



Forskning och
Utveckling

FOU 2001:50

SVENSK SAMMANFATTNING AV AGFWs SLUTRAPPORT "NEUARTIGE WÄRMEVERTEILUNG"

Heimo Zinko, ZW Energitechnik AB

SVENSK SAMMANFATTNING AV AGFWs SLUTRAPPORT "NEUARTIGE WÄRMEVERTEILUNG"

Heimo Zinko, ZW Energitechnik AB

I rapportserien publicerar projektledaren resultaten från sitt projekt. Publiceringen innebär inte att Svenska Fjärrvärmeföreningens Service AB tagit ställning till slutsatserna och resultaten.

Kommentarer av översättaren till rapporten

AGFW-projektet

Med detta menas hela det rubricerade forskningsprogrammet som startades 1988 och slutfördes med sammanfattningsrapporten [Ref 1] 1998. De projekt och projektstrukturer som inkluderades i programmet är redovisade i avsnitt 1. Vissa enstaka moment av framförallt testkaraktär pågår dock fortfarande.

Innehållsförteckningen

Innehållsförteckningen och kapitelindelningen i originalrapporten är med tysk grundlighet nedbruten till maximalt sju-siffriga undernivåer. Jag har valt att för översiktlighetens skull nöja mig med fyra nivåer.

Referenser

Denna rapport redovisar huvudresultaten från projektets sammanfattande slutrapport [Ref 1]. De tekniska rapporterna från delprojekten finns i referensförteckningen i bilaga 1.

Kommentarer till kostnadsnivån

Ett av projektmålen – som också infriades – var att sänka kostnaderna för fjärrvärmedistributionen i Tyskland. Man bör dock beakta att utgångsläget för distributionskostnaderna var mycket högre än i Skandinavien, vilket innebär att tekniken nu närmade sig den kostnadsnivå som är vanlig här.

Texturval

Eftersom den totalt producerade textmassan är minst sagt gigantisk så är denna sammanfattningsrapport i första hand baserad på den tyska sammanfattningsrapporten på 450 sidor. Urvalet och i viss mån bedömningen av utfallet är dock subjektiva även om jag har försökt belysa resultaten från hela programmet.

Figurerna och tabellerna följer i huvudsak beteckningen för motsvarande figur i sammanfattningsrapporten [1].

Ibland kan det till synes förekomma några motsägande resultat. Detta beror på att vissa resultat framtogs vid olika tidpunkter under den långa projektiden. Tex har uppfattningen om vad som är den optimala drifttemperaturen för fjärrvärme ändrat sig i samband med totaloptimeringen (från 90°C till ca 100°C). De viktigaste resultaten är sammanfattade i avsnitt 9.

Några förklaringar:

Vertikalförläggning: Fram- och returledning läggs ovanpå istället för bredvid varandra i relativt smala schakt.

Fixpunkt brygga (Festpunktbrücke): Ett konstruktionselement enligt Figur 3.42 som via ett tvärstag fixerar framledningen mot den mindre termiskt belastade returledningen för att minska rörglidningen.

Returshunt: Det kallare returvattnet blandas i en shunt förbi värmekällan med det varma vattnet för att uppnå rätt framledningstemperatur.

Neuartige Wärmeverteilung – Moderna tekniker och konstruktionssätt för fjärrvärmedistribution med hjälp av användning av statiska belastningsgränser, nya material och förbättrad montage teknik

På uppdrag av tyska regeringen - Förbundsministeriet för utbildning, forskning och teknologi (BMBF)

representerad genom

Forschungszentrum Jülich GmbH

Projektbärare Biologi, Energi, Miljö (BEO)

Rapport: Forskningsavdelning AGFW
BMBF 0328789B
Medarbetare: D. Bartsch, M. Becker, J. Caspar, H.-J. Dausch,
M. Gietzelt, H.-J. Hoffmann, H. Jaeger, D. Magar,
F. Scherschmidt, V. Schröder-Wrede, H. Steinmetz,
D. Werner och H. P. Winkens

Projektleddning: H. Neuffer, F.-G. Witterhold
AGFW

Projektet som sammanfattas i denna rapport finansierades delvis genom anslag från Förbundsministeriet för utbildning, forskning och teknologi, Tyskland, projekt nr BMBF 0328789B. Ansvar för innehållet ligger hos de respektive projektansvariga och författarna.

Svensk sammanfattning av AGFWs slutrapport "Neuartige Wärmeverteilung"
kompilerad av

Heimo Zinko, ZW Energietechnik AB
på uppdrag av Svenska Fjärrvärmeföreningen

Sammanfattning

Denna rapport utgör en sammanfattande redovisning av det tyska AGFW-projektet "Neuartige Wärmeverteilung (Moderna tekniker och konstruktionssätt för fjärrvärmedistribution)" baserad på den tyska sammanfattningsrapporten [Ref 1] på ca 450 sidor. Vidare publicerades inom projektet ca 150 (!) arbetsrapporter vars referenslista på tyska bifogas till denna rapport (Bilaga 1).

Projektets övergripande mål var att genom ett - för Tyskland - nytt tänkande beträffande kravspecifikationer och ledningsdesign sänka kostnaderna för fjärrvärmedistribution med minst 25 %. Utgångsläget för projektet var statusläget 1988 i Tyskland med en beräknings-temperatur på 130°C och upp till 1,6 MPa tryck. Det bör dock nämnas att det tyska kostnads-läget då motsvarade ca 50 - 100 % högre kostnader för fjärrvärmedistribution jämfört med Sverige.

För att åstadkomma denna kostnadssänkning lades ett brett projekt upp som under en tid av totalt ca 10 år gick igenom hela systemtekniken för fjärrvärmedistribution för att

- analysera kostnadsstrukturen
- utveckla nya läggningstekniker för huvudledning och serviser
- utveckla nya komponenter
- utveckla ny fjärrvärmeccentralteknik
- kombinera de mest kostnadseffektiva metoderna för att åstadkomma ett optimalt distributionssystem

Enligt rapporten har projektet lyckats och en väsentlig kostnadssänkning har rapporterats från demonstrationstillämpningar. Det går dock inte att utläsa om de nya teknikerna har anammats av energiföretagen. Bl a har följande tekniker eller komponenter behandlats inom projektet:

- Vertikalförläggning av rör i smala schakt
- Fixering med stabiliserad sand och återfyllnadsmaterial
- Nya, låga avgreningstekniker
- Flexibla rör i metall och plast för enkel servisanslutning
- Förbättrad anbörningsteknik för koppling av serviser till huvudledningen under drift
- Kallförläggning utan kompensation till 90 °C, med snål kompensation upp till 110 °C i dygnstaktbyggnation
- Fixpunktbygga och mekanisk förspänning som kompensationstekniker
- Förenklad fjärrvärmeccentralteknik med direktkopplade värmesystem och genomströmningsberedare
- Nya beräkningskoncept för belastningsgränser i rörkomponenter
- Systemanalyser för totaloptimering av fjärrvärmedistributionen

- Systemutformningen anpassad till exploateringstyp, helst vid så låga temperaturer som möjligt
- Introduktion av en ny nättyp för lågtryckssystem (beräkningstryck 6 bar).

Vid en noggrannare läsning av sammanfattningsrapporten får man intrycket att det tyska arbetet är mycket systematiskt och grundligt genomfört. Det är ett arbete som satt hela den moderna fjärrvärmetekniken på en metodisk och teoretisk grund.

Det är dock svårt att se verkliga nyheter. Kallförläggning i dygnstakt och vertikalförläggning må ha fördelar i tätbebyggda områden, mekanisk förspänning av expansionskuddar och rör kan underlätta för dygnstaktbyggnation (typ pipeline-förläggning). Ökad användning av återfyllnadsmaterial är också intressant. Även FE-beräkningarna av rörelement förtjänar att beaktas eftersom de kan på sikt sätta nya designgränser för rörelementens belastning. I mångt och mycket mynnar de tyska projekten dock ut i samma teknik som är bruklig i Skandinavien sedan längre tid. Bidragande orsak till detta kan vara att projektet har pågått under många år och att vissa tekniker under tiden redan har spritt sig till den övriga fjärrvärmevärlden.

Sammanfattningsvis kan man säga att projektet har tillfört den skandinaviska praxis en god tysk teoretisk bas.

Summary

This report is a summary of the German AGFW project "Neuartige Wärmeverteilung (Modern techniques and design methods for heat distribution systems)" based on the German summary report [Ref 1] of about 450 pages. Further about 150 (!) working reports were published within the project, and the corresponding list of references is enclosed to this report.

The overall objective was to lower the heat distribution costs by at least 25% by means of a - for Germany - new thinking as regards standards and design. The starting point of the project was the status in Germany in 1988 with a supply temperature of 130 °C and up to a pressure of 1.6 MPa. Additionally, it should be mentioned that at that time the costs for district heating were 50-100 % higher in Germany than in Sweden.

In order to reach this reduction in costs a broad project was organised which during a period of about 10 years re-examined all the steps in the planning process for district heat distribution in order to

- analyse the structure of costs
- develop new techniques for main and service pipes
- develop new components
- develop new techniques for consumer stations
- combine the most cost effective methods in order to reach an optimal distribution system.

According to the report the project was successful and an essential reduction of costs has been reported from demonstration projects. However, it is not possible to see from the report if the techniques have been accepted by the German energy companies. The following techniques or components have a. o. been treated within the project:

- Vertical pipe installation (return pipe above supply pipe) in narrow trenches
- Bed fixation by stabilised sand and refilling material
- New low-height branching techniques
- Flexible pipe systems of metal and plastic for simple connection
- Improved drill-on technique for connections of services to mains during operation
- Cold pipe installation without compensation measures for operating temperatures up to 90 °C and with simple compensation methods up to 110 °C for one-day-construction sites
- Fixed-pipe-bridges and mechanical prestressing as compensation techniques
- Simplified technique for heat distribution with directly connected house heating systems and percolating hot water boilers
- New calculation methods for prestressed pipe components
- System analysis for total optimisation of heat distribution systems

- System design adjusted to type of housing development, preferably at temperatures as low as possible
- Introduction of a new class of network specification for low pressure systems

The careful reading of the German summary report gives the impression of a very systematic and solid piece of work. It puts all the modern heat distribution technology on a methodical and theoretical basis.

However, it is difficult to see real news. Cold pipe installation and vertical pipe installation might have advantages in densely developed areas, mechanical pre-stressing by means of expansion pillows and pipes might facilitate the pipe installation at one-day-construction sites (similar to pipe-line installation). Increased use of refilling material is also interesting. Also the FE-calculations of pipe elements deserve consideration as this method might in the long run result in new design limits for the applicable stress on pipes. In many ways the German project, however, ends up in similar technique as used in Scandinavia already for some time. A reason for this could be that the project lasted for many years and that some techniques meanwhile have reached the rest of the district-heating world.

By summing up we can state that the project has added a good German theoretical basis to the Scandinavian practice.

Innehållsförteckning

1	Målsättning för AGFW-projektet - ny distributionsteknik	10
2	Utgångsläge	12
3	Vidareutveckling av den konventionella tekniken för prefabricerade fjärrvärmerör (plastmantelrör).....	13
3.1	Förgreningar med låg bygghöjd	13
3.2	Kompensatorelement för förgrening mellan glidande rörledningar och plastmantelrörsviser	13
3.3	Nya återfyllnadsmaterial för kulvertgrav	14
3.4	CFC-fria skum.....	14
3.5	Friktionsfixering.....	15
3.6	Tryckprovning	15
3.7	Svetsmuffar.....	15
3.8	Förberedning av förgreningar för servisledningar som ska anslutas senare	16
4	Kallförläggning	19
4.1	Projektering och belastbarhetsberäkning	19
4.2	Nya komponenter för kallförläggning/kompensation	21
4.3	Okompenserad kallförläggning.....	25
4.4	Slutsatser angående okompenserad kallförläggning	27
5	Effektivare entreprenadformer för fjärrvärme	29
6	Kostnadseffektiva fjärrvärmecentraler	32
7	Värmemätning och kundfakturerering	35
8	Strategier för fortsatt utbyggnad av fjärrvärmenät.....	36
8.1	Ledningsteknik.....	36
8.2	Nya distributionskoncept.....	39
8.3	Kostnader för nyanslutna fjärrvärmeområden	42
8.4	Allmänna strategier för FV-exploatering av områden med låg värmetäthet	46
9	Rekommendationer för design av nya fjärrvärmenät.....	50
10	Referenser.....	52

Bilagor

Rapportförteckning

1 Målsättning för AGFW-projektet - ny distributionsteknik

Projektets övergripande mål var att genom ett - för Tyskland - nytt tänkande beträffande kravspecifikationer och ledningsdesign sänka kostnaderna för fjärrvärmedistribution med minst 25 %.

Utgångsläget för projektet är statusläget 1988 i Tyskland med beräkningstemperatur av 130°C och tryck 1,6 MPa. Ledningarna lades vanligtvis bredvid varandra på bekvämt avstånd, oftast relativt djupt och i schakt med väggstöd som låg öppna en längre tid under ledningsbyggnationen och med välförankrade kompensationslement. En jämförelse med skandinavisk teknik gav indikationen att lägre ledningskostnader borde kunna uppnås även i Tyskland om man reviderade de gällande projekteringsanvisningarna.

Utgående från dessa överläggningar genomfördes *AGFW-projektet - Ny distributionsteknik* som ett samarbetsprojekt mellan tyska fjärrvärmeföreningen (AGFW) och enskilda energiverk och forskningsorganisationer. Projektet var budgeterat till totalt 32 MDM (!) och finansierades till hälften av BMBF och till hälften av de deltagande FV-företagen resp. AGFW. Projektet startades 1988 och löpte under ca 10 år. För viktiga referenser och slutrapporter se avsnitt 10 och bilaga 1.

Projektet genomfördes inom åtta delprojekt A2 -A9 samt ett övergripande projekt A1 som dels hade till uppgift att koordinera delprojekten och dels att dra ekonomiska samt andra överordnade slutsatser. *Som grundidé valdes att undersöka under vilka förutsättningar det är tekniskt möjligt att genomföra kallförläggning av fjärrvärmerör, d v s ledningsinstallation utan termisk förspänning, och därigenom åstadkomma lägre markarbets- och ledningskostnader. I undersökningen ingick även plastmedierör, flexrör och gjutjärnsrör. Olika tekniker analyserades oftast först bl a med finit-element-beräkningar och verifierades därefter i fältförsök.*

De flesta delprojekten pågick parallellt med en viss tidskoordinering. Följande delprojekt genomfördes:

	Uppgift	Utförare
A1	Koordinering, kostnadsberäkning, optimering	AGFW
A2	Vertikalförläggning, låga servisanslutningar, anborrningsteknik, återfyllning av schaktmaterial, Fixpunktbygga, stabiliserad sand, tid- och kostnadsanalyser	Mannheimer Versorgungs- und Verkehrsgesellschaft, Mannheim
A3	Kopplingar och skarvar, Bingham-material, engångskompensatorer	Energieversorgung Oberhausen och Babcock Rohrleitungsbau, Oberhausen
A4	Svetsmuffar, täthets- och hållfasthetstest, skumbelastning, böjar med tvärbelastning, livslängdbedömningar	GEW Stad Köln
A5	Plastmedierörteknik	Fernwärmeförbund Saar, Völklingen

A6	Schaktningsfria installationer, flexibla ledningar, suggrävareteknik, gjutjärnsrör	Technische Werke Stuttgart
A7	Hållfasthetsegenskaper av isoleringskum, förspänning av rörledningar, expansionskuddar	Fernwärme Niederrhein, Dinslaken
A8	Markfriktion av FV-ledningar	FFI Hannover
A9	Schaktoptimering, övertäckningsbehov, fyllmaterial, okompenserad läggning	Stadtwerke Weimar

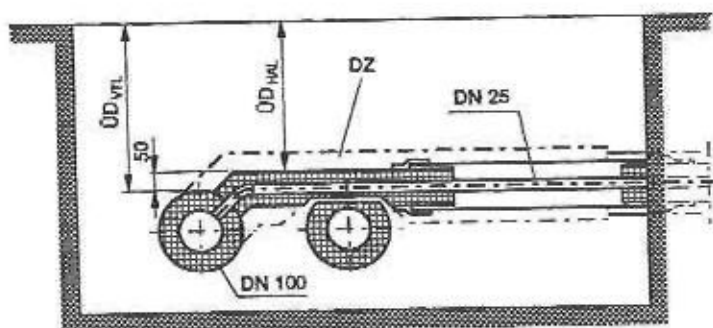
2 Utgångsläge

Utgångspunkt för den fortsatta utvecklingen inom AGFW-projektet var den konventionella tekniken för *prefabricerade fjärrvärmerör*, som dock i Tyskland skiljer sig något från den skandinaviska praktiken genom högre beräkningstemperatur och oftast större läggningsdjup. Kostnadsbilden för fjärrvärmeledningar ansågs också med rätta vara hög, vilket bromsade den fortsatta fjärrvärmeutbyggnaden. Man kände dock en viss osäkerhet över, på vilket sätt kostnadsbesparingar kunde uppnås med tekniken för prefabricerade fjärrvärmerör, även om man hade god kunskap om de skandinaviska praktiker, där man utnyttjade mantelrörens egenskaper på ett effektivare sätt. Den allmänna bedömningen inför projektet var - lite tillspetsat - att denna teknik, i motsats till den fram till 70-talet tillämpade betongkanaltekniken med mineralullisolerade glidande rörledningar, ej var baserad på ingenjörskunskap utan i bästa fall på empirisk erfarenhet, men med stor säkerhetsmarginal för att "ligga på den säkra sidan". Ett ingenjörstekniskt utlodande av belastningsgränserna skulle således kunna resultera i väsentlig reduktion av säkerhetsfaktorerna och på sin höjd öppna vägen till att kallförlägga FV-ledningarna med väsentlig kostnadsreduktion till följd. Med tysk grundlighet tog man således itu med en mängd parallella problemställningar som alla skulle påverka kostnadsbilden. Som resultat framkom en hel del nya komponenter och tekniker för installation av fjärrvärmeledningar.

3 Vidareutveckling av den konventionella tekniken för prefabricerade fjärrvärmerör (plastmantelrör)

3.1 Förgreningar med låg bygghöjd

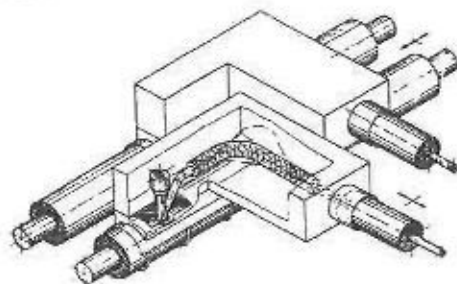
Ett sätt att minska schaktdjup var att uppnå förgreningar med så låg bygghöjd som möjligt. Figur 3.1 visar konstruktionen av en *T-gren med endast 50 mm högre röröverkant i serviserna jmf med stamledningen*. Detta åstadkoms genom att ge den korsande T-ledningen en mindre isoleringstjocklek vid korsning med det ena stamröret. Den andra ledningen avgränsas dessutom rakt horisontellt. Förgreningen kan dock endast monteras på tomma ledningar, dvs. vid nybyggnation eller vid ledningstömning. Därför utvecklades även en ny *anbörnings-T-gren* vars anslutning visserligen bygger något högre men väl lägre än förr var fallet. Servisledningens underkant korsar 5 cm över stamledningen och borrhylsan behöver inget extrautrymme (se Figur 3.20, sid. 14).



Figur 3.1 Avgrening med låg bygghöjd.

3.2 Kompensatorelement för förgrening mellan glidande rörledningar och plastmantelrörsserviser

Eftersom det i Tyskland förekommer en stor del äldre system baserade på glidtekniken, är det viktigt att kunna ansluta även fixerade plastmantelrörledningar till dessa. För detta ändamål utvecklades ett *L-gren-element med en flexibel stålbälgskoppling* isolerad med en L-överdel av PUR-skum och en anslutningsunderdel passande till stamledningens asbestcementmantel (och glidunderlag för flexbälgen) i rostfritt (Figur 3.5). Systemet är i fältförsök nu sedan 1993.



Figur 3.5 Inkoppling av ej kompenserade serviser medelst flexbälg.

3.3 Nya återfyllnadsmaterial för kulvertgrav

Försöken med olika typer av fyllmaterial anses i rapporten inte vara avslutade utan fortfarande i fältutvärdering. Följande typer av återfyllning undersöktes:

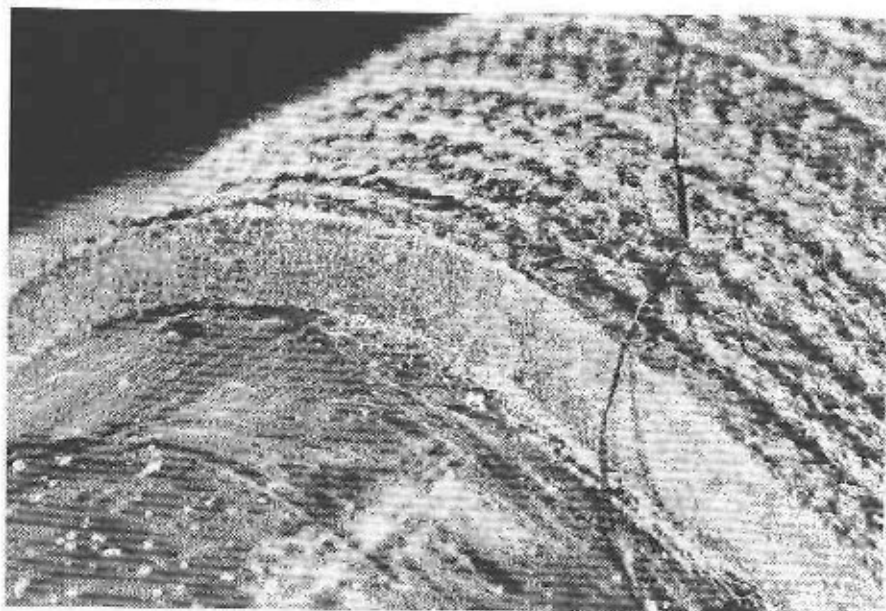
- stabiliserad sand
- recyklingsmaterial bestående av sand och grus
- återfyllning med schaktnmaterial.

