

Bisherige und künftige statische Auslegung von Kunststoff-Mantelrohrleitungen in Fernwärmesetzen

Von Lothar Gerke-Reineke und Andreas Schleyer, Leimen *)

1 Statik im Wandel – Wie soll die künftige statische Auslegung aussehen?

Bögen, T-Stücke und Knicke in Kunststoff-Mantelrohr- (KMR-) Netzen stellen hochbelastete Komponenten des Rohrleitungsbau dar. Sogar im geraden Rohr kann bei Kaltverlegung der plastische Zustand eintreten. Mit dem Ziel, einerseits die daraus resultierenden Risiken mit Sicherheit zu beherrschen, andererseits aber unnötige Kosten im Leitungsbau zu vermeiden, sind in den letzten zehn Jahren in vielen europäischen Ländern völlig unterschiedliche nationale Auslegungsrichtlinien entstanden. Der statische Nachweis in Schweden, Dänemark, den Niederlanden, Finnland und Deutschland unterscheidet sich nicht nur in den theoretischen Grundlagen, den zulässigen Beanspruchungen und in der Anwenderfreundlichkeit, sondern er führt auch zu einer völlig anderen statischen Auslegung von KMR-Leitungen und somit zu großen Kostenunterschieden. Wenn die bisher nicht in Anspruch genommenen Sicherheitsreserven durch eine wirklichkeitsnahe statische Berechnung fachkundig genutzt werden, können alleine durch einen zeitgerechten statischen Nachweis erhebliche Kosten in der Wärmeverteilung gespart werden. Will man die KMR-Bauteile bis an den Grenzstand belasten, so muß man sowohl den tatsächlichen Beanspruchungszustand, als auch die maximale Grenztragfähigkeit berücksichtigen. Eine effiziente Materialausnutzung erfordert somit auch immer eine anspruchsvolle statische Berechnung.

Der Nutzen, der im KMR-Leitungsbau hieraus gezogen werden kann, ist beachtlich:

- wesentlich kürzere und dünnere Dehnpolster, teilweise sogar völliger Verzicht auf Dehnpolster,
- Wegfall zulässiger Verlegelängen oder thermischer Vorspannung,

- längere direkte (unkompensierte) Hausabgänge ohne Parallelabzweig,
- größere Knickwinkel,
- engere Radien von Bogenrohren.

Im Rahmen der Unichal und auch der Europäischen Normung (CEN) wird nun versucht, die statische KMR-Auslegung international zu vereinheitlichen. Bei diesem Vorhaben ist es besonders wichtig, die wirtschaftlichen Konsequenzen zu beachten. Ziel dieses Beitrages ist es, anhand eines typischen Trassenbeispiels exemplarisch auf wesentliche Unterschiede von drei grundsätzlich verschiedenen Auslegungsmöglichkeiten hinzuweisen. Die Betrachtung kann nicht vollständig sein, sondern soll nur zeigen, welchen großen Einfluß die künftige statische Auslegung auf die Kosten des Leitungsbau hat und wie wichtig deshalb die Inhalte der geplanten europäischen Norm sein werden.

2 Vergleich verschiedener Auslegungsmöglichkeiten

Die Gegenüberstellung der statischen Auslegungen basiert auf einem Netzausschnitt, dessen gewünschter Trassenverlauf in Bild 1 als Polygonzug dargestellt ist.

Betrachtet wird ein Netzausschnitt zwischen den natürlichen Festpunkten NFP1 und NFP2, dessen Trassenverlauf durch zwei Richtungsänderungen von 90° und 30° gekennzeichnet ist. Die Nennweite der Hauptleitung ist DN 200, die der Abzweige DN 40. Die Überdeckungshöhe der Hauptleitung beträgt 80 cm. Die Länge der Hausanschlußleitungen schwankt zwischen 10 und 25 m. Die maximale Betriebstemperatur beträgt 130 °C.

Für diese Trassensituation wurde nun in Vergleichsberechnungen die Auslegung nach drei verschiedenen Möglichkeiten vorgenommen:

- nach AGFW-Richtlinie »Kunststoff-Verbundmantelrohre« [1],
- nach schwedischer Richtlinie »Värmeforsk, rapport 185« [2],
- mit exakter Schnittlastbestimmung, detaillierter Spannungsermittlung und Ermüdungsnachweis für Sekundärspannungen [3].

