

Anforderungen und rohrstatische Berechnung

# Dehnpolster – KMR-Systembauteil mit großer Wirkung

Aufgrund der betriebsbedingten Temperaturdehnung treten bei Kunststoffmantelrohrsystemen Verschiebungen auf, die durch Dehnpolster ausgeglichen werden sollen. Deshalb sind Dehnpolster wichtige Bauteile bei der rohrstatischen Auslegung. Die Verfasser beschreiben die funktionalen und messbaren Anforderungen sowie das Verhalten der Dehnpolster. Darüber hinaus erläutern sie die Ergebnisse einer kurzen statischen Berechnung.

Seit den 1960er-Jahren werden Kunststoffmantelrohre (KMR) in Deutschland verlegt und haben die bis dahin üblicherweise verwendeten Heizkanäle sukzessive verdrängt. Gleichzeitig sind mit der Verwendung von KMR neue Fragestellungen entstanden. Bei der Erdverlegung war für die zuvor gegen Erddruck geschützten Rohre nun eine ausgeprägte Interaktion mit dem umgebenden Baugrund zu berücksichtigen. Weiterhin wurde festgestellt, dass Dehnpolster aufgrund einer niedrigen Wärmeleitfähigkeit das KMR zusätzlich däm-

men und höhere Manteltemperaturen am KMR zu erwarten sind. Während die Kompensation der Dehnungen in Heizkanälen z. B. in [1] beschrieben ist, musste bei dem direkt erdverlegten KMR-System ein neuer Lösungsansatz gesucht werden. In den Anfängen wurden beispielsweise Dehnungsbauwerke vorgeschlagen und realisiert. Danach haben sich Dehnpolster allmählich durchgesetzt – zunächst für kleine und mittlere und seit den 1990er-Jahren für große Nennweiten. Heute sind sie Stand der Technik. Mit Dehnpolstern sollen die infolge der betriebsbedingten Temperaturdehnung auftretenden Verschiebungen des KMR-Systems aufgenommen werden. Sie kommen an den Stellen mit den größten Bettungsdrücken wie Bögen, Abzweigen, Reduzierungen und Erdeinbauarmaturen zum Einsatz. Dehnpolster stellen ein wichtiges Bauteil zur rohrstatischen Auslegung eines KMR-Systems dar, und zwar mit oft unterschätzten und falsch eingeschätzten Auswirkungen, die unter Umständen zum vorzeitigen Versagen des Rohrleitungssystems führen können (Bild 1).

Dass durch die Verwendung von Dehnpolstern ein besonderes Problemfeld entstanden ist, wurde spätestens mit dem Mitgliederrundschreiben des AGFW von 1985 [2] deutlich. Der im Jahr 1988 im Auftrag des AGFW vom Fernwärme-Forschungsinstitut in Hannover e. V. (FFI) erstellte Untersuchungsbericht [3] über Dehnpolster ist bis heute die umfangreichste veröf-

fentlichte Zusammenstellung über verschiedene Dehnpolstertypen und deren Eigenschaften.

Die statischen Berechnungsansätze über KMR in der FW 401 [4] und der EN 13941 [5] behandeln die Dehnpolster als wichtigen und integralen Bestandteil des KMR-Systems. Die in der FW 401-7 [6] und FW 401-10 [4] vorgenommene Einstufung der Dehnpolster in drei verschiedene Härtegrade weich, mittel und hart beruht auf dem Untersuchungsbericht vom FFI [3]. In der EN 13941 [5] werden Dehnpolster trotz ihrer besonderen Bedeutung nur sehr allgemein beschrieben. Daneben existiert aber auch ein Ansatz, bei dem ein Einsatz von Dehnpolstern nicht erforderlich ist. Es wird von der unkompenzierten Kaltverlegung gesprochen. Der Verzicht auf Dehnpolster wird vereinzelt praktiziert und ist besonders im skandinavischen Raum verbreitet [7].

Die Systemschäden der KMR haben nach den Erhebungen des AGFW im Laufe der Jahre stetig abgenommen, und das KMR hat sich zu einem technisch ausgereiften und langjährig bewährten System entwickelt. Unterstützt wurde dies durch zahlreiche qualitätssteigernde Maßnahmen sowie der kontinuierlichen Fortentwicklung der bekannten Normenreihe.

Treten Schäden auf, sind sie oft nicht mit abschließender Sicherheit auf eine spezielle Systemkomponente zurückzuführen. Die Fahrweise des Netzes, die Verhältnisse im Graben usw. sind weitere Einflussfaktoren bei Schadensereignissen. Schäden, die eindeutig auf die Eigenschaften der Systemkomponente Dehnpolster zurückzuführen sind, sind nur vereinzelt bekannt und systematisch nicht erfasst und bewertet.

## Funktionale Anforderungen

Dehnpolster werden zur Aufnahme von Verschiebungen an Bögen, Abzweigen, Reduzierungen und Erdeinbauarmaturen verwendet und sollen den sicheren Betrieb des KMR-Systems über die vorgesehene Lebensdauer von mindestens 30 Jahren gewährleisten. Allgemeine Hinweise über Anforderungen finden sich in den Literaturangaben [2;3;5;6;8;9;10;11].

Neben den häufigsten Forderungen nach Unverrottbarkeit, Nage-



Dipl.-Ing. **Ingo Wolf** (o.),  
Energycity Netzgesellschaft  
mbH, Hannover;  
Dipl.-Ing. **Hans-Jürgen  
Nielsen** (u. l.), EVN Inge-  
nieurgesellschaft mbH,  
Flensburg; Dr.-Ing. **Ingo  
Weidlich**, AGFW, Frank-  
furt (Main)



