

# Leitfaden für Technische Isolierung

## **Impressum**

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Autorinnen und Autoren: Mag. DI Konstantin Kulterer, Matthias Penz

Unter Mitarbeit von: Ing. Andreas Wald (Knauf Insulation), DI Helmut Paiszler (Paiszler Isolierungen GmbH)

Inhalt: Dezember 2017, Layout: Dezember 2022

### **Copyright und Haftung:**

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des BMK und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin/des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an [eebetriebe@energyagency.at](mailto:eebetriebe@energyagency.at)

## Inhalt

<b>1 Einleitung.....</b>	<b>7</b>
1.1 Aufbau und Inhalt des Leitfadens.....	7
<b>2 Ziele der technischen Isolierung, Anwendungsgebiete, Normen.....</b>	<b>9</b>
2.1 Ziele der technischen Isolierung.....	9
2.1.1 Energieeinsparung.....	9
2.1.2 Prozesskontrolle.....	10
2.1.3 Anlagenschutz.....	10
2.1.4 Personenschutz.....	10
2.2 Einsatzbereiche.....	10
2.3 Normen, Richtlinien und Gesetze.....	11
2.3.1 Normen und Richtlinien.....	11
2.3.2 Gesetze.....	11
<b>3 Physikalische Grundlagen.....</b>	<b>13</b>
3.1 Grundlagen der Wärmeübertragung.....	13
3.1.1 Wärmeleitung.....	13
3.1.2 Konvektiver Wärmeübergang.....	14
3.1.3 Wärmestrahlung.....	14
3.2 Weitere Grundlagen.....	15
3.2.1 Kondensation.....	15
3.2.2 Wasserdampfdiffusion.....	15
3.2.3 Korrosion.....	16
<b>4 Grundlagen der Dämmung.....</b>	<b>17</b>
4.1 Physikalische Eigenschaften von Dämmstoffen.....	17
4.1.1 Wärmeleitfähigkeit.....	17
4.1.2 Temperaturbeständigkeit und Anwendungstemperatur.....	18
4.1.3 Rohdichte und Druckfestigkeit.....	18
4.1.4 Wasserdampfdiffusionswiderstand.....	18
4.1.5 Brandverhalten.....	19
4.2 Dämmstoffkategorien.....	19
4.2.1 Dämmstoffe nach ÖNORM B 2260.....	20
4.2.2 Wärmedämmung und Wärmedämmstoffe.....	20
4.2.3 Kälte­dämmung und Kälte­dämmstoffe.....	23
4.3 Elemente von Dämmsystemen.....	26
4.3.1 Ummantelung.....	26
4.3.2 Dampfbremse und Kälte­dämmstoffe.....	27

4.3.3	Stützkonstruktion.....	28
4.3.4	Tragkonstruktion.....	28
4.3.5	Befestigung .....	28
4.4	Dämmsysteme für betriebstechnische Anlagen.....	28
4.4.1	Systeme zur Wärmedämmung .....	28
4.4.2	Systeme zur Kälte­dämmung .....	30
4.5	Anforderungen an die Ausführung von Dämmarbeiten nach DIN 4140.....	31
4.5.1	Allgemeines.....	31
4.5.2	Verminderung von Konvektion.....	32
4.5.3	Schutz gegen Durchfeuchten.....	32
4.5.4	Ableitung von Kondensat aus den Ummantelungen von Objekten im Freien....	33
4.5.5	Beachtung thermischer Längenänderungen – Dehnfugen.....	33
4.5.6	Berührungsschutz .....	33
4.5.7	Korrosionsschutz.....	34
4.6	Oberflächentemperatur und Energieverlust .....	34
<b>5</b>	<b>Wärme­verlust­berechnung und Wirtschaftlichkeit .....</b>	<b>36</b>
5.1	Parameter zur Wärme­verlust­berechnung.....	36
5.2	Weitere Technische Parameter .....	39
5.2.1	Gegebene Parameter – Umgebung, Medium, Rohr.....	39
5.2.2	Zu berechnende Parameter - Zwischenergebnisse und Ergebnisse.....	40
5.3	Wärme­verlust­berechnung.....	41
5.3.1	Überschlägige Berechnung mit Grafik.....	42
5.3.2	Vereinfachte Formel zur Berechnung Wärme­verlust Rohre und Wände .....	44
5.3.3	Wärme­verlust­berechnung nach VDI 2055 .....	46
5.3.4	Berechnung Wärme­verlust bei gedämmten Materialien.....	49
5.3.5	Wärmedurchgangskoeffizient eines Rohrs und Wand.....	49
5.3.6	Anmerkungen zur genaueren Berechnung.....	51
5.3.7	Bewertung Wärmebrücken, inklusive Flansche .....	52
5.3.8	Beispielberechnung für den Wärme­verlust eines gedämmten Rohres nach VDI 2055.....	53
5.4	Bestimmung der Dämm­dicke .....	57
5.4.1	Ermittlung der Dämmschicht­dicke nach technischen Gesichtspunkten nach VDI 2055-1 .....	58
5.4.2	Mindest­dämmschicht­dicken nach OIB-Richtlinie 6 und ÖNORM H 5155.....	59
5.4.3	Vergleich einer ungedämmten mit einer gedämmten Rohrleitung.....	61
5.4.4	Wirtschaftlichkeit und Kosten .....	62
5.5	Berechnung des Gesamt­wärme­verlusts.....	66

5.5.1	Wärmeverluste und -einträge von Komponenten nach VDI 2055-1.....	66
5.5.2	Methoden zur Bestimmung von Gesamtwärmeverlusten und –einträgen nach VDI 2055-3.....	68
<b>6</b>	<b>Messungen an Dämmsystemen .....</b>	<b>69</b>
6.1	Messverfahren nach BFA WKSB .....	69
6.1.1	Temperaturmessung.....	69
6.1.2	Messung von Luftgeschwindigkeit und relativer Feuchte.....	71
6.1.3	Messung der Dicke von Mineralwollmatten und –platten und von Schichtdicken .....	72
6.2	Messstellen für thermische Messungen nach BFA WKSB .....	72
6.2.1	Grundlagen zur Messung von Oberflächentemperatur .....	72
6.2.2	Auswahl der Messstellen .....	73
<b>7</b>	<b>Vor-Ort-Audit .....</b>	<b>75</b>
7.1	Allgemeine Betriebsdaten .....	75
7.2	Qualitatives Audit .....	75
7.2.1	Art und Gesamteindruck der Anlage .....	76
7.2.2	Art und Gesamteindruck der Umgebung.....	76
7.2.3	Erstaufnahme und Hilfestellung zur Auswahl.....	78
7.2.4	Art des Anlagenteils .....	79
7.2.5	Zustand des Anlagenteils .....	79
7.2.6	Ausführungsanforderungen nach DIN 4140.....	81
7.3	Quantitatives Audit.....	82
7.3.1	Aufnahme der Parameter .....	82
7.3.2	Möglichkeiten zur Berechnung des Wärmeverlusts beziehungsweise des Wärmeeintrags.....	83
7.3.3	Wirtschaftlichkeitsberechnung.....	87
<b>8</b>	<b>Normen, Richtlinien, Arbeitsblätter .....</b>	<b>88</b>
<b>9</b>	<b>Emissionsgrade verschiedener Oberflächen .....</b>	<b>92</b>
<b>10</b>	<b>Abbildungen zu Wärmeverlusten von Rohren, Flanschen und Armaturen.....</b>	<b>94</b>
<b>11</b>	<b>Erhebungsblätter für Audits.....</b>	<b>98</b>
<b>12</b>	<b>Über klimaktiv .....</b>	<b>99</b>
	<b>Formelverzeichnis .....</b>	<b>100</b>
	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>102</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>103</b>

**Literaturverzeichnis ..... 105**

# 1 Einleitung

Typische Betriebstemperaturen von industriellen Prozessen reichen von -160 °C bis weit über 600 °C. Daher ist der Energieverlust von unzureichender Isolierung von Industrieanlagen aber auch z. B. von Heizzentralen deutlich stärker als etwa bei zu geringer Dämmung von Gebäuden.

Der Anteil der Wärmeverluste am Gesamtbrennstoffverbrauch liegt zwischen 15 und 21 %, diese Verluste können um bis zu 30 % reduziert werden. Der Gesamtbrennstoffverbrauch kann daher um bis zu 6 % durch Dämmen bisher ungedämmter Bauteile und Rohrleitungen und durch Ersatz bestehender Dämmung durch eine wirtschaftliche Dämmschichtdicke bei Rohrleitungen gesenkt werden. Allein durch das Dämmen ungedämmter Bauteile und Rohrleitungen können die Wärmeverluste um 23 % gesenkt werden (Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH, 2012).

Dieser Leitfaden unterstützt Energieberater und Energieberaterinnen und Energieauditors und Energieauditorinnen bei der Überprüfung vorhandener Dämmsysteme und/oder des Wärmeverlusts bestehender Anlagen in Industrie und Gewerbe. Zu betroffenen Anlagen gehören z. B. Rohrleitungen, Kanäle, Behälter, Apparate und so weiter. Die Dämmung von Lüftungskanälen und Trinkwasserleitungen wird nicht behandelt.

Der Leitfaden umfasst die Beschreibung physikalischer Grundlagen, die häufigsten Arten von Isoliermaterialien nach Anwendungsgebiet und Temperaturbereich, die Möglichkeiten zur Bewertung und gibt einen Vorschlag für die Durchführung eines Energieaudits mit dem Schwerpunkt technische Isolierung.

## 1.1 Aufbau und Inhalt des Leitfadens

Zuerst werden die wichtigsten theoretischen Grundlagen zur technischen Isolierung behandelt, dazu gehören:

- Hauptgründe und Anwendungsgebiete technischer Isolierung, Überblick über Normen
- Physikalische Grundlagen zum Thema der technischen Isolierung,

- Eigenschaften, Kategorien und Systeme von Dämmungen und Dämmmaterialien
- Anforderungen an die Ausführung von Dämmarbeiten

Im Anschluss daran werden die Grundlagen der Wärmeverlustberechnung unter besonderer Berücksichtigung der VDI 2055, aber auch einfacher Methoden erläutert.

Das Kapitel Messung enthält Inhalte einiger Richtlinien zu diesem Thema.

Nach diesen Punkten wird konkret auf das Audit eingegangen. Dabei ist zu beachten, dass in diesem Leitfaden hauptsächlich auf das Ziel der Energieeinsparung eingegangen wird.

Dieser Teil enthält:

- Tabellen zur Sammlung allgemeiner Betriebsdaten
- Anleitungen zur Durchführung eines qualitativen Audits zur Beurteilung des Ist-Zustandes
- Beschreibung zur quantitativen Beurteilung von Anlagenbestandteilen

Dieser Leitfaden konzentriert sich insbesondere auf Wärmedämmung mit einigen Verweisen auf die Dämmung von Kälteanlagen, es werden aber keine Beispiele für die Vermeidung von Kondensation bei Kälteanwendungen angeführt. Die Bereiche Dämmung von Lüftungskanälen und Trinkwasserleitungen werden nicht behandelt.



# 2 Ziele der technischen Isolierung, Anwendungsgebiete, Normen

Generell erfolgt technische Isolierung und Dämmung betriebstechnischer Anlagen in den verschiedenen Anwendungsgebieten zu folgenden Zwecken.

**Wärme:** Energieeinsparung, Verringerung der Oberflächentemperatur

**Kälte:** Kondensation, Energieeinsparung

**Klima, Lüftung:** Energieeinsparung, Lärm

**Sanitär:** Kondensation, Energieeinsparung, Lärm

Dieser Leitfaden konzentriert sich auf die Bereiche Wärme und teilweise auf Kälte. Klima, Lüftung und Sanitär werden nicht behandelt.

## 2.1 Ziele der technischen Isolierung

Im Folgenden sind die Ziele der technischen Isolierung erläutert.

### 2.1.1 Energieeinsparung

Wesentliches Ziel der technischen Isolierung ist die Verminderung des Energieverlusts, der aufgrund der Temperaturdifferenz zwischen Prozessmedium und Umgebung entsteht. Ist die Mediumstemperatur größer als die Umgebungstemperatur, so wird mit einer Wärmedämmung der Wärmeübergang vom Medium an die Umgebung reduziert. Ist die Mediumstemperatur kleiner als die Umgebungstemperatur, wird mit einer Kälte­dämmung der Wärmeübergang von der Umgebung an das Medium reduziert. In beiden Fällen erfolgt die gleiche Berechnung, allerdings ist bei der Kälte­dämmung zusätzlich auf das Kondensationsrisiko zu achten.

Eine Reduktion des Energieverlusts durch Wärmeübertragung und somit die Einsparung von Energie kann nicht nur wirtschaftlich sinnvoll sein, sondern führt auch zum Schutz der Umwelt durch einen geringeren Ausstoß von Emissionen.

### **2.1.2 Prozesskontrolle**

Bei einer Temperaturdifferenz von Prozessmedium und Umgebung wird Wärme übertragen. Hierdurch verändert sich die Mediumstemperatur. Gewisse Prozesse erlauben aber nur eine Temperaturänderung in einem bestimmten Bereich. Um z. B. eine zu starke Abkühlung eines Mediums zu verhindern, kann eine technische Isolierung notwendig sein.

### **2.1.3 Anlagenschutz**

Technische Isolierung kann wesentlich zum Schutz der betriebstechnischen Anlage beitragen. Vor allem muss bei der Kälte­dämmung auf das Kondensatrisiko geachtet werden. Kondensat schädigt den Dämmstoff und begünstigt Korrosion. Einen alleinigen Korrosionsschutz stellt die technische Isolierung allerdings nicht dar! Weiters spielt Isolierung bei Brand- und Gefrierschutz eine Rolle.

### **2.1.4 Personenschutz**

Durch Wärmedämmung wird die Oberflächentemperatur teilweise im hohen Maß gegenüber einem ungedämmten Anlagenteil reduziert. Dadurch kann ein Verbrennungsrisiko reduziert werden. Allerdings kann Wärmedämmung alleine den Berührungsschutz nicht immer garantieren. Der beim Anlagenschutz angeführte Brandschutz dient ebenso dem Personenschutz. Zusätzlich kann noch der Schallschutz genannt werden.

## **2.2 Einsatzbereiche**

„Technische Isolierung“ bezeichnet die Dämmung verschiedenster betriebstechnischer Anlagen in Industrie und Gewerbe und auch von Heiz- und Kältezentralen in Krankenhäusern und großen Bürogebäuden. Technische Isolierung findet z. B. im Sektor der Energieerzeugung, in der Öl-, Gasindustrie, im Sektor Produktion z. B. in den Sektoren Eisen und Stahlindustrie, Maschinenbau, Kraftfahrzeuge, Lebensmittel und so weiter Anwendung. Dabei erfolgt nicht nur die Dämmung von Rohren, sondern auch von Tanks, Kesseln, Abgaskanälen, Turbinen und weiterem Prozessequipment, wie z. B. Wärmetauschern.

## 2.3 Normen, Richtlinien und Gesetze

### 2.3.1 Normen und Richtlinien

Die OIB Richtlinie 6 (Bauvorschriften für Gebäude) enthält Angaben zur Mindestdämmdicke von Leitungen und Armaturen. In der ÖNORM H 5155 sind Mindestdämmdicken für Heizungs- und Warmwasserleitungen und Kälteleitungen unter bestimmten Rahmenbedingungen angeführt.

In der Industrie in Österreich hat vor allem die nationale Norm ÖNORM B 2260 Gültigkeit. Sie enthält Verfahrens- und Vertragsbestimmungen für Dämmarbeiten. In ihr wird auch auf die DIN 4140 verwiesen, die die Ausführung von Dämmungen behandelt. Die Richtlinienreihe VDI 2055 ist eine Richtlinie zur Berechnung, Überprüfung der Eigenschaften von Dämmstoffen und der wärmetechnischen Eigenschaften von Dämmsystemen. In Deutschland gelten parallel zu den DIN-Normen noch die AGI Arbeitsblätter, wie z. B. Arbeitsblatt Q 101 „Dämmarbeiten an Kraftwerkskomponenten“.

Von Interesse für die Beurteilung von bestehenden Anlagen ist auch die VDI 4610 Energieeffizienz betriebstechnischer Anlagen; Wärme- und Kälteschutz, Wärmebrückenkatalog.

Im Anhang befinden sich eine Tabelle mit detaillierteren Beschreibungen zu den relevanten Normen und eine Auflistung von AGI Arbeitsblättern sowie von BFA WKSB Technischen Briefen.

### 2.3.2 Gesetze

Um den Schutz von Arbeitnehmern und Arbeitnehmerinnen zu gewährleisten, bilden in Österreich die Arbeitsstättenverordnung und das ArbeitnehmerInnenschutzgesetz die gesetzlichen Grundlagen.

Laut ASchG § 61 Arbeitsplätze, Absatz 1 müssen Arbeitsplätze so eingerichtet, beschaffen und erhalten werden, dass die Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer möglichst ohne Gefahr für ihre Sicherheit und Gesundheit ihre Arbeit verrichten können.

Im Hinblick auf die technische Isolierung ist somit die Oberflächentemperatur von Bedeutung, die im Idealfall bereits Verbrennungen verhindert. In der Praxis sollen

Oberflächentemperaturen von circa 50 °C bis 60 °C erreicht werden. Kann mit der Dämmung von betriebstechnischen Anlagen kein wirksamer Schutz garantiert werden, müssen weitere geeignete Maßnahmen gegen das Berühren, wie das Anbringen von Abschirmungen, getroffen werden (Rockwool, o. J.).

# 3 Physikalische Grundlagen

Um ein besseres Verständnis für die Wirkung von Dämmmaterialien zu bekommen, wird zuerst grundlegend das Thema Wärmeübertragung behandelt. Nachfolgend wird kurz auf das Thema der Kondensation eingegangen, das vor allem für Kälte­dämmung wichtig ist.

## 3.1 Grundlagen der Wärmeübertragung

Als Wärme wird in der Thermodynamik der Transport von Energie aufgrund eines Temperaturunterschieds zwischen einem System und seiner Umgebung verstanden. Die Wärme fließt dabei immer vom höheren zum niedrigeren Temperaturniveau.

Es werden drei Arten der Wärmeübertragung unterschieden: Wärmeleitung, konvektiver Wärmeübergang und Wärmestrahlung (Baehr, Stephan, 2010).

### 3.1.1 Wärmeleitung

Als Wärmeleitung wird der Energietransport zwischen benachbarten Molekülen durch eine Temperaturdifferenz verstanden. Sie wird maßgeblich vom Gesetz von Fourier beschrieben. Für den vereinfachten Fall einer ebenen Wand mit zwei unterschiedlichen Oberflächentemperaturen gilt:

Formel 1: Wärmeleitung einer ebenen Wand mit unterschiedlichen Oberflächentemperaturen

$$\dot{Q} = \lambda * A * \frac{\Delta T}{d}$$

- Q      Wärmestrom durch Wärmeleitung [W]
- λ      Wärmeleitfähigkeit [W/(m\*K)]
- A      Fläche, durch die die Wärme strömt [m<sup>2</sup>]
- ΔT     Temperaturdifferenz zwischen den Oberflächen [K]
- d      Dicke der Wand [m]

Die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  ist eine Materialeigenschaft, die im Wesentlichen temperaturabhängig ist.

### 3.1.2 Konvektiver Wärmeübergang

„Konvektiver Wärmeübergang“ beschreibt die Überlagerung von Wärmeleitung und Energietransport durch ein strömendes Fluid. Es kann zwischen erzwungener und freier Konvektion unterschieden werden, welche sich überlagern können. Erzwungene Konvektion entsteht durch Druckunterschiede, die durch eine äußere mechanische Einwirkung, wie z. B. eine Pumpe, im Fluid entstehen. Bei freier Konvektion strömt ein Fluid aufgrund von im System vorhandenen Dichteunterschieden. Vereinfacht gilt z. B. für den Wärmeübergang von einer Hauswand an die Umgebungsluft:

Formel 2: Wärmeübergang von einer Hauswand an die Umgebungsluft

$$\dot{Q} = \alpha * A * \Delta T$$

$\dot{Q}$  Wärmestrom durch konvektiven Wärmeübergang [W]

$\alpha$  (mittlerer) Wärmeübergangskoeffizient [W/(m<sup>2</sup>\*K)]

A Fläche, an der Wärme übergeben wird [m<sup>2</sup>]

$\Delta T$  Temperaturdifferenz zwischen Wandoberfläche und Umgebungstemperatur [K]

Da sich die Berechnung des Wärmeübergangskoeffizienten als schwierig erweist, ist die experimentelle Ermittlung wichtig.

### 3.1.3 Wärmestrahlung

Jeder Körper gibt bei positiver thermodynamischer Temperatur elektromagnetische Wellen an seine Umgebung ab. Strahlungsenergie, die von einem Körper absorbiert wird, wird in innere Energie des Körpers umgewandelt. Vereinfacht gilt:

Formel 3: Umwandlung von Strahlungsenergie in innere Energie

$$\dot{Q} = \varepsilon * \sigma * A * (T^4 - T_U^4)$$

Q̇	Wärmestrom durch Wärmestrahlung [W]
ε	Emissionsgrad [1]
σ	Stefan-Boltzmann-Konstante (5,6704 * 10 <sup>-8</sup> ) W/(m <sup>2</sup> *K <sup>4</sup> )
A	Fläche des Strahlers [m <sup>2</sup> ]
T	Temperatur des Strahlers [K]
T_U	Umgebungstemperatur [K]

Der Emissionsgrad ε wird ausschließlich von der Oberflächenbeschaffenheit beeinflusst.

## 3.2 Weitere Grundlagen

### 3.2.1 Kondensation

Luft kann im Wesentlichen abhängig von der Temperatur, nur eine gewisse Masse von Wasser(dampf) aufnehmen. Wird diese Maximalmasse beziehungsweise der Sättigungspartialdruck des Wasserdampfes in der Luft überschritten beziehungsweise die Taupunkttemperatur unterschritten, dann wird flüssiges oder festes Wasser auskondensiert. Dabei ist der Sättigungspartialdruck direkt proportional zur Lufttemperatur – steigt die Lufttemperatur, steigt der Sättigungspartialdruck und somit die Maximalmasse an Wasser(dampf), die aufgenommen werden kann. Wird nun Luft mit der Maximalmasse an Wasser(dampf) abgekühlt, kondensiert Wasser aus (Baehr, Kabelac, 2012).

### 3.2.2 Wasserdampfdiffusion

Wasserdampfdiffusion ist der Transport von Wasserdampf in einer Schicht infolge von Dampfdruckdifferenz. Abhängig von der Luftfeuchte können große Wassermengen hindurchwandern und unter Umständen zur Kondensation führen. Die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl (auch Diffusionswiderstandskoeffizient) μ gibt an,

um welchen Faktor das betreffende Material gegenüber Wasserdampf dichter ist als eine gleich dicke, ruhende Luftschicht.

Multipliziert man die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl mit der Dicke der Schicht erhält man die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke  $s_d$  (Recknagel, 2017).

### **3.2.3 Korrosion**

Unter Korrosion wird die Reaktion eines Werkstoffes mit seiner Umgebung verstanden, die eine messbare Veränderung des Werkstoffes bewirkt und zu einer Beeinträchtigung der Funktion führen kann. Voraussetzung für Kontaktkorrosion ist eine unterschiedliche Korrosionsbeständigkeit zweier metallischer Werkstoffe, ihr unmittelbarer Kontakt und die gemeinsame Benetzung durch ein wässriges Korrosionsmedium.



# 4 Grundlagen der Dämmung

## 4.1 Physikalische Eigenschaften von Dämmstoffen

Die Dämmwirkung eines Dämmstoffes wird hauptsächlich von zwei Komponenten erzielt: zum einen durch die im Dämmstoff eingeschlossene Luft, und zum anderen durch die Reduktion der Wärmestrahlung durch das Feststoffgerüst. Innerhalb des Dämmstoffes wird Wärme durch Wärmeleitung über das Feststoffgerüst und Wärmeleitung in der eingeschlossenen Luft, sowie Wärmestrahlung zwischen Oberflächen übertragen (VDI, 2013).