Tekniken med *stabiliserad sand* använder som grundmaterial sandbaserad recyklingsmaterial som behandlats med plastifierande och härdande tillsatser. Fyllmaterialet kan belastas redan sex timmar efter återfyllnaden men kan å andra sidan fortfarande bearbetas med en spade efter flera veckor och är fortfarande bearbetningsbar efter en längre tid, t ex i samband med utgrävningar för reparationer eller nyanslutningar. Tekniken som har sitt ursprung från Österrike har testats i fältförsök i Weimar. Tekniken är särskilt lämpad för smala schakt, t ex i samband med vertikalförläggning, där man gärna vill slopa förtättningsmomenten.

Vid *återfyllning* med befintliga massor infördes till skydd för rörledningen en *rörskyddsmatta* (Figur 3.11) utformad med en yta som motsvarar sandbäddens friktion. Vid rörläggning läggs det i mattan inlindade röret på ett tunt sandlager varpå återfyllningsmaterialet appliceras skiktvis med komprimering mellan varje skikt.

3.4 CFC-fria skum

Kemin hos isoleringsskummet har under 90-talet pga. av framtagning av nya CFC-fria skumsorter drastiskt förändrats. Av den anledningen var det nödvändigt att återuppta mätningar av de tillåtna tryck-, drag- och skjuvspänningarna hos de nya CO₂- respektive pentanbaserade skummen. Mätningarna, som genomfördes hos FFI Hannover (bl a i samarbete med Byggt teknik Chalmers) kompletterades även av finit-elementberäkningar för att få en uppfattning över spänningsförloppet i elastomera material, t ex i rörböjar vid olika driftfall. Ett av resultaten var att normen för *belastningsgränsvärdet för skum kunde höjas till 0,3 N/mm², samma värde som gäller i Sverige.*



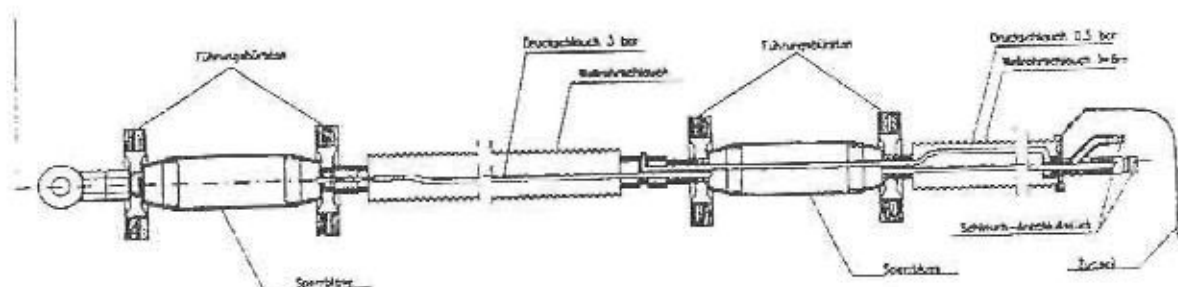
Figur 3.11 Frilagt mantelrör med skyddsmatta efter 3 månaders drifttid

3.5 Friktionsfixering

I Tyskland hade man under lång tid haft en något kluven inställning till friktionsfixering av mantelrören. Eller med andra ord, det var praxis att i mycket högre grad förse ledningarna med kompensationslement och expansionskuddar än vad fallet var i Skandinavien. Utan att det för den delen blev en större skillnad i skadestatistiken. Därför genomfördes noggrant uppmätta försök med två ledningar som visade att friktionsfixeringen bl a påverkades starkt av manteltemperaturen genom rördiameters temperaturexpansion. Det innebär att *friktionsfixeringen ökar med temperaturen*, vilket oftast i praktiken resulterade i att fixeringen är bättre än beräknat vid högre temperaturer. Å andra sidan kan cyklisk temperaturlastning innebära att röret släpper vid låga temperaturer, resulterande i små men högfrekventa rörelser, vilket kan förklara skador som uppträdde i nät med höga temperaturcyklingsfrekvenser men inte alls höga temperaturer.

3.6 Tryckprovning

Tryckprovningen efter ett ledningsavsnitts färdigställande innebär i allmänhet långa schaktöppningstider och därmed förknippade kostnader. Med hänsyn till mantelrörets kvalitets-säkring i fabriken är den enda funktionen av tryckprovningen att testa svetsömmens täthet. För detta ändamål utvecklades en "testödlä" som kan dras genom ledningen för svetskontroll (Figur 3.13). Men den allmänna insikten är också att denna endast bör användas för stickprov och att *det allmänna kravet på trycktest bör kunna utgå*, vilket är ett viktigt beslut för introduktion av dygnstaktarbetsplats och nya läggningstekniker såsom nedplogning.



Figur 3.13 Testödlä utvecklat inom projektet

3.7 Svetsmuffar

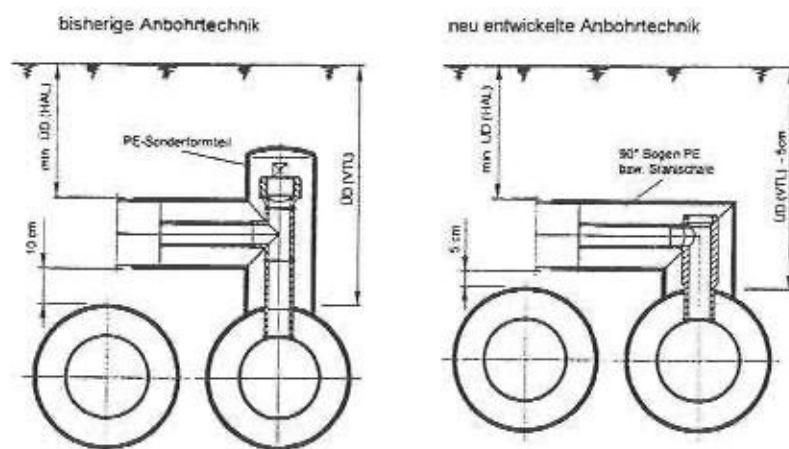
Inom projektet långtidstestades också en hel del svetsmuffar, såväl vid förhöjda temperaturer, som i vatten och vatten med 2 % vätskemiddel (Arkopal N 100). Resultaten bekräftar i stort sett de slutsatser vi har dragit i Sverige. Resultat för hela muffen ledde till kortare livstider än rena materialtest på PE. Arrheniuskurvorna för livslängd i vatten resp. vatten och vätskemiddel var inte helt parallella. Det största problemet anses ligga i faktumet att många muffar inte längre blev platsskummade utan monterades med lösa PUR-skålar. Detta innebär att muffen inte längre är skumfixerad vid medieröret utan att hela kraften måste bäras av de två svetsförbanden med manteln. De krafter som uppträder där är inte fullständigt analyserade och *fortsatt utredning rekommenderas*.

3.8 Förberedning av förgreningar för servisledningar som ska anslutas senare

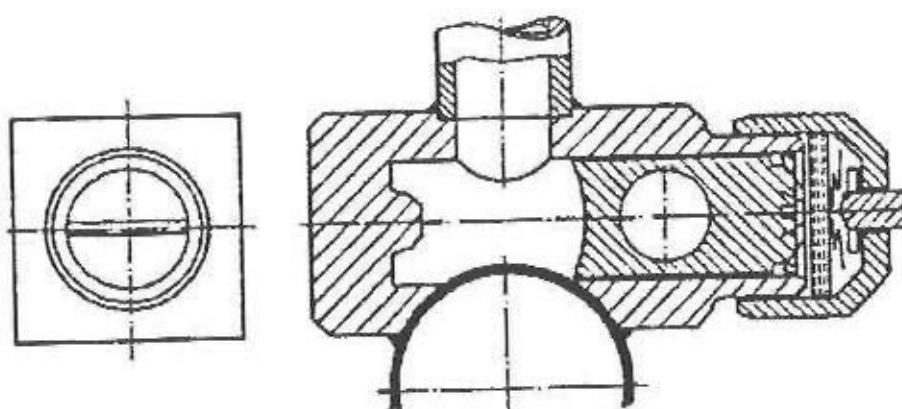
Ett sätt att minska kostnaderna för planerade husanslutningar är att förbereda stamledningar med stutsar eller grenrör med en "förlorad kulventil" för att slippa att stänga av FV-ledningar i samband med den senare genomförda anslutningen. Vid anslutning av servisen svetsas på stutsen en borrh- eller sprängstuts som tillåter anslutning av servisledningar upp till FV-rör med DN 200. Figur 3.20 visar två olika varianter på avgreningar med *anbörningstekniken*, varav en med speciellt låg bygghöjd. Figur 3.30 visar en principskiss över *sprängstutsen T-plus SM* som marknadsförs av Panisovit Speyer. Med ett slag av en hammare tänds sprängsatsen (till höger) som driver en kolv som skär upp röret så att det öppnas ett hål till servisstutsen (uppe i bilden). Hela enheten bildar ett tätt förband som efteråt blir isolerat med prefabricerade PU-skalar. För att uppnå bättre hållfasthet vid förgreningens tvärbelastning utvecklades även delade stålmantelmanschetter att appliceras på förgreningen.

En annan *anbörningsteknik med "förlorad kulventil"* visas i Figur 3.23. Den tjänar främst för horisontell (0-graders) anbörning. Ventilmekaniken används först för anbörning av stamledningen. Efter färdig borrhning tas borren ut och ventilen stängs och T-grenen isoleras. Ventilen förblir i stängt läge tills servisledning och fjärrvärmecentral har anslutits.

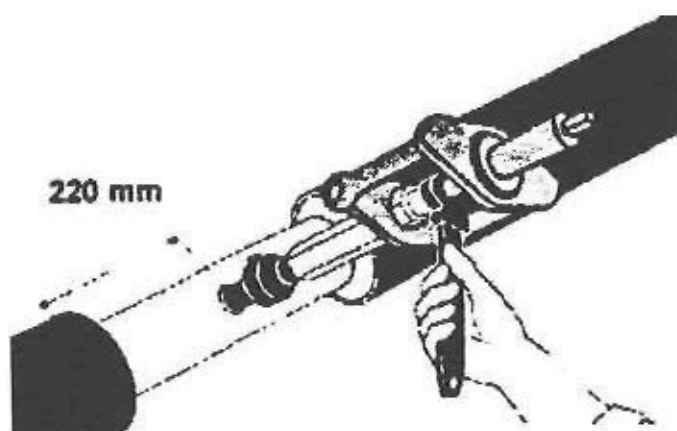
De ovannämnda teknikerna har under projektiden även nått Sverige.



Figur 3.20 Konstruktionsskillnader mellan tidigare och ny anbörningsteknik



Figur 3.30 Sprängventil med vridkolv



Figur 3.23 Anbörning av huvudledningen

Eftersom dessa olika avgreningstekniker innebär en ersättning för tidskrävande arbetsmoment med avancerade tekniska komponenter jämfördes dessa i fältförsök med tidsstudier. För anslutning av DN 25 servisledning till DN 80 stamledning uppnåddes då följande resultat (Tabell 3.1):

Teknik	Pris (DM)
Tömning av nätet och inbyggnad av T-gren	3081
Infrysning av nätet och inbyggnad av T-gren	2858
Anbörningsstuts, standardhöjd	1506
Anbörningsstuts, låghöjd	1266
Förlorad kulventil, 0-grd	1276
Förlorad kulventil, 45-grd	1544
T-plus explosionsstuts	2102

Tabell 3.1 Jämförelse av olika avgreningstekniker för senare inkoppling av servisledningar

Av tabellen framgår med tydlighet att det går att uppnå väsentliga kostnadsreduktioner med hjälp av de nya avgreningskomponenterna förlorad kulventil och anbörningsstutsar och att det lönar sig att i största möjliga mån förbereda servisavgreningar vid nyläggning av fjärrvärmenät. Det visade sig dock också att direktanslutning av serviser med hjälp av L-avgångar är den totalt billigaste lösningen.

De olika grenteknikerna testades i laboratoriet även med hänsyn till cyklisk temperaturlastning motsvarande 30 års drifttid. I försöken ingick komponenter från Isovit, Stadtwerke Mannheim, IC-Möller, Tarco och Lögstör. Det visades att applikationen av expansionskuddar inte helt kunde undvaras, även om mängden i vissa fall kunde minskas. Dvs. att applikationen på ett ungefär motsvarade de nivåer som används i Skandinavien vid samma temperatur.

4 Kallförläggning

Praktiken med förspänning av fjärrvärmeledningen vid byggnation genom att gräva ner en förvärmad ledningssektion leder till långa tider med öppna schakt och fördyrande arbetsmoment. Kallförläggningen innebär att man slopar förvärmningen och därmed har bättre möjligheter för dygnstaktbyggnation och enklare organisation av byggarbetsplatsen. Kallförläggningen kan leda till större temperaturexpansionsrörelser och/eller större materialbelastningar, vilket innebär att man tvingas att utlösa de tekniska belastningsgränser som gäller för det komplexa systemet prefabricerade fjärrvärmerör.

Projektet pågick i Tyskland fr.o.m. 1988 och samordnades med parallella projekt i Sverige och Danmark, vilket innebar att den tyska forskningen och dess resultat bör ses som en del av en internationell ansträngning för att vidareutveckla FV-tekniken. Målsättningen här var att med mera avancerade metoder än hittills klarlägga hur belastningsfördelningen i ett plastmantelrör bestående av medierör, isoleringsskum, plastmantel och sandbädd påverkas av såväl statiska som dynamiska temperaturförlopp. Som utgångshypotes antogs vissa bedömningskillnader mellan den tyska och skandinaviska praktiken, nämligen att

- 1) friktionen mellan rör och mark påverkas indirekt av temperatur genom expansionen av rördiametern vilket i Tyskland ledde till överskattning av friktionskraften vid låga temperaturer (tunneleffekten) men underskattning av friktionen vid höga temperaturer
- 2) skummets tryckspänning bedömdes konservativt lågt i Tyskland ($0,1 \text{ N/mm}^2$ mot $0,3 \text{ N/mm}^2$ i Sverige) vilket innebar en praktik med överdimensionerande kompensationsåtgärder, t ex expansionskuddar.

Det finns tre metoder att lösa belastningsproblematiken. Den första metoden är att tillämpa kompensatorer, t ex expansionskuddar, som är den gängse tekniken. Den andra metoden är att acceptera spänningarna inom tekniskt säkra gränser. Den tredje metoden är att använda sig av engångskompensatorer eller permanenta kompensatorer, som t ex E-muffen. I det här projektet gjordes bidrag till de två förstnämnda metoderna.

4.1 Projektering och belastbarhetsberäkning

I dimensioneringen av mantelröret med avseende skjuvspänningar ingick särskilt två osäkerhetsmoment. Dels räknade man inte med tvärförskjutnings-tryckspänningar som uppstår i böjen när ledningen expanderar och böjen trycks mot den yttre bädden, och dels har man inte tagit hänsyn till de dynamiska förändringar av friktionskraften som uppträder mellan bädd och mantel genom förvärmning, avkylning och återuppvärmning. I fältmätningar konstateras t ex att en ledning som uppvärmdes till 120°C expanderade 116 mm, men att den i samband med avkylning till 75°C på grund av tunneleffekten expanderade vidare till 122 mm för att vid nästa återvärmning till 120°C expandera till 148 mm. Vid detta tillfälle var expansionskuddarna underdimensionerade, men pga. av de säkerhetsmarginaler som fanns i de tyska dimensioneringsreglarna uppträdde inga skador på röret.

För att få en bättre uppfattning om spänningsfördelningen i röret utvecklades därför en finit element (FE-) beräkningsmodell där icke-linjära spänningsparametrar kunde ingå. Dessa beräkningar jämfördes med förskjutningsförsök på böjar som utfördes vid FFI. Vid skjuvkrafter upp till 60 kN (motsvarande en ΔT av 120°C), som uppträder vid längre rör anslutna till en böj, höll de tillåtna tryckkrafterna på skummet sig inom det "skandinaviska" gränsvärdet på

0,3 N/mm². Detta visade att det tyska gränsvärdet för skummets tryckspänningar (0,1 N/mm²) många gånger omedvetet överskreds i böjar, men att belastningen stannade under det skandinaviska gränsvärdet. Vid fortsatt ökning av förskjutningstrycket släppte dock förbandet mellan skum och medierör på insidan av böjen. De förhöjda tryckspänningsvärdena i skummet verifierades då även i beräkningarna. Med hjälp av den FE-beräkningsmodellen (baserad på beräkningsprogrammet COSAR från FEMCOS GmbH) har man fått ett verktyg som tillåter kompletta spänningsberäkningar med dynamiska och icke-linjära materialegenskaper (programmet finns även tillgängligt i Sverige).

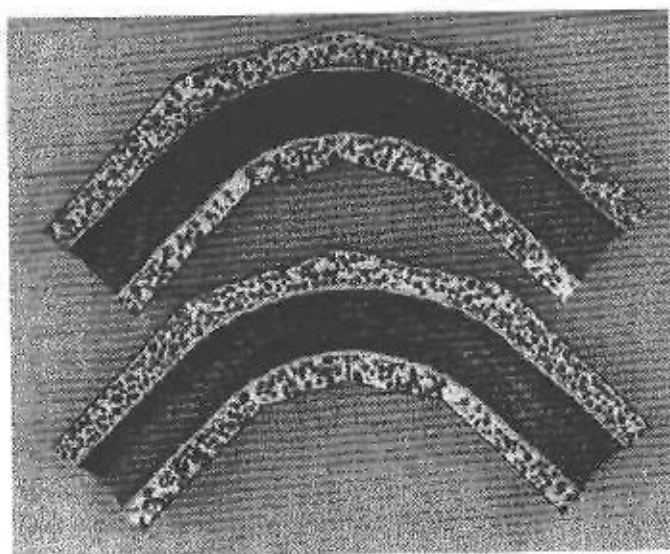
Fortsättningsvis föreslår man i Tyskland följande tillvägagångssätt för projektering av kompenserade system för prefabricerade fjärrvärmerör:

a) Global modell

Modellering av fjärrvärmenätet som fjäderlagrat 3-dimensionellt stavsystem. Fjäderparametrarna för markfriktionen är icke-linjära. Skummets inverkan på fjäderparametrarna kan bortses ifrån, så länge belastningen håller sig under gränsvärdet, vilket måste verifieras i efterhand. Modellen levererar reella förskjutningar och krafter, från vilka man kan räkna tillbaka till spänningarna. Globalmetoden bedöms vara tillräcklig för de flesta projekteringsfallen. De viktigaste ingångsparametrarna är maxvärdet av rörfriktionen och den tillhörande förskjutningen som i sin tur är en funktion av bäddmaterialparametrarna (friktion, täthet, värmeledning, fuktighet) samt av vissa geometriska värden såsom övertäckningshöjd, rördiameter, belastning, expansionen av rördiameteren med temperaturen, mm.

b) Beräkningar av lokala komponenter

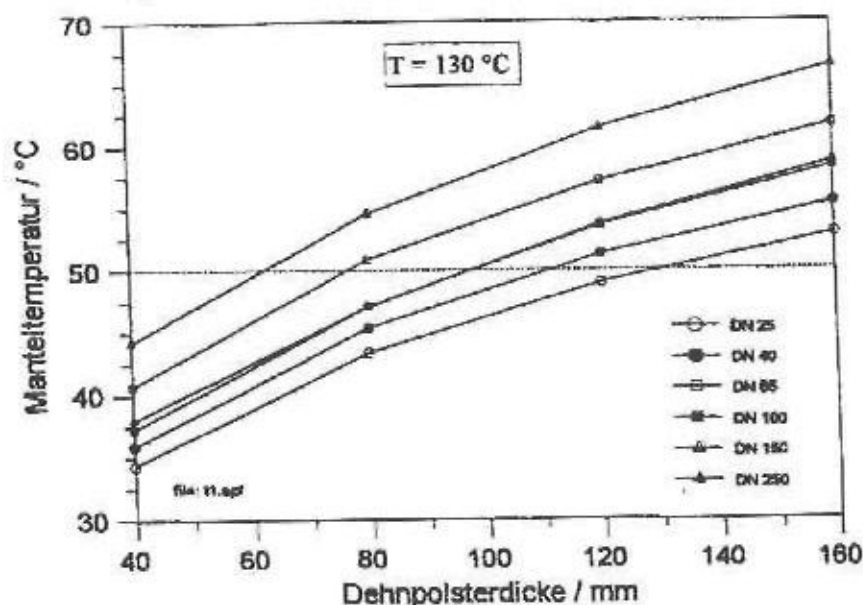
Om läget bedöms som kritiskt för några komponenter, t ex en böj, så kan resultaten från den globala analysen användas för lokala beräkningar. I detta fall simuleras röret genom en FE-skalmmodell eller en kombination av skalmmodell (medierör, mantel) och 3D-FE element (skum och sandbädd). Sandbädden kan även simuleras genom fjädermodellen, särskilt när brott förväntas. Vid dessa beräkningar görs en komplett FE avbildning av komponenten, t ex en böj eller en T-gren, inklusive omgivande marken. Beräkningen är komplicerad, men det förväntas att man på sikt kan bygga upp en databank för olika komponenter eller rörsystem. Tänkbart är att det finns färdiga modeller som endast behöver vissa randvillkor och initialvärden som kan inmatas över ett fönstergränssnitt på PC (Figur 3.63). Här finns det mycket spelutrymme för kvalificerade konsultföretag.