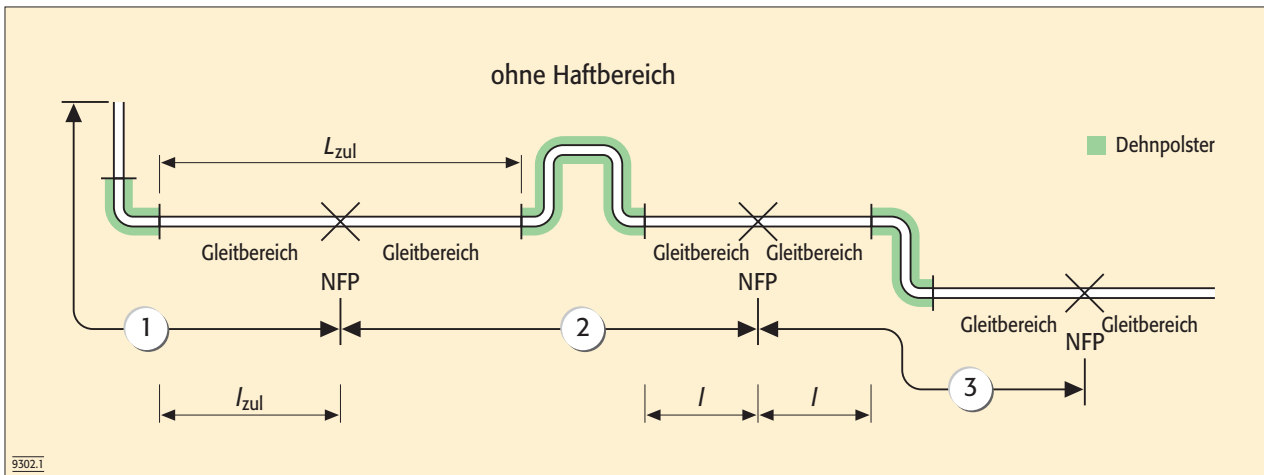


Bild 1. Trasse mit natürlichem Festpunkt (NFP) mit Dehnpolster an Kompensationselementen [4]

tiersicherheit, Sicherheit gegen Verschlämmung zur Verhinderung einer unzulässigen Verhärtung des Dehnpolsters, Beständigkeit gegen Wasseraufnahme und Umwelteinflüsse, mechanische sowie chemische und physikalische Beständigkeit, Konturstabilität gegen Sandverdichtung und Erddruck wird oft die Geschlossenheit genannt.

In der Praxis werden Dehnpolster als vollumhüllendes Dehnpolster oder als ovalförmige Teilumhüllung (Bild 2) angeordnet. Nicht abgebildet ist ein allseitig angebrachter äußerer Dehnpolstermantel der eine Schutzfunktion übernimmt und auf der anderen Seite das Eindringen von Erdreich in den Bereich des Dehnpolsters verhindern soll.

Grundlegende Anforderungen an den Dehnpolstermantel werden in der Fachliteratur gar nicht oder nur unzureichend beschrieben. Derzeit werden Laminatumhüllungen oder geschäumte (vernetzte) PE-Folien verwendet. Die Montage der Dehnpolster und der Schutzumhüllungen wird oftmals durch Anflämmen der Oberflächen und anschließendes Verkleben untereinander und mit dem HDPE-Mantel des KMR vorgenommen. Über die Zulässigkeit des lokalen Erwärms von Dehnpolstern durch eine offene Flamme wird in den technischen Regelwerken nichts berichtet.

Als Dehnpolstermaterial werden überwiegend drei verschiedene Materialien eingesetzt. Dies sind unvernetzte und vernetzte PE-Schaumstoffe und PUR-Schaumstoffe, die als Flockenverbundschaumstoff bekannt sind. Bei den vernetzten PE-Schaumstoffen wird noch zwischen chemisch und phy-

sikalisch vernetzten Schaumstoffen unterschieden (Bild 3).

Auf den Baustellen besteht das Problem, die Materialqualität des Dehnpolsters zweifelsfrei feststellen zu können, so dass diese der angenommenen Kategorie für die rohrstatische Auslegung entsprechen. Die Zellen unvernetzter PE-Schaumstoffe zerplatzen unter Kompression, was in einem leisen Knistern hörbar ist. Durch das Platzen der Zellen kann die Wasseraufnahmefähigkeit des Dehnpolsters deutlich steigen und die Funktion des Dehnpolsters stark beeinträchtigt sein.

Aus der Praxis wird bisweilen berichtet, dass Flockenverbundschaumstoff (Bild 4) aus PUR eine ausgeprägte Wasseraufnahmefähigkeit hat. Einfache orientierende aber ungenormte und nicht veröffentlichte Versuche zur Wasseraufnahme unter Kompression bestätigen dies.

Vernetzte PE-Schäume haben tendenziell eine niedrige Wasserauf-



Bild 2. Anordnung von Dehnpolstern

Quelle: BASF



Bild 3. Physikalisch vernetzter PE-Partikelschaumstoff

Quelle: BASF



Bild 4. Flockenverbundschaumstoff

Kriterium	Wert	Bemerkung	Literaturquelle
Dicke der Dehnpolster	≤ 60 mm		[9]
	≤ 80 mm	im Ausnahmefall > 100 mm	[2]
	≤ 100 mm	konzentrisch	[11]
	≤ 100 mm	Vollumhüllung	[6]
Temperatur PE-Mantel	≤ 50 °C		[2;3;5;6;9]
	seitliche Kompression	≤ 10 %	seitlicher Erddruck
Kompression	≤ 10 %	seitlicher Erddruck	[6]
	≤ 50 %	Einzelfall bis 60 %	[3]
	≤ 50 %		[2]
	≤ 50 %	weiches Polster	[6]
Rückstellkräfte	≤ 35 %	hartes Polster	[6]
	> 10 kPa	10 % Kompression	[2]
	< 100 kPa	50 % Kompression	[2]
	> 10 kPa	10 % Kompression	[6]
	≤ 50 kPa	50 % Kompression – weich	[6]
	≤ 100 kPa	50 % Kompression – mittel	[6]
	≤ 150 kPa	50 % Kompression – hart	[6]

Tafel 1. Messbare Anforderungen von Dehnpolstern

nahmefähigkeit zwischen rd. 1 und 2 %. Diese Größenordnung verändert sich bei einer Kompression unter Wasser nicht wesentlich, wobei über das Langzeitverhalten sehr wenig bekannt ist. Die physikalisch vernetzten Partikelschaumstoffe aus Polyethylen nach Bild 3 bieten den Vorteil, dass sie optisch einwandfrei auf den Baustellen erkennbar sind. Ist die Erkennbarkeit nicht gegeben, so muss der Anwender sich den Typ vom Lieferanten bestätigen lassen und mit der zugrundeliegenden Statik abgleichen.

Messbare Anforderungen

Neben den funktionalen Anforderungen werden in den Literaturquellen verschiedene, messbare Größen zur Festlegung der Beschaffenheitsanforderungen von Dehnpolstern genannt (Tafel 1). Die Temperaturbegrenzung für die Oberflächentemperatur des PE-Mantels soll Beschädigungen der verwendeten Materialien und Kleber im Bereich der Muffen verhindern sowie die Zeitstandfestigkeit des PE nach DIN 8075 [12] sicherstellen. Gleiches

gilt für die maximal zulässige Betriebstemperatur von Schrumpfmanschetten. Bereits bei Dehnpolsterdicken von 80 mm kann unter bestimmten Umständen die zulässige Grenztemperatur nach Tafel 1 erreicht und übertroffen werden. Nach FW 401 darf die maximale Oberflächentemperatur am PE-Außenmantel unter Dehnpolstern punktuell 60 °C betragen. Günstig wirken sich höhere Wärmeleitfähigkeiten aus, die durch höhere Dichten erreicht werden können. Wärmeleitfähigkeiten haben oftmals im Bereich von 30 kg/m<sup>3</sup> ihr Minimum und begünstigen höhere Temperaturen (Bild 5).

