ICS 27.220, 91.140.01

VDI-RICHTLINIEN

September 2008

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE

Wärme- und Kälteschutz von betriebstechnischen Anlagen in der Industrie und in der Technischen Gebäudeausrüstung

Berechnungsgrundlagen

Thermal insulation of heated and refrigerated operational installations in the industry and the building services

Calculation rules

VDI 2055

Blatt 1 / Part 1

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this guideline shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Frühere Ausgabe: 02.07 Entwurf, deutsch
Former edition: 02/07 Draft, in German only

Zu beziehen durch / Available at Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin – Alle Rechte vorbehalten / All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2008

Vervielfältigung – auch für innerbetriebliche Zwecke – nicht gestattet / Reproduction – even for internal use – not permitted

Inhalt Seite

Vorbemerkung 5
Einleitung 5
1 Anwendungsbereich 6
2 Begriffe 7
3 Formelzeichen und Indizes 7
4 Grundlagen des Wärmeschutzes 10
4.1 Physikalische Gesetzmäßigkeiten 10
4.1.1 Wärmetransport 10
4.1.2 Einfluss der Feuchtigkeit im Dämmstoff auf die Wärmeleitfähigkeit 15
4.2 Berechnung der Wärmeströme durch Dämmschichten im stationären Zustand . 16
4.2.1 Wärmetransport in Dämmschichten 16
4.2.2 Wärmeübergang 26
4.2.3 Wärmedurchgang 35
4.2.4 Temperaturen an Oberflächen und Schichtgrenzen 41
5 Berechnung von Wärmeverlusten oder -einträgen, Temperaturen und Wasserdampfdiffusionsvorgängen 43
5.1 Gesamtwärmeverlust oder -eintrag und die Einflussgrößen 43
5.1.1 Praktische Gegebenheiten und Randbedingungen 44
5.1.2 Zuschlagswerte $\Delta\lambda$ zur Berechnung von λ_B 45
5.1.3 Gesamtwärmedurchgangskoeffizient k_i' 45

Contents Page

Preliminary note 5
Introduction 5
1 Scope 6
2 Terms and definitions 7
3 Symbols and indices 7
4 Principles of thermal insulation 10
4.1 Physical laws 10
4.1.1 Heat transfer 10
4.1.2 Influence of moisture in the insulant upon the thermal conductivity 15
4.2 Calculation of heat flow rates through insulation layers in the steady state 16
4.2.1 Heat transfer in insulation layers . 16
4.2.2 Surface heat transfer 26
4.2.3 Thermal transmission 35
4.2.4 Temperatures at surfaces and layer boundaries 41
5 Calculation of heat losses or ingresses, temperatures and water vapour diffusion processes 43
5.1 Total heat loss or ingress and pertinent factors 43
5.1.1 Practical matters and boundary conditions 44
5.1.2 Supplementary values $\Delta\lambda$ for calculating λ_B 45
5.1.3 Total thermal transmission coefficient k_i' 45

VDI-Gesellschaft Energietechnik

Ausschuss Wärme- und Kälteschutz

VDI-Handbuch Energietechnik
VDI-Handbuch Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Band 2: Planung/Projektierung

 Alle Rechte vorbehalten © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2008

Seite

5.2 Wärmeverluste oder -einträge sowie Temperaturen in Komponenten 53
5.2.1 Behälter 53
5.2.2 Rohrleitungen und Kanäle 56
5.3 Wasserdampfdiffusion 60
5.3.1 Allgemeines 60
5.3.2 Wasserdampfdiffusion in einer Kühlraumwand. 62
5.3.3 Wasserdampfdiffusion in Kältedämmungen 63
5.4 Beispiele 68
5.4.1 Einlagige Wärmedämmung einer vertikalen Rohrleitung 68
5.4.2 Kältedämmung. 70
5.4.3 Dämmung einer Kühlleitung zur Vermeidung von Tauwasser; Berechnung der Feuchteaufnahme. 71
5.4.4 Mehrschichtige Wärmedämmung . 74
5.4.5 Wärmeverlust eines Behälters . . . 76
5.4.6 Wärmestrom eines in einer Fußboden- oder Wandkonstruktion eingebetteten Rohres. 81

6 Bemessung von Dämmschichten 84
6.1 Allgemeine Gesichtspunkte für die Auswahl von Dämmstoffen und die Festlegung von Dämmschichtdicken . . . 84
6.1.1 Bemessungskriterien. 84
6.1.2 Wahl des Dämmstoffes 85
6.2 Ermittlung von Dämmschichtdicken beim Wärmeschutz 85
6.2.1 Ermittlung von Dämmschichtdicken nach technischen Gesichtspunkten. 85
6.2.2 Bestimmung der Dämmschichtdicke nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten 91
6.2.3 Beispiele 99
6.3 Besonderheiten beim Kälteschutz 105
6.3.1 Allgemeines 105
6.3.2 Bestimmung der Dämmschichtdicke nach betriebstechnischen Gesichtspunkten 105

