

# Fernwärme für die Ulmer Universität

Von Dieter Danks, Ulm, Manfred Seybold, Stuttgart und Gerhard Eisenhauer, Leimen \*)

Die Verfasser berichten über die Einbindung der Wissenschaftsstadt (Universität, Kliniken, High Tech) von Ulm in die Fernwärmeversorgung der Fernwärme Ulm GmbH (FUG) als Ersatz für die bisherige Eigenversorgung der Universität. Dazu ist der Bau einer 70-MW-Auskoppelstation, der Übergabestation und einer 5 km langen Verbindungsleitung notwendig. Besondere Brisanz erfordert die Bemessung der Transportleitung durch die Forderung einer Auslegungstemperatur von 190 °C.

## Summary of the report:

### District Heat for Ulm University

The present self-supply of the University of Ulm with heat has arrived at a capacity shortage. The following alternatives were investigated as solutions:

- New construction of a state-owned gas/HEL boiler.
- District heat supply from the EVS heating power plant.
- Gas turbine solution through the Stadtwerke Ulm/Neu-Ulm.

The decision was made in favour of a future district heat supply. The basis for the decision was the foundation of a common daughter limited company, the Fernwärme Ulm GmbH (FUG), with a 50 % share under the control of EVS and the Stadtwerke Ulm/Neu-Ulm.

The planning and construction of the following plant installations was necessary:

- A - Output station at the FUG heating power plant,
- B - DN 400 transport line to the University,
- C - Weinberge-Wanne transfer station,
- D - Transfer station in the university heating centre.

The output station must be dimensioned for 86 MW, 70 MW of which are to be transported towards the University and 16 MW towards the Weststadt industrial estate.

The special aspect of the 5 km DN 400 transport line to the University is the design temperature of 19 °C. This arises from the requirements of the University which were fixed at this level in the past.

The comparisons carried out in a pre-investigation indicated that the steel-jacket pipe method was the installation method most suited to the temperature requirements.

In view of the relatively high operating pressure and the planner's intention to lay the line mainly without compensators and with thermal pre-heating, the material St. 52.0 was selected for the medium pipe of the transport line.

The transport line is to be equipped with a stationary vacuum system with appropriate leak warning devices.

### 1 Die FUG wird aktiv

In der Stadt Ulm wurde im Jahr 1950 mit dem Ausbau der Fernwärmeversorgung begonnen. In den darauffolgenden vier Jahrzehnten entwickelte sich der Wärmemarkt so, daß er zu

40 % aus Fernwärme,

27 % aus Gas,

3 % aus Strom,

30 % mit Öl oder sonstigem,

also mit 70 % leitungsgebundener Energie abgedeckt wurde.

Im Jahr 1968 wurde die Universität gegründet. Damals entschied man sich für eine Eigenversorgung auf der Basis Gas/Öl.

\*) Dipl.-Ing. D. Danks ist Leiter des FUG-Heizkraftwerkes Ulm, Dr.-Ing. M. Seybold ist Projektleiter bei der Energieversorgung Schwaben, Stuttgart, Dipl.-Ing. G. Eisenhauer ist Geschäftsführer der GEF Ingenieurgesellschaft für Energietechnik und Fernwärme mbH, Leimen.

Aufgrund eines kontinuierlichen Ausbaus der Wissenschaftsstadt (Universität, Kliniken, High Tech) ist die landeseigene Wärmeversorgung in Kapazitätsengpässe gekommen. Zu Behebung wurden folgende Alternativen untersucht:

- Zubau eines landeseigenen Gas-/HEL-Kessels,
- Fernwärmeversorgung vom EVS-Heizkraftwerk, Einsteinstraße,
- Gasturbinenlösung durch Stadtwerke Ulm/Neu-Ulm.

Im Jahr 1993 trat die Stadt Ulm dem Klimabündnis mit der Verpflichtung der entsprechenden CO<sub>2</sub>-Minderung bis zum Jahr 2005 bzw. 2010 bei. Zwangsläufig sind damit erhebliche Anstrengungen zur massiven Energieeinsparung mit einem bedeutenden Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung verbunden. In der geführten Diskussion ging nach einer ökologischen und ökonomischen Bewertung die Fernwärmeversorgung als Sieger hervor. Voraussetzung war allerdings, daß zur künftigen Fernwärmeversorgung eine gemeinsame Tochtergesellschaft aus den Stadtwerken Ulm/Neu-Ulm und der EVS, mit jeweils 50 % Gesellschafteranteilen, entstand. So wurde zum 1. Juli 1995 die Fernwärme Ulm GmbH (FUG) gegründet, in der die Energie-Versorgung Schwaben AG ihre gesamten Betriebsanlagen und das bestehende Fernwärmenetz einbrachte. Mit dem Beschluß zur Gründung der FUG wurde gleichzeitig das Projekt der Fernwärmeversorgung der Ulmer Universität aus dem FUG-Heizkraftwerk Einsteinstraße angegangen. Die Universität setzt ihr Heizwerk künftig nur noch zur Spitzenabdeckung und für Reservefälle ein.