2.1 Bisherige Auslegung nach AGFW-Richtlinie

Die AGFW-Richtlinie [1] ist eine noch heute in Deutschland gültige Auslegungsrichtlinie. Sie hat unter Einhaltung bestimmter Randbedingungen (z. B. Begrenzung der zulässigen Axialspannung) mit einfachen Näherungslösungen (Hohlraum-Modell) eine Auslegung ermöglicht, die inzwischen als überholt anzusehen ist. Die bisherige konservative Auslegung erfordert bestimmte Bauweisen (z. B. Einhaltung zulässiger Verlegelängen oder Vorwärmung, Parallelabzweige) und Kompensationsmöglichkeiten (z. B. unnötig lange Dehnpolster), die die Kosten des Leitungsbau spürbar belasten. Die AGFW-Richtlinie enthält als Auslegungshilfen mehr als 200 Arbeitsdiagramme.

2.2 Auslegung nach Schwedischer Richtlinie

Eine Möglichkeit der künftigen statischen Auslegung stellt die schwedische

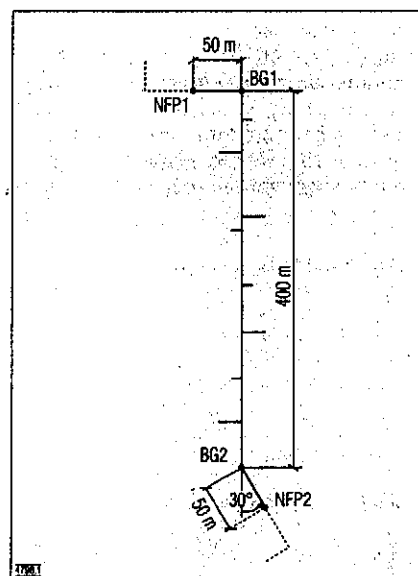


Bild 1. Trassenverlauf als Polygonzug

Figure 1. Routing of the line as draft of traverse

*) Dipl.-Ing. L. Gerke-Reineke und Dr.-Ing. A. Schleyer, GEF Ingenieurgesellschaft für Energietechnik und Fernwärme mbH, Leimen.

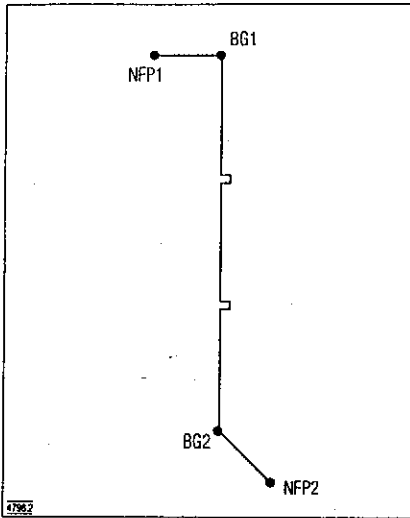


Bild 2. Konventionelle Verlegung

Figure 2. Conventional laying

Richtlinie [2] dar, in der das Verfahren nach ANSIB 31.1 um den Spannungsanteil aus Normalkraft erweitert und der low-cycle-fatigue Bereich einbezogen wurde. Diese Richtlinie besticht durch besonders anwenderfreundliche und kompakte Arbeitsdiagramme. So sind z. B. für die Dehnpolsterausstattung von L-Systemen im gesamten Nennweitenspektrum nur zwei Arbeitsdiagramme erforderlich. Die Verschiebungen am Leitungsende werden aber sehr konservativ so ermittelt, daß im gesamten Gleitbereich ungehinderte (reibungsfreie) Wärmedehnung angesetzt wird. Durch die Berücksichtigung der Bettungsreaktion bei der Schnittlastbestimmung und die Zulassung einer PUR-Druckbelastung von 0,3 MPa führt die schwedische Richtlinie in ihrem Geltungsbereich trotzdem vielfach zu günstigeren Auslegungen als die AGFW-Richtlinie.