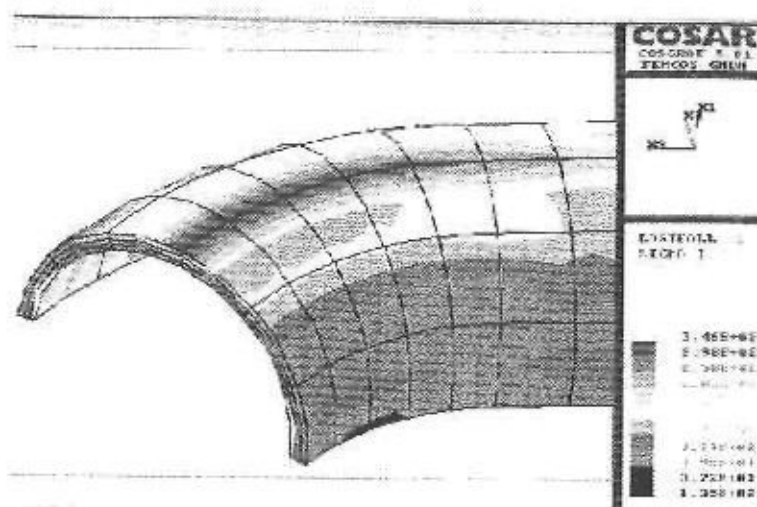
Figur 3.39 Genomsnitt av en tryckbøj

Bingham-material

Bingham-tekniken var tänkt att utgöra den perfekta lösningen vid större ledningsexpansion. Problemet med expansionskuddar är att dessa samtidigt utgör en extra isolering, vilket innebär att manteln blir för varm vid tillämpning av allt för tjocka expansionskuddar vid större dimensioner. Figur 3.40 visar sambandet mellan temperatur och tjockleken på expansionskuddar för olika rördimensioner. I systemet med Binghamkuddar (figur 3.41) används material med högre värmeledning. Funktionen är baserad på ett material som är fast vid lågt tryck men som blir visköst över ett visst gränstryck. Processen är reversibel. Som material hittades en blandning av 70 % lera och 30 % vatten. Vid överskridandet av gränstrycket leds det viskösa materialet genom överströmningskanalen till baksidan. På så sätt erfar ledningen ett konstant mottryck som aldrig överskrider. Systemet arbetade tillfredställande i teknikförsök. Utvecklingen avbröts dock inom projektet när man inte kunde hitta ett hölje som kunde garantera en funktion över en teknisk livslängd på 30 år.



Figur 3.40 Manteltemperaturer bakom en expansionskudde som funktion av tjockleken i kudden, $T_{\text{fram}} = 130^{\circ}\text{C}$



Figur 3.63 FE-berechnung: Spannungsverteilung in Rohrboje

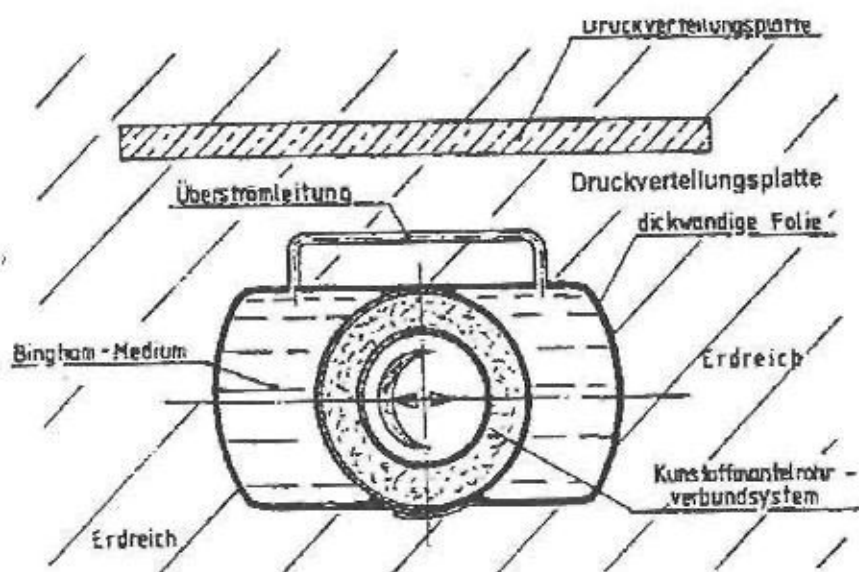
Sammanfattningsvis kan man säga att kombinationen av mätningar och modellberäkningar ökade insikten över hur friktionsfixerade medierör beter sig i verkligheten, utan att därför behöva ändra de slutsatser som gäller den svenska praktiken för dimensionering av pre-fabricerade fjärrvärmeledningar. På längre sikt kan dock resultaten innebära att belastningsgränsvärden för såväl skum som stålrör kommer att ändras.

4.2 Nya komponenter för kallförläggning/kompensation

Komponenter för kompensation kan vara tillrådliga även vid kallförläggning när man annars skulle hamna mycket nära de kritiska gränsvärden, där för det mesta skummets belastning är begränsande. Följande komponenter utvecklades/testades inom AGFW-projektet.

Tvärbelastbara böjar (tryckböjar)

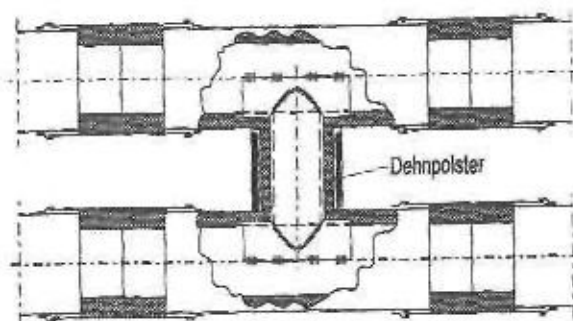
Böjförskjutningar av 100 mm eller mer förekommer ganska ofta och kompenseras vanligtvis av expansionskuddar, ibland även i kombination med mekanisk förspänning. GEW Köln utvecklade en böj med hård isolering (figur 3.39) som tål tryckbelastningen vid förskjutning utan expansionskuddar. Tryckböjens isolering består av en kombination PUR-skum med kullor av mineralskum som tillåter 10 ggr högre tryckbelastning. Stålröret måste också vara tjockare än normalt för att kunna ta upp skjuvkrafterna. Pga. böjarnas styrka kan i stort sett alla riktningsändringar mellan 0 och 90° tillåtas. Tryckböjen har först testats inom AGFW-projektet, men sedan även tillämpats utanför, bl a i Köpenhamn på en 17 km lång DN 300 ledning. Systemet finns idag på marknaden och erbjuds t ex av Tarco. Dimensioner större än DN 150 är relativt dyra (DN 125 kostar 485, DN 150 825 DM), men lönar sig ändå, om alternativet är mekanisk eller termisk förspänning.



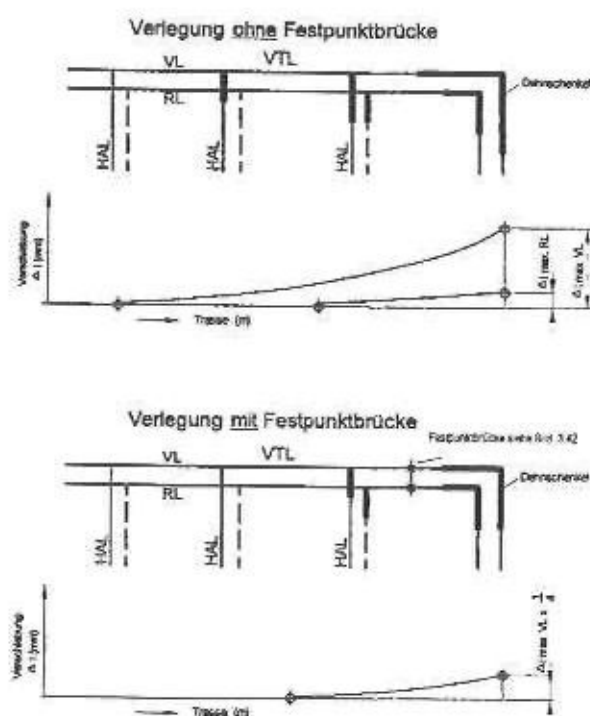
Figur 3.41 Schema över ett Bingham expansionssystem

Fixpunktbygga mellan fram- och returledning

Idén med fixpunktbygga är att överföra en del av framledningens skjuvspänning i slutet av en rörsträcka till returledningen som då kan hjälpa till med att bära skjuvkraften. Fixpunktbygga kan sättas in då expansionskuddar inte är tillräckliga. De kan även användas för att fixera stamledningen i närheten av T-förgreningar. Fixpunktbygga är en dubbelrörkomponent som är fast förbunden genom en balk (Figur 3.42). För att ta upp de stora krafterna måste själva konstruktionen bli mycket kraftigare än vanliga medierör. Väggtjocklek kan bli 30 mm. Som tumregel kan anses att förskjutningen reduceras mellan ca 50 % (vid horisontal läggning) och ca 75 % (vid vertikalförläggning), vilket verifierades med förskjutningsmätningar. Figur 3.43 visar förskjutningen vid ledningsslutet i system utan och med fixpunktbygga. Systemet testades i samband med fixering av Z-ändringar, L-böjar och riktningsändringar med låga vinklar. Testen omfattade såväl horisonta- som vertikalförläggning. Det enda problemet som visade sig i praktiken är att hantera fixpunktbyggans höga vikt (utplacering och fixering i vertikalläge). En senare uppgrävning och inspektion efter tvåårig drift gav inga skadeindikationer.



Figur 3.42 Konstruktionsritning av en fixpunktbygga

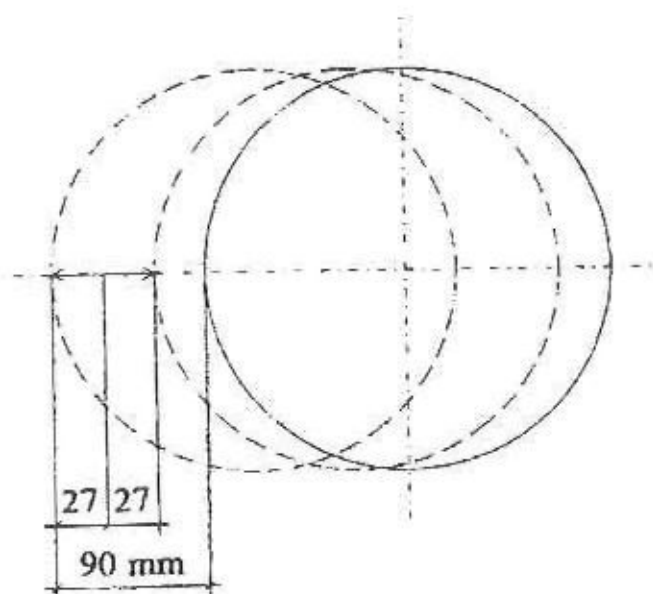


Figur 3.43 Funktionsschema fixpunktbygga

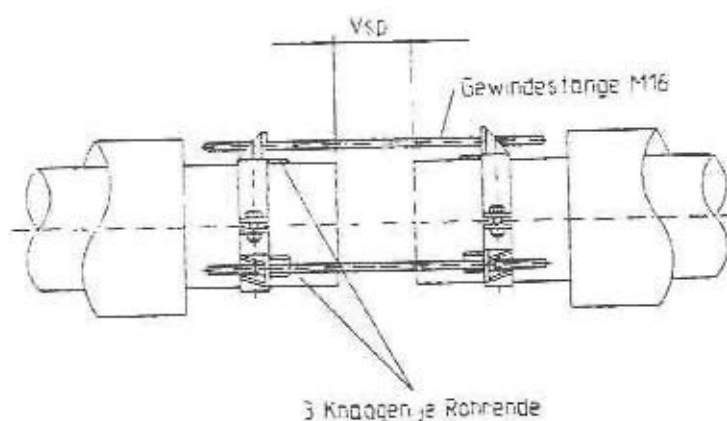
Förspänning av expansionskuddar (mekanisk förspänning)

De största förskjutningarna inträffar vid kallförläggning vid den första uppkörningen till maxtemperatur. Vid återavkylning återstår en restförskjutning och i fortsättningen pendlar ledningen mellan den och maxvärdet. Det är därför praxis att förspänna ledningen till medelvärdet mellan dessa två resterande extrempunkter (se Figur 3.48). Förspänningen sker vanligen termiskt och den förväntade restförskjutningen tas upp med expansionskuddar i öppna schakt.

I samband med kallförläggningen med dygnstaktbyggnation undersöktes i stället möjligheten för mekanisk förspänning. Detta innebär att man positionerar ledningen i den beräknade mittpositionen efter en temperaturcyklning mellan två expansionskuddar och gräver igen hela böjområdet. Slutligen drar man ihop ledningen med spännanordningen enligt Figur 3.49, varpå rören svetsas ihop och manhålet återfylls. Ledningen ligger nu under dragspänning som dock lossnar när den tas i drift. Tekniken har blivit ganska vanlig i Tyskland.



Figur 3.48 Tvärförskjutning i expansionsområdet



Figur 3.49 Förspänningsanordning

4.3 Okompenserad kallförläggning

Den okompenserade kallförläggningen är ju en teknik som vanligtvis tillhör området lågtemperatur-fjärrvärme. Frågan hur långt man kan tillämpa tekniken upp i temperaturnivån med bibehållen driftsäkerhet och acceptabel livslängd ställdes i Tyskland. Lägre läggningkostnader i samband med kallförläggning och dygnstaktarbetsplats måste vägas mot eventuellt större risker, ökat underhåll och kortare livslängd.

Eftersom det inte fanns en konstruktör som frivilligt skulle åta sig att undersöka gränserna inom en entreprenad, genomfördes detta som ett forskningsprojekt upplagt på tre nivåer: Laboratorieförsök - storexperiment - fältförsök.

I laboratorie- och fältförsöken genomfördes även detaljerade mätningar på framförallt böjarna, så att man noggrant kunde jämföra och kalibrera beräkningar mot experiment. Framför allt utvecklades givare för mätning av spänningarna i isolering och i mark för att på så sätt kunna

verifiera hela FE-beräkningen. I laborieförsöken ingick temperaturstegen 90, 110, 130°C, 100 lastvariationer, tryck mellan 0,6 - 1,6 MPa för rördiameter DN 32 - 250 mm.

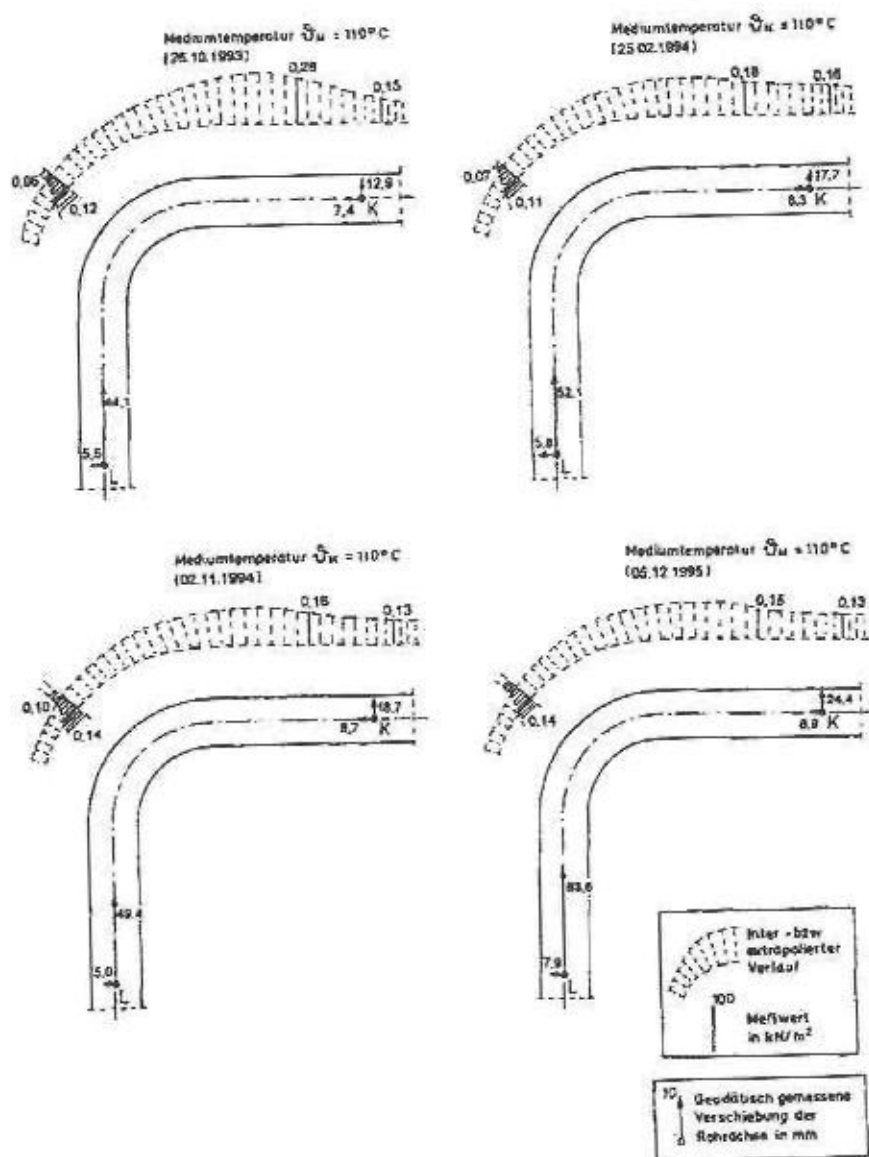
Försöken bekräftade att PUR-skummet är den svagaste länken i systemkedjan bädd-mantel--skum-medierör och att växelverknigen mellan bäddtryck och PUR-skum är det dominerande projekteringskriteriet för system med prefabricerade fjärrvärmerör. Ett belastningsförsök med en böj resulterade i en maximal tryckspänning för skummet på 23 N/mm^2 vilket innebär att man vågade gå vidare med fältförsöken.

I ett liknande laborieförsök användes en vanligare sandtyp (byggsand) istället för inbäddningssand. Materialet var lite grövre, men stenfritt. Resultatet visade högre friktionskrafter utan skadeinverkan på manteln. På böjens insida bildades ett hålrum, vilket innebär, att totalt inga högre rörbelastningar förväntades.

I ett tredje försök testades även återfyllnadsmaterial. I detta fall omlindades röret med en rorskyddsmatta med en viss struktur för att säkerställa friktionsfixeringen i raka rör. Jämfört med sand gav denna struktur ett bättre definierat friktionsspektrum, dvs. de maximala krafterna blev mindre och de minimala större. Detta resulterade i mindre belastning av fixerade rör men större slaglängder i glidzonen.

Vidare utlodades de tekniska gränserna i s.k. crash-test, dvs. man körde flera rörböjar till brott. Vid DN 100 utsattes en böj för förskjutningar av upp till 170 mm i en sandbädd utan expansionskuddar. Själva röret, manteln och muffarna blev intakta, men skummet skadades genom att komprimeras på trycksidan och lossna från röret på insidan. I en annan crash-test testades en 45°-gren (DN100/65) under villkoret att provstycket utsattes för förhållandena som råder vid slutet av en 200 m lång sträcka vid 130°C. Testet signalerade att skumförbandet släppte vid förskjutningar av 11 mm. Brott i grenrörets svets uppträdde vid förskjutningar av huvudröret på 83 mm.

Pga. de samlade positiva erfarenheterna utvidgades försöken till fältförsök. Ett försök omfattade en DN 200 ledning, 250 m lång med 4 st 90° böjar och 4 st T-grenar DN 100. Efter 2,5 värmeperioder avslutades försöket pga. den goda överensstämmelsen mellan mätningar och beräkningar avseende utvecklingen av spänningsmönstret (se Figur 3.58). Det konstaterades att spänningarna minskade successivt vilket kunde interpreteras av det hos ledningsfolket kända faktumet att ledningen "lägger sig tillrätta" med tiden. Ytterligare fältförsök gjordes med DN 200/100 grenar och med DN 200/150 reduceringar. De uppmätta förskjutningarna/spänningarna stämde väl överens med FE-beräkningarna.



Figur 3.58 Marktryck och förskjutning av ledningen vid värmning till 110°C som funktion av tiden

Andra fältförsök med kulventil resp. 3° -riktningsändring pågick fortfarande vid tidpunkten för avrapporteringen.

4.4 Slutsatser angående okompenserad kallförläggning

Laboratorie- och fältförsök visar att kallförläggning utan kompensation kan tillämpas i vissa fall upp till de maximalt förekommande temperaturerna (130°C) beroende på markegenskaper, förläggningsdjup och rördimensioner.

Beräkningarna på såväl global systemnivå som lokal komponentnivå kan idag genomföras på så realistisk nivå så att de kan användas för projekteringsändamål. Begränsningen ligger i beräkningsinsatsen, särskilt vid modellering av lokala komponenter.

För att genomföra kallförläggningen på ett tekniskt säkert sätt ska de ovannämnda beräkningarna genomföras. För att underlätta projekteringen har man för avsikt att utveckla ett *expertsystem*. Första steget i ett sådant system är att ange maxgränser för drifttemperatur och dimensioner, inom vilka en säker kallförläggning kan förväntas. Resterande fall måste sedan beräknas antingen med hjälp av den *globala modellen* eller i kritiska fall med hjälp av den *lokala komponentmodellen*.

Maxgränserna för säker *okompenserad* kallförläggning är ej redovisade i sammanfattningsrapporten.

5 Effektivare entreprenadformer för fjärrvärme

Byggorganisation

De jämfört med Skandinavien höga byggkostnaderna för fjärrvärmeprojekt gav anledning att se över kostnads- och organisationsstrukturen vid ledningsbygge. För detta ändamål utvecklades ett *tid-/kostnadsplaneringssystem*, dvs. ett dataprogram avseende nätplaneringsteknik för att kunna jämföra olika moment i entreprenader på ett likvärdigt sätt. Programmet användes som instrument för att analysera möjligheter för kostnadsbesparingar vid fjärrvärmebyggnation. Genom analys av olika alternativa byggutföranden kom man fram till väsentliga förenklingar av byggprocessen som i Tyskland kunde leda till avsevärd kostnadsminskning.

