

Rolf Besier, Manfred Klöpsch, Alexander Wagner

## **Wirtschaftliche Dämmung von KMR**

# **Reicht für Kunststoffmantelrohre die Standarddämmung heute noch aus?**

## **1. Einleitung**

Die Versorgungsunternehmen statten ihre Kunststoffmantelrohrleitungen (KMR) seit langem mit einer Wärmedämmung aus, die nach allgemeinem Sprachgebrauch der Standarddämmung nach Dämmreihe 1 entspricht; siehe AGFW-Arbeitsblatt FW 401-3:2007. Sowohl die Entwicklung der Energiepreise in der Vergangenheit als auch Umweltaspekte legen eine Überprüfung nahe, ob unter den veränderten wirtschaftlichen Rahmenbedingungen die Standarddämmung heute noch zeitgemäß ist. Im AGFW haben sich die Arbeitskreise Netzbautechnik und Netzplanung dieses Themas angenommen und für eine deutsche Standardsituation eine umfassende Dämmdickenoptimierung für KMR durchgeführt. Die Standardsituation erfasst die vorherrschenden betrieblichen Einsatzbedingungen, übliche Verlegekosten und gebräuchliche Wirtschaftlichkeitsdaten. Der vorliegende Beitrag beschreibt die relevanten Eingangsdaten der Berechnung, den Rechengang und die wichtigsten Ergebnisse.

## **2. Ziele der Berechnung**

Berechnungen der wirtschaftlichen Dämmdicke bauen auf der Rohrgeometrie, dem Grabenprofil und den wärmetechnischen Eigenschaften von Rohrmaterial und Erdreich auf. Unter Zugrundelegung der Baukosten wird bilanziert, inwieweit Einsparungen durch verringerte Wärmeverluste die erhöhten Baukosten für verbesserte Dämmung kompensieren können. Langfristige Betrachtungen berücksichtigen üblicherweise zukünftige Preissteigerungen und erfassen die in der Zukunft anfallenden Wärmegutschriften nach der Zinseszinsrechnung. Die vorliegende Ausarbeitung erweitert die diesbezüglichen Berechnungen, indem für KMR ohne Diffusionssperrschicht zusätzlich die Zunahme der Wärmeleitfähigkeit des PUR-Hartschaumstoffs infolge Alterung erfasst wird, die die Wärmeverluste mit zunehmender Nutzungsdauer der Leitungen ansteigen lässt.

Es wird die wirtschaftliche Dämmdicke von KMR unter Berücksichtigung folgender Einflüsse berechnet:

1. Wärmeverluste von Zweileiter-Rohrleitungen, d. h. je ein KMR für Vor- und Rücklauf, unter Berücksichtigung der Alterung des PUR-Hartschaumstoffs
2. Erfassung der erhöhten Baukosten infolge verbesserter Dämmung mit realistischen Verlegekosten
3. Ermittlung der Einsparungen infolge verringerter Wärmeverluste über die Nutzungsdauer
4. Abzinsung der Einsparungen auf den Zeitpunkt der Erstellung (Barwert), um sie mit den Baukosten vergleichen zu können
5. Erfassung von Wärmepreissteigerungen
6. Empfehlung für wirtschaftliche Auslegung
7. Handlungsempfehlung: ab welchem Grenzwert des Wärmepreises besteht Handlungsbedarf, welche Dämmdicke ist wirtschaftlich?

Die vorliegende Optimierung reiht sich damit in die vielschichtigen Aktivitäten des AGFW zur Steigerung der Effizienz, hier der Effizienz in der Fernwärmeverteilung ein.

### **3. Berechnungsvorgaben**

Um die Anzahl der zu variierenden Parameter in Grenzen zu halten, wurde ein Standardfall hinsichtlich Grabengeometrie und Betriebstemperaturen festgelegt. Für die Verlegekosten wurde ein Fächer untersucht, der ausgehend von mittleren Baukosten auch ein Kostenniveau „niedrig“ und ein Niveau „hoch“ betrachtet. Die Eingangsparameter der Berechnung wurden in einer Arbeitsgruppe von Fachleuten aus mehreren FVU abgestimmt.

Alle Vorgaben der Berechnung sind im Folgenden in Tabellen und Diagrammen wiedergegeben. Als Rohranordnung wurde unterstellt, dass im Graben zwei Einzelrohre nebeneinander verlegt sind. Vor- und Rücklauf haben die gleiche Dämmdicke. Die Daten zur Grabengeometrie, zu den wärmetechnischen Ansätzen und der Wirtschaftlichkeitsberechnung sind aus Tabelle 1 ersichtlich; die Rohrabmessungen der KMR, die den Berechnungen zugrunde liegen, sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Bild 1 stellt die Bandbreite der Verlegekosten dar, die für die Investitionen unterstellt wurden.

Variantenrechnungen wurden für die Dämmreihen 1, 2 und 3 durchgeführt. Bild 2 zeigt, mit welchen Kostenmehrungen für die höheren Dämmdicken gerechnet wurde. Die Erhöhung der Materialkosten wurde mit jeweils 15 % für die nächst höhere Dämmreihe angesetzt. Die Steigerung der Tiefbaukosten wurde aus Kostenanteilen ermittelt, die einerseits von der Grabenoberfläche abhängig sind und zum anderen vom Grabenvolumen. Die relative Steigerung der Tiefbaukosten wurde für eine mittlere Nennweite aus üblichen Baukosten abgeleitet; sie wurde dann für das gesamte Nennweitespektrum als konstant unterstellt.

Tabelle 1: Berechnungsgrundlagen und Eingangswerte

Berechnungsgrundlagen	Formelzeichen	Einheit	Vorgabe	Bemerkung
<b>zum Wärmeverlust</b>				
Rohrabmessungen nach EN 253, berechnet werden:			DN 25, 50, 80, 100, 150, 200, 300, 400, 600	
Überdeckung	h	m	0,8 m bis DN 80 1,0 m bis DN 100 - 200 1,2 m bis DN 250 - 400 1,5 m bis DN 500 - 800	
Abstand zwischen Rohren	a	m	0,2 0,35 0,425	bis $D_a=400$ für $400 < D_a = 800$ nach FW 401-12
<b>Temperaturen</b>				
Umgebungstemperatur	$T_U$	°C	10 = const	
Vor-/Rücklauftemperaturen	$T_V/T_R$	°C	90/55	im Mittel
daraus	$\Delta T_m$	K	62,5	
Wärmeleitfähigkeit des PUR-Hatschaumstoffs	$\lambda_{PUR}$	W/(m*K)	0,0288	Neuzustand
Alterung: Berechnung von Jarfelt Chalmers University, Göteborg				Beispiel in Bild 3
Berechnung Wärmeverluste n. Jarfelt Chalmers University, Göteborg				ähnlich EN 13941
Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs	$\lambda_E$	W/(m*K)	1,5	0,5 trockener Sand 2,5 nasser Lehm
<b>zur Wirtschaftlichkeit</b>				
Betrachtungszeitraum	n	a	30	
kalkulatorischer Zinssatz	p	%/a	8, 10, 12	schließt Inflation ein
Steigerung Wärmepreis	$s_E$	%/a	3, 5, 8	
Baukosten Leitungen nach Diagramm Bild 1; Mehrkosten R1/R2 u. R1/R3 s.S.3 Anteil Tiefbau : Rohrbau Anteile Tiefbau nach Oberfläche u. Volumen			rd. 60:40	Mehrkosten Material für Reihe 1>2>3 jeweils +15%, genau Bild 2

Der Zunahme der Wärmeleitfähigkeit infolge Alterung liegen spezielle Berechnungen zugrunde, s. [2]. Bild 3 stellt 4 Beispiele für Rohre verschiedener Durchmesser der Dämmreihe 1 dar.

Als Wärmepreis kommt der Arbeitspreis zum Ansatz - für Vorlauf und Rücklauf gleich. Der Variationsbereich des Wärmepreises liegt etwa zwischen 20 und 100 €/MWh.