Anhang A 107
A1 Vergleich der Wärmeleitfähigkeiten . . . 107
A2 Anhaltswerte für das Produkt aller wirksamen Faktoren f_{ges} gemäß Gleichung (8) und Anhang A3 109
A3 Faktoren zur Ermittlung der Betriebswärmeleitfähigkeit gemäß Abschnitt 4.2.1.1c 115
A3.1 Faktor $f_{\Delta\theta}$. 116

Page

5.2 Heat losses or ingresses and temperatures in components 53
5.2.1 Vessel 53
5.2.2 Pipes and ducts 56
5.3 Water vapour diffusion 60
5.3.1 General 60
5.3.2 Water vapour diffusion in a cold store wall 62
5.3.3 Water vapour diffusion in cold insulations 63
5.4 Examples 68
5.4.1 Single-layer thermal insulation of a vertical pipe 68
5.4.2 Cold insulation 70
5.4.3 Insulation of a cold pipe to avoid condensation; calculation of moisture absorption 71
5.4.4 Multi-layered thermal insulation . 74
5.4.5 Heat loss from a vessel 76
5.4.6 Heat flow rate of a pipe embedded in a floor or wall construction . . . 81

6 Dimensioning of insulation layers 84
6.1 General considerations regarding the selection of insulation materials and the determination of insulation layer thicknesses 84
6.1.1 Dimensioning criteria 84
6.1.2 Selection of the insulation material 85
6.2 Determination of insulation layer thicknesses for thermal protection 85
6.2.1 Determination of insulation layer thicknesses on the basis of technical considerations 85
6.2.2 Determination of insulation layer thickness on the basis of economic considerations 91
6.2.3 Examples 99
6.3 Special conditions for cold protection . . 105
6.3.1 General 105
6.3.2 Determination of insulation layer thickness on the basis of operational considerations. 105

Annex A 108
A1 Comparison of thermal conductivities . . 108
A2 Reference values for the product of all effective factors f_{ges} according to Equation (8) und Annex A3 112
A3 Factors for the determination of the operational thermal conductivity according to Section 4.2.1.1c 117
A3.1 Factor $f_{\Delta\theta}$ 118

All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2008

Seite

A3.2 Koeffizient a_c für Mineralwolle zur Berechnung von f_{VD} im Temperaturbereich 50 °C bis 600 °C 119
A3.3 Parameter für die modifizierte Nusselt-Zahl zur Ermittlung von f_k 119
A3.4 Koeffizient a_ψ zur Ermittlung des Feuchtefaktors f_F 120
A3.5 Dickenkoeffizient a_s für IR-strahlungsdurchlässige Dämmstoffe (Temperaturbereich 20 °C bis 60 °C) 120
A4 Zuschlagswerte $\Delta\lambda$ zur Ermittlung der Betriebswärmeleitfähigkeit gemäß Abschnitt 4.2.1.1c 121
A5 Anhaltswerte für Verluste über dämmtechnisch bedingte Wärmebrücken oder Einbauten 123
A6 Anhaltswerte für Dämmstoffeigenschaften 127
A6.1 Koeffizienten zur Berechnung der Wärmeleitfähigkeitskurven nach Anhang A6 132
A7 Stoffwerte der trockenen Luft 136
A8 Emissionsgrad ε verschiedener Oberflächen bei Temperaturen zwischen 0 °C und 200 °C 137
A9 Einstrahlzahl φ_{12} 138
A10 Parameter c, n und κ zur Berechnung des mittleren Wärmeübergangskoeffizienten bei freier Konvektion . . . 140
A11 Gleichungen zur Berechnung des Wärmedurchlasskoeffizienten Λ bei Luftspalten infolge freier Konvektion und Wärmeleitung 142
A12 Beziehungen zur Berechnung des Wärmeübergangskoeffizienten bei erzwungener Konvektion α_k 144
A13 Konstruktive Wärmebrücken (WB) . . . 145
A14 Anhaltswerte für Verluste über anlagenbedingte Wärmebrücken der Einbauten . 146
A15 Anhaltswerte für Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahlen μ und diffusionsäquivalente Luftschichtdicken s_d 148
A16 Differenz $\Delta\vartheta_{Tau}$ in K zwischen Luft- und Oberflächentemperatur bei Beginn der Tauwasserbildung 149

Anhang B Diagramme 150
B1a Faktor Ψ zur Berechnung des Wärmeverlustes von auskragenden Wärmebrücken 150

