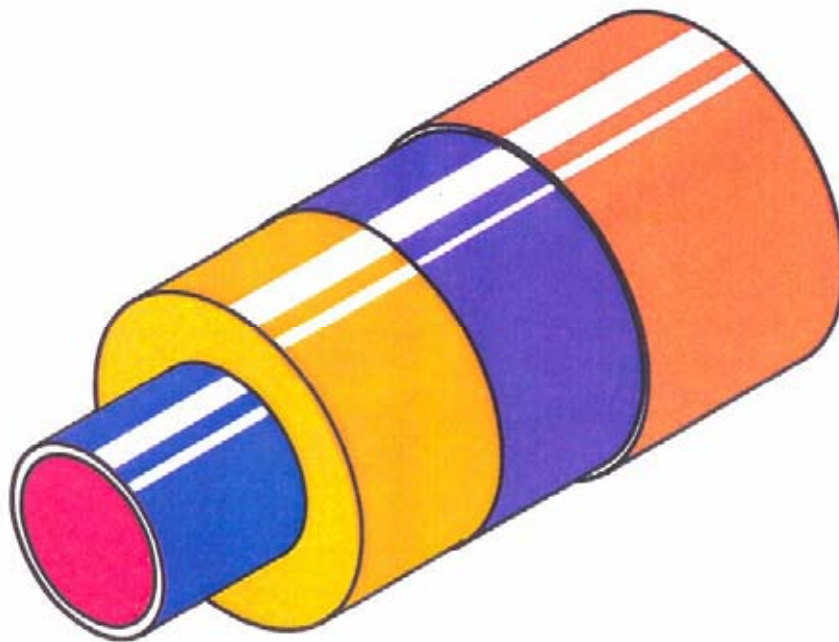


Dämmungen Kälteleitungen

Dämmen von Kälteleitungen gegen Energieverlust (Schutz vor Erwärmung), Vermeidung von Tauwasserbildung und Schutz der Anlage vor Korrosion.

Eine sichere und funktionstüchtige Dämmung von Kälteleitungen besteht aus einem komplettem Dämmsystem umfassend Korrosionsschutz des Mediumträgers, Ansetzmasse der Dämmung, anforderungsgerechtem Dämmmaterial, Dampfsperre und Umhüllung als Schutz der Dampfsperre vor Verletzungen.



Kälteleitungen

Alle Kälte-Anlagenteile sind je nach Mediumtemperatur extrem vereisungs- oder schwitzwassergefährdet. Deshalb werden die Komponenten mit speziellen rostschtzenden Beschichtungen versehen oder mit korrosionsfesten Materialien ausgefuhrt (z.B. Chromstahl oder Kunststoff). Auch f#r die Befestigungen (Rohrschellen) kommen ged#mmte Ausf#hrgen zur Anwendung, damit keine K#ltebr#cken entstehen.

K#lte-D#mm-Systeme erfordern eine l#ckenlose, absolut saubere Verarbeitung. Zudem m#ssen diese D#mm-Systeme diffusionsicher ausgefuhrt werden, da sich sonst stetig Kondensat im D#mmmaterial anreichert bis dies v#llig durchn#sst ist und damit wirkungslos wird.

Der K#lte-Energie-Verlust wird bei der Dimensionierung der D#mmst#rke vielfach zuwenig beachtet. Meist wird die D#mmst#rke gerade so bemessen, dass auf der Isolieroberfl#che sicher kein Kondensat entstehen kann.

Der K#lte-Energie-Verlust ist bei solchen D#mmst#rken immer noch sehr hoch.

K#lte-D#mmungen mit PIR-Schalen

Diese klassische K#ltd#mmung wird heute vorwiegend in sp#ter unzug#nglichen R#umen (z.B. Steizonen, Energiekan#len) verbaut. Das D#mmsystem ist mehrlagig aufgebaut und zeichnet sich durch einen hohen D#mmwert und den langj#hrigen, sicheren Funktionserhalt aus.

- Vorteile:**
- Hoher D#mmwert
 - unterhaltsfreie, sichere D#mmung #ber viele Jahre
 - gutes Preis/Leistungs-Verh#ltnis
- Nachteile:**
- relativ grosser Platzbedarf f#r die Montage
 - lange Montagezeiten durch mehrlagigen Aufbau

K#lte-D#mmung mit synthetischem Kautschuk

Bei synthetischem Kautschuk ist das Material geschlossenzellig und in hohem Masse dampfsperrend. Je nach Typ sind D#mmschl#uche mit ansteigenden D#mmst#rken erh#ltlich, was eine automatische Anpassung der D#mmdicke bei diversen Rohrgr#ssen ergibt. Der herausragende Vorteil dieses Materials ist, dass in einem Arbeitsgang mit geringer Schichtdicke eine Schwitzwasserbildung verunm#glich wird.

- Vorteile:**
- kurze Montagezeiten (Montage in einem Arbeitsgang)
 - kann ohne Umh#llung belassen werden (Ausnahme bei direkter Sonneneinwirkung)
 - relativ d#nne D#mmst#rken m#glich
- Nachteile:**
- da d#nne D#mmst#rken gen#gen, um Kondensat zu verhindern, gr#ssere K#lteverluste

K#lte-D#mmung mit PUR-Ortschaum

Bei dieser Ausf#hrung werden die zu d#mmenden Leitungen, Armaturen, Speicher sowie die Innenseite des ALU-Mantels mit einem Trennmittel (spez. Fett und/oder spez. Fettbandag) versehen. Der Hohlraum wird dann mittels spez. Maschinen mit PUR-Schaum ausgesch#umt.

Diese Ausf#hrung verlangt genaueste Arbeitsweise, einige Erfahrungen und spezialisierte erfahrene Fachleute.

Allgemeines

Vorwort

Bei der Dämmung von Kühl- und Kälteanlagen sind die physikalischen Gesetzmässigkeiten besonders zu beachten. Korrosionsschäden, die in den letzten Jahren festgestellt wurden, sind zum Teil auf planerische, bauliche oder installationsbedingte Mängel zurückzuführen. Die vorliegende Richtlinie soll den heutigen Stand der Technik zusammenfassen. Sie soll dem Planer eine Arbeitshilfe sein. Es geht darum, Energieverluste klein zu halten und Schäden an den Anlagen in Zukunft zu vermeiden.

Geltungsbereich

Die Richtlinie gilt für Dämmungen im Tauwasserbereich für Mediumtemperaturen von +1°C bis +20°C. z.B.

- | | | |
|----------------------|------------|--------|
| - Eiswasser | + 1°C bis | + 5°C |
| - Kühlwasser | + 6°C bis | + 12°C |
| - Kühlwasser | + 12°C bis | + 18°C |
| - Kaltwasser | + 8°C bis | + 20°C |
| - Wärmerückgewinnung | + 5°C bis | + 20°C |

Für spezielle Anlagen und extreme bauliche Verhältnisse ist immer eine Fachfirma zur Planung und Beratung beizuziehen.

Vorbemerkungen

Mit der Dämmung im Tauwasserbereich werden folgende Ziele angestrebt:

- Vermeiden der Tauwasserbildung
- Schutz des Mediums vor Erwärmung
- Reduktion der Energieverluste
- Schutz der Anlage vor Korrosion

Bei Dämmungen im Tauwasserbereich ist die Wasserdampfdiffusion aufgrund eines Konzentrations- oder Dapfteildruckgefälles bei gleich hohem Gesamtdruck **nicht** zu vermeiden. Die Diffusion bewirkt bei Erreichen des Wasserdampfsättigungsdruckes im Innern der Dämmsysteme ein Ausscheiden von Tauwasser. Dadurch verliert der Dämmstoff viel von seiner Wirkung. Die Oberfläche der Anlage kann je nach Materialart korrodieren.

Jedes Dämmsystem besitzt damit eine bestimmte, eingeschränkte Lebensdauer. Diese hängt vom Zeitpunkt des Erreichens der zulässigen Grenze des Wassergehaltes im Dämmstoff ab. Dabei sollen die Anlageteile intakt bleiben.

Die Lebensdauer eine Dämmung wird von der Qualität der Dampfbremse(n) bestimmt.

Die Dampfbremse besteht aus einer oder mehreren Schichten, die eine Feuchtigkeitsaufnahme infolge Diffusion und einen Feuchtigkeitsaustausch durch Luftströmung im Dämmstoff vermindert.

Um einen Luftaustausch und eine Wasserdampfdiffusion zu verhindern, wäre eine hundertprozentige Dampfsperre erforderlich.

Diese lässt sich nur mit hohem technischen Aufwand herstellen. Zwar stehen genügend dampfdichte Materialien, z.B. Metallfolien oder Bleche zur Verfügung. Es fehlen aber kostengünstige Verbindungstechniken für luft- und dampfdichte Abschlüsse an Nähten und/oder Durchdringungen. Jede Dämmung im Tauwasserbereich muss deshalb periodisch überwacht werden können. Gleichzeitig soll der Korrosionsschutz der Anlage überprüft werden.

Vorbedingungen

Planungshinweise für Architekt und Ingenieur

- Erfassen der Mediumtemperatur, Umgebungstemperatur, relative Feuchtigkeit, Betriebsarten, Umwelteinflüsse.
- Festhalten des Verwendungszweckes der Räume, z.B. Computerraum, Lebensmittellager.
- Beachten der brandschutztechnischen Vorschriften, Brandabschnitte, Durchbrüche.
- Bestimmen der gewünschten Lebensdauer der Anlage und des Dämmsystems.
- Wählen des Dämmsystems nach Anwendungsbereich.
- Die Rohrleitungen und Armaturen müssen so geplant sein, dass rund um das vorgesehene Dämmsystem ein Mindestabstand von 100 mm vorhanden ist. Apparate müssen allseitig zugänglich sein.
- Zur Vermeidung der Kältebrücken dürfen die Anlageteile und ihre Halterungen bzw. Befestigungen keine direkten Verbindungen aufweisen.
- Fixpunkte müssen so geplant werden, dass eine Dämmung der Rohrhalterungen möglich ist.
- Die Voraussetzungen für die Einhaltung der Verarbeitungsvorschriften für das Dämmsystem müssen bauseitig erfüllt werden.
- Thermometerstutzen, Fühler, usw. müssen mindestens 20 mm über das Dämmsystem herausragen und mit Gefälle vom Rohr geplant werden.
- Nichtgedämmte Armaturen sind, wo möglich, horizontal eingebaut zu planen. Es sind Tauwassersammler einzuplanen.
- Die gedämmte Anlageteile dürfen nicht für die Befestigung von anderen Installationen vorgesehen werden.

Montagevoraussetzungen für Installations- und Isolierfirmen

- Das bauseitig vorgesehene Dämmsystem ist aufgrund der angegebenen technischen Daten nachzuprüfen.
- Die zu dämmenden Anlageteile sind auf Eignung der gestellten Anforderungen zu prüfen. (Ort, Zugänglichkeit).
- Die zu dämmenden Anlageteile müssen abgepresst sein (Druckprobe).
- Die Anlage darf bis zur Fertigstellung des Dämmsystems nicht in Betrieb genommen werden.
- Die zu dämmenden Anlageteile müssen schmutz-, rost- und fettfrei sein.
- Die Rohrleitungen und Armaturen müssen so montiert sein, dass rund um das vorgesehene Dämmsystem ein Mindestabstand von 100 mm vorhanden ist. Apparate müssen allseitig zugänglich sein.
- Die korrosionsgefährdeten Anlageteile sind gemäss den Richtlinien für Korrosionsschutz zu behandeln.
- Zur Vermeidung von Kältebrücken dürfen die Anlageteile und ihre Halterungen, bzw. Befestigungen keine direkten Verbindungen aufweisen.
- Fixpunkte müssen so konstruiert und montiert sein, dass eine Dämmung der Rohrhalterungen möglich ist.
- Das Dämmsystem muss auch im Bereich der Mauerdurchführungen gewährleistet sein.
- Die Voraussetzungen für die Einhaltung der Verarbeitungsvorschriften für das Dämmsystem müssen bauseitig erfüllt werden.
- Bezeichnungsschilder und elektrische Anschlussleitungen dürfen nicht direkt auf die zu dämmenden Anlageteile montiert werden.
- Thermometerstutzen, Fühler, usw. müssen mindestens 20 mm über das Dämmsystem herausragen und mit Gefälle vom Rohr montiert werden.
- Entlüftungen und Entleerungen sind ab Anlageteil mindestens 500 mm zu dämmen.



Dämmungen im Tauwasserbereich

Mediumtemperaturen +1 °C bis +20 °C

Bestimmung des Sperrwertes

Einleitung

Ein Dampfdruckgefälle von der Oberfläche der Umhüllung zur Rohroberfläche bewirkt Wasserdampfdiffusion durch das Dämmsystem und Ausscheiden von Tauwasser in demselben. Die richtige Dampfbremse verhindert ein Überschreiten der zulässigen Feuchtigkeitszunahme im Dämmsystem.

Beispiel

$t_1 = 6\text{ °C}$, $t_2 = 20\text{ °C}$, $\varphi_2 = 80\%$
 $d_1 = 60\text{ mm}$, $z = 10\text{ Jahre}$, $F = 3\%$

Bestimmung der Dämmdicke gemäss separatem Diagramm.

Gewählte Dämmdicke: $s = 40\text{ mm}$

Bestimmung des Dampfdruckgefälles aus Diagramm:

$p_2 = 1870\text{ Pa}$, $P_{s1} = 940\text{ Pa}$, $\Delta p = 930\text{ Pa}$

Bestimmung des Sperrwertes aus Diagramm:

$\mu_s = 65\text{ m}$

Begriffe

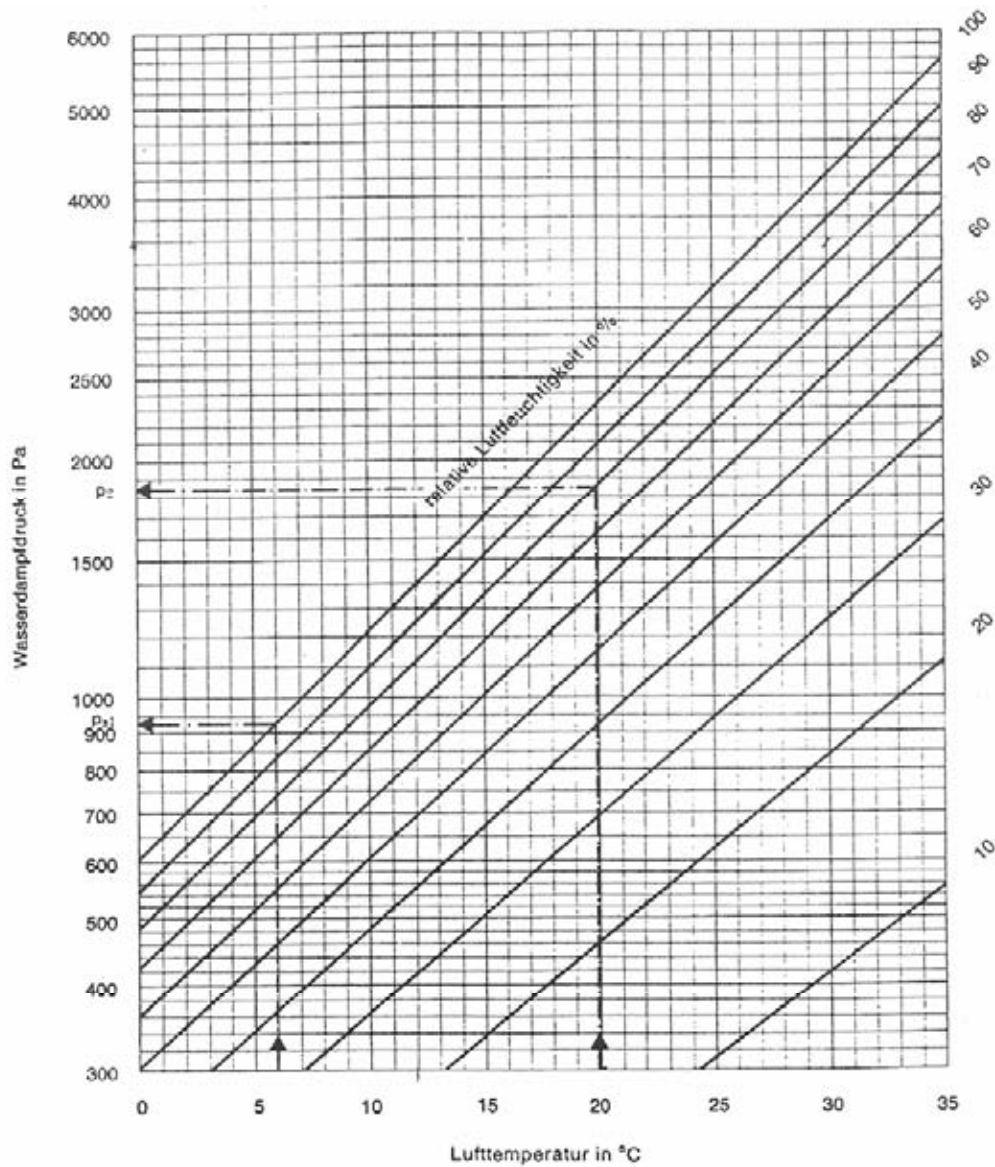
- t_1 Mediumtemperatur
- t_2 Lufttemperatur
- φ_2 relative Luftfeuchtigkeit der Umgebung
- d_1 Aussendurchmesser des Rohres bzw. Innendurchmesser der Dämmung
- z Zeit während welcher die zulässige Feuchtigkeitszunahme im Dämmstoff nicht überschritten werden darf.
- F zulässige Feuchtigkeitszunahme des Dämmstoffes.
- s zur Ausführung vorgesehene Dämmdicke.
- ΔP Dampfdruckgefälle von der Oberfläche der Umhüllung zur Rohroberfläche
- μ_s min. erforderliche diffusionsäquivalente Luftschichtdicke der Dampfbremse, damit während der Zeit z die Feuchtigkeitszunahme F nicht überschritten wird.