Neben der Versorgung der Universität wird gleichzeitig noch die Wärme in das Wohngebiet Söflinger Weinberge/Wanne, das bisher mit einer mobilen Heizzentrale versorgt wurde, eingespeist, sowie für die Versorgung weiterer Gebiete vorgehalten.

Die Auskopplung aus dem FUG-Heizkraftwerk wurde so gestaltet, daß der Neustrukturierung der Ulmer Weststadt mit einer zusätzlichen Erschließung durch ein Warmwassernetz Rechnung getragen werden kann.

Zielsetzung ist, diese Gesamtversorgung im Herbst 1996 in Betrieb zu nehmen.

## 2 Wärmeauskopplung und -übergabe

Die zur Wärmeauskopplung notwendige Anlagenausrüstung kann im vorhandenen HKW nicht untergebracht werden. Deshalb ist ein eigenes Gebäude zur Aufstellung und Installation der Auskopplungsanlage auf dem Gelände der FUG zu erstellen. Für die notwendigen Verbin-



Figure 1. Transport line route

Bild 1. Transportleitungstrasse

ungsleitungen (Mittel- und Niederdruckdampf, Kondensatleitungen, Kühlwasserleitungen usw.) zwischen Kesselhaus und Auskopplungsanlage wird ein Verbindungskanal gebaut.

Aus Bild 1 ist die lagemäßige Zuordnung von Erzeugerstelle und Abnehmern zu erkennen:

- A - Auskopplungsstation am HKW der FUG 480 m üNN
- B - Transportleitung DN 400 zur Universität
- B1 - Parallelverlegung einer KMR-Leitung DN 250/150 bis Punkt B1
- C - Übergabestation Weinberge-Wanne 600 m üNN
- C1 - Anfang des vorhandenen Versorgungskanals
- D - Übergabestation in der Heizzentrale der Uni 620 m üNN

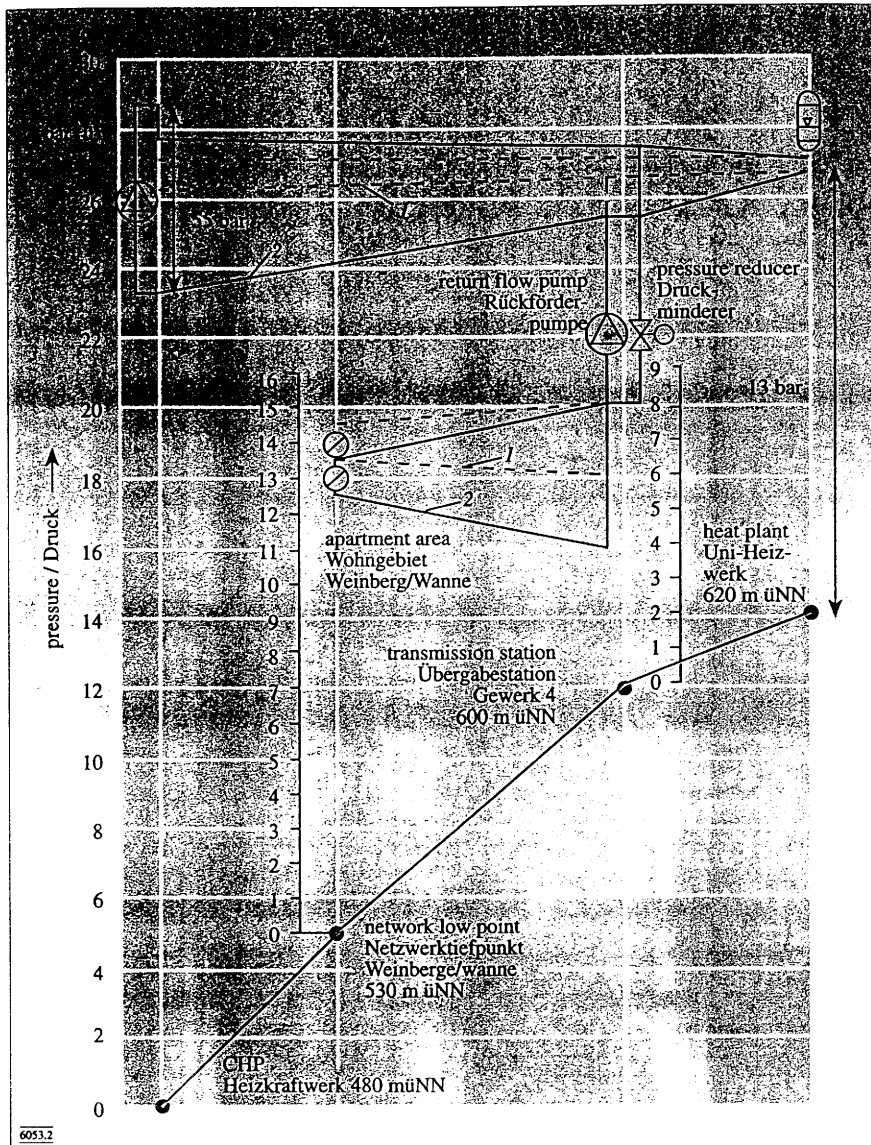


Figure 2. Pressure diagram

1 summer load  
2 winter load

Bild 2. Druckschaubild

1 Sommerlast  
2 Winterlast

### A Auskoppelstation am HKW der FUG

Für die Auslegung der Auskoppelstation sind folgende Leistungsdaten anzusetzen:

- Wärmeleistung in Richtung Universität 70 MW
- ergibt sich aus Grundlast für die Universität 35 MW

Vorlauf 180 °C konstant,  
Rücklauf 90 °C bis 125 °C  
Höchstlast für sonstige Abnehmer 35 MW  
Vorlauf 110 °C/70 °C gleitend,  
Rücklauf 50 °C  
• Wärmeleistung für Gewerbe (Weststadt), Endausbau 16 MW  
Vorlauf 110 °C/70 °C gleitend,  
Rücklauf 50 °C  
Ausbau I. Bauabschnitt 8 MW

Das hohe Temperaturniveau im Bereich der Universitätsversorgung wurde in die ursprüngliche Entscheidung über die Eigenversorgung mit eingebunden. Ausgangspunkt waren entsprechende Untersuchungen auf der Basis wesentlich niedrigerer Energiekosten als heute. Be-

stimmend waren einzelne Verbraucher (z.B. sekundärseitige Dampferzeuger) im Universitätsbereich. Nach dieser Festlegung wurde die Auslegung und der Ausbau unter Ansatz der hohen Temperatur vorgenommen.

Im Zusammenhang mit der jetzt beabsichtigten Fernwärmeversorgung aus dem FUG-HKW wurde untersucht, ob dieses hohe Temperaturniveau technisch absenkbar ist und mit welchem Aufwand eine solche Absenkung verbunden wäre. Im Ergebnis zeigte sich, daß der technische Aufwand erheblich ist und die auftretenden Kosten nicht vertretbar sind.

Es stellt sich daher künftig die Aufgabe, bei jeder sich bietenden Gelegenheit (z.B. Um- und Ersatzbauten, Nachrüstungen, Erweiterungen usw.) auf niedrigeres Temperaturniveau hinzuwirken. Als erste Maßnahmen wird daher die Versorgung der Wohngebiete weitgehend aus dem Rücklauf der Universität stattfinden.

Zur Bestimmung der Wärmeübertrager und Umwälzpumpen in der Auskoppelstation wurden vom Planer der GEF Ingenieurgesellschaft für Energietechnik und Fernwärme mbH umfangreiche Untersuchungen und Vergleiche sowie eine hydraulische Netzberechnung mit dem EDV-Programm sisHyd durchgeführt. Nachstehend sind einige Ergebnisse der Überlegungen aufgeführt:

- Versorgungsbereich Universität
  - 2 Geradrohr-Heizkondensatorstraßen je 26 MW bestehend aus Vorwärmer, Nachwärmer und Kondensatkühler
  - 1 weitere Wärmeübertragerstraße 26 MW
- wird hinsichtlich des Raumbedarfes und der Verrohrung eingeplant, aber erst später aufgestellt
- 2 Umwälzpumpen je 100 % 475 t/h - 65 m Fls
- jeweils mit Asynchron-Motor und Frequenzumrichter
- Versorgungsbereich Gewerbe (Weststadt)
  - 2 Geradrohr-Heizkondensatoren je 4 MW
  - 2 weitere Kondensatoren gleicher Größe je 4 MW
  - für entsprechende Vorhaltung von Raumbedarf

2 Umwälzpumpen je 50 %

60 t/h - 50 m Fls  
Antrieb und Frequenzrichter wie oben.

Das Druckschaubild (Bild 2) gibt einen Eindruck von den Höhen- und Druckverhältnissen.

Die Druckhaltung findet über Ausdehnungsbehälter statt, die am höchsten Punkt der Anlage, im Heizwerk der Universität, aufgestellt werden. Die Druckhöhe wird durch Sattdampfdruck bei 180 °C gewährleistet.

Die durch Temperaturveränderung hervorgerufenen Volumenschwankungen in der Transportleitung zur Universität werden im Netzspeicher, der in der Auskopelstation beim HKW aufgestellt wird, ausgeglichen.

Bild 3 zeigt das Einbringen des Netzspeicherbehälters neben dem Kondensatbehälter.

### B Transportleitung DN 400 zur Universität

Über die Transportleitung wird in Abschnitt 3 ausführlich berichtet.

### C Übergabestation Weinberge-Wanne

Das Wohngebiet Söflinger Weinberge-Wanne ist bereits mit einem Fernwärmenetz ausgestattet in das bislang provisorisch von einer mobilen Heizzentrale aus Wärme eingespeist wurde.