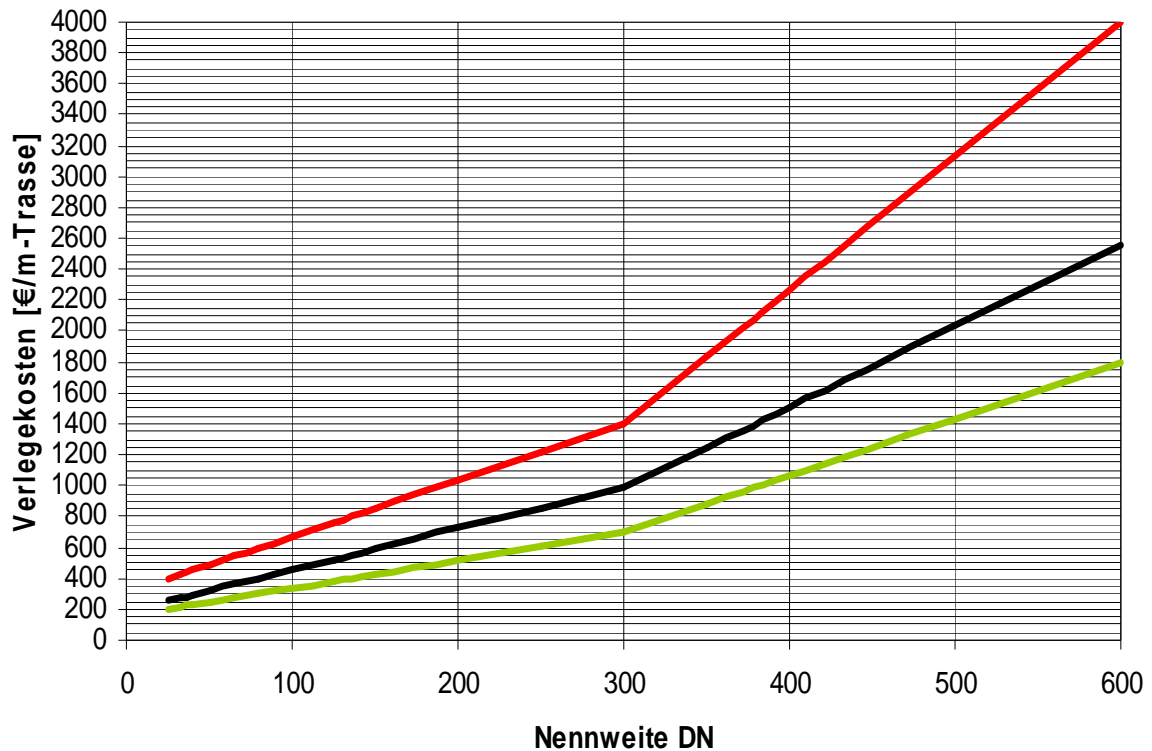


Bild 1: Verlegekosten - 3 Kostenfunktionen: mittel, niedrig und hoch

Mediumrohr		Dämmreihe 1		Dämmreihe 2		Dämmreihe 3	
DN	$d_a$	$D_a$	Dämmdicke	$D_a$	Dämmdicke	$D_a$	Dämmdicke
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
25	33,7	90	26	110	36	125	43
50	60,3	125	30	140	37	160	47
80	88,9	160	33	180	43	200	52
100	114,3	200	40	225	52	250	64
150	168,3	250	37	280	51	315	68
200	219,1	315	43	355	62	400	84
300	323,9	450	56	500	80	560	109
400	406,4	560	68	630	102	710	146
600	610,0	800	83	900	132	1000	182

Tabelle 2: In der Berechnung verwendete Rohrabmessungen

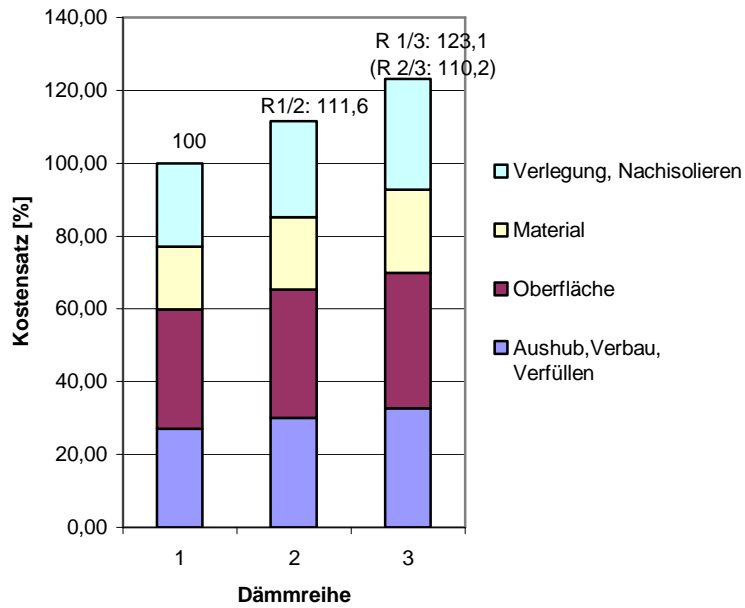


Bild 2: Mehrkosten für erhöhte Dämmdicke

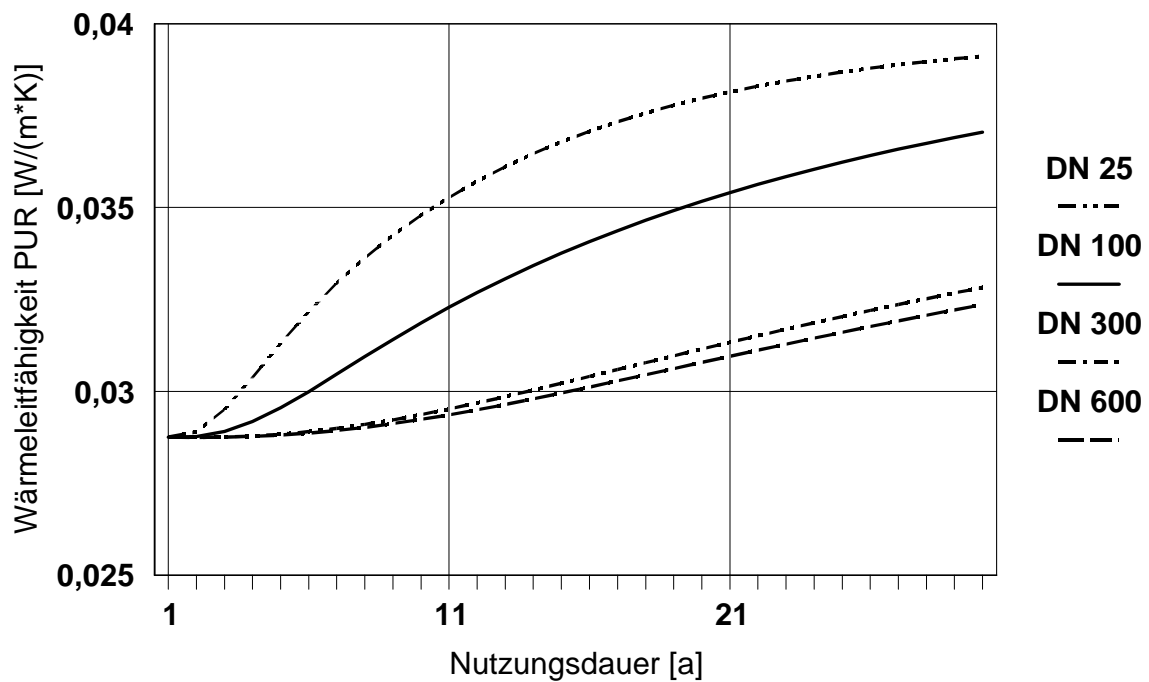


Bild 3: Zeitliche Veränderung der Wärmeleitfähigkeit von PUR-Hartschaumstoff für KMR (ohne Diffusionssperre), vier Beispiele zu Dämmreihe 1, nach [3, 6]

#### 4. Berechnungsgang

Die Wärmeverluste werden nach den Formeln in [6] berechnet. Den Berechnungen liegt die Zunahme der Wärmeleitfähigkeit gemäß Bild 3 zugrunde. Um die zeitliche Abhängigkeit zu erfassen, wurden die Wärmeverluste für jede Rohrabmessung und Grabengeometrie im Jahresraster berechnet. Damit konnten die Verluste je Jahr mit dem zugehörigen Wärmepreis bewertet werden. Gleichzeitig war es möglich, die in der Zukunft anfallenden Einsparungen aus den verringerten Verlusten auf den Betrachtungszeitpunkt (heute) abzuzinsen, um sie mit den Baukosten vergleichen zu können.

Für jede Nennweite wurde eine eigenständige Berechnung durchgeführt. Innerhalb dieser Berechnung wurden die drei Dämmreihen mit den jeweils drei Varianten der Verlegekosten (niedrig, mittel, hoch) untersucht, vgl. Rechenblatt in Tabelle 3. Die Eingabewerte wurden in die Gruppen Geometrie (Rohr und Graben), Temperaturen/Wärmeleitfähigkeiten und Wirtschaftlichkeit untergliedert.

In der Mitte des Rechenblattes sind interessante Zwischenergebnisse der Berechnung wiedergegeben: die Wärmeleitfähigkeit des PUR-Hartschaumstoffs nach 30 Jahren und die Wärmeverluste von Vor- und Rücklauf sowie die gesamten Verluste je m Trasse.

Die Tabelle Ergebnisse ist unterteilt bezüglich der Verlegekosten in die drei Klassen niedrig, mittel und hoch. Für die angesetzten Verlegekosten werden zunächst die Mehrkosten berechnet, die beim Bau einer besser gedämmten Rohrleitung entstehen (Dämmreihe 2 statt Dämmreihe 1 bzw. Dämmreihe 3 statt Dämmreihe 2). Dann werden die Einsparungen ermittelt, die sich aus den verringerten Verlusten ergeben, und zwar als Barwerte zum Zeitpunkt der Erstellung, als spezifischer Wert in €/m. Damit sind sie mit den Baumehrkosten vergleichbar, vgl. hierzu auch Erläuterung in Abschnitt 5.4.