Berechnungen

Anlage

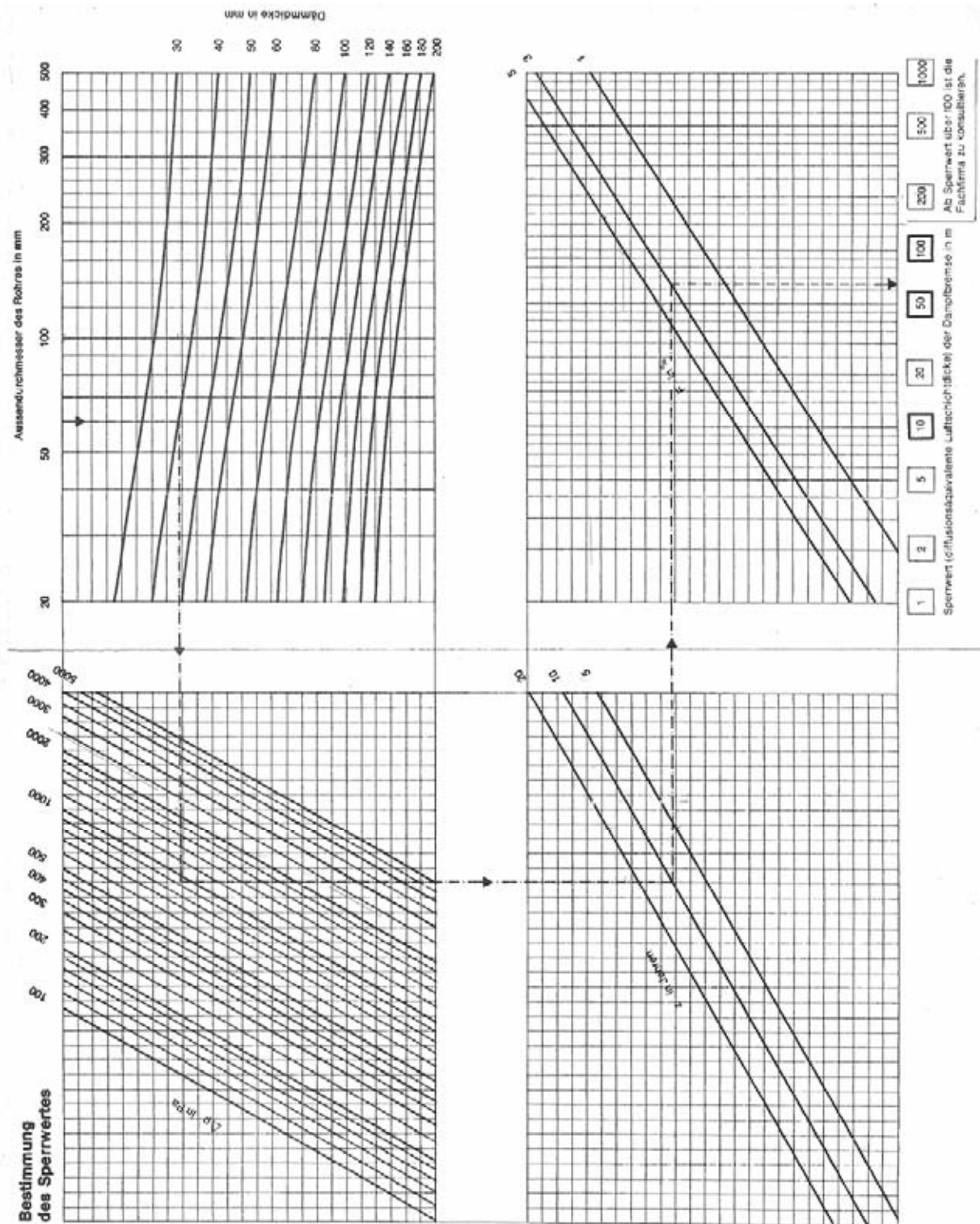
t_1							°C
t_2							°C
Φ_2							%
d_1							mm
z							Jahre
F							Vol.-%
s							mm
Δp							Pa
μ_s							m

Bestimmung des Dampfdruckgefälles



Mediumtemperatur	t_1	°C
Lufttemperatur der Umgebung	t_2	°C
relative Luftfeuchtigkeit der Umgebung	φ_2	%
Dampfteildruck auf der Oberfläche der Umhüllung	p_2	Pa
Sättigungsdruck auf der Rohroberfläche	p_{s1}	Pa
Dampfdruckgefälle	$p_2 - p_{s1} = \Delta p$	Pa

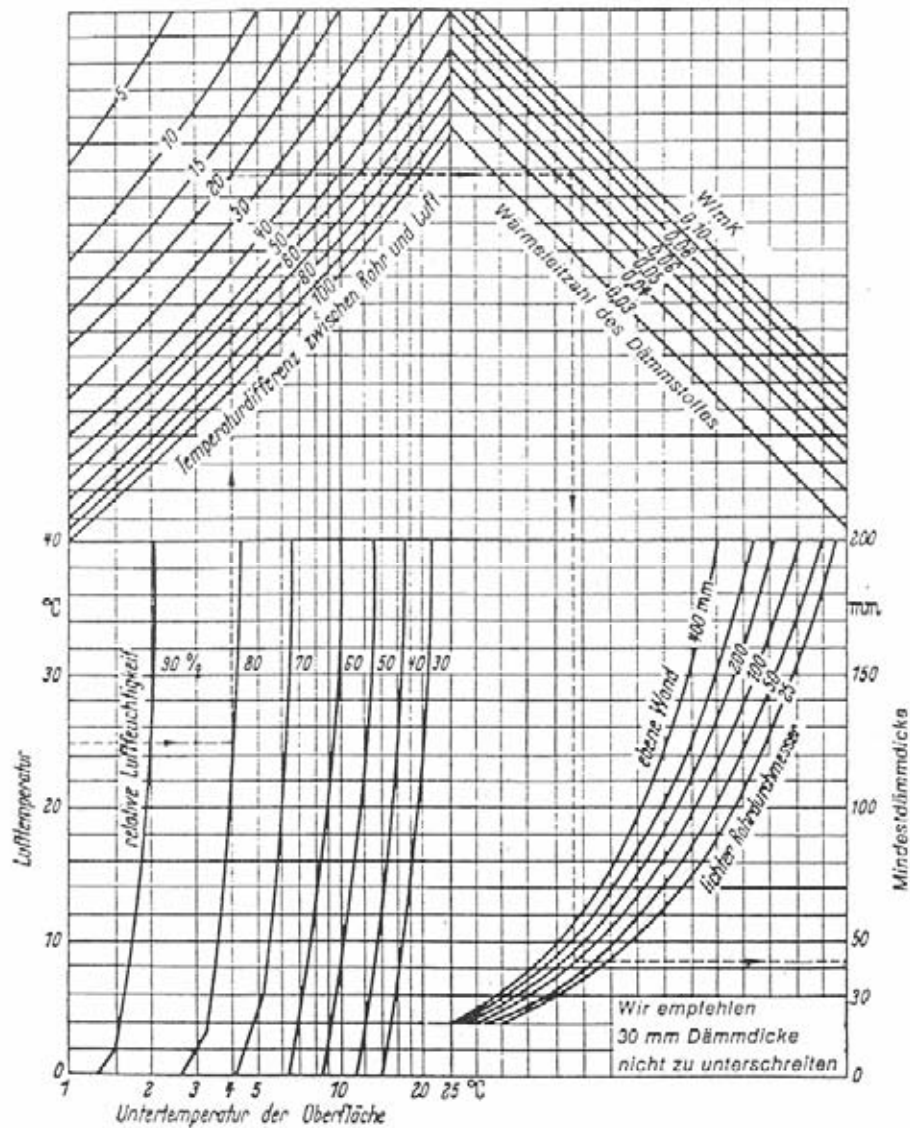
Mediumtemperaturen +1°C bis +20°C



Bestimmung der Dämmdicke

Zahlenbeispiel

Relative Luftfeuchtigkeit 80%, Lufttemperatur + 25°C, Frischwassertemperatur + 5°C, Wärmeleitzahl 0.06 W/mK, Rohr \varnothing NW 100 mm. Das Diagramm ergibt eine minimale Dämmdicke von 42 mm. Diese ist auf 50 mm Normdicke aufzurunden.



Abdruck des Diagramms mit Verfassergenehmigung aus Buch von Dr. J. S. Cammerer „Der Wärme- und Kälteschutz in der Industrie“, 4. Auflage 1962, Springer-Verlag.

Bezeichnung	DENSO-Masse KW
Rohdichte	1,59 g/cm ³
Verarbeitungstemperatur	-10°C bis +60°C
Temperaturbeständigkeit	-100°C bis +30°C (kuzfristig bis +60°C)
Materialverbrauch	ca. 1 - 1,5 Kg/m ² (auf Kälteleitungen und Hartschaumschale)
Verwendung	als Korrosionsschutz

Bezeichnung	DENSITAL-Flüssigkunststoff / Dampfsperre
Verarbeitungstemperatur	+5°C bis +50°C
Temperaturbeständigkeit	-50°C bis +80°C
Trocknungszeiten	1-2 Std / Auftragsschicht
Materialverbrauch	ca. 600 bis 800 g/m ² für zweischichtige Applikationen ca. 250 g/m ² für weitere Schichten

Bezeichnung	DENSOTEC - Fettbandagen
Temperaturbeständigkeit	-40°C bis +35°C
Tropfpunkt	60°C
Verwendung	als Korrosionsschutz
Material	Polypropylen-Vlies (Träger) Petrolatummasse (imprägniert)
Dichte	> 1mm
Verarbeitungstemperatur	+5°C bis +30°C

Inhaltsübersicht

1. Kälte-Dämmsystem mit PIR-Dämmschalen

1.	1	Systembeschreibung	2
	2	Elemente des Kälte-Dämmsystems	3
	3	Dämmtechnische Begriffe und Kenngrößen	4
	4	Vorschriften, Normen, Empfehlungen	6
	5	Mitgeltende Bestimmungen, Haftungsausschluss	6

2. Dimensionierung des Kälte-Dämmsystems

2.	1	Daten für die Dimensionierung	7			
	1.	1	Umgebungs-klima	7		
		2	Mediumtemperatur	7		
		3	PIR-Dämmschalen	7		
		4	Rohrdurchmesser	7		
		5	Dampfbremse	7		
		6	Ummantelung	7		
	2.	2	Methoden für die Dimensionierung	8		
		2.	1	Einleitung	8	
			2	Tauwasserschutz	8	
			3	Feuchteschutz	8	
			4	Kälteschutz	8	
			5	Schutz ruhender Wasserleitungen gegen Einfrieren	8	
			6	Wirtschaftlichkeit	8	
		3.	3	Tabellen für die Dimensionierung	10	
			3.	1	Tauwasser- und Feuchteschutz	10
				2	Kälteschutz	15
				3	Schutz ruhender Wasserleitungen gegen Einfrieren	15
				4	Wirtschaftlichkeit	15
				5	Ermitteln der Dämmdicke	16

3. Anwendungs- und Ausführungsempfehlungen

3.	1	Korrosionsschutz	17		
	2	Anwendungsempfehlungen	17		
	3	Ausführungsbeschreibungen	17		
	3.	4	Ausführungsrichtlinien	19	
		4.	1	Allgemeines	19
			2	Anforderungen	19
			3	Unterkonstruktion	19
			4	Ansetzmasse	19
			5	Dämmung	20
			6	Dampfbremse	20
			7	Schutzschicht	20
			8	Ummantelung	20
			9	Verschiedenes	20

4. Anhang

4.	1	Materialkennwerte – Richtwerte	22
	2	Tabellen Kälte-Leistungsverluste Dämmsystem PIR – Polyisocyanurat	23
	3	Tabellen Kälte-Leistungsverluste Dämmsystem FEF – Kautschukschaum	24
	4	Tabellen Kälte-Leistungsverluste Dämmsystem CG – Schaumglas	25

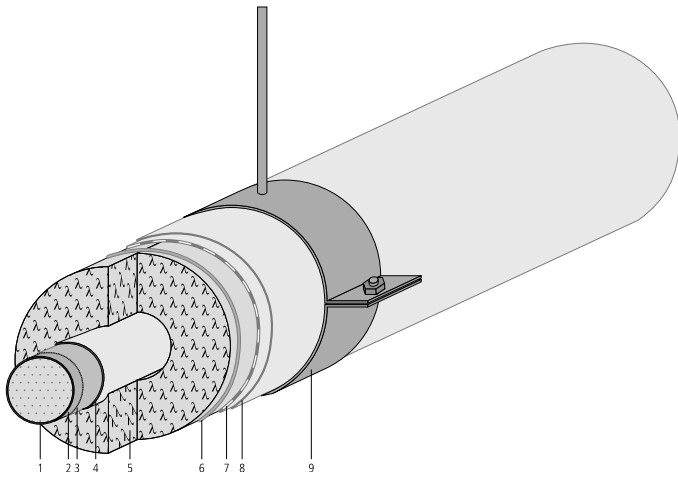
5. Berechnungsgrundlagen

5.	1	Betriebswärmeleitfähigkeit	26
	2	Wärmeübergang	26
	3	Wärmedurchgangswiderstand radial	28
	4	Wärmestrom radial	28
	5	Zulässige Stillstandzeiten für Wasserleitungen – ohne Zirkulation im Freien	29
	6	Feuchtetechnische Berechnungen	29

1. Kälte-Dämmsystem mit PIR-Dämmschalen

1.1 Systembeschreibung

Bild 1.1-1:
Prinzipieller Systemaufbau



- 1 Medium
- 2 Rohrleitung
- 3 Korrosionsschutz
- 4 Ansetzmasse
- 5 **PIR-Dämmschale**
- 6 Bindedraht plastifiziert
- 7 Dampfbremse
- 8 Ummantelung
- 9 Rohraufhängung

Mehrschichtiger Aufbau von Komponenten, die bezüglich Funktion sowie chemischer und physikalischer Eigenschaften auf die Einsatzbedingungen abgestimmt sind.

Verständigung

Die Hauptfunktion aller Kälte- bzw. Wärmedämmungen ist die Reduzierung von Wärmeströmen.

Der Wärmestrom ist bei Wärmedämmungen vom Medium zur Umgebung gerichtet, bei **Kälteämmungen** von der Umgebung zum Medium.

Aufgaben der Kälteämmung

- **Energie sparen**
- **Reduktion der Energiekosten**
- **Verminderung von Kälteverlusten**
- **Schutz des Mediums vor Erwärmung**
- **Vermeiden von Tauwasserbildung**
- **wirtschaftlicher Betrieb von Kälteanlagen**

Grundsätzliche Bemerkungen

Bei Kälteämmungen besteht die Gefahr einer Durchfeuchtung des Dämmstoffes. Die Durchfeuchtung wird eingeleitet durch Kondensation des Wasserdampfes aus der Umgebungsluft, wenn am Objekt oder innerhalb der Dämmung die Taupunkttemperatur des Wasserdampfes unterschritten wird und Wasserdampf an diesen Ort gelangt.

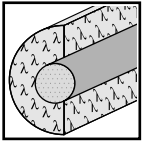
Die Masse des kondensierenden Wasserdampfes wird begrenzt durch die Masse des nachströmenden Wasserdampfes. Wasserdampf wird transportiert durch Gesamtdruckunterschiede (Luftströmung) und Wasserdampf-Partialdruckunterschiede (Wasserdampfdiffusion) zwischen der Umgebung und der Dämmung.

Das Verhindern der Durchfeuchtung steht im Vordergrund aller Überlegungen zum Aufbau einer Kälteämmung. Wird diese Gefahr nicht unterbunden, so bildet sich Wasser und/oder Eis an denjenigen Teilen des Dämmsystems, deren Temperatur unter der Taupunkttemperatur liegt.

Wasser und Eis müssen aus folgenden Gründen aus dem Dämmssystem herausgehalten werden:

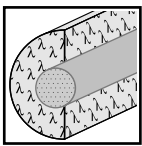
- Im Dämmstoff mindern sie die Dämmwirkung erheblich.
- Wasser kann Korrosion an gedämmten Anlagen und an der Innenseite der Ummantelung bewirken.
- Wasser und Eis führen zu einer Gewichtszunahme der Dämmung. Kälteleitungen können unter dieser Zusatzlast brechen.

1.2 Elemente des Kälte-Dämmsystems



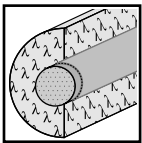
Medium

In technischen Prozessen gekühlter Stoff, meistens Flüssigkeiten oder natürlich gefasstes Kaltwasser, dessen Betriebstemperatur unter dem Taupunkt der Umgebungsluft liegt und als Kälte-träger für Kühlzwecke verwendet wird.



Rohrleitung

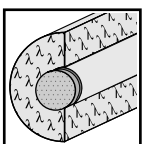
Hohlzylinder durch den das Medium strömt bzw. gefördert wird. Die Materialwahl und Bemessung hat durch den Planer objektspezifisch gemäss der Nutzungsvereinbarung zu erfolgen.



Korrosionsschutz

Schutz der aussenseitigen Rohroberflächen gegen Korrosion. Die zu dämmenden Leitungen sind mit einem zweckmässigen und dauerhaften Korrosionsschutz zu versehen.