Page

A3.2 Coefficient a_c for mineral wool for the calculation of f_{VD} in the temperature range 50 °C to 600 °C 119
A3.3 Parameter for the modified Nusselt number for the determination of f_k 119
A3.4 Coefficient a_ψ for the determination of the moisture factor f_F . 120
A3.5 Thickness coefficient a_s for insulants permeable for IR radiation (Temperature range 20 °C to 60 °C) 120
A4 Supplementary values $\Delta\lambda$ for the determination of operational thermal conductivity according to Section 4.2.1.1c 122
A5 Reference values for losses from thermal-bridges or inserts 125
A6 Reference values for insulation material properties 127
A6.1 Coefficients for the calculation of thermal conductivity curves according to Annex A6 132
A7 Properties of dry air 136
A8 Emissivity ε of various surfaces at temperatures between 0 °C and 200 °C . 137
A9 Irradiation factor φ_{12} 138
A10 Parameters c, n, κ for the calculation of the average heat transfer coefficient with free convection 140
A11 Equations for the calculation of coefficient of thermal conductance Λ for air spaces caused by free convection and thermal conductivity 142
A12 Relationships for calculating heat transfer coefficient α_k with forced convection 144
A13 Structural thermal bridges (WB) 145
A14 Reference values for plant related thermal bridges 146
A15 Reference values for water vapour diffusion resistance factor μ and diffusion-equivalent air layer thickness s_d 148
A16 Difference $\Delta\vartheta_{Tau}$ in K between air and surface temperature at the beginning of dew formation 149

Anhang B Diagrams 150
B1a Factor Ψ for calculation heat loss from projecting thermal bridges 150

 Alle Rechte vorbehalten © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2008

Seite

B1b Formfaktor S_R zur Berechnung des Wärmeverlustes von Versteifungsrippen 151
B2 Linien konstanter Drosselkoeffizienten $\delta_{h,D}$ von Wasser und Dampf in einem Druck-Temperatur-Diagramm. . 152
B3.1 Berechnung der Wärmeströme von Rohrleitungen in Fußbodenaufbauten . 153
B3.2 Berechnung der Wärmeströme von Rohrleitungen in Wänden 154
B4 Bestimmung der Dämmschichtdicke für eine Rohrleitung bei vorgegebener Wärmestromdichte 155
B5 Dämmschichtdicke für Rohrleitungen in Abhängigkeit vom Wärmestrom je m Rohrlänge, der Temperaturdifferenz zwischen Medium und Luft, der Wärmeleitfähigkeit, der Kenngröße G und dem Rohrdurchmesser 156
B6 Bestimmung der Dämmschichtdicke von Rohrleitungen und ebenen Wänden in Abhängigkeit von der Übertemperatur der Dämmschichtoberfläche gegenüber der Umgebungsluft, dem Rohrdurchmesser, der Wärmeleitfähigkeit und dem äußeren Wärmeübergangskoeffizienten 157

Schrifttum 158

Index 162

Page

B1b Form factor S_R for the calculation of heat losses at reinforcing profiles . . . 151
B2 Lines of constant throttle coefficients $\delta_{h,D}$ of water and steam in a pressure-temperature diagram 152
B3.1 Calculation of heat flow rates in pipes in floor constructions. 153
B3.2 Calculation of heat flow of pipes in walls 154
B4 Determination of insulation layer thickness for a pipe at a set density of heat flow rate. 155
B5 Insulation layer thickness for pipes as a function of heat flow per m pipe length, temperature difference between medium and air, thermal conductivity, parameter G and pipe diameter 156
B6 Determination of insulating layer thickness of pipes and walls as a function of excess temperature of the insulating layer surface in comparision with the ambient air, the pipe diameter, the thermal conductivity and the external heat transfer coefficient 157

Bibliography 158

Index 162

All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2008

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser VDI-Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi-richtlinien.de), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser VDI-Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Preliminary note

The content of this guideline has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the guideline VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this guideline without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions specified in the VDI notices (www.vdi-richtlinien.de).

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this guideline.

Einleitung

Die Richtlinie VDI 2055 erscheint in drei Blättern, die sich an die Zielgruppen Anwender, Planer, Dämmstoffhersteller sowie Prüf- und Überwachungsinstitutionen richten.

Das Blatt 1 enthält die Beziehungen zur Auslegung von Wärme- und Kältedämmungen. Neu aufgenommen im Vergleich zur VDI 2055:1994-07 wurden Berechnungen aus dem Bereich der Technischen Gebäudeausrüstung.

Folgende weitere Blätter der VDI 2055 sind in Vorbereitung:

- Blatt 2 für die Aufgabenbereiche: Messen, Prüfen und Zertifizieren von Dämmstoffen
- Blatt 3 für die Abnahme von Dämmsystemen und für Lieferbedingungen

Die bisher vorliegende VDI 2055 wurde überarbeitetet und auch hinsichtlich der Formelzeichen weitgehend an die europäische Normung angeglichen. Tabelle 1 stellt die wichtigsten Bezeichnungen der neuen VDI 2055 den Entsprechungen des europäischen Normenwerks gegenüber.

Introduction

The guideline VDI 2055 is issued in three parts, addressing the clients technical engineers, insulation material manufacturers, testing and certification institutions and insulation contractors.

Part 1 contains the calculation rules for the design of thermal and cold insulations. The calculations covering the area of building equipment have been newly added (cf. VDI 2055:1994-07).

The following additional parts of VDI 2055 are in preparation:

- Part 2 for the areas: measurements, testing and certification of insulation materials
- Part 3 for the acceptance of insulation systems and the supply conditions

The VDI 2055 has been revised and also adjusted to the European standardisation regarding the symbols used in equations. Table 1 below shows the most important terms of the new VDI 2055 against their equivalents in the European standards.