Für die im Folgenden noch zu diskutierenden Rückstellgeschwindigkeiten der Dehnpolster sind qualitativ höhere Dichten für den Druckverformungsrest günstiger als kleine Werte. In Bild 5 sind die Effekte am Beispiel eines chemisch vernetzten PE-Schaumstoffs aufgetragen. Darüber hinaus bewirken höhere Dichten auch höhere Dehnpolstersteifigkeiten und erzeugen höhere Belastungen für das Rohrleitungssystem.

Marktübersicht

Durch eine unveröffentlichte Marktübersicht aus dem Jahr 2005 und eine aktuell durchgeführte Überprüfung kann festgestellt werden, dass die Materialien tendenziell eher als hart nach [4] eingestuft werden müssen. Die am Markt verfügbaren chemisch oder physikalisch vernetzten oder unernetzten Schäume aus PE, Polyolefin oder bestimmten Copolymeren können erst bei sehr kleinen Dichten in Richtung »mittel« nach [4] eingestuft werden. Inwieweit die Zellstrukturen bei kleinen Dichten den Belastungen standhalten, ist nicht bekannt.

Einzig ein PUR-Schaumstoff, der als Flockenverbundschäumstoff am Markt verfügbar ist und von verschiedenen Versorgern eingesetzt wird, erfüllt näherungsweise das Kriterium »weich« nach [4]. Wie bereits erläutert, muss der Anwender mit einer höheren Wasseraufnahme rechnen, die die Funktion des Dehnpolsters beeinträchtigen kann.

Bild 6 verdeutlicht den Einfluss der Dichte bei der Einordnung der Schaumstoffe in den entsprechenden Härtegrad. Aufgetragen sind

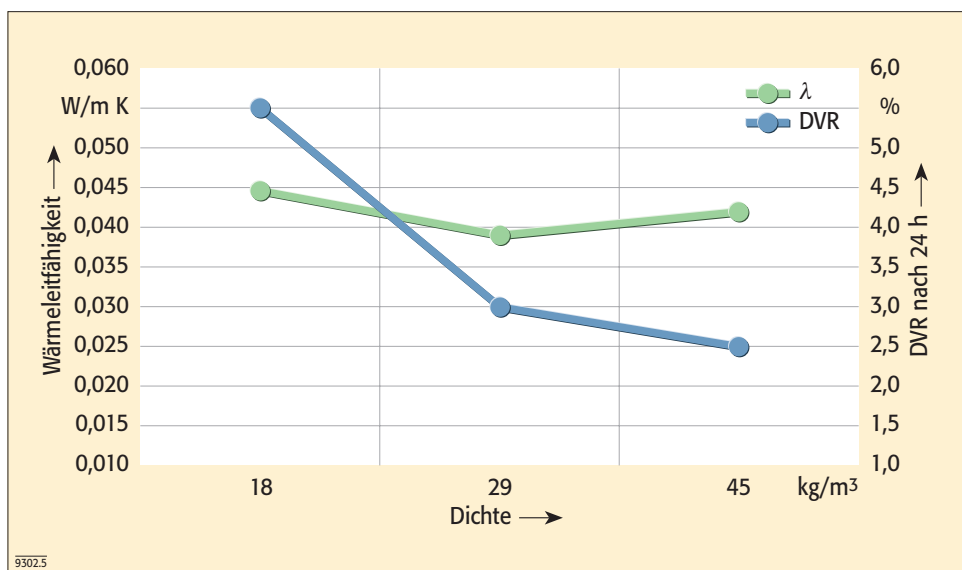


Bild 5. Einfluss der Dichte auf die Wärmeleitfähigkeit des Dehnpolsters

die Druckspannungen eines handelsüblichen chemisch vernetzten PE-Schaumstoffs abhängig von der Dichte. Die Druckspannungen sind den Firmenangaben von Zotefoams entnommen und nach ISO 7214 bestimmt worden. Auffällig ist, dass erst bei einer Dichte von  $18 \text{ kg/m}^3$  der Härtegrad »hart« erreicht und bei höherer Kompression unterschritten wird. Auch bei physikalisch vernetzten und unvernetzten PE-Schaumstoffen kann dieser Effekt beobachtet werden.

Zusätzlich sind in Bild 7 zwei kontinuierlich gemessene Druckspannungsverläufe von zwei Dehnpolstern im Vergleich zu den Angaben aus der FW 401 aufgetragen. Die Kurve für den chemisch vernetzten PE-Schaumstoff wurde mit folgenden Randbedingungen aufgenommen: Dichte  $34,5 \text{ kg/m}^3$ , Dicke  $40 \text{ mm}$ , Verformungsgeschwindigkeit  $1 \text{ mm/h}$  und einseitig auf  $40^\circ \text{C}$  temperiert.

Die Parameter für den physikalisch vernetzten PE-Schaumstoff lauten wie folgt: Dichte  $32,0 \text{ kg/m}^3$ , Dicke  $50 \text{ mm}$ , Verformungsgeschwindigkeit  $1 \text{ mm/h}$  und allseitig auf  $40^\circ \text{C}$  temperiert.

Die Ergebnisse sind aufgrund der unterschiedlichen Prüfbedingungen nicht unmittelbar vergleichbar, bestätigen aber das Ergebnis aus Bild 6 mit den Katalogangaben der Hersteller. Vor allem die unterschiedliche Art der Temperierung liefert für den physikalisch vernetzten Schaumstoff vermutlich zu niedrige Druckspannungen. Über die Temperaturabhängigkeit der Druckspannungen wird im Folgenden berichtet.

### Verhalten der Dehnpolster

Aus den funktionalen und messtechnischen Anforderungen können noch keine direkten Folgerungen für das Verhalten der Dehnpolster abgeleitet werden. So sind bisher keine Untersuchungen bekannt geworden, die das Zeitstandverhalten der Dehnpolster aufgrund Wechselbeanspruchung beschreiben. Ebenso liegen keine Erkenntnisse über das Langzeitverhalten der Dehnpolster vor, die über die gesamte Lebensdauer des KMR-Systems ihren statischen Dienst erfüllen müssen.