### 4.1.1 Wärmeleitfähigkeit

Unterschieden werden folgende Begriffe:

- **Laboratorium-Wärmeleitfähigkeit:** Messwert eines Ausschnitts aus einer ebenen Dämmstoffprobe
- **Nennwert der Wärmeleitfähigkeit:** vom Hersteller anzugeben, berücksichtigt fertigungsbedingte Qualitätsschwankungen und Alterung
- **Betriebswärmeleitfähigkeit (Bemessungswert):** für die zu erwartende Betriebsbedingung für jede Anwendung zu berechnen, berücksichtigt Einflussgrößen in der Praxis durch unterschiedliche Faktoren und Zuschlagswerte

Die Wärmeleitfähigkeit ist temperaturabhängig, da sie sich aus diesen inneren Wärmeübertragungsmechanismen zusammensetzt (vergleiche. Kapitel Grundlagen der Wärmeübertragung). Bei fast allen Dämmstoffen ist die Wärmeleitfähigkeit direkt proportional zur Temperatur – steigt also die Temperatur, steigt die Wärmeleitfähigkeit.

Hersteller geben die Wärmeleitfähigkeit für eine Mitteltemperatur an, diese ergibt sich aus der Differenz der Mediumtemperatur und der Oberflächentemperatur mal 0,5.

Formel 4: Mitteltemperatur

$$\vartheta_{MT} = 0,5 * (\vartheta_M - \vartheta_O)$$

$\vartheta_{MT}$  Mitteltemperatur

$\vartheta_M$  Mediumstemperatur

$\vartheta_O$  Oberflächentemperatur

Aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit von Wasser führt Feuchte im Dämmstoff zu einer erhöhten Wärmeleitfähigkeit.

Innerhalb offenzelliger Dämmstoffe bilden sich bei großen Temperaturdifferenzen Konvektionsströme, die einen zusätzlichen Wärmeverlust bewirken (VDI, 2013).

#### **4.1.2 Temperaturbeständigkeit und Anwendungstemperatur**

Die obere Anwendungsgrenztemperatur ist der Nennwert für die Temperaturbeständigkeit eines Dämmstoffes ohne Veränderung seiner Leistungsmerkmale. Sie dient zur Einstufung von Dämmstoffen hinsichtlich ihres Verhaltens bei höheren Temperaturen. Sie wird allerdings unter Laborbedingungen ermittelt (AGI Q 132, 2006).

Dämmstoffe dürfen nur bis zu einer Temperatur eingesetzt werden, bei der die Dämmwirkung nicht durch Dimensions-, Gefüge- oder chemische Veränderungen unzulässig beeinträchtigt wird. Die Temperaturbeständigkeit unter Betriebsbedingungen und damit die Anwendungstemperatur wird von stoffspezifischen Eigenschaften bestimmt (AGI Q 132, 2006).

#### **4.1.3 Rohdichte und Druckfestigkeit**

Den Widerstand, den ein Dämmsystem äußeren mechanischen Belastungen (Windlasten, Begehbarkeit, Lasten der Ummantelung) entgegengesetzt, wird unter anderem durch die Druckfestigkeit des Dämmstoffes beeinflusst.

#### **4.1.4 Wasserdampfdiffusionswiderstand**

Siehe Kapitel 4.3.2

### 4.1.5 Brandverhalten

Das Brandverhalten von Stoffen ist durch die ÖNORM EN 13501-1 auf europäischer Ebene klassifiziert. Der Klassifizierungsschlüssel besteht aus drei Teilen. Das Brandverhalten einer formstabilen Steinwolle-Rohrschale eines bekannten Herstellers beträgt z. B. A2 - s1, d0. Dabei beschreibt der erste Buchstabe das Brandverhalten, der zweite die Rauchentwicklung und der dritte das Tropfverhalten. Die Zahlen stehen für die Klasse.

Nachfolgend befindet sich eine vereinfachte Beschreibung der Klassen. Für eine genaue, technische Beschreibung wird auf die Norm verwiesen.

- **A1:** Nicht brennbar ohne brennbare Bestandteile
- **A2:** Nicht brennbar mit brennbaren Bestandteilen
- **A2, B, C:** Schwer entflammbar
- **D, E:** Normal entflammbar
- **F:** Leicht entflammbar

Rauchentwicklung (s für smoke):

- **s1:** Keine/kaum Rauchentwicklung
- **s2:** Begrenzte Rauchentwicklung
- **s3:** Unbeschränkte Rauchentwicklung

Tropfverhalten (d für droplets):

- **d0:** Kein Abtropfen
- **d1:** Begrenztes Abtropfen
- **d2:** Starkes Abtropfen

Übliche Mineralwollämmstoffe mit dem Brandverhalten A1 beziehungsweise A2 (A2-s1, d0) sind nicht brennbar. Am Markt erhältliche Dämmstoffe aus Elastomerschaum sind hingegen z. B. mit B-s3, d0 klassifiziert (ÖNORM EN 13501-1, 2009).

## 4.2 Dämmstoffkategorien

Dämmstoffe können in unterschiedliche Kategorien unterteilt werden. Es kann zwischen luftdurchlässigen offenzelligen Dämmstoffen, wie z. B. Mineralwolle, gemischtzelligen

(Schaumglas) und luftundurchlässigen geschlossenzelligen Dämmstoffen unterschieden werden.

#### 4.2.1 Dämmstoffe nach ÖNORM B 2260

Laut ÖNORM B 2260:2009 sind folgende Dämmstoffe in unterschiedlichen Ausführungen zulässig:

- Mineralwolle (Glas- oder Steinwolle, keramische Wolle) für die Wärmedämmung
- Mineralwolle für den Brandschutz
- Weiche Schaumstoffe (z. B. Elastomer)
- Calciumsilikat, Vermiculit
- Hartschaumstoffe (EPS, PUR und PEF)
- Schaumglas
- Schüttdämmstoffe
- Dämmkork

#### 4.2.2 Wärmedämmung und Wärmedämmstoffe

Wärmedämmung bezeichnet die Dämmung eines Objekts, dessen Temperatur über der Umgebungstemperatur liegt.

Der bei weitem gebräuchlichste Wärmedämmstoff für industrielle Anlagen ist Mineralwolle. Aufgrund der Gesundheitsgefährdung darf keramische Wolle nicht mehr eingesetzt werden. Stattdessen werden nun gesundheitlich unbedenkliche Calcium-Magnesium-Silikatfasern (CMS) eingesetzt. Sie werden aber nur als Vorisolierung in Kombination mit Mineralwolle zum Abbau hoher Temperaturen verwendet. Schaumglas setzt man vorwiegend dort ein, wo hohe Druckbelastungen auftreten (VDI, 2013).

Tabelle 1: Überblick Dämmstoffe, Anwendungsgrenzen und Wärmeleitfähigkeit

Dämmstoff	Obere Anwendungsgrenztemperatur (Richtwert)	Wasserdampfdiffusionswiderstand	Rohdichte	Beispiele für Wärmeleitfähigkeit [W/mK], Mitteltemperatur (°C)
Mineralwolle (MW) – Glaswolle	400 °C	1	20 bis 200 kg/m <sup>3</sup>	0,05 (100 °C)

Dämmstoff	Obere Anwendungsgrenztemperatur (Richtwert)	Wasserdampfdiffusionswiderstand	Rohdichte	Beispiele für Wärmeleitfähigkeit [W/mK], Mitteltemperatur (°C)
Mineralwolle (MW) – Steinwolle	700 °C	1	20 bis 200 kg/m <sup>3</sup>	0,030 bis 0,045
Schaumglas (CG)	430 °C	Nicht angegeben	110-130 kg/m <sup>3</sup>	0,045 (0 °C) bis 0,12 (300 °C)
Erdalkali-Silikat-Wolle (AES)	1.050 °C	Nicht angegeben	Nicht angegeben	0,05 (100 °C bis 0,17 (600 °C)
Aluminium-Silikat-Wolle (ASW)	1.300 °C	Nicht angegeben	Nicht angegeben	Nicht angegeben
Polykristalline Wolle (PCW)	1.650 °C	Nicht angegeben	20 – 200 kg/m <sup>3</sup>	0,05 (100 °C)

## Mineralwolle (MW)

Eigenschaften:

Mineralwolle ist ein aus mineralischen Rohstoffen hergestellter anorganischer Dämmstoff, der als Binde- oder Schmelzmittel organische Bestandteile enthalten kann. Im Allgemeinen wird zwischen Glas- und Steinwolle unterschieden. Die oberen Anwendungstemperaturen entsprechen bei Steinwolle circa 700 °C, bei Glaswolle circa 400 °C und bei Schalen circa 250 °C bis 500 °C.

Lieferformen:

Mineralwolldämmstoffe werden als Drahtnetzmatte, Lamellenmatte, Schalen, Bögen, Filze, Matten, Platten, Segmente und lose Wolle geliefert. Entsprechend der Lieferform können Mineralwolldämmstoffe mit Drahtgeflecht versteppt, mit Folie, Glasvliesen, Glasfilamentgeweben kaschiert oder mit Beschichtungen und anderen Trägermaterialien versehen sein. Platten, Schalen, Segmente und Bögen sind Formstücke, deren Formstabilität durch Bindemittel erzielt wird.

Einsatzbereich:

Mineralwolle wird praktisch ausschließlich für die Wärmedämmung verwendet und ist dort auch der am weitest verbreitete Dämmstoff (DIN 4140, AGI Q 132, 2006, VDI, 2013).

## **Schaumglas (CG)**

Eigenschaften:

Schaumglas ist ein anorganischer Dämmstoff, der zum größten Teil aus Glas besteht. Die Anwendungsgrenztemperaturen betragen minus 265 °C bis plus 430 °C. Somit ist Schaumglas auch als Kälte­dämmstoff einsetzbar. Außerhalb der Temperaturspanne von minus 80 °C bis plus 120 °C darf es im Betrieb weder schockartig abgekühlt noch erhitzt werden. Schaumglas ist wasser- und vor allem dampfdicht, hoch druckfest, säurebeständig und nicht brennbar.

Lieferformen:

CG-Dämmstoffe werden als Platten und Formstücken geliefert.

Einsatzbereich:

Aufgrund der Eigenschaften von Schaumglas wird es als Dämmstoff in Umgebungen verwendet, wo z. B. eine hohe Druckfestigkeit oder Säurebeständigkeit gefordert ist.

## **Erdalkali-Silikat-Wolle (AES)**

Eigenschaften:

Erdalkali-Silikat-Wolle ist ein aus mineralischen Rohstoffen hergestellter anorganischer Dämmstoff. Diese wird in Calcium-Magnesium-Silikatfaser (CMS), Calcium-Silikatfaser und Magnesium-Silikatfaser unterteilt. AES-Dämmstoffe können bis circa 1.050 °C, CMS-Dämmstoffe bis zu einer Temperatur von circa 850 °C eingesetzt werden.

Lieferformen:

Ähnlich wie Mineralwoll­dämmstoffe werden AES-Dämmstoffe als Matten, Platten, Formstücke und loses Gut geliefert.

Einsatzbereich:

AES wird dann eingesetzt, wenn es erforderlich ist, hohe Temperaturen bis zu einem Wert abzubauen, ab dem andere Dämmstoffe, z. B. Mineralwolle, verwendet werden können. Erdalkali-Silikat-Wolle wird üblicherweise bei Anwendungstemperaturen über 600 °C verwendet.

## **Aluminium-Silikat-Wolle (ASW)**

Eigenschaften:

Aluminium-Silikat-Wolle ist ein aus mineralischen Rohstoffen hergestellter anorganischer Dämmstoff. (früher: Refractory Ceramic Fibre - RCF). ASW-Dämmstoffe können bis circa 1.300 °C eingesetzt werden.

Lieferformen:

Ähnlich wie Mineralwolldämmstoffe werden ASW-Dämmstoffe als Matten, Platten, Formstücke und loses Gut geliefert.

Einsatzbereich:

ASW darf, aufgrund der potentiellen Gesundheitsgefährdung, nur dann eingesetzt werden, wenn es erforderlich ist, hohe Temperaturen bis zu einem Wert abzubauen, ab dem andere Dämmstoffe verwendet werden können und dafür kein anderer Stoff zu Verfügung steht. Aluminium-Silikat-Wolle wird üblicherweise bei Anwendungstemperaturen über 900 °C verwendet, z. B. bei der Dämmung von Öfen (DIN 4140).

### **Polykristalline Wolle (PCW)**

Eigenschaften:

Polykristalline Wolle besteht aus überwiegendem Teil aus Aluminium. Sie wird bis zu einer Temperatur von circa 1.600 °C eingesetzt.

Lieferformen:

PCW-Dämmstoffe werden als Matten, Platten und loses Gut geliefert.

Einsatzbereich:

Im Industriebereich wird PCW z. B. zur Dämmung von Hochtemperaturöfen eingesetzt. Der hauptsächliche Anwendungsbereich stellt allerdings die Fahrzeugindustrie dar.

### **4.2.3 Kälte­dämmung und Kälte­dämmstoffe**

Kälte­dämmung bezeichnet die Dämmung eines Objekts, dessen Temperatur unter der Umgebungstemperatur liegt.

Kälteisolierungen haben die Aufgabe, den Wärmeeintrag in das zu isolierende Objekt zu verringern, und die Bildung von Tauwasser auf der Oberfläche des Objektes zu verhindern oder im Dämmstoff zu mindern.

Die Wasserdampfdiffusion kann durch Verwendung von Dämmstoffen mit einem hohen Wasserdampfdiffusionswiderstand oder durch Aufbringen einer Dampfbremse auf der Oberfläche der Isolierung verringert werden.

Zur Verringerung von Luftströmungen sind geschlossenzellige Dämmstoffe zu verwenden. Deshalb sind als Kälte­dämmstoffe nur geschlossenzellige Dämmstoffe geeignet. Ist aus technischen Gründen die Verwendung von offenzelligen Dämmstoffen erforderlich, so sind besondere Maßnahmen zur Abdichtung der Isolierung nötig (VDI, 2013).

Tabelle 2: Kälte­dämmstoffe, Temperaturbereiche

Dämmstoff	Temperaturbereich (Richtwerte)	Nennwerte der Wärmeleitfähigkeit [W/mK] (Mitteltemperatur [°C])
Polyurethan-/Polysocyanurat-Hartschaum (PUR/PIR)	-180 °C bis +130 °C	0,022 (-50 °C) bis 0,026 (10 °C)
Polystyrol-Partikelschaum (EPS) und Extruderschaum (XPS)	-180 °C bis +80 °C	0,029 (-50 °C) bis 0,037 (10 °C)
Flexibler Elastomerschaum (FEF)	(-200 °C) -50 °C bis +110 °C	0,026 (-50 °C) bis 0,035 (10 °C)
Schaumglas (CG)	-265 °C bis +430 °C	0,031 (-50 °C) bis 0,046 (10 °C)

### **Polyurethan-/Polysocyanurat-Hartschaum (PUR/PIR)**

Eigenschaften:

Organische Dämmstoffe aus PUR/PIR-Hartschaum sind gemischtzellige Schaumstoffe. Der Anwendungstemperaturbereich beträgt minus 180 °C bis plus 130 °C.

Lieferformen:

PUR/PIR-Dämmung wird als Platten, Blöcke, Schalen und Formstücke geliefert. PUR-Dämmung wird auch als Sprühdämmung aufgebracht oder vor Ort gegossen.

Einsatzbereich:

Der Haupteinsatzbereich von PIR und PUR stellt die Dämmung von Rohren, Einbauteilen und Tanks dar, welche unter Umgebungstemperatur betrieben werden.



## **Polystyrol-Partikelschaum (EPS) und Extruderschaum (XPS)**

Eigenschaften:

EPS und XPS sind organische Dämmstoffe. Durch den Herstellungsprozess von EPS ist das Entstehen von Blasen im Dämmstoff möglich, was das Eindringen von Wasser ermöglichen kann. Der Richtwert für den Anwendungstemperaturbereich beträgt minus 180 °C bis plus 80 °C.

Lieferformen:

EPS- und XPS-Dämmung wird als Platten, Blöcke, Schalen und Formstücke geliefert.

Einsatzbereich:

Der Haupteinsatzbereich von XPS stellt die Dämmung von Rohren, Einbauteilen und Tanks dar, welche unter Umgebungstemperatur betrieben werden. Die Verwendung von EPS als Kälte­dämmung muss im Speziellen überprüft werden.

## **Flexibler Elastomerschaum/Polyethylenschaum (FEF/PEF)**

Eigenschaften:

Organische Dämmstoffe aus FEF und PEF sind geschlossenzellige Schaumkunststoffe. Der Richtwert für den Anwendungstemperaturbereich beträgt minus 50 °C bis plus 110 °C. Die untere Temperaturgrenze kann aber auch bis zu minus 200 °C betragen.

Lieferformen:

FEF- und PEF-Dämmstoffe werden als Platten und Schalen beziehungsweise Schläuche geliefert.

Einsatzbereich:

Dämmung von Rohren, Luftkanälen und Behältern (inkl. Rohrbogen, Armaturen, Flanschen) in Kälte- und Klimaanlageanlagen sowie verfahrenstechnischen Anlagen.

## **Schaumglas (CG)**

Eigenschaften:

Schaumglas ist ein anorganischer Dämmstoff der zum größten Teil aus Glas besteht. Die Anwendungsgrenztemperaturen betragen minus 265 °C bis plus 430 °C. Die niedrigere untere Anwendungsgrenztemperatur im Vergleich zu den übrigen Kälte­dämmstoffen ist möglich, weil Schaumstoff anorganisch ist.

Außerhalb der Temperaturspanne von minus 80 °C bis plus 120 °C darf es im Betrieb weder schockartig abgekühlt noch erhitzt werden.

Schaumglas ist wasser- und dampfdicht, hoch druckfest, säurebeständig und nicht brennbar.

Lieferformen:

CG-Dämmstoffe werden als Platten und Formstücken geliefert.

Einsatzbereich:

Aufgrund der Eigenschaften von Schaumglas wird es als Dämmstoff in Umgebungen verwendet, wo z. B. eine hohe Druckfestigkeit oder Säurebeständigkeit gefordert ist.

### **4.3 Elemente von Dämmsystemen**

Der Dämmstoff bildet zwar den wesentlichen Teil eines Dämmsystems, kann aber meistens nur in Kombination mit anderen Elementen die Dämmanforderungen erfüllen. Ein Dämmsystem setzt sich oft aus Dämmstoff und Ummantelung zusammen, und kann noch aus weiteren Elementen, wie Dampfbremse, Trag- und Stützkonstruktion, bestehen.

#### **4.3.1 Ummantelung**

Die Ummantelung ist ein mechanischer Schutz und/oder Witterungsschutz, der erforderlich ist, wenn Umgebungseinflüsse die Eigenschaften des Dämmstoffes oder die Funktion der Dampfbremse beeinträchtigen können. Bei Anlagen im Freien müssen sie den Dämmstoff zuverlässig gegen witterungsbedingtes Eindringen von Wasser schützen (DIN 4140). Außerdem kann eine Ummantelung aus optischen oder hygienischen Gründen vorgesehen werden. Eine Ummantelung kann wegfallen, wenn der Dämmstoff z. B. mit Aluminium beschichtet ist. Eine Ummantelung wird hier oft nur im Arbeitsbereich vorgenommen, wo Beschädigungen möglich sind.

Laut ÖNORM B 2260:2009 sind folgende Ummantelungen möglich:

- Bleche aus Aluminium oder Aluminiumlegierungen
- Verzinkte Stahlbleche
- Beschichtete Bleche

- Bleche aus nicht rostenden Stählen
- Hartkunststoff-Folien
- Bituminöse Dach- und Abdichtungsbahnen mit Rohpappeeinlage
- Bituminöse Dach- und Abdichtungsbahnen mit Glasvlieseinlage

### 4.3.2 Dampfbremse und Kälte­dämmstoffe

An Rohren oder Anlagen, deren Oberflächentemperatur geringer als die Umgebungstemperatur ist, kann Kondensat anfallen. Dies kann zu Korrosion führen, und im Fall einer aufgetragenen Dämmung kann diese durch das Wasser beschädigt werden. Aus diesem Grund muss an der äußeren Oberfläche der Dämmschicht von Kälteanlagen eine Dampfbremse angebracht werden, die ein Diffundieren von Feuchtigkeit behindert, wenn der Dämmstoff den Anforderungen nicht genüge wird.

Nach der DIN 4140 müssen dampfbremsende Schichten bei einer definierten Dicke eine wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke  $s_d = \mu * s = 1500$  m aufweisen.

Dampfbremsen (und Dämmstoffe) laut ÖNORM B 2260:2009 sind in nachfolgender Tabelle zu sehen.

Tabelle 3: Dampfdiffusionsbremsen

Materialien und Dämmstoffe	Anforderungen	Dicke in mm	$s_d$ in m	$\mu$
Aluminiumfolie	DIN 17611	0,018 bis 0,04	80 bis 100	Nicht angegeben
Elastomer-Schaumstoff	ÖNORM EN 14304	Nicht angegeben	Nicht angegeben	5.000 bis 10.000
Polyethylen-Schaumstoff	ÖNORM EN 14313	Nicht angegeben	Nicht angegeben	1.000 bis 7.000
Schaumglas (ohne Fugen)	CG-D gemäß ÖNORM B 6000	Nicht angegeben	Nicht angegeben	Nicht angegeben

Quelle: ÖNORM B 2260:2009

- $s_d$  wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke in m ( $s_d = \mu * s$ )  
 $\mu$  Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl  
 $s$  Sperrschichtdicke in m

### **4.3.3 Stützkonstruktion**

Stützkonstruktionen halten die Ummantelung der Dämmung im vorgegebenen Abstand vom Objekt, wenn der Dämmstoff diese Aufgabe nicht übernehmen kann. Dies ist notwendig, wenn die Rohdichte des Dämmstoffs zu gering ist oder bei Anlagen mit besonderen Betriebsbedingungen, z. B. starker Vibration. Im Allgemeinen werden Stützkonstruktionen aus Metall hergestellt und stellen somit Wärmebrücken dar, die im jeweiligen Bereich erhöhte Temperaturen (Hotspots) an der Ummantelung bewirken (DIN 4140, Rockwool, o. J.).

### **4.3.4 Tragkonstruktion**

Tragkonstruktionen übertragen die Eigenlast des Dämmsystems und die auf das Dämmsystem einwirkende Kräfte auf das Objekt. Bei vertikal verlegten Rohrleitungen mit einer Höhe von mehr als vier Metern müssen Tragkonstruktionen aufgebracht werden (DIN 4140, Rockwool, o.J.).

### **4.3.5 Befestigung**

Mineralwolle-Formstücke wie Platten, Schalen und Segmente müssen mit Spannbändern, Schweißstiften oder mit einer Konstruktion aus Gewindestangen und U-Profilen mechanisch befestigt sein. Eine Befestigung mit Draht ist nicht zulässig.

Bei der Kälte­dämmung aus weichem Schaumstoff müssen bei Rohren sämtliche Längs- und Quer­stöße verklebt sein (ÖNORM B 2260).

## **4.4 Dämmsysteme für betriebstechnische Anlagen**

### **4.4.1 Systeme zur Wärmedämmung**

Der bei weitem gebräuchlichste Wärmedämmstoff für industrielle Anlagen ist Mineralwolle. Aus diesem Grund wird auf ihre praktische Anwendung im Speziellen eingegangen.

## **Rohrleitungen**

Rohrleitungen werden überwiegend entweder mit Rohrschalen beziehungsweise Formstücken oder mit Matten gedämmt.

## **Rohrschalen**

Rohrschalen erzielen eine bessere Dämmwirkung als Matten und verfügen über eine ausreichende Festigkeit, um im Allgemeinen ohne zusätzliche Stützkonstruktion auszukommen. Bei höheren Temperaturen ist ein Einsatz von Stützkonstruktionen zu prüfen, da sich die Bindemittel verflüchtigen. Diese Temperatur ist abhängig von der Art des Dämmstoffs (organisch oder anorganisch).

Rohrschalen werden immer passgenau auf den entsprechenden Rohrdurchmesser hergestellt, damit Konvektionsgefahr und Verarbeitungsfehler – z. B. bei einem zu kurzen Zuschnitt von Matten – minimiert werden (Rockwool, o.J.).

## **Druckfeste Lamellenmatten**

Druckfeste Lamellenmatten haben ihren bevorzugten Anwendungsbereich bei Rohrleitungen ab DN 250 und Rohrleitungstemperaturen bis circa 300 °C und benötigen im Allgemeinen keine Stützkonstruktion.

Druckfeste Lamellenmatten werden vor Ort auf die entsprechende Länge (äußeren Dämmdurchmesser beachten!) zugeschnitten und mit Spannbändern befestigt (Rockwool, o.J.).

## **Drahtnetzmatten**

Drahtnetzmatten sind auf Grund ihrer Flexibilität vielfältig einsetzbar und sehr temperaturbeständig. Sie werden häufig bei Rohrleitungen mit einem hohen Anteil von Formteilen wie Bögen oder T-Stücken verwendet. Drahtnetzmatten verfügen jedoch nur über relativ geringe Druckfestigkeiten und können daher nur in Verbindung mit Stützkonstruktionen montiert werden.