Schließlich wird ein Grenzwert des Wärmepreises berechnet, bei dem Kostengleichheit besteht zwischen den erhöhten Baukosten infolge besserer Dämmung und der Einsparung infolge verringerter Verluste. Denn liegt der Wärmepreis *oberhalb dieses Grenzpreises, führt verbesserte Dämmung zu einem Gewinn, unterhalb zu einem Verlust*. Der Wärmepreis ist der heutige Preis.

## Dämmdickenoptimierung

### Eingabewerte

#### Geometriedaten

DN	25
da	33,7 mm
D <sub>a</sub> Dämmreihe 1	90 mm
D <sub>a</sub> Dämmreihe 2	110 mm
D <sub>a</sub> Dämmreihe 3	125 mm
D <sub>i</sub> Dämmreihe 1	85,6 mm
D <sub>i</sub> Dämmreihe 2	105 mm
D <sub>i</sub> Dämmreihe 3	120 mm
Überdeckung Abstand zwischen KMR	0,80 m 0,20 m

#### Temperaturen

mittl. Vorlauf-	90 °C
mittl. Rückl.-	55 °C
mittl. Außen.-	10 °C
$\Delta T_{\text{mittel}}$	62,5 K

#### Wärmeleitfähigkeiten

PUR-neu	0,0288 W/(m*K)
Erdreich	1,5 W/(m*K)

#### Wirtschaftlichkeit

Baukosten [€/mTrasse]			
	mittel	niedrig	hoch
Dämmreihe 1	255	200	400
Dämmreihe 2	285	223	446
Dämmreihe 3	314	246	492
Wärmep. VL	35,57	€/MWh	
Wärmep. RL	35,57	€/MWh	
Steigerung Wärmepreis	5	%/a	
Betracht.zeitr.	30	a	
Kalkul. Zins	8	%/a	

### Zwischenergebnisse

	Dämmreihe 1		Dämmreihe 2		Dämmreihe 3		
	neu	nach 30 a	neu	nach 30 a	neu	nach 30 a	
$\lambda_{\text{PUR}}$	0,0288	0,0391	0,0288	0,0384	0,0288	0,0379	W/(m*K)
q <sub>VL</sub>	14,2	18,7	11,8	15,5	10,7	13,8	W/m
q <sub>RL</sub>	7,6	9,9	6,4	8,3	5,8	7,5	W/m
q <sub>Trasse</sub>	21,8	28,6	18,3	23,8	16,5	21,3	W/m

### Ergebnisse (Überschuss bei höherwertiger Dämmung)

	Baukosten: mittel			Baukosten: niedrig			Baukosten: hoch			
	Mehrkosten	Einsparung	Überschuss	Mehrkosten	Einsparung	Überschuss	Mehrkosten	Einsparung	Überschuss	
<b>Reihe 1/2</b>	-29.580	29.580	0	-23.200	29.580	6.380	-46.400	29.580	-16.820	€/km Trasse
<b>Reihe 2/3</b>	-29.027	14.645	-14.382	-22.766	14.645	-8.121	-45.533	14.645	-30.888	€/km Trasse

Tabelle 3: Berechnung für die Dämmdickenoptimierung, Beispiel für DN 25

## 5. Ergebnisse der Berechnungen

Die wärmetechnische Auslegung der KMR ist aus der Auftragung der Wärmeverluste über der Nennweite erkennbar. Mit zunehmender Rohrdimension nimmt die Dämmdicke zu; bei mittleren Nennweiten weisen entsprechend dieser Dämmphilosophie die Rohre in einem Bereich von DN 200 bis 500 fast die gleichen Verluste auf. Rohre ab DN 500 sind gleich bleibend dick gedämmt, so dass die Verluste linear mit dem Durchmesser ansteigen, vgl. Bild 4.

Das Diagramm zeigt außerdem, dass der Übergang von Dämmreihe 1 auf Dämmreihe 2 größere Wärmeeinsparungen erbringt als der nächste Schritt von Dämmreihe 2 nach Dämmreihe 3. Im Mittel bringt der Schritt von Dämmreihe 1 nach Dämmreihe 2 eine Verbesserung um 20 %, der weitere Schritt von Dämmreihe 2 nach 3 nur noch 12 %.

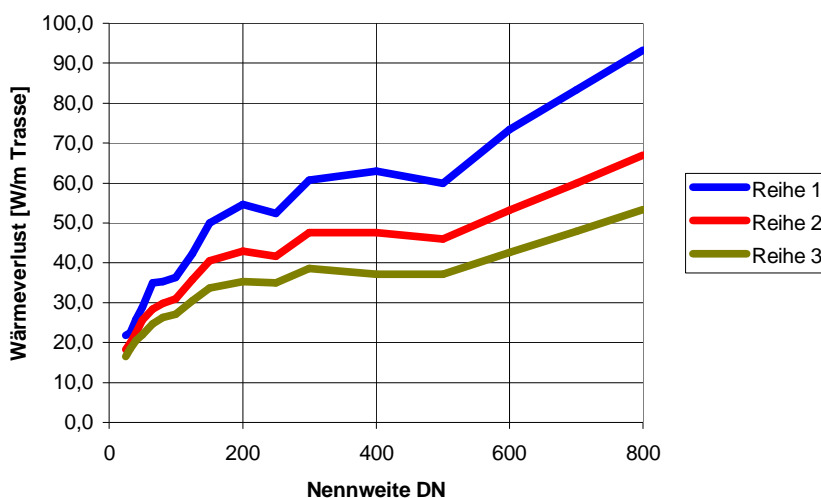


Bild 4: Wärmeverlust von KMR im Neuzustand als Funktion der Nennweite

Die wichtigeren Ergebnisse der Bearbeitung sind aus den Optimierungsberechnungen abzuleiten. Sie werden im Folgenden diskutiert. Besondere Aufmerksamkeit ist dabei auf folgende Eingabewerte zu legen, die sich als entscheidende Einflussgrößen erwiesen haben:

- die Baukosten: Einfluss sehr stark
- der kalkulatorische Zinssatz: Einfluss stark
- die Steigerungsrate des Wärmepreises: Einfluss stark

### 5.1. Übergang auf höhere Dämmdicke als Funktion des Wärmepreises

Betrachtet man den Bereich der kleinen bis mittleren Nennweiten (DN 25 bis DN 200), so nehmen die Grenzpreise für Wärme, oberhalb derer besser gedämmt werden sollte, mit zunehmender Nennweite ab, vgl. Bild 5.

(Bei Nennweite 50 herrscht eine Sondersituation wegen der Nennweitesprünge des Stahl- und des Kunststoffrohres. Eine Anwendung der Dämmreihe 2 macht hier keinen Sinn, sondern man sollte von Dämmreihe 1 sofort auf Dämmreihe 3 übergehen.)

Betrachtet man die größeren Nennweiten von DN 300 bis 600, so liegen die Grenzpreise für die wirtschaftlichen Dämmdicken deutlich höher und steigen wieder an, s. Bild 6.



