des Betriebes.

Bild 2 zeigt eine Steckmuffen-Verbindung im Schnitt. Der Winkel α beschreibt die Abwinkelung des Einsteckendes relativ zur Muffe; der Drehpunkt liegt etwa in der Ebene des Dichtringschwerpunktes. Axiale Verschiebungen drücken sich durch Veränderung des Spaltes a aus.

Bild 2: Druckverhältnisse im Dichtungsbereich



Im folgenden werden die Überlegungen, Untersuchungen und die daraus resultierenden Schlußfolgerungen beschrieben, die notwendig waren, um die Verbindung für hohe Temperaturen geeignet zu machen.

1.2 Anforderungen an die Verbindung

Die Verbindung muß bei der vorgegebenen Temperatur sicher abdichten und die temperaturbedingten Längenänderungen aufnehmen können, ohne daß zusätzliche Dehner (U-, L- oder Z-Bogen) oder thermische Verspannung notwendig werden.

Das Resultat der Untersuchungen ist ein

- Dichtwerkstoff, der temperaturbeständig bei geringer Relaxation ist und die durch die Relativbewegungen bedingten inneren Scherspannungen sicher aufnimmt, und ein
- Überzug des Einsteckendes, der auf dem Rohr gut haftet, nach längeren Perioden des Stillstandes — kalt oder warm — jedoch nicht mit dem Dichtring verklebt.

Bei einer Standardbaulänge des Rohres von 6 m und einer Temperaturdifferenz von 100 K beträgt die Längenänderung etwa 7 mm. Sie kann nur über ein Gleiten des Einsteckendes relativ zum Dichtring aufgenommen werden.

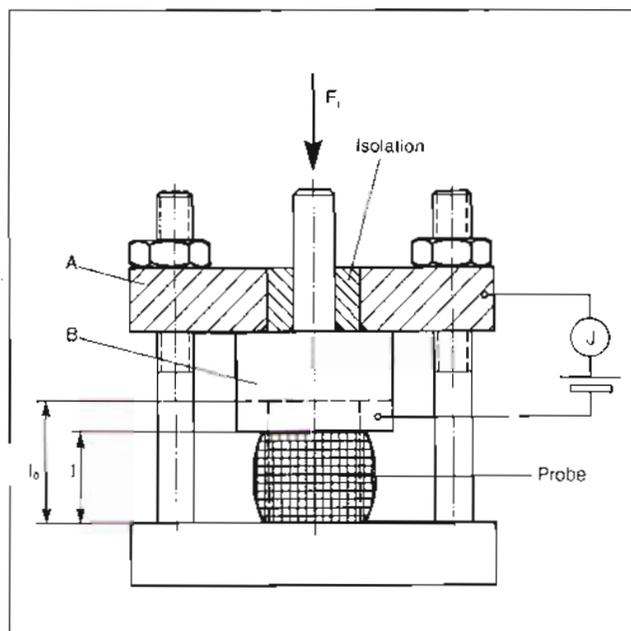
1.3 Dichtringmaterial

Zur Festlegung einer geeigneten Dichtringqualität wurden einmal Versuche mit beschleunigter Alterung gemacht, zum anderen mußte die Beziehung zwischen der zu erwartenden Lebensdauer und den Versuchsergebnissen gefunden werden.

1.3.1 Alterungsversuche

Die erste Auswahl des Dichtwerkstoffes erfolgte durch einen

Bild 3: Meßeinrichtung zum Relaxationsversuch



1.3.1.1 Alterungsversuch in Sauerstoffatmosphäre:

- Eine bestimmte Menge des zu untersuchenden Materials wird bei konstanter Temperatur (120, 140, 160 °C) einer O₂-Atmosphäre ausgesetzt. Das Material liegt in Pulverform vor und es wird die Gewichtsänderung— in diesem Falle Zunahme — in Funktion der Zeit gemessen. Bestimmender Faktor ist die Zeitdauer, bei der eine Gewichtszunahme von 10 % erreicht ist.

Bei einer Temperatur von 140 °C variieren diese Zeiten von 40 bis 750 h; die höchsten Werte werden bei Peroxid-vernetztem EPDM erreicht. Mit dem Material werden dann die folgenden Versuche durchgeführt.

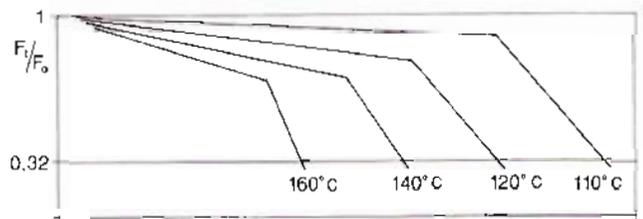


Bild 4: Relaxationskurven des Dichtungsmaterials

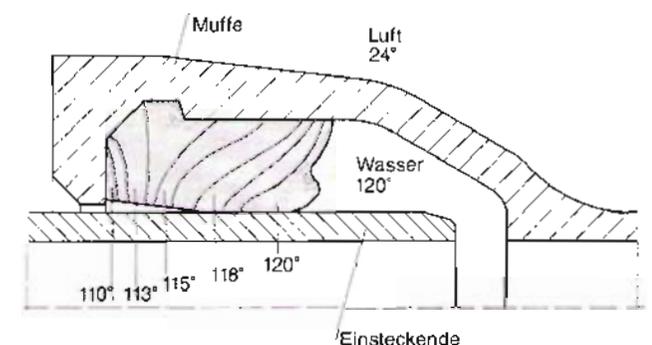
1.3.1.2 Relaxationsversuch

Bei diesem Versuch wird der zeitliche Verlauf derjenigen Kraft gemessen, die notwendig ist, eine bestimmte Kompression in einem Probekörper aufrechtzuerhalten. Der Parameter ist die Temperatur. Die Probe ist ein Zylinder mit den Abmessungen 13 mm Durchmesser und 8 mm Höhe; die vorgegebene Zusammendrückung beträgt 25 %.

In Bild 3 ist die Meßeinrichtung dargestellt. Die zu registrierende Kraft zur Zeit t ist dann erreicht, wenn bei Belastung der elektrische Kontakt zwischen den Teilen A und B unterbrochen ist. Bezeichnet man mit F_0 die Kraft zum Zeitpunkt $t = 0$, so ist der Verlauf des Quotienten F_t/F_0 als Funktion der Zeit t von Interesse. Die Versuche wurden bei Temperaturen ϑ von 120, 140 und 160 °C bis zu dem Zeitpunkt durchgeführt, bei dem F_t/F_0 auf einen Wert von 0,2 abgefallen ist.

