

# Fernwärmeverbund in Karlsruhe Technik und Kosten

Von Bernd Hüvel, Karlsruhe, und  
Gerhard Eisenhauer, Leimen \*)

Die Fernwärmeerzeugung in Karlsruhe hat ökologisch und ökonomisch eine weitere Steigerung erfahren. Schweröl- und kohlebefeuerte Altanlagen ohne Entschwefelung und Entstickung wurden durch freie Kapazitäten eines mit modernster Umwelttechnik ausgerüsteten kohlebefeierten Großkraftwerkes ersetzt. Zur Einbindung dieses Kraftwerkes in das bestehende 130 km lange Fernwärmenetz wurde dazu in nur eineinhalbjähriger Bauzeit eine 2 x DN 800-Leitung mit einer Länge von 4 km gebaut. Die Verfasser beschreiben im Detail die schwierige, ästhetische und dennoch kostengünstige Lösung.

## Summary of the report:

### District Heat Combine in Karlsruhe – Technology and Costs

The district heat and power generation for the City of Karlsruhe has been enhanced ecologically as well as economically. Heavy-oil and coal-fired boilers without desulphurization and denitrification were replaced by a large coal-fired power plant equipped with environmental protection high-technique. To connect this power plant with the existing district heat network a 2 x DN 800-pipeline with a length of 4 kilometers was constructed only in one and a half year. Very difficult alignments were managed by a pretention technique: submarining of a power station area as well as a river and a busy traffic crossing by a ferro-concrete press pipe with a diameter of 3,000 millimeters and a length of 300 meters without ground water pumping; direct laying of a steel jacket pipeline pre-stressed mechanically, as well as a good-looking overhead pipeline

with a length of 2,700 meters of fine grain structural steel and therefore with long distance bearings together with handy placed expansion joints. The report describes the difficult and esthetical but low cost solution in detail.

### 1 Das Karlsruher Fernwärme-Erzeugungskonzept der achtziger Jahre

Die 270 000 Einwohner der Stadt Karlsruhe werden von ihren Stadtwerken mit Trinkwasser, Erdgas, Strom und Fernwärme versorgt. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung des 1. Örtlichen Versorgungskonzeptes im Jahre 1985 wurde die Fernwärme in den stadtwerkeeigenen Kraftwerken bereits zu 95 % in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt und nur 5 % als Frischwärme in Heizwerken bereitgestellt. Der Wärmeanschlußwert – das ist die Summe der Wärmeübertragungsleistungen aller installierten Wärmeübergabestationen bei den Heizwasser- und Dampfkunden – betrug 400 MW, die Wärmeerzeugungsleistung 430 MW und die tatsächlich aufgetretene Wärmehöchstlast 220 MW. Zur Erzeugung der Fernwärme wurden zu 80 % heimische Steinkohle und zu 20 % leichtes und schweres Heizöl sowie Erdgas und Deponiegas eingesetzt. Mit dieser Erzeugungsstruktur und einer prognostizierten Steigerung des Anschlußwertes auf 440 MW war bis zum Jahr 1993 die Fernwärmeversorgung gesichert.

### 2 Das Karlsruher Fernwärme-Erzeugungskonzept bis ins nächste Jahrhundert durch Verbund mit einem Großkraftwerk und modernisiertem Anlagenpark

Die Verordnung für Großfeuerungsanlagen mit ihrem Schlußtermin für die Nachrüstung von Altanlagen mit Rauchgasreinigungen bis spätestens 1988 und der endgültigen Stilllegung von erstgenutzten Anlagen bis spätestens zum Frühjahr 1993 initiierten Mitte der achtziger Jahre Überlegungen zur Neustrukturierung der Fernwärme-Bereitstellung.

Als Erzeugungsanlagen standen den Stadtwerken Ende der achtziger Jahre nach der Stilllegung von zwei Heizwerken ausschließlich zwei Heizkraftwerke, das HKW West und das HKW Waldstadt, mit einer maximalen Abgabeleistung von 360 bzw. 35 MW zur Verfügung. Das kleine HKW Waldstadt mit drei erdgasbefeierten Kesseln und einer 6-MW-Gegendruckturbine erfüllte die Anforderungen der TA-Luft, d. h. ein vorerst unbegrenzter Weiterbetrieb über das Jahr 1994 hinaus war gegeben. Im HKW West genügte nur der 1988 mit einer ammoniakalischen Naßwäsche als REA und einer selektiven katalytischen Entstickung nachgerüsteten Kohleblock 3 mit 108 MW Fernwärme- und 42 MW elektrischer Leistung den Anforderungen der Großfeuerungsanlagenverordnung. Für den 1965 errichteten Kohleblock 2 mit 88 MW thermischen und 32 MW elektrischer Leistung sowie für zwei S-Öl-befeuerte Kesselheiten aus den fünfziger Jahren mit zusammen 140 MW Leistung wurde Restnutzung erklärt und damit der Weiterbetrieb bis 1993 ermöglicht. Die Leistung dieser Einheiten war bis spätestens zur Heizperiode 1993/94 zu ersetzen.