2.3 Exakte Berechnung

Eine andere Form der künftigen statischen Auslegung besteht in der exakten Schnittlastbestimmung unter Berücksichtigung der Bettungsreaktion mit detaillierter Spannungsermittlung und Ermüdungsnachweis für Sekundärspannungen. Die Grundlagen der exakten Berechnung wur-

den bereits im Fernwärme-Jahrbuch 1990 [11] dargestellt. Die im AGFW-Forschungsvorhaben »Neuartige Wärmeverteilung« [8] erarbeiteten Versuchsergebnisse werden in die Auslegung einbezogen.

Die inzwischen erheblich gestiegene Leistungsfähigkeit moderner PC ermöglicht seit ungefähr zwei Jahren den Einsatz von EDV-Programmen, die diesen hohen Berechnungsaufwand problemlos leisten. Hier werden Vergleichsberechnungen mit einem marktgängigen Programm [3] durchgeführt, das in Deutschland und Österreich verbreitet ist, aber bereits auch von Anwendern in Dänemark und Schweden genutzt wird.

3 Ergebnisse der Vergleichsberechnungen

Die Betrachtung wird, der besseren Übersicht halber, gesondert für die einzelnen Bauteile

- gerades Rohr,
- Bogen 1
- Bogen 2,
- Hausabgänge,

vorgenommen, obwohl teilweise auch Wechselwirkungen untereinander bestehen. So vervielfacht z. B. die Kaltverlegung der langen Geradrohrabschnitte die Belastung der Bögen und T-Stücke.

Aus den umfangreichen Untersuchungsergebnissen werden hier nicht die Detailergebnisse, sondern nur markante Unterschiede, die sich auf die Kosten des Leitungsbaus auswirken, genannt.

3.1 Gerades Rohr

Der betrachtete Netzausschnitt ist durch einen 400 m langen Geradrohrabschnitt gekennzeichnet. Die beiden Richtliniennetze [1] und [2] beschränken die Axialspannungen im geraden Rohr und lassen ohne Vorwärmung auch keine beliebig lange Geradeausverlegung zu. Nur wenn diese Voraussetzung eingehalten ist, gelten die zur Verfügung gestellten Arbeitsdiagramme.

3.1.1 AGFW-Richtlinie

In der bisherigen Auslegung [1] sind die zulässigen Axialspannungen auf 190 MPa beschränkt. Um diese Axialspannung nicht zu überschreiten, ist es erforderlich, die Strecke vorzuwärmen, oder »konventionell« zu verlegen, also zulässige Verlegelängen einzuhalten. Durch eine Vorwärmung der Leitung auf 70 °C werden die Axialspannungen auf ± 140 MPa begrenzt. Wenn die Strecke nicht vorgewärmt verlegt werden kann, z. B. weil das Offenhalten des geraden Trassenabschnittes über einen längeren Zeitraum aus Gründen der Verkehrsführung nicht möglich ist, so muß konventionell verlegt werden.

Mit einer Reibkraft von 6,43 kN/m ergibt sich eine zulässige Verlegelänge von 180 m zwischen zwei Kompensationsstellen. In der Geradrohrstrecke zwischen BG1 und BG2 sind dann zwei zusätzliche Kompensationsmöglichkeiten, z. B. U-Bögen, erforderlich, wie dies in Bild 2 dargestellt ist.

- Thermische Vorspannung oder
- zwei U-Bögen erforderlich.

3.1.2 Schwedische Richtlinie

Auch die schwedische Richtlinie [2] beschränkt die Axialspannung im geraden Rohr. Wenn nicht vorgewärmt werden kann, beträgt die zulässige Verlegelänge für St. 37.0 147 m, wobei darin auch 3 °-Knicke (Segmentschnitte vorhanden sein dürfen). Verzichtet man auf Knicke ($\alpha = 0$), so erhöht sich die zulässige Verlegelänge zwischen zwei Kompensationsstellen auf 206 m. Auch nach der schwedischen Richtlinie ist somit ein Kompensator (z. B. ein U-Bogen) zwischen Bogen 1 und Bogen 2 erforderlich.

- Thermische Vorspannung oder
- ein U-Bogen erforderlich.