Aufgrund der oben genannten fehlenden Grundsatzuntersuchungen wird deshalb heute vereinfachend von einem elastischen Ver-

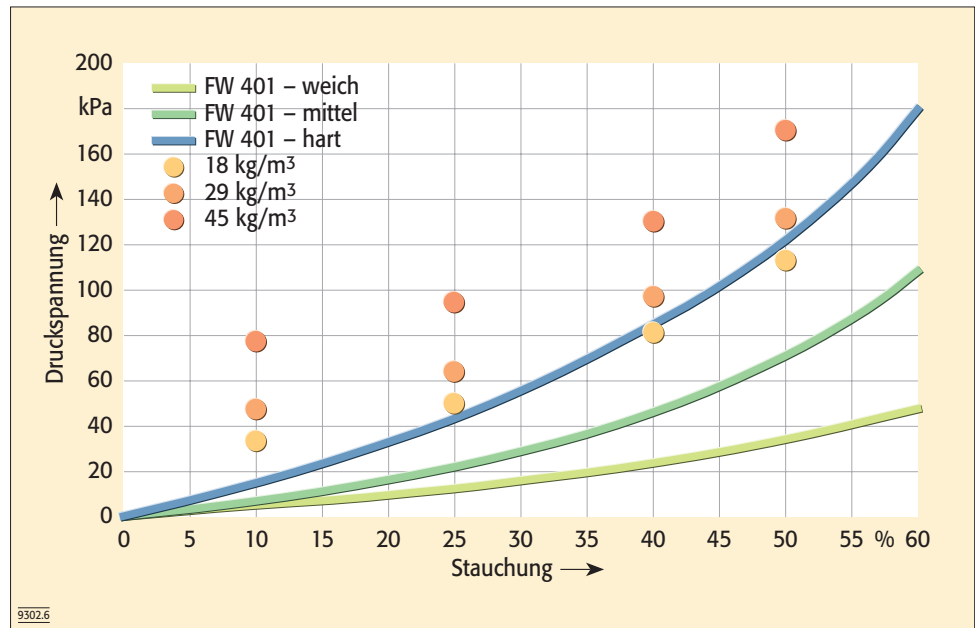


Bild 6. Einfluss der Dichte auf die Druckspannung

halten der Dehnpolster ausgegangen. Im Bereich der lateralen Bettung von erdverlegten Fernwärmeleitungen wird das Gedankenmodell der in Reihe geschalteten Federn verwendet (Bild 8).

Für die zu erwartenden Spannungen im Mediumrohr und die Verschiebungen im Gleitbereich sind vor allem die relativ weichen Federn von Bedeutung, weshalb der Einfluss von Stahlrohr und Mantelrohr nach EN 13941 vernachlässigt wird [5]. Besondere Bedeutung muss da-

her dem Materialverhalten des Dehnpolsters, aber auch des Dämmschaumstoffs und des Bodens, zugesprochen werden. Nach FW 401 können alle fünf Federanteile gemäß Gl. 1 berücksichtigt werden:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \frac{1}{k_4} + \frac{1}{k_5} \quad (1)$$

Demnach ist die Federsteifigkeit für das Dehnpolster  $k_4$ . Die Feder-

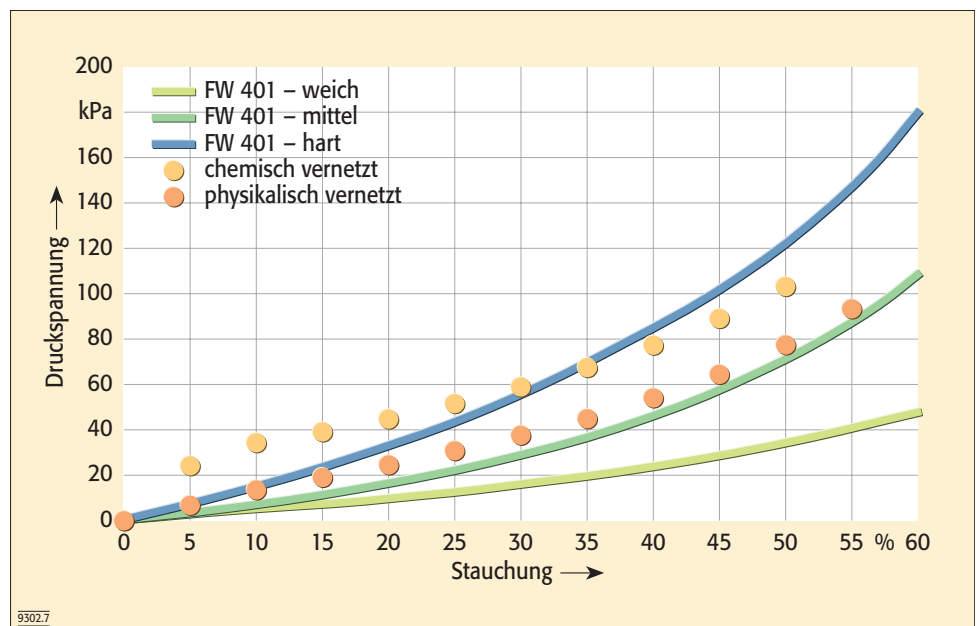


Bild 7. Druckspannungsverlauf vernetzter PE-Schaumstoffe

Gleichung 2 mit

$k_4$  Federkonstante

$E_{Dp}$  Steifigkeit des Dehnpolsters

$$d_{4,m} = 0,25 \cdot \sqrt{D_{ap}^2 - D_a^2} + \frac{D_{ap}^2}{D_a} \cdot \arcsin \frac{D_a}{D_{ap}} - \frac{\pi}{2} \cdot D_a$$

$$D_{ap} = D_a + 2 \cdot d_4$$

$E_{Dp}$ kPa	Steifigkeit
100	weich
200	mittel
300	hart

Tafel 2. Steifigkeiten von Dehnpolstern nach FW 401

steifigkeit des Dehnpolsters kann nach FW 401 mit den geometrischen Abmessungen nach Bild 9 gemäß Gl. 2 bestimmt werden:

$$k_4 = \frac{E_{Dp}}{d_{4,m}} \cdot D_a \quad (2)$$

Für die verschiedenen Dehnpolster werden die Steifigkeiten gemäß Tafel 2 angegeben.

Es ist ersichtlich, dass der Spannungs-Dehnungsverlauf als elastisch angenommen wird. Kriechen, zyklische Belastung und andere zeitabhängige Effekte werden bisher aufgrund fehlender Grundsatzuntersuchungen nicht berücksichtigt.