För att kunna bedöma hur kostnadsbesparingen kunde uppnås måste man veta mera om utgångsläget. Situationen i Tyskland var oftast så att schakten öppnades och säkrades med sidostöd, vilket krävde en hel del åtgärder för trafikkontroll, bryggor över kulvertgrav osv. Arbetet utfördes av markentreprenören. Därefter kom rörinstallatörer, isolerare, kontrollanter, och till sist återigen markentreprenören för att lägga igen schakten. Tiden för schaktöppningen var lång och kostnaderna således höga. Genom nätplaneringssystemet började man inse vad olika moment kostar. Att man bör arbeta med så korta öppningstider som möjligt, fram till dygnstaktarbetsplatser, med smala och grunda schakt, med så få svetsar som möjligt, vertikalförläggning, osv. Men det gäller att dokumentera detta och sprida kunskaper om effektiv rörlägningsmanagement för fjärrvärme. Som resultat kunde visas att det gick att sänka kostnaderna för vissa entreprenader med mer än hälften. Vidare tittade man även över nya förläggningstekniker vilket ytterligare kunde sänka kostnaderna. Nedan redovisas några av dessa tekniker.

Schaktningsfri förläggning

På grund av hög trafiktäthet och därmed förknippade kostnaderna för uppgrävning av gator användes i Tyskland markraketer för schaktningsfri rörläggning redan på 60-talet. Problemet var att dessa system inte kunde styras på ett kontrollerat sätt. På nittiotalet vidareutvecklades dock horisontalborrningstekniken, som nu även används inom fjärrvärme i ökad omfattning: Man skiljer mellan två tekniker:

- Våtborrning
- Torrborrning

Våtborrningen lämpar sig för sand- och lerhaltiga jordar. Metoden består i att i stort sett högtryckspola marken medels en vatten/lerblandning. Denna blandning stabiliserar samtidigt marken runt det rör som dras genom kanalen. Ett exempel på tekniken är *FlowTex-systemet*. Systemet har relativ begränsad borkraft vilket utesluter risken för att skada eventuellt korsande ledningar, vilket dock förhindrar att tekniken kan användas i stenig mark. Max diameter för rör upp till DN 80 testades.

Torrborrningen sker fortfarande med s.k. jordraketer som idag kan styras och har god riktningsstabilitet. Principen är förträngning och förtätning av befintlig mark vilket gör att systemet är riktningsstabilt än våtborrning och även kan användas i stenig mark, men i regel endast för mindre diameter upp till DN 50.

Eftersom riktningen inte är helt rakt så måste flexibla, starka rör användas som dras genom hålet. I Tyskland användes det rostfria Flexwell-röret från Brugg för detta ändamål. Tekniken blir dyr, förutom röret kostar även förgreningen en hel del, men blir ändå en kostnadseffektiv

åtgärd vid vissa situationer i tät bebyggelsen. På sikt hoppas man att andra flexibla rörsystem också kan användas inom borrhningstekniken. Vidare behövs även en vidareutveckling av georadartekniken för att kunna använda borrhningstekniken riskfritt. Detta gäller särskilt inom tät bebyggelse.

Suggrävaretekniken

Suggrävaren är en slags jättedammsugare som kan användas i relativ lös mark. För att lösa upp marken blåser grävaren med tryckluft på jorden för att sen suga upp det utlösta materialet. Fördelen är att suggrävaren relativt riskfritt kan underminera korsande ledningar, dvs. genomför schaktningsarbeten som oftast måste utföras för hand. Nackdelen är de höga investeringskostnaderna vilket innebär att suggrävaren måste ha hög utlastning, vilket kräver en välplanerad markentreprenad.

Plastmedierörkulvert

Resultat från det tyska projektet för plastmedierör rapporterades i samarbete med Sverige och Danmark inom ett IEA-projekt: Plastic Pipe Systems for District Heating - Handbook for Safe and Economic Applications [Ref 2]). Statusläget bör därför betraktas som känt och endast en kort sammanfattning av resultaten ges här.

Plastmedierör består i första hand av förnätat polyetylen (PEX) eller polybuten (PB) och finns idag för fjärrvärmetillämpningar med ett syrespärrskikt av etylvenylalkohol (EVAL eller EVOH) på marknaden. Syrespärrskiktet innebär att plastmedierör idag säkert kan kombineras med stålrör, om stålytan är minst 30 % av plaströrytan eller noll. Permeabiliteten gäller även för vattenånga. Farhågorna att kulvertisoleringen skulle dränkas och försämrats har inte verifierats i fältförsök. Det är troligt att balansen mellan mantelns och medierörets vattenpermeabilitet är sådan att vattenångan kan diffundera genom röret.

Plastmedierör har temperatur- och tryckbegränsningar och lämpar sig därför bäst för lågtemperaturssystem: $T < 90^{\circ}\text{C}$ (vid glidande temperaturer), $P < 0,6 \text{ MPa}$. För detta område räknas med en livslängd av minst 50 år.

Det finns ett flertal fabrikat på marknaden, bl a Lögstör, Wirsbo, Tarco, I. C. Möller, Brugg, med stora skillnader på kulvertuppbyggnad och kopplingsteknik. Gemensamt för alla är dock att de tillåter en mycket enklare läggningsteknik, i längder upp till några hundra meter, som Twin- och även Quattroledning för mindre dimensioner, och prefabricerade grenar och skarvar. Kopplingar är i regel jorda av metall som press- eller skruvkoppling (PEX-röret). PB-röret (från FLEXALEN) har fördelen att det kan svets skarvas på plats.

Tekniken innebär även smalare schakt, ledningsdragning anpassad till framkomlighet, få manhål, inga larmtrådar och den ger möjlighet till långa dygnstaktsektioner. En jämförelse av olika kostnadsmoment visar att plastmedierörkulvertar har potentialen att avsevärt reducera mark- och installationsarbeten, men att materialkostnaderna snarast är något högre än för stålrör. Kostnadsreduktionen gäller främst de minsta dimensionerna, där en kostnadsminskning med stålrör av upp till 30 % har demonstrerats för hela rörinstallationen. Vid dimension DN 65 uppnår man kostnadsbrytpunkt med stålrörssystemet och vid större dimensioner förlorar man även fördelen med flexibiliteten.

Gjutjärnsrörssystem

Systemet produceras av företaget Pont à Mousson, Frankrike, och var tänkt att kunna revolutionera fjärrvärmetekniken. Grundtanken var att varje gjutjärnsrörsegment var tempera-

turkompenserat i gummipackningen till nästa rör och därmed kunde man bygga ledningar utan att fundera över fixerande eller glidande sektioner och eventuella kompensationsåtgärder. Man kan gräva, lägga, fylla allteftersom. Tekniken har fått sitt genombrott för kallvattenledningar.

Vid laboratorie- och fältförsök visade sig dock följande:

- Många packningar i muffarna kunde inte fås helt täta. Det förväntas att detta problem ökar med tiden och åldern.
- Svetsarbeten kunde inte genomföras vid vattenfyllda ledningar, vilket försvårade nysanslutningar av serviser i befintliga system.
- Problemet med temperaturutvidgning vid böjar och deras compensation kunde inte lösas på ett tillfredsställande sätt.

Av denna anledning avbröt man fortsatt test av gjutjärnsrör. Detta innebar att gjutjärnsrör tills vidare ej är aktuella för FV-ledningar.

6 Kostnadseffektiva fjärrvärmecentraler

Liksom i Sverige var det tidigare vanligt i Tyskland att bygga Fjärrvärmecentralerna (FC) på plats, med tilltagen överkapacitet och avancerad reglerteknik. FV-leverantören hade inte mycket inflytande över utförandet av FC eftersom den oftast ägs av kunden. Husbyggnation kostar dessutom mycket i Tyskland och FC var då endast en liten del i hela byggnadskostnaden. Men långsamt ändrar sig bilden och många FV-leverantörer önskar även äga fjärrvärmecentralen för att ha bättre kontroll över returtemperaturen. Detta har lett till ökade krav på kostnadsreducering och främjade således utvecklingen av *prefab-centraler*.

Prefab-centraler tillhandahålls idag av ca 60 tillverkare med anslutningseffekter upp till 1000 kW. Skillnaden mellan skandinavisk och tysk teknik är att tyska FC måste kunna klara designtemperaturer upp till 130°C. Skållningsskydd resp. temperaturbegränsare kan då bli extra fördyrande.

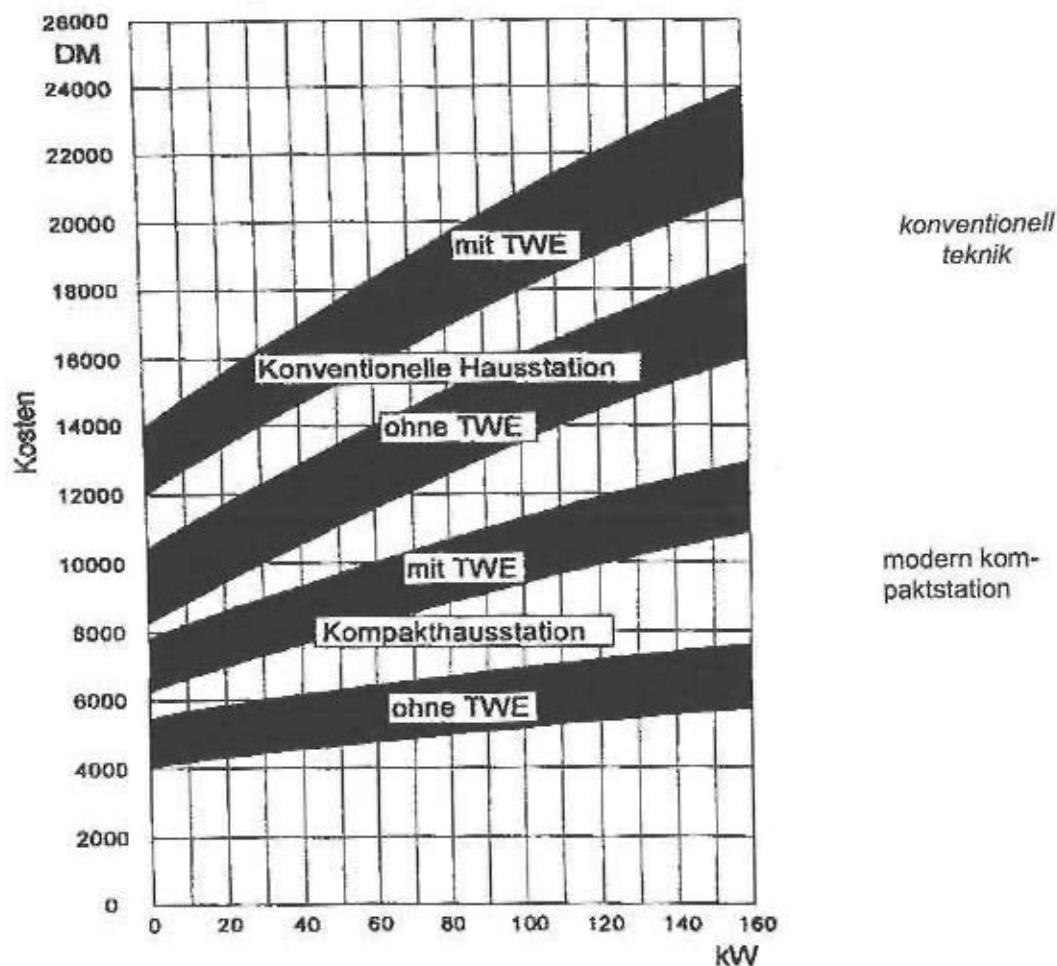
I en teknisk analys undersöktes därför kostnadsbilden av alternativa FC för olika framledningstemperaturer: 130, 110, respektive 90°C. För värmekretsen i 90°C och 110°C-centralerna krävs, enligt tyska föreskrifter, varken säkerhetstemperaturbegränsare eller nödkylning. I fall när glidande framledningstemperaturer tillämpas är temperaturreglering med termostatventiler fullt tillräcklig. Direktkoppling utan returshuntning och tryckreducering ger en billig lösning. Tryckreducering krävs dock i de flesta konventionella nät. För 130°C tillkommer en hel del extrakostnader för volymflödesreglering och säkerhetsfunktioner.

Tappvattenberedningen sker oftast traditionellt i *ackumulatorer*. En ny trend är dock att övergå till decentral beredning (och individuell mätning) med *genomströmningsberedare*. Fördelen är bortfall av cirkulationsförluster, mindre ledningsdragning och låg returtemperatur. Nackdelen blir större servisdimensioner vid mindre fastigheter och totalt större investeringskostnader jämfört med central tappvarmvattenberedning.

I undersökningen gjordes en konsekvent analys av olika sätt att bereda värme och tappvatten (Tabell 3.8). Beräkningarna gjordes för de tre temperaturerna som funktion av antalet anslutna lägenheter. En sammanställning av huvudresultat görs i Figur 3.80. Figuren redovisar en kostnadsjämförelse av olika typer av prefab-centraler med och utan tappvattenberedning.

Värme	Tappvatten
direktanslutning	primär (parallell) genomströmmare med termisk reglering och flödestryckstyrning
direktanslutning	parallell genomströmmare med primär laddningsackumulator
värmeväxlare	ackumulatorladdningssystem med vattenvärmning över en parallell VVX
direktanslutning	primärt (parallellt) ackumulatorladdningssystem med intern varmvattenvärmare
sekundärnät	sekundärt ansluten VVX för ackumulatorladdningssystem
sekundärnät	som ovan, dock med värmeprioritering
sekundärnät	med sekundärt ackumulatorladdningssystem med intern varmvattenvärmare

Tabell 3.8 Olika alternativ för inkoppling av fjärrvärmecentraler



Figur 3.80 Kostnadsjämförelse för olika typer av FC (indirekt anslutning) (Prisläge maj 95). (mit TWE = med varmvattenberedare, ohne TWE = utan varmvattenberedare)

Från beräkningarna kan dras följande grundläggande slutsatser som även har viss relevans för Sverige:

- Indirekt kopplade FC är billigare än direktkopplade med tryckreducering. Tryckreduceringen kostar ca 2000 - 3000 DM.
- Tryckreducering kan i vissa fall utgå om värmesystemet är designat för FV-trycket. I detta fall är systemet med avstånd det billigaste. Det gäller för designtemperaturer upp till 120°C.
- Höga primära framledningstemperaturer är gynnsamma för indirekta system. Vid framledningstemperaturer > 110°C är sekundär inkoppling billigast.
- Höga framledningstemperaturer i husets värmesystem kan leda till låga kostnader för FC, men detta uppvägs med råge av större kostnader för husets värmesystem.
- Varmvattenberedning i genomströmmare (motsvarande 2-stegs FC) är gynnsammast i alla effektområden. Problem kan uppträda med kalkutfällningar vid mindre system.
- Decentral tappvarmvattenberedning är i regel inte lönsam.

Allmänt gäller att DIN-föreskrifterna leder till hög säkerhetsstandard och därmed medför höga kostnader, t ex genom dimensionering av säkerhetsventiler, temperaturbegränsare, kopplingstyper mm. AGFW verkar nu för att vid nästa normändringstillfälle få ett antal kostnadsdrivande krav reducerade.

För den fortsatta utbyggnaden av fjärrvärme i områden med lägre värmetäthet anses det vara viktigt att reducera kostnaderna för FC till det yttersta. FC med *direktkoppling och genomströmningsberedning* i nät upp till 110°C (som i Danmark) anses därför vara ytterst angelägna ämnen för fortsatt utveckling. Det är tänkbart att dessa system även kan bli *lägenhetssystem* för att då även kombineras med individuell värmemätning.

7 Värmemätning och kundfakturerering

I Tyskland är det vanligt med individuell avläsning av såväl värme- som varmvattenförbrukningen. Normalt används en huvudvärmemängdsmätare för varmvattenförbrukningen och en för värmeleveransen. Fördelningen sker sedan individuellt med varmvattenvolymmätare resp. med värmekostnadsfördelare (relativmätning efter avdunstningsprincipen eller elektronisk fördelning). Vid kontrollmätningar fann man skillnader mellan de individuella summorna och huvudavläsningen som varierar mellan 5 och 15 %. Detta anses som acceptabelt eftersom det ändå finns många osäkerheter pga. läckflöden, hörnbostäder, mm. Vidare konstaterades att avdunstningsmätning resp. elektronisk mätning är likvärdiga vad det gäller noggrannhet.

I en studie gjordes ett försök att systematiskt jämföra olika sätt att mäta och fördela värmekostnader för olika typer av bostadshus.

Följande system jämfördes:

- Mätning av den totala värmeförbrukningen, värmekostnadsfördelning och varmvattenräknare för varje lägenhet.
- Individuell värmemätning och varmvattenvolymmätning i varje lägenhet.
- Central värmemätning för flera byggnader och fördelning av värmekostnader genom en beräkningsnyckel samt individuell varmvattenvolymmätning.

Varje metod utvärderades med och utan centralt mätdataregistreringssystem. Följande slutsatser kan dras från denna studie:

- I grupphusbebyggelsen är *gemensam mätning och värmekostnadsfördelning* att föredra jämfört med individuell värmemätning. Kostnader blir då 150 DM lägre per hus och år motsvarande ca 10 % av värmekostnaderna.
- Individuell värmemätning och direktfakturerering till hyresgästerna i större flerfamiljslägenheter ökar faktureringskostnaderna från ca 50 till 250 DM/lägenhet per år (för stora flerfamiljshus), vilket innebär en väsentlig fördyring av värmekostnaderna (1400 DM/år). *Individuell värmemätning i flerfamiljsbostäder anses således som ej meningsfull.*
- Även centrala elektroniska mätvärdesregistreringssystem med hjälp av elektriska värmekostnadsfördelare *fördyrar* avläsningskostnaderna med 10 - 20 DM/MWh per år. Men denna kostnad anses vara motiverbar för såväl kunden som FV-företaget. Den före slipper vara närvarande vid den årliga avläsningen, och den senare kan få samordningsvinster när avläsningen och faktureringen kan samordnas med andra kommunala servicefakturer för t ex vatten och el.

Tabell 3.9 visar slutligen en kalkyl för tre sätt att debitera värmekostnaderna:

Avläsnings- och avräkningstyp	Faktureringskostnad per avläsningsenhet (DM/år)
Månadsvis avläsning och fakturerering	670:-
årlig avläsning och fakturerering, endast fjärrvärme (månadsvis betalning)	56:-
årlig avläsning och fakturerering av alla förbrukningsmätare (vatten, el, gas) vid månadsvis betalning	35:-

Tabell 3.9 Jämförelse av olika debiteringssätt för fjärrvärme

8 Strategier för fortsatt utbyggnad av fjärrvärmenät

8.1 Ledningsteknik

Det i avsnitt 5 omnämnda nätplaneringsprogrammet användes i en separat studie inom förbundprojektet för att på ett systematiskt sätt kostnadsanalysera alternativa tekniker för installation av nya fjärrvärmeledningar i samband med anslutning av nya områden utgående från ett befintligt nät. Som övre gräns för ledningsdimensionen räknas med DN 250.

En analys av en typisk ledningsentreprenad enligt status 1988 resulterade i följande grova kostnadsfördelning:

– markarbeten inklusive gatubeläggning:	335 000 DM
– rörledning:	230 000 DM
– projektadministration	57 000 DM

Betydelsen av komponenterna som diskuterades i de inledande avsnitten anses ligga däri att de möjliggör förkortning av installationstiden och därmed medför en betydande större kostnadsreduktion än endast tillämpning av komponenterna med bibehållen byggnadsteknik skulle göra

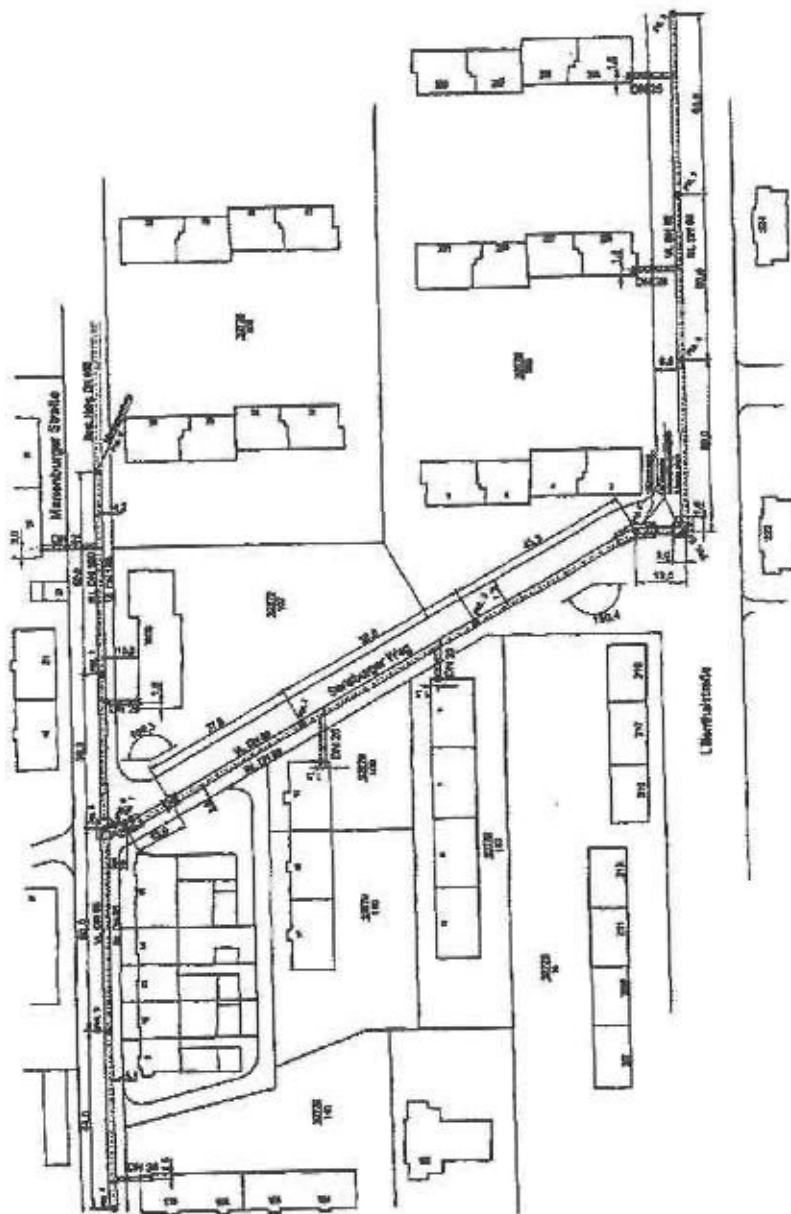
Den här redovisade analysen utgår också ifrån det tyska teknikstatusläget 1988 för att vidare beräkna olika alternativa sätt att åstadkomma en kostnadssänkning på samma sträcka. Som utgångsläge valde man ett 1986 färdigtställt avsnitt "Marienburgerstrasse" i Mannheim, en ledning på 510 m längd med dimensionerna DN 65, 80, 100 (se Figur 4.1). I detta avsnitt behandlas endast stamledningen inklusive avgreningen, men ej serviser. Tabell 4.1 visar de viktigaste resultaten från denna analys.