3.1.3 Exakte Berechnung

Eine Begrenzung der Axialspannungen ist heute bei kleinen und mittleren Nennweiten aus statischer Sicht nicht mehr erforderlich. Die entsprechenden theoretischen und praktischen Nachweise wurden in Dinslaken erbracht [4; 5]. Die dort bei der betrieblichen Selbstvorspannung (Kaltverlegung) gewonnenen Erfahrungen wurden in jüngster Zeit in mehreren anderen Bauvorhaben erfolgreich genutzt und bestätigt. Bei der Kaltverlegung sind weder U-Bögen noch die thermische Vorspannung erforderlich. Es können normale, unverstärkte Geradrohre eingesetzt werden, wobei mit Sicherheit kein Stabilitätsversagen auftritt. Allerdings müssen die Besonderheiten der Kaltverlegung beachtet werden. So müssen T-Stücke, die hohen Axialspannungen ausgesetzt sind, verstärkt werden. Im Bogenbereich müssen die größeren Dehnwege aufgenommen

men werden. Segmentschnitte (Knicke) sind zur Zeit noch zu vermeiden.

- Weder U-Bogen noch thermische Vorspannung erforderlich.

3.2 Bogen 1

Die Dimensionierung von Bogen 1 wird anhand eines statischen L-Systems vorgenommen, das von NFP1 bis zur Mitte der Strecke BG1/BG2 reicht und das in *Bild 3* dargestellt ist.

3.2.1 AGFW-Richtlinie

- Bei vorgewärmter Verlegung ist eine unproblematische – im Vergleich zur exakten Berechnung allerdings überdimensionierte – Dehnpolsterausstattung möglich.
- Bei konventioneller Verlegung (mit U-Bögen) wird die Dehnpolsterdicke so groß, daß das Dehnpolster mechanisch vorgespannt oder nachträglich eingeerdert werden muß. Die Dehnpolsterlängen sind überdimensioniert.
- Eine Dehnpolsterausstattung für Kaltverlegung ist unzulässig, weil die Berechnungsannahmen der Richtlinie nicht eingehalten sind.

3.2.2 Schwedische Richtlinie

- Bei vorgewärmter Verlegung ist eine Dehnpolsterausstattung möglich. Die Auslegungsdiagramme basieren aber auf einer zulässigen radialen PUR-Druckfestigkeit von 0,3 MPa, die nach heutigem Erkenntnisstand mindestens um 100 % zu hoch erscheint. Eine Korrekturmöglichkeit, also eine Anwendung der Arbeitsdiagramme, die zu einer niedrigeren PUR-Belastbarkeit führt, ist für den Benutzer nicht möglich. Die zusätzliche PUR-Scherspannung im Bereich von Querspannungen wird nicht berücksichtigt. Bei kleinen Verschiebungen sind nach der schwedischen Richtlinie überhaupt keine Dehnpolster erforderlich, was zur Überbeanspruchung des PUR-Schaumes und des HDPE-Mantelrohres führen kann.
- Bei konventioneller Verlegung mit einem U-Bogen ist eine Dehnpolsterausstattung überhaupt nicht mehr möglich, vielmehr ist der Bau eines Dehnungskanals erforderlich. Dies führt zu einer spürbaren Verteuerung der Baumaßnahme. Wenn nach der schwedischen Richtlinie Dehnpolster eingesetzt werden können (z. B. bei geringeren Verlegelängen oder größeren Überdeckungshöhen), so ist deren Dicke in der Regel mehr als doppelt so groß, wie die erforderliche Dicke, die sich aus der exakten Berechnung unter Berücksichtigung der Bettungsreaktion der Dehnpolster ergibt. Dies geht auch aus ei-

nem anderen im Auftrag der AGFW durchgeführten Vergleich unterschiedlicher Berechnungsverfahren hervor [6].

- Eine Kaltverlegung ist nach schwedischer Richtlinie grundsätzlich nicht möglich. Die Kompensation in Hohlräumen kann aber auch für große Verschiebungen ausgelegt werden, wie sie z. B. bei kaltverlegten Kunststoff-Mantelrohren oder frei beweglichen Leitungen auftreten. Die Länge des Dehnkanals ist dann so bemessen, daß wieder eine PUR-Druckspannung in der Einspannstelle von 0,3 MPa auftritt, die als zu hoch angesehen wird.

3.2.3 Exakte Berechnung

- Sichere und wirtschaftliche Dehnpolsterausstattung auch für den kritischen Fall der Kaltverlegung möglich. Durch mechanisches Vorspannen oder nachträgliches Einerdern kann die Dehnpolsterdicke auf 80 mm reduziert werden. Die Einhaltung aller zulässigen Stahl-, PUR- und PE-Spannungen ist am gesamten System gewährleistet.