Intensive Studien unter Berücksichtigung technischer, wirtschaftlicher und ökologischer Gesichtspunkte führten zu folgendem Ergebnis:

Eine Kooperation der Stadtwerke auf dem Fernwärmeerzeugungssektor mit dem überregionalen Versorgungsunternehmen Badenwerk, mit dem bereits ein langfristiger Stromverbund existiert und das im Rheinhafengebiet Karlsruhe einen kohlebefeierten, mit Rauchgasreinigung ausgerüsteten 55-MW-Kohleblock betreibt (RDK 7), ist die optimalste Lösung, denn

- bei dem 1984 in Betrieb gegangenen Block RDK 7 wurde bereits eine Wärmeauskopplung mit 150 MW Leistung aus dem Turbosatz vorgesehen;
- die netzhydraulischen Voraussetzungen für weitere Netzeinspeisung vom HKW West sind am günstigsten, da zum einen die Transportkapazität mit 4 500

\*) Dr.-Ing. B. Hüvel ist Hauptabteilungsleiter der Stadtwerke Karlsruhe, Dipl.-Ing. G. Eisenhauer ist Geschäftsführer der GEF Ingenieurgesellschaft für Energietechnik und Fernwärme, Leimen.

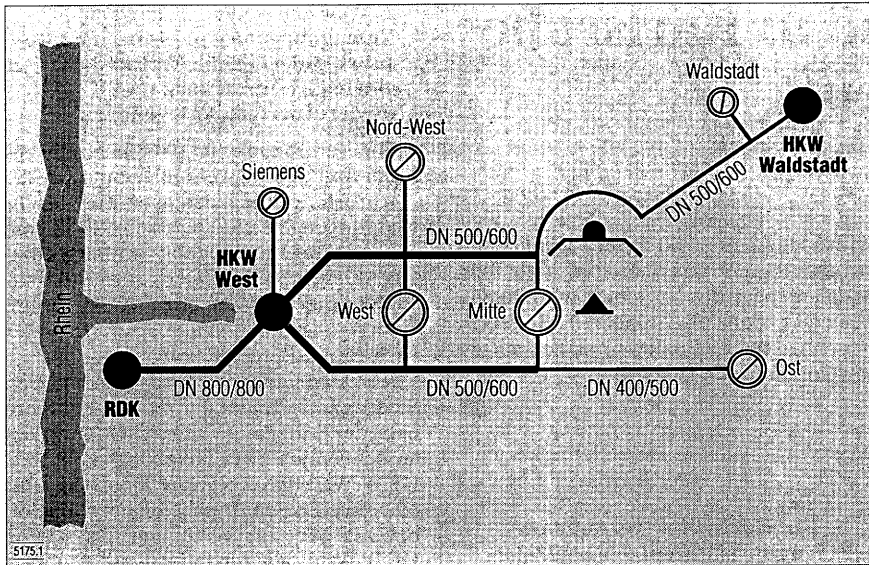


Bild 1. Fernwärmenetz der Stadt Karlsruhe mit Verbund zum Rheinhafendampfkraftwerk (RDK) der Badenwerk AG (graue Linie)

Figure 1. District heat pipeline network of the city of Karlsruhe connected with the Rhine-harbour steam power plant (RDK) operated by the Badenwerk AG (gray line)