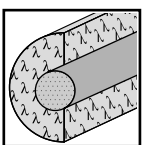
Die Korrosionsschutzmassnahmen sind **bauseits** zu planen und auszuführen. Durch ein Kälte-Dämmsystem diffundieren – auch bei sorgfältigster Ausführung der Dampfbremse – geringe Mengen von Wasserdampf, die auf der kalten Rohroberfläche zu Wasser oder Reif kondensieren. Das Eindiffundieren von Feuchtigkeit kann in zulässigen Grenzen gehalten, aber nicht vollständig verhindert werden. Damit diese Feuchtigkeit zu keinen Korrosionsschäden führt, ist ein geeigneter Korrosionsschutz nötig. Dieser ist insbesondere vom Werkstoff der Rohrleitung aber auch vom Kälte-Dämmsystem abhängig.



Ansetzmasse

Die Ansetzmasse ist ein Füllstoff und vermeidet Hohlräume zwischen Dämmung und Rohroberfläche in denen sich Feuchtigkeit ansammeln kann. Sie verhindert eine Verklebung der PIR-Dämmschale mit der Rohroberfläche; Anlagenteile bleiben so jederzeit gut zugänglich.

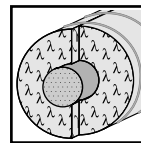
Zum Einsatz gelangen pastöse, wasserbeständige, pH-neutrale und dauerplastische Massen auf Basis natürlicher und synthetischer Rohstoffe.



PIR-Dämmschalen und -Formteile wie Bogen, Segmente, Platten

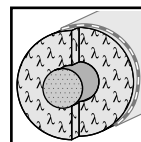
Wärmedämmende Schicht aus duromerem Polyisocyanurat (PIR)-Hochleistungsdämmstoff mit überwiegend geschlossenzelliger Struktur. Hohe Passgenauigkeit und Vielfalt der Dimensionen bewirken die geforderte Dämmwirkung auf engstem Raum.

PIR-Dämmschalen sind mit den gebräuchlichsten angrenzenden Werkstoffen verträglich und enthalten keine Bestandteile, die bei üblicherweise vorkommenden Betriebsarten schädlich auf die zu dämmenden Installationen einwirken können. PIR-Dämmschalen sind vor Witterungseinflüssen und mechanischen Beschädigungen zu schützen.



Bindendraht plastifiziert

Der Bindendraht fixiert die Dämmschalen zuverlässig und dauerhaft in ihrer definitiven Lage.

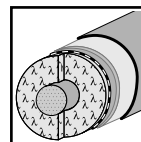


Dampfbremse

Die Dampfbremse hat die Funktion, die Kälte-dämmung vor unzulässiger Auf- feuchtung zu schützen. Sie hat sicherzustellen, dass in den PIR-Dämmschalen in einer definierten Zeitperiode, beispielsweise 10 Jahre, 3 Vol.-% Feuchtegehalt nicht überschritten wird.

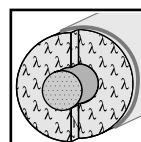
Die Qualität der Dampfbremse wird mit der diffusionsäquivalenten Luftschicht- dicke s_d (auch Sperrwert genannt) in Meter m angegeben.

Die Dampfbremse ist vor mechanischen Beschädigungen zu schützen.



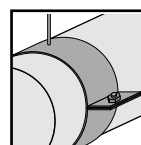
Schutzschicht zwischen Dampfbremse und Ummantelung

Schutzfunktion zur Vermeidung von mechanischen Beschädigungen der Dampfbremse. Wird beispielsweise die Ummantelung verschraubt oder genietet, besteht die Gefahr einer Verletzung der Dampfbremse.



Ummantelung

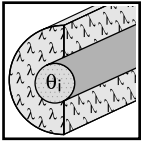
Schutzschicht des Dämmsystems vor äusseren Einflüssen wie mechanische Beschädigungen, Witterungseinflüsse, usw. Ummantelungen können auch die Funktion einer Dampfbremse übernehmen.



Rohraufhängung

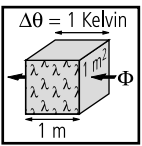
Die Rohraufhängung muss eine wärmebrückenfreie und dampfbremsende Halterung der Rohrleitung sicherstellen.

1.3 Dämmtechnische Begriffe und Kenngrößen



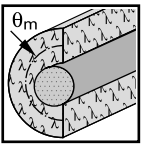
Mediumtemperatur im Rohr θ_i [°C]

Die den Berechnungen zugrunde gelegte maximale resp. minimale Temperatur des Mediums.



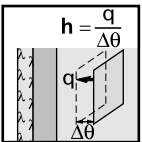
Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m·K)]

Materialeigenschaft: Wärmestrom Φ in Watt W, welcher im stationären Zustand pro 1 m^2 durch eine homogene Dämmschicht von 1 m Dicke fließt, wenn das Temperaturgefälle $\Delta\theta$ 1 Kelvin beträgt.



Mitteltemperatur θ_m [°C]

Die für die Wärmeleitfähigkeit massgebende mittlere Dämmstofftemperatur.



Wärmeübergangskoeffizient h [W/(m²·K)]

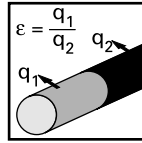
Verhältnis der Wärmestromdichte q in W/m^2 an der Oberfläche eines Stoffes zur Temperaturdifferenz $\Delta\theta$ in Kelvin K zwischen dieser Fläche und ihrer Umgebung, z.B. Luft unter stationären Bedingungen.

Folgende Parameter beeinflussen den Wärmeübergangskoeffizienten:

- Umgebungstemperatur
- Oberflächentemperatur
- Strömungsgeschwindigkeit des Mediums auf der Oberfläche, z. B. Wind
- Art, Beschaffenheit und Zustand der Oberfläche

Der Wärmeübergangskoeffizient setzt sich grundsätzlich zusammen aus dem konvektiven Anteil und dem Strahlungsanteil (bei kondensierenden und nassen Oberflächen ist es noch komplexer).

Für die Berechnung des Strahlungsanteils benötigt man den Emissionsgrad.



Emissionsgrad ϵ [-]

(auch Emissionsverhältnis oder Emissionszahl genannt)

Verhältnis zwischen der abgestrahlten Wärmestromdichte einer gegebenen Oberfläche q_1 und derjenigen einer ideal schwarzen Oberfläche q_2 bei gleicher Temperatur.

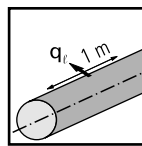
Bei der Berechnung des Wärmedurchgangs bei gedämmten Bauteilen im Hochbau ist der Emissionsgrad nebensächlich; erstens handelt es sich selten um grössere Temperaturgefälle, z.B. -10°C zu 20°C , und zweitens sind es meist nicht metallische Oberflächen. Darum können bei üblichen Berechnungen normierte Größen verwendet werden, beispielsweise $8 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ beim inneren Wärmeübergang ohne Windanfall bzw. $25 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ beim äusseren Wärmeübergang mit Windanfall.

Anders bei technischen Dämmungen für Rohre und Apparate. Da können Temperaturgefälle von z.B. -40°C zu 20°C oder 350°C zu 20°C und sowohl metallische wie auch nicht metallische Oberflächen vorkommen.

Der absolut Schwarze Körper hat den Emissionsgrad 1.0. Für polierte metallische Oberflächen werden Werte von 0.05 genannt.

Der Schwarze Körper ist ein idealer Strahler, dessen Ausstrahlung von keinem andern Körper gleicher Temperatur übertroffen wird. Andererseits absorbiert der Schwarze Körper alle auftreffende Strahlung (Reflektion 0). Er ist also auch ein idealer Absorber.

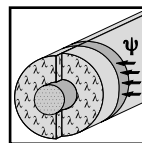
Bei gleicher Randbedingung hat ein nicht metallischer Körper eine kleinere Temperaturdifferenz zwischen Umgebungs- und Oberflächentemperatur. Eine nicht metallisch ummantelte Kälte dämmung hat eine wärmere Oberfläche als eine metallische.



Längenbezogene Wärmestromdichte q_l [W/m]

«Längenbezogen» wird zur Bezeichnung von Eigenschaften verwendet, die auf einer Längeneinheit in Rohrachsenrichtung einer bestimmten Rohrdämmung beruhen. Diese längenbezogenen Eigenschaften sind zweckmässig, weil dann der Gesamtwärmeverlust $Q_{R \text{ TOT}}$ bei Kenntnis von Rohrlänge in m , zutreffender Temperaturdifferenz $\Delta\theta$ in K und Betriebsdauer z (h/a) berechnet werden kann. «Längenbezogen» bezeichnet nicht den Wärmestrom in axialer Richtung.

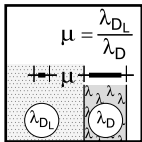
Die Geometrie einer Rohrdämmung erfordert spezielle Bezeichnungen, die für flache Körper nicht gelten.



Wärmebrücke ψ [W/(m·K)]

(zusätzlicher Wärmeverlust)

Begrenzte Bereiche in einem Dämmsystem, in denen die Wärmeleitfähigkeit erheblich höher ist als die der angrenzenden homogenen Dämmung, beispielsweise im Bereich von Rohraufhängungen, Trag- und Stützkonstruktionen.



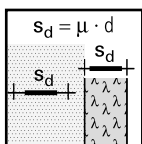
Wasserdampfdiffusions-Widerstandszahl μ [-]

Kennwert der Wasserdampfdurchlässigkeit von Stoffen, der angibt, um wie viel mal grösser der Diffusionswiderstand einer Stoffschicht ist als derjenige einer gleich dicken Luftschicht.

$$\mu = \lambda_{DL} / \lambda_D$$

- λ_{DL} Wasserdampfleitfähigkeit der ruhenden Luft
- λ_D Wasserdampfleitfähigkeit der homogenen Stoffschicht

Für genaue Berechnungen muss λ_{DL} in Funktion von Temperatur und Luftdruck berechnet werden.

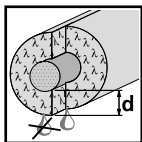


Wasserdampf-Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d [m]

(auch Sperrwert genannt)

Dicke einer Luftschicht, die den gleichen Diffusionswiderstand aufweist wie die gegebene Stoffschicht.

$$s_d = \mu \cdot d$$



Tauwasserschutz

Zur Verhütung von Tauwasserbildung bzw. -niederschlag auf der Systemoberfläche ist in jedem Fall eine ausreichende Dämmschichtdicke erforderlich.

Bei ihrer Bemessung spielt neben den Grössen Umgebungstemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Mediumtemperatur und Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs der Wärmeübergangskoeffizient zwischen Dämmschichtoberfläche und Umgebungsluft eine entscheidende Rolle. Bei seiner Ermittlung sind beispielsweise behinderte Konvektion bei räumlich engen Gegebenheiten oder eingeschränkte Wärmeabstrahlungsverhältnisse zu berücksichtigen.

1.4 Vorschriften, Normen, Empfehlungen

Wärme- und Feuchteschutz / Energie

- Empfehlung SIA 380/3 «Wärmedämmung von Leitungen, Kanälen und Behältern in Gebäuden»
- Norm SIA 180 «Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau»
- Norm SIA 380/1 «Thermische Energie im Hochbau»
- Norm SIA 380/7 «Haustechnik»
- Norm SIA 380.301 «Wärmedämmstoffe für die Haustechnik und für betriebstechnische Anlagen – Bestimmung des Nennwertes der Wärmeleitfähigkeit» (ISO 13787)
- Norm SIA 380.302 «Wärmeschutz – Bestimmung der Wärmetransporteigenschaften im stationären Zustand von Wärmedämmungen für Rohrleitungen» (ISO 8497)
- Norm SIA 380.303 «Wärmedämmung an haus- und betriebstechnischen Anlagen – Berechnungsregeln» (ISO 12241)
- Norm SIA 380.304 «Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von haus- und betriebstechnischen Anlagen – Berechnung der Wasserdampfdiffusion – Dämmung von Kälteleitungen»
- Norm SIA 381.101 «Baustoffe und -produkte – Wärme- und feuchtetechnische Eigenschaften – Tabellierte Bemessungswerte»
- Empfehlung SIA 410 «Kennzeichnung von Installationen im Gebäude – Sinnbilder für die Haustechnik»

Brandschutz

- Empfehlung SIA 183 «Brandschutz im Hochbau»
- Brandschutzvorschriften der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen VKF

Schallschutz

- Norm SIA 181 «Schallschutz im Hochbau»

Richtlinien Fachverbände

- VSI Verband Schweizerischer Isolierfirmen
- BCI Basler Chemische Industrie «Thermische Dämmungen»
- FESI Fédération Européenne des Syndicats d'entreprises d'Isolation «Ausführungsrichtlinien für Wärmedämmarbeiten, Betriebstemperatur unter der Umgebungstemperatur»
- AGI-Arbeitsblätter Arbeitsgemeinschaft Industriebau e.V.
- VDI-Richtlinien Verein Deutscher Ingenieure

Produkte-Informationen Hersteller

- swisspor Dokumentation Register B-8: «Haustechnik»
- Regisol Produkte-Informationen Ordner Register 2
- Elri AG: Produkte-Informationen unter www.elri.ch

Anmerkung zum Kälteschutz

In der Haustechnik gelten im Wärmebereich für Dämmungen seit 1986 kantonale Energiegesetze und Wärmedämmvorschriften. Ferner existieren kantonale Energieverordnungen über den Kälteschutz für gekühlte Räume. Es fehlen jedoch adäquate Vorschriften für Leitungen im Kältebereich.

1.5 Mitgeltende Bestimmungen

Bei den vorliegenden Planungsunterlagen handelt es sich nicht um ein «fertiges Rezept» zur Erstellung von Rohrdämmungen mit PIR-Dämmschalen im Kältebereich. Sie sollen lediglich als Arbeitshilfsmittel für Planer und Ausführende dienen.

Die vorliegenden Angaben sind auf Grund des derzeitigen Standes der Technik und unserer Erfahrungen erarbeitet worden. Betreffend der jeweiligen Ausführungspraxis behalten wir uns jederzeit Änderungen vor.

Diese Planungsunterlagen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Eine rechtliche Verbindlichkeit kann daraus nicht abgeleitet werden.

Es sind insbesondere die für die Konstruktion, die Bauteildimensionierung, die Baustoffwahl, die Verlegung, den Wärme-, Feuchte-, Schall- und Brandschutz betreffenden Normen und Richtlinien zu beachten.

2. Dimensionierung des Kälte-Dämmsystems

2.1 Daten für die Dimensionierung

2.1.1 Umgebungsklima

Das Umgebungsklima bewegt sich in der Regel von 20 °C, 50 % relative Luftfeuchtigkeit bis 30 °C, 90 % relative Luftfeuchtigkeit.

Im Abschnitt 2.3.1 Tabellen für die Dimensionierung bezüglich Tauwasser- und Feuchteschutz werden jedoch nur die beiden Bereiche 20 °C, 60 % relative Luftfeuchtigkeit und 25 °C, 80 % relative Luftfeuchtigkeit berücksichtigt. Werte für ein anderes Umgebungsklima müssen also speziell berechnet werden.

2.1.2 Mediumtemperatur

Die Mediumtemperaturen bewegen sich im Rahmen dieser Publikation in folgenden Bereichen:

- Kälte -40 °C bis 0 °C
- Kühlwasser 1 °C bis 6 °C
- Kaltwasser 7 °C bis 12 °C

2.1.3 PIR(Polyisocyanurat)-Dämmschalen

Tabelle 2.1-1: Handelsübliche Dämmdicken

mm	30	40	50	60	80	100	120
----	----	----	----	----	----	-----	-----

Die Wärmeleitfähigkeit von PIR in Abhängigkeit der Temperatur ist im Kapitel Anhang, Bild 4.1-1 nachzuschlagen.

2.1.4 Rohrdurchmesser

nach Norm VSM 11500

Tabelle 2.1-2: Stahlrohre geschweisst, Abmessungen in Millimeter und in Zoll

NW / DN	mm	10	15	20	25	32	40	50	65	80
	Zoll	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3
Aussen-Ø	mm	17,2	21,3	26,9	33,7	42,4	48,3	60,3	76,1	88,9
NW / DN	mm	100	125	150	175	200	225	250	300	350
	Zoll	4	5	6	7	8	9	10	12	14
Aussen-Ø	mm	114,3	139,7	168,3	193,7	219,1	244,5	273	323,9	355,6
NW / DN	mm	400	500	600	700	800	900	1000	—	—
	Zoll	16	20	24	28	32	36	40	—	—
Aussen-Ø	mm	406,4	508	609,6	711,2	812,8	914,4	1016	—	—

Tabelle 2.1-3: Stahlrohre nahtlos, Abmessungen in Millimeter und in Zoll

NW / DN	mm	10	15	20	25	32	40	50	65	80
	Zoll	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3
Aussen-Ø	mm	13,5	20	25	30	38	44,5	57	76,1	88,9
NW / DN	mm	100	125	150	175	200	225	250	300	350
	Zoll	4	5	6	7	8	9	10	12	14
Aussen-Ø	mm	108	133	159	193,7	219,1	244,5	267	323,9	368
NW / DN	mm	400	450	550	650	750	850	—	—	—
	Zoll	16	18	22	26	30	34	—	—	—
Aussen-Ø	mm	419	457,2	558,8	660,4	762	863,6	—	—	—

Die Dimensionen weiterer gebräuchlicher Rohrsysteme in Metall, Kunststoff, Verbundwerkstoffen usw. sind beim Hersteller/Lieferanten anzufragen. Der Rohraussendurchmesser entspricht dem Innen-Durchmesser der Dämmschale. Situativ ist eine zusätzliche Schichtdicke, z.B. Ansetzmasse mit zu berücksichtigen.

2.1.5 Dampfbremse

Die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke (Sperrwert) von Dampfbremsen ist produktespezifisch und im Kapitel Anhang, Tabelle 4.1-2 nachzuschlagen.

2.1.6 Ummantelung

Tabelle 2.1-4: Für übliche Ummantelungen können die nachfolgenden Emissionsgrade ε bezüglich ihrer Oberfläche verwendet werden.