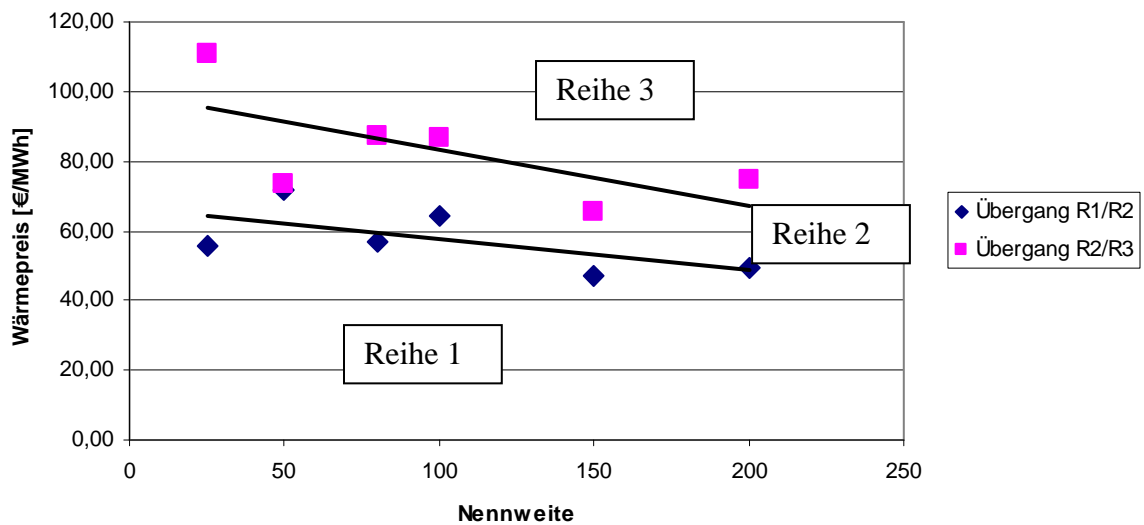
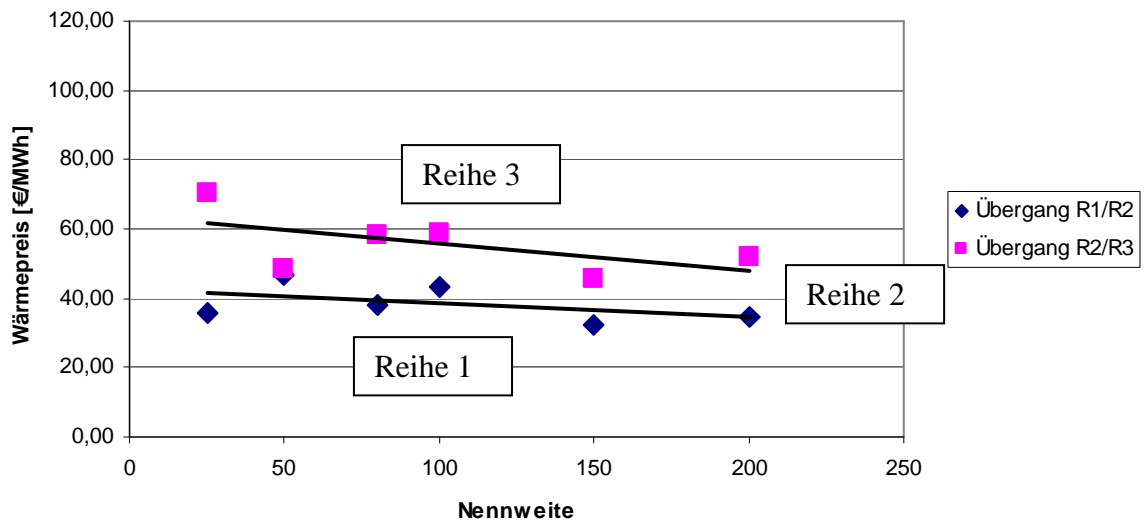
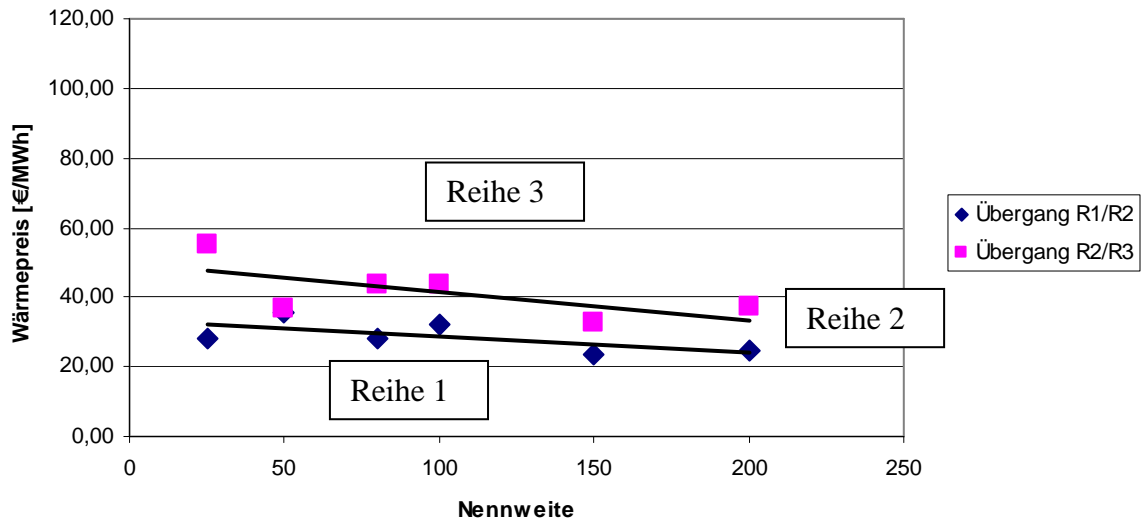


Bild 5: Grenzwert des Wärmeprices für den Übergang auf die nächste Dämmreihe  
 Nennweitenbereich DN 25 bis 200, Wärmepreis: +5%/a; Zinssatz: 8%  
 Baukosten: oberes Diagramm niedrig, mittleres mittel, unteres hoch

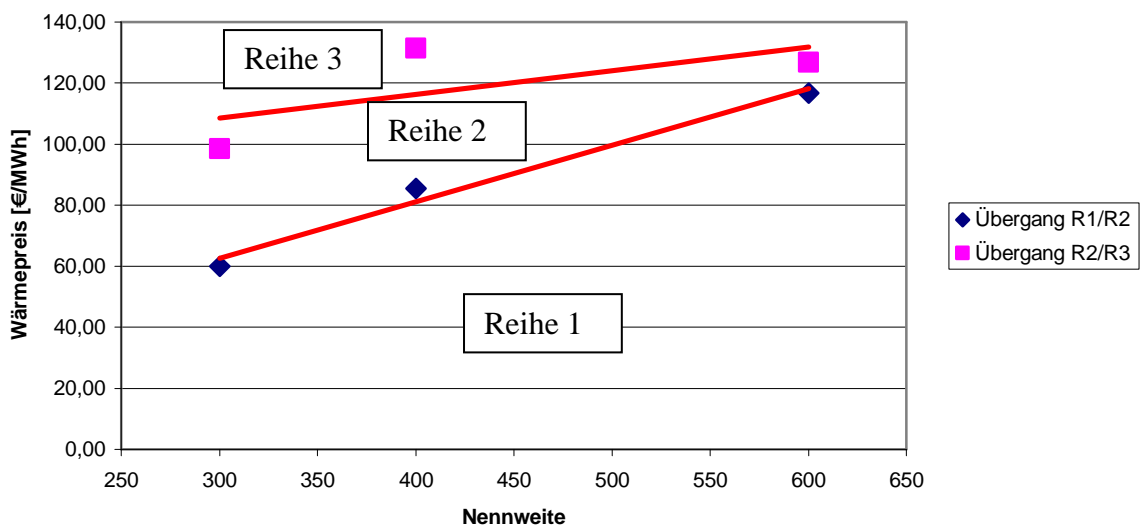
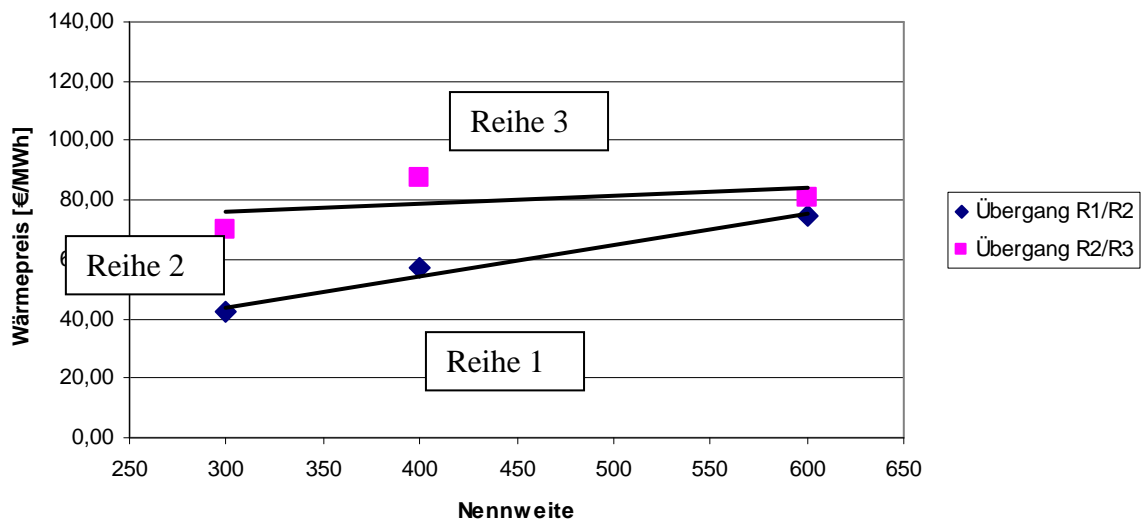
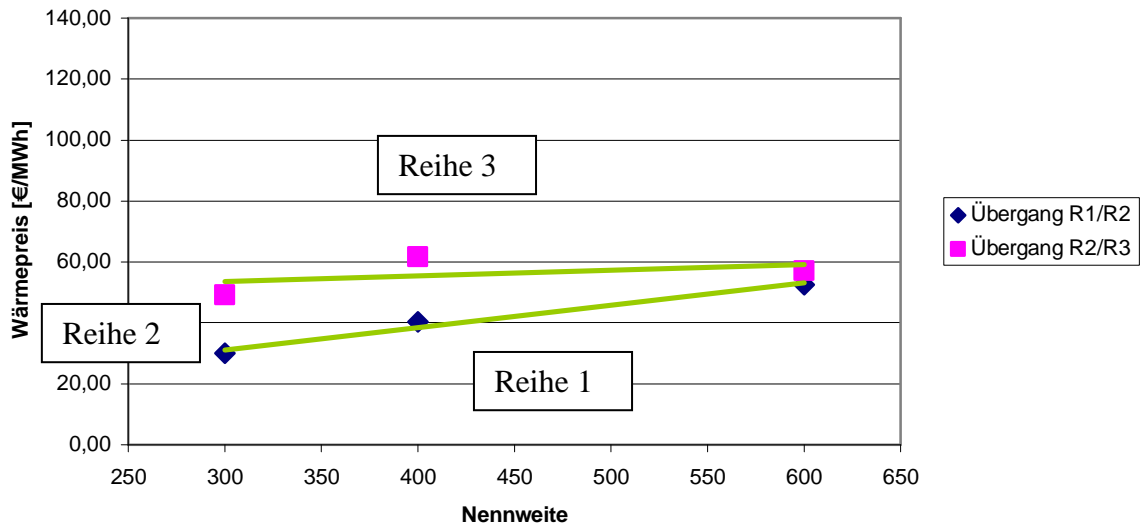