Künftig wird die Wärmeversorgung des Wohngebietes über die zur Universität führende Transportleitung vorgenommen. Da die Rücklaufftemperatur der Transportleitung mit 90 °C bis 125 °C (Winter-/Sommerbetrieb) relativ hoch ist, soll die Wärmeversorgung für das Wohngebiet (maximal 110 °C) zu einem großen Teil aus dem Transportleitungsrücklauf stattfinden.

Entsprechend der Vorlauftemperaturfahrkurve für das Wohngebiet muß im Sommer bei hohen Rücklaufftemperaturen in der Transportleitung kälteres Wasser aus der Rücklaufleitung des Wohngebietes und im Winter bei niedrigeren Rücklaufftemperaturen in der Transportleitung heißes Vorlaufwasser beige-mischt werden.

Die gesamte Übergabestation, einschließlich Rückförder- und Beimischpumpen sowie Druckhaltegefäß für das Sekundärnetz, wurde in einem unterirdischen Bauwerk von 7 m x 9 m und 3,20 m Höhe untergebracht.

### D Übergabestation in der Heizzentrale der Universität

Nach DIN 4747 Teil 1 bildet die Übergabestation mit der Hauszentrale die Hausstation.

Für die Unterbringung dieser Anlagenteile hat die Universität die Räumlichkeiten zur Verfügung gestellt.

Die Wärmeübertragung von der Primärseite (180 °C/90 °C) zur Sekundärseite (175 °C/85 °C) geschieht über zwei Hochleistungs-Röhrenwärmeübertrager von je 17,5 MW.

Durch die geringe Temperaturdifferenz zwischen Primär- und Sekundärseite sind Wärmeübertrager mit großer Heizfläche notwendig. Zur Wärmemengenmessung werden zwei Wärmemengenmesser nach dem Ultraschall-Prinzip installiert.

### 3 Anforderungen und Lösungen für den Transport

Auslegungsdaten Universitätsversorgung:

rd. 4 000 m erdverlegte Transportleitung  
2 x DN 400

rd. 1 000 m Transportleitung im Versorgungskanal  
2 x DN 300

maximale Auslegungstemperatur 190 °C

maximaler Betriebsüberdruck 30 bar

Höhenunterschied HKW zu Heizzentrale Universität 140 m

Vorstehende Dimensionen und Betriebsdaten sind das Ergebnis einer Optimierungsrechnung. Dabei wurden zur Wahl des wirtschaftlich optimalen Durchmessers die entstehenden Kapital- und Betriebskosten unter mehreren Nennweiten- und Verlegeverfahrenskombinationen für die Transportleitung ermittelt und daraus die Gesamtkosten gebildet.

Zur Bestimmung des Rohrdurchmessers wurde unter Anwendung des EDV-Programmes sisHyd der jeweilige Höchstlastfall zugrunde gelegt. Davon abgewichen wurde bei der Festlegung der Förderhöhe der Umwälzpumpen. Hierzu ist der für die Notversorgung der Universität definierte höhere Durchsatz herangezogen worden. Zur Bestimmung des Massenstroms ist für die entlang der Transportleitung zugeordneten Abnehmer eine

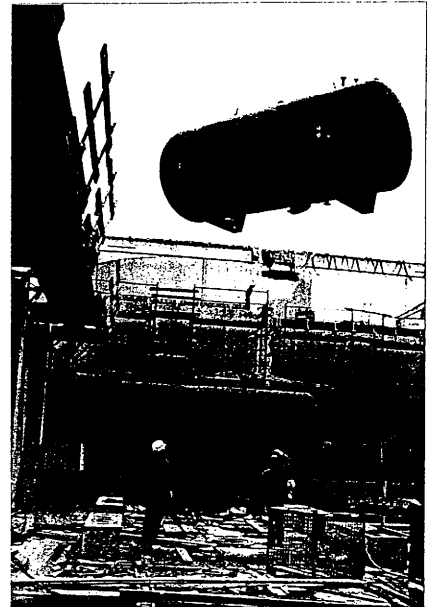


Figure 3. Inclusion of the net storage container

Bild 3. Einbringen des Netzspeicherbehälters

Teilversorgung aus dem Rücklauf angesetzt worden.

Neben den Druckverlusten wurden auch die Wärmeverluste ermittelt. Dabei wurde für den erdverlegten Leitungsteil ein unter Vakuum stehendes Stahlmantelrohrsystem zugrunde gelegt.

#### 3.1 Transportweg

Zwei Fixpunkte, das HKW der FUG und die Heizzentrale der Universität, waren Ausgangspunkte für die Trassenwahl. Hinzu kam die geforderte Einbindung des Wohngebietes Söflinger Weinberge-Wanne und der zur Verfügung stehende, der Universität gehörende Versorgungskanal vom Punkt C1 bis zur Heizzentrale der Universität.

Eines stand von vornherein fest, eine Freileitungsverlegung kam wegen des Durchfahrens von Wohnbebauung und anderen sensiblen Geländebereichen nicht infrage.