1) Teknikstatus 1988:

Konventionell fjärrvärmeteknik i Tyskland innebär i allmänhet långa öppningstider för schakt med följande successiva arbetsmoment: Asfaltskärning, urschaktning, väggstöd, hjälpbryggor, sandbädd, rörläggning, svetsning, täthetsprovning, larmtrådsmonter, skarvmontage, kompensatorer, förvärmning, insandning, komprimering, asfaltering. I vårt exempel tar detta 55 dagar för 510 m rörlängd. Rören läggs i 12 m längder och skarvas genom svetsning och isolerade muffar.

2) Optimering 1

Genom att förlägga vertikalt med 15 cm avstånd mellan rören och installation av nya komponenter, dels lågbyggande 45°-avgreningarna resp. 0°-T-stycken kan schakten göras smalare. I Figur 4.8 visas en jämförelse av sektionerna för statusläge och optimering 1. Rören läggs i två omgångar i 12 m längder, med insandning och komprimering efter varje rör. Fortfarande tillämpas termisk förspänning genom förvärmning och expansionskuddar för att kompensera glidningen. Den mindre schaktningsvolymen leder till en besparing av 23 %. Max framledningstemperatur är 130°C. Designtrycket för alla ställedningar är 1,6 MPa.

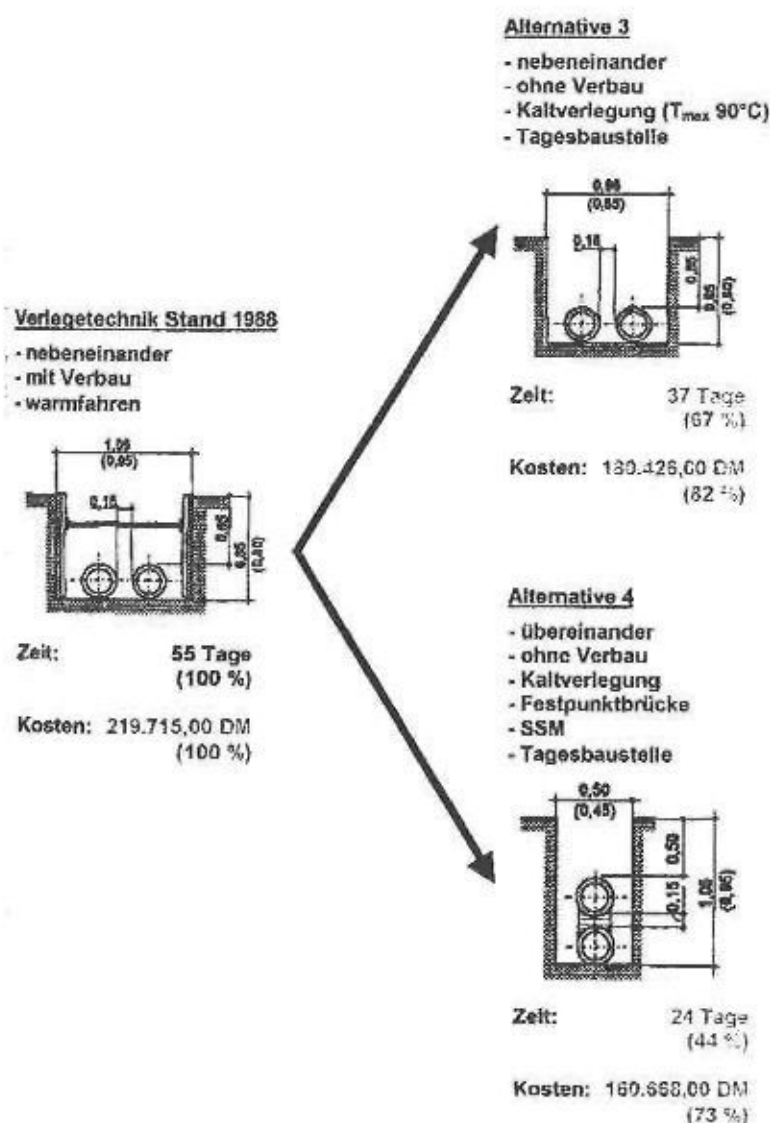


Figur 4.1 Rörledningsplan för projektet Marienburgerstrasse i Mannheim

De olika utvecklingsalternativen kan sammanfattas som följer:

3) Optimering 2

Kallförläggning med lägre kompensationsgrad tillämpas. Ledningar kompenseras antingen genom mekanisk förspänning eller genom fixering med fixpunktbygga. Vidare tillämpas även stabiliserad sand för att öka fixeringen. Rören skarvas utanför kulvertgraven till längder anpassade för dygntakt och grävs ner som "pipeline". Besparingen 27 % är dock mindre än förväntat på grund av kompensationsåtgärderna. Max framledningstemperatur är 110°C.



Figur 4.8 Schachtsektionen, byggnadstider och kostnader efter två utvecklingsetapper i slutet av 1994.

4) Optimering 3

Här går man till det yttersta genom att lägga rören helt utan kompensation vertikalt i en ännu smalare bädd med en speciell typ stabiliserad sand, t ex av en typ som utvecklades i Weimar ("Weimarer Bodenmörtel" (markbruk)). I övrigt används i första hand återfyllnadsmaterial för inbäddningen. Dygnstakt och pipelinläggning tillämpas. Alternativt läggs plastmedierörkulkulvertar. Pga. att inga kompensationsåtgärder resp. -komponenter behövs blir fjärrvärmeentreprenaden mycket billig - ca 42 % kostnadsreduktion jämfört med fall 1. Max framledningstemperatur är då $90^{\circ}C$.

5) Optimering 3a

Istället för stålrör läggs plastmedierörkulkulvertar bredvid varandra. Designtrycket är nu begränsat till 0,6 MPa. Av kostnadsskäl är dimensionerna begränsade till DN 65. Tekniken är ännu enklare än för kallförläggningen enligt pkt 4, *men en kostnadsfördel uppstår endast vid mindre dimensioner.*

Den ovan redovisade kostnadsminskningen har verifierats i laboratorie- och fältexperiment genomförda i olika delprojekt. Därefter har man gjort en jämförande kostnadsanalys och visat att ett nytänkande kan ha stora konsekvenser för den fortsatta utbyggnaden av fjärrvärme. Genom de beskrivna åtgärderna blir de tyska fjärrvärmekostnaderna jämförbara med den nivå som finns i Skandinavien.

Som en möjlighet till ytterligare kostnadsbesparing föreslås att "*tänka efter hur man kan använda mindre och billigare maskiner resp kombinationsmaskiner för att få en hög beläggning på maskinparken*". Helst ska maskinerna vara skräddarsydda för den typen av ledningsinstallation, dvs. kallförläggning av rör vertikalt i smala schakt eller läggning av plaströrskulvertar.

8.2 Nya distributionskoncept

I Tyskland förväntar man sig att den framtida fjärrvärmemarknaden i huvudsak består av fyra segment. Man skiljer mellan utbyggnad av existerande stadsnät och uppbyggnad av nya nät enligt följande:

- *Förtätning av existerande stadsnät*
- *Utvidgning av existerande nät i perifera områden*
- *Nybyggnation av fjärrvärme i existerande bebyggelse med låg värmetäthet*
- *Fjärrvärme i nybyggnadsområden*

För alla dessa segment finns en optimal installationsmetod för distributionsnätet, för servisledningarna och för fjärrvärmecentralen. I Figur 4.19 ges en sammanfattande beskrivning av dessa tekniker som anses mest lämpliga för var och en av dessa segment.

Några kommentarer till Figur 4.19:

Distributionsnät:

Som framgår av figuren är den mest lönsamma åtgärden i *områden med asfalterade ytor* att bygga så smala schakt (vertikalförläggning) som möjligt, med pipelineteknik och i dygnstakt. Helst utan att behöva fodra schakten annat än i manhålerna. I vissa system (med existerande industrier mm) behövs en temperatur på 130°C, annars är 110°C optimalt. I båda fallen behövs det kompensationsåtgärder, enklare dock vid 110°C (t ex fixpunktbygga, stabiliserad sand).

I *nyexploateringsområden* utanför gatorna lönar det sig bättre att lägga rören bredvid varandra, helst okompenserat. Stålrör kan kallförläggas med enkel kompensation (fixpunktbygga) upp till 110°C, eller utan kompensation upp till 90°C framledningstemperatur, vilket oftast räcker i områden med låg värmetäthet. Om området inte kräver för höga effekter, så är plastmedierör den mest lämpade lösningen, mest utpräglad dock endast vid dimensioner < DN50. Återfyllnadsmaterial används i störst möjliga omfattning.

Följande förenklade och lineariserade kostnader anges för fjärrvärmeledningar enligt de nya teknikerna (d = är rördiametern DN i meter ¹):

¹ Alla kostnader utan moms. Prisbasis 1994.

	Existerande bebyggelse			Nyexploatering
Byggnadsstruktur	Förtätning av existerande stadsnäten	Utvidgning av existerande nät i perifera områden	Nybyggnation av fjärrvärme i existerande bebyggelse med låg värmeförbrukning	Fjärrvärme i nybyggnadsområden
Driftparameter	130°C /50°C 1,6 MPa	90 - 110°C /50°C 1,6 MPa	90 - 110°C /50°C 1,6 MPa	90 -110°C /50°C 0,6 MPa
Kostnadsminimerad Förläggning - distributionsnät	Vertikalförläggning, utan väggstöd, med stabiliserande sand eller markbruk, med kompensation och som dygns-taktbyggnation			Rörläggning bredvid varandra, utan väggstöd, utan stabilisering, enkel eller ingen kompensation, dygns-taktbyggnation
Kostnadsminimerad förläggning - servisledningar	Bredvidförläggning, utan dikesfodring, 0°-förgrening, böjrör, dygns-taktbyggnation	Bredvidförläggning, utan dikesfodring, Montage-T-gren, böjrör, dygns-taktbyggnation	Bredvidförläggning, låga borrhälsar, böj- eller plastmedierör, dygns-taktbyggnation	Bredvidförläggning, utan dikesfodring, Montage-T-gren, böj- eller plaströr, dygns-taktbyggnation
Kostnadsminimerad fjärrvärme-central	Indirekt	Direkt, utan tryckreducering, med returblandning	Direkt, med tryckreducering, utan returblandning	Direkt, utan tryckreducering, utan returblandning

Figur 4.19 Optimala systemvarianter för fortsatt fjärrvärmeutbyggnad

Ledningar i gator med återskapande av ytbeläggningar:

Konventionell teknik

$$K_{\text{rör}} = 450 + 5000 \cdot d \quad \text{DM/m.}$$

Ny teknik:

$$K_{\text{rör}} = 350 + 4000 \cdot d \quad \text{DM/m.}$$

Ledningar i nyexploateringsområden:

$$K_{\text{rör}} = 250 + 2000 \cdot d \quad \text{DM/m.}$$

Skilnaden mellan kallförlagda mantelrör- och plastmedierörkulvertar faller inom lineariseringsens felmarginal. Det blir tydligt att kostnadsreduktionen är störst för nyexploateringsområden där temperatursänkningen spelar en avgörande roll för kostnadssänkningen.

Servisledningar

Serviserna läggs i alla fall så grunt som möjligt (50 cm övertäckning) och bredvid varandra. Anslutningen till vertikalförlagda rör sker via 0°-avgångar till böjrör vid temperaturer över 110°C, annars lämpligen med prefabricerade montage-T-grenar. Vid bredvidförläggning ansluts böjrören med hjälp av låga borrhälsar till distributionsledningen. Vid låga temperaturer och tryck (90°C, 0,6 MPa) kan även plastmedierörsserviser kombineras med stålrör. En kostnadsfördel uppstår dock i detta fall först om servisledningen är längre än 12 m.

Följande förenklade kostnadsrelationer anges för servisledningar (l = servislängd i m):

Konventionell ledningsteknik:

$$\text{Anslutning till existerande nät:} \quad K_{\text{serv}} = 3600 \cdot d + 700 \cdot l \quad (\text{DM}).$$

$$\text{Anslutning i samband med nybyggnation av nät:} \quad K_{\text{serv}} = 1100 \cdot d + 700 \cdot l \quad (\text{DM}).$$

Ny ledningsteknik:

Anslutning till existerande nät:

$$K_{\text{serv}} = 2200 d + 270 \cdot l \quad (\text{DM}).$$

Anslutning i samband med nybyggnation av nät:

$$K_{\text{serv}} = 1100 d + 270 \cdot l \quad (\text{DM}).$$

Vid anslutning av serviser i samband med nybyggnation är som förväntat besparingseffekten mindre. Men bortfallet av kompensationsåtgärder gör ändå att en hel del pengar (430 DM/m) kan sparas.

Fjärrvärmecentraler

Fjärrvärmecentralernas utformning hänger ihop med tryck- och temperaturnivån i fjärrvärme-systemet. Filosofin är att tillämpa enkla lösningar eftersom reglerkomponenterna är förhållandevis dyra. Följande kostnadseffektiva lösningar kan särskiljas:

a) $T < 110^\circ\text{C}$ och $P < 0,6 \text{ MPa}$

Direktanslutning utan tryckreducering, utan returshuntning och med flödesbegränsning är den enklaste och mest lönsamma typen av FC.

b) $110^\circ\text{C} < T < 130^\circ\text{C}$ och $P < 0,6 \text{ MPa}$

Direktanslutning utan tryckreducering, men med returshuntning och med flödesbegränsning är mera fördelaktig än indirekt anslutning (med undantag för effekter $< 15 \text{ kW}$).

c) $T > 90^\circ\text{C}$, $P > 0,6 \text{ MPa}$

Indirekt anslutning är att föredra. Ett undantag är effekter $< 200 \text{ kW}$, där direktanslutning med tryckreduktion och utan returshuntning är något bättre.

Typ / Effekt	7(kW)	15	30	50	100	200	400	700	1000
Direkt, utan tryckreducering utan returshuntning (0,6 MPa, 90°C)	1710	1710	1710	1710	1810	2985	3655	4215	4795
Direkt, utan tryckreducering, med returshuntning (0,6 MPa, 130°C)	3705	3705	3705	3985	4085	5800	6970	8465	8955
Direkt, med tryckreducering, utan returshuntning (1,6 MPa, 110°C)	2910	2910	2910	2910	3005	4565	5240	6135	7040
Indirekt (1,6 MPa, 130°C)	4145	4315	4455	4885	5295	6550	9955	12290	14150
Direkt, med tryckreducering, med returshuntning (1,6 MPa, 130°C)	4905	4905	4905	5185	5630	6790	8460	10385	11200

Tabell 4.11 Kostnader i DM för fjärrvärmecentraler enligt indelningen ovan (1994):

Undercentraler för sekundärnät

Som framgår av rapporten är Tysklands förändrade filosofi att sänka distributionstemperatur och -tryck för att uppnå en väsentlig kostnadsreduktion. I vissa fall, t ex anslutning av nya områden till befintligt nät med vissa industrier eller hög linjetäthet är detta svårt att genomföra. I sådana fall kan det vara lönt att ansluta nyexploateringsområden via undercentraler till ett sekundärnät på 6 bar. Detta kan ske direkt med tryckväxlare eller indirekt via en värmeväxlare. Indirekta system ger bättre driftsäkerhet till ett något högre pris jämfört med indirekta system. Kostnadsbilden framgår av Tabell 4.16. Prisuppgifterna inkluderar även kostnaderna för en byggnad i vilken undercentralen inryms.

Effekt (MW)	Direkt (kDM)	Indirekt (kDM)
1	66 - 76	77 - 87
2	80 - 90	101 - 111
3	100 - 113	129 - 142
4	120 - 135	156 - 171

Tabell 4.16 Kostnadssammanställning för FV-undercentraler (1994)

8.3 Kostnader för nyanslutna fjärrvärmeområden

Nästa steg i analysen /9/ var att beräkna totalkostnaderna för olika typer av existerande bebyggelse som skulle nyanslutas till fjärrvärme. Tre typer av systemlösningar applicerades på fem olika typer av bebyggelse:

Systemlösningar:

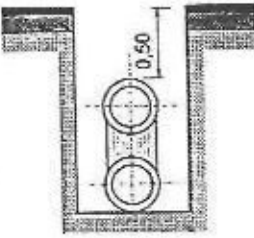
- 130/50°C; 1,6 MPa
- 110/50°C; 1,6 MPa
- 90/50°C; 0,6 MPa

De tekniska parametrarna för de olika typerna av "modellnäten" framgår av Tabell 4.20. Som det syns är modellnäten ganska stora och återspeglar situationen i många tyska städer.

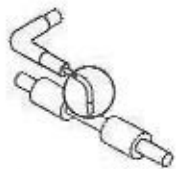
I Tabell 4.21a-d redovisas kostnaderna för systemdelarna distributionsledningar, serviser och FC separerade för tillämpningstemperatur och typ av modellnät. I tabellerna finns även förenklade systemschemata för de olika varianterna inlagda.

TYP	Äldre enfa- miljshus utanför stadskärnan	Radhus- områden	Bostadshus, 3 -5 våningar	Punkthus, 7 -11 våning- ar	Förtätad stadrand- bebyggelse
Typnummer	2	4	5	6	7
Nätlängd (m/km ²)	15 879	10 522	11 842	6 255	15 174
Antal FC (1/km ²)	1 143	1 813	689	536	1 004
Effekttäthet (MW/km ²)	20,6	21	26,5	40,4	38,8
Värmelast (MWh/år)	43 260	44 100	58 300	92 920	87 300
Anslutn eff. (kW/FC)	18	11,6	38,5	75,4	38,6
DN (130/50°C, 1,6 MPa)	50	50	50	54	50
DN (110/50°C, 1,6 MPa)	56	56	56	60,5	56
DN (90/50°C, 0,6 MPa)	66	66	66	71	66

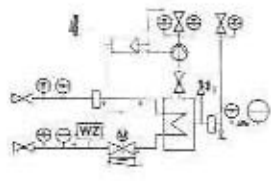
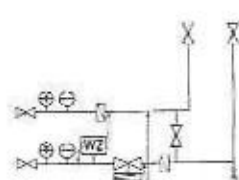
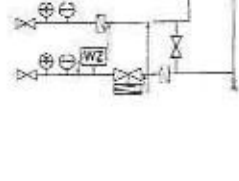
Tabell 4.20 Typiska genomsnittsparametrar för olika modellnät

Temperatur	Kodbeteckning/Typ	Schema	Storlek DN	Pris DM/m
130/50°C	VB3/2 Mantelrör med kompensation		25	447
110/50°C	VB3/2 Mantelrör med enkel kompensation		32	470
			50	526
			65	584
			80	650
			100	728
			125	840
			150	942
			200	1119
90/50°C	VB3/3 Mantelrör utan kompensation		25	405
		32	425	
		50	476	
		65	528	
		80	587	
		100	658	
		125	759	
		150	851	
		200	1012	

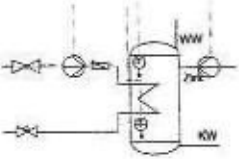
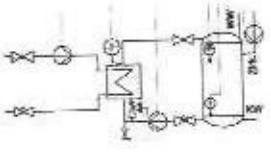
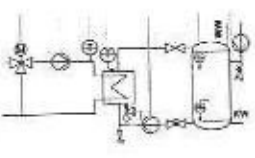
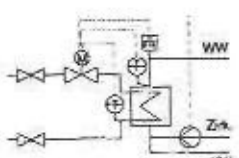
Tabell 4.21a Kostnader för konstruktion av nya fjärrvärmesystem i existerande bebyggelse med efterföljande anslutning av fjärrvärmecentraler -
Distributionsledningar ny teknik.

Temperatur	Kodbeteckning/typ	Schema	Längd m	Pris DM/m
130/50°C	Blb 1/3 böjrör		6	4592
110/50°C	Blb 2/3 böjrör (bredvid)		12	6159
90/50°C	Blb 1/4 plaströr		6	4458
	Blb 2/4 plaströr (bredvid) (för små- och radhus antas plastmedierör DN 10).		12	5903

Tabell 4.21b Kostnader för konstruktion av nya fjärrvärmesystem i existerande bebyggelse med efterföljande anslutning av fjärrvärmecentraler - **Serviser ny teknik** (inklusive avgrening och husgenomföring).

Temperatur	Kodbeteckning/typ	Schema	Storlek kW	Pris DM/m
130/50°C	HST5/5 Indirekta FC med temperatur-styrning primär och sekundär; 1,6 MPa primär resp 0,6 MPa sekundär. Säkerhetstemp- eraturvakt.		7	4840
			15	4940
			30	4940
			50	5145
			100	5575
			200	6550
			400	9955
			700	12290
			1000	14150
110/50°C	HST1/3 Kompaktsta- tion för direktanslut- ning. 0,6 MPa utan temperaturre- glering och utan re- turshuntning.		7	1710
			15	1710
			30	1710
			50	1710
			100	1810
			200	2985
			400	3655
			700	4215
			1000	4795
90/50°C	HST1/1 Kompaktsta- tion för direktanslut- ning. 0,6 MPa utan temperaturre- glering och utan re- turshuntning.		7	1710
			15	1710
			30	1710
			50	1810
			100	2930
			200	4030
			400	4795
			700	5840
			1000	6645

Tabell 4.21c Kostnader för konstruktion av nya fjärrvärmesystem i existerande bebyggelse med efterföljande anslutning av fjärrvärmecentraler - **FC-värmesystem ny teknik**.