In Bild 4 sind diese Funktionen schematisch dargestellt.

Bild 5: Isothermen im Dichtring; Einbauzustand, 120 °C Mediumtemperatur



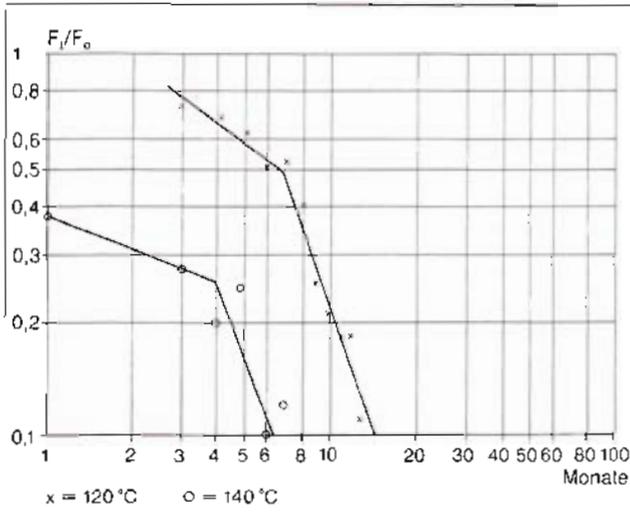


Bild 6: Relaxationskurve von EPDM H 105, Kompression 25 %

Der Wert von 0,2 für F_t/F_0 ist im Zusammenhang mit der vorgegebenen Kompression von 25 % zu sehen. Er entspricht einer Restkompression von $0,2 \times 25 \% = 5 \%$, die für ein Dichthalten der Verbindung als notwendig erachtet wird (siehe p_0).

Bei den Versuchen befindet sich die Meßeinrichtung in einem Temperaturschrank; Übertragungsmedium ist Luft.

Diese Bedingungen sind durch die Präsenz von Sauerstoff härter als diejenigen, die in der Praxis vorgefunden wurden. Der eingebaute Ring ist praktisch ganz vom Sauerstoff abgeschirmt.

Eine weitere Verschärfung der Prüfbedingungen gegenüber der Praxis besteht in der Tatsache, daß der Dichtring im gesamten Querschnitt Prüftemperatur erreicht.

Analogmessungen des elektrischen Widerstandes zeigen, daß die Temperaturen im Kern eines eingebauten Dichtringes um 4 bis 5° unter der Mediumtemperatur liegen (Bild 5).

Bild 7: Relaxationskurve von EPDM 5306, Kompression 25 %

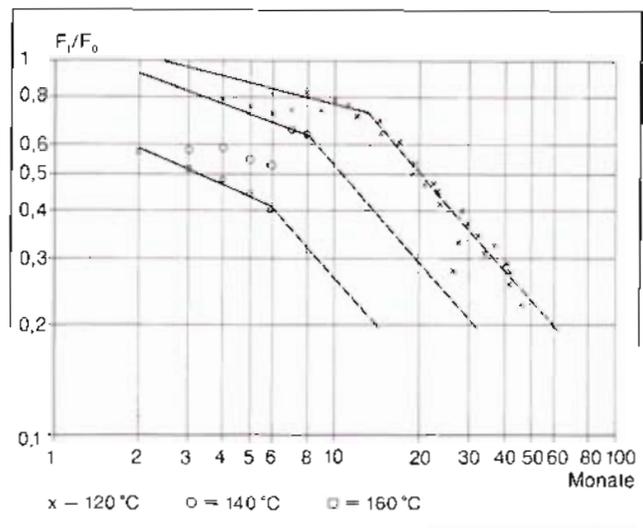
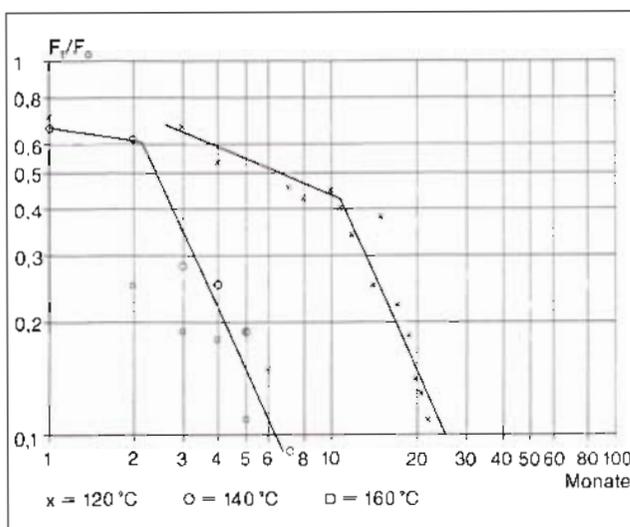


Bild 8: Relaxationskurve von EPDM 5512, Kompression 25 %

In den Bildern 6, 7 und 8 sind die gemessenen Relaxationskurven verschiedener EPDM-Qualitäten dargestellt; die Kompression beträgt jeweils 25 %. Sie sollen einen Eindruck vermitteln, wie man sich an die geeignete EPDM-Qualität herangetastet hat, wie z. B. von Probe zu Probe eine Steigerung der verlangten Werte zu sehen ist. Die Versuche erstrecken sich z. B. über 50 Monate und mehr. Diese Zeitdauer ist absolut notwendig, um sichere Aussagen für die Zukunft zu machen. Es genügen in keinem Falle die in den entsprechenden Normen vorgeschriebenen Prüfzeiten.

1.3.2 Ergebnisse

Die Versuche haben bestätigt, daß sich die temperaturabhängigen Eigenschaften der Dichtringe mit dem Gesetz von Arrhenius erfassen lassen. Somit ist eine Voraussage über die Lebensdauer möglich.

Ausgehend von den Versuchsergebnissen bei $T_0 = 413 \text{ K} \triangleq 140^\circ\text{C}$, bei denen bis jetzt eine Lebensdauer L_0 von 9 Jahren erreicht wurde, ohne daß Schäden oder Undichtheiten aufgetreten sind, läßt sich die Arrheniusformel wie folgt darlegen:

$$\ln \frac{L}{L_0} = A \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \quad (1)$$

L ist die zu erwartende Lebensdauer bei der Temperatur T .