Es wurden, unter Auswertung vorhandener Lagepläne und der Pläne über Ver- und Entsorgungsleitungen, verschiedene Trassenvarianten untersucht. Untermuert wurden diese Untersuchungen durch Ortsbegehungen und Klärung der Genehmigungsfähigkeit sowie durch angestellte Kostenvergleiche. Nach Abwägen aller Vor- und Nachteile entschied man sich für die in Bild 1 wiedergegebene Transportleitungstrasse. Dieser Trassenverlauf hat den Vorteil, daß er jetzige und künftige Verbrauchsschwerpunkte anfährt und im letzten Drittel des erdverlegten Trassenabschnittes bis zum vorhandenen Ver-

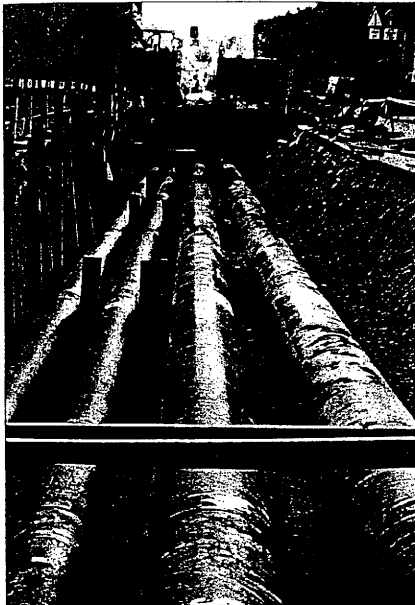


Figure 4. Parallel installation of the steel jacket pipe/pre-insulated bonded pipe

Bild 4. Parallelverlegung Stahlmantel-/Kunststoff-Mantelrohr

sorgungskanal im unbefestigten Gelände verlegt werden kann. Trotzdem war nicht zu vermeiden, daß die Trasse einige schwierige Passagen enthält. Zum einen ist die Blau zu queren, wobei dies nur innerhalb der Brückenkonstruktion möglich ist. Dazu müssen die in den Brückenwiderlagern vorhandenen Öffnungen DN 400 genutzt werden. Dies bedeutet, daß der Durchmesser der Fernwärmeleitungen an dieser Stelle auf DN 350 reduziert werden muß. Zur Wärmedämmung werden hierbei hochwertige Dämmschalen Microtherm von 25 mm Dämmdicke eingesetzt. Zum anderen muß die Bundesbahnstrecke beim Bahnhof Ulm-Söflin-

gen gequert werden. Im Einvernehmen mit der FUG und der Deutschen Bahn AG entschied man sich, die Querung mit einem begehbaren Stahlbetonrohr im »Hydraulischen Horizontal-Preßverfahren« vorzunehmen.

Zu bemerken ist, daß vom HKW bis zum Punkt B1 auf rd. 800 m eine Parallelverlegung von Stahlmantelrohr DN 400 mit Kunststoff-Mantelrohr DN 250/150 zur Weststadtversorgung stattfindet.

Bild 4 zeigt die Parallelverlegung des Stahlmantelrohres DN 400 mit dem Kunststoff-Mantelrohr DN 250 in einem Teilbereich.

Die zur Verwirklichung vorgesehene Trasse wurde sämtlichen vom Fernwärmeleitungsbau tangierten Behörden in einer gemeinsamen Sitzung vorgestellt. So konnten frühzeitig Wünsche und Forderungen während der Planung berücksichtigt und der Ämterumlauf vereinfacht werden.

### 3.2 Angewandte Technik

Wie eingangs dieses Abschnittes erwähnt, ist die Auslegungstemperatur für die Transportleitung zur Universität mit 190 °C, bei einer maximalen Betriebstemperatur von 180 °C, festgelegt worden. Dies hatte zur Folge, daß das Kunststoff-Mantelrohrsystem als erdverlegtes Verlegeverfahren nur zur Weststadtversorgung, jedoch nicht für die Transportleitung zur Universität, eingesetzt werden konnte. Da Freileitungen auf der gesamten Strecke nicht zu verwirklichen waren, kamen nur das Betonkanal- oder das Stahlmantelrohr-Verfahren in Betracht.

In einer der Planung vorgeschalteten Untersuchung wurden Technik und Kosten der beiden Verlegeverfahren für die in Angriff zu nehmende Baumaßnahme verglichen. Unter Berücksichtigung der sich ergebenden Grabenmaße, die von besonderer Bedeutung bei den teilweise engen Platzverhältnissen und zu erwartenden Felsformationen sind, den zeitlichen Abläufen auf der Baustelle und den anzusetzenden Kosten, fiel die Entscheidung zugunsten des Stahlmantelrohres.

#### 3.2.1 Stahlmantelrohr-Bemessung

Entscheidend bei der Bemessung der Rohrwanddicke ist der anzusetzende Auslegungsdruck und der gewählte Werkstoff.