Temperatur	Kodbeteckning/typ	Schema	antal lägenheter	Pris DM/m
130/50°C (Små- och radhus)	TWE 6/3 sekundärsidig ackumulatorvärmning med flödesbegränsning		1,4	2530
			3	3060
			6	3905
			10	6510
			20	7945
			40	10520
			100	14335
			140	16675
			200	20415
130/50°C Flerfamiljshus + randbebyggelse	TWE 3/3 sekundärsidig ackumulatorladdning utan returshuntning		1,4	2650
			3	2755
			6	3675
			10	4110
			20	5860
			40	7195
			100	9985
			140	10985
			200	13360
130/50°C Höghus	TWE 4/3 sekundärsidig ackumulatorladdning med returshuntning		1,4	3245
			3	3350
			6	4260
			10	4690
			20	5430
			40	7825
			100	10740
			140	11955
			200	14385
110/50°C 90/50°C Alla typer av bebyggelse	TWE 7/2 TWE 7/1 primärsidig genomströmningsberedare		1,4	1270
			3	1490
			6	1775
			10	1980
			20	2280
			40	2650
			100	3755
			140	4465
			200	5120

Tabell 4.21d Kostnader för konstruktion av nya fjärrvärmesystem i existerande bebyggelse med efterföljande anslutning av fjärrvärmecentraler - **FC - varmvattenberedning ny teknik.**

Som framgår av tabellerna Tabell 4.21a-d är besparingarna störst för 110/50°C systemen genom att man kan använda genomströmningsberedare för tappvatten istället för ackumulatorladdning. Man anser sig inte kunna tillämpa tekniken vid 130°C (i Sverige använder man den upp till 120°C). För ett totalt system blir besparingen större än kostnaderna för den eventuellt något större rördimensionen som krävs för serviser och distributionsledningar. Sammanfattningsvis kan det konstateras att kostnadsbilden enligt Tabellerna 4.21a-d innebär - beroende på typ av område som ska anslutas - en kostnadsreduktion med mer av 50 % jmf med tekniken 1988 för såväl distributionsledningar, serviser och FC. Det är också fördelaktigt att eftersträva enkla 90°C nät med 0,6 MPa tryck helst med flera små FC eftersom det gynnar direktanslutningen.

8.4 Allmänna strategier för FV-exploatering av områden med låg värmetetthet

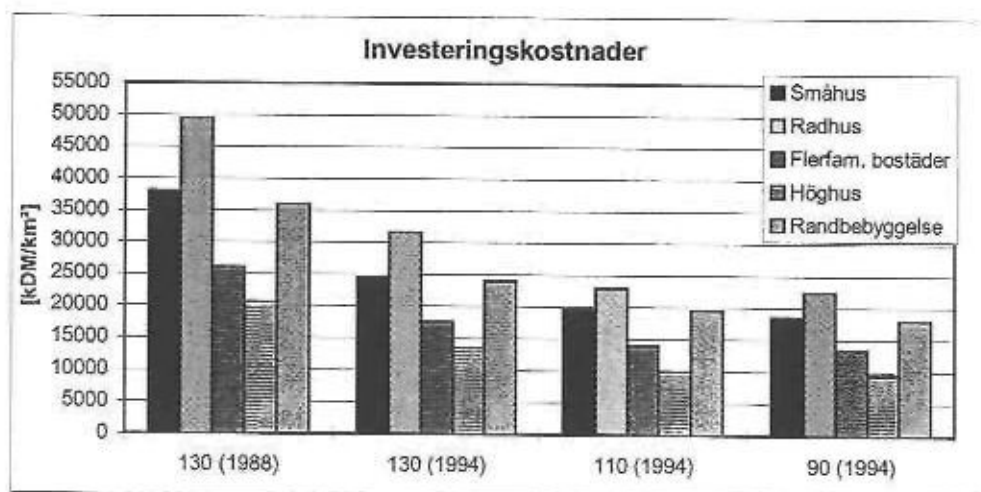
Följande moment ska användas för att sänka kostnader vid byggnation av nya fjärrvärmenät:

- Kallförläggning i dygnstakt med 90°C eller max 110°C - teknik
- Vertikalförläggning i områden med asfalterade ytor
- Förläggning av ledningar under uppbyggnadsfasen (före vägbyggnation) för att slopa asfaltåterställning
- Låga konstruktioner för förgreningar (gynnar lågt schaktdjup)
- Samförläggning med t ex vattenledningar
- Återfyllnad av kulvertgrav med befintliga massor och eventuell tillsatsfixering med stabiliserad sand ("Weimarer Bodenmörtel (markbruk)")
- Anslutning av flera byggnader till FC och husinternt 4-rörssystem
- Källarförläggning av ledningar om så möjligt
- Mekanisk förspänning av förinstallerade serviser alternativt flexibla ledningar för serviser
- Separering av lokala områden som 90°C sekundärnät
- Direktanslutna FC där expansionskärl, avstängningsventiler, temperaturvakt/begränsare kan utgå
- Eftersträv 100% anslutning

Totalkostnader för värmedistribution

Det är viktigt att påpeka att systemoptimeringen inte bör göras separat för varje systemdel, utan nätutformningen bör samoptimeras med servisledningarna och FC för att uppnå en kostnadsoptimal lösning. Totaloptimeringen har gjorts i två studier och som ett exempel visas i Figur 4.48 resultaten enligt Ref 3. Här visas de totala anslutningskostnaderna för de i tabell 4.20 angivna bebyggelse typerna. De nya teknikerna tillåter en avsevärd totalreduktion av anslutningskostnaderna, där radhusområden är dyrast i alla tekniker.

(Obs! Priset är i MDM/km² vilket för radhus betyder att det måste divideras med 1813 enligt tabell 4.20. Priset per radhus är således ca 12000 DM vilket ungefär motsvarar svenska kostnader för samma bebyggelse typ).



Figur 4.48 Totalinvesteringen i MDM/km² som funktion av bebyggelse typ

Kostnadsoptimering med hänsyn till värmeproduktionskostnaderna som funktion av framledningstemperatur

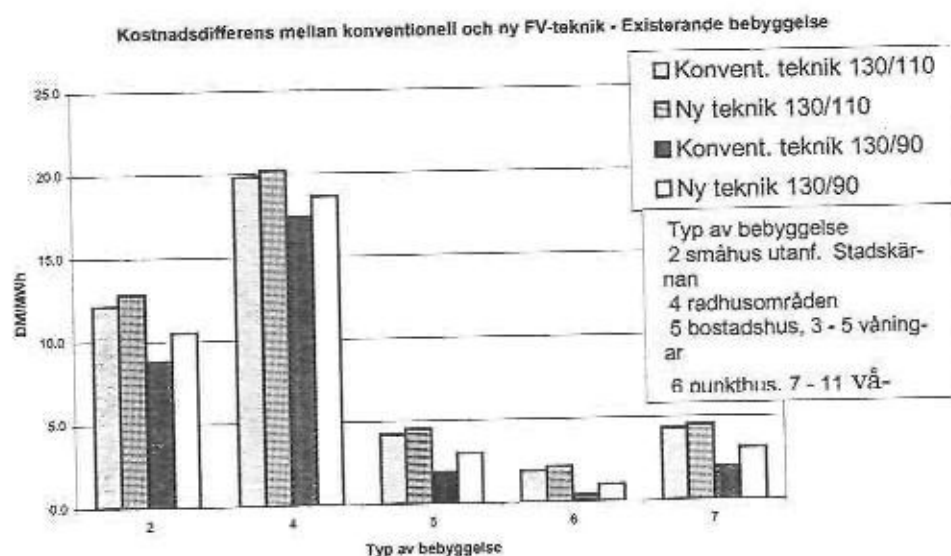
En stor del av den tyska fjärrvärmen produceras i system med kraftvärmekoppling. I sådana system är distributions- (fram-) temperaturen ingen oberoende parameter eftersom den är kopplad till systemets förmåga att producera elkraft. Normalt innebär värmeuttag en reducerad elektrisk verkningsgrad av kraftverket. Å andra sidan behövs olika mycket pumpenergi för olika distributionstemperaturer (ΔT). De vanliga kraftvärmesystemen är:

- Stora ångturbinkraftverk (600 - 1000 MW) (koleldade)
- Lokala ångkraftverk resp gaskombikraftverk (100 - 200 MW)
- Mindre gasturbiner och gaseldade blockkraftvärmeverk (5 - 50 MW)

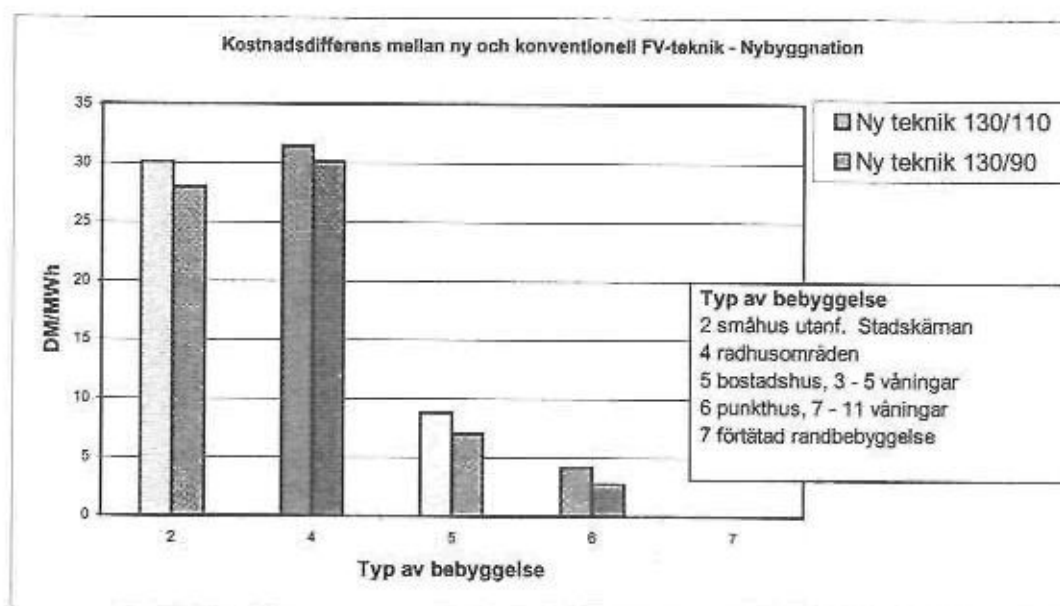
En beskrivning av detaljanalysen skulle leda för långt i det här sammanhanget, men generellt är det så att en lägre framledningstemperatur ger lägre värmekostnad, eftersom elproduktionsanläggningen kan utnyttjas med högre verkningsgrad. Värmeförlusten sjunker också, men det har mindre betydelse. Samtidigt ökar med lägre distributionstemperatur pumpenergin för samma distribuerade effekt. Viktigare är dock att kostnaderna för fjärrvärmecentralerna kan reduceras avsevärt om temperaturen sänks till 110°C resp 90°C.

En beräkning för kostnadsdifferensen för olika bebyggelsetyper har därför genomförts i vilken hela FV-systemet inklusive kostnader för produktionsbortfallet och pumpenergin optimerades. I Figur 4.57 resp 4.58 redovisas differensen mellan kostnaderna för 130 och 110°C resp 90°C system för de olika systemtyperna enligt Tabell 4.20. Som framgår av figurerna finns det för alla bebyggelsetyper en fördel i att tillämpa lägre systemtemperaturer. 110°C-systemet är billigast i anslutningar till såväl existerande nät som för nybyggnation. Detta gäller för fallet att värmeproduktionskostnaderna är 24 DM/MWh. För det fall när kostnaderna är lägre än 18 DM/MWh är den optimala distributionstemperaturen 100°C.

(Detta är ett något överraskande resultat i slutet av projektet, eftersom all tidigare lämnad information gick ut på att 90°C är den billigaste lösningen; skillnaderna är dock små).



Figur 4.57: Differenskostnader 130/110 resp 130/90 för olika bebyggelsetyper - Existerande bebyggelse.



Figur 4.58 Differenskostnader 130/110 resp 130/90°C för olika bebyggelsetyper - Nybebyggelse.

Optimal transportsträcka

Eftersom värmen i Tyskland oftast härrör från stora kraftvärmeanläggningar är det viktigt att känna till den maximalt tillåtna transportlängden för att nå ut till kunderna. Nedan sammanställs resultatet från beräkningarna baserade på en värmekostnad av 30 DM/MWh.

Max värmelast (MW)	Äldre teknik (km)	Ny teknik (km)
100	16	38
500	35	70
1000	46	80

Tabell 4.22 Maximalt tillåten värmetransportsträcka:

Det blir tydligt att den nya tekniken möjliggör fördubbling av transportradien, dvs. fyrdubbling av den uppnåbara värmelasten, en konsekvens som är ytterst viktig för att kunna ansluta nya områden.

Optimal returtemperatur

Liksom i Sverige och andra länder, är det verkliga värmebehovet i Tyskland mindre än vad byggföreskrifterna förordnar. I praktiken förekommer mycket sällan effekter som överskrider 80 % av beräknad last. Hittills har man bemött detta genom volymflödesbegränsning till ca 60 - 70 % av det nominella värdet. I princip kan man ytterligare begränsa volymflödet genom radiatorerna och på så sätt åstadkomma en sänkning av returtemperaturen, t ex från 50 till 40-45°C (95°C framledningstemperatur). Normalt kan detta uppnås genom en nyinreglering av radiatorflöden. Eventuellt måste man även räkna med en mindre förstoring av de värmeavgivande ytorna med max ca 20 %. Beräkningarna visar att en returtemperatur av 45°C (årsmedelvärde) bör kunna vara ett realistiskt mål för existerande bebyggelse och av 35°C i

nybyggnation. I det senare fallet bör radiatorytorna förstöras med ca 60 % jmf med dagens föreskrifter, en åtgärd som dock i de flesta fall är lönsam.

Sekundärnät

De slutsatser som så långt har diskuterats innebär att en lönsam framledningstemperatur för de flesta bebyggelsetyper är 110°C. Undantag är dock en blandning av industri- samt andra speciella kunder med behov av höga temperaturer och områden med småhusbebyggelse. I detta fall kan det vara lönsamt att separera dessa områden genom sekundära 90°C/0,6 MPa-nät. I Tabellen 4.37 nedan visas kostnadsdifferensen mellan ett 130°C nät och ett sekundärt 90°C lågtrycksnät för olika typer av bebyggelser. Slutsatsen är att vissa typer av bebyggelse, t ex områden med stora huskomplex i Östtyskland med hög värmeförbrukning, utgör de undantag för vilka ett 130 °C nät fortfarande kan vara mest fördelaktigt.

Bebyggelsetyp	Äldre enfamiljshus utanför stadsgränserna	Punkthus, 7-11 våningar	Citybebyggelse i större städer	Högtäthetsbebyggelse i Östtyskland
FC max last (kW)	18	75	56	700
Värmeförbrukning (MW/km ²)	20,6	40,4	80	80
Antal FC per km ²	1143	536	1500	120
Differenskostnad DM/MWh (reduktion pga. sek. nät minus undercentral)	11,28	1,14	2,39	-1,21

Tabell 4. 37: Differens av totalkostnaderna mellan två typer av FV-nät, på 130 °C resp. på 90 °C för olika typer av bebyggelse

Slutsatsen är att ju mindre FC-effekten och värmeförbrukningen i ett område är, desto större är besparingen genom att ansluta detta via ett sekundärnät till stamnätet.

9 Rekommendationer för design av nya fjärrvärmenät

De i de ovannämnda avsnitten sammanfattade huvudresultaten innebär att man i Tyskland har lagt en teknisk grund för FV-teknik som är praxis i Skandinavien. Utvecklingen av tekniker för kallförläggning, av komponenter för låga avgreningar, vertikalförläggning och återfyllning med stabiliserad sand samt återfyllnad med utschaktningsmaterialet har inneburit en förtjänstfull insats som innebär att dessa nya tekniker även kan tillämpas utanför Tyskland. Dessa tekniker har lett till att temperaturnivån kan sänkas och enklare FC-teknik kan tillämpas vilket innebär ännu större kostnadsbesparingar med tyska ögon sett. Denna FC-teknik är dock i allmänhet inte ny för Sverige, tvärtom har den oftast sitt ursprung i Sverige eller Danmark. AGFW-projektet i Tyskland har dock totalt sett lagt grunden för en fortsatt utbyggnad av fjärrvärme på en konkurrensutsatt marknad som i högre grad är sammankopplad med värmeproduktion från stora kraftvärmeverk än vad fallet är i Sverige.

Det bör dock vidare påpekas att kombinationen av mätningar och modellberäkningar ökade insikten över hur friktionsfixerade medierör beter sig i verkligheten, utan att därför behöva ändra de slutsatser som gäller den svenska praktiken för dimensionering av prefabricerade fjärrvärmeledningar. *På längre sikt kan dock resultaten innebära att belastningsgränsvärden för såväl skum som stålrör kommer att ändras.*

Avslutningsvis kan den tyska utvecklingen genom de rekommendationer som ges för fortsatt utbyggnad av fjärrvärmenäten sammanfattas sålunda:

- Framledningstemperaturer i nya större nät bör vara 110°C och i mindre nät 90°C. Glidande temperaturstyrning ska tillämpas (110/70°C resp 90/70°C).
- Nya perifera nät med låg värmetetthet ska anslutas sekundärt (90°C, 0,6 MPa) till bestående nät.
- Returtemperaturen bör med enkla åtgärder kunna sänkas i existerande nät till ca 45°C (årsmedelvärde). I nybyggnation bör 35°C eftersträvas genom förstoring av radiatorytor med 60 %.
- Temperaturerna bäddar för tillämpning av kallförläggning, vid anslutning av existerande bebyggelse med vertikalförläggning, vid nybyggnation med bredvidförläggning.
- Dygnstaktbyggnation ska om möjligt tillämpas.
- Nya komponenter som har framtagits är bl.a. 45° och 0° - anbörstutsar med låg bygghöjd, förstärkta rörböjar och förlorad kulventil eller anbörventil.
- Mekanisk förspänning, expansionskuddar och fixpunktbygga utgör en enkel kompensationsåtgärd vid 110°C, vid 90°C behövs ingen kompensation alls.
- Serviser ansluts genom anbörsteknik vid existerande bebyggelse. Vid nyexploatering rekommenderas förläggning av serviser i samband med läggning av distributionsnätet. Mekanisk förspänning eller flexrör används i det fallet.
- Plastmedierör kan tillämpas som servisledningar för 90°C pga. det enkla läggnings-sättet, vid högre temperaturer är flexibla stål- (eller koppar-) rör ett bra alternativ.
- Direktanslutning av FC bör genomföras i största möjlig omfattning. Detta ger enkla system, helst utan tryckreducering och temperaturbegränsning.
- Varmvatten bereds med genomströmningsväxlare.

- Flera hus eller bostäder ska sammankopplas till samma FC, men dimensionen på servicen bör begränsas till DN 25, eventuellt DN 32.
- Den individuella mätningen bör vid små förbrukare ske via en gemensam värmemätare och mätning av värmekostnadsfördelning resp varmvattenvolymflödet. Individuell energimätning är ingen lönsam åtgärd.
- Intrimning av kundernas värmesystem resp FC är en viktig åtgärd som bör ligga i fjärrvärmeleverantörens intresse.

10 Referenser

- [1] AGFW, D. Bartsch et al
Neuartige Techniken und Bauweisen für die Fernwärmeverteilung unter Ausnutzung statischer Grenzbereiche, neuer Werkstoffe und verbesserter Verlegetechnik. Kurz. Neuartige Wärmeverteilung – Schlussbericht. Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e.V. bei der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke. BMBF 0328789B.
- [2] M. Klöpsch, H. Zinko
Plastic Pipe Systems for DH, Handbook for Safe and Economic Application. IEA District Heating and Cooling. Novem. 1999:T6.
- [3] MVV, AGFW-Vorhaben "Neuartige Wärmeverteilung", Optimierung der funktionalen Abgrenzung zwischen Übergabestation und Übernahmestation unter Nutzung neuartiger Verlegetechnik, Bericht zu Teilziel B 1.3, Kapitel 5.3 Ermittlung der Investitionskosten. Mannheim, 1996.

Bilaga 1: Detaljerad referenslista

A1 - AGFW

Becker, M.

Standardaufgabe zur Ermittlung auslegungsbestimmender Parameter. (Standard-uppgift för framtagning av designparameter). 1990.

Becker, M.

Das Grenztragverhalten des Kunststoffmantelrohres und seiner Komponenten: Stahlmediumrohr, PUR-Schaum, PE-Mantel. (Gränsbelastningsegenskaper av prefabricerade fjärrvärmerör och dess komponenter: Stålmedierör, PUR-skum och PE-mantel). 1992.

Beilke, O., Rizkallah, V.

Standardaufgabe zur Ermittlung der Bandbreite auslegungsbestimmender Parameter – Interaktion Leitung-Boden. (Standarduppgift för framtagning av designparametrarnas bandbredd – växelverkan ledning-mark). 1990.

Beilke, O., Rizkallah, V.

Auslegung erdverlegter Fernwärmeleitungen – Berücksichtigung der Bodenparameter. (Dimensionering av markförlagda fjärrvärmeledningar med hänsyn till markparametrar). 1991.

Beilke, O., Rizkallah, V.

Bodenmechanisches Messkonzept für Feldversuche an erdverlegten Fernwärmeleitungen – Integrales Messkonzept Teil II. (Experimentell mätteknik för markförlagda fjärrvärmeledningar – integrerad mätprincip del 2). 1991.

Breitkreuz, Th.

Untersuchungen der Randbedingungen, unter denen Kostenuntergrenzen erreicht wurden. (Undersökning av randvillkoren för vilka man uppnådde de undre kostnadsgränserna). 1989.

Czaja, W.

Einfluss der Absenkung von t_{vltr} in der Kraft-Wärme-Kupplung auf die Stromkennzahl und demzufolge auf die Wärmeerzeugungskosten. (Inflytande av reduceringen av T_{fram}/T_{retur} i kraftvärmesystem på elutbytesfaktorn och följaktligen på värmekostnaderna). 1993.