Im unteren Temperaturbereich (bis circa 300 °C) lassen sich mit Rohrschalen und druckfesten Lamellenmatten oft wärmetechnisch bessere Ergebnisse erzielen.

Trittfeste Dämmsysteme erfordern eine Dämmung mit hoher mechanischer Festigkeit. Daher ist die Anwendung von Rohrschalen oder druckfesten Lamellenmatten zu empfehlen. Bei Drahtnetzmatte (oder ähnlichen nicht druckfesten Dämmmaterialien) liegt die Ummantelung nur auf Stützkonstruktionen auf und verbeult bei Begehung (Rockwool, o.J.).

### **Einbauteile**

Grundsätzlich sind Einbauteile mit der gleichen Dämmdicke zu versehen wie die durchgehenden Rohrleitungen. Zu ihnen zählen Rohrabschlüsse, Wellkompensatoren, Armaturen, und Flansche. Die Dämmung des Einbauteils und der angeschlossenen Rohrleitungen muss so realisiert werden, dass ein Austausch dieses Teils möglich ist, ohne die Rohrdämmung beeinflussen zu müssen.

Armaturen und Flansche können mit Formstücken beziehungsweise Boxen ähnlich wie Rohrschalen gedämmt werden. Für Armaturen gibt es zusätzlich vorgefertigte Ummantelungen.

Bei der Dämmung von Wellkompensatoren muss ein Gleitblech angebracht werden, damit die Funktion des Kompensators nicht behindert wird.

### **Behälter und Kessel**

In erster Linie werden Dämmplatten oder druckfeste Lamellenmatten für die Dämmung von Behältern verwendet. Meistens ist an Behältern der Einsatz von Tragkonstruktionen beziehungsweise Stützkonstruktionen erforderlich. Es wird zwischen der Dämmung des Dachs (bei stehenden Behältern) und der Wand unterschieden.

Bei Flammrohr- oder Rauchrohrkesseln hat sich der Einsatz von druckfesten Lamellenmatten bewährt.

## **4.4.2 Systeme zur Kälte­dämmung**

Hier wird im Speziellen auf die Dämmung mit Schaumkunststoffen eingegangen.

## **Rohrleitungen**

Hauptsächlich werden Rohrleitungen unter Umgebungstemperatur mit Rohrschalen beziehungsweise Schläuchen gedämmt. Der geschlitzte Schlauch und die Stoßflächen müssen verklebt werden. Für Rohrleitungen mit großem Durchmesser müssen Platten verwendet werden.

## **Einbauteile**

Auch bei der Kälte­dämmung sind die Einbauteile mit der gleichen Dämmdicke zu versehen wie die durchgehenden Rohrleitungen. Platten aus Schaumkunststoff können so zugeschnitten werden, dass damit die Dämmung von Einbauteilen möglich ist. Zusätzlich existieren wie bei der Wärmedämmung auch vorgefertigte Ummantelungen.

## **Behälter**

Behälter werden mit Platten gedämmt. Je nach Durchmesser können sie entweder wie ein Rohr mit einer Platte umwickelt werden, oder müssen mit zugeschnittenen kleineren Dämmplatten versehen werden. Dabei ist auf das Versetzen der Stoßkanten zu achten.

## **4.5 Anforderungen an die Ausführung von Dämmarbeiten nach DIN 4140**

Die Anforderungen an die Ausführung von Dämmarbeiten nach DIN 4140 geben auch eine gute Richtschnur zur Feststellung von Verbesserungsmöglichkeiten in bestehenden Anlagen während eines Energieaudits und werden daher in diesem Kapitel näher behandelt. Allerdings ist dieses Regelwerk in Österreich NICHT verbindlich! Daher werden auch einige Punkte aus dieser Norm nicht angeführt.

### **4.5.1 Allgemeines**

Wärmebrücken sind auf ein vertretbares Minimum zu beschränken. Die Dämmstoffe sind fugendicht zu verlegen und zu befestigen. Bei mehrlagiger Ausführung sind die Fugen zu versetzen (DIN 4140).

## 4.5.2 Verminderung von Konvektion

Einen wirksamen Schutz gegen Wärmetransport durch Konvektion stellen die folgenden Maßnahmen dar:

- Anbringen des Dämmstoffes ohne Spalt unmittelbar an der Objektwand
- Luftundurchlässige Folie auf der kalten Seite des Dämmstoffes
- Verwendung von Dämmstoffen mit einem längenbezogenen Strömungswiderstand  $> 50 \text{ kPa}\cdot\text{s}/\text{m}^2$
- Waagrechte Abschottungen zwischen Objektwand und Ummantelung bei langen, vertikalen Rohren (DIN 4140)

## 4.5.3 Schutz gegen Durchfeuchten

Feuchte im Dämmstoff hat folgende unerwünschte Auswirkungen:

- Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit
- Erhöhung der Korrosionsgefahr
- Stoffliche Veränderung (Beschädigung) von Dämmstoffen
- Schutz gegen Oberflächenwasser

Bei der Ausführung der Ummantelung an Anlagen im Freien sind folgende Montagehinweise zu beachten:

- Dachziegelartiges Überlappen der einzelnen Ummantelungsbleche
- Einlage von zusätzlichem Dichtmittel, falls Wasser trotz der Überlappung der Ummantelungsbleche in die Anlage eindringen kann
- Dachbleche von Tanks, Kanälen und Behältern sind durch Versteifungsabkantungen oder durch einen Stehfalz mit U-Schiene zu verstärken.
- Bei waagrechten Flächen mit Anlagenteilen muss die Ummantelung ein Mindestgefälle von 3 % aufweisen.



#### **4.5.4 Ableitung von Kondensat aus den Ummantelungen von Objekten im Freien**

Die Gefahr einer Wasseranreicherung im Dämmstoff ist bei Wärmedämmungen mit luftdurchlässigen Dämmstoffen an Objekten in Freianlagen sehr groß, wenn der Strahlungsaustausch mit dem Weltraum nicht beispielsweise durch Überdachung, verhindert wird. Die Ummantelung darf dann keine Berührung mit dem Dämmstoff haben, sondern muss mittels Abstandshaltern oder Noppenfolien auf Abstand gehalten werden. Eine oberseitige Abdeckung kann erforderlich sein, um zu verhindern, dass an der Ummantelung entstehendes Kondensat in den Dämmstoff tropft (DIN 4140).

Anmerkung: In der DIN 4140 werden zur Ableitung von Wasser bei Rohrleitungen und Behältern am tiefsten Punkt der Ummantelung Entwässerungsbohrungen beziehungsweise Belüftungsbohrungen erwähnt. Dies ist nicht empfehlenswert (Experteninterview)!

Wichtig ist die Vermeidung von möglicher Kontaktkorrosion (durch elektrisches Potenzial zwischen Drahtnetz und Rohr).

#### **4.5.5 Beachtung thermischer Längenänderungen – Dehnfugen**

Die Materialien des gedämmten Objektes und des Dämmsystems können unterschiedliche Ausdehnungskoeffizienten aufweisen und es können große Temperaturunterschiede zwischen dem Objekt und den äußeren Teilen des Dämmsystems herrschen. Überschreiten die dadurch auftretenden Kräfte die zulässigen Materialspannungen, sind Dehnfugen vorzusehen (DIN 4140).

#### **4.5.6 Berührungsschutz**

Im Verkehrsbereich darf die Oberfläche der Dämmung nicht zu Verbrennungen führen.

Die Oberflächentemperatur kann mit dämmtechnischen Maßnahmen in vielen Fällen nicht in einem Bereich gehalten werden, der beim Berühren Verletzungsgefahr ausschließen würde (Wärmebrücken; zusätzliche Einflüsse: Konvektion, Fremdstrahlung, alterungsabhängiger Emissionsgrad der metallenen Oberfläche).

Die Verletzungsgefahr geht nicht von einer mittleren Oberflächentemperatur aus, sondern von lokalen Spitzenwerten. Es kann also unwirtschaftlich sein, mit dämmtechnischen Maßnahmen überall eine berührungssichere Oberflächentemperatur einzuhalten. Es sind daher gegebenenfalls Sicherungsmaßnahmen gegen unbeabsichtigtes Berühren zu treffen, z. B. als Berührungsschutz montierte Lochbleche (DIN 4140).

#### **4.5.7 Korrosionsschutz**

Dämmungen stellen keinen alleinigen Korrosionsschutz für Anlagenteile dar. Sie schaffen aber für gedämmte metallene Oberflächen andere Korrosionsbedingungen.

Der Korrosionsschutz muss mit den Kleb- und Dämmstoffen des Dämmsystems abgestimmt sein.

Wenn sich Metalle unterschiedlichen elektrochemischen Potentials berühren, besteht die Gefahr der Kontaktkorrosion. Gegebenenfalls ist eine isolierende Zwischenschicht, z. B. ein Kunststoffband, einzubauen. Kontaktkorrosion wird durch die Gegenwart von Feuchte ermöglicht. Der Zutritt der Feuchte zu Kontaktstellen kann auch durch geeignete Beschichtungen unterbunden werden (DIN 4140).

## **4.6 Oberflächentemperatur und Energieverlust**

Ist die Temperatur des Prozessmediums höher als die der Umgebung, geht Energie aufgrund dieser Differenz verloren. Dieser Energieverlust kann mit einer Wärmedämmung reduziert werden. An deren Oberfläche stellt sich eine Temperatur ein, die aber nicht nur von dem Wärmedurchgang vom Prozessmedium an die Umgebung bestimmt wird, sondern auch von anderen Wärmeübertragungsmechanismen abhängt. Die Oberflächentemperatur ist alleine also kein aussagekräftiger Parameter um einen Wärmeverlust zu bestimmen.

Diese Thematik wird besonders im BFA WKS B Technischen Brief Nummer 5 behandelt. Anhand eines Beispiels wird dort die Problematik verdeutlicht. Als Beispielobjekt dient eine Rohrleitung mit DN 200 und einer Ummantelung aus Aluminiumblech. Die Mediumstemperatur beträgt 530 °C bei einer Isolationsdicke von 240 mm.

Tabelle 4: Einfluss der Windgeschwindigkeit auf Oberflächentemperatur

Faktoren	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Windgeschwindigkeit [m/s]	0,00	0,00	5,00	5,00
Emissionsgrad der Ummantelung [-]	0,09	0,44	0,09	0,44
Wärmestromdichte [W/m <sup>2</sup> ]	113,70	114,30	115,40	115,40
Mittlere Oberflächentemperatur [°C]	37,30	29,80	16,20	15,70

Quelle: BFA WKSb, 2015

**Szenario 1** ist dabei das Ausgangsszenario. Im **Szenario 2** wird der Emissionsgrad der Ummantelung erhöht, wobei sich die Oberflächentemperatur um circa 20 % verringert, sich die Wärmestromdichte aber geringfügig erhöht. Zur Verdeutlichung entspricht ein Emissionsgrad von 0,44 angestaubten verzinkten Stahl.

Im **Szenario 3** wird eine Windgeschwindigkeit angenommen. Hier verringert sich die Oberflächentemperatur deutlich um circa 57 % wobei die Wärmestromdichte aber um 1,5 % steigt. **Szenario 2** und **Szenario 3** werden in **Szenario 4** zusammengeführt. Eine Windgeschwindigkeit von 5 Metern pro Sekunde ist laut Beaufortskala eine „schwache Brise“, bei der Blätter und dünne Zweige sich bewegen und Wimpel gestreckt werden.

Es ist zu erkennen, dass die Oberflächentemperatur um ein Vielfaches stärker von den beiden Parametern Windgeschwindigkeit und Emissionsgrad beeinflusst wird als die Wärmestromdichte. Im Fall einer Wärmedämmung lässt eine niedrigere Oberflächentemperatur alleine also keinen Schluss auf eine bessere Dämmung zu. Umgekehrt kann dieses sogar zu einem höheren Energieverlust führen.

# 5 Wärmeverlustberechnung und Wirtschaftlichkeit

Dieses Kapitel enthält zunächst die wichtigsten Parameter zur Durchführung einer Wärmeverlustberechnung, im Anschluss daran werden unterschiedliche Methoden zur Berechnung des Wärmedurchgangs durch ein Rohr und eine Wand vorgestellt. Um eine genaue, normgerechte Berechnung durchzuführen wird auf die VDI 2055 Blatt 1 verwiesen. Eine Alternative hierzu stellt die ÖNORM EN ISO 12241 dar.

## 5.1 Parameter zur Wärmeverlustberechnung

Der wichtigste Kennwert zur Berechnung des Wärmeverlusts von ungedämmten Oberflächen ist die Differenz zwischen Oberflächen- und Lufttemperatur.

Formel 5: Differenz zwischen Oberflächen- und Lufttemperatur

$$\Delta\vartheta = \vartheta_0 - \vartheta_L$$

Für Wasser und Satttdampf beträgt der innere Wärmeübergangskoeffizient über  $1.200 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Daher rechnet man mit Mediumstemperatur gleich Oberflächentemperatur (Wossog, 2002).

Weiters wird der Außendurchmesser und der Emissionsfaktor der Rohr- beziehungsweise Bauteiloberflächen benötigt. Die Rohrdurchmesser können in Österreich der ÖNORM H 5155 entnommen werden.

Folgende Tabellen geben Beispiele für häufig vorkommende Werte, z. B. für Dampfleitungen in der Industrie.

Tabelle 5: Außendurchmesser und Oberfläche von Stahlrohren in Normalwanddicke von Dampfleitungen

DN	Außendurchmesser [da] [mm]	Innendurchmesser [da] [mm]	Wandstärke [mm]	Oberflächen Außen [m <sup>2</sup> /m]
10	17,2	10	1,8	0,054
15	21,3	15	2,0	0,067
20	26,9	20	2,3	0,085
25	33,7	25	2,6	0,106
32	42,4	32	2,6	0,133
40	48,3	40	2,6	0,152
50	60,3	50	2,9	0,190
65	76,1	65	2,9	0,260
80	88,9	80	3,2	0,280
100	114,3	100	3,6	0,360
125	139,7	125	4,0	0,440
150	168,3	150	4,5	0,530
200	219,1	200	6,3	0,690
250	273,0	250	6,3	0,860

Quelle: Spirax Sarco, 2007

Tabelle 6: Außendurchmesser und Oberfläche von Kupferrohren

Außendurchmesser [da] [mm]	Innendurchmesser [da] [mm]	Wandstärke [mm]	Oberflächen Außen (m <sup>2</sup> /m)
10	8,0	1,0	0,031
12	10,0	1,0	0,038
15	13,0	1,0	0,047
18	16,0	1,0	0,057
22	20,0	1,0	0,069
28	25,0	1,5	0,088

Außendurchmesser [da] [mm]	Innendurchmesser [da] [mm]	Wandstärke [mm]	Oberflächen Außen (m <sup>2</sup> /m)
35	32,0	1,5	0,110
42	39,0	1,5	0,132
54	50,0	2,0	0,170
64	60,0	2,0	0,201
76,1	72,1	2,0	0,239
88,9	84,9	2,0	0,279
108	103,0	2,5	0,339

Quelle: Sikla

Tabelle 7: Emissionsgrade  $\epsilon$  verschiedener Oberflächen von Dämmsystemen

Oberflächen von Dämmsystemen	Emissionsgrad
Aluminiumfolie, blank	0,05
Aluminium, walzblank	0,05
Aluminium, oxidiert	0,13 (höher), zu hoch
Stahl, verzinkt, blank	0,26
Stahl, verzinkt, angestaubt	0,44
Stahl, nichtrostend, austenitisch	0,15 (höher)
Alu-Zink, glatt	0,16
Alu-Zink, glatt, leicht oxidiert	0,18
Blech, farbbeschichtet	0,90
Schaumglas	0,90
Elastomerschaumstoff	0,93
Kunststoffummantelung	0,90

Bei Temperaturen zwischen 0 und 200 °C

Quelle: Auszug aus VDI 2055-1

## 5.2 Weitere Technische Parameter

Nachfolgend sind die wichtigsten notwendigen Parameter für eine vollständige Berechnung des Wärmeverlusts angeführt. Dabei wird zwischen gegebenen und zu berechnenden Parameter unterschieden. Die Oberflächentemperatur für gedämmte Rohre und Bauteile stellt dabei eine Besonderheit dar, da mit dieser iteriert wird, und somit zuerst angenommen werden muss.

### 5.2.1 Gegebene Parameter – Umgebung, Medium, Rohr

Tabelle 8: Beispiel Tabelle

Parameter	Variable	Einheit
Stefan Boltzmann-Konstante	$\sigma$	$5,67 \cdot 10^{-8}, \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$

Tabelle 9: Beispiel Tabelle

Umgebung	Variable	Einheit
Lufttemperatur	$\vartheta_L$	$^{\circ}\text{C}$
Windgeschwindigkeit	$w$	$\text{m}/\text{s}$

Tabelle 10: Gegebene Parameter - Medium

Medium	Variable	Einheit
Mediumtemperatur	$\vartheta_M$	$^{\circ}\text{C}$
(Wärmeübergangskoeffizient Medium)	$\alpha_i$	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Tabelle 11: Gegebene Parameter - Anlagenteil

Anlagenteil	Variable	Einheit
Oberflächentemperatur	$\vartheta_0$	°C
Emissionsgrad	$\varepsilon$	Keine Angabe
Wärmeleitfähigkeit Dämmschicht j	$\lambda_j$	W/(m*K)

Tabelle 12: Gegebene Parameter - Rohr

Rohr	Variable	Einheit
Innendurchmesser Rohr	$d_i$	m
Außendurchmesser Dämmung	$d_a$	m
Durchmesser Dämmschicht j	$d_i$	m

Tabelle 13: Gegebene Parameter - Wand

Wand	Variable	Einheit
Dicke Dämmschicht j	$s_j$	m

## 5.2.2 Zu berechnende Parameter - Zwischenergebnisse und Ergebnisse

Tabelle 14: Zu berechnende Parameter - Zwischenergebnisse

Zwischenergebnisse	Variable	Einheit
Wärmeübergangskoeffizient außen	$\alpha_a$	W/(m <sup>2</sup> *K)
Wärmeübergangskoeffizient freie Konvektion	$\alpha_{k, frei}$	W/(m <sup>2</sup> *K)
Wärmeübergangskoeffizient erzwungene Konvektion	$\alpha_{k, erz}$	W/(m <sup>2</sup> *K)
Wärmeübergangskoeffizient Strahlung	$\alpha_r$	W/(m <sup>2</sup> *K)



Zwischenergebnisse	Variable	Einheit
Strahlungskoeffizient	$C_{12}$	$W/(m^2 \cdot K^4)$

Tabelle 15: Zu berechnende Parameter - Rohr

Rohr	Variable	Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient Rohr	$k_{1,R}$	$W/(m \cdot K)$
Wärmedurchlasswiderstand Rohr	$R_{1,R}$	$m \cdot K/W$

Tabelle 16: Zu berechnende Parameter - Wand

Wand	Variable	Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient Wand	$k_P$	$W/(m \cdot K)$
Wärmedurchlasswiderstand Wand	$R_P$	$TD \ m^2 \cdot K/W$

Tabelle 17: Zu berechnende Parameter - Ergebnisse

Wand	Variable	Einheit
Wärmedurchgang Rohr	$q_R$	$W/m$
Wärmedurchgang Wand	$q_P$	$W/m$
Oberflächentemperatur	$\vartheta_O$	$^\circ C$

### 5.3 Wärmeverlustberechnung

Im Folgenden sind Beispiele zur Berechnung von Wärmeverlusten angeführt, die sich unter anderem im Detaillierungsgrad und in der Anwendbarkeit unterscheiden.

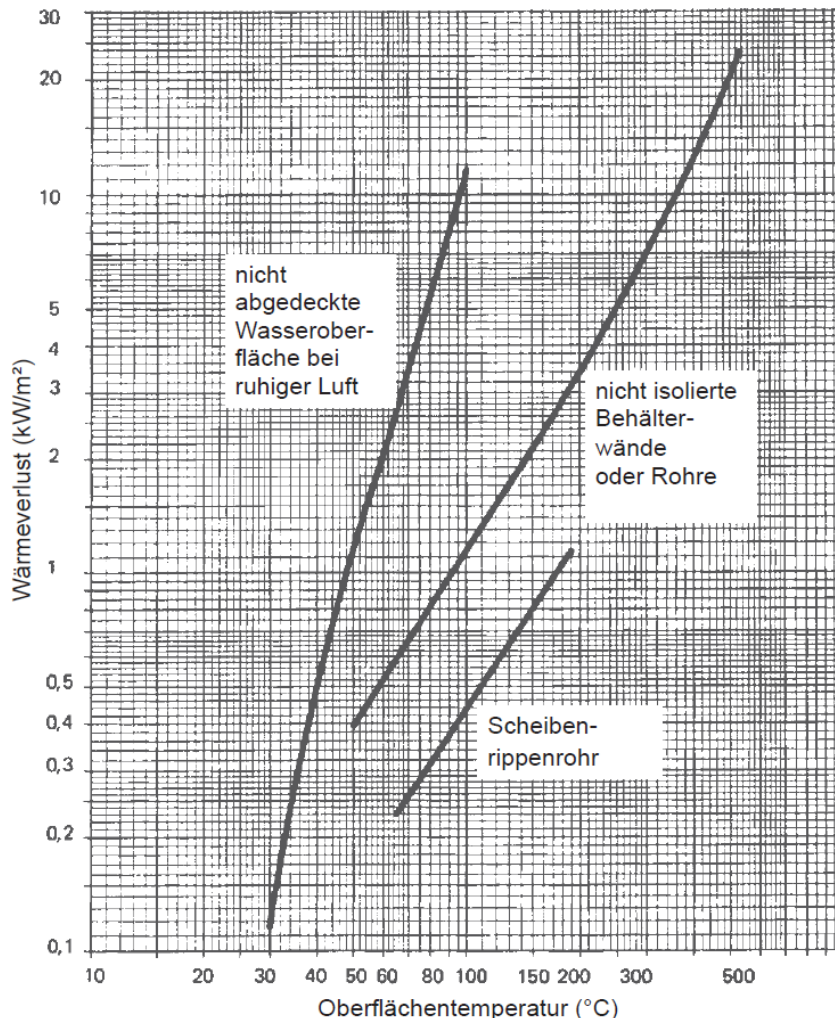
Tabelle 18: Berechnung von Wärmeverlusten

Berechnungsart	Quelle	Anwendbarkeit	Detaillierungsgrad
Überschlägige Berechnung mit Grafik	Spirax Sarco	Umgebung: Räume, 20 °C Rohre, Behälter, Wasseroberfläche Großer Temperaturbereich (50 °C bis circa 500 °C)	Keine Unterscheidung waagrechtes, senkrechtes Rohr
Vereinfachte Formel	VDI 2055	Rohre, Wände: Temperaturdifferenz zwischen Oberfläche und Luft unter 60 K	Je nach Rahmenbedingungen
„Komplexere“ Formeln	VDI 2055	Rohre, Wände	Je nach Rahmenbedingungen und deren Berücksichtigung
Software (Unabhängig, Hersteller)	Diverse	Viele Anwendungsgebiete	Unterschiedlicher Detaillierungsgrad möglich

### 5.3.1 Überschlägige Berechnung mit Grafik

Für die folgende Vorgangsweise benötigt man nur die Fläche und Oberflächentemperatur des abstrahlenden Bauteils oder Rohrs beziehungsweise einer nicht abgedeckten Wasseroberfläche. Randbedingung ist, dass die Berechnung nur innerhalb von Räumen mit Umgebungstemperatur von 20 °C gilt. Zu beachten ist, dass die Wärmestromdichte (auch für Rohre) in kW/m<sup>2</sup> angegeben ist. In vielen anderen Grafiken wird die Wärmestromdichte in W/m für Rohre und W/m<sup>2</sup> für Flächen angeführt.