In Einzelversuchen konnten bisher einige Erkenntnisse gesammelt werden, die über den in Normen für die Fernwärme festgehaltenen Stand der Technik hinausgehen. Der in Bild 7 beschriebene chemisch vernetzte Schaumstoff ist in einem weiteren Versuch viermal komprimiert und wieder entspannt worden. An den Kurvenverläufen ist erkennbar, dass sich Schaumstoffstoffe nicht wie eine ideal elastische Feder verhalten und sich durch Hysterese in Richtung steigender Druckverformungsreste bei gleichzeitig sinkender Spitzendrücke verschieben. Ob und wann der Effekt sinkender Spitzendrücke zum Stillstand kommt, ist nicht bekannt. Die Auswirkungen des Rückstellverhaltens von Dehnpolstern werden im Folgenden diskutiert.

An Bild 7 wurde bereits angedeutet, dass verschiedene Parameter wie Temperatur und Verformungsgeschwindigkeit einen Einfluss auf die Druckspannungskurve der Dehnpolster haben. In weiteren Versuchen mit chemisch vernetztem PE-Schaumstoff gemäß Bild 7 konnte festgestellt werden, dass niedrige Temperaturen und hohe Verformungsgeschwindigkeiten zu einer Erhöhung der Druckspan-

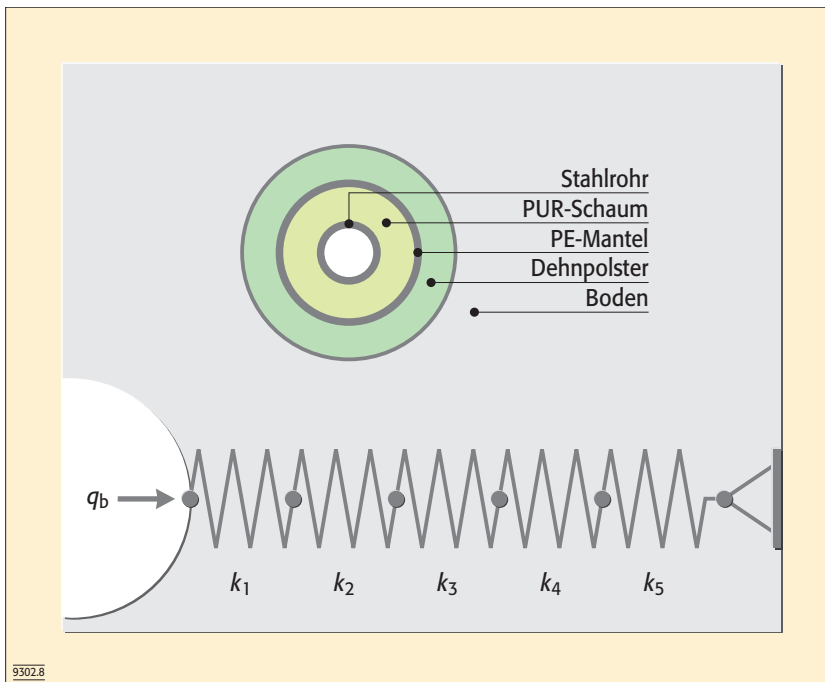


Bild 8. Gedankenmodell für laterale Bettung erdverlegter Fernwärmeleitungen

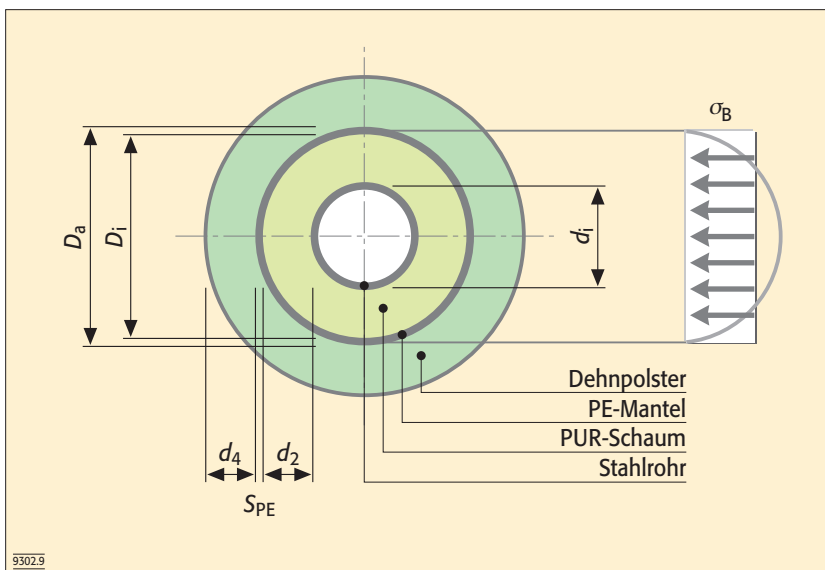


Bild 9. Abmessungen Rohr und Dehnpolster

nungen führen. Die in *Bild 10* und *11* aufgetragenen Ergebnisse übertreffen besonders im unteren Kompressionsbereich den Härtegrad »hart« nach FW 401 deutlich. Zum besseren Vergleich mit *Tafel 2* sind in *Bild 10* zwei Steigungen des E-Moduls eingetragen.

Die vorgestellten Druckspannungsverläufe beruhen auf Versuchen an quaderförmigen Prüfkörpern mit einachsiger Belastung. Eine zusätzliche Belastung aus Vorkompression durch Erdauflast und Verdichtung ist nicht berücksichtigt.

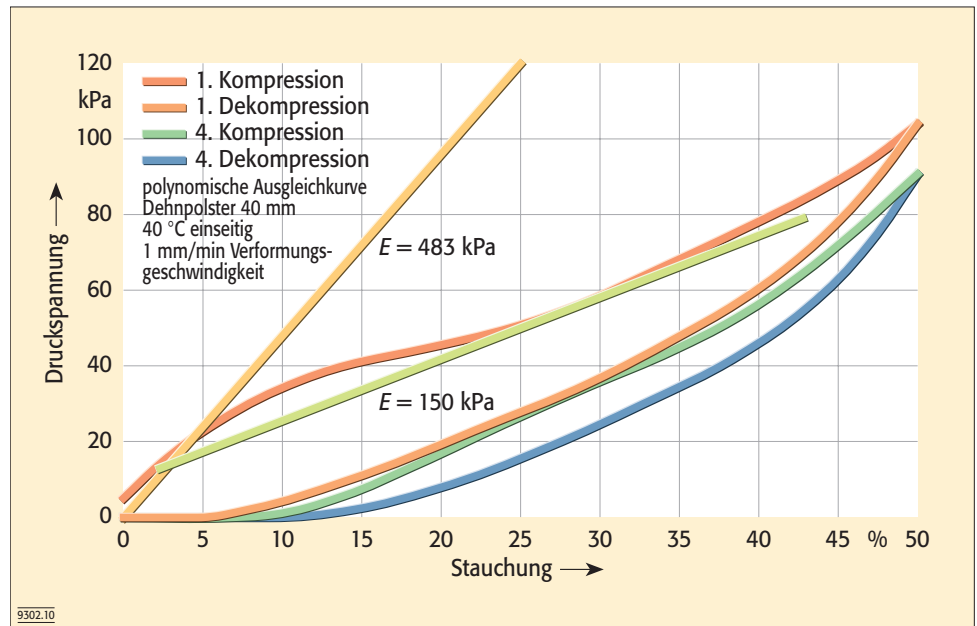
### Rückstellgeschwindigkeit

In [3] wurde bereits auf die Bedeutung der Rückstellgeschwindigkeiten (RSG) von Dehnpolstern im Zusammenhang mit der Netzfahrweise hingewiesen. Die Temperaturänderungsgeschwindigkeit (TÄG) bewirkt in den Rohrsystemen eine Dehnungsgeschwindigkeit (DG), die stets unterhalb der RSG von Dehnpolstern liegen sollte.