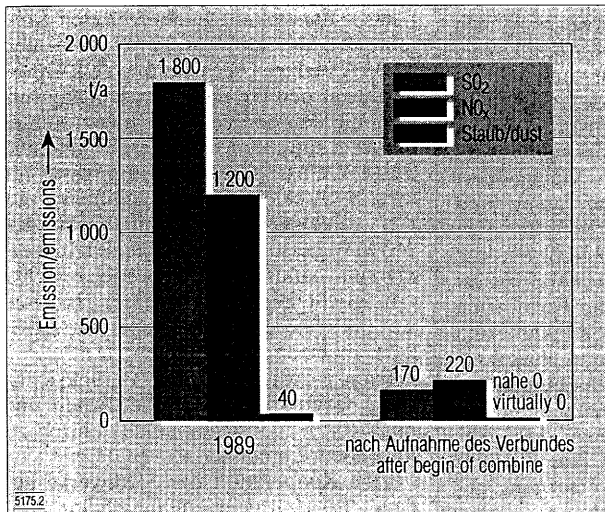


Bild 2. Emissionsminderung für das Heizkraftwerk West der Stadtwerke Karlsruhe nach der Neustrukturierung des Kraftwerks und der Aufnahme des Fernwärmeverbundes

Figure 2. Emission reduction for the power and heat station HKW West of the City Works Karlsruhe after the upgrading of the power plant and the startup of the district heat joint venture

m<sup>3</sup>/h Umwälzmenge vom Einspeisepunkt HKW West in die bestehenden Hauptleitungen am größten ist und zum anderen die kürzeste Verbindung zwischen dem RDK 7 und dem bestehenden Fernwärmenetz sich durch die Einbindung ins HKW West mit rd. 4 km Länge ergibt (Bild 1);

• als Reserve sowohl für Block 3 als auch RDK 7 und als Spitzenlasteinheit kann kostengünstig der Kohleblock 2 im HKW West unter Beibehaltung wesentlicher Teile des Dampferzeugers und des Turbosatzes auf emissionsarme Erdgasfeuerung umgerüstet werden;

<sup>1)</sup> Die DIN 2401 zur Bestimmung von Nenndruckstufen und zulässigen Betriebsüberdrücken ist aus formalen Gründen zurückgezogen worden. Dies bedeutet, daß die bisherige Methode der Nenndruckfestlegung nicht klarer geworden ist. Da die Auslegung (Wanddickenmessung) der Rohre unabhängig von der DIN 2401 nach den vorliegenden Betriebsverhältnissen vorgenommen wird, sind im vorliegenden Fall die Materialien für die Rohrleitungszubehöerteile so gewählt, daß sie dem geforderten Auslegungsdruck bei Betriebstemperatur standhalten.

• mit der Neustrukturierung ergeben sich für das HKW West wesentliche Emissionsminderungen (Bild 2).

Dieser Verbund sichert die Fernwärmeversorgung bis weit in das nächste Jahrzehnt, wie Bild 3 zeigt.

Mit der »trägen« Kohleschmelzfeuerung des Blocks 3 (K3 + T3) im HKW West wird die Grundlast abgedeckt, der zur Mittellastabdeckung im Strombereich konzipierte Badenwerksblock deckt auch die Fernwärmemittellast und als Spitzen- und Reserveeinheit dient der erdgasbefeuerte, rasch einsetzbare Block 2 (K6/2 + T1). Zur Aufrechterhaltung der zugesicherten Heizwasservorlauftemperaturen in der Winterspitze in den am weitesten vom Haupteinspeisepunkt entfernten östlichen Netzteilen der Stadt und in Sommerschwachlastzeiten wird das HKW Waldstadt eingesetzt. Lastspitzen in späterer Zukunft werden von den Hilfsdampfperzeugern (HID) sowohl des HKW West als auch des Badenwerks abgedeckt.

Das Schaltschema des Verbundes gibt Bild 4 wieder. Welche ingenieurmäßige und gestalterische Arbeit mit der Erstellung der gepunkteten Abschnitte verbunden sind, wird in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

### 3 Anforderungen an den Wärmetransport zwischen Großkraftwerk und Einspeisung ins vorhandene Fernwärmenetz

#### Technische Daten

|  |          |
|--|----------|
| Nennweite der Transportleitung maximal zu transportierende Menge | DN 800   |
| Auslegungsüberdruck  | 23 bar   |
| Nenndruck <sup>1)</sup>  | PN 25    |
| maximale Betriebstemperatur                                      | 133 °C   |
| Berechnungstemperatur für Vor- und Rücklauf                      | 140 °C   |
| Rücklauf zur Speicherung vorsehen!                               |          |
| Berechnungs-Ausdehnungskoeffizient                               | 1,6 mm/m |

stiger Preis zwei Wege zu dem selben Ziel sind, eine optimale Lösung mit langer Lebensdauer und für den Verbraucher akzeptablen Preisen zu erreichen, ist nicht neu. Ein niedriger Preis auf Kosten der Qualität und der Lebensdauer erreicht ebenso wenig das Ziel, wie eine überladene Qualitätsausstattung mit nicht vertretbarem Preis.