A ist eine Konstante, die aus den Relaxationsversuchen zu 8322 (K) ermittelt wurde.

1.3.2.1 Jahresdauerkurve

Liegt eine Jahresdauerkurve vor, so kann die gesamte Lebensdauer L_{ges} wie folgt ermittelt werden: Aus der Jahresdauerkurve werden die

relativen Zeiten α für Temperatursprünge ΔT von 10 K ermittelt.

$$\alpha_i = \frac{t_i}{8760} \quad (2)$$

Hierin ist t_i die Benutzungsdauer in Stunden für den i -ten Temperaturbereich:

i	Temperaturbereich
1	140 °C bis 131 °C
2	130 °C bis 121 °C
3	120 °C bis 111 °C

In angenäherter, aber übersichtlicher Form wird dann:

$$\frac{L_{ges}}{L_o} = \sum_1^i \alpha_i \cdot \frac{L_i}{L_o} \quad (3)$$

Mit

$$\frac{L_i}{L_o} = e^{0,05 \cdot \Delta T (i-1)} \quad (4)$$

und $\Delta T = 10$ K wird

$$\frac{L_i}{L_o} = e^{0,5 (i-1)} \quad (5)$$

und damit

$$\frac{L_{ges}}{L_o} = \alpha_1 \cdot e^0 + \alpha_2 \cdot e^{0,5} + \alpha_3 \cdot e^1 + \dots \quad (6)$$

Die Rechnung liegt auf der sicheren Seite, da für den Lebensdaueranteil eines Temperaturabschnittes durch die Einführung des Terms $(i - 1)$ stets die obere Temperaturgrenze berücksichtigt wurde.

1.3.2.2 Äquivalente Temperatur

Anhand obiger Formeln läßt sich eine äquivalente Temperatur $T\ddot{A}$ ermitteln, die als konstante Dauertemperatur über die gesamte Betriebszeit angesehen werden kann. Formel (1) läßt sich in

$$\frac{L}{L_o} = e^{A \left(\frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_o} \right)} \quad (7)$$

umformen. Die Temperatur $T\ddot{A}$ wird durch folgende Gleichung definiert (siehe auch Formel (3)):

$$e^{A \left(\frac{1}{T\ddot{A}} - \frac{1}{T_o} \right)} = \sum_1^i \alpha_i \cdot e^{A \left(\frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_o} \right)} \quad (8)$$

Durch Umformung erhält man mit (3):

$$\frac{T\ddot{A}}{T_o} = \frac{1}{1 + \frac{T_o}{A} \ln \frac{L_{ges}}{L_o}} \quad (9)$$

Mit diesen Formeln wurde die gewohnte Jahresdauerkurve der Stadtwerke Mannheim SMA ausgewertet.

Für die Lebensdauer L_{ges}/L_o wurde ein Wert von

15 ermittelt; mit $L_o = 9$ Jahre wird $L_{ges} = 135$ Jahre. Mit $L_{ges}/L_o = 15$ errechnet sich eine äquivalente Temperatur $T\ddot{A}$ zu 91 °C.

1.4 Versuche an Verbindungen

Gleichzeitig mit den Relaxationsversuchen an EPDM-Probekörpern wurden echte Verbindungen mit Dichtringen der gleichen Materialien untersucht.

1.4.1 Forschungszentrum P&M

Hier erstrecken sich die Untersuchungen auf die Parameter:

1. Art und Qualität des Überzuges am Einsteckende;
2. Qualität des Dichtrings und Kompressionsverhältnisse;
3. Einfluß der Längsbewegungen und Stillstandzeiten, Druck und Temperatur.

Zu 1.: Neben metallischen Überzügen wurden hauptsächlich solche aus Kunststoffen untersucht, da diese besser aufzubringen und auch preiswerter sind. Das Optimum an Haftung, Abriebfestigkeit und Preis wurde mit Polyvinylidenfluorid (PVDF) erreicht, so daß dieser Überzug heute ausschließlich verwendet wird:

- PVDF garantiert das Gleiten des Spitzendes im Dichtring und verhindert ein Anbacken.
- Es ist außerdem ein ausgezeichnete Korrosionsschutz bei höchsten Temperaturen.

Zu 2.: Hier hat sich Ethylen-Propylen-Dien-Methylen (EPDM) als die geeignetste Dichtringqualität erwiesen; die in 1.3 beschriebenen Versuche beziehen sich auf diesen Werkstoff, der weltweit für ähnliche Anwendungen zum Einsatz kommt.

Gegenüber Wasser- und Gasleitungen werden die Kompressionsverhältnisse eingeschränkt; dies geschieht durch Bearbeitung der Muffen und Begrenzung der Spitzendtoleranzen, so daß die Einbaukompression 25 % nicht überschreitet. Im Betrieb darf die Kompression den Wert von 5 % nicht unterschreiten (siehe 1.3).

Zu 3.: Die Versuche wurden bei unterschiedlichen Drücken bis 25 bar gefahren; bei hohen Drücken sind die Reibungskräfte und damit der Verschleiß an Dichtring und Spitzendüberzug am größten.

Für diese Untersuchungen stehen 9 Versuchstände zur Verfügung:

- Nennweiten \leq DN 150 6 Stände
- Nennweiten \leq DN 300 2 Stände
- Nennweiten \leq DN 1000 1 Stand

Im folgenden sei ein typischer Versuch beschrieben. Es handelt sich um EPDM 5512.

- Der Druck variiert zwischen 22 und 27 bar.
- Die Relativbewegung Spitzende-Dichtring beträgt 8 bis 10 mm, Dauer etwa 1 min je Zyklus.

- Während der Bewegungen ist die Temperatur 120 °C; bei Stillstand beträgt sie 140 °C.
- Die Einbaukompression liegt mit 31,5 sehr hoch; dies muß bei der Wertung der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Versuchsablauf

Zykluszahl		Stillstandszeiten	
(-) Einzelwerte	(120 °C) kumuliert	(Monate) Einzelwerte	(140 °C) kumuliert
5000	5000	—	—
—	—	3	—
5000	10000	—	—
—	—	14	17
110	10110	—	—
—	—	18	35
240	10250	—	—
—	—	18	53
50	10300	—	—
—	—	—	53

Ausbau des Dichtringes, Prüfung der Eigenschaften und Wiedereinbau:

—	—	30	83
55	10355	—	—
—	—	30	113
500	10855	—	—

Bis Ende 1986 hat diese Verbindung 10855 Bewegungszyklen bei 120 °C und 113 Monate Stillstandszeit bei 140 °C einwandfrei überstanden.