Abbildung 1: Wärmeverluste für Oberflächen bei Umgebungstemperatur von 20 °C



Quelle: Spirax Sarco, 2007, Seite 17

Beispiel zur Berechnung:

Nicht isolierte Kondensatleitung im Innenraum mit

- Oberflächentemperatur: 100 °C
- Länge: 50 m, Dimension: DN 100

Bestimmung der Fläche, laut Tabelle „Außendurchmesser und Oberfläche von Stahlrohren“ Rohroberfläche pro m Rohr: 0,36m<sup>2</sup>/m. Wärmeverlust laut Grafik bei 100 °C: 1,1 kW/m<sup>2</sup>

A:  $0,36\text{m}^2/\text{m} \cdot 50\text{ m} = 18\text{ m}^2$

Wärmeverlust daher:  $1,1\text{ kW}/\text{m}^2 \cdot 18\text{ m}^2 = 19,8\text{ kW}$

### 5.3.2 Vereinfachte Formel zur Berechnung Wärmeverlust Rohre und Wände

Die allgemeine Formel zur Berechnung der Wärmestromdichte (Wärmeverlust pro Fläche) lautet

Formel 6: Wärmestromdichte

$$q = \alpha_a * (\vartheta_O - \vartheta_L) \text{ in W/m}^2$$

Wenn umliegende Flächen und die Luft annähernd dieselbe Temperatur besitzen, kann die Wärmestromdichte mit Hilfe eines Gesamtwärmeübergangskoeffizienten  $\alpha_a$  berechnet werden:

Für folgende Randbedingungen schlägt die VDI 2055 Näherungsgleichungen für den Gesamtwärmeübergangskoeffizienten  $\alpha_k$  bei freier Konvektion vor.

Formel 7: Näherungsgleichungen

$$\vartheta_M = 0,5 * (\vartheta_O - \vartheta_L) \approx 40\text{ °C}$$

$$\Delta\vartheta = \vartheta_O - \vartheta_L \leq 60\text{ K}$$

Gesamtwärmeübergangskoeffizient:

Waagrechtes Rohr

Formel 8: Gesamtwärme­koeffizient Waagrechtes Rohr

$$\alpha_a = A + 0,05 * \Delta\vartheta \text{ [W/(m}^2\text{*K)]}$$

Senkrecht­es Rohr/senkrecht­e Wand

Formel 9: Gesamtwärme­koeffizient senkrecht­es Rohr oder senkrecht­e Wand

$$\alpha_a = B + 0,09 * \Delta\vartheta \text{ [W/(m}^2\text{*K)]}$$

Tabelle 19: Anhaltswerte für A und B bei verschiedenen Mineraloberflächen

Oberfläche	A: Waagrechtes Rohr	B: Senkrecht­es Rohr oder Senkrecht­e Wand
Aluminium, walzblank	2,5	1,7
Aluminium, oxidiert	3,1	3,3
Verzinktes Blech, blank	4,0	4,2
Verzinktes Blech, angestaubt	5,3	5,5
Austenitischer Stahl	3,2	3,4
Alu-Zink Blech	3,4	3,6

Beispiel zur Berechnung:

Waagrechtes Rohr mit

- Oberflächentemperatur  $\vartheta_0$ : 80 °C
- Länge: 50 m, Dimension: DN 50
- Material: austenitischer Stahl
- Umgebungstemperatur  $\vartheta_L$ : 20 °C

Oberfläche pro m für DN 50: 0,19 m<sup>2</sup>/m (aus Tabelle siehe oben)

Formel 10: Beispiel zur Berechnung

$$\alpha_a = A + 0,05 * \Delta\vartheta$$

$$\alpha_a = 3,2 + 0,05 * 60 = 6,2 \text{ in } [\text{W}/(\text{m}^2 * \text{K})]$$

$$q = \alpha_a * (\vartheta_O - \vartheta_L) \text{ in } \text{W}/\text{m}^2$$

$$q = 6,2 * 60 = 372 \text{ W}/\text{m}^2$$

$$Q = 372 \text{ W}/\text{m}^2 * 0,19 \text{ m}^2/\text{m} * 50 \text{ m} = 3.534 \text{ W}$$

### 5.3.3 Wärmeverlustberechnung nach VDI 2055

**Wärmestrom** - Der Wärmestrom (Wärmestromdichte) und damit der Wärmeverlust je Meter Rohrlänge beziehungsweise pro Fläche beträgt:

Formel 11: Wärmeverlustberechnung

$$\text{Rohr: } q = \pi * d_a * \alpha_a * (\vartheta_O - \vartheta_L) \text{ in } \text{W}/\text{m}$$

$$\text{Wand: } q = \alpha_a * (\vartheta_O - \vartheta_L) \text{ in } \text{W}/\text{m}^2$$

$$\Delta\vartheta = \vartheta_O - \vartheta_L$$

Die von der Oberfläche eines Körpers an die Umgebung übertragene oder von der Umgebung aufgenommene Wärme setzt sich aus dem Konvektions- und dem Strahlungsanteil zusammen, der Gesamtwärmeübergangskoeffizient beträgt daher

Formel 12: Gesamtwärmeübergangskoeffizient

$$\alpha_a = \alpha_k + \alpha_r$$

Formel 13: Strahlungsanteil

$$\alpha_r = 4 * \varepsilon * \sigma * (0,5 * (\vartheta_O + \vartheta_L) + 273,15)^3 \text{ in } [\text{W}/\text{m}^2\text{K}] \text{ (VDI 2055, FmE, 2012)}$$

Emissionsfaktoren für die unterschiedlichen Oberflächen befinden sich im Anhang. Der Wert für die Boltzmannkonstante ( $\sigma$ ) beträgt:  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ .

Für den Wärmeübergang durch **Konvektion** zwischen Oberfläche und Umgebungsluft werden **alternativ folgende Näherungsformeln** verwendet, die im folgenden Bereich gelten:

$$-20^\circ\text{C} \leq 0,5 \cdot (\vartheta_0 + \vartheta_L) \leq 60^\circ\text{C}$$

**Freie Konvektion** - Für Innenräume (Windstille) gelten für ein **waagrechtes Rohr** bei laminarer oder turbulenter Luftströmung und für ein **senkrecht Roh**r oder eine Wand folgende Formeln:

Formel 14: Konvektiver Wärmeübergangskoeffizient

- laminarer Luftströmung (wenn  $d_a^3 \cdot \Delta\vartheta \leq 1 \text{ m}^3 \cdot \text{K}$ ):  $\alpha_{k, frei} = 1,22 \cdot \sqrt[4]{\frac{\Delta\vartheta}{d_a}} \text{ [W/m}^2\text{K]}$

z.B. DN 125 Rohr, mit Temperaturdifferenz 380 K, ergibt  $1,03 \text{ m}^3 \cdot \text{K}$ , unter diesen Werten also laminar

- sonst bei turbulenter Luftströmung:  $\alpha_{k, frei} = 1,21 \cdot \sqrt[3]{\Delta\vartheta} \text{ [W/m}^2\text{K]}$

Für ein senkrecht Roh

r oder Wand gilt:  $\alpha_{k, frei} = 1,74 \cdot \sqrt[3]{\Delta\vartheta} \text{ [W/m}^2\text{K]}$ 

**Erzwungene Konvektion** - Muss mit freier Konvektion kombiniert werden, siehe Überlagerung Formel 17. Die Formeln sind unterteilt in laminare und turbulente Luftströmung.

Formel 15: Erzwungene Konvektion für ein querangeströmtes Rohr

Für ein **querangeströmtes Rohr** gilt bei

- laminarer Luftströmung wenn  $(d_a \cdot w \leq 8,55 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s})$ :  $\alpha_{k, erz} = \frac{8,1 \cdot 10^{-3}}{d_a} + 3,14 \cdot \sqrt{\frac{w}{d_a}} \text{ [W/m}^2\text{K]}$
- sonst gilt bei turbulenter Luftströmung:  $\alpha_{k, erz} = 2 \cdot w + 3 \cdot \sqrt{\frac{w}{d_a}} \text{ [W/m}^2\text{K]}$

Quelle: Wossog, 2002, VDI 2055

Formel 16: Erzwungene Konvektion für eine längsangeströmte Platte

Für eine **längsangeströmte Platte** gilt bei

- laminarer Luftströmung wenn  $l * w \leq 8 \text{ m}^2/\text{s}$ :  $\alpha_{k,erz} = 3,9 * \sqrt{\frac{w}{l}}$
- sonst bei turbulenter Luftströmung:  $\alpha_{k,erz} = \frac{11}{l} + 5,8 * \frac{l*w-8}{l*w} * \sqrt[5]{\frac{w^4}{l}}$

**Überlagerung von freier und erzwungener Konvektion** - Herrscht zusätzlich zur freien Konvektion eine erzwungene, so kann (muss) die Überlagerung wie folgt berechnet werden:

Formel 17: Überlagerung von freier und erzwungener Konvektion

$$\alpha_K = \sqrt[4]{\alpha_{k,frei}^4 + \alpha_{k,erz}^4}$$

In der Literatur wird noch folgende vereinfachte Formel für **gedämmte** und **ungedämmte Rohre** angeführt:

Formel 18: Vereinfacht Formel für gedämmte und ungedämmte Rohre

$$q_R = \frac{\pi * (\vartheta_M - \vartheta_L)}{\frac{1}{2 * \lambda} * \ln \frac{d_a}{d_i} + \frac{1}{\alpha_a * d_a}} \text{ [W/m]}$$

Quelle: Wossog, 2002

Wärmeleitfähigkeit Kupfer ( $\lambda$ ): 380 W/mK

Wärmeleitfähigkeit Stahl ( $\lambda$ ): 50 W/mK

Quelle: [schweizer-fn.de/stoff/wleit\\_metall/wleit\\_metall.php](http://schweizer-fn.de/stoff/wleit_metall/wleit_metall.php)



### 5.3.4 Berechnung Wärmeverlust bei gedämmten Materialien

Der Wärmedurchgang beziehungsweise der Wärmeverlust  $q$  ist abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen Medium und Umgebung ( $\vartheta_M - \vartheta_L$ ) und dem Wärmedurchgangskoeffizienten ( $k$ ).

Formel 19: Wärmeverlust bei gedämmten Materialien

$$q = k * (\vartheta_M - \vartheta_L) \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Der Wärmedurchgangskoeffizient wird je nach Anlagenteil berechnet.

### 5.3.5 Wärmedurchgangskoeffizient eines Rohrs und Wand

Der Wärmedurchgangskoeffizient setzt sich aus drei Parametern zusammen.

Formel 20: Wärmeübergangskoeffizienten für Rohre beziehungsweise für eine Wand

$$\text{Rohr: } \frac{1}{k_{1,R}} = \frac{1}{\pi * d_i * \alpha_i} + R_{1,R} + \frac{1}{\pi * d_a * \alpha_a} \text{ [mK/W]}$$

$$\text{Wand: } \frac{1}{k_P} = \frac{1}{\alpha_i} + R_P + \frac{1}{\alpha_a} \text{ [m}^2\text{K/W]}$$

Innerer Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha_i$

Nach VDI 2055-1 bei Flüssigkeiten und bei strömenden Dämpfen: vernachlässigbar

Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha_a$

Setzt sich aus Konvektions- und Strahlungsverlusten zusammen ( $\alpha_a = \alpha_k + \alpha_r$ , Formeln siehe Kapitel Wärmeverlustberechnung nach VDI 2055)

Wärmedurchgang durch eine (Rohr-)Wand und Dämmmaterial

Abhängig von der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_j$  und Dicke der einzelnen Materialien.

Formel 21: Wärmedurchgang durch eine Rohrwand und Dämmmaterial

$$\text{Rohr: } R_{1,R} = \frac{1}{2\pi} * \sum_{j=1}^n \left( \frac{1}{\lambda_j} * \ln \frac{d_j}{d_{j-1}} \right) \text{ [mK/W]}; \text{ einschichtige Dämmung: } R_{1,R} = \frac{1}{2\pi} * \frac{1}{\lambda} * \ln \frac{d_a}{d_i}$$

Der Index j bezieht sich auf die jeweilige Dämmschicht (j). Die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_j$  der jeweiligen Dämmschicht, der Außendurchmesser  $d_j$  und der Innendurchmesser ( $d_{j-1}$ ) beziehungsweise der Außendurchmesser der vorangehenden Dämmschicht sind einzusetzen.

Formel 22: Wärmedurchgang durch eine Wand und Dämmmaterial

$$\text{Wand: } R_{1,R} = \sum_{j=1}^n \frac{s_j}{\lambda_j} \text{ [m}^2\text{K/W]}; \text{ einschichtige Dämmung: } R_{1,R} = \frac{s}{\lambda}$$

Die Wärmeleitfähigkeit ist ein temperaturabhängiger Materialwert, der vom Hersteller für die Dämmmaterialien meistens bei verschiedenen Betriebstemperaturen angegeben wird.

Um die **Oberflächentemperatur** berechnen zu können, muss die Wärmeübertragung von der Oberfläche an die Umgebung berücksichtigt werden. Diese Formel wird auch verwendet, um die am Beginn der Wärmeverlustrechnung (zur Bestimmung des Wärmeverlusts nach Dämmung) angenommene Oberflächentemperatur mit der Oberflächentemperatur nach Berechnung des Wärmeverlusts zu vergleichen und weiter zu iterieren.

Formel 23: Oberflächentemperatur gedämmter Rohrleitungen nach VDI 2055

$$\vartheta_O = \vartheta_L + \frac{k_{1,R}}{\pi * d_a * \alpha_a} * (\vartheta_M - \vartheta_L)$$

Formel 24: Oberflächentemperatur gedämmter Rohrleitungen nach Wossog

$$\vartheta_O = \frac{q_R}{\pi * d_a * \alpha_a} + \vartheta_L$$

Formel 25: Oberflächentemperatur bei gedämmter Wand

$$\vartheta_O = \vartheta_L + \frac{k_P}{\alpha_a} * (\vartheta_M - \vartheta_L)$$

### 5.3.6 Anmerkungen zur genaueren Berechnung

Unter diesem Punkt werden allgemein genauere Berechnungsmethoden einzelner Parameter beschrieben. Für den genauen Vorgang wird auf die VDI 2055-1 verwiesen.

**Wärmeleitfähigkeit** - Die bisherige Wärmeleitfähigkeit entspricht dem temperaturabhängigen **Nennwert** der Wärmeleitfähigkeit. Um den **Betriebswert** zu erhalten, muss der Nennwert mit Faktoren multipliziert werden, die z. B. durch offene Fugen, durch Verdichtungen oder einer zusätzlichen Wärmeübertragung durch Konvektion im Dämmstoff entstehen. Außerdem müssen Wärmebrücken, wie Stützkonstruktionen und Befestigungselemente, mit deren Wärmeleitfähigkeiten berücksichtigt werden.

In einem Beispiel bei dem der Wärmeverlust eines Behälters mit zweilagiger Dämmung, Alufolie, Stützkonstruktion und Befestigungselemente berechnet wird, steigt der Nennwert mit den Faktoren multipliziert um mehr als 17 %. Werden auch noch die Wärmebrücken berücksichtigt, ist der Betriebswert um fast 28 % höher als der Nennwert der Wärmeleitfähigkeit. Diese Werte unterscheiden sich aber stark von Fall zu Fall und dienen an dieser Stelle nur der Hervorhebung der genaueren Berechnung.

**Wärmedurchgangskoeffizient** - Der Wärmedurchgangskoeffizient wird vor allem noch von anlagenbedingten Wärmebrücken erhöht. Hierzu zählen unter anderen Flansche, Armaturen und Rohraufhängungen. Rohraufhängungen im Gebäude erhöhen z. B. den Wärmedurchgangskoeffizienten um 15 %.

In demselben Beispiel, wie unter Wärmeleitfähigkeit angeführt, wird ein Zuschlagswert für die Versteifungselemente und die Stützen von 20 % berechnet.

**Weitere Einflussfaktoren** - Konstruktive Maßnahmen, wie z. B. Hinterlüftung der Ummantelung, oder die Wärmestrahlung von anderen betriebstechnischen Anlagen oder der Umgebung stellen weitere Einflussfaktoren auf den Wärmeverlust beziehungsweise die Oberflächentemperatur dar.

### 5.3.7 Bewertung Wärmebrücken, inklusive Flansche

Wärmebrücken bewirken zusätzliche Wärmeverluste zum Wärmestrom über die Dämmung und beeinflussen lokal die Oberflächentemperatur der Objektwand sowie die der Ummantelung. Wärmebrücken werden generell in anlagenbedingte und dämmtechnisch bedingte unterschieden.

Anlagenbedingte Wärmebrücken sind Bereiche oder Komponenten von betriebstechnischen Anlagen, die erhöhte Wärmeverluste über z. B. auskragende Bauteile wie Lager und Stütze oder durch ihre Geometrie (Ecken, Kanten) verursachen. Innerhalb der Dämmung sind das z. B. Versteifungselemente.

Die Bewertung erfolgt je nach Art nach der VDI 2055 (Stützkonstruktionen, Befestigungselemente und Versteifungselemente) oder nach der VDI 4610 (z. B. Armaturen, Flansche, Stirnscheiben).

Im Anhang sind Grafiken zur vereinfachten Ermittlung der Wärmeverluste von Armaturen und Flanschen in Abhängigkeit der Dimension des Rohrdurchmessers.

Vereinfacht kann mit folgenden Werten gerechnet werden:

- Der **Wärmeverlust eines ungedämmten Flansches** entspricht dem Wärmeverlust eines **ungedämmten Rohres** bei gleicher Dimension von einem halben Meter
- Der **Wärmeverlust einer ungedämmten Armatur** entspricht dem Wärmeverlust eines **ungedämmten Rohres** bei gleicher Dimension von **einem Meter**.

Tabelle 20: Beispiel-Tabelle

Art	Beispiele	Quelle für Bewertungsmethode
Geometrische Wärmebrücken	Ecken, Kanten, Bögen, T-Stück, Kreuzungen, Wanddurchführung	Nicht angegeben
Versteifungselemente	Nicht angegeben	VDI 2055, Blatt 1 und VDI 4610 Wärmebrücken katalog

Art	Beispiele	Quelle für Bewertungsmethode
Anlagenbedingte Wärmebrücken	Lager Halterungen (Rohraufhängungen, Rohrlagerschuh, Abhängung, Stützen und Zargen, Kanäle, Lage der Stützen (geometrische und auskragende Wärmebrücken)	VDI 4610 Wärmebrücken katalog
Bauteil Vor-Ort gedämmt	Armaturen, Messeinrichtungen, Luftabscheider, Kompensatoren, Flansche Wärmetauscher, Speicher, Tanks, Boiler, Kessel Pumpen	VDI 4610 Wärmebrücken katalog
Bauteile werkmäßig gedämmt	Wärmetauscher, Speicher, Tank, Boiler, Kessel, Pumpen	Nicht angegeben
Dämmtechnisch bedingte Wärmebrücken, unregelmäßig vorkommend	Abflachung, Stirnscheiben, Tragkonstruktion	VDI 4610 Wärmebrücken katalog
Dämmtechnisch bedingte Wärmebrücken, regelmäßig vorkommend	Stützkonstruktionen, Befestigungselementen (Pins)	VDI 2055, Blatt 1 (Zuschlagswerte)
Dämmtechnisch bedingte Einflüsse (Konvektion, Strahlung)	Offene Fugen durch unterschiedliche Ausdehnung von Dämmstoff und Objekt; Spalte durch zu geringen Anpressdruck an die Objektwand	VDI 2055, Blatt 1 (Faktoren)

### 5.3.8 Beispielberechnung für den Wärmeverlust eines gedämmten Rohres nach VDI 2055

Es soll der Wärmeverlust und die Oberflächentemperatur folgenden Rohres ermittelt werden.

Vorgaben:

- Vertikale Dampfleitung mit DN 200 (Außendurchmesser des Rohres 219,1 mm)
- Mediumstemperatur: 300 °C
- Umgebungstemperatur von 22 °C
- Dämmung: mit einer handelsüblichen Mineralwolle mit einer Dicke von 120 mm. Der Außendurchmesser nach Dämmung beträgt daher:  $219,1 + 2 \cdot 120 = 459,1$  mm (0,4591 m).
- Ummantelung: oxidiertes Aluminium

Vereinfachungen:

- Der Wärmedurchgang durch die Rohrleitung wird aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit des Materials vernachlässigt.
- Ebenso wird der Wärmeübergang im Medium nicht berücksichtigt (Innerer Wärmeübergang).
- Die Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes entspricht auch im Betrieb dem Nennwert.
- Auf die Rohrleitung wirkt keine Wärmestrahlung. Diese strahlt alleinig in den das Rohr umgebenen Raum ab.

Berechnung - Um die **temperaturabhängige Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes** zu ermitteln, muss zuerst eine **Mitteltemperatur** bestimmt werden. Dazu muss eine Oberflächentemperatur angenommen werden (in diesem Fall 10 K über Umgebungstemperatur, also 32 °C).

Formel 26: Bestimmung der Mitteltemperatur in Bezug zur Oberflächentemperatur

$$\vartheta_m = 0,5 * (300 + 32) = 166 \text{ °C}$$

Bei einer Lamellenmatte eines bekannten Herstellers beträgt die mittlere Wärmeleitfähigkeit laut Datenblatt bei 150 °C 0,072 W/(m<sup>2</sup>\*K) und bei 200 °C 0,091 W/(m<sup>2</sup> \* K).

Bei linearer Interpolierung ergibt sich bei 166 °C eine Wärmeleitfähigkeit von 0,078 W/(m<sup>2</sup>\* K).

Um den Wärmedurchgang zu berechnen, muss zuerst der Wärmedurchgangskoeffizient bestimmt werden, für den man den Wärmedurchlasswiderstand und den Wärmeübergangskoeffizienten benötigt. Der **Wärmedurchlasswiderstand** berechnet sich für nur eine Dämmschicht folgendermaßen:

Formel 27: Berechnung des Wärmedurchlasswiderstandes (Rohr)

$$R_{1,R} = \frac{1}{2\pi} * \frac{1}{\lambda_j} * \ln \frac{d_j}{d_{j-1}}$$

$$R_{1,R} = \frac{1}{2\pi} * \frac{1}{0,078} * \ln \frac{0,4591}{0,2191} = 1,5094 \left[ \frac{mK}{W} \right]$$

Für die Bestimmung des **äußeren Wärmeübergangskoeffizienten** muss zuerst die freie Konvektion berechnet werden.

Formel 28: Freie Konvektion und äußerer Wärmeübergangskoeffizient

$$\Delta\vartheta = \vartheta_O - \vartheta_L = 32 - 22 = 10 \text{ K}$$

$$\alpha_{k,frei} = 1,74 * \sqrt[3]{\Delta\vartheta}$$

$$\alpha_{k,frei} = 1,74 * \sqrt[3]{10} = 3,7487 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

Die **Abstrahlung** in den Raum wird mit einem Emissionswert (siehe Anhang) von 0,13 berechnet.

Formel 29: Berechnung der Abstrahlung

$$\alpha_r = 4 * \varepsilon * \sigma * (0,5 * (\vartheta_O + \vartheta_L) + 273,15)^3 \text{ in } \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

$$\alpha_r = 4 * 0,13 * 5,67 * 10^{-8} * (0,5 * (32 + 22) + 273,15)^3 = 0,7963 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

Der Gesamtwärmeübergangskoeffizient beträgt

Formel 30: Gesamtwärmeübergangskoeffizient

$$\alpha_a = \alpha_k + \alpha_r$$

$$\alpha_a = 3,7487 + 0,7963 = 4,5451 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

Bei der Berechnung mit der vereinfachten Formel (siehe oben) würde sich 4,2 W/(m<sup>2</sup> K) ergeben.

Der Wärmedurchgangskoeffizient ergibt sich aus

Formel 31: Wärmedurchgangskoeffizient

$$\frac{1}{k_{1,R}} = R_{1,R} + \frac{1}{\pi * d_a * \alpha_a}$$

$$k_{1,R} = \frac{1}{1,5094 + \frac{1}{\pi * 0,4591 * 4,5451}} = 0,6017 \left[ \frac{W}{m K} \right]$$

Dies resultiert in einer **vorläufigen** Wärmestromdichte von

Formel 32: Wärmestromdichte

$$q = k * (\vartheta_M - \vartheta_L)$$

$$q_R = 0,6017 * (300 - 22) = 167,27 W/m$$

Wird auf die Oberflächentemperatur rückgerechnet ergibt sich

Formel 33: Oberflächentemperatur (Rohr)

$$\vartheta_O = \vartheta_L + \frac{k_{1,R}}{\pi * d_a * \alpha_a} * (\vartheta_M - \vartheta_L)$$

$$\vartheta_O = 22 + \frac{0,6017}{\pi * 0,4591 * 4,5451} * (300 - 22) = 47,52 \text{ } ^\circ\text{C}$$



Es ergibt sich eine deutliche Abweichung zur ursprünglich angenommenen Oberflächentemperatur von 32 °C. Somit muss eine Iteration vorgenommen werden.