Mit dieser Vorgabe wurden, ausgehend von den Standorten des RDK 7 und des HKW West, zugeschnitten auf die jeweilige Situation und Anforderung, optimale Lösungen anvisiert.

Bild 5 zeigt im Vordergrund das HKW West und im Hintergrund das RDK 7.

### Druckerhöhungsstation

Zur Überwindung der Rohrreibungsverluste beim Transport der großen Heißwassermengen vom HKW West zur Wärmeübertragerstation im RDK und zurück zum HKW West bzw. zur Einspeisung in das Innenstadtnetz muß der nötige Förderdruck vorgegeben werden. Eine hydraulische Netzberechnung hat gezeigt, daß bei 4 500 m<sup>3</sup>/h Umwälzmenge im Knotenpunkt HKW West der Rücklaufdruck nur noch 0,2 bar Überdruck beträgt und deshalb der zusätzliche Druckverlust bis zum RDK 7 bereits im HKW West durch eine zusätzliche Druckanhebung abgedeckt werden muß.

Die dazu notwendigen Umwälzpumpen wurden so ausgelegt, daß auch der Förderdruck zur Einspeisung in das Innenstadtnetz mit enthalten ist. Auf diese Weise wird der Bau einer zusätzlichen Druckerhöhungsstation überflüssig.

Durch ohnehin notwendig gewordene Baumaßnahmen innerhalb des Geländes des HKW West konnte für die Druckerhöhungsstation ein Raum in einem neuen Gebäude zur Verfügung gestellt werden.

In unmittelbarer Nähe dieses Gebäudes stehen die vorhandenen Ausdehnungsbehälter, die durch neue Ausdehnungsbehälter mit größeren Abmaßen zu ersetzen und in die Anlage einzubinden waren.

### Transportleitung

Immer noch gilt, daß Freileitungen auf Betonsockel verlegt die niedrigsten Investitionskosten im Fernwärmeleitungsbau verursachen. Deshalb ist auch im vorliegenden Fall versucht worden, große Abschnitte der Gesamttrasse auf diese Weise zu verwirklichen. Voraussetzung für solche Überlegungen war, daß die Leitung größtenteils durch Gewerbegebiet und entlang eines Industriegleises geführt wird.

Bei der heutigen Sensibilität der Bevölkerung für umweltbewusstes Verhalten muß eine solche Freileitung nicht nur dem neuesten technischen Standard entsprechen, sondern auch ästhetischen Gesichtspunkten standhalten.

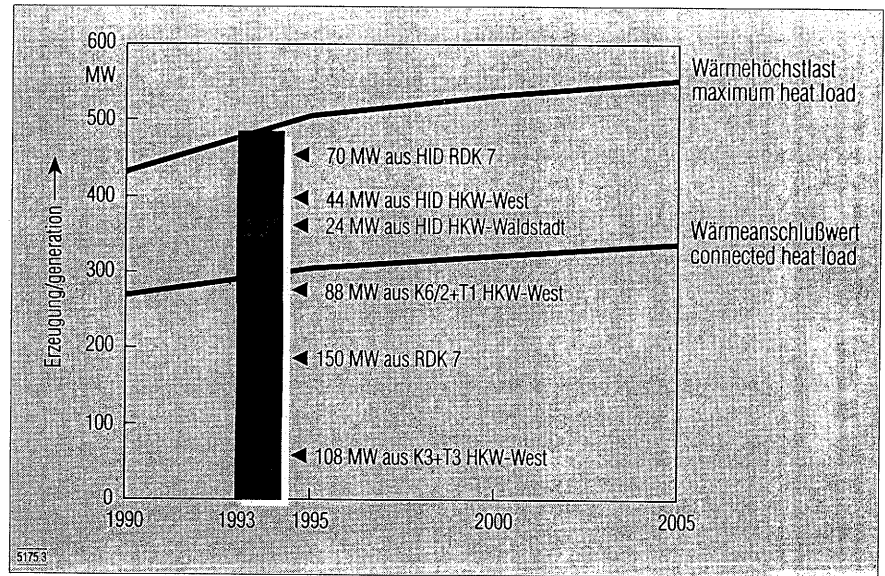


Bild 3. Einsatzkonzept der Fernwärmeerzeugungsanlagen nach 1993

Figure 3. Operation conception of the district heat generation after the year 1993