1.4.2 Versuchsleitungen P&M

Parallel mit der Überprüfung der Verbindungen selbst wurden erdverlegte Rohrleitungen untersucht mit dem Ziel,

- die stabile Lagerung der Rohre im Boden nachzuweisen und
- die Temperaturverluste des gesamten Systems zu bestimmen.

Die Ergebnisse haben ihren Niederschlag in den Verlegeanleitungen und den Temperaturverlusttabellen gefunden.

1.4.3 Versuche bei Saarberg Fernwärme GmbH (SFW)

1.4.3.1 Versuchsleitung DN 300

Im Jahre 1978 wurde im Netz der SFW bei Völklingen eine Versuchsleitung DN 300 von 95 m Trassenlänge verlegt; sie ist seither unter den Bedingungen des Gesamtnetzes in Betrieb.

Es handelt sich um Rohre der ersten Generation, bei denen eine bauseitige Nachdämmung und Isolation der Muffen notwendig ist. Aufgrabungen im 2-Jahres-Rhythmus zeigten, daß die Muffenverbindungen, die Abschottungen sowie die äußere Isolation einwandfrei dicht waren; in die nachträglich aufgebrachte Muffendämmung ist Grundwasser eingedrungen, wodurch die Wärmedämmung in diesem Bereich beeinträchtigt wurde. Als Konsequenz ist das Rohr der 2. Generation mit durchgehender Dämmung und integrierter Mantelabdichtung entwickelt worden.

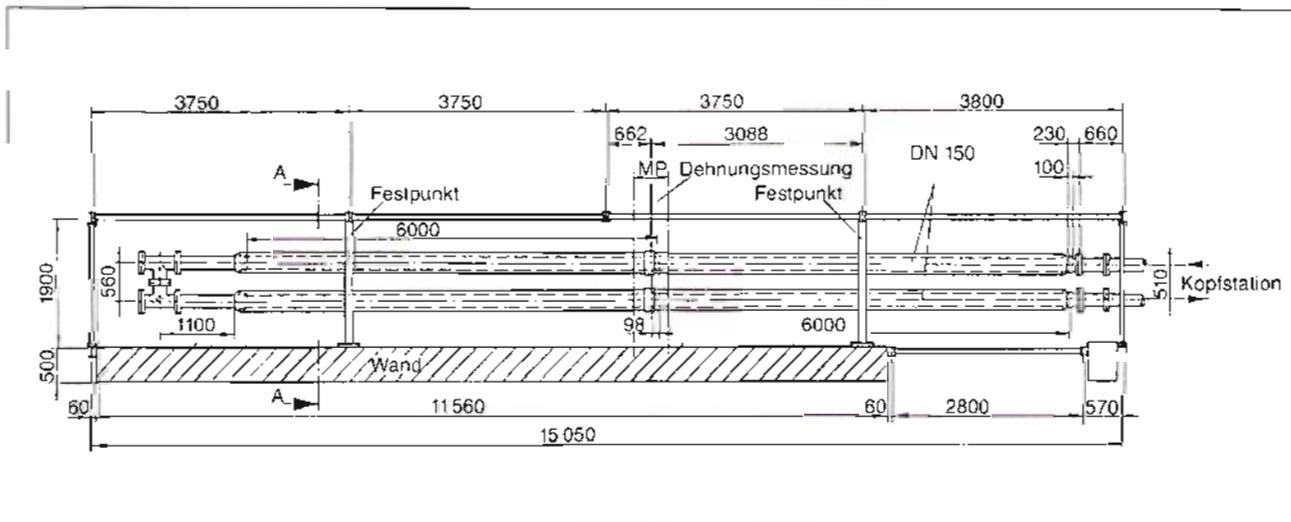
1.4.3.2 Versuchsstrecke DN 150

Vergleichende Versuche wurden an beiden Rohrtypen DN 150 in den Jahren 1984/85 in der Versuchsstrecke Velsen der SFW durchgeführt (Bild 9).

Das Versuchsziel war die Überprüfung

- der Dichtringe und des Spitzendüberzuges bei Aufheizung und Abkühlung mit und ohne Eindeckung der Leitung;

Bild 9: Versuchsstrecke Velsen der SFW



- der Verbindung bei beschädigter Isolation in eingedecktem Zustand.

Um die Versuche möglichst praxisnah zu gestalten, wurde folgende Fahrweise gewählt:

- Das Mediumwasser ist teilsalzt und mit Natriumsulfid und Trinatriumphosphat konserviert. Ein spezieller Indikator gestattet den Nachweis der Herkunft des Wassers bei einem eventuellen Wasseraustritt in die Muffenpartie.
- Der Druck variiert mit der Temperatur zwischen 4 und 8 bar.
- Für die Mediumtemperatur wurde folgender Zyklus gewählt:
 - Aufheizen von ca. 40 °C auf ca. 120 °C ca. 20 bis 30 min
 - Konstante Temperatur ca. 120 °C ca. 20 min
 - Abkühlphase von 120 °C auf 40 °C ca. 150 bis 180 min
 - Konstante Temperatur ca. 40 °C ca. 20 min

Während eines Tages wurden so 5 bis 6 Zyklen gefahren. Zum Wochenende wurden Stillstände bei 130 °C von 48 h Dauer eingeschaltet.

Die Versuchsdauer für die Rohre der 2. Generation betrug insgesamt 3,5 Monate, davon 3 Monate in eingedecktem Zustand mit und ohne Beregnung bis zur völligen Durchnässung. Nach dieser Zeit wurden die Verbindungen teilweise ausgebaut. Ringe und Überzüge machten einen ausgezeichneten Eindruck; ein Eindringen von Wasser konnte nicht beobachtet werden.

Temperaturmessungen unmittelbar über Rohr und Muffe sowie in 100 mm Abstand zeigten folgendes Ergebnis:

Unmittelbar über der Muffe werden infolge der geringeren Dämmstärke höhere Manteltemperaturen gemessen. Diese gleichen sich jedoch schon in einem Abstand von 100 mm vom Mantel weitgehend aus; auf die erhöhten Temperaturverluste wird in Abschnitt 3 eingegangen.