AGFW

Bericht zum Stand des BMFT/AGFW-FE-Verbundvorhabens "Neuartige Wärmeverteilung". (Statusrapport BMFT/AGFW-FE-förbundsprojektet "Ny distributionsteknik"). 1990.

AGFW

Zwischenbericht zum FE-Vorhaben "Neuartige Wärmeverteilung". (Statusrapport BMFT/AGFW-FE-förbundsprojektet "Ny distributionsteknik"). 1993.

AGFW

BMFT/AGFW-FE-Statusseminar "Neuartige Wärmeverteilung". (BMFT/AGFW-FE-Statusseminarium "Ny distributionsteknik"). 1993.

AGFW

Prüfung vorliegender Versuchsergebnisse durch eine einheitliche, strukturanalytische Vergleichsrechnung nach der Methode der Finiten Elemente. (Analys av hittills framtagna försöksresultat med hjälp av en enhetlig strukturanalytisk Finit-element-beräkning). 1994.

AGFW

Vergleichende Berechnung unterschiedlicher Abgangskonstruktionen nach der Methode der Finiten Elemente. (Jämförande beräkning av olika förgreningskonstruktioner med hjälp av Finit-element-metoden). 1994.

Gabbert, U., Köppe, H.

Rechnerische Analyse des Langzeitverhaltens FCKW-freier Wärmedämmsysteme - Teil I: Berechnungsprogramm für elastisch-plastisch-viskoses Verhalten der Wärmedämmung. (Beräkningsanalys av långtidsegenskaperna för CFC-fri isolering - del I: Beräkningsprogram för elastisk-plastisk-viskosa egenskaper hos isoleringen). 1990.

Gabbert, U., Köppe, H.

Rechnerische Analyse des Langzeitverhaltens FCKW-freier Werdämmsysteme - Teil II: Blinde Vorausrechnung für Technikumversuche. (Beräkningsanalys av långtidsegenskaperna för CFC-fri isolering - del II: Beräkningsprognos angående laboratorieförsöken). 1991.

Gabbert, U., Köppe, H.

Die Methode der globalen und lokalen Strukturanalyse erdverlegter KMR-Leitungen - Stand der Technik und Weiterentwicklung. (Metod för en global och lokal strukturanalys för prefabricerade fjärrvärmerör; teknikläge och vidareutveckling). 1992.

Gabbert, U., Baumgarten, H.

Rechnerische Analyse des Komponentenversuchs am Rohrkrümmer DN 80. (Beräkningsmetod för komponenttester avseende rörböjar DN 80). 1992.

Gabbert, U., Baumgarten, H.

Spannungsberechnung für Rohrbögen DN 100 und DN 500 bei "in-plane-bending"-Beanspruchung. (Belastningsberäkning för rörböjar DN 100 och DN 500 "in-plane-bending"-belastning). 1991.

GEF Ingenjörbyrå

Beschreibung der heute gebräuchlichen Techniken der Unterverteilung, Ansätze für die Weiterentwicklung ausgehend von dem heutigen Stand der Technik. (Beskrivning av dagens tekniker för värmedistribution, förslag för vidareutveckling utgående från dagens teknik). 1989.

GEF Ingenjörbyrå

Statische Probleme der Kunststoffmantelrohrverlegung - Teil I: Hausanschlüsse an Kunststoffmantelrohrleitungen ohne Dehnungsausgleicher, Teil II: Richtungsänderungen in Kunststoffmantelrohrleitungen und ihre statische Berechnung. (Statikproblem vid installation av prefabricerade fjärrvärmerör, del I: Anslutning av serviser utan kompensationslement; del II: Riktningssändringar i prefabkulvertar och deras statiska beräkningar). 1989.

GEF Ingenjörbyrå

Neuartige Verletechnik von Kunststoffmantelrohren, Band 1 bis 4. (Ny distributionsteknik för prefabricerade fjärrvärmerör volym 1-4). 1994.

Hagedorn, P., Loose, P., Schönhoff, T.

Anforderung Netz - Kunde, Ansätze für die Weiterentwicklung, ausgehend vom heutigen Stand der Technik. (Relation nätteknik - kund. Förslag för vidareutveckling utgående från dagens teknik). 1993.

Hagedorn, P., Loose, P., Schönhoff, T.

Anforderung Netz - Kunde, Formulierung der technischen Anforderungen von der Abnehmerseite an das Versorgungsnetz für bestehende und neue Bebauung. (Relation nätteknik - kund. Kundens krav på distributionsnät i existerande och ny bebyggelse). 1993.

IFB

Rahmenkonzept für den zukünftigen statischen Nachweis. (Koncept för framtida statiska redovisningar). 1989.

IFB

Berechnung des 90°-Bogens. (Beräkning av 90°-böjar). 1989.

IFB

Zusammenfassung des Bearbeitungsstandes zum Statik-Projekt. (Lägesrapport över statikprojektet). 1990.

MVV

Entwicklung neuer Übernahme- und Übergabetechniken: Ermittlung der Wechselwirkungen zwischen den Auslegungsdaten der Unterverteilung und der Ausstattung der Hausstationen, Schaltungen der Trinkwassererwärmung, Kostenminimale Kompakthausstationen. (Utveckling av ny teknik för fjärrvärmecentraler: samspel mellan distributionstemperaturer och FC-utrustning, koppling för varmvattenberedning, prefabstationer). 1996.

MVV

Neue Konzepte der Unterverteilung in Form von Sekundärnetzen. (Nya koncept av värmedistribution med sekundärnät). 1996.

MVV

Optimierung der funktionalen Abgrenzung zwischen Übergabestation und Übernahmestation unter Nutzung neuartiger Verlegetechnik. (Optimering av systemgränserna mellan undercentraler och fjärrvärmecentraler med hänsyn till ny distributionsteknik). 1996.

MVV

Entwicklung neuer Erschliessungsstrategien, insbesondere in Gebieten geringer Wärmedichte. (Utveckling av nya exploateringsstrategier, särskilt i områden med låg värmetäthet). 1996.

Oetjen, W.

Formulierung der technischen Anforderungen von der Abnehmerseite an das Versorgungsnetz für bestehende und neue Bebauung. (Kundernas krav på distributionsnät för existerande och ny bebyggelse). 1989.

RWTÜV

Festigkeitsmässiges Messkonzept für erdverlegte Fernwärmerohrleitungen – Integrales Messkonzept Teil I. (Teknik för mätning av hållfasthet hos markförlagda fjärrvärmeledningar – Integral mätteknik del I). 1992.

Schemmel, R.

Untersuchung der Randbedingungen, unter denen Kostenuntergrenzen beim Bau von Fernwärmeleitungen in der Unterverteilung erreicht wurden. (Undersökning av randvillkoren för vilka man uppnådde de undre kostnadsgränserna för fjärrvärmedistribution). 1993.

Werner, D., Mälzer, D., Frenzel, H-W., Meyer, B.

Sicherheit und Zuverlässigkeit von verbundgeschäumten Kunststoffmantelrohrsystemen. (Säkerhet och tillförlitlighet av prefabricerade mantelrörkulvertar). 1991

Werner, D., Mälzer, D., Frenzel, H-W., Meyer, B.

Sicherheitskonzept für erdverlegte verbundgeschäumte Kunststoffmantelrohrleitungen in der Fernwärmeversorgung. (Säkerhetskoncept för markförlagda prefabricerade mantelrörkulvertar för fjärrvärmedistribution). 1991.

Winkens, H.P.

Gesamtoptimierung von Erzeugung, Transport und Verteilung unter Anwendung der für die Verteilung gewonnenen Ergebnisse. (Totaloptimering av produktion, transport och distribution med hänsyn till de inom förbundsprojektet "Ny värmedistribution" framtagna resultaten). 1997.

A 2 - Stadtwerke Mannheim

Härtel, M.

Durchführung einer Schwachstellenanalyse und Entwicklung einer rationellen Baustellenabwicklung auf der Basis von Zeitaufnahmen an Fernwärmebaustellen (Analys av svaga punkter och utveckling av ett rationellt arbetsflöde baserat på tidsrapportering på byggarbetsplatser för fjärrvärme). 1989.

Hoffmann, H.W., Dioszeghy-Günter, Z.

Neuartige Verlegetechniken für das Kunststoff-Verbundmantelrohrsystem. (Ny installationsteknik för prefabricerade fjärrvärmerör). 1995.

Hoffmann, H.W.

Stand der Technik bei Hausanschlüssen, interner MVV-Bericht. (Status för fjärrvärmecentraler, intern MVV-rapport). 1988.

Hoffmann, H.W., Metzger, M., Sitz, D.

Ermittlung von Reibungs- und Bettungskräften durch Spannungs- und Dehnungsmessungen in der Münchwälderstrasse und im Bogenbereich der Rohrdorfer Strasse. (Analys av friktions- och schaktbäddskräfter med hjälp av mätning av tryck- och skjutspänningar i Münchwälderstrasse och i rörböjen i kurvan vid Rohrdorferstrasse). 1994.

Lehmann, W.

Untersuchung der bisherigen Vergabep Praxis durch Ausschreibungen und Jahresverträge unter Berücksichtigung der technischen Aspekte der Fernwärme. (Undersökning av orderpraxis genom anbudsfrågor och årskontrakt med hänsyn till fjärrteknikens krav). 1989.

MVV

Neuartige Verlegetechniken für das Kunststoffverbundmantelrohr-System, Versuchsstand für Abzweigtechnik. (*Ny distributionsteknik för prefabricerade fjärrvärmerör, testanläggning för avgrening-ar*). 1993.

MVV

Modellnetz - Verteilungsleitungen Marienburger- und Rotbachstrasse sowie Hausanschlussleitungen. (*Modellnät – distributionsledningar Marienburger- och Rotbachstrasse samt serviser*). 1992.

Pan-Isovit

Ermittlung der Reibkräfte an vorisolierten Fernwärmeleitungen, welche übereinander und mit stabilisierten Sandmischungen eingebettet wurden. (*Analys av friktionskrafter på vertikalförlagda prefabricerade fjärrvärmerör inbäddade i stabiliserad sand*). 1992.

Pees, V.

Wissenschaftliche Begleitung eines Versuchsstandes zur statischen Überprüfung der Grenzbelastbarkeit von Fernwärmeabzweigleitungen. (*Vetenskaplig uppföljning av en testanläggning för mätning av belastningsgränserna hos fjärrvärmavgreningar*). 1995.

Schaff, B.H./SMA,

ZUKS - Zeiterfassungs- und Kalkulationssystem. Anwenderhandbuch. (*Tidsregistrerings- och kalkyleringssystem, användarhandbok*). 1992.

Schill, U

Untersuchung der Einsetzbarkeit der Saugbaggertechnik als Ersatz für den Handaushub im Bereich von vorhandenen Leitungen. (*Undersökning av möjligheterna att använda sig av suggrävar tekniken i stället för urschaktning för hand*). 1990

Sitz, D.

Vertikalverlegung einer Verteilleitung im Sperberweg. (*Vertikalförläggning av en fjärrvärmeledning vid Sperberweg*). 1992.

Wittemann, G.

Erfassung, Auswahl und Test von EDV im Fernwärmebereich. (*Tillämpning av datatekniken inom fjärrvärme*). 1989.

A 3 - EVO/Babcock

EVO Oberhausen/Babcock Rohrleitungsbau GmbH

Entwicklung eines Gehäuses zur Kapselung von Anschlusselementen für die Kopplung von Faserzement- mit Kunststoffmantelrohren. (*Utveckling av ett inkapslingselement för anslutning av asbestcemenrör till plastmantelrör*). 1994.

EVO Oberhausen/Babcock Rohrleitungsbau GmbH

Entwicklung von neuartigen Komponenten für Kunststoffmantelrohre. (*Utveckling av komponenter för prefabricerade fjärrvärmerör*). 1994.

A 4 - GEW Köln

GEF

Beanspruchung von KMR-Schweissmuffen. (*Belastning av svetsade rörmuffar*). 1989.

GEF

Kurzbericht über erste Ergebnisse der Zeitstand-Zugversuche an Schweissmuffen. (*Rapport över första resultat av långtidstest på svetsmuffar*). 1990.

GEF

Auslegungsrechnung und Messtellenplan für den Feldversuch Blumenviertel der GEW Köln. (*Projektering och mätpunktsplan för fältförsöken Blumenviertel hos GEW Köln*). 1991.

Mauer, B.

Zeitstand-Zugversuche nach Richtlinie DVS 2203 Teil 4 and Kunststoffmantelrohr-Schweisverbindungen aus Polyethylen. (*Långtidstest enligt föreskrift DVS 2203 del 4 på mantelrör-skarvar av polyetylen*). 1994.

A 5 - Völklingen

GEF

Lebensdauerermittlung für Rohre aus PE-X und PB. (*Bestämning av livslängden hos plastmedierör av PEX och PB*). 1991.

MPA Dortmund

Messbericht. (*Mätprotokoll*). 1992.

TÜV, München

Messbericht. (*Mätprotokoll*). 1994.

FVS

Kunststoffmediumrohr in FW-Netzen eine alternative zum Stahlrohr?. (*Plastmedierör i fjärrvärmenät – ett alternativ till stålror?*). 1994.

Scharff, E.H.,

ZUKS Betrachtung für Kunststoffmediumrohrtechnik. (*Funderingar över plastmedierörtekniken*). 1996.

FVS

Einsatz von vorisolierten Kunststoffmediumrohren in FW Netzen. (*Användning av preisolerade plastmedierör i fjärrvärmenät*). 1996.

A 6 - TWS Stuttgart

GEF

Begutachtung der Dichtigkeitsversuche und der Widerlagertechnik beim WKG-Rohrsystem. (*Bedömning av täthetsförsöken och vederlagstekniker i gjutjärnssystem*). 1989.

IFB

Gussrohrdichtung TWS - Beurteilung der Dichtheit der Gummigedichteten Muffe durch Berechnung mit der Finite-Elemente-Methode. (*Tätning hos gjutjärnsrör TWS – Bedömning av gummipackningens täthet med hjälp av FE-beräkning*). 1990.

IKP/Universität Stuttgart

Prüfbericht über die Untersuchung von PUR-umschäumten Fernwärmemantelrohren. (*Testprotokoll avseende PUR-skummade fjärrvärmerör*). 1990.

Schaffland, R.

Technische Beratung zur Ermittlung eines baustellengerechten Schweissverfahrens an duktilen Gussrohren für Abgänge und Rundschweiznähte. (*Tekniska råd för framtagning av en arbetsplatsanpassad svetsmetod för gjutjärnsrör för avgreningar och rundsvetsövergångar*). 1989.

TÜV Stuttgart

Probenschweissungen zur Verbindung von Abgangstutzen aus Stahl mit Grundrohren aus duktilem Gusseisen. (*Test för insvetsning av avgreningssstutsar av stål i gjutjärnsrör*). 1990.

TWS

Neue Verlegetechniken durch Einsatz wärmegeprägter kompensierender Muffenrohre aus duktilem Gusseisen sowie rationeller Verfahren beim Verlegen von Anschlussleitungen. (*Ny distributionsteknik genom användning av preisolerade kompenserande muffar av gjutjärn samt rationella metoder vid installation av serviser*). 1990.

TWS

Neue Verlegetechniken durch Einsatz wärmegeprägter kompensierender Muffenrohre aus duktilem Gusseisen sowie rationeller Verfahren beim Verlegen von Anschlussleitungen. (*Ny distributionsteknik genom användning av preisolerade kompenserande muffar av gjutjärn samt rationella metoder vid installation av serviser*). 1992.

TWS

Vorversuche an Kunststoffmantelrohren mit FCKW-freien Schäumen. (*Preliminära försök hos plastmantelrör med CFC-fria skum*). 1992.

Züger, P.

Prüfung der Dichtheit von mit Elastomeren gedichteten Muffenverbindungen in warmgehenden Leitungen bei verschiedener mechanischer Beanspruchung. (*Täthetsprov hos muffar tätade med elastomerer i varma ledningar vid olika mekaniska belastningar*). 1990.

A 7 - FN Dinslaken

Becker, M.

Spannungsverteilung im Verschleißbereich von T-Stücken. (*Belastningsfördelning i avgreningsområdet kring T-grenar*). 1991.

Beilke, O., Rizkallah, V.

Bereich über Erddruckmessungen Hauerstrasse, Versuchsstrecke der FN in Dinslaken. (*Första rapport över jordtrycksmätningar vid Hauerstrasse, försökssträcka i Dinslaken*). 1992.

GEF

Anforderungen an Versuchsstrecken. (*Krav på försökssträckor*). 1989.

GEF

Auslegungsrechnung Versuchsstrecke Rotbachstrasse der FN in Dinslaken. (*Projektering av försökssträcka vid Rotbachstrasse i Dinslaken*). 1991.

GEF

Auslegungsrechnung Versuchsstrecke Hauerstrasse der FN in Dinslaken. (*Krav på försökssträcka vid Hauerstrasse i Dinslaken*). 1991.

GEF

Berechnung der zulässigen Freigrabung bei vorgewärmter und kaltverlegter Leitung. (*Beräkning av tillåten friläggning vid förvärmad respektive kallförlagd ledning*). 1991.

GEF

Versuchsbeschreibung, Zeitstandversuche zur Ermittlung der radialen Druckfestigkeit von konventionellem und hochbelastbarem PUR-Schaum in Kunststoffmantelrohren. (*Experiment avseende långtidstest för analys av den radiala tryckhållfastheten av konventionellt respektive högbelastningsbart PUR-skum i prefabricerade fjärrvärmerör*). 1989.

Hagemeister, B., Buchner, P., Rünz, G., Schleyer, A.

Betriebliche Selbstvorspannung von Fernwärmeleitungen in der Unterverteilung, Band 1 bis 3. (*Förspänning genom förvärmning av fjärrvärmeledningar i distributionsnät*). 1995.

Himmen, H.

Geodätische Vermessung der Versuchsstrecke Rotbachstrasse der FN in Dinslaken. (*Geodätisk mätning av experimentsträcka vid Rotbachstrasse i Dinslaken*). 1991.

RWTÜV

Messbericht über die Durchführung von radialen Zeitstanddruckversuchen, Versuchstemperatur 160 °C. (*Rapport över radialtryck - långtidstest, försökstemperatur 160 °C*). 1991.

RWTÜV

Messbericht über die Durchführung von radialen Zeitstanddruckversuchen, Versuchstemperatur 140, 150, 160 °C. (*Rapport över radialtryck - långtidstest, försökstemperatur 140, 150, 160 °C*). 1991.

RWTÜV

Messbericht zur Inbetriebnahme der Versuchsstrecke Rotbachstrasse der FN in Dinslaken. (*Rapport över idrifttagandet av försökssträcka vid Rotbachstrasse i Dinslaken*). 1991.

RWTÜV

Messbericht zur Inbetriebnahme der Versuchsstrecke Hauerstrasse der FN in Dinslaken. (*Rapport över idrifttagandet av försökssträcka vid Hauerstrasse i Dinslaken*). 1991.

RWTÜV

Bogenversuch - Experimentelle Untersuchung zur Erstellung von Kennwerten eines Tellerfederpaketes und deren Auslegung zur Simulation von Erdreichbedingungen. (*Rörböjexperiment - undersökningar för bestämning av fjäderparametrarna för simulering av jordegenskaper i marken*). 1991.

RWTÜV

Bericht über eine experimentelle Untersuchung an einem 90°-Kunststoffmantelrohrbogen DN 80 mit Normalschaum. (*Rapport över en experimentell undersökning av en 90°-mantelrörbøj DN 80 med normalskum*). 1992.

A 8 - FFI Hannover

FFI

Ermittlung der Reibungskräfte an erdverlegten wärmeleitenden Leitungen zur Sicherstellung wirtschaftlicher Konstruktionen. (*Analys av friktionskrafter hos markförlagda fjärrvärmerör för framtida av ekonomiska konstruktioner*). 1991.

FFI

Beitrag zur Ermittlung der Reibungskräfte an erdverlegten FW-Leitungssystemen. (*Analys av friktionskrafter hos markförlagda fjärrvärmerör*). 1990.

FFI

Untersuchung der Reibungskräfte am KMR DN 250 sowie SMR DN 800. (*Analys av friktionskrafter hos plastmantelrör DN 250 samt stålmantelrör DN 800*). 1991.

FFI

Ermittlung der Reibungskräfte an einem kunststoffbeschichteten Stahlrohr DN 800. (*Analys av friktionskrafter hos ett plastinfodrat stålrör*). 1991.

A 9 - Stadtwerke Weimar

Bauhaus Universität Weimar

Erstmessung und Nullmessung Feldversuch 1. (*Referensmätning plus första mätning i fältförsök 1*). 1993.

Bauhaus Universität Weimar

1. Wiederholungsmessung Feldversuch 1. (*1a kontrollmätning av fältförsök 1*). 1994.

Bauhaus Universität Weimar

Nullmessung und Erstmessung Feldversuch 2 a. (*Referensmätning plus första mätning i fältförsök 2 a*). 1994.

Bauhaus Universität Weimar

1. und 2. Wiederholungsmessung Feldversuch 2 a. (*1a och 2a kontrollmätning av fältförsök 2 a*). 1995.

Bauhaus Universität Weimar

Geodätische Verschiebemessung Feldversuch 3. (*Geodätisk förskjutningsmätning fältförsök 3*). 1995.

Bauhaus Universität Weimar

Geodätische Verschiebungsmessung am Grenzzustandsversuch 1. (*Geodätisk förskjutningsmätning - försök 1 vid belastningsgränsen*). 1995.

Bauhaus Universität Weimar

2. und 3. Wiederholungsmessung Feldversuch 1. (*2a och 3e kontrollmätning av fältförsök 1*). 1996.

Bauhaus Universität Weimar

Geodätische Verschiebemessung 3°-Knick Feldversuch 3, 1. und 2. Wiederholungsmessung. (*Geodätisk förskjutningsmätning - 3°-böj - fältförsök 3, kontrollmätning 1 och 2*). 1996.