Bild 6: Grenzwert des Wärmepreises für den Übergang auf die nächste Dämmreihe  
 Nennweitenbereich DN 300 bis 600, Wärmepreis: +5%/a; Zinssatz: 8%

## 5.2. Einfluss steigender Wärmepreise

Es wird unterstellt, dass die Energiepreise in Zukunft weiter ansteigen. Für Vergleichsrechnungen wurden Steigerungsraten der Wärmepreise von 3 %, 5 % und 8 % pro Jahr angenommen. Hier drei Beispiele für DN 80, DN 200 und DN 400, jeweils gerechnet mit einem Zinssatz für eingesparte Verluste von 8 %. Bei hohen Steigerungsraten wird verbesserte Dämmung bereits bei niedrigen Wärmepreisen wirtschaftlich. Dargestellt ist der Wärmepreis im Startjahr der Betrachtung.

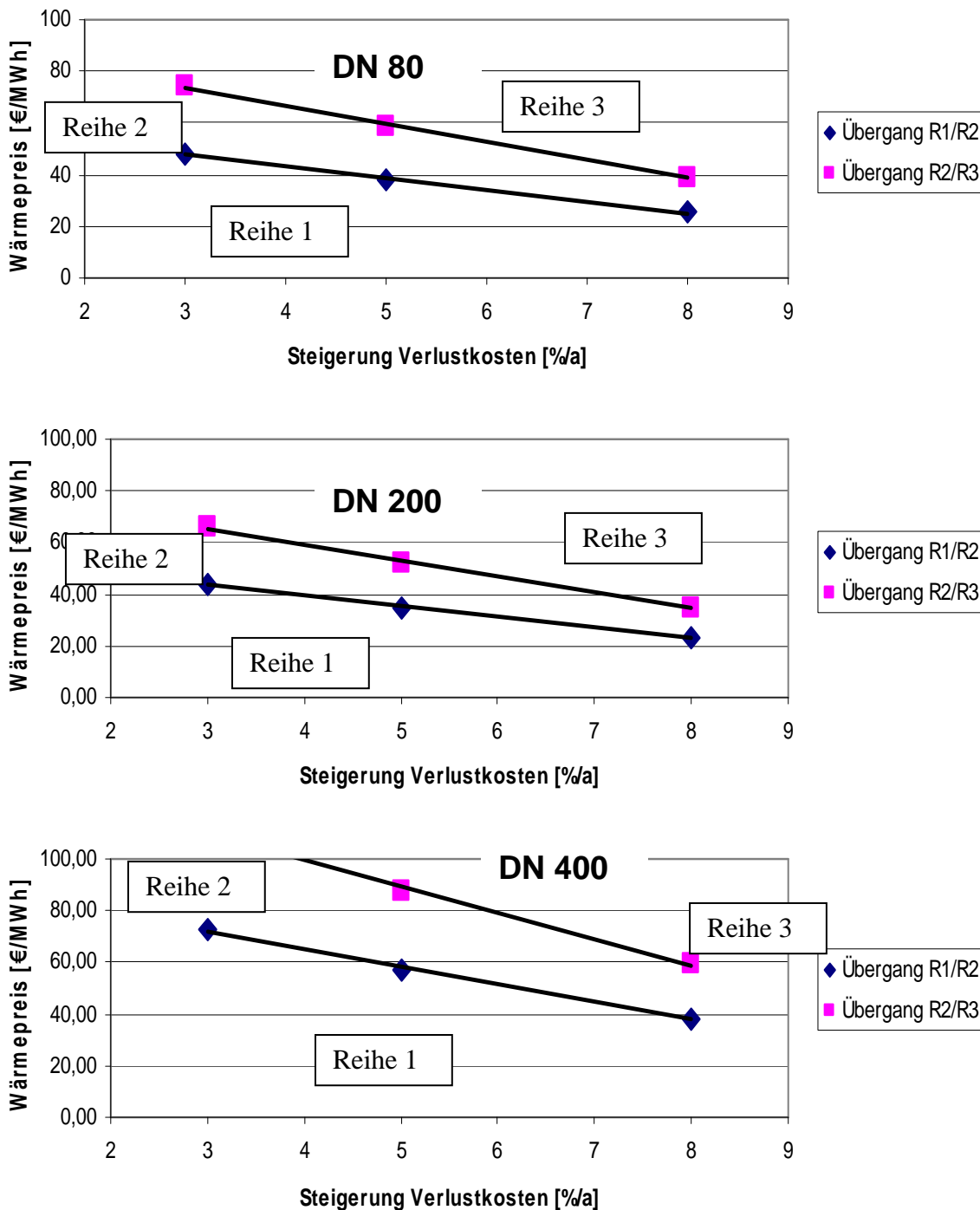


Bild 7: Einfluss jährlich steigender Wärmepreise; Beispiele für DN 80, DN 200 und DN 400  
Baukosten mittel, Zinssatz 8 %

## 5.3. Einfluss des Kalkulationszinssatzes

Mit steigendem Zinssatz verringert sich die Gutschrift aus den niedrigeren Wärmeverlusten, da die Wärmeeinsparung erst in der Zukunft anfällt. Damit wird höhere Dämmung erst bei höheren Wärmepreisen wirtschaftlich. Hier drei Beispiele für DN 80, DN 200 und DN 400. Der Übergang auf die nächst höhere Dämmreihe ist bei kleinen und mittleren Nennweiten bereits bei vergleichsweise niedrigen Wärmepreisen wirtschaftlich, vgl. Bild 8.

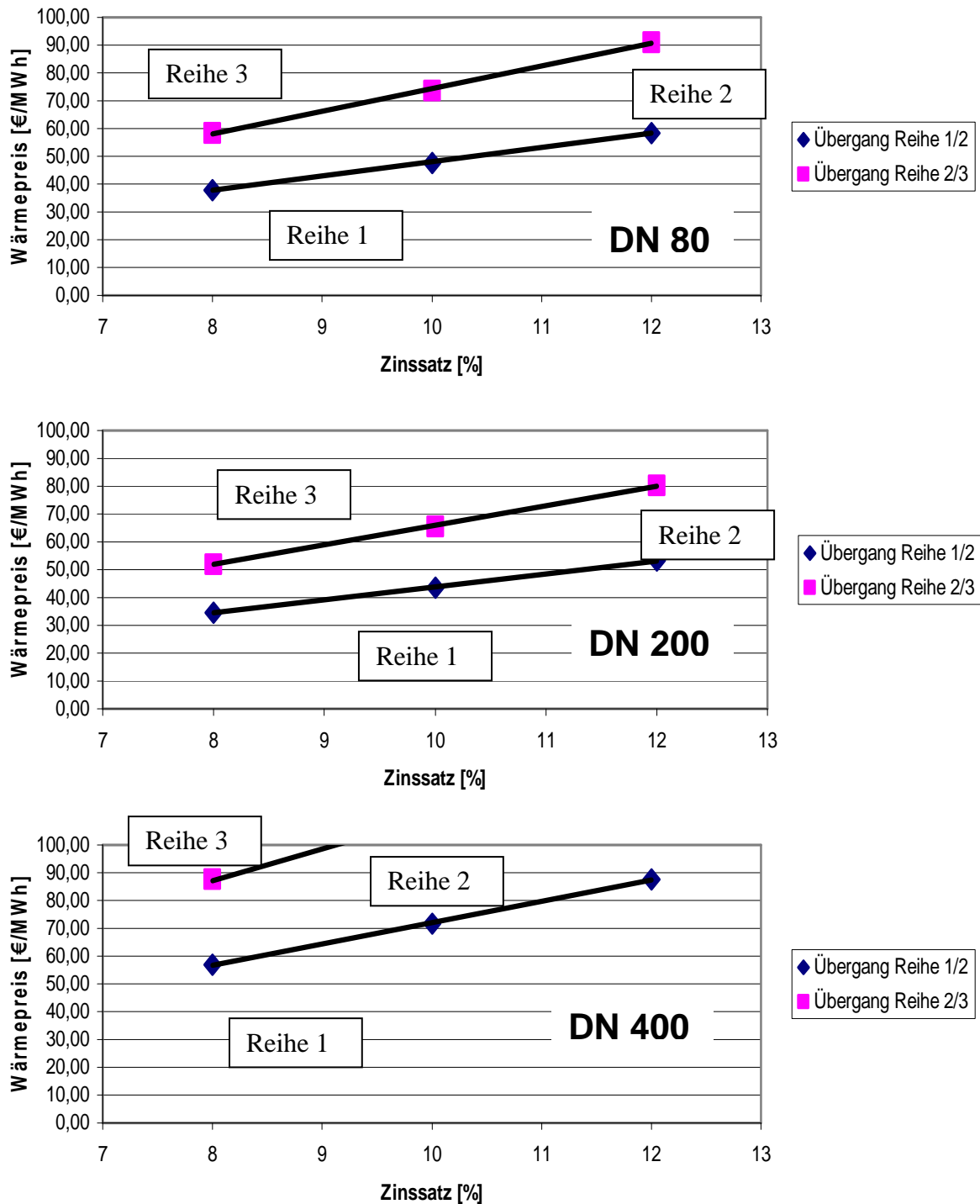


Bild 8: Einfluss des Kalkulationszinssatzes; Beispiele für DN 80, DN 200 und DN 400  
Baukosten mittel, Wärme +5%/a