Die unter praktikablen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten für den Fernwärmeleitungsbau infrage kommenden Rohrwerkstoffe sind

- St. 37.0 mit  $R_{p0,2} = 235 \text{ N/mm}^2$
- St. 52.0 mit  $R_{p0,2} = 355 \text{ N/mm}^2$

Der sich aus dem Gesamtsystem ergebende relativ hohe Betriebsdruck beeinflusst entscheidend die Rohrwanddickenbemessung. So ergibt sich die erforderliche Rohrwanddicke für die Nennweite DN 400 bei ausschließlicher Auslegung nach DIN 2413 (Stahlrohre nach Innendruck) zu

- St. 37.0 mit  $s = 8,0 \text{ mm}$
- St. 52.0 mit  $s = 6,3 \text{ mm}$

wobei die Normalwanddicke bei geschweißten Stahlrohren 6,3 mm beträgt.

Bei der Festlegung der Rohr- und Bodenwanddicken sind fertigungstechnische Toleranzen zu beachten. Darüberhinaus sind weitere Einflüsse aus dem Rohrleitungssystem, die auf die Rohrwand einwirken, wie z.B. aus Druckstößen, zu erwarten. Deshalb sollte die gewählte Wanddicke mit ausreichender Differenz zur rechnerischen Mindestwanddicke liegen.

Darüberhinaus kann durch lokale Spannungsspitzen, wie sie z.B. an Knicken auftreten, eine Erhöhung der Rohrwanddicke erforderlich werden.

Zur Entscheidung, welchem Rohrwerkstoff der Vorzug gegeben werden soll, kann der Vergleich des Preises für die Rohre und für die Schweißnahtherstellung als Folge der unterschiedlichen Rohrwanddicken dienen.

Der derzeit gehandelte Preisunterschied bei St. 37.0 zu St. 52.0 liegt zwischen 4 % bis 8 % zugunsten des St. 37.0.

Der angestellte Vergleich ergab bereits bei der ausschließlichen Betrachtung der Rohrpreise einen deutlichen Preisvorteil von rd. 15 % für den Werkstoff St. 52.0. Dies wurde noch unterstrichen durch weitere Kostenvorteile bei der Schweißnahtherstellung.

Unter dem Eindruck dieser Ergebnisse, aber auch durch die Anforderungen, die sich aus dem statischen Nachweis der beabsichtigten kompensationslosen Verlegung ergeben, fiel die Entscheidung zugunsten des Rohrwerkstoffes St. 52.0 für das Mediumrohr.

Lieferung und Einsatz des Rohrwerkstoffes St. 52.0 ist problemlos. Eine etwas längere Dispositionszeit ist zu berücksichtigen. Die Baustellenschweißungen können ohne über das normale Maß hinausgehende Vorkehrungen von geprüften und geübten Schweißern durchgeführt werden. Vorteilhaft ist die Anwendung der Fallnahtschweißung.

Da das Mantelrohr mit geringerem Druck und Temperatur beaufschlagt wird, ist hierfür der Rohrwerkstoff St. 37.0 vorgesehen.

Unter Einbeziehung der in Abschnitt 3.2.4 »Dämmdickenoptimierung« beschriebenen Ergebnisse wurden die Stahlmantelrohrbaueinheiten wie folgt bemessen:

- Mediumrohr DN 400 (406,4 mm x 6,3 mm) nach DIN 2458 geschweißt, Werkstoff St. 52.0, Lieferbedingungen DIN 1626, Werkstoffprüfung EN 10204/3.1B, Berechnungsspannung 100 %.
- Wärmedämmung aus druckfesten Dämmschalen mit Edelstahlbändern befestigt.
- Mantelrohr DN 700 (711 mm x 7,1 mm) aus St. 37.0, Lieferbedingungen wie vor, Werkzeugnis 2.2 nach EN 10204, Berechnungsspannung 90 %.
- Außenkorrosionsschutz am Mantelrohr mit Polyethylen-Umhüllung nach DIN 30670, Ausführung V.

### 3.2.2 Statik

Die Trasse weist längere, allerdings nicht schnurgerade Abschnitte zwischen Eckpunkten (L- oder Z-Versprünge) auf.

Das Konzept des Planers der GEF Ingenieurgesellschaft für Energietechnik und Fernwärme mbH sah vor, die sich aus dem Trassenverlauf ergebenden Abwicklungen zur natürlichen Dehnungsaufnahme zu nutzen und sonst zwischen den Eckpunkten kompensationslos zu verlegen.

Die Festpunkte wurden dabei so angeordnet, daß die maximal sich ergebende Dehnung in Ringraum der Baueinheiten (Innenrohr und Wärmedämmung zu Mantelrohr) aufgenommen werden kann. Für die längeren, zwischen den Festpunkten liegenden Trassenabschnitte ist die Vorwärmung des Mediumrohres auf 100 °C vorgesehen. Dies führt zu annähernd gleichen Spannungszuständen im Montagezustand »kalt« und bei Maximaltemperatur mit genügender Sicherheit zu den bei Sekundärspannungen ansetzbaren

zulässigen Spannungswerten. Die durchgeführten Berechnungen weisen aus, daß der Ansatz der thermischen Vorwärmung ebenfalls den Einsatz des Werkstoffes St. 52.0 für das Mediumrohr notwendig macht.