3.3 Bogen 2

Richtungsänderungen mit Ablenkswinkeln von rd. 10° bis ca. 60° können im Kunststoff-Mantelrohr-System mit Dehnpolstertechnik wegen der Größe der auftretenden Querverschiebungen gar nicht beherrscht werden. Als technische Lösungen kommen hier nur in Frage:

- Einsatz von Bogenrohren,
- Einsatz eines schiefwinkligen U-Bogens,
- Einsatz eines querbelastbaren Bogens ohne Dehnpolster.

Der Einsatz von Bogenrohren ist nach allen Auslegungsrichtlinien grundsätzlich möglich, wenn ausreichend große Trassenradien gewählt werden und der so dimensionierte Trassenbogen auch tatsächlich gebaut werden kann (Materiallieferung, Platzbedarf, usw.). Die meisten Regelwerke stellen aber noch keine Dimensionierungstabellen zur Verfügung. Der Einsatz von Bogenrohren wird deshalb

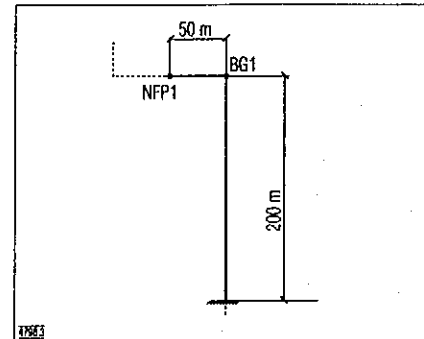


Bild 3. Statisches System für die Auslegung von Bogen 1

Figure 3. Static system for the design of bend 1

hier nicht weiter vertieft. Bei querbelastbaren Bögen [7] handelt es sich um eine neue Entwicklung im Teilprojekt der GEW Köln AG innerhalb des AGFW-Verbundforschungsvorhabens »Neuartige Wärmeverteilung« [8]. Hierbei wird im Bogen die Druckfestigkeit des PUR-Schaumes durch die Zugabe von Blähglasgranulat um den Faktor 10 erhöht. Die höhere Belastung des Mediumrohres kann durch eine größere Wanddicke im Bogen aufgenommen werden.

3.3.1 AGFW-Richtlinie

- Selbst bei Vorwärmung ist die Abwinklung nicht als L-System mit Dehnpolstern realisierbar (Querverschiebungen: ± 115 mm).
- Für vorgewärmte Verlegung ist ein schiefwinkliger U-Bogen mit Dehnpolstern erforderlich.
- Bei konventioneller Verlegung ist der Bau eines schiefwinkligen U-Bogens erforderlich. Der U-Bogen muß mechanisch vorgespannt oder nachträglich eingeerdert werden.
- Der Nachweis für einen querbelastbaren Bogen ist nicht möglich.

3.3.2 Schwedische Richtlinie

- Ein L-System mit Dehnpolstern ist weder für die vorgewärmte noch für die konventionelle Verlegung möglich.
- Für vorgewärmte Verlegung ist ein schiefwinkliger U-Bogen mit Dehnpolstern erforderlich.

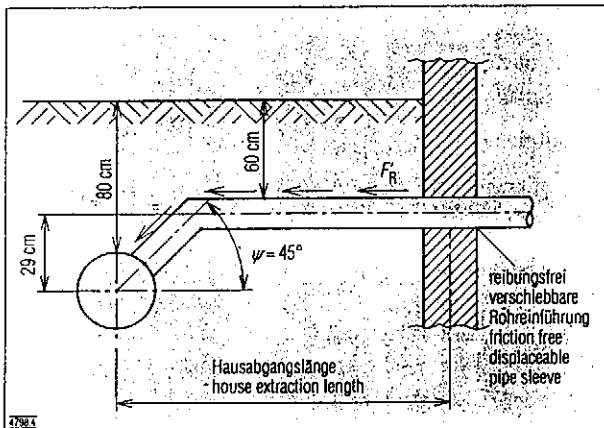


Bild 4. Statisches System und Abmessungen für T-Stück (Prinzipiskizze)

Figure 4. Static system and measures for T-piece (schematic diagramme)

- Für konventionelle Verlegung ist der Einsatz eines schiefwinkligen U-Bogens erforderlich. Der U-Bogen muß aber im Hohlraum, also in einem Schacht oder Dehnungskanal untergebracht werden.
- Der Nachweis für einen querbelastbaren Bogen ist nicht möglich.