#### 5.4. Kostenauswirkungen suboptimaler Dämmung

Im folgenden Diagramm in Bild 9 ist ausgewiesen, wie hoch sich Ersparnis oder Mehrkosten einstellen, wenn die Dämmung nicht entsprechend der Optimierungsberechnung ausgeführt wird.

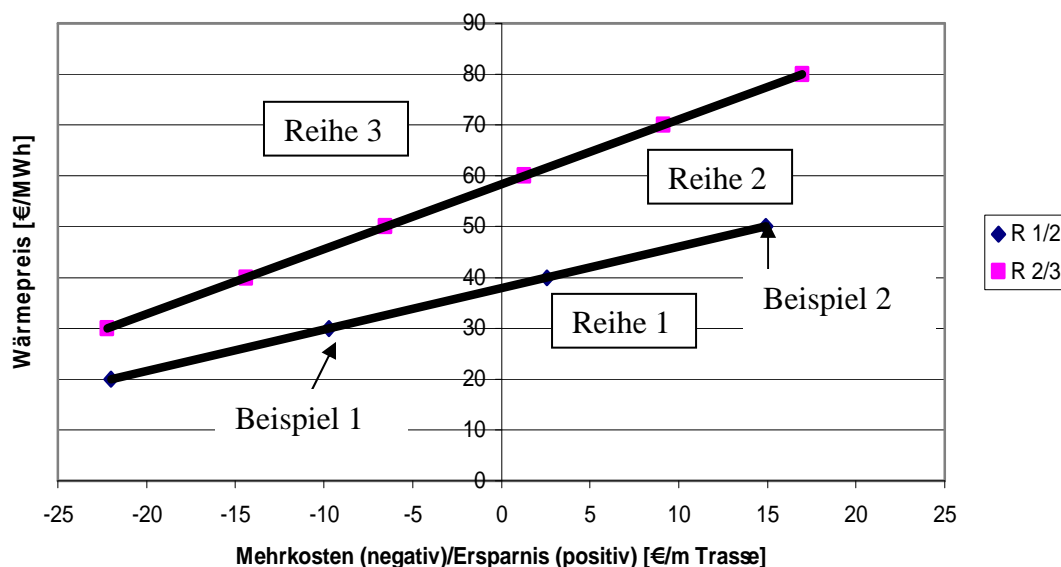


Bild 9: Kosten suboptimaler Dämmung, Beispiel für DN 80;  
Baukosten mittel, Wärme +5%/a; Zinssatz +8%/a

Das Diagramm ist wie folgt zu lesen:

Zunächst wird nur die Ordinate betrachtet. Beträgt der Wärmepreis bis zu 37,90 €, so ist die Dämmreihe 1 die wirtschaftliche Wärmedämmung. Steigt er darüber hinaus, so ist bis zu einem Wärmepreis von 58,36 € die Dämmreihe 2 optimal, darüber die Dämmreihe 3.

In den Bereichen rechts und links von der Ordinate kann man ablesen, wie nachteilig bzw. vorteilhaft bezüglich der Kosten es ist, wenn man bereits unterhalb der Grenzkurve auf die höherwertige Dämmung übergeht, linker Bereich; dazu unten Beispiel 1. Ebenso kann man ablesen, welchen Kostenvorteil eine höherwertige Dämmung bringt, rechter Bereich; dazu Beispiel 2. Die Kosten können direkt mit den Baukosten in € pro m Trasse zusammengefasst werden.<sup>1</sup>

Beispiel 1: Bei einem Wärmepreis von 30 €/MWh wäre eine Dämmung nach Dämmreihe 1 wirtschaftlich. Dämmt man stattdessen in Dämmreihe 2, so entstehen Mehrkosten von 9,72 €/m Trasse. Die Verlegekosten erhöhen sich quasi von 449 €/m auf 459 €/m. (Real fallen natürlich die Mehrkosten für die erhöhte Dämmung sofort beim Bau an, während die

<sup>1</sup> Erläuterung: Die Auftragung auf der Abszisse wird mit den Zahlenwerten zu Beispiel 1 beschrieben. Ein Abszissenwert ist die Differenz zweier Differenzen, und zwar der Differenz zwischen den erhöhten Baukosten für Reihe 2 gegen Reihe 1 (Mehrkosten für Reihe 2 sind  $448,63 - 402,00 = 46,63$  €/m) und dem Barwert der eingesparten Verluste zum Zeitpunkt der Erstellung (der Barwert ist bei 30 €/MWh  $217,25 - 180,34 = 36,91$  €/m). Somit:  $46,63 - 36,91 = 9,72$  €/m). Zugrunde gelegt ist wiederum ein 30-jähriger Betrachtungszeitraum.

Einsparungen sich erst in der Zukunft einstellen – und insofern auch mit Unsicherheiten behaftet sind. Die bessere Dämmung ist eine Investition in die Zukunft.)

Beispiel 2: Bei einem Wärmepreis von 50 €/MWh sollte wirtschaftlich in Dämmreihe 2 gedämmt werden. Dadurch erzielt man gegenüber einer Dämmung in Dämmreihe 1 eine Einsparung von 14,90 €/m.

Die Diagramme der Bilder 10 und 11 stellen den gleichen Zusammenhang für Rohrleitungen der Dimension DN 400 dar, wobei Bild 10 für das Baukostenniveau niedrig gilt und Bild 11 für das Niveau mittel.

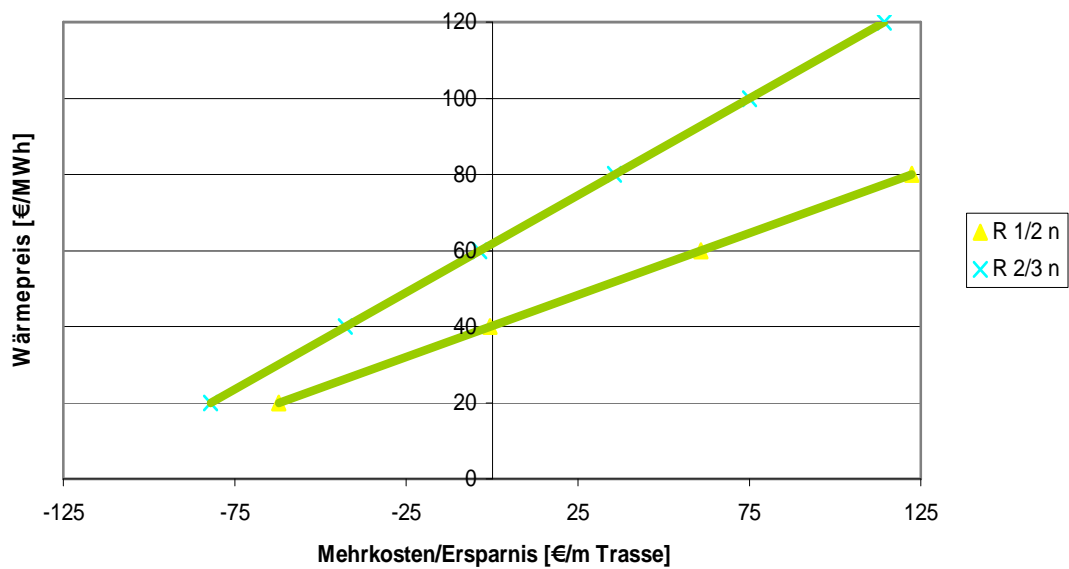


Bild 10: Kosten suboptimaler Dämmung, Beispiel für DN 400; Baukosten niedrig, Wärme +5%/a; Zinssatz +8%