Ein besonderes Kapitel sind die Auswirkungen von, aus dem Trassenverlauf sich ergebenden Knicken und die Beachtung der Mantelrohrbewegungen im Erdreich, die besonders an den Stellen an denen Medium- und Mantelrohre durch Festpunkte miteinander verbunden sind und an den Schacht- und Gebäudeeinführungen berücksichtigt werden müssen.

Die gesamten Stahlmantelrohr-Abschnitte wurden deshalb zur Ermittlung der Spannungen und Dehnungen mit dem Berechnungsprogramm »Rohr 2« sowie zur Bestimmung der Knickausführung und -belastung mit einem speziellen Programm durchgerechnet.

### 3.2.3 Evakuierung

Es ist heute Stand der Technik, beim Stahlmantelrohr den Ringraum zwischen Medium- und Mantelrohr zu evakuieren.

Die Vorteile dieser Maßnahme machen sich bemerkbar in

- der Entfernung der Baufeuchte aus dem Ringraum und der Wärmedämmung,
- der Reduzierung von Wärmeverlusten durch Verbesserung des Wärmedämmungseffektes um 20 % bis 25 %,
- der gleichzeitigen Funktion als Dichtheitsprüfung und Lecküberwachungssystem.

Um diesen Zustand zu erreichen, wird zunächst unmittelbar nach der Verlegung der Leitungen der Ringraum mit mobilen Vakuumpumpen auf rd. 1 bis 3 mbar trocken evakuiert. Vorteilhaft ist es, das erstmalige Evakuieren bei gleichzeitigem Warmfahren der Leitungen vorzunehmen, da bei nachträglichem Warmfahren mit Nachverdampfung und Freiwerden der Feuchte gerechnet werden muß.

Üblicherweise wird die Abnahme und Übergabe einer Stahlmantelrohrleitung erst nach durchgeführter und durch Druckanstiegsmessung belegter Evakuierung stattfinden.

Das bei der Trocknung erzeugte Vakuum wird durch Porendiffusion nach rd. 12 bis 15 Monaten unwirksam.

Es stellt sich daher die Frage, ob das Vakuum

- durch eine mobile Vakuumanlage im Zeitraum von beispielsweise einem Jahr nachgezogen oder
- durch eine stationäre Vakuumanlage, abhängig von einem einstellbaren Schaltbereich, ständig und überwacht erzeugt werden soll.

Im allgemeinen kann man davon ausgehen, daß bei Trassenlängen > 800 m stationäre Vakuumanlagen vorteilhafter sind. Für die vorliegende Stahlmantelrohrleitung DN 400/700 mit einer Trassenlänge von rd. 4 000 m wurden die zu erwartenden Wärmeverlustkosten bei Betrieb einer stationären mit denen einer mobilen Vakuumanlage verglichen. Danach ist die Investition für eine stationäre Vakuumanlage nach zwei Jahren ausgeglichen. Die Betriebs- und Wartungskosten wurden dabei in etwa vergleichbar mit den Kosten für das Nachevakuieren mit einer mobilen Vakuumanlage angesetzt. Aus den genannten Gründen entschied man sich für den Einbau einer stationären Vakuumanlage.

### 3.2.4 Dämmdickenoptimierung

Zur Bestimmung der Dicke des in die Baueinheiten einzubauenden Dämmmaterials wurden verschiedene Berechnungen durchgeführt.

Einerseits wurde die wirtschaftlichste Dämmdicke unter Ansatz eines Permanentvakuums von 3 mbar ermittelt. Andererseits wurde mit der so gefundenen Dämmdicke untersucht, welche höchste Temperatur sich außen am Mantelrohr einstellt, wenn die Betriebstemperatur im Rücklauf 180 °C beträgt und gleichzeitig das Vakuum verfällt.

Auf diese Weise ergaben sich folgende Dämmdicken

- $s = 100$  mm für den Vorlauf,
- $s = 80$  mm für den Rücklauf.

Der Rechenwert, für die sich im vorgenannten Extremfall am Außenmantel des Mantelrohres einstellende Temperatur, betrug 35 °C und ist somit unkritisch für das Umhüllungsmaterial.

### 3.2.5 Kathodischer Korrosionsschutz

Im Gegensatz zu anderen Rohrleitungen, die besonderen Sicherheitsauflagen unterliegen (z.B. Gasleitungen), ist der kathodische Korrosionsschutz für Fernwärme-Stahlmantelrohrleitungen nicht vorgeschrieben. Trotzdem ist für jeden Fall, besonders bei längeren Leitungsabschnitten zu untersuchen, ob der Einbau eines kathodischen Korrosionsschutzes zweckmäßig bzw. wirtschaftlich ist.

Dazu sind von einem Spezialunternehmen Messungen des Bodenpotentials und anderer möglicher Einwirkungen entlang der Trasse durchzuführen. Das Ergebnis dieser Untersuchungen dient als Entscheidungsgrundlage für oder gegen die Anwendung des kathodischen Korrosionsschutzes.