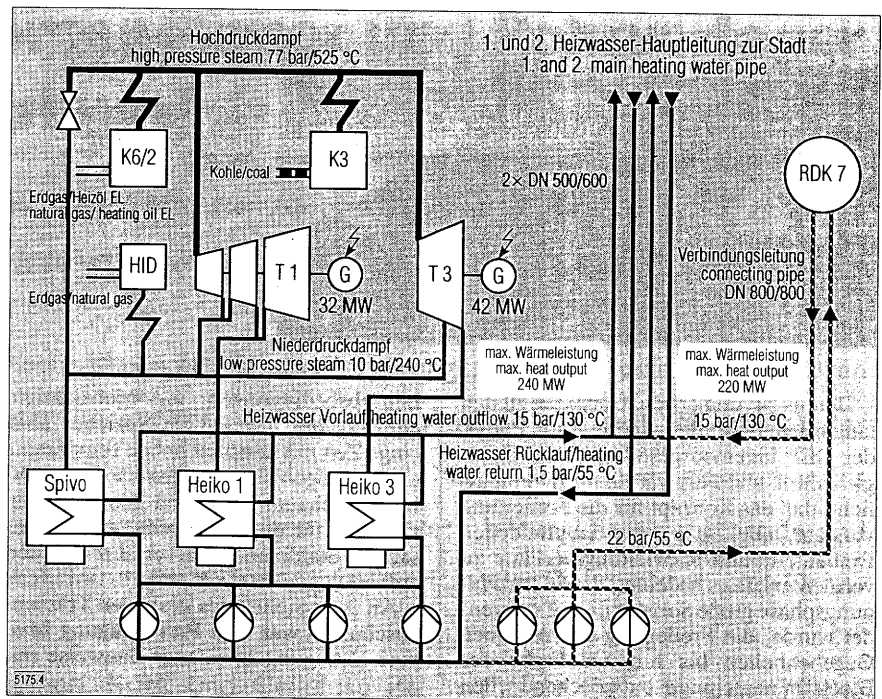


Bild 4. Schaltschema des Heizkraftwerks West mit der Einbindung der Wärmeinspeisung aus dem RDK 7 der Badenwerk AG

Figure 4. Flow sheet of the power and heat station HKW West with the heat network input of the RDK 7

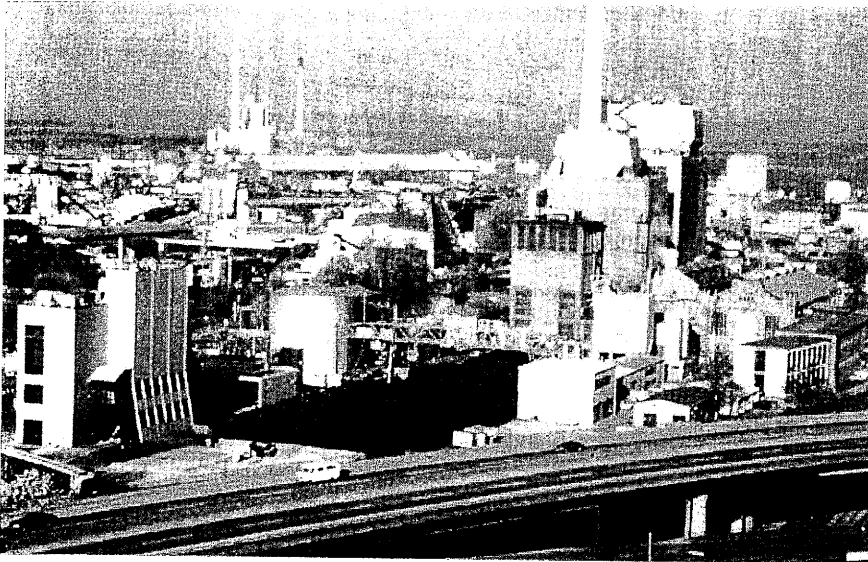


Bild 5. Im Vordergrund HKW West, im Hintergrund RDK 7

Figure 5. In front the heat and power station HKW West and in die background the large power station RDK 7