Art der Ummantelung und ihrer Oberfläche	Emissionsgrad ε
keine Umhüllung	0,90
nicht metallische Umhüllung	0,90
Aluminiumblech walzblank	0,05
Aluminiumblech oxydiert	0,15
Aluminiumblech stark oxydiert	0,20
Aluminiumblech eloxiert	0,80
Stahlblech verzinkt, blank	0,25
Stahlblech verzinkt, verstaubt	0,35
Stahlblech rot angerostet	0,60
Stahlblech stark angerostet	0,70
Stahlblech farbbeschichtet	0,90
nicht rostendes CrNi-Stahlblech	0,15

Für die Dimensionierung des Kälte-Dämmsystems auf Tauwasser- und Feuchteschutz empfehlen wir die Verwendung der nachfolgenden Emissionsgrade:

- Ummantelung nicht metallisch ε 0.90
- Ummantelung metallisch, neu (glänzend) ε 0.15

Für die Dimensionierung des Kälte-Dämmsystems auf Kälteschutz und Wirtschaftlichkeit empfehlen wir die Verwendung der nachfolgenden Emissionsgrade:

- Ummantelung nicht metallisch ε 0.90
- Ummantelung metallisch, Betriebszustand (verstaubt) ε 0.35

2.2 Methoden für die Dimensionierung

2.2.1 Einleitung

Wenn für die Bereitstellung des Kältemediums bezüglich Mediumtemperatur **keine Energie nötig** ist, also wenn es sich zum Beispiel um ein nicht gekühltes Wassernetz handelt, ist das Kälte-Dämmsystem vorrangig so zu dimensionieren, dass sich auf der gedämmten Oberfläche kein Tauwasser und im Dämmstoff nicht zu viel Feuchtigkeit bildet. Mit andern Worten: Oberflächenkondensation muss vermieden werden und die Feuchtezunahme im Dämmstoff infolge Wasserdampfdiffusion darf vorgeschriebene Grenzen nicht überschreiten.

Wenn für die Bereitstellung des Kältemediums bezüglich Mediumtemperatur **Energie nötig** ist, muss das Kälte-Dämmsystem nicht nur bezüglich Tauwasser- und Feuchteschutz dimensioniert werden, sondern auch so, dass die Energieverluste möglichst klein gehalten werden können und ein wirtschaftlicher Betrieb sichergestellt ist.

PIR-Dämmschalen für Kälte-Dämmsysteme sind aus montage-technischen und wirtschaftlichen Gründen grundsätzlich **mindestens 30 mm** dick auszuführen.

2.2.2 Tauwasserschutz

Damit sich auf einer Oberfläche kein Tauwasser (Oberflächenkondensat) bildet, darf die Temperatur dieser Oberfläche (Oberflächentemperatur) nicht unter der Taupunkttemperatur der Umgebungsluft liegen.

2.2.5 Schutz ruhender Wasserleitungen gegen Einfrieren

Bei Leitungen mit strömendem Medium besteht keine Einfriergefahr. Selbst bei geringen Strömungsgeschwindigkeiten genügen übliche Dämmdicken, um einen Temperaturabfall unter den Gefrierpunkt zu verhindern.

Bei Leitungen mit ruhendem Medium kann eine Wärmedämmung wohl die Zeit bis zum Beginn der Eisbildung verlängern, jedoch nicht auf unbeschränkte Zeit das Einfrieren verhindern.

Massnahmen, um das Einfrieren und damit zerberstende Leitungen zu verhindern, sind:

- Leitungen entleeren
- Leitungen im Erdreich unter die Frostzone verlegen
- Leitungen in Betrieb halten
- Begleitheizung

Beachtet werden muss die erhöhte Einfriergefahr bei Ventilen, Rohraufhängungen usw.

In einer Wasserleitung beginnt die Eisbildung nach dem Temperaturabfall auf den Gefrierpunkt. Verschiedene Autoren erlauben einen maximal zulässigen Eisansatz bis 25 Vol.-%.

Tabelle 2.2-1: Taupunkttemperatur in °C in Funktion von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchtigkeit

Lufttemperatur °C	Relative Luftfeuchtigkeit in %				
	50	60	70	80	90
20	9,3	12,0	14,4	16,4	18,3
22	11,1	13,9	16,3	18,4	20,3
24	12,9	15,8	18,2	20,3	22,3
26	14,8	17,6	20,1	22,3	24,2
28	16,6	19,5	22,0	24,2	26,2
30	18,4	21,4	23,9	26,2	28,2

2.2.3 Feuchteschutz

Unzulässige Feuchtezunahme im Dämmstoff wird durch eine qualitativ angemessene Dampfbremse und/oder eine genügend dick bemessene Dämmung vermieden. Je dichter die Dampfbremse und je dicker (voluminöser) die Dämmung, umso geringer ist die volumenbezogene Feuchtezunahme im Dämmstoff.

2.2.4 Kälteschutz

Bei Verwendung von PIR-Dämmschalen empfehlen wir für Kälte-, Kühlwasser- und Kaltwasserleitungen analoge Dämmdicken wie sie im Wärmebereich bei gleichem Temperaturgefälle verlangt werden. Beträgt also für eine Kälteleitung das Temperaturgefälle 40 K, so ist jene Dämmdicke zu wählen, die von den Wärmedämmvorschriften für Heiz- und Warmwasserverteilleitungen für dieses Temperaturgefälle vorgeschrieben ist.

2.2.6 Wirtschaftlichkeit

Dimensionierung auf Wirtschaftlichkeit bedeutet so dick dämmen, dass die Gesamtkosten einer Dämmung während deren Nutzungszeit minimal sind. Mit zunehmender Dämmdicke steigen die Dämmkosten (Kosten für das Dämmsystem, Kapitaldienst, Instandhaltung, Rückbau und Entsorgung), während gleichzeitig die Kälteverlustkosten (Energiekosten) abnehmen. Aus den Gesamtkosten – also die Summe von Kälte-dämmkosten und Kälte-verlustkosten – ergibt sich bei einer bestimmten Dämmdicke ein Minimum. Diese Dicke wird als «wirtschaftliche Dämmdicke» bezeichnet.

Wichtiger Hinweis:

Sollte bei extremen klimatischen Bedingungen die Tabelle «Tauwasser- und Feuchteschutz» eine grössere Dämmdicke angeben als die Tabelle «Kälteschutz» oder das Diagramm «Wirtschaftlichkeit», so muss immer die grössere Dämmdicke ausgeführt werden.

Tabelle 2.2-2: Zahlenbeispiel für eine Wirtschaftlichkeitsrechnung, Kälte­dämmung für Rohr DN 50 mm

■ Dämmstoff	PIR-Schalen mit Ansetzmasse angesetzt
■ Dampfbremse	Nenn-Sperrwert 100 m
■ Ummantelung	Hart-PVC
■ Umgebungsklima	20 °C, 60 % relative Feuchtigkeit
■ Betriebstemperatur	-20 °C
■ Nutzungszeit	20 Jahre bei 8760 h/a
■ Kosten Dämmsystem	gemäss «Richtpreise Isolierungen VSI:2004,VSI-Index Nr. 102.02.440»

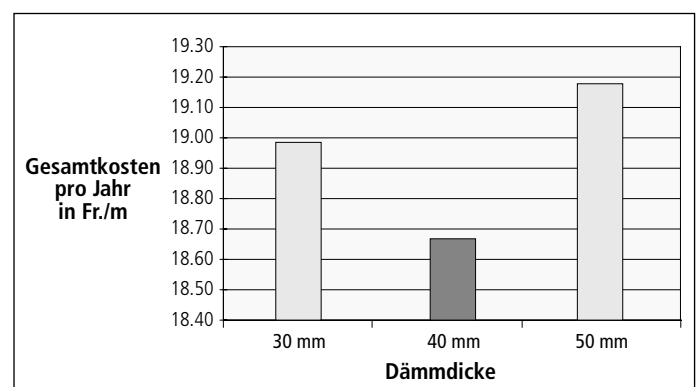
Dämmdicke		mm	30	40	50
Kosten Dämmsystem inkl. Montage		Fr. / m	71.50	81.85	93.35
Kapitaldienst					
– Verzinsung	5 % p.a.	Fr. / (m, a)	3.58	4.09	4.67
– Amortisation	20 Jahre	Fr. / (m, a)	3.58	4.09	4.67
Instandhaltung	0,5 % p.a.	Fr. / (m, a)	0.36	0.41	0.47
Rückbau / Entsorgung	50 % / 20 a	Fr. / (m, a)	1.79	2.05	2.33
■ Kälte­dämmkosten		Fr. / (m, a)	9.31	10.64	12.14
Kälteverlustleistung inkl. Wärmebrücken		W / m	10.0	8.3	7.3
Energieverlust	8760 h/a	kWh / (m, a)	88	73	64
■ Kälte­verlustkosten	Fr. 0.11/kWh	Fr. / (m, a)	9.68	8.03	7.04
= Gesamtkosten pro Jahr		Fr. / (m, a)	18.99	18.67	19.18

Anmerkung zum Energiepreis:

Dieser wird berechnet einerseits aus den Kosten für die Kälteanlage (Kapitaldienst), deren Betrieb (Energieverbrauch, Kältekosten und Unterhalt) sowie Rückbau und Entsorgung und andererseits aus der während der Nutzungszeit produzierten Kälteenergie.

Eine allgemein gültige Angabe der Kälteverlustkosten ist nicht möglich, da diese von sehr vielen variablen und anlagenspezifischen Parametern abhängt, welche sich zum Teil noch gegenseitig beeinflussen. Es sind dies unter anderem Typ und Arbeitspunkt der Kältemaschine, Leistungszahl (Verhältnis von Kälteleistung zu Antriebsleistung), verwendetes Kältemittel, Betriebstemperatur, Umgebungstemperatur, Strompreis usw.

Für grössere Anlagen empfehlen wir deshalb, eine eigene Wirtschaftlichkeitsrechnung mit den auf diese Kälteanlage wirklich zutreffenden Parametern durchzuführen.

Bild 2.2-1: Diagramm zu Zahlenbeispiel Tabelle 2.2-2

Resultat:

Die geringsten Gesamtkosten während der 20-jährigen Nutzungszeit ergibt eine **40 mm dicke Dämmung**.

2.3 Tabellen für die Dimensionierung

Die in diesem Abschnitt aufgeführten Berechnungswerte dienen einer raschen Dimensionierung von Kälte-Dämmsystemen gemäss Kapitel Berechnungsgrundlagen

- Wärmeleitfähigkeit: Abschnitt 5.1
- Wärmeübergang: Abschnitt 5.2
- Wärmebrücken: Abschnitt 5.1

Für die Berechnung der Tabellenwerte wurde vorausgesetzt, dass der Nenn-Sperrwert der Dampfbremse durch Undichtigkeiten um 10 % vermindert wird. Der Diffusionswiderstand des Dämmstoffes und der Ummantelung wurde nicht berücksichtigt.

Diese Grundlagen erfüllen erfahrungsgemäss die Anforderungen für übliche Berechnungen.

Für exakte Bemessungen müssen gesicherte Daten zur Verfügung stehen.

2.3.1 Tauwasser- und Feuchteschutz

Aus den nachfolgenden Tabellen «Tauwasser- und Feuchteschutz» kann in Abhängigkeit der Parameter

- Umgebungsklima: Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit
- Rohrdurchmesser
- Dämmdicke
- Dampfbremse: Nenn-Sperrwert
- Ummantelung: metallisch neu (glänzend)
 metallisch Betriebszustand (verstaubt)
 nicht metallisch

herausgelesen werden, bis zu welcher minimalen Mediumtemperatur das gewählte Dämmsystem bezüglich Tauwasser- und Feuchteschutz zulässig ist.

Das mit diesen Tabellenwerten dimensionierte Kälte-Dämmsystem vermeidet Oberflächentauwasser, unzulässige Feuchtezunahme im Dämmstoff und erfüllt die minimal nötigen Bedingungen für einen sicheren Betrieb.

Die so ermittelten Dämmdicken sind insbesondere für Leitungen von Kaltwasser, das nicht gekühlt werden muss und darum keine diesbezüglichen Energiekosten (Kälteverlustkosten) verursacht, anwendbar.

In den nachfolgenden Tabellen wurde die minimale Temperatur auf -40°C begrenzt. Die Anwendung von PIR-Hartschaum ist aber auch bei tieferen Temperaturen möglich, erfordert jedoch in der Regel spezifische Abklärungen.

Tabellen 2.3.1-1: Tauwasser- und Feuchteschutz (bis -40 °C) für Kälte-Dämmsystem PIR (Polyisocyanurat)

Minimal zulässige Mediumtemperatur in °C zur Vermeidung von Oberflächentauwasser und unzulässiger Feuchtezunahme (max. 3 Vol.-% in 10 Jahren) im Dämmstoff in Abhängigkeit von Rohrdurchmesser, Dämmdicke, Sperrwert und Ummantelung.

- Wärmeleitfähigkeit WKZ 27.260 gemäss Kapitel Berechnungsgrundlagen, Abschnitt 5.1
- Zuschlag zur Wärmeleitfähigkeit für Unterkonstruktion 0.003 W/(m K)
- Wärmeübergangskoeffizient gemäss Kapitel Berechnungsgrundlagen, Abschnitt 5.2
- Verminderung des Nenn-Sperrwerts der Dampfbremse durch Fugen 10%

Umgebungs-klima 20 °C / 60% relative Luftfeuchtigkeit

1. Ummantelung metallisch, neu (glänzend), Emissionsgrad 0.15

1.1. Dampfbremse Nenn-Sperrwert $s_d = 20$ m

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	10	9	8	7	3	-2	-13
25	10	9	8	7	3	-1	-10
50	10	9	8	6	3	-2	-9
100	10	8	7	6	2	-2	-11
150	9	8	7	5	2	-3	-12
200	9	8	7	5	1	-4	-14

1.2. Dampfbremse Nenn-Sperrwert $s_d = 50$ m

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	7	5	2	-2	-15	-40	-40
25	6	4	1	-3	-19	-40	-40
50	5	3	-1	-5	-40	-40	-40
100	5	1	-3	-9	-40	-40	-40
150	4	0	-4	-12	-40	-40	-40
200	4	0	-6	-14	-40	-40	-40

2. Ummantelung metallisch, Betriebszustand (verstaubt), Emissionsgrad 0.35

2.1. Dampfbremse Nenn-Sperrwert $s_d = 20$ m

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	10	9	8	7	3	-2	-13
25	10	9	8	7	3	-1	-10
50	10	9	8	6	3	-2	-9
100	10	8	7	6	2	-2	-11
150	9	8	7	5	2	-3	-12
200	9	8	7	5	1	-4	-14

2.2. Dampfbremse Nenn-Sperrwert $s_d = 50$ m

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	7	5	2	-2	-15	-40	-40
25	6	4	1	-3	-19	-40	-40
50	5	3	-1	-5	-30	-40	-40
100	5	1	-3	-9	-40	-40	-40
150	4	0	-4	-12	-40	-40	-40
200	4	0	-6	-14	-40	-40	-40

3. Ummantelung nicht metallisch, Emissionsgrad 0.9

3.1. Dampfbremse Nenn-Sperrwert $s_d = 20$ m

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	10	9	8	7	3	-2	-13
25	10	9	8	7	3	-1	-10
50	10	9	8	6	3	-2	-9
100	10	8	7	6	2	-2	-11
150	9	8	7	5	2	-3	-12
200	9	8	7	5	1	-4	-14

3.2. Dampfbremse Nenn-Sperrwert $s_d = 50$ m

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	7	5	2	-2	-15	-40	-40
25	6	4	1	-3	-19	-40	-40
50	5	3	-1	-5	-30	-40	-40
100	5	1	-3	-9	-40	-40	-40
150	4	0	-4	-12	-40	-40	-40
200	4	0	-6	-14	-40	-40	-40

Beispiel:

Bei einem Umgebungs-klima von 20 °C, 60% r.F., einer neuen metallischen Ummantelung (Emissionsgrad 0.15), einer Dampfbremse mit Nenn-Sperrwert 50 m, einem Rohr DN 50 mm und einer Mediumtemperatur von -20 °C ist eine Dämmdicke von 80 mm erforderlich, ⇒ Tabelle 1.2.

Tabellen 2.3.1-2: Tauwasser- und Feuchteschutz (bis -40 °C) für Kälte-Dämmsystem PIR (Polyisocyanurat)

Minimal zulässige Mediumtemperatur in °C zur Vermeidung von Oberflächentauwasser und unzulässiger Feuchtezunahme (max. 3 Vol.-% 10 Jahren) im Dämmstoff in Abhängigkeit von Rohrdurchmesser, Dämmdicke, Sperrwert und Ummantelung.