Im vorliegenden Fall wurde die Installation eines kathodischen Korrosionsschutzes befürwortet. Größe und Umfang der Anlage wurden ebenso wie die erforderlichen Isolierstücke abhängig von den Meßergebnissen bestimmt.

### 3.2.6 Vorgehen im Störfall

Die zur Erzeugung eines ständigen Vakuums installierte Vakuumpumpe schreibt ein Protokoll. Aus diesem ist zu erkennen, ob in der Transportleitung ein Leck ist. Sofern das Vakuum abfällt, ergeht ab einem eingestellten Wert eine Störmeldung.

Damit ist zwar eine Störung bzw. ein Leck angezeigt, jedoch nicht klar in welchem Abschnitt bzw. ob am Innen- oder Außenrohr die Fehlerquelle ist. Um eine Ortung der Schadstelle am Mediumrohr zu vereinfachen, wurden unten in die Wärmedämmung Leckwarndrähte eingezogen und in den Vakuumabschottungen in einschweißbaren Kabeldurchführungen durchgezogen.

Zur Fehlersuche am Mantelrohr kann über die Vakuumanschlußleitungen Gas in den Ringraum eingebracht werden und die defekte Stelle mit einem Gasspürgerät von außen geortet werden.

Die Vakuumabschottungen an den Mantelrohreführungen der Schächte und Gebäude erhalten je Vakuumabschnitt und Leitung, außer dem Stutzen für die Vakuumverbindungsleitung, einen Stutzen mit Kugelhan für den Anschluß einer mobilen Vakuumpumpenanlage. Seitlich hat dieser Stutzen einen Abgang mit Kugelhan auf den nach Bedarf eine Meßröhre aufgesetzt werden kann.

Sofern eine Störmeldung an der stationären Vakuumstation in Verbindung mit der Protokollschreibung einen Hinweis auf einen Schadensfall gibt, wird sowohl die Vorlauftemperatur heruntergefahren, als auch das Vakuum gezielt gebrochen.

Diese Maßnahme bewirkt, daß an einer eventuellen Schadstelle Feuchtigkeit konzentriert in die Wärmedämmung eindringt und nicht verdampft. Mit Handortungsgeräten wird dann in den einzelnen Überwachungsabschnitten die Ortung der Schadstelle vorgenommen.

Sofern bei der Einortung keine Schadstelle angezeigt wird, z.B. bei einem Schaden am Mantelrohr, werden die einzelnen Vakuumabschnitte entsprechend der geplanten Möglichkeit abgesperrt, eine mobile Vakuumanlage sowie eine Meßröhre an den angegebenen Stutzen angeschlossen und durch Evakuieren der Abschnitt ermittelt, in dem sich die Schadstelle befindet.

### 3.2.7 Entleermethode

Als Strangabsperungen wurden nach verschiedenen Vergleichen Kugelhähne vorgesehen. Diese wurden in Abständen von rd. 1 000 m angeordnet und in Schachtbauwerken untergebracht. Die längste Entleerstrecke beträgt 1 450 m.

Für eine eventuell notwendige Entleerung eines Leitungsabschnittes sind in den Schachtbauwerken Vorkehrungen getroffen, um das zwischenzeitlich allgemein bekannte Umpumpen vom defekten in den intakten Abschnitt vornehmen zu können. Für das entsprechende Auffangvolumen im Ausgleichsbehälter ist gesorgt.

### 3.3 Qualitätssicherung

Zur Durchführung der Baumaßnahme wurden klare Qualitätsanforderungen erhoben.

Bauherr und Planer waren sich darüber einig, daß ein Faktor für kostengünstiges Bauen eine hohe Verfügbarkeit und sichere Betriebsführung bei langer ungestörter Lebensdauer ist. Die notwendigen

Voraussetzungen für durchgängige praxisorientierte Prüfungen sind mit der Planung und den Vorgaben im Leistungsverzeichnis gelegt worden. Die Prüfungs- und Dokumentationsanforderungen wurden so gestaltet, daß sowohl systematische Fehler (z.B. Rohr- und Werkstoffchargen) als auch Einzelfall-Mängel (z.B. Rundnahtfehler) genau zugeordnet werden konnten.

Unter Beteiligung des Bauherrn wurden

- Prüfungen im Herstellerwerk und
- Prüfungen auf der Baustelle durchgeführt.

Kontrolliert wurden

- die Arbeitsvoraussetzungen und angewandten Prüfungen im Herstellerwerk,
- die auf der Baustelle eingegangenen Materialien und deren Zuordnung,
- Transport, Abladung und Lagerung,
- der Rohrgraben,
- Schweißvorgang und Prüfung der Schweißnähte,
- thermisches und mechanisches Vorspannen der Rohrleitungen,
- Druckprüfungen,
- SMR- und KMR-Nachisolierung, Dehnpolstereinbau und Schleifenmessung beim Lecküberwachungssystem.

Die gesamten Prüfungen und Kontrollen wurden, für den Bauherrn nachvollziehbar, protokolliert.

(6053)