Wird die Bedingung  $RSG > DG$  nicht eingehalten, so können sich zwischen Dehnpolster und dem umgebenden Erdreich Luftspalte ausbilden. Diese Luftspalte könnten sich bei der üblichen Sandbettung mit nachrutschendem Erdreich füllen und so den zur Verfügung stehenden Dehnweg vermindern. Der Bettungsreaktionsdruck des Bodens wird dann früher aktiviert (*Bild 12*). Der zeitabhängige Druckverformungsrest (DVR) der Dehnpolster könnte für die statische Bemessung von Bedeutung sein, wird aber in den bekannten Ansätzen nicht berücksichtigt.

Unter der Annahme einer TÄG von 5 K/h – entsprechend der realen Netzfahrweise der Stadtwerke Hannover AG – und einem physikalisch vernetzten Dehnpolster von 80 mm Dicke nach *Bild 3*, ist das Verhältnis von RSG zu DG geschätzt worden. Die DVR sind den Angaben des Herstellers entnommen; fehlende Werte sind geschätzt und kursiv in *Tafel 3* eingetragen.

Die Rechnung wurde mit einem 40 mm Dehnpolster wiederholt und in *Bild 13* graphisch dargestellt. Nach dieser einfachen Schätzung ist erkennbar, dass lediglich unmittelbar nach Entlastung die Bedingung  $RSG > DG$  erfüllt ist, wobei kleinere Nennweiten sich günstiger verhalten. Zur Vermeidung von



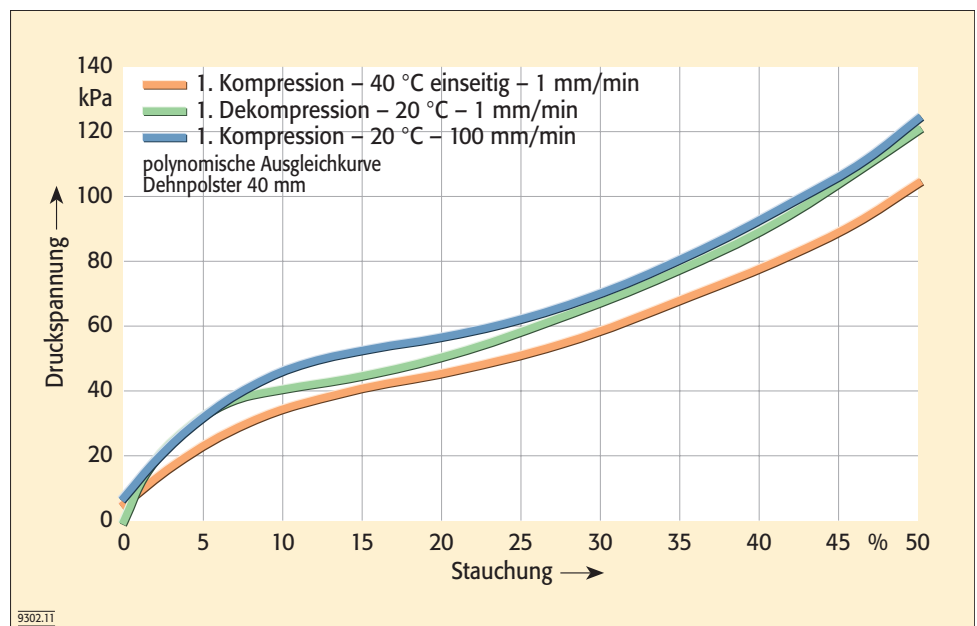
*Bild 10. Druckspannungsverlauf bei wiederholter Kompression*

Luftspalten zwischen Erdreich und Dehnpolster sollten Dehnpolster möglichst hohe Rückstellgeschwindigkeiten und möglichst niedrige Druckverformungsreste aufweisen.

### Rohrstatik

In einer kurzen statischen Berechnung können die Konsequenzen, die sich aus unterschiedlichen Annahmen für Dehnpolster ergeben, nachvollzogen werden. Mit den in *Tafel 4* aufgeführten Annahmen ist

ein gleichschenkliges L-System modelliert und mit einem EDV-Programm [13] ausgewertet worden. Die Dehnpolster sind als ovalförmige Teilumhüllung [6] auf einer Länge von 1,5 m mit einer Dicke von 80 mm und daran anschließend abgestuft mit 1,5 m und 40 mm angenommen. Die Steifigkeiten sind mit den Härtegraden weich, mittel, hart variiert bei sonst konstanten Berechnungsannahmen. Die Ergebnisse der Berechnung sind in *Tafel 5* zusammengefasst. In



*Bild 11. Temperatureinfluss auf den Druckspannungsverlauf*

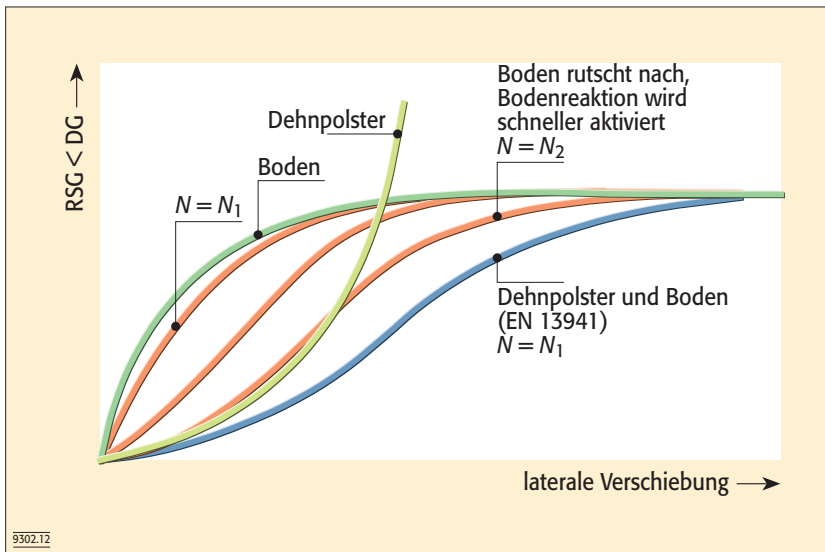


Bild 12. Bettungswiderstand beim Nachrutschen von Erdreich

Zeit nach Entlastung h	80 mm Dehnpolster			
	Startwert 25 % Verformung DVR %	RSG mm/h	Startwert 50 % Verformung DVR %	RSG mm/h
0,00	25,0	144,00	50,0	240,00
0,05	12,8	5,33	35,0	5,33
0,50	10,4	0,58	32,0	0,727
6,00	7,2	0,13	27,0	0,22
24,00	4,8	0,06	22,0	0,19
96,00	0,8		5,0	