- Wärmeleitfähigkeit WKZ 27.260 gemäss Kapitel Berechnungsgrundlagen, Abschnitt 5.1
- Zuschlag zur Wärmeleitfähigkeit für Unterkonstruktion 0.003 W/(m K)
- Wärmeübergangskoeffizient gemäss Kapitel Berechnungsgrundlagen, Abschnitt 5.2
- Verminderung des Nenn-Sperrwerts der Dampfbremse durch Fugen 10%

Umgebungs-klima 20 °C / 60% relative Luftfeuchtigkeit

1. Ummantelung metallisch, neu (glänzend), Emissionsgrad 0.15

1.1. Dampfbremse Nenn-Sperrwert $s_d = 100$ m

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	-1	-8	-38	-40	-40	-40	-40
25	-3	-14	-40	-40	-40	-40	-40
50	-6	-26	-40	-40	-40	-40	-40
100	-10	-32	-40	-40	-40	-40	-40
150	-12	-26	-40	-40	-40	-40	-40
200	-10	-22	-36	-40	-40	-40	-40

1.2. Dampfbremse Nenn-Sperrwert $s_d = 150$ m

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	-16	-40	-40	-40	-40	-40	-40
25	-36	-40	-40	-40	-40	-40	-40
50	-25	-40	-40	-40	-40	-40	-40
100	-16	-32	-40	-40	-40	-40	-40
150	-12	-26	-40	-40	-40	-40	-40
200	-10	-22	-36	-40	-40	-40	-40

2. Ummantelung metallisch, Betriebszustand (verstaubt), Emissionsgrad 0.35

2.1. Dampfbremse Nenn-Sperrwert $s_d = 100$ m

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	-1	-8	-38	-40	-40	-40	-40
25	-3	-14	-40	-40	-40	-40	-40
50	-6	-26	-40	-40	-40	-40	-40
100	-10	-40	-40	-40	-40	-40	-40
150	-13	-40	-40	-40	-40	-40	-40
200	-15	-38	-40	-40	-40	-40	-40

2.2. Dampfbremse Nenn-Sperrwert $s_d = 150$ m

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	-16	-40	-40	-40	-40	-40	-40
25	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40
50	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40
100	-29	-40	-40	-40	-40	-40	-40
150	-24	-40	-40	-40	-40	-40	-40
200	-21	-38	-40	-40	-40	-40	-40

3. Ummantelung nicht metallisch, Emissionsgrad 0.9

3.1. Dampfbremse Nenn-Sperrwert $s_d = 100$ m

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	-1	-8	-38	-40	-40	-40	-40
25	-3	-14	-40	-40	-40	-40	-40
50	-6	-26	-40	-40	-40	-40	-40
100	-10	-40	-40	-40	-40	-40	-40
150	-13	-40	-40	-40	-40	-40	-40
200	-15	-40	-40	-40	-40	-40	-40

3.2. Dampfbremse Nenn-Sperrwert $s_d = 150$ m

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	-16	-40	-40	-40	-40	-40	-40
25	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40
50	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40
100	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40
150	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40
200	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40

Beispiel:

Bei einem Umgebungs-klima von 20°C, 60% r.F., einer neuen metallischen Ummantelung (Emissionsgrad 0.15), einer Dampfbremse mit Nenn-Sperrwert 150 m, einem Rohr DN 50 mm und einer Mediumtemperatur von -20°C ist eine Dämmdicke von 30 mm erforderlich, ⇒ Tabelle 1.2.

Tabellen 2.3.1-3: Tauwasser- und Feuchteschutz (bis -40 °C) für Kälte-Dämmsystem PIR (Polyisocyanurat)

Minimal zulässige Mediumtemperatur in °C zur Vermeidung von Oberflächentauwasser und unzulässiger Feuchtezunahme (max. 3 Vol.-% 10 Jahren) im Dämmstoff in Abhängigkeit von Rohrdurchmesser, Dämmdicke, Sperrwert und Ummantelung.

- Wärmeleitfähigkeit WKZ 27.260 gemäss Kapitel Berechnungsgrundlagen, Abschnitt 5.1
- Zuschlag zur Wärmeleitfähigkeit für Unterkonstruktion 0.003 W/(m K)
- Wärmeübergangskoeffizient gemäss Kapitel Berechnungsgrundlagen, Abschnitt 5.2
- Verminderung des Nenn-Sperrwerts der Dampfbremse durch Fugen 10%

Umgebungs-klima 25 °C / 80% relative Luftfeuchtigkeit

1. Ummantelung metallisch, neu (glänzend), Emissionsgrad 0.15

1.1. Dampfbremse Nenn-Sperrwert $s_d = 20$ m

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	21	20	19	19	17	15	12
25	20	20	19	19	17	15	12
50	20	20	19	18	17	15	12
100	20	20	19	18	17	15	12
150	20	19	19	18	16	14	12
200	20	19	19	18	16	14	11

1.2. Dampfbremse Nenn-Sperrwert $s_d = 50$ m

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	19	18	16	15	11	6	-3
25	18	17	16	14	11	5	-3
50	18	17	15	14	10	4	-4
100	18	16	14	13	8	2	-9
150	17	16	14	12	7	0	-14
200	17	15	14	11	6	-2	-22

2. Ummantelung metallisch, Betriebszustand (verstaubt), Emissionsgrad 0.35

2.1. Dampfbremse Nenn-Sperrwert $s_d = 20$ m

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	21	20	19	19	17	15	12
25	20	20	19	19	17	15	12
50	20	20	19	18	17	15	12
100	20	20	19	18	17	15	12
150	20	19	19	18	16	14	12
200	20	19	19	18	16	14	11

2.2. Dampfbremse Nenn-Sperrwert $s_d = 50$ m

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	19	18	16	15	11	6	-3
25	18	17	16	14	11	5	-3
50	18	17	15	14	10	4	-4
100	18	16	14	13	8	2	-9
150	17	16	14	12	7	0	-14
200	17	15	14	11	6	-2	-22

3. Ummantelung nicht metallisch, Emissionsgrad 0.9

3.1. Dampfbremse Nenn-Sperrwert $s_d = 20$ m

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	21	20	19	19	17	15	12
25	20	20	19	19	17	15	12
50	20	20	19	18	17	15	12
100	20	20	19	18	17	15	12
150	20	19	19	18	16	14	12
200	20	19	19	18	16	14	11

3.2. Dampfbremse Nenn-Sperrwert $s_d = 50$ m

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	19	18	16	15	11	6	-3
25	18	17	16	14	11	5	-3
50	18	17	15	14	10	4	-4
100	18	16	14	13	8	2	-9
150	17	16	14	12	7	0	-14
200	17	15	14	11	6	-2	-22

Beispiel:

Bei einem Umgebungs-klima von 25 °C, 80% r.F., einer neuen metallischen Ummantelung (Emissionsgrad 0.15), einer Dampfbremse mit Nenn-Sperrwert 50 m, einem Rohr DN 50 mm und einer Mediumtemperatur von +5°C ist eine Dämmdicke von 100 mm erforderlich, ⇒ Tabelle 1.2.

Tabellen 2.3.1-4: Tauwasser- und Feuchteschutz (bis -40 °C) für Kälte-Dämmsystem PIR (Polyisocyanurat)

Minimal zulässige Mediumtemperatur in °C zur Vermeidung von Oberflächentauwasser und unzulässiger Feuchtezunahme (max. 3 Vol.-% 10 Jahren) im Dämmstoff in Abhängigkeit von Rohrdurchmesser, Dämmdicke, Sperrwert und Ummantelung.

- Wärmeleitfähigkeit WKZ 27.260 gemäss Kapitel Berechnungsgrundlagen, Abschnitt 5.1
- Zuschlag zur Wärmeleitfähigkeit für Unterkonstruktion 0.003 W/(m K)
- Wärmeübergangskoeffizient gemäss Kapitel Berechnungsgrundlagen, Abschnitt 5.2
- Verminderung des Nenn-Sperrwerts der Dampfbremse durch Fugen 10%

Umgebungsclima 25 °C / 80 % relative Luftfeuchtigkeit**1. Ummantelung metallisch, neu (glänzend), Emissionsgrad 0.15**1.1. Dampfbremse Nenn-Sperrwert $s_d = 100$ m

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	15	13	10	5	-8	-40	-40
25	14	11	8	3	-14	-40	-40
50	13	10	6	0	-31	-40	-40
100	12	8	3	-5	-19	-34	-40
150	13	8	3	-3	-14	-26	-40
200	13	9	4	0	-11	-22	-34

1.2. Dampfbremse Nenn-Sperrwert $s_d = 150$ m

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	11	6	-2	-20	-40	-40	-40
25	9	3	-7	-23	-40	-40	-40
50	8	1	-6	-14	-31	-40	-40
100	11	6	0	-6	-19	-34	-40
150	13	8	3	-3	-14	-26	-40
200	13	9	4	0	-11	-22	-34

2. Ummantelung metallisch, Betriebszustand (verstaubt), Emissionsgrad 0.352.1. Dampfbremse Nenn-Sperrwert $s_d = 100$ m

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	15	13	10	5	-8	-40	-40
25	14	11	8	3	-14	-40	-40
50	13	10	6	0	-40	-40	-40
100	12	8	3	-5	-39	-40	-40
150	12	7	0	-10	-31	-40	-40
200	11	6	-1	-11	-27	-40	-40

2.2. Dampfbremse Nenn-Sperrwert $s_d = 150$ m

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	11	6	-2	-20	-40	-40	-40
25	9	3	-7	-40	-40	-40	-40
50	7	-1	-18	-30	-40	-40	-40
100	6	-2	-10	-19	-39	-40	-40
150	8	1	-6	-14	-31	-40	-40
200	9	2	-4	-11	-27	-40	-40

3. Ummantelung nicht metallisch, Emissionsgrad 0.93.1. Dampfbremse Nenn-Sperrwert $s_d = 100$ m

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	15	13	10	5	-8	-40	-40
25	14	11	8	3	-14	-40	-40
50	13	10	6	0	-40	-40	-40
100	12	8	3	-5	-40	-40	-40
150	12	7	0	-10	-40	-40	-40
200	11	6	-1	-14	-40	-40	-40

3.2. Dampfbremse Nenn-Sperrwert $s_d = 150$ m

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	11	6	-2	-20	-40	-40	-40
25	9	3	-7	-40	-40	-40	-40
50	7	-1	-19	-40	-40	-40	-40
100	5	-7	-40	-40	-40	-40	-40
150	3	-13	-33	-40	-40	-40	-40
200	2	-17	-30	-40	-40	-40	-40

Beispiel:

Bei einem Umgebungsclima von 25 °C, 80 % r.F., einer neuen metallischen Ummantelung (Emissionsgrad 0.15), einer Dampfbremse mit Nenn-Sperrwert 100 m, einem Rohr DN 50 mm und einer Mediumtemperatur von -20 °C ist eine Dämmdicke von 80 mm erforderlich, ⇒ Tabelle 1.1.

2.3.2 Kälteschutz

Dämmdicken in Abhängigkeit von Temperaturgefälle (Differenz zwischen Umgebungs- und Mediumtemperatur) und Rohrdimensionen in Anlehnung an die Mustervorschriften für Kantone im Energiebereich (MuKE), Ausgabe 2000.

Tabelle 2.3.2-1: Dämmdicken in mm für das Kälte-Dämmsystem PIR

Rohr-DN mm	Temperaturgefälle 20 K			Temperaturgefälle 40 K			Temperaturgefälle 60 K		
	Betriebsstunden h/a			Betriebsstunden h/a			Betriebsstunden h/a		
	4000	6000	8760	4000	6000	8760	4000	6000	8760
10	30	30	30	30	30	40	30	40	50
15	30	30	40	30	30	40	30	40	50
20	30	30	40	30	40	50	40	40	50
25	30	30	40	30	40	50	40	50	60
32	30	30	40	30	40	50	40	50	60
40	30	40	50	40	50	60	50	60	80
50	30	40	50	40	50	60	50	60	80
65	40	50	60	50	60	80	60	80	100
80	40	50	60	50	60	80	60	80	100
100	50	60	80	60	80	100	80	100	120
125	50	60	80	60	80	100	80	100	120
150	50	60	80	60	80	100	80	100	120
200	50	60	80	60	80	100	80	100	120

Es muss überprüft werden, ob mit diesen Dämmdicken der Tauwasser- und Feuchteschutz gewährleistet ist.

2.3.3 Schutz ruhender Wasserleitungen gegen Einfrieren

- Dämmsystem PIR-Rohrdämmschalen, metallische Ummantelung, übliche Wärmebrücken für Unterkonstruktion und Auflager usw.
- Umgebungsklima -10°C, Wind 3 m/s
- Wassertemperatur im Rohr 10°C
- Zulässiger Eisansatz im Rohr 25 Vol.-%

Tabelle 2.3.3-1: Zulässige Stillstandszeit des ruhenden Mediums (Wasser) in h in Abhängigkeit von Rohrgrösse, Dämmdicke und Eisbildung

Rohrgrösse DN	Dämmdicke in mm	Eisansatz im Rohr	
		0 Vol.-%	25 Vol.-%
10	40	1,4	4,1
25	50	4,1	14
50	60	10	36
100	60	27	91
150	80	45	168
200	80	63	235

Beispiel:

Im Rohr DN 50, 60 mm dick gedämmt, kühlt sich bei einem Umgebungsklima von -10°C und Wind von 3 m/s die anfängliche Wassertemperatur von 10°C in 10 Stunden auf 0°C ab. Nach total 36 Stunden beträgt der Eisansatz im Rohr 25 Vol.-%.

2.3.4 Wirtschaftlichkeit

Fallen für die Bereitstellung gekühlter Medien Energiekosten an, ist die Dimensionierung der Dämmdicke nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten vielfach die sinnvollste Methode.

Allerdings sind hierfür die Beschaffung zusätzlicher Daten und aufwändige Berechnungen erforderlich, siehe Kapitel Dimensionierung, Abschnitt 2.2.6. Eine allgemein gültige Angabe der Kälteverlustkosten ist nicht möglich, da diese von sehr vielen variablen und anlagespezifischen Parametern abhängt, welche sich zum Teil noch gegenseitig beeinflussen. Es sind dies unter anderem Typ und Arbeitspunkt der Kältemaschine, Leistungszahl (Verhältnis von Kälteleistung zu Antriebsleistung), verwendetes Kältemittel, Betriebstemperatur, Umgebungstemperatur, Strompreis usw.

Für «übliche» Anlagen empfehlen wir als Dimensionierungshilfe Tabelle 2.3.2-1 aus Kapitel Dimensionierung, Abschnitt 2.3.2 Kälteschutz.

Für Gross-Anlagen ist eine eigene, objektspezifische Wirtschaftlichkeitsrechnung mit den wirklich zutreffenden Parametern durchzuführen.

Anmerkung:

Sollten die Tabellen «Tauwasser- und Feuchteschutz» eine dickere Dämmung ergeben, zum Beispiel bei extremen klimatischen Bedingungen, dann sind natürlich diese Dicken massgebend.

2.3.5 Ermitteln der Dämmdicke

Wir empfehlen folgendes Vorgehen:

Schritt 1

Bemessungsgrundlagen

- Umgebungsklima
 - Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit
- Mediumtemperatur
- Rohrdimension
- Art der Ummantelung
- Betriebsstunden
- Nutzungsdauer
- Dämmkosten

Schritt 2

Zuerst muss die nötige Dämmdicke und Dampfbremse aus den Tabellen 2.3.1-1 bis 2.3.1-4 «Tauwasser- und Feuchteschutz» bestimmt werden.

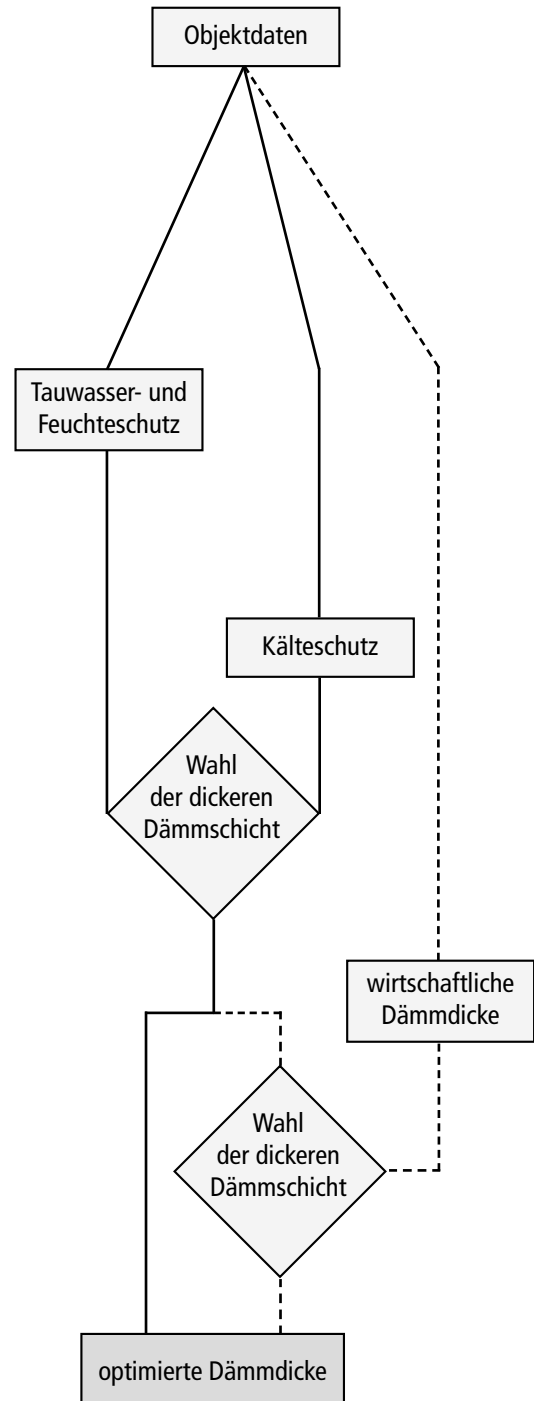
Schritt 3

Hierauf ist in der Tabelle 2.3.2-1 «Kälteschutz» die für einen geringen Energieverlust empfohlene Dämmdicke herauszulesen.

evtl. Schritt 4

Beispielsweise für Grossanlagen:
objektspezifische Wirtschaftlichkeitsrechnung

Die aus der Tabelle «Tauwasser- und Feuchteschutz» bestimmte Dämmdicke darf nicht unterschritten werden!



3. Anwendungs- und Ausführungsempfehlungen

3.1 Korrosionsschutz

Durch ein Kälte-Dämmsystem diffundieren – auch bei sorgfältigster Ausführung der Dampfbremse – geringe Mengen von Wasserdampf, die auf der kalten Rohroberfläche zu Wasser oder Reif kondensieren. Das Eindiffundieren von Feuchtigkeit kann in zulässigen Grenzen gehalten, aber nicht vollständig verhindert werden. Damit diese Feuchtigkeit zu keinen Korrosionsschäden führt, ist ein geeigneter Korrosionsschutz nötig. Dieser ist insbesondere vom Werkstoff der Leitung aber auch vom Kälte-Dämmsystem abhängig.