Formel 34: Iterationsschritte

Bei erneuter Berechnung ergeben sich

$$k_{1,R_1} = 0,6153 \text{ W}/(m * K)$$

$$q_{R_1} = 171,05 \text{ W}/m$$

$$\vartheta_{O_1} = 41,82 \text{ °C}$$

Nach einem weiteren Iterationsdurchgang ergeben sich

$$k_{1,R_2} = 0,6118 \text{ W}/(m * K)$$

$$q_{R_2} = 170,09 \text{ W}/m$$

$$\vartheta_{O_2} = 43,27 \text{ °C}$$

Im letzten Iterationsdurchgang ergeben sich

$$k_{1,R_3} = 0,6128 \text{ W}/(m * K)$$

$$\mathbf{q_{R_3} = 170,36 \text{ W}/m}$$

$$\vartheta_{O_3} = 42,86 \text{ °C}$$

Aufgrund der geringen Abweichung der Temperatur beim nächsten Iterationsschritt von 0,1 °C wird die Genauigkeit als hinreichend angenommen.

## 5.4 Bestimmung der Dämmdicke

Vereinfacht kann über den Daumen folgende wirtschaftliche Dämmdicke angenommen werden:

- Bis 100 °C: 1 mm für jedes °C
- Ab 100 °C: 0,5 mm für jedes °C

Zu beachten sind aber rechtliche Rahmenbedingungen, die Dämmdicken vorgeben (in Österreich insbesondere OIB-Richtlinien) und zu erreichende Oberflächentemperaturen aus der Sicht des Arbeitnehmerschutzes.

Bei der Bemessung von Dämmschichten ist sowohl auf betriebstechnische Forderungen, wie das Einhalten eines maximalen Wärmeverlusts, als auch auf wirtschaftliche Forderungen zu achten. Auswahlkriterien nach der VDI 2055-1 können unter anderen sein:

- Wärmeleitfähigkeit
- Anwendungsgrenztemperatur
- Wasserdampfdurchlässigkeit
- Brandverhalten
- Mechanische Eigenschaften
- Kosten des eingesetzten Materials
- Entsorgung und Recycling

#### 5.4.1 Ermittlung der Dämmschichtdicke nach technischen Gesichtspunkten nach VDI 2055-1

Zur Bestimmung der Dämmschichtdicke mit bekannter zu **erreichender Oberflächentemperatur** für Rohre kann die folgende Zielwertfunktion verwendet werden.

Formel 35: Zielwertfunktion für die zu erreichende Oberflächentemperatur

$$ZW = \frac{1}{2 \cdot \lambda} * \ln \frac{d_a}{d_i} - \frac{1}{\alpha_a * d_a} * \left( \frac{\vartheta_M - \vartheta_L}{\vartheta_O - \vartheta_L} - 1 \right)$$

Der Zielwert soll durch Iteration gegen Null geführt werden.

Für eine **ebene Wand** ohne anlagenbedingte und unregelmäßige dämmtechnisch bedingte Wärmebrücken kann bei **gegebenem maximalem Wärmestrom** die Dämmschichtdicke bestimmt werden.

Formel 36: Dämmschichtdicke für eine ebene Wand

$$s_P = \lambda * \left( \frac{\vartheta_M - \vartheta_L}{q_{P;max}} - \frac{1}{\alpha_a} \right)$$

Für eine **Rohrleitung** ergibt sich:

Formel 37: Dämmschichtdicke für eine Rohrleitung

$$\frac{1}{2 * \lambda} * \ln \frac{d_a}{d_i} + \frac{1}{\alpha_a * d_a} = \frac{\pi * (\vartheta_M - \vartheta_L)}{q_{1,R;max}}$$

Die Dämmdicke bei Rohrleitungen ist also nicht direkt, sondern iterativ zu lösen. Alternativ stellt die VDI 2055-1 im Anhang Graphen zur Bestimmung der Dämmschichtdicke bereit.

Die Bestimmung der **wirtschaftlichen** Dämmstärke wird im Kapitel Wirtschaftlichkeit und Kosten näher beschrieben.

#### **5.4.2 Mindestdämmschichtdicken nach OIB-Richtlinie 6 und ÖNORM H 5155**

Für industrielle Anwendungen gibt es (Stand November 2013) keine rechtliche Verpflichtung zur Dämmung von Anlagen (der Arbeitnehmerschutz ist hier ausgenommen), für Anlagen zur Bereitstellung von Raumwärme in Wohn- und Nichtwohngebäuden jedoch schon.

Bei erstmaligem Einbau, bei Erneuerung oder überwiegender Instandsetzung von Wärmeverteilungssystemen für Raumheizung ist deren Wärmeabgabe laut OIB Richtlinie 6 durch die folgenden technischen Maßnahmen zu begrenzen:

Tabelle 21: Mindestdämmschichtdicken für Leitungen und Armaturen nach OIB-RL 6

Art der Leitungen beziehungsweise Armaturen	Mindestdämmschichtdicke bezogen auf eine Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W /mk (bei 10 °C Mitteltemperatur)
Leitungen oder Armaturen in nicht konditionierten Räumen	Zwei Drittel des Rohrdurchmesser (höchstens 100 mm)
Bei Leitungen/Armaturen in Wand und Deckendurchbrüchen, im Kreuzungsbereich von Leitungen, bei zentralen Leitungsnetzteilern	Ein Drittel des Rohrdurchmessers, jedoch höchstens 50 mm
Leitungen/Armaturen in konditionierten Räumen	Ein Drittel des Rohrdurchmessers, jedoch höchstens 50 mm
Leitungen im Fußbodenaufbau	6 mm (kann entfallen bei Verlegung in der Trittschalldämmung bei Decken gegen konditionierte Räume)

In der ÖNORM H 5155 sind Mindestdämmdicken für Heizungs- und Warmwasserleitungen und Kälteleitungen unter bestimmten Rahmenbedingungen angeführt und sind bereits bei der Planung zu berücksichtigen. Diese ÖNORM H 5155 ist für alle haustechnischen Systeme gemäß ÖNORM B 2110, bei denen eine Minimierung des Wärmestroms vom Transportmedium an die Umgebung oder umgekehrt erforderlich ist, anzuwenden, insbesondere für Heizungs-, Warmwasserbereitungs- und Solaranlagen sowie für Kaltwasser-, Kälte- und Kühlwassersysteme und für Luftleitungssysteme.

Die folgende Tabelle gilt für eine Isolierung mit der Wärmeleitfähigkeit von 0,047 W/(m\*K), bezogen auf eine Mitteltemperatur von 50 °C und bei einem äußeren Wärmeübergangskoeffizienten von 9 W/(m<sup>2</sup>\*K).

Tabelle 22: Mindestdämmdicken in mm

Lage der Leitung	≤DN 15	DN 20	DN 25	DN 32	DN 40	DN 50	DN 65	DN 80	DN 100	DN 125	DN >125
Unbeheizter Raum	20	25	30	40	45	55	70	85	100	125	135
Beheizter Raum	10	15	15	20	25	30	35	40	50	65	70
Im Freien	50	50	50	50	55	65	80	90	110	135	145

Für Heizungs- und Warmwasserleitungen sowie Armaturen mit Mineralwolle nach ÖNORM H 5155

Die folgende Tabelle gilt für Isolierungen mit der Wärmeleitfähigkeit von 0,036 W/(m\*K) bezogen auf eine Mitteltemperatur von 0 °C, bei einem äußeren Wärmeübergangskoeffizienten von 9 W/(m²\*K) und bei einer Wasserdampf-Diffusionszahl von  $\mu=7.000$ .

Tabelle 23: Mindestdämmdicken in mm

Lage der Leitung	≤DN 15	DN 20	DN 25	DN 32	DN 40	DN 50	DN 65	DN 80	DN 100	DN 125	DN >125
Im Gebäude	13	19	19	19	25	25	25	32	32	32	13
Im Freien	19	25	25	25	32	32	32	38	38	38	19

Für Kälteleitungen und Armaturen mit Kautschuk - Elastomer nach ÖNORM H 5155

### 5.4.3 Vergleich einer ungedämmten mit einer gedämmten Rohrleitung

Das DN 200 Stahlrohr aus Kapitel 5.3.8 wird mit Warmwasser bei 80 °C betrieben. Verglichen werden die Wärmeverluste und Oberflächentemperaturen des ungedämmten Rohrs sowie bei einer Dämmung mit 30 mm beziehungsweise 60 mm Dicke. Die Wärmeleitfähigkeit von Stahl beträgt  $\lambda=50$  W/(m\*K). Der Emissionsfaktor für das ungedämmte Rohr entspricht 0,4: Stahl verzinkt, angestaubt.

Erwartungsgemäß weicht im ersten Fall die Oberflächentemperatur kaum von der Mediumtemperatur ab. Der Wärmeverlust beträgt das bis zu Zehnfache der gedämmten Variante.

Tabelle 24: Vergleich von Wärmeverlusten und Oberflächentemperatur einer Rohrleitung nach Dämmdicke

Vergleich	Ungedämmt	Dämmdicke: 30 mm	Dämmdicke: 60 mm
Wärmeverlust in W/m	392,41	52,29	32,16
Oberflächentemperatur in °C	79,93	34,22	29,20

#### 5.4.4 Wirtschaftlichkeit und Kosten

Hier wird kurz auf die Wirtschaftlichkeit und Kosten der Dämmung eingegangen. Eine Berechnungsvariante der Gesamtkosten und die Berechnung der Kapitalrückflusszeit nach VDI 2055-1 wird vorgestellt. Für eine detailliertere Berechnung wird auf die Richtlinie verwiesen – ebenso für die Ermittlung von Dämmschichtdicken nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Anschließend erfolgt eine beispielhafte Berechnung.

Berechnung der Gesamtkosten und der Kapitalrückflusszeit nach VDI 2055-1:

Formel 38: Jährliche Gesamtkosten

$$K_{ges} = 10^{-3} * q * f * W * \beta + b * J$$

$K_{ges}$  Gesamtkosten für ebene Wände in €/m<sup>2</sup>, für Rohre in €/m

$q$  Wärmeverlust für ebene Wände in W/m<sup>2</sup>, für Rohre in W/m

$f$  Faktor der Energiepreisänderung

$$\text{Konstante Energiepreise: } 1; f = \frac{S_1}{S_2} S_1 = \frac{1 - \left(\frac{1+p/100}{1+z/100}\right)^n}{1 - \frac{1+p/100}{1+z/100}} S_2 = \frac{1 - \left(\frac{1}{1+z/100}\right)^n}{1 - \frac{1}{1+z/100}}$$

$p$  Jährliche Preisänderung in %/a

$W$  Aktueller Wärmepreis in €/kWh

$\beta$  Jahresnutzungsdauer in h/a

$b$  Kapitaldienstfaktor in 1/a

$J$  Investitionskosten für ebene Wände in €/m<sup>2</sup>, für Rohre in €/m

$z$  Zinssatz in %

**Jahresnutzungsdauer** - Die Jahresnutzungsdauer ist nicht mit den Volllaststunden gleichzusetzen, sondern ist jene Anzahl von Stunden pro Jahr während die Anlage auf Betriebstemperatur ist.

**Kapitaldienstfaktor** - Der Kapitaldienstfaktor enthält die Abschreibung oder Tilgung  $1/n$  ( $n$  erwartete Nutzungsdauer in Jahren), Verzinsung  $z$ , Wartung  $r$  und Gemeinkosten  $g$  in % ( $r+g=z$ . B. 2 % pro Jahr).

Eine Möglichkeit zur Berechnung ist:

Formel 39: Kapitaldienstfaktor

$$b = \frac{1}{n} + \frac{1}{100} * (z + r + g)$$

Die Kapitalrückflusszeit ergibt sich aus:

Formel 40: Kapitalrückflusszeit

$$n_{RZ} = \frac{J}{E'}$$

$n_{RZ}$  Kapitalrückflusszeit in a

$E'$  Ersparnisse durch verminderten Wärmeverlust für ebene Wände in  $\text{€}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , für Rohre in  $\text{€}/(\text{m} \cdot \text{a})$

Ersparnisse:

Formel 41: Ersparnisse

$$E' = 10^{-3} * (q_0 - q) * W * \beta$$

$q_0$  Wärmeverlust, wenn ungedämmt für ebene Wände in  $\text{W}/\text{m}^2$ , für Rohre in  $\text{W}/\text{m}$

$q$  Wärmeverlust, wenn gedämmt für ebene Wände in  $\text{W}/\text{m}^2$ , für Rohre in  $\text{W}/\text{m}$

**Beispielhafte Wirtschaftlichkeitsberechnung** - Beispielhaft soll der Vergleich zwischen einer ungedämmten und gedämmten Rohrleitung auch wirtschaftlichen betrachtet werden. Als Ausgangspunkt dienen die Ergebnisse aus dem Abschnitt 5.4.3. Es wird ein Rohrabschnitt von 100 m berechnet.

Die Dämmkosten ergeben sich aus Material- und Arbeitskosten. Der Aufteilungsschlüssel von Materialkosten zu Arbeitskosten liegt zwischen 30:70 und 40:60 nach Aussage eines

Planungsunternehmers. Vereinfacht werden die Dämmkosten mit den Investitionskosten gleichgesetzt. Weder Abschreibungskosten noch Verzinsung, Wartung und Gemeinkosten werden in diesem Beispiel berücksichtigt.

Als Dämmmaterial wird eine druckfeste Lamellenmatte eines namhaften Herstellers verwendet. Die Gesamtoberfläche des Rohrabschnitts beträgt  $100\text{ m} \cdot 0,2191\text{ m} \cdot \pi = 68,832\text{ m}^2$ . Mit einem Aufschlag von circa 10 % ergibt sich eine Fläche von  $76\text{ m}^2$ . Mit den Materialkosten und dem gewählten Aufteilungsschlüssel von 35:65 können die gesamten Investitionskosten berechnet werden. Die Wärmeverlustkosten werden mit einer angenommenen Jahresnutzungsdauer von 3.000 Stunden pro Jahr und einem Wärmepreis von EUR 50 pro MWh ermittelt. Die Ergebnisse sind in nachfolgender Tabelle aufgelistet.

Tabelle 25: Beispielhafte Berechnung der Investitionskosten

Kategorie	Ungedämmt	Dämmdicke: 30 mm	Dämmdicke: 60 mm
Materialkosten in €/m <sup>2</sup>	Nicht angegeben	13,20	18,90
Materialkosten gesamt in € (35 % der gesamten Investitionskosten)	Nicht angegeben	1.003,20	1.436,40
Arbeitskosten (65 % der gesamten Investitionskosten)	Nicht angegeben	1.863,09	2.667,60
Investitionskosten in €	Nicht angegeben	2.866,29	4.104,00

Tabelle 26: Beispielhafte Berechnung der Wärmeverlustkosten

Kategorie	Ungedämmt	Dämmdicke: 30 mm	Dämmdicke: 60 mm
Wärmeverlust in W/m	392,41	52,29	32,16
Wärmeverlust gesamt in MWh/a	117,72	15,69	9,65
Wärmeverlustkosten in €/a	5.886,15	784,35	482,40

Für unterschiedliche Dämmdicken bei einer Jahresnutzungsdauer von 3.000 Stunden pro Jahr bei einem Wärmepreis von 50 Euro/MWh

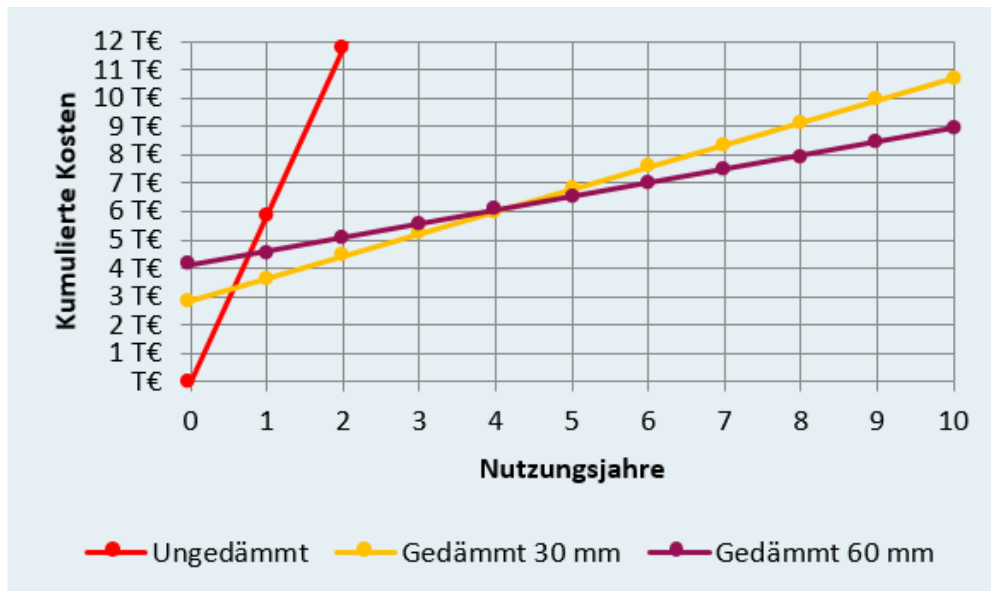


Tabelle 27: Ergebnis zur Wirtschaftlichkeit

Kategorie	Ungedämmt	Dämmdicke: 30 mm	Dämmdicke: 60 mm
Ersparnisse in €/a	Nicht angegeben	5.101,80	5.403,75
Kapitalrückflusszeit in a	Nicht angegeben	0,56	0,53

Werden die linearen Kostenfunktionen dieser Varianten über eine Dauer von 10 Jahren verglichen, ergibt sich folgendes Bild.

Abbildung 2: Kumulierte Kosten unterschiedlicher Dämmstärken bei Dämmung ungedämmter Rohre

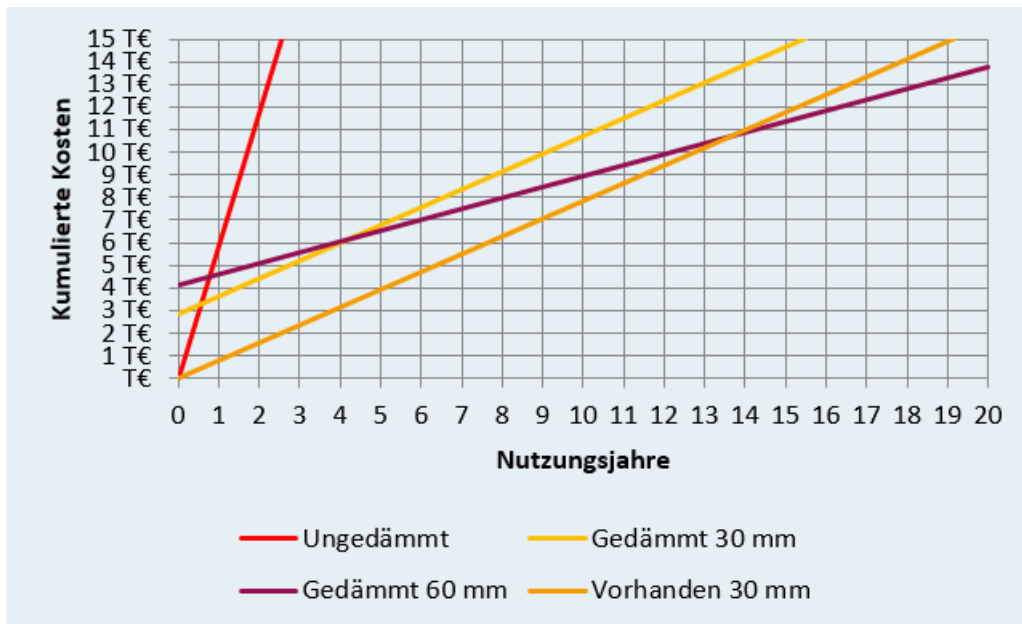


Quelle Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency

In diesem Beispiel erweist sich also die Dämmung mit einer Dicke von 60 mm über eine längere Betrachtungsweise als günstiger.

Ist z. B. schon eine Dämmung von 30 mm vorhanden, und es fallen nur noch die Wärmeverlustkosten an, rentiert sich die Neuinvestition in eine Dämmung mit 60 mm nach 14 Jahren, wie in nachstehender Grafik zu sehen ist.

Abbildung 3: Kumulierte Kosten unterschiedlicher Dämmstärken bei Dämmung ungedämmter Rohre und im Vergleich zu bestehender Dämmung



Quelle Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency

An dieser Stelle sei nochmals hervorgehoben, dass es sich um ein stark vereinfachtes Beispiel handelt.

## 5.5 Berechnung des Gesamtwärmeverlusts

Die Richtlinienreihe VDI 2055 enthält auch Berechnungsverfahren zur Bewertung des Gesamtwärmeverlustes, für eine detaillierte Ausführung wird auf die entsprechende Richtlinie verwiesen.

### 5.5.1 Wärmeverluste und -einträge von Komponenten nach VDI 2055-1

Wärmeverluste werden mittels einer Energiebilanz berechnet.

Für Rohrleitungen gilt:

Formel 42: Energiebilanz bei Rohrleitungen

$$\dot{Q}_j = \dot{m}_M * c_{p,M} * (\vartheta_{M,A} - \vartheta_{M,E})$$

$\dot{Q}_j$  Wärmeverlust oder -eintrag in J

$\dot{m}_M$  Massenstrom des Mediums in kg/s

$c_{p,M}$  Spezifische isobare Wärmekapazität des Mediums in J/(kg\*K)

$\vartheta_{M,A}$  Temperatur des Mediums bei Austritt

$\vartheta_{M,E}$  Temperatur des Mediums bei Eintritt

Für Behälter gilt:

Formel 43: Energiebilanz bei Behältern

$$(m_M * c_M + m_{Beh} * c_{Beh}) * (\vartheta_{M,t} - \vartheta_{M,0}) = W + Q$$

$m_M$  Masse des Füllmediums in kg

$c_M$  Spezifische Wärmekapazität des Füllmediums in J/(kg\*K)

$m_{Beh}$  Masse des Behälters in kg

$c_{Beh}$  Spezifische Wärmekapazität der Behälterwand in J/(kg\*K)

$\vartheta_{M,t}$  Temperatur des Füllmediums und Behälters nach der Zeit t

$\vartheta_{M,0}$  Temperatur des Füllmediums und Behälters am Anfang

$W$  Am System verrichtete Arbeit in J

$Q$  Wärmeverlust oder -eintrag in J

Außerdem lässt sich die Änderung der Temperatur sowohl in einem Behälter als auch entlang einer Rohrleitung berechnen.

### **5.5.2 Methoden zur Bestimmung von Gesamtwärmeverlusten und – einträgen nach VDI 2055-3**

Die Berechnung einzelner Komponenten erfolgt wie oben beschrieben. Zur Bestimmung des Gesamtwärmeverlusts einer betriebstechnischen Anlage kann nach zwei Bilanzverfahren vorgegangen werden.

**Bilanz der Prozessenergieströme** - Es kann, wie bei einzelnen Komponenten, eine Bilanz der Prozessenergieströme für die gesamte Anlage aufgestellt werden. (einfaches Beispiel: durchströmte Rohrleitung)

**Bilanz der Energieströme der Luft** - Der Gesamtwärmeverlust einer eingehausten betriebstechnischen Anlage kann mittels einer Energiebilanz der Luftströme bei der Gebäudelüftung erfolgen.

Eine weitere Möglichkeit stellt die Messung der Wärmestromdichten dar.

# 6 Messungen an Dämmsystemen

Zu Messungen an Dämmsystemen wurden in Deutschland insbesondere folgende Technische Richtlinien veröffentlicht:

- BFA WKSB Technische Briefe Nummer 9 Messverfahren (BFA WKSB, 2013)
- BFA WKSB Technische Briefe Nummer 10 Messstellen für thermische Messung (BFA WKSB, 2012)
- VDI 2055 Blatt 3: Wärme- und Kälteschutz von betriebstechnischen Anlagen in der Industrie und in der Technischen Gebäudeausrüstung - Technische Grundlagen zur Überprüfung der wärmetechnischen Eigenschaften von Dämmsystemen, Ermittlung von Gesamtwärmeverlusten, 2011

## 6.1 Messverfahren nach BFA WKSB

Technischer Brief Nummer 9

Nachfolgend werden die Temperaturmessung, die Messung von Luftgeschwindigkeit und relativer Feuchte und die Messung von Dämmdicke behandelt. Für die Wärmestrommessung wird auf den Technischen Brief Nummer 9 verwiesen.

### 6.1.1 Temperaturmessung

**Messung mit Kontakt zum Messobjekt** - Zur Temperaturmessung von Oberflächen und von Umgebungstemperaturen stehen handelsübliche Handmessgeräte zur Verfügung. Messfühler sind entweder mit Handgriff oder zum Befestigen am Objekt vorhanden. Grundsätzlich ist bei der Messung mit Messfühler auf Grund der Trägheit so lange zu warten, bis der Wert der Anzeige konstant bleibt.