Nach Abschluß obiger Versuche wurde der Vorlauf der Versuchsstrecke ausgebaut und durch Rohre der 1. Generation ersetzt; gleichzeitig wurde die äußere Muffenabdichtung des Rücklaufs entfernt, um die Wirkung des eindringenden Erdreichs in den Muffenbereich zu untersuchen. Diese Versuche wurden unter den gleichen Bedingungen wie oben 2 Monate lang durchgeführt.

Auch hier konnte man sich nach Ausbau der Verbindungen von deren einwandfreiem Zustand überzeugen. Bei den Verbindungen ohne Muffenabdichtung war Sand der Einbettung unmittelbar an die Verbindung (Einsteckende/Muffe), d. h. in den Bereich des Muffenkompensators, gelangt, ohne daß die Wirkung beeinträchtigt oder eine Undichtheit festgestellt wurde.

Für die Manteltemperaturen gelten ähnliche Feststellungen wie beim ersten Versuch.

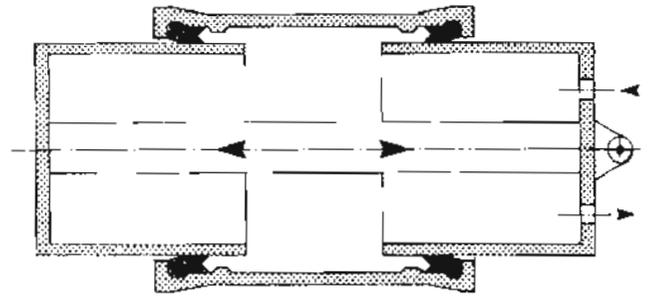


Bild 10: Versuchsaufbau

1.4.4 Versuche beim Fernwärmeforschungsinstitut (FWFI) in Hannover

Die Untersuchungen beim FWFI, die unter Leitung von Herrn Prof. Brachetti durchgeführt wurden, können in zwei Hauptabschnitte unterteilt werden:

- Untersuchung der Steckmuffen-Verbindung;
- Prüfung der Wirksamkeit der äußeren Abdichtung.

Für beide Fälle wurden die Versuchsbedingungen mit Prof. Brachetti so abgesprochen, daß sie mit den beim FWFI üblichen Prüfungen in Einklang waren, jedoch die spezifischen Eigenheiten des WKG-Rohres berücksichtigten.

1.4.4.1 Untersuchung der Verbindung

In den Jahren 1985 und 1986 wurden zwei Untersuchungen durchgeführt, die die FWFI-Prüfnummern 172 und 193 tragen.

Der Versuchsaufbau ist aus Bild 10 ersichtlich:

- Der äußere Mantel ist eine Art Überschieber, der aus zwei Muffen besteht.
- Relativ zu ihm wird ein doppelt wirkendes Einsteckende bewegt und mit den Dichtringen abgedichtet.

Der Zwischenraum, gebildet aus Mantel, Dichtringen und Einsteckende ist mit Wasser gefüllt und kann entsprechend den Versuchsbedingungen mit Drücken und Temperaturen beaufschlagt werden.

Im ersten Versuch wurde mit einem durchgehenden, an den Stirnseiten offenen Einsteckende gearbeitet. Im zweiten Versuch sind beide Einsteckenden voneinander getrennt angeordnet, um auch den Einfluß von Druck und Temperatur auf die Haftung der Beschichtung am Einsteckende untersuchen zu können; siehe Bild 11.

Beide Versuche wurden mit der Nennweite DN 150 durchgeführt. Im folgenden sind die Versuchsdaten aufgeführt.

Versuch 172

Der Versuch unterscheidet 3 Phasen, wie sie in Leitungen vorkommen können:

1. Verschiebung bei konstanter Vorlauftemperatur

Druck: 5 bis 11 bar
Temperatur: 115 bis 122 °C (Heißwasser)

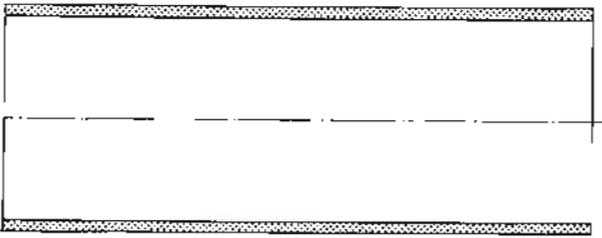


Bild 11 a: Versuch 172

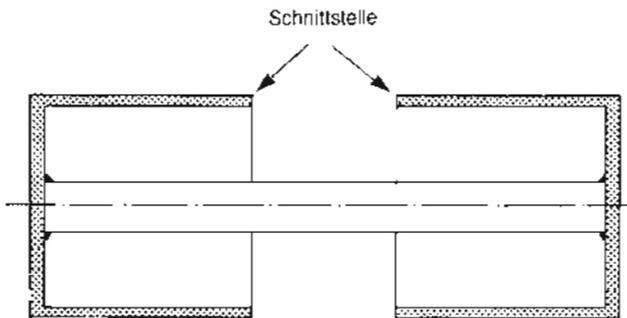


Bild 11 b: Versuch 193

Verschiebungen Einsteckende gegenüber Mantel:

- Verlagerung: $\pm 5,5$ bis $6,8$ mm
- Verschiebung insgesamt: 3500 mm
- Geschwindigkeit: 15 bis 67 mm/h
- Zyklusdauer: $0,2$ bis $0,75$ h
- Anzahl: 2741
- Versuchsdauer: 808 h
- Verschiebekräfte: Zug $5,4$ bis $8,6$ kN
Druck $6,2$ bis $7,6$ kN

Zu den Verschiebekräften ist zu bemerken, daß sie mit dem Druck variieren und daß die Anfangswerte durch Abbau des zur Montage verwendeten Gleitmittels etwas ansteigen.