- niedrig- und unlegierte Stähle (Eisenwerkstoffe)
 - austenitische nichtrostende Stähle (Edelstähle)
 - galvanisch verzinkter Stahl
 - feuerverzinkter Stahl
 - Aluminium
- sind die am häufigsten verwendeten Werkstoffe für Leitungen.

Anstelle metallischer Werkstoffe werden auch Rohrleitungen aus Kunststoff eingesetzt. Allfällige Herstellervorschriften bezüglich Oberflächenschutz oder ähnlich sind zu beachten.

Das Korrosionsschutz-System ist **bauseits** durch Fachspezialisten zu planen und auszuführen.

3.2 Anwendungsempfehlungen

Kälte-Dämmsysteme mit PIR-Dämmschalen eignen sich sowohl für Anwendungen im sichtbaren Bereich wie Verteilerräume und Zentralen wie auch in belüfteten und unbelüfteten Zwischendecken, in Hohlräumen sowie für Fernleitungen in begehbaren und nicht begehbaren Kanälen. Sie können auch für Leitungen im Freien angewendet werden.

Tabelle 3.2-1: Anwendungsempfehlungen

Ort der Leitung	Art der Ausführung
sichtbarer Bereich wie Verteilerräume, Zentralen, usw.	Ummantelung aus Leichtmetallblech, PVC-Folie oder Alu-Grobkornfolie
in belüfteten oder unbelüfteten Zwischendecken, in Hohlräumen	Ummantelung aus PVC-Folie oder Alu-Grobkornfolie
in begehbaren Kanälen	Ummantelung aus Leichtmetallblech, PVC-Folie oder Alu-Grobkornfolie
in nicht begehbaren Kanälen	Ummantelung aus Leichtmetallblech
im trockenen Erdreich	spezielle vorfabrizierte Systeme
im Grundwasser führenden Erdreich	spezielle vorfabrizierte Systeme
im Freien	Ummantelung aus Leichtmetallblech, hinterlüftet, mit Fix- und Gleitpunkten, mit Kondensatabläufen

3.3 Ausführungsbeschreibungen

Hinweis: siehe auch aktuellen VSI-Nummern-Index und aktuelle VSI-Ausführungsbeschreibungen.

Position	Text	ME
1.	Kälte-Dämmsystem mit PIR-Dämmschalen	m
1.	PIR-Dämmschalen	
01	Wärmeleitfähigkeit bei 0 °C: _____	0,027 W/(m·K)
02	Geschlossenzelligkeit: _____	> 90 Vol.-%
03	Brandkennziffer: _____	5.2 bis 5.3 BKZ
04	Rohr-Nennweite NW / DN: _____	mm
05	Rohr-Aussendurchmesser: _____	mm
06	Dämmdicke: _____	mm
07	Befestigung: _____	Bindedraht plastifiziert
ff.	_____	
2.	Dampfbremse	
01	Material: _____	
02	Sperrwert s_d : _____	m
03	Dicke: _____	mm
04	Brandkennziffer: _____	BKZ
ff.	_____	
3.	Ummantelung	
01	Material: _____	
02	Dicke: _____	mm
03	Brandkennziffer: _____	BKZ
04	Ausbildung Rundnähte/-stöße: _____	
05	Ausbildung Längsnähte/-stöße: _____	
ff.	_____	

Position	Text	ME
4.	Nebenarbeiten	
01	Ansetzmasse:	
01.1	Material: _____	
ff.	_____	
02	Fettbandage:	
02.1	Material: _____	
ff.	_____	
03	Schutzschicht zwischen Dampfbremse und Ummantelung:	
03.1	Material: _____	
03.2	Schichtdicke: _____ mm	
ff.	_____	
5.	Verlegeart	
01	1-lagig / mehrlagig _____	
02	in Räumen, sichtbare Bereiche _____	
03	in belüfteten / unbelüfteten Zwischendecken _____	
04	in belüfteten / unbelüfteten Hohlräumen _____	
05	in begehbaren / nicht begehbaren Kanälen _____	
06	im Freien _____	
07	horizontal oder geneigt bis 30° _____	
08	vertikal oder geneigt über 30° _____	
ff.	_____	
6.	Weitere objektspezifische Leistungen	
01	_____	
ff.	_____	

→ Bauteile wie Abzweiger, Bögen, Reduktionen, Armaturen usw. sind gleichwertig zu dämmen. Für übliche Dimensionen sind passgenaue Formstücke erhältlich.

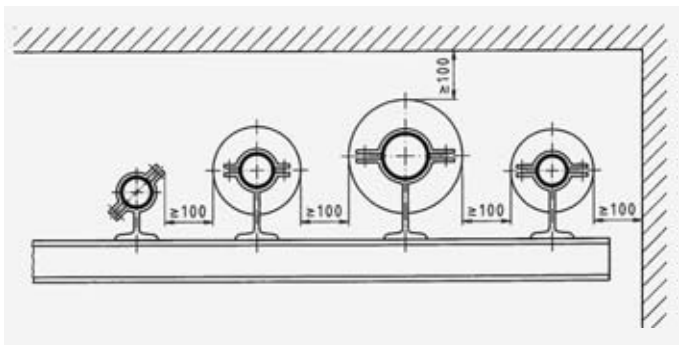
3.4 Ausführungsrichtlinien

3.4.1 Allgemeines

Das zu dämmende Objekt ist vom Auftragnehmer bezüglich bauseitiger Vorleistungen, Platzverhältnisse und Oberflächenbeschaffenheit zu prüfen. Bestehen Bedenken, dass die vorgesehene Ausführungsart nicht ordnungsgemäss erbracht werden kann, sind diese dem Auftraggeber schriftlich mitzuteilen.

Das zu dämmende Objekt muss korrosionsgeschützt sein. Die Abstände nach Bild 3.4.1-1 müssen eingehalten sein.

Bild 3.4.1-1: Erforderliche Mindestabstände von Rohrleitungen, Masse in mm



Um fachlich einwandfrei dämmen zu können, müssen bauseits folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- Die Anlage ist abgeschaltet und trocken.
- Der Untergrund ist frei von Behinderungen und weist keine groben Verunreinigungen auf.
- Halterungen zur Aufnahme der Tragkonstruktion sind am Objekt angebracht.
- Dichtscheiben sind am Objekt angebracht (Dichtscheiben sind Konstruktionsteile, die eine flüssigkeitsdichte Verbindung zwischen Objekt und Ummantelung ermöglichen).
- Einbauten am Objekt wie Flansche, Typenschilder usw. müssen so bemessen sein, dass Flanschverbindungen, Ables- und Messeinrichtungen, Schriftseite von Typenschildern usw. ausserhalb der Dämmung liegen.
- Auflager sind so ausgeführt, dass Dämmstoffe, Dampfbremsen und Ummantelungen fachgerecht angeschlossen werden können.
- Rohrdurchführungen bei Wand- und Deckendurchbrüchen müssen so ausgelegt sein, dass die Einhaltung der Dämmdicke und die Ausführung des vorgesehenen Dämmsystems gewährleistet sind. Allfällige Auflagen des Brandschutzes sind zu beachten.
- An waagrechten Rohrleitungen im Freien sollen Armaturen unterhalb der waagrechten Ebene durch die Rohrleitungssachse angebracht werden, um das Risiko eindringender Feuchtigkeit zu minimieren.
- Die Dämmung kann ohne Behinderung montiert werden.
- Schweißarbeiten am Objekt sind ausgeführt und die Anlage ist geprüft.
- Metallklebearbeiten am Objekt sind ausgeführt.
- Die Anlage darf bis zur Fertigstellung der Dämmarbeiten nicht in Betrieb genommen werden.
- Gedämmte Anlagenteile dürfen in der Regel nicht für die Befestigung anderer Installationen benutzt werden.

3.4.2 Anforderungen

- Wärmebrücken sind möglichst zu vermeiden.
- Korrosionsschutz und alle Elemente des Dämmsystems, wie Klebstoff, Dämmstoff, Dampfbremse, Ummantelung usw. müssen funktional aufeinander abgestimmt sein. Ebenso ist die gegenseitige Materialverträglichkeit sicherzustellen.
- Um Korrosionsrisiken zu vermeiden, dürfen sich Metalle unterschiedlichen elektrischen Potentials nicht berühren; allenfalls müssen trennende Zwischenschichten eingebaut werden.
- Dämmsysteme sind so zu montieren, dass demontierbare Einbauten ohne Beschädigung der Dämmung ein- und ausgebaut werden können.

3.4.3 Unterkonstruktion

Auflager

Eine direkte Verbindung des zu dämmenden Objektes mit Aufhängungen, Halterungen, Fundamenten u.ä. ist zu vermeiden. Dazwischen werden deshalb Auflager aus Dämmstoffen mit hoher Druckfestigkeit eingelegt. Die für Dauerlasten zulässigen Druckspannungen dieser Dämmstoffe dürfen nicht überschritten werden. Reicht deren Festigkeit nicht, können Auflager aus anderen Stoffen mit niedriger Wärmeleitfähigkeit, z.B. Hartholz, verwendet werden.

Auflager in Rohraufhängungen und Rohrhalterungen

Die Auflager müssen mindestens so dick sein wie die anschliessende Dämmschicht.

Bei Loslagern können druckfeste Dämmstoffe verwendet werden; bei Festlagern müssen Werkstoffe mit geringer Wärmeleitfähigkeit verwendet werden, die Druck- und Schubkräfte aufnehmen können, z.B. Hartholz, PUR / PIR-Hartschaum hoher Rohdichte oder Schichtholz.

Tragkonstruktionen

Tragkonstruktionen übertragen das Gewicht des Dämmsystems und auf dieses einwirkende Kräfte über Halterungen oder direkt auf das zu dämmende Objekt. Tragkonstruktionen ergeben unvermeidliche Wärmebrücken. Um deren Einfluss gering zu halten, werden Formstücke, z.B. aus PUR / PIR-Hartschaum, Schaumglas u.ä., unmittelbar am Objekt befestigt. In diesem Fall muss die Tragkonstruktion nur die Lasten aus der Umhüllung und allenfalls auf diese einwirkende Kräfte aufnehmen. Die Teile der Tragkonstruktion, die der Befestigung der Ummantelung dienen, können über der Dampfbremse angebracht werden.

Stützkonstruktionen

Stützkonstruktionen halten die Ummantelung im gewählten Abstand am Objekt, wenn der Dämmstoff selbst diese Aufgabe nicht übernehmen kann. Als Stützkonstruktionen werden im allgemeinen Schalen, Segmente oder andere Formstücke aus druckfesten Dämmstoffen, Kunststoffen oder Holz verwendet.

Stützkonstruktionen dürfen die Dampfbremse nicht durchdringen.

3.4.4 Ansetzmasse

Die Ansetzmasse ist in ausreichender Menge auf die Rohroberfläche bzw. in die Dämmschale aufzutragen um sicherzustellen, dass zwischen Dämmung und Rohroberfläche keine Hohlräume entstehen und somit der Zutritt von Feuchtigkeit verhindert wird.

Die Produkteignung ist auf den vorgegebenen Betriebstemperaturbereich der Anlage abzustimmen.

Ansetzmassen müssen systemtauglich und mit Kontaktstoffen materialverträglich sein.

3.4.5 Dämmung

Der Dämmstoff muss den von der Planung festgelegten Anforderungen genügen.

Hohlräume zwischen Objekt und Dämmstoff sind zu vermeiden.

Die Dämmschalen sind fugendicht und fugenversetzt einzubauen. Die Längs- und Stossfugen sind vollständig mit einem geeigneten Dichtstoff zu schliessen. Eine allfällige zweite Lage soll die Fugen der ersten Lage ausreichend überdecken.

An senkrechten und geneigten Flächen angebrachte Dämmungen müssen gegen Abrutschen gesichert sein.

Der Dämmstoff ist durch geeignete Massnahmen vor Witterungseinflüssen und mechanischen Beschädigungen zu schützen.

Der Innendurchmesser von Schalen, Bogen und Segmenten entspricht dem Aussendurchmesser der Rohrleitung. Bei Verwendung von Ansetzmassen muss diese zusätzliche Schichtdicke mitberücksichtigt werden.

Die gemeinsame Dämmung mehrerer Rohrleitungen mit unterschiedlichen Mediumtemperaturen ist zu vermeiden.

3.4.6 Dampfbremse

Allgemeines

Die Dampfbremse soll den Dämmstoff möglichst wasserdampfdicht umschliessen. Sie muss auch bei Durchdringungen, Übergängen, Anschlüssen, Auflagern, Stützkonstruktionen, usw. voll wirksam sein.

Der Untergrund für die Dampfbremse muss trocken und frei von Verunreinigungen sein. Grobe Unebenheiten der Oberfläche sind auszugleichen.

Der verwendete Werkstoff darf keine die Nutzung der Räume beeinträchtigende Geruchsbelästigungen erzeugen.

Dampfbremsen für PIR-Dämmschalen

Dampfbremsen können aus vollflächig aufgeklebten Folien, z.B. aus Metall, Kunststoff, Verbundwerkstoffen oder aus Beschichtungen auf Basis Bitumen oder Flüssigkunststoffen bestehen.

Dampfbremsende Bänder sind hohlraum- und faltenfrei zu wickeln.

Die Mindestüberlappungen nach Herstellerangaben sind einzuhalten – in der Regel ≥ 30 mm.

Dampfbremsende Beschichtungsmassen können aufgespachtelt, aufgespritzt oder von Hand aufgetragen werden. Die Beschichtung muss eine einheitliche Schichtdicke aufweisen und darf keine Blasen enthalten.

Wird eine Bandage in die Beschichtung eingearbeitet, ist offenmaschiges Material zu verwenden, so dass die einzelnen Lagen der Beschichtung hohlraumfrei miteinander verbunden werden. Die Bandage muss vollständig mit der Beschichtung überdeckt sein. Die massgebende Schichtdicke ist die Trockenschichtdicke.

Ummantelung als Dampfbremse

Ummantelungen aus Blech oder Kunststoff-Folien bzw. jedes andere umhüllende Material können als Dampfbremse dienen, wenn es die erforderlichen Anforderungen erfüllt, wie z.B. ausreichend wasserdampfbremsende Wirkung, inkl. Sicken, Stösse, Verklebungen, Nähte, Durchdringungen, usw.

3.4.7 Schutzschicht zwischen Dampfbremse und Ummantelung

Es muss sichergestellt sein, dass die Dampfbremse während der Bau- und Nutzungsphase nicht beschädigt wird.

Wird beispielsweise die Ummantelung verschraubt oder genietet, ist die darunter befindliche Dampfbremse mit einer Schutzschicht (Polsterlage) vor Verletzungen zu schützen, z.B. mit Polyäthylenschaumstreifen, Glasfilzstreifen oder ähnlich.

Die Schutzschicht darf bei der Bemessung der Dämmschicht nicht berücksichtigt werden. Ein möglicher Effekt von Kondensatbildung ist jedoch zu beachten.

3.4.8 Ummantelung

Allgemeines

Die Ummantelung hat die Funktion eines mechanischen Schutzes, situativ auch Dampfbremse, Witterungs- und/oder Brandschutz. Bei ihrer Montage darf die Dampfbremse nicht beschädigt werden.

Dient eine verschraubte Ummantelung zugleich als Dampfbremse, sind sämtliche Sicken, Stösse, Nähte und Durchdringungen möglichst wasserdampfdicht zu schliessen.

Besteht die Gefahr, dass Flüssigkeit in die Dämmung eindringen kann, beispielsweise Spritzwasser, muss die Ummantelung dicht ausgeführt werden.

Ummantelung aus Blech

Die Bleche sind zu formen, Rundnähte zu sicken. Die Längsnähte können gesickt oder angekantet werden.

Ummantelungen aus Aluminiumfolien und Alu-Grobkornfolien

Die verklebten Rundstösse müssen mindestens 50 mm überlappen, die verklebten Längsstösse mindestens 30 mm bzw. es sind die Herstellerangaben einzuhalten.

Ummantelungen aus harten Kunststoff-Folien (Hart-PVC-Folien)

Die Rundstösse müssen mindestens 50 mm überlappen, die Längsstösse mindestens 30 mm bzw. nach Herstellerangaben.

3.4.9 Verschiedenes

Klebstoffe

Die Klebstoffe dürfen die Eigenschaften der Fügeiteile und der angrenzenden Stoffe nicht beeinflussen. Die Verarbeitungsvorschriften der Hersteller sind einzuhalten.

Der verwendete Klebstoff darf keine die Nutzung der Räume beeinträchtigende Geruchsbelästigungen erzeugen.

Dämmung an Armaturen

Als Armaturen gelten z.B. Ventile, Klappen, Flansche und Filter.

Die Dämmung der Armaturen soll mit Kappen erfolgen, welche für Service- oder Reparaturarbeiten jederzeit leicht entfernt und danach ohne Beeinträchtigung der Dämmwirkung wieder montiert werden können.

Die Dämmung der Rohrleitung endet in dem Abstand vor der Armatur, der die Entfernung und Austausch derselben erlaubt.

Die Kappen überlappen die Dämmung der Rohrleitung um ein Mass, welches der Dämmdicke entspricht.

Armaturen werden wenn immer möglich mit der gleichen Dämmdicke wie das Rohrleitungssystem gedämmt.

Die Dampfbremse der Kappe muss mit der Dampfbremse der Rohrdämmung eine durchgehende, dichte Verbindung bilden. Alle Stösse und Übergänge sind mit einer geeigneten Dichtungsmasse diffusionsdicht auszuführen. Durch diese Massnahmen kann die gewünschte zerstörungsfreie Demontage beeinträchtigt werden. Unter Umständen müssen deshalb nach Servicearbeiten an den Armaturen die alten Kappen durch neue ersetzt werden.