**Messung der Lufttemperatur** - Die Trägheit bei der Messung der Lufttemperatur kann durch fächernde Bewegungen vermindert werden. Ein Strahlungsaustausch mit Oberflächen muss z. B. durch eine Hülse am Messfühler unterbunden werden.

**Messung der Oberflächentemperatur** - Werden Messfühler mit Handgriff verwendet, ist auf einen dauernden guten Kontakt mit der Oberfläche zu achten. Magnetisch haftende Fühler haben aufgrund ihrer Masse eine hohe Trägheit.

**Messung der Objektwandtemperatur** - Soll die Oberflächentemperatur des gedämmten Objekts gemessen werden, so ist ein Stück der Dämmung zu entfernen (BFA WKS B, 2013).

**Berührungslose Messungen mittels Thermografie** - Mit Thermografie ist es möglich, Temperaturverteilungen auf Oberflächen sichtbar zu machen. Insbesondere eignet sie sich für ebene oder quasi ebene Flächen (z. B. Tankummantelungen aus Glattblech) zur Schaffung eines Überblicks über die Temperaturverteilung auf der Oberfläche. Mängelfreie Isoliersysteme können damit festgestellt werden.

Für komplizierte Anlagengeometrie und profilierte Flächen ist sie nicht geeignet. Sie kann aber auch erste Hinweise auf mögliche Fehler in der Isolierung geben, und ist damit ein Verfahren zum Aufdecken von Fehlern, um Bereiche detaillierter einzugrenzen. Bei der Mehrzahl der zu prüfenden Anlagen können diese Messungen nicht durchgeführt werden, da es die Oberflächen- oder auch die Umgebungsbedingungen nicht zulassen.

Thermografie-Kameras messen die Wärmestrahlung, die vom Emissionsgrad der Oberfläche abhängen. Bei gleicher Temperatur werden daher schwarze Flächen „wärmer“ abgebildet als blanke Flächen.

Ob die festgestellten Temperaturen jener der betrachteten Oberflächen entsprechen, hängt auch von störenden Einflüssen ab: Befinden sich in der Umgebung weitere Wärmequellen haben diese Wärmeabstrahlungen zwei Folgen: Die tatsächliche Temperatur erhöht sich (geringfügig) und sie wird, je nach Reflexionsverhalten, zum Teil in die Thermografie-Kamera reflektiert und verfälscht somit das Messergebnis.

Bei jeder thermografischen Messung ist daher die Kamera mit dem Emissionsgrad der betroffenen Oberfläche abzustimmen und Fremdstrahlung, die auf die messende Oberfläche trifft, abzuschirmen.

Eine Ermittlung des Emissionsgrads kann mit dem Abgleich der mit dem Handmessgerät gemessenen Temperatur erfolgen. Alternativ findet sich eine ausführliche Auflistung von Emissionsgraden in der VDI 2055-1. (Ein Auszug hiervon und ein Vergleich mit real

gemessenen Werten aus dem Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V., 2012 befindet sich im Anhang.)

Aufnahmen aus verschiedenen Winkeln ermöglichen das Erkennen von reflektierter Fremdstrahlung. Je blanker die Oberfläche, desto höher ist die Reflexion und desto mehr sind örtliche schwankende Emissionsgrade zu erwarten.

Realistische Ergebnisse sind nur unter einem Aufnahmewinkel von kleiner  $30^\circ$  um die Flächennormale zu erwarten. Rohrleitungen sind aus diesem Grund nur eingeschränkt messbar. Bei eng beieinanderliegenden Rohrleitungen sind Thermografiebilder überhaupt nur im Zusammenhang mit umfangreicher Oberflächentemperaturmessung mit Handmessgeräten auswertbar. Auch auf einer ebenen Wand ist nur ein kleiner Teil messbar und es hat eine Parallelverschiebung zu erfolgen.

Zusammenfassung möglicher Fehlerquellen und mögliche Vermeidung:

- Falscher Emissionsgrad: Vermeidung durch Messung mit Oberflächentemperatur, damit Abstimmung des Emissionsgrades; Einstellung aufgrund von Tabellenwerten
- Keine Abschirmung von Fremdstrahlung, damit Reflexion und Eigenerwärmung: Abschirmung von fremden Wärmequellen; Variation des Aufnahmewinkels, dadurch werden Reflexionen erkannt
- Zu großer Winkel zum messenden Objekt: Aufnahmen von Winkel von maximal  $30^\circ$  von der Flächennormalen
- Sonneneinstrahlung: Erstellung der Bilder im Freien nur bei bedecktem Himmel oder bei Nacht

### **6.1.2 Messung von Luftgeschwindigkeit und relativer Feuchte**

#### **Luftgeschwindigkeit**

Handelsübliche Messgeräte zur Messung von Luftgeschwindigkeiten sind Flügelradanemometer und Schalenanemometer, wobei sich vor allem das Flügelradanemometer eignet.

**Relative Luftfeuchte** - Für die Messung der relativen Luftfeuchtigkeit eignen sich Kapazitäts-Hygrometer. Für genauere Messungen kommen Psychrometer oder Taupunktmessgeräte zum Einsatz.

### **6.1.3 Messung der Dicke von Mineralwollmatten und –platten und von Schichtdicken**

Die Messung der Isolierschichtdicke von Mineralwoll­dämmung kann mittels Nadel mit Stelling oder Skala erfolgen, die bis zum Untergrund durchgestochen wird.

Einzelne Schichtdicken können zerstörungsfrei mit Ultraschallverfahren, magnetischen Verfahren oder Wirbelstrom-Verfahren gemessen werden. Für Details wird auf den Technischen Brief Nummer 9 verwiesen.

## **6.2 Messstellen für thermische Messungen nach BFA WKS­B**

Technischer Brief Nummer 10

### **6.2.1 Grundlagen zur Messung von Oberflächentemperatur**

Grundsätzlich kann eine aussagekräftige Messung nur bei stationären Betriebsverhältnissen erfolgen.

**Örtliche Verteilung der Oberflächentemperatur** - Zusammen mit der Oberflächentemperatur ist immer im Abstand von einem Meter die Lufttemperatur zu messen, falls diese örtlichen Schwankungen unterlegen ist. Dies gilt besonders für schlecht belüftete Zonen, oder unterschiedlichen Verlegebenen mit nach oben ansteigenden Temperaturen.

**Uneinheitliche Konvektionsverhältnisse an der Isolieroberfläche** - Durch freie Konvektion bilden sich bei waagrechten Rohrleitungen geringere Temperaturen an der Rohrunterseite als an der Oberseite aus.

Erzwungene Konvektion führt zu einem höheren Wärmeübergangskoeffizienten auf der der Strömung zugewandten Seite, was in einer geringeren Temperatur bei einer Wärmedämmung und einer höheren Temperatur bei einer Kälte­dämmung resultiert.

**Strahlungsaustausch mit der Umgebung** - Dieser Punkt wurde schon unter 6.1 Messverfahren nach BFA WKS­B Technischer Brief Nummer 9 behandelt. Hier sei noch angeführt, dass sich der Emissionsgrad metallischer Oberflächen durch Schmutz und Korrosion während deren Alterung erhöht.



**Wärmebrücken** - Wärmebrücken bewirken zusätzliche Wärmeverluste zum Wärmestrom über die Dämmung und beeinflussen lokal die Oberflächentemperatur der Objektwand und der Ummantelung. Wärmebrücken sind Bereiche der Dämmung, in denen lokal die Wärmestromdichte höher ist als im Vergleich zu angrenzenden Bereichen (Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V., 2012). Diese werden in dämmtechnische (Stirnscheiben, Tragkonstruktionen) und anlagenbedingte Wärmebrücken unterschieden (VDI 2005, A 13).

Geometrische Wärmebrücken, wie Kanten und Ecken, vergrößern oder verkleinern die Durchtrittsfläche des Wärmestroms, was eine Veränderung der Wärmestromdichte und somit der Temperatur zur Folge hat. Bei einer Messung sollte ein Abstand von der dreifachen Dämmdicke zu Kanten eingehalten werden.

Konvektion und Strahlung in offenen Fugen und Spalten wirken sich ebenfalls wie Wärmebrücken aus und erhöhen lokal den Wärmestrom (und die Temperatur).

**Konvektion im Dämmsystem** - Auch innerhalb von Dämmstoffen beziehungsweise Dämmsystemen kann es zu Konvektion kommen, z. B. bei Hinterlüftung. Bei vertikaler Dämmung an z. B. Kesselwänden oder heißen Kanälen minimieren Folien auf der kalten Seite des Dämmstoffes oder zusätzliche waagrechte Abschottungen des Dämmstoffes diesen Effekt.

## 6.2.2 Auswahl der Messstellen

Ziel ist es, den repräsentativen Punkt, der Ort der mittleren Oberflächentemperatur und der mittleren Wärmestromdichte, eines Anlagenteils zu bestimmen. Sie dienen zur Überprüfung vertraglich vereinbarter Werte. Hier wird nur eine vereinfachte Auswahl beschrieben. Für genauere Varianten wird auf den Technischen Brief Nr. 10 verwiesen.

**Rohrleitungen** - Die Oberflächentemperatur wird im Technischen Brief Nr. 10 immer für einen Rohr-„Schuss“, den regelmäßigen Abstand zwischen den Rundnähten, üblicherweise 950 mm, bestimmt.

Entlang der horizontalen Linie bei 90 ° (wenn 0 ° die Oberseite und 180 ° die Unterseite ist) werden in Rohrleitungsverlauf in Abständen von 1/10 der Schusslänge bis zur Schussmitte die Temperaturen ermittelt. Entlang des Umfangs des Punkts, welcher dem Mittel aus den gemessenen Temperaturen am nächsten kommt, wird der repräsentative Punkt des

Schusses ermittelt. Dieser ist derjenige Punkt, der dem arithmetischen Mittel aller Messpunkte entspricht.

**Ebene Wand** - Die Temperatur muss an mehreren, auf einem Raster mit konstanten Abständen gelegenen Stellen gemessen werden. Die Größe des Rasterfeldes ist so zu wählen, dass der Wärmebrückeneinfluss der Trag- und Stützkonstruktion flächenanteilig erfasst wird. Mindestens 4 x 4 Messpunkte werden so gelegt, dass ein Steg der Trag- und Stützkonstruktion im Zentrum des Rasterfeldes liegt. Der Punkt, der dem arithmetischen Mittel entspricht, gilt als repräsentativ.

Anzahl und Lage der Raster richtet sich nach der Temperaturverteilung. Bei hohen senkrechten Objekt-wänden sind Messungen an repräsentativen Punkten entlang der gesamten Höhe der Anlage vorzunehmen, mindestens jedoch im unteren, mittleren und oberen Bereich.

# 7 Vor-Ort-Audit

In diesem Leitfaden wird eine mehrstufige Vorgangsweise vorgeschlagen, die von der Erhebung allgemeiner Betriebsdaten zu einem qualitativen und schließlich quantitativen Audit führt. Ein qualitatives Audit kann, muss aber nicht, die Vorstufe zu einem quantitativen Audit sein. Das qualitative Audit hilft Bereiche zur genaueren Untersuchung einzugrenzen und kann einen weiteren Bereich im Unternehmen umfassen.

## 7.1 Allgemeine Betriebsdaten

Vor oder während des Betriebsbesuches im Rahmen der Auditplanung und des Vorgesprächs sollten allgemeine Daten zum Betrieb und der Umfang des Audits definiert werden. Dazu ist es auch sinnvoll, die Art und Anzahl der zu untersuchenden Anlagen festzulegen.

Als Basis jeder Bewertung sind zunächst die Verbräuche und Kosten der unterschiedlichen Energieträger zur Wärmeerzeugung zu erheben und in der Folge die Kosten der bereitgestellten End- oder Nutzenergie oder beides (je nach Datenlage und Situation).

Im Anhang „Mustervorlagen für Audits zur Technischen Isolierung“ finden Sie von Punkt 1.1 bis Punkt 1.5 Excel-Vorlagen, in die Sie die notwendigen Daten für eine Bewertung eintragen können.

Je nach Betrieb können unterschiedliche Anlagen Betrachtung finden, es wird empfohlen diese im Vorfeld einzugrenzen und zwischen den Temperaturbereichen Heißwasser, Dampf, Kondensat und Prozesswärme zu unterscheiden. Gemeinsam mit dem Unternehmen kann im Vorgespräch eine erste Einschätzung des Bedarfs beziehungsweise Zustands der Isolierung ermittelt werden.

## 7.2 Qualitatives Audit

Dieses Audit soll eine qualitative Beurteilung der Anlage beziehungsweise bestimmter Anlagenteile durch eine erste Begehung ermöglichen. Dabei werden auch nochmals die

Informationen aus dem Kapitel „Allgemeine Betriebsdaten“ überprüft. Folgende sechs Erhebungsbögen aus dem Anhang können dazu genutzt werden:

- Erhebungsbogen zur Art und zum Gesamteindruck der Anlage,
- Erhebungsbogen zur Art und zum Gesamteindruck der Umgebung,
- Erhebungsbogen zur Erstaufnahme und Hilfestellung zur Auswahl,
- Erhebungsbogen zur Art des Anlagenteils,
- Erhebungsbogen zum Zustand des Anlagenteils,
- und Erhebungsbogen zu den Ausführungsanforderungen nach DIN 4140.

Jeder Erhebungsbogen wird in einem der folgenden Unterkapitel näher behandelt.

### **7.2.1 Art und Gesamteindruck der Anlage**

Die Art der Anlage kann dem Auditor oder der Auditorin schon im Vorhinein bekannt sein. Deren Erhebung bildet eine Grundlage für den gesamten Auditprozess, um die einzelnen Anlagenteile in einem Gesamtsystem verstehen zu können. Dazu sollen folgende Informationen erhoben werden.

**Prozess** - Die zu untersuchenden Prozesse beziehungsweise Anlagenteile (siehe Allgemeine Betriebsdaten) werden mit deren Bezeichnungen, Medien und Temperaturen erfasst.

**Energieträger** - Die Energieträger, die ihre Energie an die Prozessmedien übergeben.

**Installationsorte** - Wo sich die installierte Anlage befindet und ob dies im Gebäude beziehungsweise im Freien ist.

**Gesamteindruck** - Der Gesamteindruck der Anlage lässt eine sehr kurze und oberflächliche Bewertung zu. Eventuell können an diesem Punkt schon Anmerkungen zu Anlagenteilen gemacht werden, die dann näher betrachtet werden sollen (Erhebungsbogen im Anhang).

### **7.2.2 Art und Gesamteindruck der Umgebung**

Die Beurteilung der Umgebung und ihrer Einflüsse beziehungsweise ihres Zustandes kann als einer der ersten Schritte bei einem qualitativen Audit durchgeführt werden. Zuerst

kann auf die Ordentlichkeit des Arbeitsumfeldes geachtet werden, was Rückschlüsse auf die Sauberkeit und auch die Wartung zulässt.

**Anlagen in Gebäuden** - Befindet sich die Anlage im Gebäude, ist außerdem auf die „Aggressivität“ der Umgebung zu achten.

**Lufttemperatur** - Ist die Lufttemperatur in Räumen mit gedämmten Anlagenteilen relativ hoch, kann dies ein Indiz für eine mangelhaft ausgeführte Dämmung sein (z. B. Heizzentrale). Pauschale Temperaturangaben können hier aber nicht gemacht werden. Dies ist unter anderem abhängig von der Jahres- und Tageszeit und ob die Lufttemperatur andere Beeinflussung erfährt, wie z. B. durch Klimatisierung.

**Luftfeuchtigkeit** - Die relative Luftfeuchtigkeit in Räumen ist besonders wichtig bei Kälte-dämmungen. Ist die Lufttemperatur in der Grenzschicht zum Rohr beziehungsweise zur Ummantelung geringer als die Umgebungstemperatur, so kann diese auch nur einen geringeren Teil an Wasserdampf aufnehmen. Übersteigt die relative Luftfeuchtigkeit 85 % müssen gesonderte Maßnahmen gegen Kondensation getroffen werden.

**Windgeschwindigkeit** - Herrscht ein Luftdurchzug im Raum, entsteht dadurch (erzwungene) Konvektion an den Oberflächen. Dies ist bei der Bewertung der Oberflächentemperatur zu berücksichtigen. Erzwungene Luftbewegungen können z. B. durch Lüftungsanlagen entstehen.

**„Aggressive“ Umgebung** - Sind Anlagenteile und deren Dämmungen z. B. chemisch aggressiven Dämpfen ausgesetzt, so ist dies in der Materialbeschaffenheit zu berücksichtigen.

**Anlagen im Freien** - Befindet sich die Anlage im Freien, ist zusätzlich besonders auf Witterungseinflüsse zu achten, die vom Ort der Installation abhängen.

**Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit** - Da die Umgebung im Freien ein offenes System ist, können keine „konstanten“ Zustandsgrößen festgestellt werden. Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit sind wetterbedingt. Generell können aber zur späteren energetischen Bewertung lokale Durchschnittswerte angesetzt werden.

**Witterungseinflüsse** - Je nach Installationsort ist die Anlage unterschiedlichen Witterungseinflüssen ausgesetzt. So ist z. B. eine überdachte Anlage vor Regen aber auch vor Schneelasten geschützt. Zusätzlich erfolgt keine Abstrahlung in einen kalten Nachthimmel, und die Anlage ist vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt. Außerdem kann der Installationsort windgeschützt sein.

### **7.2.3 Erstaufnahme und Hilfestellung zur Auswahl**

Da ein Auditor oft nicht die Möglichkeit hat, eine gesamte Anlage zu überprüfen, muss sich dieser auf die wesentlichen, typischen beziehungsweise auffallenden Anlagenteile beschränken. Um die Auswahl der Anlagenteile, welche einem qualitativen Audit unterzogen werden, zu erleichtern, wird ein Bogen zur Erstaufnahme zur Verfügung gestellt. Es werden fünf Kriterien abgefragt, die bei der Auswahl der Anlagenteile unterstützen.

#### **Fünf Kriterien zur Auswahlhilfe auffallender Anlagenteile:**

- Ungedämmte Anlagenteile
- Sichtbare Beschädigung der Oberfläche
- Höhere Umgebungstemperatur im Anlagenabschnitt
- Tauwasser an der Oberfläche
- „Auffallende“ Oberflächentemperatur

Diese Kriterien können auf einen unverhältnismäßigen Wärmeverlust deuten. Im Rahmen des qualitativen Audits werden diese näher behandelt.

**Aufnahme der betrachtungswürdigen Anlagenteile** - Anlagenteile, die einem Audit unterzogen werden sollen, können hier angeführt werden. Es wird zwischen drei Kategorien unterschieden, die auch parallel auftreten können.

**Wesentlich** - Wesentliche Anlagenteile verursachen einen großen Teil des Wärmeverlusts, oder die Dämmung ist aus Prozesssicht wichtig. Es kann sich z. B. um große Tanks handeln, aber auch um Rohrabschnitte mit hohen Temperaturen.

**Typisch** - Typische Anlagenteile sind repräsentativ für größere Anlagenabschnitte und kommen oft in ähnlicher Qualität vor wie z. B. Rohrabschnitte.

**Auffallend** - Auffallende Anlagenteile erfüllen meistens oben angeführte Kriterien zur Auswahlhilfe und bedürfen gesonderter Betrachtung.

#### 7.2.4 Art des Anlagenteils

Der wesentliche Teil des qualitativen Audits ist die Untersuchung und Beurteilung eines bestimmten Anlagenteils.

Art des Anlagenteils:

Es kann z. B. unterschieden werden zwischen:

- Rohrleitung
- Einbauteil
- Behälter (Tanks)
- Kessel

**Abschnitt der Anlage** - Je nachdem in welchem Abschnitt der Anlage sich der Anlagenteil befindet, können unterschiedliche Prozesszustände herrschen, z. B. können hier Angaben gemacht werden wie „vor dem Kessel“, „nach dem 1. Speicher“, „vor dem 2. Tank“ und so weiter.

**Prozessmedium** - Weiters ist das sich in der Anlage befindende Medium aufzunehmen (Wasser, Dampf, Luft, Öl und so weiter), welches aber in den verschiedenen Abschnitten variieren kann, z. B. wird in einem ORC-Prozess als Arbeitsmittel eine organische Flüssigkeit verwendet. Als Wärmequelle kann z. B. industrielle Abwärme dienen. Den wesentlichen Unterschied macht allerdings die Mediumstemperatur aus.

**Mediumstemperatur** - Nicht nur in den verschiedenen Anlagenteilen, sondern auch in den verschiedenen Abschnitten können unterschiedliche Temperaturen herrschen. Dies muss berücksichtigt werden.

#### 7.2.5 Zustand des Anlagenteils

**Dämmung vorhanden** - Es ist anzugeben, ob es sich um ein gedämmtes oder ungedämmtes Anlagenteil handelt. Auch bei einem ungedämmten Anlagenteil kann der Aufnahmebogen weiterverwendet werden.

**Korrosionsschutz erkennbar** - Ist keine Dämmung vorhanden, kann unter Umständen ein vorhandener Korrosionsschutz erkannt werden.

**Vollständigkeit** - Bei vorhandener Dämmung ist zuerst zu prüfen, ob diese auch vollständig ausgeführt ist. Ungedämmte Rohrabschlüsse und Einbauteile sind ebenso aufzunehmen!

### **Optischer Zustand**

#### **Schutz der Dämmung vorhanden**

Eine Dämmung kann entweder durch Ummantelung oder Beschichtung geschützt werden. Gewisse Dämmstoffe können auch unter Umständen ohne Oberflächenschutz auskommen.

Ein Oberflächenschutz wird vor allem im Arbeitsbereich vorgesehen.

**Oberflächenzustand** - Beschädigungen in der Ummantelung können auch eine Beschädigung der darunterliegenden Dämmung bedeuten. Auf Verbeulungen, Risse und Ähnliches ist zu achten.

Der Oberflächenzustand beeinflusst außerdem durch den Emissionsgrad die Oberflächentemperatur. Oxidation und Verstaubung erhöhen diesen, was zu einer niedrigeren Temperatur bei einem höheren Wärmeverlust führen kann.

**Feuchtigkeit an der Oberfläche** - Feuchtigkeit an der Oberfläche kann verschiedene Ursachen haben. Bei Kälte-dämmungen ist insbesondere auf Kondenswasser zu achten. In jedem Fall ist das Eindringen von Feuchtigkeit in den Dämmstoff zu verhindern. Dies kann bei bereits installierter Dämmung nur bedingt kontrolliert werden.

**Befestigung, Aufstellung und Montage** - Die Montage des Anlagenteils kann zu Wärmebrücken führen, wenn diese thermisch nicht entkoppelt sind, z. B. kann die Rohraufhängung an der Ummantelung oder direkt am Rohr befestigt sein. Letzteres stellt eine Wärmebrücke dar.



## **Oberflächentemperatur**

**Hinterlüftung** - Bevor die Oberflächentemperatur gemessen wird, muss überprüft werden, ob bei vorhandener Ummantelung diese hinterlüftet ist. Bei einem vorhandenen Luftspalt zwischen Dämmstoff und Ummantelung, der z. B. für Anlagen im Freien in der DIN 4140 empfohlen wird, verliert die Oberflächentemperatur der Ummantelung durch die Wärmeübertragungsmechanismen im Luftspalt weitestgehend an Aussagekraft.

**Wärmeein- oder abstrahlung** - Zusätzliche Wärmestrahlung auf die Oberfläche beeinflusst deren Temperatur. Generell zu beachten ist die Wärmestrahlung anderer betriebstechnischer Anlagen. Im Freien ist vor allem die Sonneneinstrahlung zu achten, aber auch die Abstrahlung in den kalten Nachthimmel.

**Oberflächentemperatur** - Wie weiter oben beschrieben, ist die Oberflächentemperatur alleine kein Maßstab für die Qualität einer Dämmung. Allerdings kann sie als Vergleichswert eine qualitative Beurteilung zulassen.

**Lokale Temperaturspitzen** - Lokale Temperaturspitzen an der Ummantelung können ein Hinweis auf mangelhafte oder beschädigte Dämmung sein oder auf Wärmebrücken hinweisen. Auszuschließen sind dabei aber Wärmeübertragungsmechanismen von außen, Verschmutzungen an der Oberfläche und Reflexionen.