2. Stillstand bei konstanter Vorlauftemperatur

- Temperatur: 138 bis 142 °C (Heißwasser)
- Druck: 14 bis 15 bar
- Dauer: 744 h

3. Verschiebungen bei zyklisch veränderter Vorlauftemperatur

- Druck: 14 bis 15 bar
- Temperatur: 80 bis 120 °C
- Temperaturzyklen: Dauer $1,8$ h
Anzahl 720

- Verschiebungen:
- Verlagerung: ± 7 bis 15 mm
- Verschiebung insgesamt: 26800 mm
- Geschwindigkeit: 15 bis 60 mm/h
- Zyklusdauer: $0,3$ bis $2,1$ h
- Anzahl: 909
- Versuchsdauer: 1313 h
- Verschiebekräfte: Zug $7,2$ bis $8,4$ kN
Druck $8,1$ bis $8,3$ kN

Im Abschnitt 1 wurde ein Verschiebeweg von $6,4$ mm im Mittel eingehalten, jedoch bei einer Temperatur von rund 120 °C. In einer Leitung, die bei einer Temperaturveränderung von 30 °C auf

120 °C und 6 m Baulänge die gleichen Bewegungen aufweist, verlaufen diese jedoch bei im Mittel geringen Temperaturen, da sie ja erst durch diese verursacht wurden. Hierin liegt die Sicherheit des Versuches gegenüber der Praxis.

Versuchsteil 2 dient zur Feststellung, ob die Dichtringe mit dem Mediumrohr verkleben können; dies ist nicht der Fall, die Kraft zum erneuten Anfahren ist um etwa $7,5$ % höher.

Während des Versuches wurden keine Undichtigkeiten beobachtet. An dem verlegten Prüfling wurden ebenfalls keine Hinweise auf Undichtigkeiten festgestellt und die Prüfung wurde insoweit bestanden.

Versuch 193

Es handelt sich hier um eine kombinierte Dichtungs- und Verschiebepfung. Wie erwähnt, ist der Mediumrohrteil gegenüber Versuch 172 insoweit abgeändert, daß auch die Haftung des Überzuges auf dem Einsteckende unter der Wirkung des stirnseitigen Angriffs von Druck und Temperatur geprüft werden konnte:

- Druck: $4,5$ bis $17,2$ bar
- Temperatur: 117 bis 131 °C

- Verschiebungen:
- Verlagerung: $\pm 10,8$ bis 12 mm
- Verschiebung insgesamt: 47800 mm
- Geschwindigkeit: 9 bis $22,4$ mm/h
- Zyklusdauer: 1 bis $2,5$ h
- Anzahl: 2098
- Versuchsdauer: 3829 h
- Verschiebekräfte: Zug $4,3$ bis $7,6$ kN
Druck $3,5$ bis $7,3$ kN

Der Versuch 193 diente dem Zweck, unter den höchsten zu erwartenden Medientemperaturen vergleichsweise große Verschiebungen bei relativ geringen Geschwindigkeiten vorzunehmen, um festzustellen, wie sich der Kraft-Verschiebelauf gestaltet und ob insbesondere ein Verkleben der Dichtringe mit dem Mediumrohr auftritt.

Als Ergebnis der Prüfungen ist festzuhalten:

- Die Prüfung wurde uneingeschränkt bestanden.
- Der gesamte Verschiebeweg betrug mit $47,8$ m ein Mehrfaches dessen, was bei gleitender Fahrweise zu erwarten ist.
- Schadhafte Veränderungen konnten weder an den Dichtringen noch an der Beschichtung festgestellt werden.
- 10 Verschiebendiagramme zeigen weitgehend denselben Verlauf.

Die Bilder 12 und 13 zeigen zwei Verschiebendiagramme, die im Abstand von etwa 5 Monaten, entsprechend 1960 Verschiebungen und $44,6$ m Gesamtweg, aufgenommen wurden.

Sie sind praktisch deckungsgleich.

1.4.4.2 Untersuchung der äußeren Abdichtung

Die Eigenschaften der äußeren Abdichtung des

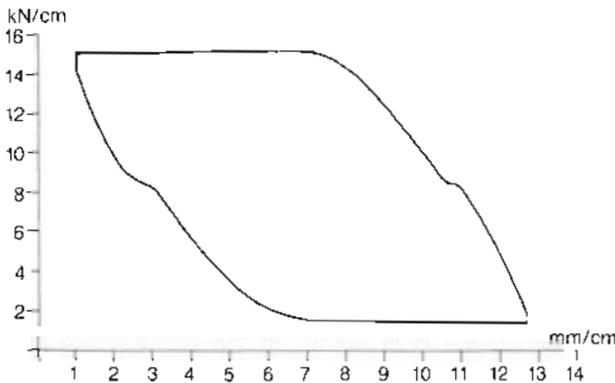


Bild 12: Verschiebediagramm 1

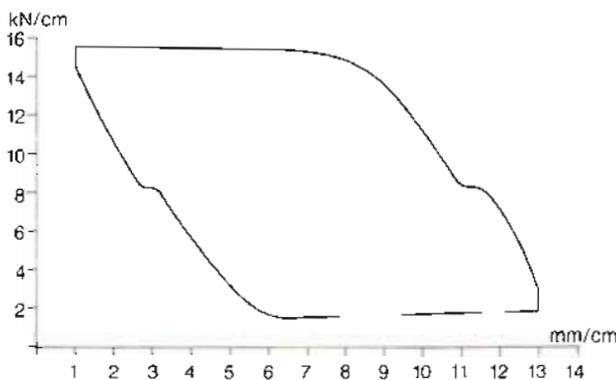


Bild 13: Verschiebediagramm 2

Mantels der WKG-Rohre wurden im
 — Wassertank und
 — Erdkasten
 untersucht.

Es handelt sich um die Versuche 173 und 171 des FWFI; die Versuchsanordnung ist dem Bild 14 zu entnehmen.

Beim Versuch im Wassertank wird eine Lagerung im Grundwasser simuliert; der äußere Wasserdruck schwankt daher infolge der Verkehrsbelastung periodisch. Der Prüfling (Manteldurchmesser 160 mm) ist im Bereich der Muffe mit Feuchtedetektoren versehen, um eindringendes Wasser sofort anzeigen zu können. Die Dilatation der Rohre ergibt sich aufgrund der Temperaturschwankungen der Mediumrohre bei festgehaltenen Rohrenden.