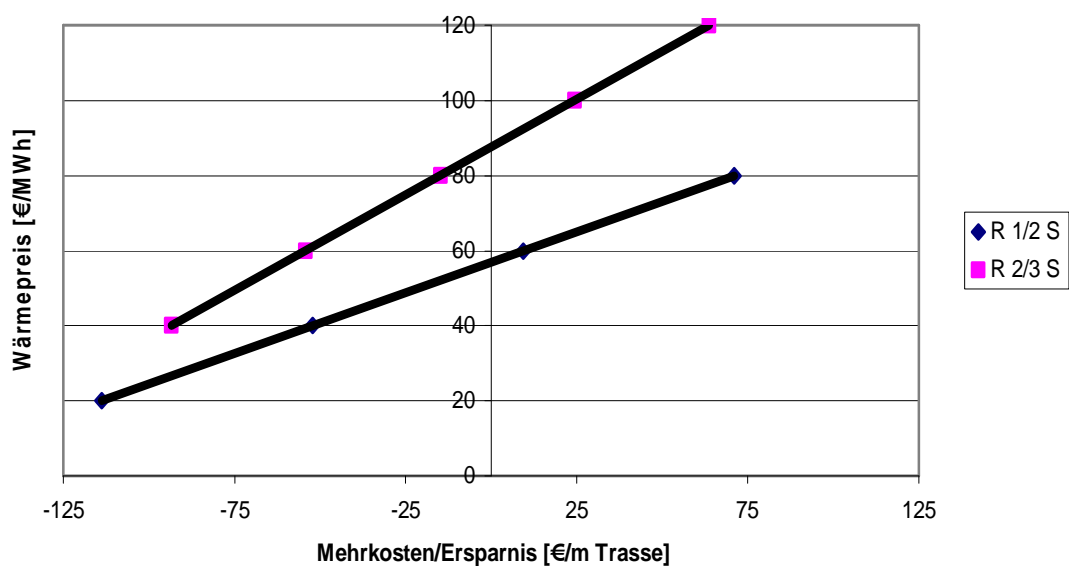


Bild 11: Kosten suboptimaler Dämmung, Beispiel für DN 400; Baukosten mittel, Wärme +5%/a; Zinssatz +8%

Für den Fernwärmenetzbetreiber ist von Interesse, welche Mehrkosten entstehen, wenn es bereits unterhalb der Grenzkosten auf verbesserte Wärmedämmung übergeht. Hierzu wird als Beispiel der Fall betrachtet, dass bereits bei einem Wärmepreis von 80 % des Grenzpreises anstelle der Dämmreihe 1 die Dämmreihe 2 eingesetzt wird. Für drei Nennweiten wird deshalb nachfolgend die Summe aus den Einsparungen infolge der verringerten Wärmeverluste (zukünftig) und den heutigen Baukosten der Leitung berechnet.

Das Ergebnis ist in Tabelle 4 zusammengestellt. Der Vergleich wird durchgeführt für die drei Nennweiten DN 80, DN 150 und DN 400, wobei für die Baukosten das Niveau mittel unterstellt wurde. Die Mehrkosten betragen in allen drei Fällen rd. 2,3 % der Baukosten.

<b>DN</b>	<b>Grenzkosten Wärmepreis €/MWh</b>	<b>80 % d. Grk. €/MWh</b>	<b>Mehrkosten €/m-Trasse</b>	<b>Baukosten R1 €/m-Trasse</b>	<b>Mehrkosten %</b>
80	37,90	30,32	9,33	402	2,32
150	32,47	25,98	13,32	590	2,26
400	56,95	45,56	35,05	1511	2,32

Tabelle 4: Mehrkosten bei Dämmung in Dämmreihe 2 statt in Dämmreihe 1  
Baukosten mittel, Wärmepreis 80 % der Grenzkosten  
Wärme +5%/a; Zinssatz +8%

## 6. Auswertung und Empfehlung

Eine Grobeinteilung, welche Dämmklasse die günstigste ist, kann man aus den Diagrammen des Abschnitts 5.1 ableiten.

Aus den langjährigen Erfahrungen mit steigenden Wärmepreisen und auch Baukosten empfiehlt es sich, die Wärmedämmung im Fernwärmeleitungsbau nicht zu knapp zu bemessen. Es gibt viele Beispiele alter Leitungen, deren Dämmung speziell optimiert wurde, die heute jedoch wärmetechnisch unter Bedingungen weit ab vom damals als optimal angesehenen Auslegungspunkt betrieben werden müssen. Aus dieser Erfahrung sollten als optimal berechnete Dämmdicken eher aufgerundet werden, keinesfalls jedoch unterschritten werden. Die hier vorgelegten Ergebnisse rechtfertigen dieses Vorgehen, denn die Mehrkosten, die durch höhere Dämmung entstehen, sind vergleichsweise gering gegenüber der Investition.

Es erscheint deshalb ratsam, bereits unterhalb der rechnerischen Grenzkosten, verbesserte Dämmung zu wählen. In Abwägung, mit welcher Toleranz man die Grenzwerte unterschreiten sollte, erscheinen unter Berücksichtigung der hier ermittelten Abhängigkeiten 20 % angemessen, vgl. Bilder 9 bis 11, bzw. Tabelle 4. Es wird somit empfohlen, bereits bei Wärmepreisen von etwa 20 % unterhalb des rechnerischen Grenzwärmepreises auf die nächst höhere Dämmklasse überzugehen. Dadurch erhöht sich die Sicherheit für langfristige Wirtschaftlichkeit deutlich. - In diesem Zusammenhang ist auch die Langlebigkeit der Leitungen zu berücksichtigen. Selbst wenn hier die Betrachtung über einen Zeitraum von 30 Jahren angestellt wurde, weil Preisprognosen darüber hinaus zu unsicher erscheinen, so sind diese 30 Jahre deutlich weniger, als ein langfristig planender Fernwärmenetzbetreiber für die Lebensdauer seiner Leitungen anstrebt. Umso wichtiger wird eine vorausschauende Dimensionierung.

Kommt man auf die Eingangsfrage zurück, in wie weit die bisherige Dämmstrategie für KMR, nämlich vorwiegend Dämmreihe 1 zu verwenden, überprüft werden sollte, so kann wiederum eine Grenzbetrachtung als Orientierungshilfe dienen: Unter welchem Szenarium wird erhöhte Dämmung wirtschaftlich interessant, bzw. bei welchen Wärmepreisen und Rahmenbedingungen sollte man von Dämmreihe 1 auf Dämmreihe 2 übergehen?

Die Berechnungen ergaben, dass die Haupteinflüsse auf die Dämmstrategie sind:

1. die Verlegekosten
2. die Steigerungsraten für den Wärmepreis (vgl. Bild 8)
3. der Kalkulationszinssatz (vgl. Bild 9)
4. und auch die Nennweite (vgl. Bilder 5 und 6)

Für den Anwender könnte eine Grenzbetrachtung interessant sein, oberhalb welchen Wärmepreises man überhaupt erst die bisherige Dämmstrategie überprüfen muss bzw. ob man es bei der Minimaldämmung belassen kann. Dies kann mit einer Grenzbetrachtung für ein Szenarium ermittelt werden, das eine erhöhte Dämmung begünstigt. Für diesen Grenzfall wird angesetzt:

1. Niveau Verlegekosten niedrig (grüner Streckenzug in Bild 1)
2. Steigerungsraten für den Wärmepreis 3%/a (abgeleitet aus der Entwicklung des Fernwärmepreises über die letzten 15 Jahre)
3. Kalkulationszinssatz 8%
4. Nennweite DN 150



Bild 12 stellt das Ergebnis dar, nämlich unterhalb welchen Wärmepreises es sich nicht lohnt, die Wärmedämmung zu erhöhen und auf Dämmreihe 2 überzugehen.

Das Diagramm, gültig für DN 150, zeigt im Hintergrund in dünner gestrichelter Linie die allein rechnerisch ermittelten Grenzkosten (analog zu den Diagrammen der Bilder 5 bis 12). Die hier maßgeblichen dicken Geraden kennzeichnen die um 20 % unter den Grenzkosten liegenden Grenzen, oberhalb derer bei der heutigen Auslegung von KMR anstatt der Dämmreihe 1 die Dämmreihe 2 bzw. 3 statt 2 gewählt werden sollten. Aus diesem Diagramm kann, wie in Bild 10 im Beispiel 1 erklärt wurde, abgelesen werden, welche Mehrkosten anfallen, wenn man bereits unterhalb der Grenzkosten auf höhere Dämmung übergeht.

Die Grenzlinie zwischen den Bereichen der Dämmreihe 1 und 2 schneidet die Ordinate unterhalb von 20 €/MWh, entsprechend heutigen Preisen. Da auch die bei dieser Berechnung unterstellte grüne Kostenkurve die Kostensituation bei einer großen Zahl Fernwärmenetzbetreibern repräsentiert, ist zu unterstellen, dass sich bessere Dämmung bereits heute empfehlen kann. Dieses Ergebnis wird durch Beobachtungen in der Branche gestützt.