3.3.3 Exakte Berechnung

- Die mit Abstand kostengünstigste Lösung wird mit querbelastbaren Bögen erreicht. Selbst bei Kaltverlegung kann dann die 30°-Richtungsänderung mit einem Bogen von 2 m Schenkellänge ohne Dehnpolster realisiert werden.

3.4 Hausabgang

Die Kosten der Unterverteilung sind entscheidend von der Auslegung der Hausabgänge geprägt. Bei kleinen Hausabgangslängen werden bereits heute unkomensierte T-Abzweige eingesetzt. Bei größeren Hausabgangslängen ist der statische Nachweis nur mit erheblichem Aufwand (FEM-Berechnungen) zu führen, weshalb Parallelabzweige noch sehr verbreitet sind. Wenn es gelingt, für die häufig auftretenden Hausanschlußlängen

zwischen 5 m und 20 m die Parallelabzweige durch unkomensierte T-Abzweige zu ersetzen, können die Kosten der Hausanschlußleitungen um mehr als 25 % reduziert werden. Es wird daher untersucht, welche Längen für T-Abzweige die drei Auslegungsmöglichkeiten zulassen. Bei großen Hausabgangslängen können verstärkte T-Stücke eingesetzt werden. Bild 4 zeigt die Situation am T-Stück nach [12].

3.4.1 AGFW-Richtlinie

Die Auslegung basiert auf einer konservativen Näherungslösung mit zahlreichen Vereinfachungen. Für praxisrelevante Abgangslängen können keine unkomensierten T-Abzweige zugelassen werden

- längster möglicher T-Abzweig (T-Stück unverstärkt): rd. 3 m
- längster möglicher T-Abzweig (T-Stück verstärkt): rd. 5 m

3.4.2 Schwedische Richtlinie

Die schwedische Richtlinie stellt Arbeitsdiagramme zur Verfügung, die auch die globale Nachgiebigkeit der Hauptleitung und somit deren Bettung im Bereich des T-Stückes berücksichtigen. Es wird zwischen direkter Einderung, Dehnpolster und Hohlraum unterschieden. Wenn die axiale Bewegung der Hauptleitung mehr als 20 mm beträgt, ist eine Abpolsterung der Abzweigleitung mit Dehnpolstern nicht mehr zulässig. Der Abzweig muß dann in einem Hohlraum (Schacht) vorgenommen werden. Bei direkter Einderung des T-Stückes im Haftbereich sind deutlich längere unkomensierte T-Abzweige als nach der AGFW-Richtlinie zulässig. Die genannten Maße beziehen sich auf ein ΔT von 100 K.

- längster möglicher T-Abzweig (T-Stück, unverstärkt): rd. 7 m
- längster möglicher T-Abzweig (T-Stück, verstärkt): rd. 10 m

3.4.3 Exakte Berechnung

Die Grundlagen für eine exakte Berechnung der T-Stücke (Flexibilitäts- und Spannungserhöhungsfaktoren für die Einheitslastfälle) liegen noch nicht allgemein verfügbar vor und werden daher in markt-gängigen Programmen auch noch nicht genutzt. Es wurden aber bereits Einzelberechnungen durchgeführt, in denen für die exakt berechneten Schnittlasten am Stabwerk eine Spannungsermittlung für das T-Stück mit der Finite-Element-Methode (FEM) vorgenommen wurde [9]. Damit können unkomensierte T-Abzweige mit über 20 m Hausabgangslänge rechnerisch nachgewiesen und in die Praxis umgesetzt werden [10]. Die Zahlenbeispiele zeigen, wie groß das durch exakte Berechnung nutzbare Einsparpotential ist