Medium Heißwasser

Druck: 15 bar

Temperatur:

1. 118 bis 136 °C (schwach zyklisch)

2. 80 bis 130 °C (stark zyklisch)

Anzahl der Zyklen:

1. 52

2. 1302

Wassertank

— Druck statisch: 0,7 bar

Druck dynamisch: $\pm 0,3$ bis 0,6 bar (10 Hz)

— Anzahl der dynamischen Lastwechsel 101,7 Mio.

Versuchsdauer 3760 h.

Versuchsergebnisse:

— Die Prüfung wurde bestanden.

— Wasserzutritt vom Wasserraum und vom Mediumrohr zur PUR-Isolierung ist nicht aufgetreten.

Die Versuchsanordnung „Erdkasten“ ist ebenfalls Bild 14 zu entnehmen.

Die Rohre liegen in einem Versuchsgraben; die Verbindung ist auf eine Höhe von 0,5 m mit Sand eingedeckt und wird durch einen 3-t-Rüttler statisch und dynamisch belastet. Der Sand wird beregnet; zur Feuchtdetektion sind wie im Wassertankversuch Meßfühler im Bereich der Muffe eingebaut. Die Dilatationsbewegungen werden durch zwei getrennte Plunger in der Weise aufgebracht, daß Muffe und Einsteckende symmetrisch aufeinander zu bzw. voneinander weg bewegt werden. Dies entspricht exakt den Verhältnissen der Wirklichkeit.

Versuchsdaten

Medium Heißwasser

— Druck: 12 bis 14,5 bar

— Temperatur: 109 bis 132 °C

Erdreich

— Belastung durch Rüttler

— statisch: 80 kN/m²

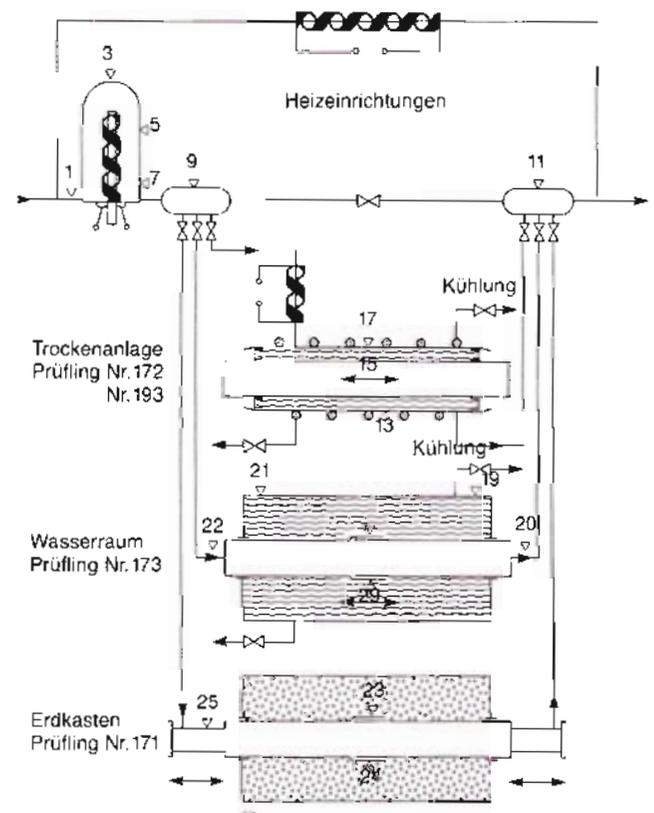
— dynamisch: ± 60 kN/m²

— Anzahl der Zyklen: 120 Mio bei 16 Hz.

— Temperatur (5 cm beiderseits der Muffe 24 bis 35 °C)

— Feuchte 10 bis 50 %

Bild 14: Schema der Versuchsanlagen; Meßstellen



- Verschiebungen
- Verlagerung, absolut: 7,8 bis 29,2 mm
 - Verschiebeweg, insgesamt: 53 000 mm
 - Verschiebege-
schwindigkeit: 7,8 bis 74,4 mm/h
 - Anzahl der Zyklen: 2435
 - Versuchsdauer, insgesamt: 2230 h

Versuchsergebnisse:

- Die Prüfung wurde bestanden.
- Undichtheiten werden weder direkt durch Feuchteindikation noch indirekt durch die Dichtheitskontrolle im Erdreich festgestellt.
- Der Prüfling und insbesondere sein Muffenbereich zeigten nach dem Versuch keinerlei Veränderungen gegenüber dem Zustand vorher. Die mechanischen und thermischen Belastungen sind uneingeschränkt ertragen worden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß alle beim FWFI gemachten Versuche bestanden wurden.

2. Lagersicherheit

Das erdverlegte WKG-Rohr ist bei Temperaturänderungen Längskräften ausgesetzt, die sicher in das Erdreich abgeleitet werden müssen. Die Kräfte aus dem Innendruck wirken so, daß sie vollkommen ausgeglichen sind. Es werden zwei Lastfälle untersucht, die sich durch die Geschwindigkeit der Mediumtemperaturänderung unterscheiden.

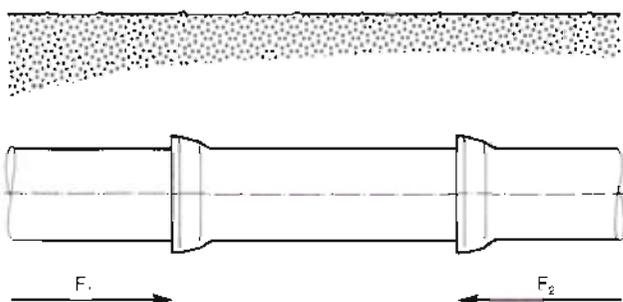
2.1 Langsame Temperaturänderungen, wechselnde Überdeckung und Reibungsbeiwerte

Bei langsamer Temperaturänderung, wie sie normalerweise vorkommt, wird die Temperaturänderung so verlaufen, daß innerhalb einer Rohrlänge L von maximal 6 m keine wesentlichen Temperaturdifferenzen auftreten ($<0,1^\circ\text{C}$).

Als Folge einer über einer Länge wirkenden Temperaturänderung wird das Rohr seine Länge ändern und in den beiden unmittelbar anschließenden Muffen entgegengesetzte Kräfte F_1 und F_2 wecken (Bild 15).

Die Differenz der Kräfte F_1 und F_2 muß durch Mantelreibung ins Erdreich abgeleitet werden.