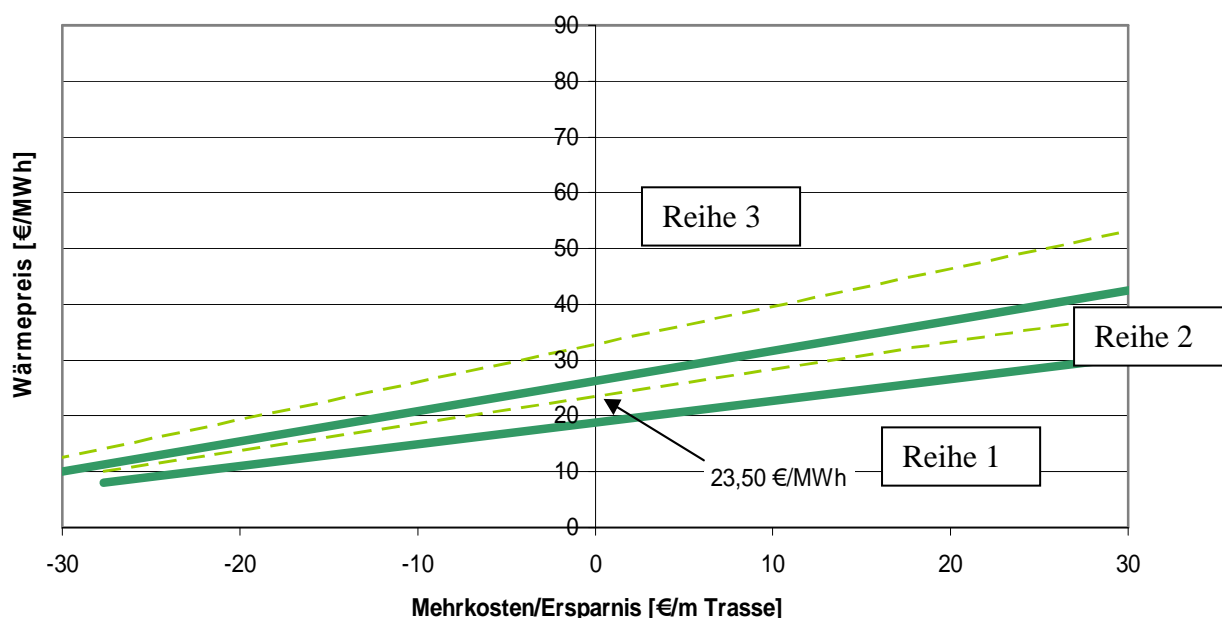


Bild 12: Vorschlag für die erhöhte Dämmung von KMR als Funktion des Wärmepreises, Beispiel für DN 150, Baukosten niedrig, Wärme +5%/a; Zinssatz +8%

Das Niveau des Wärmepreises, das hier diskutiert wird, mag aus Sicht mancher Fernwärmenetzbetreiber hoch erscheinen. Dennoch trifft es heute in vielen Fällen zu, nachdem die Unternehmen die Wärmeverteilung zunehmend eigenständig bilanzieren und damit einhergehend die Wärmepreise kostengerecht und damit höher als in der Vergangenheit ansetzen. Wenn dagegen - wie früher üblich - die Wärmeverluste als Eigenverbrauch angesehen und entsprechend niedrig bewertet werden, kann mit verstärkter Dämmung die Wirtschaftlichkeit kaum verbessert werden.

Allerdings ist zu berücksichtigen, dass bei dem einzusetzenden Wärmepreis nicht der arbeitsanteilige Mix aus Grund- und Spitzenlastwärmeerzeugung zu wählen ist. Vielmehr sind die Verluste mit dem Wärmepreis der teuersten gerade betriebenen Erzeugungsanlage zu

bewerten. Damit erhöht sich der Wärmepreis für die Verluste gegenüber dem Wärmepreis für Grundlast deutlich. Z. B. ergäbe sich bei einem Verhältnis von Grund- zu Spitzenlast von 50/50 und Wärmepreisen von 10 bzw. 50 €/MWh ein jahresmittlerer Wärmepreis für die Verluste von  $0,77 \cdot 10 + 0,23 \cdot 50 = 19,20$  €/MWh (Betriebsdauer der Spitzenlastanlage 23 % des Jahres). Dieser Wert spricht bereits in vielen Fällen für eine bessere Dämmung der Rohrleitungen.

Insgesamt ist für das Spektrum der Fernwärmeleitungen von DN 25 bis DN 600 und mehr festzuhalten, dass verbesserte Dämmung bei Rohren bis zu etwa DN 300 am ehesten die Wirtschaftlichkeit erreicht wird. Bei Großleitungen spielen die Verluste eine untergeordnete Rolle. Bei den Kleinleitungen sind die eingesparten Wärmemengen verhältnismäßig gering, so dass erst höhere Wärmepreise zur Wirtschaftlichkeit führen.

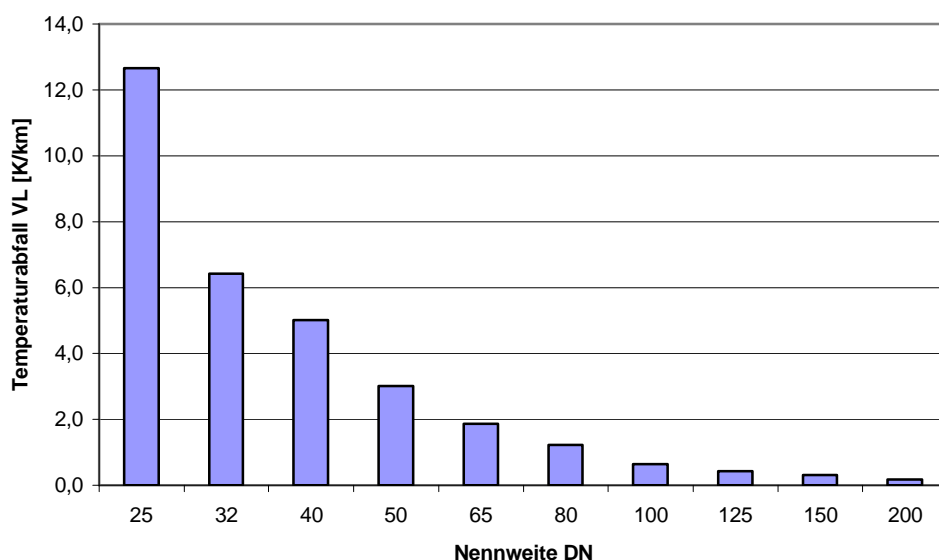


Bild 13: Temperaturabfall in Kleinleitungen bei Nennlast, nur Vorlaufleitung

Bei Kleinleitungen spricht allerdings ein anderes Argument für besseren Wärmeschutz und zwar der vergleichsweise hohe spezifische Temperaturverlust. In Bild 13 ist dargestellt, wie hoch die Auskühlung von Kleinleitungen im Vorlauf ist, die bei Nennlast betrieben werden. Die Hausanschlussleitungen vor der Übergabestation haben an dem gesamten Temperaturabfall von der Erzeugung bis zur Abnahme einen verhältnismäßig hohen Anteil. Wenn dieser Temperaturverlust durch bessere Dämmung gemindert wird, kann das gesamte Netz über längere Zeit im Sommer bzw. den Übergangsjahreszeiten mit niedrigerer Vorlauftemperatur gefahren werden. Damit verbessert sich die Wirtschaftlichkeit der gesamten Versorgung.

Als Resümee ist aus den vorgelegten Ergebnissen zu schließen, dass es heute durchaus sinnvoll sein kann, KMR-Leitungen in einer höheren Dämmklasse auszuführen. Letztlich muss jeder Fernwärmenetzbetreiber seine Dämmstrategie aus seinen eigenen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen ableiten.

## 7. Literatur

- [1] DIN EN 13941  
Auslegung und Installation von werkmäßig gedämmten Verbundmantelrohren für die Fernwärme
- [2] Schmitt, F.; Hoffmann, H.-W.; Göhler, T.  
Strategies to Manage Heat Losses – Technique and Economy  
IEA International Energy Agency, Program of Research, Development and Demonstration on District Heating  
SenterNovem, Sittard, Niederlande 2007
- [3] Jarfelt, U.  
Persönliche Mitteilung  
2004
- [4] Zeitler, M.  
Berechnungsverfahren zur Bestimmung des Wärmeverlustes von verschiedenen Verlegesystemen erdverlegter Rohrleitungen  
Fernwärme international – FWI, Jg. 9 (1980), Heft 3
- [5] Grigull, U.  
Wärmeverluste erdverlegter Rohrleitungen  
Wärme-, Klima- und Sanitärtechnik, Juli 1970
- [6] Jarfelt, U.  
Jämforelse mellan dubbel- och enkelrör  
Ackumulerade värmeförluster och miljöbelastning under 50 aars drifttid  
FOU 2002:79, Svenska Fjärrvärmeföreningens Service AB,  
Stockholm, Sweden 2002
- [7] FW 401-3:2007  
Verlegung und Statik von Kunststoffmantelrohren (KMR) für Fernwärmenetze  
- Bauteile; Gerade Verbundmantelrohre -

27.11.2009