Kappen aus Kunststoff

Die Dämmschicht besteht in der Regel aus hochwertigem, FCKW-freiem PUR-Schaum, welcher mit einer widerstandsfähigen Kunststoffhülle vor mechanischen Einflüssen geschützt wird.

Kunststoffkappen werden industriell hergestellt. Der Isolierer konfektioniert die vorgefertigten Kappen so, dass sie auf dem Dämmsystem der angrenzenden Rohrleitung passgenau sitzen.

Kappen aus Metall

Die vom Isolierspengler gefertigte Leichtmetallbox wird mit Kautschukmatten oder vorgefertigten PIR-Elementen ausgekleidet und passgenau auf dem Dämmsystem der angrenzenden Rohrleitung montiert.

Blechkappen können auch mit PUR-Ortschaum auf der Baustelle ausgeschäumt werden; eine zerstörungsfreie Demontage ist bei dieser Ausführung nicht mehr möglich.

Verteiler und Armaturen ohne Dämmung

Werden Verteiler und/oder Armaturen nicht gedämmt, wird das an diesen Anlageteilen auftretende Schwitzwasser mit einer geeigneten Vorrichtung aufgefangen und abgeleitet.

Elektrostatische Aufladung

Werden in explosionsgefährdeten Bereichen elektrostatisch aufladbare Stoffe verwendet, zum Beispiel kunststoffbeschichtete Umhüllungen oder nicht leitende Kunststoffe, muss eine Erdung erstellt werden.

Diese Arbeiten sind durch eine Fachfirma auszuführen.

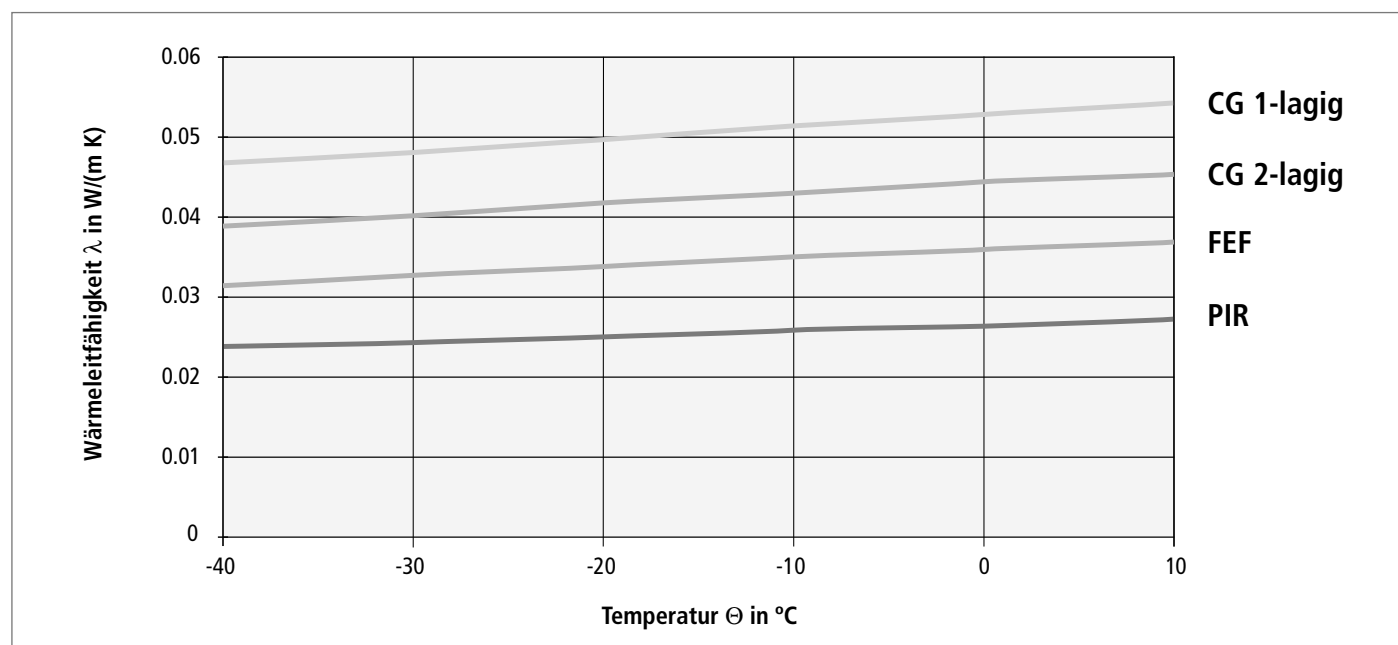
4. Anhang

4.1 Materialkennwerte – Richtwerte*)

Tabelle 4.1-1: Technische Daten Dämmstoff-Schalen

Dämmstoff		Rohdichte kg/m ³	Anwendungs- grenztemperatur °C	Brandkennziffer BKZ
Polyisocyanuratschaum	PIR	30 bis 80	≥ -100	5.2 bis 5.3
synth. Kautschukschaum	FEF	50 bis 120	≥ -40	5.1 bis 5.2
Schaumglas	CG	100 bis 160	≥ -260	6

Bild 4.1-1: Wärmeleitfähigkeit in Funktion der Temperatur θ



Legende:

PIR	Polyisocyanuratschaum WKZ 27.260 harter Schaumkunststoff auf der Basis von Polyurethan mit überwiegend geschlossenzelliger Struktur
FEF	flexibler Elastomerschaum WKZ 36.290 geschlossenzelliger Weichschaum aus natürlichem oder synthetischem Gummi oder Mischung von beiden
CG	Schaumglas einlagig WKZ 52.300, zweilagig WKZ 44.300 fester Dämmstoff aus geschäumtem Glas mit geschlossenzelliger Struktur

Tabelle 4.1-2: Technische Daten Dampfbremsen

Material	Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d in m	Brandkennziffer BKZ
Bitumenbeschichtungen		
– Trockenschichtdicke 1 mm	~ 10	4
– Trockenschichtdicke 2 mm	~ 50	4
– Trockenschichtdicke 3 mm	~ 100	4
Klebebänder		
– PE 0,4 mm dick	≥ 10	5
– ALU 0,05 mm dick	≥ 100	6
Folien		
– ALU 0,1 mm dick, Stöße überklebt	≥ 400	6
Blechummantelungen		
– Sicken usw. nicht gedichtet	≥ 5	6
– Sicken usw. gedichtet	≥ 10	6q.
Flüssigkunststoffe		
– Trockenschichtdicke 1 mm	≥ 20	5
– Trockenschichtdicke 2 mm	≥ 50	5

Die Materialkennwerte spezifischer Produkte sind nachzuweisen.

*) Quellen: Herstellerangaben; Empfehlung SIA 380/3:1990; DIN 4140:1996; Literaturangaben

4.2 Tabellen Kälteleistungsverluste in W/m für Kälte-Dämmsystem PIR (Polyisocyanuratschaum)

in Abhängigkeit von Rohrdurchmesser und Dämmdicke

- metallische Ummantelung, kein Wind
- Wärmeleitfähigkeit WKZ 27.260 gemäss Kapitel Berechnungsgrundlagen, Abschnitt 5.1
- Wärmeübergangskoeffizient gemäss Kapitel Berechnungsgrundlagen, Abschnitt 5.2
- Zuschlag zur Wärmeleitfähigkeit für zusätzliche Wärmeverluste durch Unterkonstruktion: 0.003 W/(m K)
- Zuschlag zum Wärmestrom für weitere Wärmebrücken wie Auflager und Tragkonstruktionen: 0,2% der ungedämmten Oberfläche

Umgebungstemperatur 20 °C

Mediumtemperatur 10 °C

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7
25	1,7	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9
50	2,5	2,1	1,9	1,7	1,5	1,3	1,2
100	4,0	3,3	2,9	2,6	2,2	1,9	1,7
150	5,4	4,5	3,8	3,4	2,8	2,5	2,2
200	6,8	5,5	4,7	4,2	3,4	3,0	2,6

Mediumtemperatur 0 °C

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	2,4	2,1	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4
25	3,4	3,0	2,7	2,5	2,2	2,0	1,8
50	5,0	4,2	3,7	3,4	2,9	2,6	2,4
100	8,0	6,6	5,7	5,1	4,3	3,8	3,4
150	11	8,9	7,7	6,8	5,6	4,9	4,4
200	14	11	9,4	8,3	6,8	5,9	5,2

Mediumtemperatur -10 °C

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	3,5	3,1	2,9	2,7	2,4	2,2	2,1
25	5,1	4,4	4,0	3,7	3,2	2,9	2,7
50	7,4	6,3	5,5	5,0	4,3	3,9	3,6
100	12	10	8,5	7,6	6,4	5,6	5,1
150	16	13	11	10	8,3	7,3	6,5
200	20	17	14	12	10	8,7	7,8

Mediumtemperatur -20 °C

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	4,7	4,1	3,8	3,5	3,2	3,0	2,8
25	6,8	5,8	5,2	4,8	4,3	3,9	3,6
50	10	8,3	7,3	6,6	5,7	5,1	4,7
100	16	13	11	10	8,5	7,4	6,7
150	22	18	15	13	11	10	8,6
200	27	22	19	16	13	12	10

Mediumtemperatur -30 °C

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	5,8	5,1	4,7	4,4	4,0	3,7	3,5
25	8,4	7,2	6,5	6,0	5,3	4,8	4,5
50	12	10	9,1	8,2	7,1	6,4	5,9
100	20	16	14	12	10	9,2	8,3
150	27	22	19	17	14	12	11
200	34	27	23	20	17	14	13

Mediumtemperatur -40 °C

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	6,9	6,1	5,6	5,2	4,7	4,4	4,1
25	10	8,6	7,7	7,1	6,3	5,7	5,3
50	15	12	11	10	8,4	7,6	7,0
100	23	19	17	15	12	11	10
150	32	26	22	20	16	14	13
200	40	32	27	24	20	17	15

Zwischenwerte können linear interpoliert werden.

4.3 Tabellen Kälteleistungsverluste in W/m für Kälte-Dämmsystem FEF (Kautschukschaum)

in Abhängigkeit von Rohrdurchmesser und Dämmdicke

– ohne Ummantelung, kein Wind

– Wärmeleitfähigkeit WKZ 36.290 gemäss Kapitel Berechnungsgrundlagen, Abschnitt 5.1

– Wärmeübergangskoeffizient gemäss Kapitel Berechnungsgrundlagen, Abschnitt 5.2

– Zuschlag zur Wärmeleitfähigkeit für zusätzliche Wärmeverluste durch Unterkonstruktion: 0.003 W/(m K)

– Zuschlag zum Wärmestrom für weitere Wärmebrücken wie Auflager und Tragkonstruktionen: 0,2 % der ungedämmten Oberfläche

Umgebungstemperatur 20 °C

Mediumtemperatur 10 °C

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	10	20	30	40	50	60	80
10	2,5	1,9	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1
25	4,0	2,8	2,3	2,0	1,8	1,6	1,5
50	6,4	4,2	3,3	2,8	2,5	2,2	2,1
100	11	7,0	5,3	4,4	3,8	3,4	3,1
150	15	10	7,3	6,0	5,1	4,5	4,1
200	20	12	9,2	7,4	6,3	5,5	5,0

Mediumtemperatur 0 °C

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	10	20	30	40	50	60	80
10	5,1	3,7	3,1	2,8	2,5	2,4	2,2
25	8,1	5,6	4,5	3,9	3,5	3,2	3,0
50	13	8,4	6,6	5,6	4,9	4,4	4,1
100	22	14	11	8,7	7,6	6,7	6,1
150	31	19	15	12	10	8,9	8,0
200	40	25	18	15	13	11	10

Mediumtemperatur -10 °C

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	10	20	30	40	50	60	80
10	7,6	5,5	4,6	4,1	3,8	3,5	3,3
25	12	8,3	6,7	5,8	5,2	4,8	4,5
50	19	13	10	8,3	7,3	6,6	6,1
100	33	21	16	13	11	10	9,1
150	47	29	22	18	15	13	12
200	59	37	27	22	19	16	15

Mediumtemperatur -20 °C

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	10	20	30	40	50	60	80
10	10	7,3	6,1	5,4	5,0	4,6	4,4
25	16	11	8,8	7,6	6,9	6,3	5,9
50	25	17	13	11	10	8,7	8,0
100	44	28	21	17	15	13	12
150	62	38	29	23	20	17	16
200	78	48	36	29	24	21	19

Mediumtemperatur -30 °C

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	10	20	30	40	50	60	80
10	13	9,0	7,5	6,7	6,1	5,7	5,4
25	20	14	11	9,4	8,5	7,8	7,3
50	32	21	16	13	12	11	10
100	54	34	26	21	18	16	15
150	77	47	35	29	25	22	19
200	97	60	44	36	30	27	24

Mediumtemperatur -40 °C

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	10	20	30	40	50	60	80
10	15	11	9,0	7,9	7,3	6,8	6,4
25	24	16	13	11	10	9,2	8,6
50	38	24	19	16	14	13	12
100	65	40	31	25	22	19	18
150	91	56	42	34	29	26	23
200	116	71	53	42	36	31	28

Zwischenwerte können linear interpoliert werden.

4.4 Tabellen Kälteleistungsverluste in W/m für Kälte-Dämmsystem CG (Schaumglas)

in Abhängigkeit von Rohrdurchmesser und Dämmdicke

– metallische Ummantelung, kein Wind

– Wärmeleitfähigkeit WKZ 52.300 (einlagig) WKZ 44.300 (zweilagig)

– Wärmeübergangskoeffizient gemäss Kapitel Berechnungsgrundlagen, Abschnitt 5.2

– Zuschlag zur Wärmeleitfähigkeit für zusätzliche Wärmeverluste durch Unterkonstruktion: 0.003 W/(m K)

– Zuschlag zum Wärmestrom für weitere Wärmebrücken wie Auflager und Tragkonstruktionen: 0,2% der ungedämmten Oberfläche

Umgebungstemperatur 20 °C

Mediumtemperatur 10 °C

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	2,0	1,8	1,7	1,6	1,3	1,2	1,1
25	2,9	2,6	2,3	2,2	1,7	1,5	1,4
50	4,2	3,6	3,2	2,9	2,2	2,0	1,9
100	6,6	5,6	4,9	4,4	3,3	2,9	2,6
150	8,9	7,4	6,5	5,8	4,2	3,7	3,3
200	11	9,2	8,0	7,1	5,1	4,5	4,0

Mediumtemperatur 0 °C

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	4,1	3,7	3,4	3,2	2,5	2,3	2,2
25	5,8	5,1	4,6	4,3	3,3	3,0	2,8
50	8,4	7,2	6,4	5,9	4,4	4,0	3,7
100	13	11	10	8,8	6,5	5,7	5,2
150	18	15	13	12	8,4	7,4	6,6
200	22	18	16	14	10	8,9	7,9

Mediumtemperatur -10 °C

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	6,1	5,5	5,0	4,7	3,7	3,4	3,3
25	8,7	7,6	6,9	6,4	4,9	4,5	4,2
50	13	11	10	8,7	6,6	5,9	5,5
100	20	17	15	13	10	8,5	7,7
150	27	22	19	17	13	11	10
200	33	28	24	21	15	13	12

Mediumtemperatur -20 °C

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	8,1	7,2	6,7	6,2	4,9	4,5	4,3
25	12	10	9,1	8,4	6,5	5,9	5,5
50	17	14	13	12	8,7	7,8	7,2
100	26	22	19	17	13	11	10
150	36	30	26	23	17	14	13
200	44	37	32	28	20	17	15

Mediumtemperatur -30 °C

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	10	8,9	8,2	7,7	6,0	5,6	5,3
25	14	12	11	10	8,0	7,3	6,8
50	21	18	16	14	11	10	8,9
100	33	27	24	21	16	14	13
150	44	37	32	28	20	18	16
200	55	45	39	35	25	21	19

Mediumtemperatur -40 °C

Rohr DN	Dämmdicke in mm						
	30	40	50	60	80	100	120
10	12	11	10	9,2	7,2	6,7	6,3
25	17	15	13	12	9,5	8,7	8,1
50	24	21	19	17	13	11	11
100	39	33	28	25	19	16	15
150	53	44	38	34	24	21	19
200	66	54	46	41	29	25	23

Zwischenwerte können linear interpoliert werden.

5. Berechnungsgrundlagen

5.1 Betriebswärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit der üblichen Wärmedämmstoffe nimmt in Abhängigkeit der Temperatur des Wärmedämmstoffs exponentiell zu.

Für haustechnische Anlagen im Temperaturbereich -40°C bis 120°C darf die folgende Näherungsgleichung verwendet werden:

$$\lambda_m = \lambda_0 \cdot e^{b \cdot \Theta_m} \quad [W/(m \cdot K)] \quad (1)$$

Aus λ_0 und b wird die WKZ (Wärmeleitfähigkeits-Kennzahl) gebildet:

$$WKZ = 1000 \cdot \lambda_0 + 100 \cdot b \quad [---] \quad (2)$$

Tabelle 5.1-1: Wärmeleitfähigkeits-Kennzahl WKZ verschiedener Dämmstoffe

Wärmedämmstoff		WKZ	λ_0 in W/(m·K)	b in K ⁻¹
Polyisocyanuratschaum	PIR	27.260	0.027	0.00260
synth. Kautschukschaum	FEF	36.290	0.036	0.00290
Schaumglas	CG			
■ einlagig		52.300	0.052	0.00300
■ zweilagig		44.300	0.044	0.00300

Für die Betriebswärmeleitfähigkeit λ_b sind die Zuschläge λ_z für zusätzliche Wärmeverluste durch die Unterkonstruktion zu berücksichtigen.