- längster möglicher T-Abzweig (T-Stück, verstärkt): rd. 22 m

4 Zusammenfassung

Der hier durchgeführte Vergleich verschiedener Auslegungsmöglichkeiten bezieht sich nur auf ein willkürliches Trassenbeispiel und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Es zeigt aber doch, wie wichtig es ist, daß bei einer zukünftigen europäischen Vereinheitlichung der statischen Auslegung eine Lösung gefunden wird, die möglichst kostengünstige Bauweisen zur Folge hat. Wenn die Kosten des Fernwärmeleitungsbaus durch eine unnötig konservative statische Auslegung um nur 5 % erhöht würden, hätte dies allein in Deutschland einen jährlichen volkswirtschaftlichen Schaden in Höhe von 25 000 000,- DM. Mit einem Bruchteil dieser Summe könnten europaweit wirtschaftliche Auslegungsrichtlinien geschaffen werden, die auf Jahre hinaus von Nutzen wären.

Die bisher von den Autoren durchgeführten Vergleichsberechnungen gestatten wegen des stichprobenartigen Untersuchungsumfanges keine abschließende Bewertung der Auslegungsrichtlinien. Es fehlt auch der Vergleich mit anderen nationalen Regelwerken, z. B. der dänischen

Richtlinie. Aus den nur punktuellen Gegenüberstellungen können unter den genannten Vorbehalten aber trotzdem wichtige Schlußfolgerungen gezogen werden:

- Die AGFW-Richtlinie hat zu Beginn der achtziger Jahre vertrauensbildend die breite Einführung des KMR-Systems in Deutschland ermöglicht. Sie ist heute jedoch überholt und bedarf dringend einer Überarbeitung.

- Die schwedische Richtlinie enthält zahlreiche interessante Anregungen, die für die zukünftige Auslegung genutzt werden können. Besonders der Aufbau und die Handhabung sind anwenderfreundlich. Aus heutiger Sicht ist aber eine bessere Materialausnutzung möglich, wenn die auftretenden Verschiebungen mit ihrer tatsächlichen Größe in die Dimensionierung eingehen und wenn anstelle der pauschalen Spannungsvergleichswerte nach ANSI mit den tatsächlichen Spannungen gerechnet wird. Kostenuntergrenzen lassen sich mit der schwedischen Richtlinie nicht erreichen, denn

- bei größeren Verschiebungen werden Hohlräume (Dehnungskanäle) erforderlich,

- die Kaltverlegung ist nicht zugelassen – und auch bei den zulässigen Hausabgangslängen ist der Spielraum noch nicht ausgeschöpft.

- Eine exakte Berechnung nutzt die bisher nicht in Anspruch genommenen Konservativitäten besser als die vorgenannten Auslegungsrichtlinien und bietet die Möglichkeiten zusätzlicher Kostenreduzierungen im Leitungsbau. Will man die KMR-Bauteile bis an den Grenzzustand belasten, so muß man sowohl den tatsächlichen Beanspruchungszustand, als auch die maximale Grenztragfähigkeit berücksichtigen. Eine effiziente Materialausnutzung erfordert somit auch immer eine anspruchsvolle statische Berechnung.

Ein weiterer Vorteil einer exakten Berechnung liegt in der Tatsache, daß diese auch bei sich ändernden Erkenntnissen zur Belastbarkeit der verwendeten Werkstoffe einsetzbar bleibt. Beispielsweise können neue Schaumentwicklungen (druckfester Schaum, FCKW-freier Schaum) unmittelbar bei der Auslegung berücksichtigt werden.

- Bei den Vergleichsberechnungen wurde die Problematik von Arbeitsdiagrammen deutlich. Derartige Auslegungshilfen können zwangsläufig nur auf dem jeweils aktuellen Kenntnisstand zur Beanspruchung und Belastbarkeit der beteiligten Werkstoffe beruhen. Weiterentwicklungen und neue Erkenntnisse begrenzen eine sinnvolle Nutzung von Arbeitsdiagrammen auf kurze Zeiträume, und die Praxis hat gezeigt, daß mangels Überarbeitung von veralteten Diagrammen vermeidbare Kostennachteile beim Leitungsbau entstehen.

Erfahrungsgemäß werden Auslegungsrichtlinien nur in relativ langen Zeitabständen überarbeitet. Mit Regelwerken, deren Anwendung sich im wesentlichen auf Arbeitsdiagrammen abstützt, sind Kostenuntergrenzen nicht erreichbar. Es muß sichergestellt sein, daß die Berechnungsmethode von den Lastannahmen bis zur Spannungsermittlung und -bewertung eindeutig und nachvollziehbar dargestellt wird.