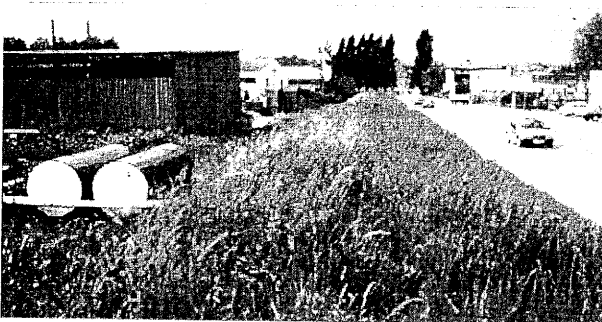


Bild 6. Modell der Freileitung DN 800

Figure 6. A pattern of the overhead pipeline DN 800

Bereits bei den ersten Kontakten zu den tangierten Behörden wurde vom Planer der GEF Ingenieurgesellschaft für Energietechnik und Fernwärme mbH verdeutlicht, daß das Konzept für die Freileitung vorsieht, alle als störend empfundenen Einbauteile und Rohrleitungsverläufe zu vermeiden. Dies bedeutet, daß in der Planungsphase große Sorgfalt darauf verwendet wurde, die Freileitung den örtlichen Gegebenheiten bis hin zur Farbe der Blechummantelung entsprechend den Wünschen des städtischen Planungsamtes anzupassen.

Um den Entscheidungsträgern der Stadtverwaltung einen realen Eindruck der Leitung zu vermitteln, wurden außerdem an verschiedenen Stellen Modelle der Freileitung im Maßstab 1:1 aufgestellt. Bild 4 zeigt ein solches Modell und Bild 5 die fertig verlegte Freileitung.

Unter dem Aspekt kostengünstiger Lösungen hätte für die nicht als Freileitung ausführbaren Abschnitte die naheliegende Alternative das Kunststoff-Mantelrohrsystem sein müssen. Die zu erwartenden

Betriebsbedingungen, die beabsichtigte Nutzung der Leitung als Speicher über lange Zeit mit konstant hoher Temperatur und die ungelösten Probleme mit FCKW-freiem Schaum bei hohen Temperaturen sprachen für die Entscheidung zum Einsatz des Stahlmantelrohrverfahrens in den erdverlegten Abschnitten.

An zwei Stellen des gesamten Trassenabschnittes war eine Freiverlegung bzw. eine Verlegung in offener Bauweise mit

Stahlmantelrohr nicht möglich. Der erste rd. 120 m lange Abschnitt liegt im Werksgelände des HKW West, der zweite etwa 180 m lange Abschnitt unterquert einen Fluß und eine stark befahrende Ausfallstraße. In beiden Fällen einigte man sich auf die Anwendung eines »Hydraulischen Horizontal-Preßverfahrens« mit einem für beide Mediumrohre gemeinsam begehbaren Stahlbetonrohr DN 3000.

#### 4 Angewandte Technik

Als Ergebnis der in Kapitel 3 beschriebenen Trassenverlegungslösungen und der nachstehend beschriebenen technischen Optimierungen ergeben sich folgende Abschnitte:

|                               |         |
|-------------------------------|---------|
| Gesamtrasse 2 x DN 800        | 4 000 m |
| davon:                        |         |
| Freileitung 813 mm x 10 mm    |         |
| in St. 52.0                   | 2 700 m |
| Stahlmantelrohr               | 1 000 m |
| • Mediumrohr 813 mm x 10 mm   |         |
| in St. 52.0                   |         |
| • Mantelrohr 1 016 mm x 10 mm |         |
| in St. 37.0                   |         |
| Vortriebsrohr DN 3000         |         |
| Stahlbetonrohr                | 300 m   |
| • Mediumrohr 813 mm x 10 mm   |         |
| in St. 52.0                   |         |

##### 4.1 Werkstoff – Rohrwandstärke – Stützabstände

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 im vorliegenden Fall relativ hohe Betriebsdruck nimmt entscheidenden Einfluß auf die Rohrwandstärkenbemessung. So ist die erforderliche Rohrwandstärke bei der Bemessung nach DIN 2413 bei

- St. 37.0  $s = 10 \text{ mm}$
- St. 52.0  $s = 8,8 \text{ mm}$

Darüber hinaus ergeben sich aus großen Stützabständen bei Rohrleitungen großen Durchmessers zusätzliche Anforderungen an die Rohrwand, die bei Leitungen kleinen und mittleren Durchmessers in diesem Maße nicht auftreten.

Mit einem von GEF-Leimen erstellten Rechenprogramm zur Stützweitenbestimmung großer Leitungen, wurden eine Reihe von Optimierungsrechnungen unter Berücksichtigung aller maßgebenden Faktoren durchgeführt.

Tafel 1 enthält eine Zusammenfassung aller wesentlichen Berechnungsergebnisse mit einem Kostenvergleich für die Freileitungsabschnitte unter Bewertung der Rohr-, Lager- und Fundamentkosten. Das