Bild 15: Kräfte F_1 und F_2 , resultierend aus temperaturbedingten Längenänderungen



Da die Differenz von F_1 und F_2 nicht bekannt ist, wird aus Sicherheitsgründen eine der beiden gleich Null gesetzt. Die Größe von F läßt sich u. a. aus den Versuchen von Brachetti (siehe 1.4.4.1) ermitteln, wenn man berücksichtigt, daß die Einschubkräfte bei gleicher Kompression linear mit der Nennweite ansteigen. Die nennweitenunabhängige maximale Einschubkraft f_{\max} ermittelt sich aus den Versuchen von Brachetti zu:

$$f_{\max} = \frac{F_{\max}}{2 \cdot DN} \quad (10)$$

mit $F_{\max} = 8600 \text{ N}$ und $DN = 150 \text{ mm}$ ergibt sich dann:

$$f_{\max} = 30 \text{ N/mm} \quad (11)$$

Mit der Erdauflast G_E , der Wasserfüllung G_W und dem Rohrgewicht G_R errechnet sich dann die Lagersicherheit S zu:

$$S = \frac{\mu (2 G_E + G_W + G_R)}{f_{\max} \cdot DN} \quad (12)$$

Für eine Überdeckung $H = 0,5 \text{ m}$ bei einem Reibungsbeiwert $\mu = 0,25$ wird S für $DN 100$, $DN 300$ und $DN 600$:

DN	S
100	2,15
300	1,65
600	1,50

Diese Sicherheit schließt nicht ein, daß a priori mit einer zu großen Kraft gerechnet wurde und daß die Bewegung eines Rohres in Richtung auf die Muffe mit den geringeren Muffenkräften impliziert, daß das folgende Rohr in entgegengesetzter Richtung wandert, so daß kurzfristig eine Abstützung beider Rohre im Mantelbereich gegeneinander eintritt. Damit verdoppeln sich in Gleichung 12 die Werte für G .

Diese Betrachtungen gelten auch, wenn sich innerhalb einer Rohrlänge der Reibungsbeiwert oder die Überdeckungshöhen ändern. Bei Dehnungen bzw. Kontraktionen des Rohres wird dann der Ruhepunkt etwas außerhalb der Rohrmitte liegen. An den Rohrenden treten somit unterschiedliche Dehnungen auf. Dieser Effekt ist jedoch in gleicher Weise bei Kontraktionen gegeben, so daß keine bleibenden Rohrverschiebungen entstehen können.

2.2 Schnelle Temperaturänderungen

Es wird hier der Fall betrachtet, daß merkliche Temperaturgradienten innerhalb einer Rohrlänge auftreten und dies in häufiger Folge. Es kann sich hierbei nur um rasche Abkühlvorgänge handeln, da das Aufheizen wesentlich langsamer erfolgt. Gehrke hat diesen Fall untersucht und kommt zu folgendem Ergebnis:

Die bleibende Verschiebung v je Abkühlungsvorgang errechnet sich zu

$$v = \Delta L^2 \cdot C \cdot \frac{\alpha}{2} \quad (13)$$

mit dem axialen Temperaturgradienten C , dem Ausdehnungskoeffizienten α und der Verschiebung ΔL des Rohrruhepunktes infolge unterschiedlicher Reibungsbeiwerte.

Mit der Gleitreibung μ_G und Haftreibung μ_H wird

$$\Delta L = L \cdot \left(\frac{\mu_H}{\mu_H + \mu_G} - 0,5 \right) \quad (14)$$

$$\Delta L = 0,6 \text{ m mit } L = 6 \text{ m; } \mu_G = 0,4; \mu_H = 0,6$$

Geht man davon aus, daß der Muffenspalt insgesamt Verschiebungen von 20 mm zuläßt, so kann man die zulässige Einzelverschiebung errechnen, wenn man z. B. 3 Abschaltungen pro Jahr über 50 Jahre annimmt.

$$V_{zul} = 0,133 \text{ mm}$$

Damit läßt sich der zulässige Temperaturgradient C errechnen; er beträgt 62 K/m. Unterstellt

man eine minimale Flußgeschwindigkeit von 0,3 m/sec, so wird die kritische Abkühlgeschwindigkeit 18,6 K/sec. Diese Abkühlgeschwindigkeit ist auch in Ausnahmesituationen nicht erreichbar.

3. Zusammenfassung

Die Untersuchungen an WKG-Rohren laufen nunmehr über 10 Jahre. Neben der eigenen Forschungsabteilung haben namhafte Verbraucher und Forschungsinstitute daran mitgearbeitet, ein neues Rohr für die Fernwärme zu schaffen. Mit diesem Rohr werden dem Fernwärmeleitungs-bau durch die einfache Kompensation der Wärmedehnung und die problemlose und rasche Verlegung neue Impulse gegeben. Allen Mitarbeitern sei an dieser Stelle gedankt.

Bildnachweis

Seite 4, Bild 1

Topographische Karte 1 : 50.000, Ausschnitt aus Blatt L 6920, herausgegeben vom Landesvermessungsamt Baden-Württemberg, Büchsenstraße 54, 7000 Stuttgart.

Vervielfältigung genehmigt unter AZ. 5.13/457. Thematisch ergänzt durch K. Benedix. (siehe auch Vermerk zu Bild 1 auf Seite 28)

Seite 5, Bild 2

Foto: Stadtarchiv Heilbronn

Seite 5, Bild 3

Luftbild-Nr. 4650 — Heilbronn —
Aufn.-Datum: 2. 9. 1927
Strähle KG, 7060 Schorndorf

Seite 16, Bild 3 und

Seite 19, Bild 1

Kartengrundlage: Ausschnitt aus der Topographischen Karte 1 : 50.000. Vervielfältigt mit Genehmigung des Landesvermessungsamtes Nordrhein-Westfalen vom 19. 2. 1987, Nr. 104/87

Seite 28, Bild 1

Kartengrundlage: Topographische Karte 1 : 50.000, Blatt L 6122, L 6124, L 6126, L 6324 und L 6326.

Wiedergabe mit Genehmigung des Bayer. Landesvermessungsamtes München, Nr. 1091/87.

Topographische Karte 1 : 50.000, Ausschnitt aus Blatt L 6322; genehmigt unter AZ. 5.13/457 (siehe Vermerk zu Bild 1 auf Seite 4)



GUSSROHR-TECHNIK

mit der man
rechnen
kann.