Bauhaus Universität Weimar

Geodätische Verschiebemessung T-Abzweig Feldversuch 2, 2. und 3. Wiederholungsmessung. (*Geodätisk förskjutningsmätning - T-avgrening - fältförsök 2, kontrollmätning 2 och 3*). 1996.

Bauhaus Universität Weimar

Zusammenstellung der geodätischen Verschiebemessung von 1993 bis 1995. (*Sammanfattande rapport över de geodätiska försöksmätningarna från 1993 till 1995*). 1996.

Bauhaus Universität Weimar

Geodätische Verschiebemessung in 1996. (*Geodätisk förskjutningsmätning 1996*). 1996.

Bauhaus Universität Weimar

Auswertung der Spannungs- und Verschiebungsmessungen. (*Utvärdering av belastnings- och förskjutningsmätningar*). 1996.

FEMCOS

Rechnerische Analyse des Submodells Bogen im Feldversuch Bonhoefferstrasse 1. (*Beräkningsanalys med hjälp av böjmodulen i fältförsök Bonhoefferstrasse 1*). 1993.

FEMCOS

Rechnerische Analyse des Submodells 3°-Knick DN 50 Feldversuch 3. (*Beräkningsanalys med hjälp av böjmodulen för 3°-böj i fältförsök 3*). 1995.

FEMCOS

Rechnerische Vorhersage der Belastung am Probanden. (*Beräkningsprognos för belastning på testkomponenten*). 1995.

FFI

1. Technikumversuch. (*1a laboratorieförsök*). 1992.

FFI

2. Technikumversuch (*2a laboratorieförsök*). 1992.

FFI

3. Technikumversuch (*3e laboratorieförsök*). 1992.

FFI

Untersuchung des Probanden. (*Analys av testkomponenten*). 1996.

FITR

Arbeitspapier zur 2. internen Beratung, Grenzzustandsversuch 1 - Ergebnisinterpretation. (*Diskussionsunderlag för det 2a interna arbetsmötet, försök 1 för belastningsgränser – Tolkning av försöksresultat*). 1996.

FITR

Zusammenfassung der vorläufigen Messergebnisse. (*Sammanfattning av preliminära mätresultat*). 1996.

GESO

Begleitende Temperaturmessung zum Grenzzustandsversuch 1 mit Hilfe von faseroptischer Laser-Radar-Temperaturmesstechnik. (*Temperaturmätning vid försök 1 för belastningsgränser med hjälp av faseroptisk-laser-radar-temperaturmätningsteknik*). 1995.

GESO

Bericht zum Vorversuch für den Grenzzustandsversuch 2. (*Förförsök 2 för mätning av belastningsgränserna*). 1996.

GESO

Begleitende Temperaturmessung zum Grenzzustandsversuch 2 mit Hilfe von faseroptischer Laser-Radar-Temperaturmesstechnik. (*Temperaturmätning vid försök 2 för belastningsgränser med hjälp av faseroptisk-laser-radar-temperaturmätningsteknik*). 1996.

Hempel, S., Oberender, W.

Beiträge zur Anwendung eines rechnerunterstützten Zeiterfassungs- und Kalkulationssystems für Fernwärmebaustellen - dargestellt am Beispiel der Gewerke Rohrleitungs- und Bautechnik für eine Kunststoffverbundmantelrohrtrasse. (*Tillämpning av ett datorbaserat tidsregistrerings- och kalkyleringssystem för fjärrvärmeentreprenaden – exempel från Gewerke Rohrleitungs- und Bautechnik för ett avsnitt med prefabricerade fjärrvärmeledningar*). 1993.

IGBE

Bericht über bodenmechanische Messungen beim 1. Technikumversuch. (*1a rapport över mekaniska markegenskaper i 1a laboratorieförsöket*). 1992.

IGBE

Erddruckbelastung erdverlegter Fernwärmeleitungen. (*Marktryckbelastningen hos prefabricerade fjärrvärmeledningar*). 1992.

IGBE

Zwischenbereich zur Grösse der Reibungskräfte an erdverlegten Fernwärmeleitungen. (*Interimsrapport avseende friktionskrafter hos markförlagda prefabricerade fjärrvärmeledningar*). 1993.

IGBE

2. Bericht über bodenmechanische Messungen beim 1. Technikumversuch. (*2a rapport över mekaniska markegenskaper i 1a laboratorieförsöket*). 1993.

IGBE

Korngrößenverteilung nach DIN 18 123 - Analyse des Bettungssandes Feldversuch 1. (*Kornstorleksfördelning enligt DIN 18 123 – Analys av ledningsbäddens sand fältförsök 1*). 1993.

IGBE

Bodenmechanische Messungen Feldversuch Bonhoefferstrasse 1, 1. Bericht. (*Markmekaniska mätningar fältförsök Bonhoefferstrasse 1, rapport 1*). 1993.

IGBE

Bodenmechanische Messungen Feldversuch Bonhoefferstrasse 1, 2. Bericht. (*Markmekaniska mätningar fältförsök Bonhoefferstrasse 1, rapport 2*). 1993.

IGBE

Bericht über bodenmechanische Messungen Feldversuch 2 a. (*Markmekaniska mätningar fältförsök 2 a*). 1993.

IGBE

Bodenmechanische Messungen Feldversuch Bonhoefferstrasse 1, 3. Bericht. (*Markmekaniska mätningar fältförsök Bonhoefferstrasse 1, rapport 3*). 1994.

IGBE

Ergänzender Bericht zu den bodenmechanischen Messungen für den Zeitraum 17.05.94 bis 20.05.94. (*Kompletterande rapport över markmekaniska mätningar avseende tiden 17.05.94 till 20.05.94*). 1994.

IGBE

Bodenmechanische Messungen Feldversuch Bonhoefferstrasse 1, 4. Bericht. (*Markmekaniska mätningar fältförsök Bonhoefferstrasse 1, rapport 4*). 1995.

IGBE

Bodenmechanische Messungen, Grenzzustandsversuch 1. (*Markmekaniska mätningar försök 1 avseende belastningsgränser*). 1995.

IGBE

Bericht zum Bettungswiderstand an erdverlegten Kunststoffmantelrohren. (*Friktionsbäddsmotstånd hos markförlagda prefabricerade fjärrvärmerör*). 1996.

IGBE

Bodenmechanische Messungen für den Grenzzustandsversuch 2 - 45°-T-Abgang. (*Markmekaniska mätningar försök 2 avseende belastningsgränser - 45°-T-avgrening*). 1996.

IGBE

Bodenmechanische Messungen Feldversuch 1 Bonhoefferstrasse - Abschlussbericht. (*Markmekaniska mätningar försök 1 Bonhoefferstrasse*). 1996.

MFPA Weimar

Ergebnisse Feldversuch III, Proctor- und Dichtebestimmung. (*Resultat från fältförsök III, Proctormetod och täthetsmätning*). 1995.

MFPA Weimar

Endergebnisse Feldversuch III. Proctor- und Dichtebestimmung. (*Slutresultat från fältförsök III, Proctormetod och täthetsmätning*). 1995.

MFPA Weimar

Proctor-Dichtebestimmung des Bettungsmaterials. (*Proctormetod ooch täthetsmätning av ledningsbäddmaterial*). 1995.

MFPA Weimar

Proctor-Dichtebestimmung Feldversuch 4. (*Proctormetod och täthetsmätning fältförsök 4*). 1996.

RWTüV

Grenzbelastung von Segmentschnitten bis max. 3° erdverlegter KMR-Leitungen. (*Belastningsgränser för böjsektioner upp till max 3° i markförlagda prefabricerade fjärrvärmerör*). 1992.

RWTüV

Bericht über eine experimentelle Untersuchung an einer Fernwärmeleitung - Bonhoefferstrasse Weimar. (*Experimentell undersökning av en fjärrvärmeledning Bonhoefferstrasse Weimar*). 1993.

RWTüV

Bericht über die erste Wiederholungsmessung Feldversuch 1 Bonhoefferstrasse. (*1a kontrollmätning fältförsök 1*). 1994.

RWTüV

Auslegungsrechnung für Feldversuch 1 Bonhoefferstrasse. (*Designberäkning för fältförsök 1 Bonhoefferstrasse*). 1994.

RWTÜV

Bericht über die zweite Wiederholungsmessung Feldversuch 1 Bonhoefferstrasse. (2a kontrollmätning fältförsök 1 Bonhoefferstrasse). 1994.

RWTÜV

Zusammenfassung der bisherigen Messergebnisse, 90°-Bogen, Feldversuch Bonhoefferstrasse 1. (Sammanfattning över mätresultat för 90°-böj, fältförsök Bonhoefferstrasse 1). 1994.

RWTÜV

Bericht über die Inbetriebnahme-Messung Feldversuch 2 a. (Startmätning i fältförsök 2 a). 1994.

RWTÜV

Bericht über die dritte Wiederholungsmessung am T-Abzweig Feldversuch 2 a. (3e kontrollmätning på T-avgreningen fältförsök 2 a). 1994.

RWTÜV2a

Auslegungsrechnung für Feldversuch 2 b - Reduzierung. (Designberäkning för fältförsök 2 b - rörreduktion). 1994.

RWTÜV

Bericht über die dritte Wiederholungsmessung Bonhoefferstrasse 1 und Feldversuch 2 b. (3e kontrollmätning Bonhoefferstrasse 1 och fältförsök 2 b). 1994.

RWTÜV

Zusammenfassender Bericht über bisherige Messergebnisse Feldversuch 2 a. (Statusrapport fältförsök 2 a). 1994.

RWTÜV

Bericht über die zweite Wiederholungsmessung Feldversuch 2 a - T-Abzweig. (2a kontrollmätning på T-avgreningen fältförsök 2 a). 1995.

RWTÜV

Bericht über die dritte Wiederholungsmessung Feldversuch 2 a - T-Abzweig. (3e kontrollmätning på T-avgreningen fältförsök 2 a). 1995.

RWTÜV

Vergleich und Bewertung der Auslegungsrechnungen und der Messergebnisse für Feldversuch 2 a. (Jämförelse och utvärdering av designberäkningarna och mätresultaten för fältförsök 2 a). 1995.

RWTÜV

Bericht über die Versuchsstrecke 2 b - Reduzierung/Wiederholungsmessung. (Kontrollmätning av försöksavsnitt 2 b - rörreducering). 1995.

RWTÜV

Bericht über die Messung für den Grenzzustandsversuch 1 am 90°-Bogen. (Mätning av belastningsgränser försök 1 på 90°-böj). 1995.

RWTÜV

Bericht über die zweite Wiederholungsmessung, 90°-Bogen, Feldversuch Bonhoefferstrasse 1. (2a kontrollmätning på 90°-böj, fältförsök Bonhoefferstrasse 1). 1995.

RWTÜV

Bericht über die dritte Wiederholungsmessung, 90°-Bogen, Feldversuch Bonhoefferstrasse 1. (3e kontrollmätning på 90°-böj, fältförsök Bonhoefferstrasse 1). 1995.

RWTÜV

Abschliessender Vergleich und Bewertung der Auslegungsrechnungen der Messergebnisse für die Fernwärmeleitung Bonhoefferstrasse 1. (Avslutande jämförelse och utvärdering av designberäkning och mätresultat för fjärrvärmeledningen Bonhoefferstrasse 1). 1995.

RWTÜV

Inbetriebnahme-Messung Feldversuch 3. (Startmätning fältförsök 3). 1995.

RWTÜV

Drehmoment-Messung and Kugelhähnen- Nullmessung, Erstmessung und Wiederholungsmessung. (Mätning av vridmoment i kulventiler – referensmätning, mätning och kontrollmätning). 1995.

RWTÜV

Abschliessender Bericht über die Berechnung und Messung für den Grenzzustandsversuch 1 am 90°-Bogen. (Slutrapport över beräkning och mätning av gränsbelastningsförsök 1 på 90°-böj). 1996.

RWTÜV

Abschliessender Vergleich und Bewertung der Auslegungsrechnungen und der Messergebnisse für die Fernwärmeleitung Bonhoefferstrasse 1. (*Slutjämförelse och utvärdering av designberäkningarna och mätresultaten för fjärrvärmeledningen Bonhoefferstrasse 1*). 1996.

RWTÜV

Auslegungsrechnung Feldversuch 3 - 3°-Knick. (*Designberäkning fältförsök 3 - 3°-böj*). 1996.

RWTÜV

Bericht über die erste Wiederholungsmessung der Pilotstrecke Heldrunger Strasse. (*1a kontrollmätning av pilotledning Heldrunger Strasse*). 1996.

RWTÜV

Feldversuch Heldrunger Strasse - Drehmomentmessung. (*Fältförsök Heldrunger Strasse - vridmomentsmätning*). 1996.

RWTÜV

Abschliessender Bericht und Bewertung der Auslegungsrechnungen und der Messungen am T -Abzweig Feldversuch 2 a. (*Slutrapport och utvärdering av designberäkningar och mätningar på T-avgreningen fältförsök 2 a*). 1997.

RWTÜV

Auslegungsrechnungen und Vergleich mit den Messungen für die Fernwärmeleitung Lützendorfer Strasse. (*Designberäkningar och jämförelser med mätningar för fjärrvärmeledningen Lützendorfer Strasse*). 1997.

RWTÜV/SW

Drehmoment-Messung an Kugelhähnen des Feldversuches 3. (*Vridmomentsmätning på kulventiler i fältförsök 3*). 1996.

Voigt, T.

Beiträge zur rechnergestützten Zeiterfassung und Kostenkalkulation für Leitungsbaustellen der Fernwärmeversorgung. (*Datorbaserat system för tidsregistrering och kostnadskalkylering avseende entreprenader för fjärrvärmeledningar*). 1994.

Werner, D., Berger, W.

Bodenmörtel - ein neuer tiefbautechnischer Verfüllstoff, (*Bodenmörtel (Markbruk) - ett nytt fyllnadsmaterial för markentreprenader*). Weimar 1997.

Rapportförteckning

Samtliga rapporter kan beställas hos Fjärrvärmeföreningens Förlagsservice.
Telefon: 08 - 677 26 00, Telefax: 026 - 24 90 10

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
FORSKNING OCH UTVECKLING - RAPPORTER			
1	Inventering av skador på befintliga skarvar med CFC-blåsta respektive CFC-fria fogskum	Hans Torstensson	maj-96
2	Tryckväxlare - Status hösten 1995	Bror-Arne Gustafson Lena Olsson	maj-96
3	Bevakning av internationell fjärrvärmeforskning	Sture Andersson Gunnar Nilsson	maj-96
4	Epoxirelining av fjärrvärmerör	Jarl Nilsson	sep-96
5	Effektivisering av konventionella fjärrvärmecentraler (abonnentcentraler)	Lena Råberger Håkan Walltun	okt-96
6	Auktorisation av montörer för montage av skarvhylsor och isolering Former och utvärdering	Lars-Åke Cronholm	okt-96
7	Direkt markförlagda böjar i fjärrvärmeledningar	Jan Molin Gunnar Bergström	dec-96
8	Medierör av plast i fjärrvärmesystem	Håkan Walltun Heimo Zinko	dec-96
9	Metodutveckling för mätning av värmekonduktiviteten i kulvertisoler- ing av polyuretanskum	Lars-Åke Cronholm Hans Torstensson	dec-96
10	Dynamiska värmelaster från fiktiva värmebehov	Sven Werner	mars-97
11	Torkning av tvätt i fastighetstvättstugor med fjärrvärme	H. Andersson J. Ahlgren	maj-99
12	Omgivningsförhållandenas betydelse vid val av strategi för ombyggnad och underhåll av fjärrvärmenät. Insamlingsfasen	Sture Andersson Jan Molin Carmen Pletikos	dec-97
13	Svensk statlig fjärrvärmeforskning 1981-1996	Mikael Henriksson Sven Werner	dec-97
14	Korrosionsrisker vid användning av stål- och plaströr i fjärrvärmesys- tem - en litteraturstudie	Peter Tarkpea	dec-97
15	Värme- och masstransport i mantelrör till ledningar för fjärrkyla och fjärrvärme	Daniel Eriksson Bengt Sundén	dec-97
16	Utvärdering av fuktinträngning och gasdiffusion hos gamla kulverttrör "Hisings-Backa"	Ulf Jarfelt	dec-97
17	Kulvertförläggning med befintliga massor	Jan Molin Gunnar Bergström Stefan Nilsson	dec-97
18	Värmeåtervinning och produktion av frikyla - två sätt att öka markna- den för fjärrvärmedrivna absorptionskylmaskiner	Peter Margen	dec-97

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
19	Projekt och Resultat 1994-1997	Anders Tvärne	mars-98
20	Analys av befintliga fjärrkylakunders kylbehov	Stefan Aronsson Per-Erik Nilsson	mars-98
21	Statusrapport Trycklösa Hetvattenackumulatorer	Mats Lindberg Leif Breitholtz	maj-98
22	Round Robin test av isolerförmågan hos fjärrvärmerör	Ulf Jarfelt	maj-98
23	Mätvärdesinsamling från inspektionsbrunnar i fjärrvärmesystem	Håkan Walletun	juni-98
24	Fjärrvärmerörens isolertekniska långtidsegenskaper	Ulf Jarfelt Olle Ramnäs	juni-98
25	Termisk undersökning av koppling av köldbärarkretsar till fjärrkylanät	Erik Jonson	juni-98
26	Reparation utan uppgrävning av skarvar på fjärrvärmerör	Jarl Nilsson Tommy Gudmundson	juni-98
27	Effektivisering av fjärrvärmecentraler – metodik, nyckeltal och användning av driftövervakningssystem	Håkan Walletun	apr-99
28	Fjärrkyla. Teknik och kunskapsläge 1998	Paul Westin	juli-98
29	Fjärrkyla – systemstudie	Martin Forsén Per-Åke Franck Mari Gustafsson Per-Erik Nilsson	juli-98
30	Nya material för fjärrvärmerör. Förstudie/litteraturstudie	Jan Ahlgren Linda Berlin Morgan Fröling Magdalena Svanström	dec-98
31	Optimalt val av värmemätarens flödesgivare	Janusz Wollerstrand	maj-99
32	Miljöanpassning/återanvändning av polyuretanisolerade fjärrvärmerör	Morgan Fröling	dec-98
33	Övervakning av fjärrvärmenät med fiberoptik	Marja Englund	maj-99
34	Undersökning av golvvärmesystem med PEX-rör	Lars Ehrlén	apr-99
35	Undersökning av funktionen hos tillsatser för fjärrvärmevatten	Tuija Kaunisto Leena Carpen	maj-99
36	Kartläggning av utvecklingsläget för ultraljudsmätare	Jerker Delsing	nov-99
37	Förbättring av fjärrvärmecentraler med sekundärnät	Lennart Eriksson Håkan Walletun	maj-99
38	Ändgavlar på fjärrvärmerör	Gunnar Bergström Stefan Nilsson	sept-99
39	Användning av lågtemperaturfjärrvärme	Lennart Eriksson Jochen Dahm Heimo Zinko	sept-99
40	Tätning av skarvar i fjärrvärmerör med hjälp av material som sväller i kontakt med vatten	Rolf Sjöblom Henrik Bjurström	nov-99

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
		Lars-Åke Cronholm	
41	Underlag för riskbedömning och val av strategi för underhåll och förnyelse av fjärrvärmeledningar	Sture Andersson Jan Molin Carmen Pictikos	dec-99
42	Metoder att nå lägre returtemperatur med värmeväxlardimensionering och injusteringsmetoder. Tillämpning på två fastigheter i Borås.	Stefan Petersson	mars-00
43	Vidhäftning mellan PUR-isolering och medierör. Har blåstring av medieröret någon effekt?	Ulf Jarfelt	juni-00
44	Mindre lokala produktionscentraler för kyla med optimal värmåtervinningsgrad i fjärrvärmesystemen	Peter Margen	juni-00
45	Fullskaleförsök med friktionsminskande additiv i Herning, Danmark	Flemming Hammer Martin Hellsten	nov-00
46	Nedbrytningen av syrereducerande medel i fjärrvärmenät	Henrik Bjurström	okt-00
47	Energimarknad i förändring Utveckling, aktörer och strategier	Fredrik Lagergren	nov-00
48	Strömförsörjning till värmemätare	Henrik Bjurström	nov-00
49	Tensider i fjärrkylanät - Förstudie	Marcus Lager	nov-00
50	Svensk sammanfattning av AGFWs slutrapport "Neuartige Wärmeverteilung"	Heimo Zinko	jan-01
51	Vattenläckage genom otät mantelrörsskarv	Gunnar Bergström Stefan Nilsson	jan-01
52	Diräktförlagda böjar i fjärrvärmeledningar Påkänningar och skadegränser	Sven-Erik Sällberg Gunnar Bergström Stefan Nilsson	jan-01

FORSKNING OCH UTVECKLING – ORIENTERING

1	Fjärrkyla: Behov av forskning och utveckling	Sven Werner	jan-98
2	Utvärdering av fjärrkyla i Västerås. Uppföljning av Värmeforsk rapport nr 534. Mätvärdesinsamling för perioden 23/5 – 30/9 1996.	Lars Lindgren Conny Nikolaisen	jan-98
3	Symposium om Fjärrvärmeforskning på Ullinge Wärdshus i Eksjö kommun, 10-11 december 1996	Lennart Thörnqvist	jan-98
4	Utvärdering av fjärrkyla i Västerås. Uppföljning av Värmeforsk rapport nr 534. Mätvärdesinsamling för period 2. 1/1 – 31/12 1997.	Conny Nikolaisen	juli-98
5	Metodutveckling för mätning av värmekonduktiviteten i kulvertisolering av polyuretanskum	Lars-Åke Cronholm Hans Torstensson	sept-99

Svenska Fjärrvärmeföreningens Service AB och Statens Energi-
myndighet bedriver forskningsprogram inom området fjärrvärme
hetvattenteknik och fjärrkyla.

SVENSKA FJÄRRVÄRMEFÖRENINGENS SERVICE AB

101 53 STOCKHOLM

Besöksadress: Olof Palmes gata 31, 6 tr

Telefon 08 - 677 25 50, Telefax 08 - 677 25 55

Förlagsservice, beställning av trycksaker:

Telefon 08 - 677 26 00, Telefax 08 - 677 26 05