Tafel 3. Rückstellgeschwindigkeit eines physikalisch vernetzten PE-Schaumstoffs  
DVR Druckverformungsrest RSG Rückstellgeschwindigkeit

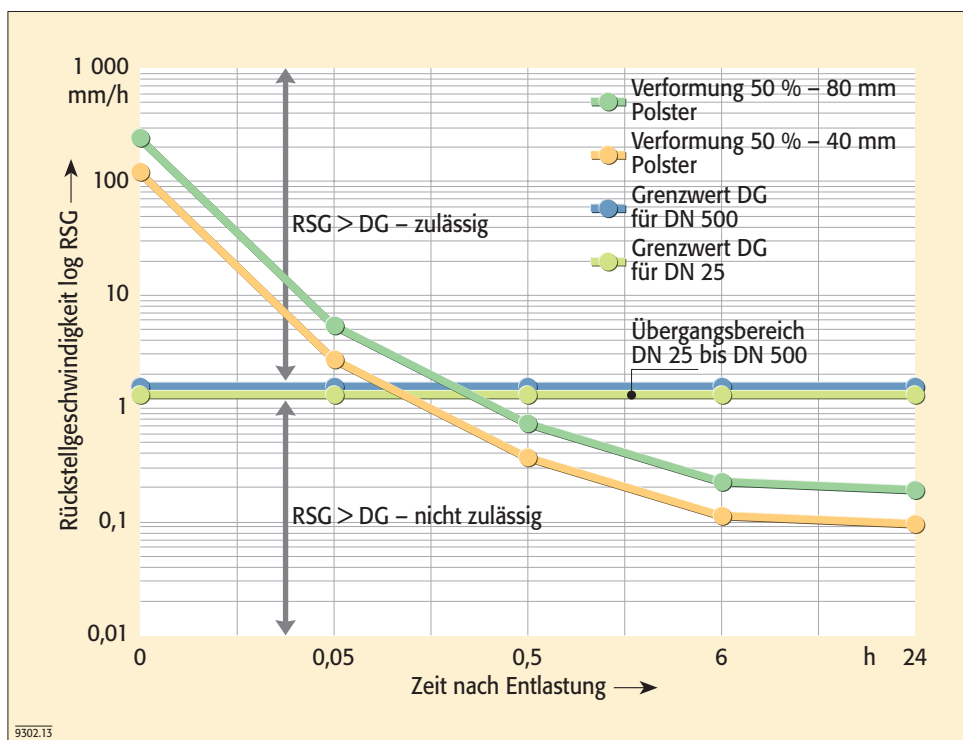


Bild 13. Rückstell- und Dehnungsgeschwindigkeiten

dem Berechnungsbeispiel werden die zulässigen Spannungen für die Wärmedämmung aus PUR immer überschritten sowie bei DN 25 die PUR-Scherspannung bei einer mittleren Steifigkeit des Dehnpolsters. Die Minderung der auftretenden zu hohen Spannungen muss der Planer durch geeignete Maßnahmen vornehmen. Er kann dies beispielsweise durch zusätzliche Dehnungselemente, thermische Vorspannung oder veränderte Dehnpolsterlängen erreichen.

Im Vergleich zu *Tafel 1* mit einer zulässigen Temperatur von 50 °C am PE-Mantel bzw. punktuell 60 °C nach FW 401 sind die Manteltemperaturen bei einem 80 mm dicken Dehnpolster bereits zu hoch. Bei Verwendung eines 120 mm dicken Dehnpolsters wird im gerechneten Beispiel sogar die punktuelle Vorgabe von 60 °C überschritten.

Der Anwender muss sich bewusst sein, dass unter der Annahme eines Dehnpolsters weicher oder mittlerer Steifigkeit die gewählte Rohrleitungsfigur statisch in Ordnung sein kann. Wird in diesen Fällen jedoch ein Dehnpolster mit einer harten Steifigkeit eingebaut, kann es zu einem Versagen des Rohrleitungssystems kommen. Daher muss der Anwender Sorge tragen, dass in Bezug auf seine statischen Annahmen das richtige Dehnpolster verwendet wird oder von vornherein eine hohe Steifigkeit annehmen.

### Zusammenfassung

Dehnpolster sind integraler Bestandteil der anerkannten statischen Berechnungsmethoden. Bei näherer Betrachtung verhalten sich die eingesetzten Schaumstoffe jedoch anders als in den idealisierten Annahmen. Dass die verlegten KMR-Systeme dennoch mit hoher Zuverlässigkeit betrieben werden können, deutet darauf hin, dass die bisherigen Annahmen Reserven aufweisen oder möglicherweise die PUR-Wärmedämmung unplanmäßig Kompensationsaufgaben des Dehnpolsters übernimmt.

Neben den funktionalen Anforderungen an Dehnpolster wie unverrottbar, nagetiersicher und Kennzeichnung sollten verschiedene physikalische Parameter genauer beschrieben und eine Prüfvorschrift entwickelt werden. Mit der Prüfvorschrift soll einerseits die Vergleichbarkeit der Materialien

und andererseits die richtige Kennlinie, die für die statische Berechnung erforderlich ist, gewährleistet werden. Weiterhin fehlen Aussagen zum Zeitstand- und Langzeitverhalten von Dehnpolstern.

Von den in [6] genannten Materialien für Dehnpolster könnten vernetzte PE-Schaumstoffe mit einer Dichte von rd. 30 bis 35 kg/m<sup>3</sup> am ehesten geeignet sein, die dem Dehnpolster zugeordnete Funktion zu erfüllen. Physikalisch vernetzte Partikelschaumstoffe bieten zusätzlich den Vorteil, dass sie einfach zu erkennen sind.