Tabelle 5.1-2: Zuschlag λ_z in Abhängigkeit der Unterkonstruktion

Art der Unterkonstruktion	Zuschlag λ_z	
Keine Unterkonstruktion	0.000	W/(m·K)
Stützen aus dämmendem Werkstoff (z.B. Keramik)	0.003	W/(m·K)
Stützen aus Stahl, Auflagen ca. 3 mm dick gedämmt	0.006	W/(m·K)
Stützen aus Stahl, Auflagen ungedämmt	0.020	W/(m·K)

Somit ergibt sich für die Betriebswärmeleitfähigkeit

$$\lambda_b = \lambda_m + \lambda_z \quad [W/(m \cdot K)] \quad (3)$$

Bezeichnung, Begriff, Einheit:

WKZ	Wärmeleitfähigkeits-Kennzahl	---
e	Basis der natürlichen Logarithmen	e = 2,718'282
b	Temperaturfaktor	K ⁻¹
Θ	Temperatur	°C
Θ_m	Mitteltemperatur des Dämmstoffs	°C
λ_b	Betriebswärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs	W/(m·K)
λ_0	Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs bei 0 °C	W/(m·K)
λ_m	Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs bei der Mitteltemperatur Θ_m	W/(m·K)
λ_z	Zuschlag für Wärmeverluste durch Unterkonstruktion	W/(m·K)

5.2 Wärmeübergang

5.2.1 Wärmeübergangskoeffizient aussen

$$h_a = h_k + h_s \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (4)$$

Bezeichnung, Begriff, Einheit:

h_a	Wärmeübergangskoeffizient aussen	W/(m ² ·K)
h_k	Wärmeübergang durch Konvektion	W/(m ² ·K)
h_s	Wärmeübergang durch Strahlung	W/(m ² ·K)

5.2.2 Wärmeübergang durch Konvektion

Für die Berechnung des konvektiven Wärmeübergangs können aus verschiedenen Quellen (ISO / International Organization for Standardization, VDI / Verein Deutscher Ingenieure, ASTM / American Society for Testing and Materials und andere) folgende Gleichungen hergeleitet werden:

Wärmeschutz («Kälteschutz»), Rohr horizontal verlegt:

$$h_k = 1,2 \cdot \left(\frac{|\Delta a|}{Da}\right)^{0,25} \cdot (1 + 2,85 \cdot w)^{0,5} \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (5)$$

Wärmeschutz («Kälteschutz»), Rohr vertikal verlegt:

$$h_k = 1,7 \cdot \left(\frac{|\Delta a|}{Da}\right)^{0,25} \cdot (1 + 2,85 \cdot w)^{0,5} \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (6)$$

Wärmeschutz («Kälteschutz»), übliche Wärmeverlust-Berechnungen:

$$h_k = 1,5 \cdot \left(\frac{|\Delta a|}{Da}\right)^{0,25} \cdot (1 + 2,85 \cdot w)^{0,5} \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (7)$$

Tauwasserschutz, übliche Tauwasserschutz-Berechnungen:

$$h_k = 0,75 \cdot 1,5 \cdot \left(\frac{|\Delta a|}{Da}\right)^{0,25} \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (8)$$

Bezeichnung, Begriff, Einheit:

Da	Aussendurchmesser	m
w	Windgeschwindigkeit	m/s
$ \Delta a $	Temperaturgefälle zwischen Oberfläche und Umgebung	°C

5.2.3 Wärmeübergang durch Strahlung

$$h_s = \epsilon \cdot C_s \cdot \frac{\left(\frac{T_a}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_s}{100}\right)^4}{T_a - T_s} \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (9)$$

Bezeichnung, Begriff, Einheit:

ϵ	Emissionsgrad der Oberfläche	---
C_s	Strahlungskonstante des Schwarzen Strahlers	5,67 W/(m ² ·K)
T_a	absolute Temperatur der Umgebung = $\Theta_a + 273,15$	K
T_s	absolute Temperatur der Oberfläche = $\Theta_s + 273,15$	K

Tabelle 5.2-1: Emissionsgrad von Oberflächen

äußere Rohroberfläche	Emissionsgrad ϵ
CrNiSt (nicht rostend)	0.15
Stahlrohr verzinkt	0.35
Stahlrohr roh, unbehandelt	0.75
Stahlrohr mit Korrosionsschutz	0.90
Ummantelungen	
Aluminiumblech walzblank	0.05
Aluminiumblech oxydiert	0.15
Aluminiumblech stark oxydiert	0.20
Aluminiumblech eloxiert	0.80
CrNiSt-Blech (nicht rostend)	0.15
Stahlblech verzinkt, blank	0.25
Stahlblech verzinkt, verstaubt	0.35
Stahlblech rot angerostet	0.60
Stahlblech farbbeschichtet	0.90
metallische Ummantelung, neuwertig, Mittelwert für Berührungsschutz-Berechnungen	0.15
metallische Ummantelung, Betriebszustand, für Wärmeschutz-Berechnungen	0.35
nicht metallische Ummantelung für Wärmeschutz- und Berührungsschutz-Berechnungen	0.90

Tabellen 5.2-2: Wärmeübergangskoeffizienten h_a in Abhängigkeit von Oberflächentemperatur Θ_s und Aussendurchmesser der Ummantelung

- Umgebungstemperatur Θ_a 20°C, windstill

Ummantelung metallisch, neu (glänzend), Emissionsgrad 0.15

Wärmeschutz («Kälteschutz») h_a gemäss (7)

Θ_s in °C	Durchmesser in mm					
	100	200	300	400	500	600
19	3,5	3,1	2,9	2,7	2,6	2,6
18	4,0	3,5	3,3	3,1	3,0	2,9
16	4,6	4,0	3,7	3,5	3,4	3,2
14	5,0	4,3	4,0	3,8	3,6	3,5

Tauwasserschutz h_a gemäss (8)

Θ_s in °C	Durchmesser in mm					
	100	200	300	400	500	600
19	2,9	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1
18	3,2	2,8	2,7	2,5	2,4	2,4
16	3,7	3,2	3,0	2,8	2,7	2,6
14	4,0	3,5	3,2	3,0	2,9	2,8

Ummantelung metallisch, Betriebszustand, Emissionsgrad 0.35

Wärmeschutz («Kälteschutz») h_a gemäss (7)

Θ_s in °C	Durchmesser in mm					
	100	200	300	400	500	600
19	4,7	4,2	4,0	3,9	3,8	3,7
18	5,2	4,6	4,4	4,2	4,1	4,0
16	5,7	5,1	4,8	4,6	4,5	4,4
14	6,1	5,4	5,1	4,9	4,7	4,6

Tauwasserschutz h_a gemäss (8)

Θ_s in °C	Durchmesser in mm					
	100	200	300	400	500	600
19	4,0	3,7	3,5	3,4	3,3	3,3
18	4,4	4,0	3,8	3,7	3,6	3,5
16	4,8	4,3	4,1	4,0	3,9	3,8
14	5,1	4,6	4,3	4,2	4,0	3,9

Ummantelung nicht metallisch, Emissionsgrad 0.90

Wärmeschutz («Kälteschutz») h_a gemäss (7)

Θ_s in °C	Durchmesser in mm					
	100	200	300	400	500	600
19	7,8	7,4	7,1	7,0	6,9	6,8
18	8,3	7,8	7,5	7,3	7,2	7,1
16	8,8	8,2	7,9	7,7	7,6	7,4
14	9,2	8,5	8,2	7,9	7,8	7,7

Tauwasserschutz h_a gemäss (8)

Θ_s in °C	Durchmesser in mm					
	100	200	300	400	500	600
19	7,1	6,8	6,6	6,5	6,5	6,4
18	7,5	7,1	6,9	6,8	6,7	6,6
16	7,9	7,4	7,2	7,0	6,9	6,8
14	8,1	7,6	7,4	7,2	7,1	7,0

5.3 Wärmedurchgangswiderstand radial

$$R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_B} \cdot \ln\left(\frac{da}{di}\right) + \frac{1}{\pi \cdot h_a \cdot Da} \quad [m \cdot K/W] \quad (10)$$

Bezeichnung, Begriff, Einheit:

R	Wärmedurchgangswiderstand	m·K/W
Da	Aussendurchmesser der Umhüllung	m
da	Aussendurchmesser der Dämmung	m
di	Innendurchmesser der Dämmung	m

Der innere Wärmeübergangswiderstand zwischen Rohr und Dämmung wird vernachlässigt.

5.4 Wärmestrom («Kältestrom») radial

$$q_i = \frac{\Theta_a - \Theta_i}{R} + WBR \quad [W/m] \quad (11)$$

Bezeichnung, Begriff, Einheit:

WBR	Wärmeverluste durch Wärmebrücken, jedoch excl. λ_2	W/m
q_i	Wärmestrom radial durch das Dämmsystem	W/m
Θ_a	Umgebungstemperatur	°C
Θ_i	Mediumtemperatur	°C

$$WBR = \frac{\Theta_a - \Theta_i}{1} \cdot \frac{wbr}{100} \quad [W/m] \quad (12)$$

$$\frac{1}{\pi \cdot h_r \cdot dr}$$

Bezeichnung, Begriff, Einheit:

dr	äusserer Rohrdurchmesser (in der Regel identisch mit di)	m
h_r	Wärmeübergangskoeffizient am ungedämmten Rohr	W/(m ² ·K)
wbr	ungedämmte Rohroberfläche	%

Tabelle 5.4-1: Ungedämmte Rohroberfläche wbr in %

Wärmebrücken	keine	wenige	übliche	viele
ungedämmte Rohroberfläche wbr	0 %	0,2 %	1,0 %	5,0 %

Tabellen 5.4-2: Wärmeübergangskoeffizienten h_r am ungedämmten Rohr in Abhängigkeit von Mediumtemperatur Θ_i und äusserem Rohrdurchmesser dr

- Umgebungstemperatur Θ_a 20°C, windstill

Rohroberfläche Emissionsgrad 0.15

Wärmeübergangskoeffizient h_r gemäss (7)

Θ_i in °C	Rohr DN					
	10	25	50	100	150	200
10	8,2	7,0	6,2	5,4	5,0	4,7
0	9,6	8,2	7,2	6,2	5,7	5,4
-20	11	9,5	8,3	7,2	6,6	6,2
-40	12	10	9,1	7,8	7,1	6,7

Rohroberfläche Emissionsgrad 0.35

Wärmeübergangskoeffizient h_r gemäss (7)

Θ_i in °C	Rohr DN					
	10	25	50	100	150	200
10	9,3	8,1	7,3	6,5	6,1	5,8
0	10,6	9,2	8,2	7,3	6,8	6,4
-20	12	10	9,2	8,1	7,5	7,1
-40	13	11	9,9	8,6	8,0	7,6

Rohroberfläche Emissionsgrad 0.75

Wärmeübergangskoeffizient h_r gemäss (7)

Θ_i in °C	Rohr DN					
	10	25	50	100	150	200
10	12	10	9,5	8,7	8,2	8,0
0	13	11	10	9,3	8,8	8,5
-20	14	12	11	10	9,4	9,0
-40	15	13	12	10	9,7	9,2

Rohroberfläche Emissionsgrad 0.90

Wärmeübergangskoeffizient h_r gemäss (7)

Θ_i in °C	Rohr DN					
	10	25	50	100	150	200
10	12	11	10	9,5	9,1	8,8
0	13	12	11	10	9,6	9,3
-20	15	13	12	11	10	9,7
-40	15	14	12	11	10	9,9

5.5 Zulässige Stillstandzeiten für Wasserleitungen – ohne Zirkulation im Freien

Nachdem sich der Leitungsinhalt auf 0 °C abgekühlt hat, beträgt die zulässige Stillstandzeit t:

$$t = \frac{E \cdot m}{3,6 \cdot \dot{Q}} \quad [\text{h}] \quad (13)$$

Bezeichnung, Begriff, Einheit

t	zulässige Stillstandzeit	h
E	Erstarrungswärme beim Gefrieren des Mediums Eis: Dichte 900 kg/m ³ , Erstarrungswärme 335 kJ/kg	kJ/kg
m	zulässige Eisbildung (in der Regel max. 25 Vol.-%)	kg/m
\dot{Q}	Kälteleistungsverluste	W/m
3.6	Umrechnungsfaktor: 1 Wh = 3,6 kJ	

Berechnung der Zeitdauer für die Temperaturänderung des ruhenden Mediums im Rohr ab Anfangstemperatur bis zur Erreichung der Gefriertemperatur:

$$t = t_{i,0} + t_0 = \frac{\ln\left(1 - \frac{\Theta_i}{\Theta_a}\right)}{\alpha} + \frac{E \cdot m_E}{3,6 \cdot \dot{q}_l} \quad [\text{h}] \quad (14)$$

wobei $\alpha = \frac{3,6}{(c_M \cdot m_M + c_R \cdot m_R) \cdot R}$

Bezeichnung, Begriff, Einheit:

E	Erstarrungswärme beim Gefrieren von Wasser zu Eis Dichte von Eis 900 kg/m ³	335 kJ/kg
R	Wärmedurchgangswiderstand gemäss (10)	m-K/W
c _M	spezifische Wärmekapazität von Wasser	4,2 kJ/(kg·K)
c _R	spezifische Wärmekapazität des Rohres Stahl 0,5 kJ/(kg·K)	kJ/(kg·K)
m _E	zulässige Eisbildung (in der Regel ist ein Eisansatz bis 25 Vol.-% zulässig)	kg/m
m _M	Masse des Wassers	kg/m
m _R	Masse des Rohrs	kg/m
q _l	Wärmestrom gemäss (11)	W/m
t	zulässige Stillstandzeit	h
t _{i,0}	Zeit für die Abkühlung des Wassers von Θ_i auf 0 °C	h
t ₀	Zeit bis die Eisbildung m _E beträgt	h
Θ_a	Umgebungstemperatur ($\Theta_a < 0$ °C)	°C
Θ_i	Temperatur des Wassers am Anfang der Stillstandzeit	°C
α	Konstante	h ⁻¹
3.6	Umrechnungsfaktor: 1 Wh = 3,6 kJ	

5.6 Feuchtetechnische Berechnungen

5.6.1 Wasserdampfleitzahl der Luft

Tabelle 5.6-1: Wasserdampfleitzahl der Luft λ_{DL} in mg/(m·h·Pa)

Objekthöhe in m ü. M.	Lufttemperatur in °C						
	-40	-30	-20	-10	0	10	20
0	0,56	0,58	0,60	0,62	0,63	0,65	0,67
500	0,59	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71
1000	0,63	0,65	0,67	0,70	0,72	0,74	0,76
1500	0,67	0,69	0,72	0,74	0,76	0,78	0,81
2000	0,71	0,74	0,76	0,79	0,81	0,83	0,86

5.6.2 Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl

$$\mu = \frac{\lambda_{DL}}{\lambda_D} \quad [---] \quad (15)$$

Die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ eines Stoffes gibt an, wie viel mal wasserdampfdichter dieser Stoff im Vergleich zur Luft ist.

5.6.5 Diffusionsstrom

$$d_h = \frac{\Delta p_{[Pa]}}{r_{D[m \cdot h \cdot Pa/mg]}} \quad [mg/(m \cdot h)] \quad (18)$$

Tabelle 5.6-2: Wasserdampfsättigungsdruck p bei Temperaturen Θ von -40 °C bis 20 °C

Θ in °C	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25
p in Pa	13	22	38	63	103	165	260	401	611	872	1228	1706	2340	3169

5.6.3 Sperrwert und Wasserdampfleitzahl des Stoffs

$$s_d = \frac{\lambda_{DL}}{\lambda_D} \cdot s \quad \text{bzw.} \quad \lambda_D = \frac{s}{s_d} \cdot \lambda_{DL} \quad [m] \quad (16)$$

Der Sperrwert s_d (diffusionsäquivalente Luftschichtdicke) eines Stoffes gibt an, wie dick eine Luftschicht in m sein müsste, damit diese den gleichen Sperrwert aufweisen würde wie der Stoff.

Bezeichnung, Begriff, Einheit:

μ	Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl	dimensionslos
s	Dicke des Stoffs	m
s_d	Sperrwert (diffusionsäquivalente Luftschichtdicke)	m
λ_D	Wasserdampfleitzahl des Stoffs	mg/(m·h·Pa)
λ_{DL}	Wasserdampfleitzahl der Luft	mg/(m·h·Pa)

5.6.6 Feuchtezunahme im Dämmstoff

Wenn die gesamte eindiffundierende Menge auf der Rohroberfläche kondensiert, ergibt sich in 10 Jahren bezüglich des Dämmvolumens eine Feuchtezunahme von:

$$F = \frac{8,76 \cdot d_h [mg/(m \cdot h)]}{V_{[dm^3/m]}} \quad [\text{Vol.-% in 10 Jahren}] \quad (19)$$

Bezeichnung, Begriff, Einheit:

F	Feuchtezunahme	Vol.-% in 10 Jahren
d_h	Diffusionsstrom pro Stunde	mg/(m·h)
V	Dämmstoffvolumen	dm ³ /m
Δp	Dampfdruckgefälle	Pa

5.6.4 Dampfdurchgangswiderstand

Für das Rohr (Hohlzylinder) gilt:

$$r_D = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_D} \cdot \ln\left(\frac{d_a}{d_i}\right) \quad [m \cdot h \cdot Pa/mg] \quad (17)$$

Bezeichnung, Begriff, Einheit:

d_a	Aussendurchmesser der Sperrschicht	m
d_i	Innendurchmesser der Sperrschicht	m
r_D	Dampfdurchgangswiderstand der Sperrschicht	m·h·Pa/mg
λ_D	Wasserdampfleitzahl der Sperrschicht	mg/(m·h·Pa)

Anmerkung:

Für praxisbezogene Berechnungen sollte man berücksichtigen, dass Dampfbremsen Undichtigkeiten aufweisen können. Es empfiehlt sich daher, den Betriebs-Sperrwert 10 % tiefer als den Nenn-Sperrwert einzusetzen.