Anwendergerechte EDV-Programme sind im Hinblick auf Flexibilität und Anpaßbarkeit den starren Arbeitsdiagrammen deutlich überlegen.

Die neuartige statische Auslegung ist nicht das einzige Instrument zur Kostensenkung bei der KMR-Verlegung. Wesentliche Beiträge liefert z. B. das AGFW-Verbundforschungsvorhaben »Neuartige Wärmeverteilung« [8]. Hierzu gehören konstruktive Entwicklungen wie der querbelastbare Bogen [7], geänderte Netzkonzepte mit abgesenkten Vorlauftemperaturen oder andere Verlegestrategien, z. B. die Übereinanderverlegung. Die neuartige Statik verhilft aber auch diesen Ansätzen zu einer größeren Kostenwirksamkeit, indem sie ermöglicht, z. B. mit querbelastbaren Bögen beliebige Richtungsänderungen zu realisieren, und die Abmessungen des Bauteils zu minimieren. Im Zusammenwirken mit anderen Instrumenten wird die Statik künftig eine »Schnellverlegung« von Kunststoff-Mantelrohren ermöglichen, die eine sofortige Verfüllung der Gräben gestattet. Dies wird zu weiteren Kostensenkungen durch kürzere Bauzeiten führen.

5 Schrifttum

- [1] AGFW-Arbeitsmappe; Kunststoff-Verbundmantelrohre für Fernwärmeleitungen AGFW, Frankfurt (Main) (1983).
- [2] *Andersson, S.; Carlsson, H.; Molin, J.; Olofsson, D.*: Spänningsanalys av fjärrvärmeledning, Del 2, Del 3. Värmeforsk, Stockholm (1985) und (1987).
- [3] GEFKMR: Programm zur statischen Berechnung und Optimierung von Kunststoff-Mantelrohren GEF Gesellschaft für EDV-Software mbH, Leimen (1986, 1992).
- [4] *Küppers, P.; Becker, H. M.; Schleyer, A.; Kastaun, H.*: Kaltverlegung von Kunststoff-Mantelrohren 3R international, 29, H. 9 (1990).
- [5] *Küppers, P.; Becker, H. M.; Schleyer, A.; Kastaun, H.*: Betriebliche Selbstvorspannung von Fernwärmeleitungen. Forschungsbericht – Nichtnukleare Energieforschung – BMFT, (1991).
- [6] *Hartmann, R.*: Vergleich unterschiedlicher Berechnungsverfahren für erdverlegte Rohrleitungen anhand des Beispiels eines L-Systems DN 300. Ausarbeitung des TÜV Südwest im Auftrag der AGFW, AGFW, Frankfurt (Main) (1992).
- [7] *Gerke-Reineke, L.; Schleyer, A.*: Entwicklung, Prüfung und Einsatzmöglichkeiten von querbelastbaren Kunststoff-Mantelrohr-Bögen. Energie, 42, H. 6 (1990).
- [8] Verbundforschungsvorhaben »Neuartige Wärmeverteilung«. AGFW im Auftrag des BMFT (1990 – 1996).
- [9] *Becker, H. M.*: Spannungsermittlung im Verschneidungsbereich von T-Stücken. Forschungsvorhaben »Betriebliche Selbstvorspannung – Unterverteilung«, Ausarbeitung des RW-TÜV im Auftrag der FN Dinslaken (1991).
- [10] Pilotstrecke »Rotbachstraße« innerhalb des Forschungsvorhabens »Betriebliche Selbstvorspannung – Unterverteilung« der FN Dinslaken. Dinslaken (1992).
- [11] *Eigner, G.; Gerke-Reineke, L.; Schleyer, A.*: Kostensenkung bei der Kunststoff-Mantelrohr-Verlegung durch zeitgerechte Auslegung der Netze. Fernwärme-Jahrbuch, VWEV-Verlag, Frankfurt (Main) (1990).
- [12] *Rumpel, G.*: Statische und Festigkeitsberechnung – Hausanschlüsse PU-Rohre. Unveröffentlichte Ausarbeitung, Berlin 1984.