**Vergleich mit gleichwertigen Anlagenteilen** - Der Vergleich der Oberflächentemperaturen gleichwertiger Anlagenteile kann Rückschlüsse auf die Dämmqualität ermöglichen. Hierbei ist sowohl auf die Umgebungsbedingungen als auch auf den Zustand des Prozessmediums zu achten. Bei den verglichenen Anlagenteilen müssen auch sie gleich beziehungsweise vergleichbar sein.

## **7.2.6 Ausführungsanforderungen nach DIN 4140**

Hierzu zählen:

- Allgemeines (Vermeidung von Wärmebrücken)
- Verminderung von Konvektion
- Schutz gegen Durchfeuchten
- Ableitung von Kondensat
- Beachtung thermischer Längenänderungen

- Berücksichtigung von Witterungslasten
- Berührungsschutz
- Korrosionsschutz

Die genauere Ausführung befindet sich im entsprechenden Kapitel 4.5

## 7.3 Quantitatives Audit

Bei dem quantitativen Audit erfolgt die Ermittlung von Wärmeverlusten beziehungsweise Wärmeeinträgen. Ein vorheriges qualitatives Audit hilft Anlagenteile zu identifizieren, welche genauer betrachtet werden sollen. Auch hier gibt es einen Erhebungsbogen, der die Aufnahme der Parameter für eine Berechnung erleichtert. Zum einen kann diese Berechnung anschließend vom Auditor oder der Auditorin selbst mittels Software oder per Hand durchgeführt werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Übermittlung der Daten an ein Planungsbüro beziehungsweise an das auditierte Unternehmen selbst.

### 7.3.1 Aufnahme der Parameter

Einer der ersten Punkte, sobald ein Einsparpotenzial erkannt wurde, ist die Aufnahme der jeweiligen Anlage.

**Technische Parameter** - Wesentliche Elemente zur Aufnahme umfassen (Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH, 2012):

- Material, Lieferform und Isolierdicke bestehender Dämmstoffe
- Art der Ummantelung des Dämmstoffs
- Umgebungstemperatur (Leitungen im Gebäude oder im Freien)
- Temperatur und Aggregatzustand des Mediums in der Rohrleitung
- Oberflächentemperatur Rohrleitungen, Bauteile und Auflager/Abhängungen
- Länge, Nennweite und Dämmstandard der Rohrleitungen
- Anzahl und Material der Auflager und Abhängungen
- Anzahl, Nennweite und Dämmstandard sämtlicher Bauteile

Im Anhang befindet sich der Aufnahmebogen für technische Parameter. Deren Verwendung zur Ermittlung des Wärmeverlusts wird im Kapitel 5 beschrieben.

**Wirtschaftliche Parameter** - Im Anhang befindet sich außerdem ein Aufnahmebogen für wirtschaftliche Parameter.

Wirtschaftliche Parameter umfassen beispielhaft

Tabelle 28: Beispielhafte Parameter für Wirtschaftlichkeitsrechnung

Parameter	Beispiele
Nutzungsdauer	10 Jahre
Betriebsstunden	8.000 h (Prozesswärme), 5.000 h (Heizwärme)
Brennstoffbezugskosten	4 Cent/kWh
Wirkungsgrad Kessel	85 %
Preissteigerung Brennstoff	0 bis 3 %
Brennstoff	Erdgas
Zertifikatskosten (falls relevant)	Nicht angegeben

Quelle: Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH, 2012

### 7.3.2 Möglichkeiten zur Berechnung des Wärmeverlusts beziehungsweise des Wärmeeintrags

Mit den aufgenommenen Parametern kann eine Berechnung des Wärmeverlusts beziehungsweise des Wärmeeintrags erfolgen. Je nach Aufgabenstellung, erwartete Einsparung, erforderliche Genauigkeit, Unsicherheit und so weiter können unterschiedliche aufwendige Berechnungsmethoden angewandt werden. Generell ist anzumerken, dass für eine genaue Berechnung sehr viele Einflussfaktoren zu bewerten sind.

Zunächst ist immer der Wärmeverlust der bestehenden Situation zu bewerten, das heißt z. B. ungedämmte Bauteile und Rohrleitungen. Dazu sind die Oberflächentemperatur und Fläche zu bestimmen.

**Bestimmung der Oberflächentemperatur** - Hierzu ist es sinnvoll die Oberflächentemperatur zu **messen** (siehe Kapitel Messung). Zur Ermittlung der Bereiche mit höheren Temperaturen empfiehlt sich z. B. die Verwendung einer Infrarotmesspistole

oder Thermobildkamera, dabei sind auf Messbereiche und Emissionsgrade zu achten. Die damit verbundenen Unsicherheiten siehe Kapitel Messung. Zur genauen Ermittlung der Temperatur sind Kontaktthermometer zu empfehlen.

Die **Berechnung** der Wärmeverluste nicht gedämmter Rohre ist wegen der nur näherungsweise bestimmbarer Oberflächentemperatur schwierig, da diese vom inneren Wärmeübergang beeinflusst wird.

- Für Wasser und Sattedampf beträgt der innere Wärmeübergangskoeffizient  $1.200 \text{ W/m}^2\text{K}$ , daher rechnet man mit Mediumstemperatur gleich Oberflächentemperatur.
- Für überhitzten Wasserdampf beträgt die Oberflächentemperatur in Abhängigkeit von Dampfdruck, Dampftemperatur und Dampfgeschwindigkeit 80 % bis 99 % der Mediumstemperatur (Wossog, 2002, Seite 85).

**Bestimmung der Oberfläche und Rohrleitungslänge** - Für die Ermittlung der Gesamtwärmeverluste werden Leitungslängen und Anzahl der Bauteile erfasst.

Für jede Dimensionierung ist die Länge der Rohre in m, Anzahl der Armaturen (groß oder klein), Pumpen und Flansche zu erheben. Falls genauere Bewertung erwünscht, sind auch Auflager und Abhängungen aufzunehmen (dies ist aber auch abhängig von der Bewertungsmöglichkeit).

Der größte Anteil der Gesamtlänge der Rohre machen in Betrieben die Nennweiten bis DN 65 zur Raumwärmeverteilung aus. Nennweiten über DN 200 kommen nur in sehr großen Betrieben vor (Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH, 2012).

Im Anhang „Mustervorlagen für Audits zur Technischen Isolierung“ finden Sie unter Punkt 1.6 einen Aufnahmebogen für Rohrnetze für ein quantitatives Audit, indem Sie die notwendigen Daten eintragen können. Bei Betrieben mit einem sehr hohen Anteil an gedämmten Rohren ist der Anteil ungedämmter Rohre circa 0,5 % bis 2 %, bei Betrieben oder Bereichen mit einem hohen Anteil ungedämmter Rohre beträgt dieser Wert bis zu 4 %.

Bei Bauteilen ist die Dämmung normalerweise geringer, der Anteil ungedämmter Bauteile liegt zwischen 5 % und 50 %. Dies ist abhängig vom Alter der Anlage und vom Temperaturniveau. In neuen Heiz- und Kältezentralen werden normalerweise auch die

meisten Bauteile gedämmt, Der Anteil der Dämmung im Dampfbereich liegt in manchen Betrieben über jenen im Raumwärmebereich (Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH, 2012, Seite 18).

**Berechnung Wärmeverlust** - Hierzu gibt es verschiedene Möglichkeiten, die alternativ oder ergänzend angewandt werden können.

**Kalkulation mit Tabellen und Grafiken** - Anhand publizierter Tabellen und Grafiken zu Wärmeverlusten lassen sich Wärmeverluste rasch bestimmen. Als Quelle können z. B. energietechnische Arbeitsblätter von der VDI Gesellschaft Energietechnik verwendet werden. Im Anhang befinden sich einige andere öffentlich verfügbare Beispiele.

Der Vorteil liegt in der raschen Anwendbarkeit und es sind eigentlich meist nur Informationen zu Nenngrößen, Rohrlänge beziehungsweise Fläche, Mediumtemperatur und Dämmdicke erforderlich.

Um Grafiken und Tabellen zu generieren, müssen einige Parameter (z. B. Temperaturdifferenzen, Windgeschwindigkeiten, Mediumtemperatur) fixiert werden. Daher können diese Tabellen und Grafiken dann auch nur in den Fällen mit diesen Parametern angewandt werden. Obwohl diese Werte also nicht in eine weiterführende Berechnung eingehen, müssen sie dennoch aufgenommen werden (z. B. Raumtemperatur, Windgeschwindigkeit)!

### **Kalkulationsprogramme**

Die in der Praxis von Dämmunternehmen und Planern am häufigsten angewandte Methode der Wärmeverlustberechnung ist jene über Softwareprogramme.

Die meisten Softwareprogramme sind so aufgebaut, dass unterschiedliche Detailstufen erhältlich sind beziehungsweise innerhalb eines Programms unterschiedliche Detailtiefen angegeben werden können. Daher ist es natürlich sinnvoll, sich vor dem Vor-Ort-Termin bereits einen Überblick über die erforderlichen Parameter zu verschaffen. Die am häufigsten verwendeten finden sich auch in den Erhebungsbögen in diesem Leitfaden.

## Beispiele für Kalkulationsprogramme

Unabhängige, kostenpflichtige Programme:

ISO WTC: [isowtc.com/de/](http://isowtc.com/de/) (im Expertenprogramm ist auch die VDI 4610 bereits enthalten)

Frei verfügbare Programme:

Wärmeberechnung einer isolierten Rohrleitung

[schweizer-fn.de/berechnung/waerme/rohrisol/rohrisol\\_start.php](http://schweizer-fn.de/berechnung/waerme/rohrisol/rohrisol_start.php)

Berechnung von Wärmeverlusten einer Dampfleitung in Abhängigkeit der Dämmung

[tlv.com/global/DE/calculator/condensate-load-radiant-heat-loss.html](http://tlv.com/global/DE/calculator/condensate-load-radiant-heat-loss.html)

Programme von Dämmstoff-Herstellern:

Namhafte Hersteller von Dämmprodukten bieten, meistens online, Rechner für die Ermittlung des Wärmeverlusts beziehungsweise des Wärmeeintrags, insbesondere nach Dämmung an, z. B. (Stand 14.9.2017):

- Armacell [armwin.armacell.com/](http://armwin.armacell.com/)
- Knauf [exper-tek.online/exper-tek.online/](http://exper-tek.online/exper-tek.online/)
- Rockwool [rockassist.com/](http://rockassist.com/)
- Kaimann [kaicalc.de/](http://kaicalc.de/)

Diese Programme enthalten meist auch einen Zugriff auf Datenbanken zu Dämmmaterialien, die aber natürlich auf den jeweiligen Hersteller beschränkt sind. Um die Berechnung z. B. auch für andere Wärmeleitfähigkeiten zu verwenden, müssen ähnliche Produkte ausgewählt werden. Meist wird außerdem der Vergleich zur ungedämmten Variante dargestellt, diese kann also nicht direkt berechnet werden.

Programme von Komponenten-Herstellern:

Auch Anbieter von Komponenten bieten Unterlagen zur Bewertung von Wärmeverlusten an (z. B. Dampfleitungen)

**Kalkulation mit Formeln** - Für die Berechnung von Wärmeverlusten können Formeln aus der Literatur und aus den Normen (im deutschen Sprachraum VDI 2055) verwendet

werden. Die VDI 2055 enthält allerdings keine Informationen zu Wärmeverlusten von Flaschen, Ventilen und so weiter. Diese können der VDI 4610, Blatt 1 und Blatt 2 entnommen werden.

**Berechnung über Energiebilanzen** - Entsprechend Kapitel 5 kann der Wärmeverlust berechnet werden. Wie auch dort angeführt wird, kann eine Energiebilanz aufgestellt werden.

### **7.3.3 Wirtschaftlichkeitsberechnung**

Viele Software-Produkte für Dämmsysteme betrachten auch Wirtschaftlichkeitsaspekte. Generell kann z. B. die Berechnung wie in Kapitel Wirtschaftlichkeit und Kosten angeführt erfolgen.

# 8 Normen, Richtlinien, Arbeitsblätter

Dieses Kapitel listet zunächst wichtige Normen zu Dämmarbeiten in betriebs- und haustechnischen Anlagen in Österreich und Deutschland auf.

In weiterer Folge sind Arbeitsblätter der Arbeitsgemeinschaft Industriebau e.V. (AGI) in Deutschland und „Technische Briefe“ der technischen Bundesfachabteilung für Wärme-, Kälte-, Schall- und Brandschutz (BFA WKSB) angeführt.

ÖNORM B 2260 Wärme-, Kälte-, Schall- und Branddämmarbeiten an betriebs- und haustechnischen Anlagen - Werkvertragsnormen

Diese ÖNORM enthält Verfahrens- und Vertragsbestimmungen für die Ausführung von Wärme-, Kälte-, Schall- und Branddämmarbeiten an betriebs- und haustechnischen Anlagen wie z. B. Industrieanlagen, Heizungs-, Lüftungs- und Sanitäreanlagen sowie Kälteanlagen.

ÖNORM H 5155 Wärmedämmung von Rohrleitungen und Komponenten in haustechnischen Anlagen

Diese ÖNORM ist für die Wärmedämmung von allen Bauteilen von Heizungsanlagen und Trinkwasser-Erwärmungsanlagen anzuwenden, deren Wärmeabgabeleistung nicht zur Abdeckung einer Raumheizlast, einer Warmwasserheizlast oder einer Prozessheizlast dient. Sie ist nicht für Fernwärmeleitungen, Kühlwasserleitungen, Bauteile von thermischen Solaranlagen im Solarkreislauf, verlegte Rohrleitungen und deren Bauteile im Freibereich anzuwenden.

DIN 4140 Dämmarbeiten an betriebstechnischen Anlagen in der Industrie und in der technischen Gebäudeausrüstung – Ausführung von Wärme- und Kälteedämmungen

Diese Norm gilt für Dämmarbeiten an betriebstechnischen Anlagen in der Industrie und in der technischen Gebäudeausrüstung. Das sind Produktions- und Verteilungsanlagen, zum Beispiel Apparate, Behälter, Kolonnen, Tanks, Dampferzeuger, Rohrleitungen, Heizungs- und Lüftungs-, Klima-, Kalt- und Warmwasseranlagen. Bei Vorliegen brandschutztechnischer oder auch schallschutztechnischer Anforderungen (TA Lärm) sind die einschlägigen Normen (siehe Abschnitt 2) beziehungsweise Verwendbarkeitsnachweise zu beachten.



VDI 2055 Blatt 1 Wärme- und Kälteschutz von betriebstechnischen Anlagen in der Industrie und in der Technischen Gebäudeausrüstung – Berechnungsgrundlagen  
Die Richtlinie legt Berechnungsverfahren zur Bestimmung von Wärme- und Wasserdampfdiffusionsströmungen in Dämmstoffen sowie von Dämmschichtdicken nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten fest. Der Geltungsbereich bezieht sich auf betriebstechnische Anlagen in der Industrie und der Technischen Gebäudeausrüstung. Dazu enthält die Richtlinie Methoden zur Bestimmung der Betriebswärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen unter betrieblichen Bedingungen. Sie umfassen die Einflüsse von Temperatur, Feuchte, Konvektion, Dicke sowie dämmtechnisch bedingte Wärmebrücken.

VDI 2055 Blatt 3 Wärme- und Kälteschutz von betriebstechnischen Anlagen in der Industrie und in der Technischen Gebäudeausrüstung – Technische Grundlagen zur Überprüfung der wärmetechnischen Eigenschaften von Dämmsystemen, Ermittlung von Gesamtwärmeverlusten  
Die Richtlinie behandelt den Wärme- und Kälteschutz von Rohrleitungen, Kanälen, Behältern, Apparaten und Maschinen sowie an Kühlhäusern. Gegenstand sind die technischen Grundlagen zur messtechnischen Nachprüfung der zwischen Dämmunternehmen und Auftraggeber vertraglich vereinbarten wärmeschutztechnischen Größen (z. B. Wärmestromdichten und Oberflächentemperaturen) von Dämmungen an betriebstechnischen Anlagen in der Industrie und in der Technischen Gebäudeausrüstung. Zusätzlich werden Verfahren zur Bestimmung des Gesamtwärmeverlustes von Anlagen vorgeschlagen. Der Gesamtwärmeverlust ist für die Beurteilung der Energieeffizienz von betriebstechnischen Anlagen von Bedeutung.

ÖNORM EN ISO 12241 Wärmedämmung an haus- und betriebstechnischen Anlagen – Berechnungsregeln  
Diese Internationale Norm enthält Regeln zur Berechnung der mit dem Wärmetransport im Zusammenhang stehenden Eigenschaften von haus- und betriebstechnischen Anlagen, überwiegend unter stationären Bedingungen. Diese Internationale Norm liefert auch eine vereinfachte Herangehensweise für die Behandlung von Wärmebrücken.

VDI 4610 Blatt 1, Blatt 2 Energieeffizienz betriebstechnischer Anlagen; Wärme- und Kälteschutz / Wärmebrückenkatalog  
Die Richtlinien VDI 4610 Blatt 1 und Blatt 2 gehen über die VDI 2055 hinaus indem sie Methoden für einen ganzheitlichen Ansatz zur energieeffizienten, ressourcenschonenden und wirtschaftlichen Bauteil- und Anlagendämmung vorstellen. Sie behandeln nicht nur die Dämmsysteme von Rohrleitungen oder Wänden, sondern die Dämmung der gesamten

Anlage einschließlich aller Komponenten und Bauteile. Darüber hinaus erfassen sie den Gesamtwärmeverlust aller wärmeabgebenden Bauteile. Dies ermöglicht einerseits eine Bewertung der Dämmleistung und regt andererseits den Planer der Anlage an, alle Bauteile wärmeschutztechnisch zu optimieren. Als Kenngröße dient der spezifische Wärmeverluststrom, der vor allem bei bestehenden Anlagen wesentlich ist. Dieser kann als pragmatische Bewertungskennzahl herangezogen werden. Ins Verhältnis zur Wärmestromdichte gesetzt zeigt er das Potential auf, das über ungedämmte Objektwände oder sonstige anlagenbedingte Wärmebrücken verloren geht. Der Wärmeverluststrom bildet die Grundlage, auf der die Wirksamkeit einer Maßnahme hinsichtlich der Energieeinsparung bewertet werden kann. Er muss vor und nach einer Maßnahme verglichen werden.

Die Arbeitsgemeinschaft Industriebau e.V. (AGI) in Deutschland veröffentlichte folgende Arbeitsblätter zum Thema Dämmung.

AGI Arbeitsblätter:

Q 03 Ausführung von Wärme- und Kälte­dämmungen – Dämmarbeiten an betriebstechnischen Anlagen

Q 05 Konstruktion betriebstechnischer Anlagen - Grundlagen, Planung, Anforderungen an die Schnittstellen zwischen Anlagenteilen und Dämmung

Q 101 Dämmarbeiten an Kraftwerkskomponenten – Ausführung

Q 103 Dämmarbeiten an betriebstechnischen Anlagen – Elektrische Begleit­heizungen

Q 104 Dämmarbeiten an betriebstechnischen Anlagen – Begleit­heizsysteme mit Wärmeträgern

Q 132 Mineralwolle als Dämmstoff für betriebstechnische Anlagen

Q 151 Dämmarbeiten - Korrosionsschutz bei Wärme- und Kälte­dämmungen an betriebstechnischen Anlagen

Q 152 Dämmarbeiten an betriebstechnischen Anlagen - Schutz gegen Durchfeuchtung

Q 153 Dämmarbeiten an betriebstechnischen Anlagen - Halterungen für Tragkonstruktionen

Q 154 Dämmarbeiten an betriebstechnischen Anlagen – Tragkonstruktionen

Die Technische Bundesfachabteilung für Wärme-, Kälte-, Schall- und Brandschutz des Hauptverbandes der Deutschen Bauindustrie veröffentlichte folgende „Technische Briefe“.

BFA WKSB Technische Briefe:

Nr. 3 Verhinderung von Korrosion

Nr. 5 Zur Problematik der Gewährleistung von Oberflächentemperaturen

Nr. 6. Hohe Rentabilität bei umweltgerechten Isolierschichtendecken

Nr. 7 Grundlagen der Kälteisolierung

Nr. 8 Auslegung der Kälteisolierung zur Tauwassererhütung auf der Oberfläche

Nr. 9 Messverfahren

Nr. 10 Messstellen für thermische Messungen

Nr. 11 Feuchte in Dämmsystemen

Nr. 13 Spezifikationen für Dämmarbeiten

Nr. 14 Energieeffizienz im Anlagenbau – Aspekte nachhaltigen Dämmens

# 9 Emissionsgrade verschiedener Oberflächen

Tabelle 29: Emissionsgrade  $\varepsilon$  verschiedener Oberflächen von Dämmsystemen bei Temperaturen zwischen 0 und 200 °C

Oberflächen von Dämmsystemen	Emissionsgrad
Aluminiumfolie, blank	0,05
Aluminium, walzblank	0,05
Aluminium, oxidiert	0,13
Stahl, verzinkt, blank	0,26
Stahl, verzinkt, angestaubt	0,44
Stahl, nichtrostend, austenitisch	0,15
Alu-Zink, glatt	0,16
Alu-Zink, glatt, leicht oxidiert	0,18
Blech, farbbeschichtet	0,90
Schaumglas	0,90
Elastomerschaumstoff	0,93
Kunststoffummantelung	0,90

Quelle: Auszug aus VDI 2055-1

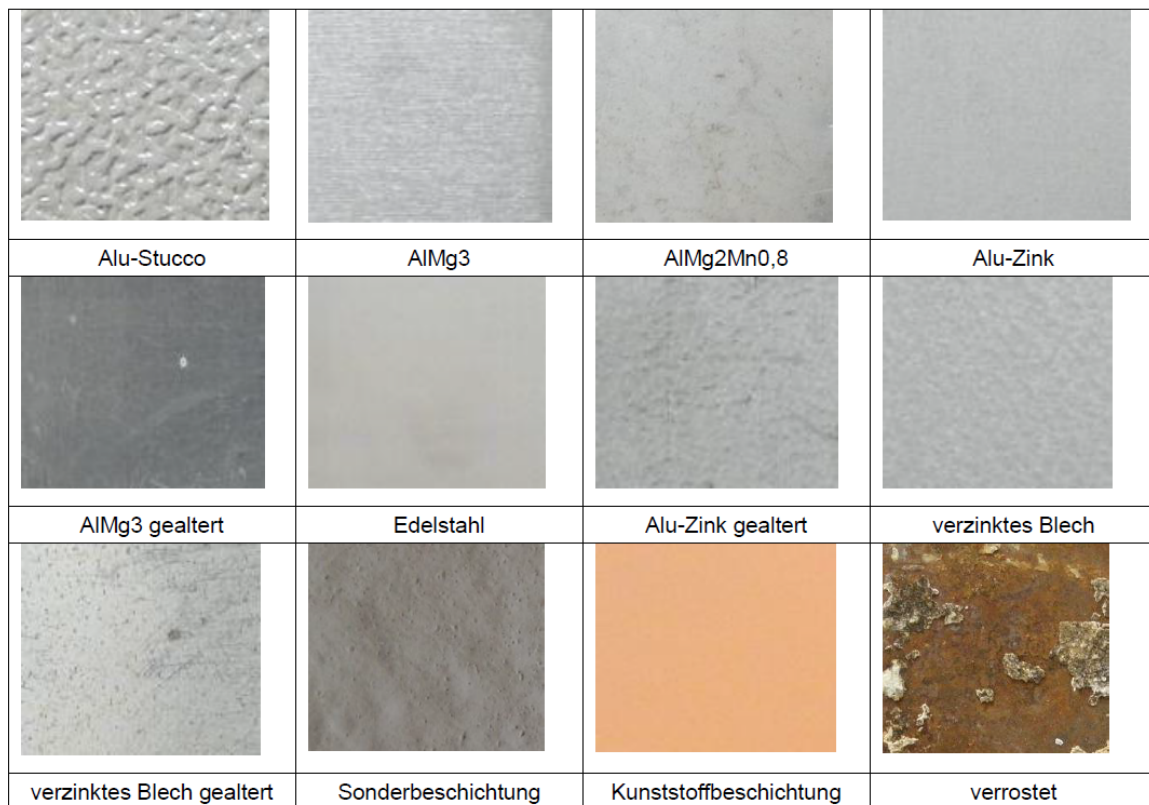
Tabelle 30: Emissionsgrade verschiedener Oberflächen

Oberflächen von Dämmsystemen	Emissionsgrad
Alu Stucco	0,03
Aluminium (AlMg3, AlMg2Mn0,8)	0,04-0,07 (gealtert)
Alu-Zink	0,06
Edelstahl	0,1-0,15