Wird bei der statischen Auslegung von einem Dehnpolster niedriger Steifigkeit ausgegangen, dürfen keine Schaumstoffe mit höherem Härtegrad eingesetzt werden, da unzulässige Spannungsüberhöhungen auftreten und zu Schäden am Rohrleitungssystem führen können. Dies kann durch eigene Untersuchungen abgesichert werden oder der Anwender benutzt von vorn-

Berechnungsgrundlagen	Werte
gleichschenkliges L-System	L bis NFP = 30 m
Auslegungstemperatur	130 °C
Montagetemperatur	10 °C
max. Betriebsdruck	16 bar
KMR DN 25/90	DN 25 (33,7 · 2,6 mm) – Wanddicke abweichend von FW 401 – mit Mantelrohr PE-HD nach DIN 8074/8075 mit $D_a = 90$ mm
KMR DN 150/250	DN 150 (168,3 · 4,0 mm) mit Mantelrohr PE-HD nach DIN 8074/8075 mit $D_a = 250$ mm
KMR DN 500/670	DN 500 (508,0 · 6,3 mm) mit Mantelrohr PE-HD nach DIN 8074/8075 mit $D_a = 670$ mm
Stahlrohrbogen	P235GH, Typ A, Bauart 3D, Wanddickenreihe 2
Überdeckungshöhe	$H = 0,80$ m
Rohrstatik	FW 401, Projektklasse B für DN 25 und 150; C für DN 500, 250 Volllastwechsel
zul. Scherspannungen	0,040 MPa
zul. Druckspannungen	0,150 MPa
Bettungstyp	dichter Sand unter Straßendecke
Überdeckungshöhe	$H = 0,80$ m
Dehnpolstergrad (Montage als Seitenpolster)	weich/mittel/hart

Tafel 4. Berechnungsannahmen



Berechnungsergebnisse DN 25/90		PUR-Scherspannung im Bogen	PUR-Druckspannung im Bogen
DP weich / 80 mm		0,027 MPa	0,057 MPa
DP mittel / 80 mm		0,042 MPa	0,119 MPa
DP hart / 80 mm		0,059 MPa	0,188 MPa
Berechnungsergebnisse DN 150/250		PUR-Scherspannung im Bogen	PUR-Druckspannung im Bogen
DP weich / 80 mm		0,019 MPa	0,049 MPa
DP mittel / 80 mm		0,035 MPa	0,123 MPa
DP hart / 80 mm		0,049 MPa	0,184 MPa
Berechnungsergebnisse DN 500/670		PUR-Scherspannung im Bogen	PUR-Druckspannung im Bogen
DP weich / 80 mm		0,031 MPa	0,089 MPa
DP mittel / 80 mm		0,037 MPa	0,117 MPa
DP hart / 80 mm		0,050 MPa	0,172 MPa
Längsverschiebungen für Zustand warm	DN 25/90	DN 150/250	DN 500/670
DP weich	33 mm	39 mm	39 mm
DP mittel	31 mm	38 mm	37 mm
DP hart	30 mm	37 mm	36 mm
PE-Manteltemperatur	DN 25/90	DN 150/250	DN 500/670
DP mit 80 mm	44 °C	57 °C	53 °C
DP mit 120 mm	49 °C	63 °C	59 °C

Tafel 5. Berechnungsergebnisse

herein einen höheren Härtegrad.

Auf Grundlage der vorgestellten Untersuchungen ist davon auszugehen, dass das Schadenspotenzial für Fernwärmeleitungen vor allem dann steigt, wenn ein Spalt zwischen Dehnpolstern und Boden entsteht. Sandbettung kann dann nachrutschen, was zu einer deutlich früheren Aktivierung der Betungsreaktionsdrücke des Bodens führt. Daher sind die Temperaturrampen im Betrieb von Fernwärmenetzen auf die Rückstellgeschwindigkeiten der Dehnpolster anzupassen oder Dehnpolster auszuwählen, die eine entsprechend hohe Rückstellgeschwindigkeit bieten.

Scheint beides nicht praktikabel, sollte bei der statischen Auslegung überlegt werden, für welche Fälle auf Dehnpolster verzichtet werden kann, da die kompensierende Wirkung des Dehnpolsters dann langfristig kaum zu gewährleisten ist.

### Literatur

- [1] AGFW: Richtlinien für die Festigkeitsberechnung von Fernwärmeleitungen; Ausgabe 1989.
- [2] AGFW-Mitgliederrundschreiben: Wärmeverteilung – Kunst-

stoffmantelrohre; August 1985.

- [3] Fernwärme-Forschungsinstitut in Hannover e. V.: Dehnpolster für Kunststoffmantelrohr-Fernwärmeleitungen, Untersuchung im Auftrag des AGFW, 1988.
- [4] FW 401-10: Verlegung und Statik von Kunststoffmantelrohren (KMR) für Fernwärmenetze – Statische Auslegung; Grundlagen der Spannungsermittlung. Dezember 2007.
- [5] EN 13941: Auslegung und Installation von werkmäßig gedämmten Verbundmantelrohren für die Fernwärme. Dezember 2010.
- [6] FW 401-7: Verlegung und Statik von Kunststoffmantelrohren (KMR) für Fernwärmenetze – Bauteile; Kompensationselemente und sonstige Systembauteile. Dezember 2007.
- [7] GEF-Leimen: Neuartige Verletechnik von Kunststoffmantelrohren. Band 1 – Neuentwicklungen zur KMR-Technik. Untersuchung im Auftrag des AGFW, 1995.
- [8] *Bracchetti, H. E.*: Die Kissen-schlacht im Untergrund. Energie, 36. Jg. (1984), H. 4.
- [9] AGFW: Bau von Fernwärmenetzen. 5. Aufl. 1993.

- [10] *Randlov, P.*: Fernwärmehandbuch. Hrsg. v. EuHP, 1. Ausg. 1997.
- [11] AGFW: Technisches Handbuch Fernwärme. 2. Aufl. 2009.
- [12] DIN 8075: Rohre aus Polyethylen (PE) – Allgemeine Güteanforderungen und Prüfungen. August 1999; seit 02/2012 liegt der Normenentwurf DIN 16842 vor: Rohre aus Polyethylen (PE) – PE-HD für drucklose Anwendungen – Allgemeine Güteanforderungen, Maße und Prüfungen.
- [13] sisKMR Version 19.2.0: Software für Rohrstatik der GEF Ingenieur AG, Leimen. ■

[ingo.wolf@enercity-netz.de](mailto:ingo.wolf@enercity-netz.de)

[nielsen@evn-inggmbh.de](mailto:nielsen@evn-inggmbh.de)

[i.weidlich@agfw.de](mailto:i.weidlich@agfw.de)

[www.evn-inggmbh.de](http://www.evn-inggmbh.de)