Oberflächen von Dämmsystemen	Emissionsgrad
Nichtrostendes austenitisches Blech	0,1-0,15
Verzinktes Stahlblech	0,29-0,31 (0,32 gealtert)
Kunststoffbeschichtetes Blech	0,9
Farbbeschichtetes Blech	0,9
Schaumglas Elastomerschaufstoff	0,9
Kunststoffummantelung	0,9
Rost	0,9

Quelle: Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V., 2012

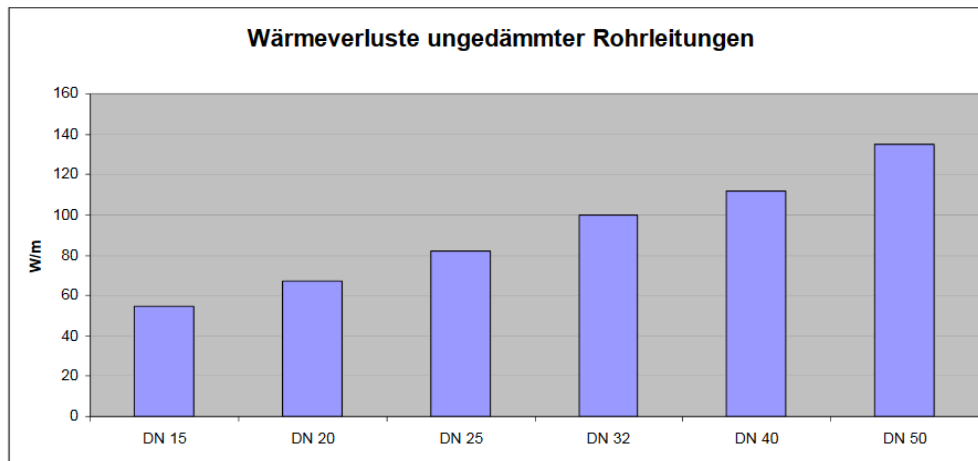
Abbildung 4: Fotos betrachteter Bleche



Quelle: Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V., 2012

# 10 Abbildungen zu Wärmeverlusten von Rohren, Flanschen und Armaturen

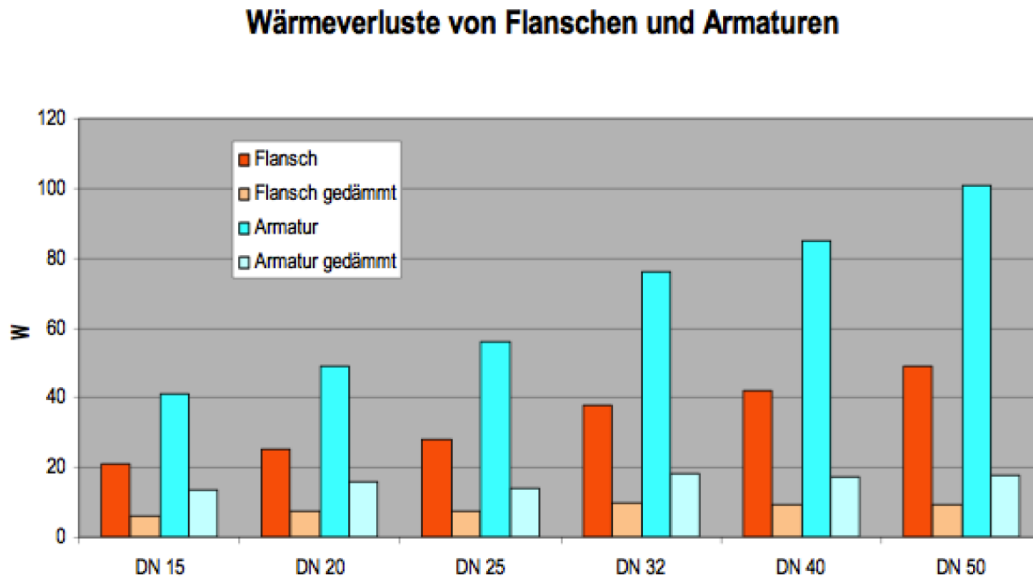
Abbildung 5: Wärmeverluste ungedämmter Rohrleitungen



Lufttemperatur 20 °C  
Windgeschwindigkeit 0 m/s  
Emissionsgrad der ungedämmten Oberflächen 0,75  
Mediumtemperatur 80 °C

Quelle: Alberti, 2012

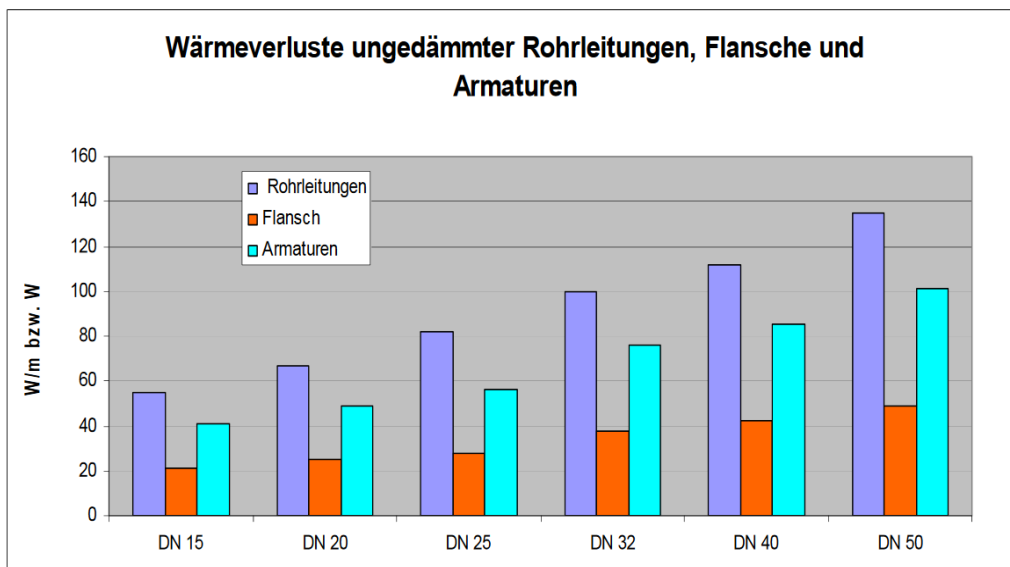
Abbildung 6: Wärmeverluste von Flanschen und Armaturen



Mittlere Temperaturdifferenz nicht differenziert

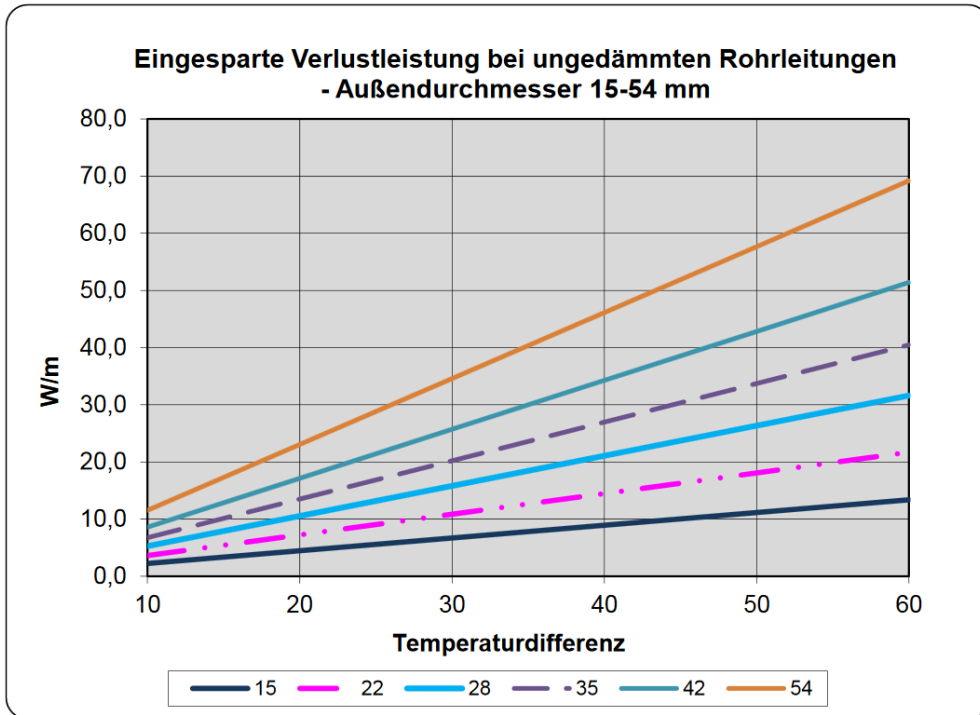
Quelle: EMN, 2017, nach [fiw-muenchen.de](http://fiw-muenchen.de), Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München

Abbildung 7: Wärmeverluste ungedämmter Rohrleitungen, Flansche und Armaturen



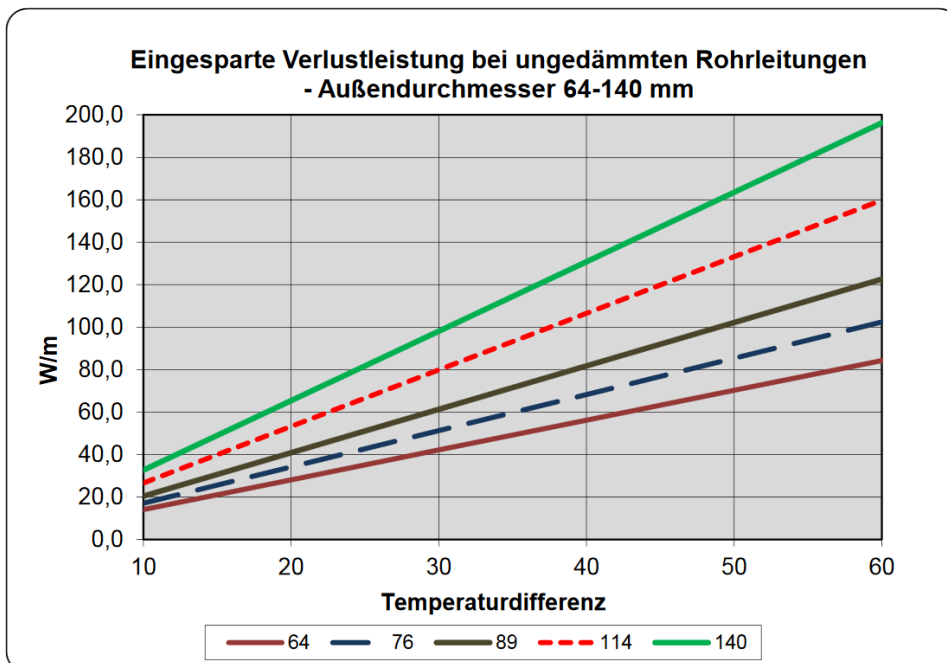
Quelle: Alberti, 2012

Abbildung 8: Eingesparte Verlustleistung bei ungedämmten Rohrleitungen



Quelle: EMN, 2017

Abbildung 9: Eingesparte Verlustleistung bei ungedämmten Rohrleitungen





Quelle: EMN, 2017

Die in Abbildung 8 und Abbildung 9 dargestellten Einsparungen durch Dämmung von ungedämmten Rohrleitungen ergeben sich durch eine Dämmung mit Dämmstoff. Wärmeleitfähigkeit = 0,035 W/mK, mit einer Dämmstärke aus der folgenden Tabelle.

Tabelle 31: Anforderungen an Dämmdicken aus der ENEV in Deutschland

<b>Art von Leitungen oder Armaturen</b>	<b>Mindestdicke der Dämmschicht, bezogen auf eine Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/(m·K)</b>
<b>Innendurchmesser bis 22 mm</b>	20 mm
<b>Innendurchmesser über 22 mm bis 35 mm</b>	30 mm
<b>Innendurchmesser über 35 mm bis 100 mm</b>	gleich Innendurchmesser

Quelle: [enev-](http://enev-online.com/enev_2014_volltext/anlage_05_anforderungen_waermedaemmung_rohrleitungen_armaturen.htm)

[online.com/enev\\_2014\\_volltext/anlage\\_05\\_anforderungen\\_waermedaemmung\\_rohrleitungen\\_armaturen.htm](http://enev-online.com/enev_2014_volltext/anlage_05_anforderungen_waermedaemmung_rohrleitungen_armaturen.htm)

# 11 Erhebungsblätter für Audits

Im Anhang „Mustervorlagen für Audits zur Technischen Isolierung“ finden Sie unter Punkt 1.1 eine Excel-Vorlage, die Sie zur Erhebung der notwendigen Daten für die technische Isolierung verwenden können.

# 12 Über klimaktiv

klima**aktiv** ist die Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Seit 2004 bietet sie in den Themenschwerpunkten „Bauen und Sanieren“, „Energiesparen“, „Erneuerbare Energie“ und „Mobilität“ ein umfassendes, ständig wachsendes Spektrum an Information, Beratung sowie Weiterbildung und setzt Standards, die international Vorbildcharakter haben.

klima**aktiv** zeigt, dass jede Tat zählt: jede und jeder in Kommunen, Unternehmen, Vereinen und Haushalten kann einen aktiven Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten. Damit trägt die Initiative zur Umsetzung des nationalen Energie- und Klimaplanes (NEKP) für Österreich bei. Näheres unter [klimaaktiv.at](http://klimaaktiv.at)

Das klima**aktiv** Programm Energieeffiziente Betriebe setzt gezielt Impulse zur Erhöhung der Energieeffizienz in österreichischen Produktions- und Gewerbebetrieben und unterstützt diese auf Ihrem Weg in Richtung Klimaneutralität. Informationen, Angebote und Good Practice Beispiele von umgesetzten Maßnahmen finden Sie unter [klimaaktiv.at/effizienz](http://klimaaktiv.at/effizienz)

## Kontakt

Strategische Gesamtsteuerung klima**aktiv**

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Stabsstelle Dialog für Energiewende und Klimaschutz

Stubenbastei 5, 1010 Wien

Programmmanagement klima**aktiv** Energieeffiziente Betriebe

Österreichische Energieagentur

Petra Lackner

[eebetriebe@energyagency.at](mailto:eebetriebe@energyagency.at)

[klimaaktiv.at/effizienz](http://klimaaktiv.at/effizienz)

## Formelverzeichnis

Formel 1: Wärmeleitung einer ebenen Wand mit unterschiedlichen Oberflächentemperaturen .....	13
Formel 2: Wärmeübergang von einer Hauswand an die Umgebungsluft .....	14
Formel 3: Umwandlung von Strahlungsenergie in innere Energie .....	15
Formel 4: Mitteltemperatur .....	18
Formel 5: Differenz zwischen Oberflächen- und Lufttemperatur.....	36
Formel 6: Wärmestromdichte.....	44
Formel 7: Näherungsgleichungen .....	44
Formel 8: Gesamtwärmeübergangskoeffizient Waagrechtes Rohr.....	45
Formel 9: Gesamtwärmeübergangskoeffizient senkrechtes Rohr oder senkrechte Wand .....	45
Formel 10: Beispiel zur Berechnung.....	46
Formel 11: Wärmeverlustberechnung.....	46
Formel 12: Gesamtwärmeübergangskoeffizient.....	46
Formel 13: Strahlungsanteil .....	46
Formel 14: Konvektiver Wärmeübergangskoeffizient .....	47
Formel 15: Erzwungene Konvektion für ein querangeströmtes Rohr .....	47
Formel 16: Erzwungene Konvektion für eine längsangeströmte Platte .....	48
Formel 17: Überlagerung von freier und erzwungener Konvektion.....	48
Formel 18: Vereinfacht Formel für gedämmte und ungedämmte Rohre.....	48
Formel 19: Wärmeverlust bei gedämmten Materialien .....	49
Formel 20: Wärmeübergangskoeffizienten für Rohre beziehungsweise für eine Wand ....	49
Formel 21: Wärmedurchgang durch eine Rohrwand und Dämmmaterial .....	50
Formel 22: Wärmedurchgang durch eine Wand und Dämmmaterial .....	50
Formel 23: Oberflächentemperatur gedämmter Rohrleitungen nach VDI 2055 .....	50
Formel 24: Oberflächentemperatur gedämmter Rohrleitungen nach Wossog .....	50
Formel 25: Oberflächentemperatur bei gedämmter Wand .....	51
Formel 26: Bestimmung der Mitteltemperatur in Bezug zur Oberflächentemperatur.....	54
Formel 27: Berechnung des Wärmedurchlasswiderstandes (Rohr) .....	55
Formel 28: Freie Konvektion und äußerer Wärmeübergangskoeffizient .....	55
Formel 29: Berechnung der Abstrahlung.....	55
Formel 30: Gesamtwärmeübergangskoeffizient.....	56
Formel 31: Wärmedurchgangskoeffizient.....	56
Formel 32: Wärmestromdichte.....	56
Formel 33: Oberflächentemperatur (Rohr).....	56
Formel 34: Iterationsschritte.....	57

Formel 35: Zielwertfunktion für die zu erreichende Oberflächentemperatur .....	58
Formel 36: Dämmschichtdicke für eine ebene Wand.....	59
Formel 37: Dämmschichtdicke für eine Rohrleitung .....	59
Formel 38: Jährliche Gesamtkosten .....	62
Formel 39: Kapitaldienstfaktor.....	63
Formel 40: Kapitalrückflusszeit .....	63
Formel 41: Ersparnisse .....	63
Formel 42: Energiebilanz bei Rohrleitungen .....	67
Formel 43: Energiebilanz bei Behältern .....	67

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Überblick Dämmstoffe, Anwendungsgrenzen und Wärmeleitfähigkeit .....	20
Tabelle 2: Kälte­dämmstoffe, Temperaturbereiche.....	24
Tabelle 3: Dampfdiffusionsbremsen .....	27
Tabelle 4: Einfluss der Windgeschwindigkeit auf Oberflächentemperatur.....	35
Tabelle 5: Außendurchmesser und Oberfläche von Stahlrohren in Normalwanddicke von Dampfleitungen.....	37
Tabelle 6: Außendurchmesser und Oberfläche von Kupferrohren.....	37
Tabelle 7: Emissionsgrade $\epsilon$ verschiedener Oberflächen von Dämmsystemen .....	38
Tabelle 8: Beispiel Tabelle .....	39
Tabelle 9: Beispiel Tabelle .....	39
Tabelle 10: Gegebene Parameter - Medium.....	39
Tabelle 11: Gegebene Parameter - Anlagenteil .....	40
Tabelle 12: Gegebene Parameter - Rohr .....	40
Tabelle 13: Gegebene Parameter - Wand .....	40
Tabelle 14: Zu berechnende Parameter - Zwischenergebnisse .....	40
Tabelle 15: Zu berechnende Parameter - Rohr .....	41
Tabelle 16: Zu berechnende Parameter - Wand .....	41
Tabelle 17: Zu berechnende Parameter - Ergebnisse .....	41
Tabelle 18: Berechnung von Wärmeverlusten.....	42
Tabelle 19: Anhaltswerte für A und B bei verschiedenen Mineraloberflächen.....	45
Tabelle 20: Beispiel-Tabelle.....	52
Tabelle 21: Mindest­dämmschicht­dicken für Leitungen und Armaturen nach OIB-RL 6 .....	60
Tabelle 22: Mindest­dämmdicken in mm.....	60
Tabelle 23: Mindest­dämmdicken in mm.....	61
Tabelle 24: Vergleich von Wärmeverlusten und Oberflächentemperatur einer Rohrleitung nach Dämmdicke .....	61
Tabelle 25: Beispielhafte Berechnung der Investitionskosten.....	64
Tabelle 26: Beispielhafte Berechnung der Wärmeverlustkosten .....	64
Tabelle 27: Ergebnis zur Wirtschaftlichkeit.....	65
Tabelle 28: Beispielhafte Parameter für Wirtschaftlichkeitsrechnung.....	83
Tabelle 29: Emissionsgrade $\epsilon$ verschiedener Oberflächen von Dämmsystemen bei Temperaturen zwischen 0 und 200 °C .....	92
Tabelle 30: Emissionsgrade verschiedener Oberflächen .....	92
Tabelle 31: Anforderungen an Dämmdicken aus der ENEC in Deutschland.....	97

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wärmeverluste für Oberflächen bei Umgebungstemperatur von 20 °C.....	43
Abbildung 2: Kumulierte Kosten unterschiedlicher Dämmstärken bei Dämmung ungedämmter Rohre .....	65
Abbildung 3: Kumulierte Kosten unterschiedlicher Dämmstärken bei Dämmung ungedämmter Rohre und im Vergleich zu bestehender Dämmung .....	66
Abbildung 4: Fotos betrachteter Bleche .....	93
Abbildung 5: Wärmeverluste ungedämmter Rohrleitungen .....	94
Abbildung 6: Wärmeverluste von Flanschen und Armaturen .....	95
Abbildung 7: Wärmeverluste ungedämmter Rohrleitungen, Flansche und Armaturen .....	95
Abbildung 8: Eingesparte Verlustleistung bei ungedämmten Rohrleitungen .....	96
Abbildung 9: Eingesparte Verlustleistung bei ungedämmten Rohrleitungen .....	96





## Literaturverzeichnis

**AGI:** Q 123, Mineralwolle als Dämmstoff für betriebstechnische Anlagen, 2006

**Alberti, Ralph:** Beitrag der Wärmeverluste von Heizungsanlagen zum Heizenergiebedarf, Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V., Wärmeschutztag, 2012

**Baehr, H. D., Stephan, K.:** Wärme- und Stoffübertragung, 15. Auflage, 7. Auflage, Springer, 2010

**Baehr, H. D., Kabelac, S.:** Thermodynamik, Grundlagen und technische Anwendung, 15. Auflage, Springer, 2012

**Bundesfachabteilung für Wärme-, Kälte-, Schall- und Brandschutz (BFA WKSB):** Technischer Brief 5, Zur Problematik der Gewährleistung von Oberflächentemperaturen, Die Deutsche Bauindustrie, 2015

**Bundesfachabteilung für Wärme-, Kälte-, Schall- und Brandschutz (BFA WKSB):** Technischer Brief 9, Messverfahren, Die Deutsche Bauindustrie, 2013

**Bundesfachabteilung für Wärme-, Kälte-, Schall- und Brandschutz (BFA WKSB):** Technischer Brief 10, Messstellen für thermische Messung, Die Deutsche Bauindustrie, 2012

**DIN 4140:** Dämmarbeiten an betriebstechnischen Anlagen in der Industrie und in der technischen Gebäudeausrüstung – Ausführung von Wärme- und Kälte­dämmungen, 2014

**EMN - EnergieManufaktur Nord (2017):** Wirtschaftliches Heizen, Handbuch zum Ermitteln von Einsparpotenzialen in Heizungsanlagen (Stand Februar 2017), Behörde für Umwelt und Energie, Hamburg

**Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH:** Energieeinsparpotenzial durch technische Dämmung, 2012

**Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V.:** Energieeffizienz bei betriebstechnischen Anlagen, Wärme- und Kälteschutz, München, 2012

**Österreichisches Institut für Bauphysik (OIB) Richtlinie 6:** Energieeinsparung und Wärmeschutz, 2015

**ÖNORM B 2260:** Wärme-, Kälte-, Schall- und Branddämmarbeiten an betriebs- und haustechnischen Anlagen – Werkvertragsnormen, 2009

**ÖNORM H 5570:** Wärmedämmung von Rohrleitungen und Komponenten von haustechnischen Anlagen

**ÖNORM EN 13501-1:** Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 1: Klassifizierung mit ihren Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten, 2009

**Recknagel:** Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, 78. Auflage, München, 2017

**Rockwool:** Prozesshandbuch für Dämmung in betriebstechnischen Anlagen, Gladbeck, ohne Jahr

**Spirax Sarco:** Leitfaden für den Praktiker, 2007

**Sikla:** Rohre, Abmessungen und Gewichte

**VDI 2055 Blatt 1:** Wärme- und Kälteschutz von betriebstechnischen Anlagen in der Industrie und in der Technischen Gebäudeausrüstung – Berechnungsgrundlagen, 2008

**VDI 2055 Blatt 3:** Wärme- und Kälteschutz von betriebstechnischen Anlagen in der Industrie und in der Technischen Gebäudeausrüstung - Technische Grundlagen zur Überprüfung der wärmetechnischen Eigenschaften von Dämmsystemen, Ermittlung von Gesamtwärmeverlusten, 2011

**VDI Wärmeatlas:** 11. Auflage, Springer Heidelberg, 2013

**Wossog, G.:** Handbuch Rohrleitungsbau, Band II Berechnungen, 2002/2013



**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und  
Technologie**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)