



Energieeffizienz im Anlagenbau - Aspekte nachhaltigen Dämmens

Energy efficiency in plant construction -
aspects of sustainable insulation

1.	Einleitung / <i>Introduction</i>	3
2.	Einsparpotentiale im Bereich Industrieisolierung <i>Savings potential for industrial insulations</i>	4
3.	Bisher übliche Kriterien für die Auslegung von Wärmedämmungen <i>Traditional criteria for thermal insulation design</i>	6
3.1	Betriebstechnische Anforderungen / <i>Operational requirements</i>	6
3.1.1	Begrenzung der Wärmeverluste / <i>Limitation of heat losses</i>	6
3.1.2	Begrenzung der Wärmestromdichte bei Kraftwerkskomponenten / <i>Limiting the heat flow density of power plant components</i>	6
3.1.3	Begrenzung der Oberflächentemperaturen / <i>Limitation of surface temperatures</i>	7
3.2	Betriebswirtschaftliche Anforderungen / <i>Economic requirements</i>	7
3.2.1	Kapitalrückflusszeit (Amortisationszeit) / <i>Capital return time (ROI)</i>	7
3.2.2	Wirtschaftliche Dämmschichtdicke / <i>Economic insulation layer thickness</i>	7
3.2.3	Bisheriges Vorgehen bei der Ermittlung wirtschaftlicher Dämmschichtdicken / <i>Traditional approach in the determination of insulation layer thicknesses</i>	8
4.	Möglichkeiten zur Reduzierung von Wärmeverlusten <i>Possibilities to reduce heat losses</i>	9
4.1	Erhöhung der Dämmschichtdicke s / <i>Increase insulation layer thickness s</i>	9
4.2	Verringerung der Betriebswärmeleitfähigkeit λ_B / <i>Lowering the operational thermal Conductivity λ_B</i>	10
4.3	Änderung des äußeren Wärmeübergangskoeffizienten / <i>Changing the external heat transfer coefficient</i>	10
4.4	Reduzierung der Wärmeverluste über anlagenbedingte Wärmebrücken (Summe AWB) / <i>Reduction of heat losses via installation related thermal bridges (sum AWB)</i>	10
5.	Zukunftsweisende Auslegungskriterien / <i>Future-oriented design criteria</i>	12
5.1	Einbeziehung von unterschiedlichen Dämmstoffen / <i>Considering different insulation materials</i>	12
5.2	Berücksichtigung alternativer Ummantelungen / <i>Taking different cladding materials into account</i>	12
5.3	Berücksichtigung der Lagensprünge / <i>Taking layer jumps into account</i>	13
5.4	Berücksichtigung der Energiepreisänderungen / <i>Taking care of changes in energy prices</i>	13
5.5	Berücksichtigung der anlagenbedingten Wärmebrücken / <i>Taking installation related thermal bridges into account</i>	13
5.6	Die Energieeffizienzklassen der VDI 4610 / <i>The energy efficiency classes of VDI 4610</i>	14
6.	Dämmung als betriebswirtschaftliche Chance / <i>Insulation as a business opportunity</i>	15
	Beispiel 1: Energieeinsparung – Ungedämmte Tankdächer / <i>Example 1: Energy saving – uninsulated tank roofs</i>	16
	Beispiel 2: Unisolierte Ventile / <i>Example 2: Energy saving - uninsulated valves</i>	17
7.	Einbeziehung von ökologischen Gesichtspunkten (Nachhaltigkeit) / <i>Inclusion of ecological considerations (sustainability)</i>	18
7.1	Der kumulierte Energieaufwand (KEA) / <i>The cumulative energy effort</i>	18
8.	Anlagenplanung unter Dämmgesichtspunkten / <i>Installation design with insulation considerations</i>	20
9.	Schlussfolgerungen / <i>Conclusions</i>	20
	Literatur / <i>Literature</i>, Bildnachweise / <i>Picture credits</i>, Haftungsausschluss / <i>Disclaimer</i>	22 - 23

1. Einleitung

Einordnung in die Europäischen Klimaschutzziele

Die EU hat sich als Teil des „Europäischen Green Deals“ im Dezember 2020 auf eine Anhebung des europäischen Klimaschutzziels geeinigt. Demnach sollen die Treibhausgas-Emissionen bis zum Jahr 2030 um mindestens 55 Prozent (Deutschland mindestens 65 Prozent) im Vergleich zu 1990 reduziert werden. Das Ziel der Treibhausgasneutralität bis 2050 (Deutschland bis 2045) ist im EU-Klimagesetz festgeschrieben.

Dabei hat die EU ihre Klimapolitik auf einem Dreiklang von Zielen aufgebaut:

- Treibhausgasreduktion,
- Ausbau erneuerbarer Energien und
- Steigerung der Energieeffizienz.

„Der europäische Emissionshandel (EU-ETS) ist seit 2005 das zentrale Klimaschutzinstrument der EU. Mit ihm sollen die Treibhausgas-Emissionen der teilnehmenden Energiewirtschaft und der energieintensiven Industrie reduziert werden.

Der EU-ETS funktioniert nach dem Prinzip des sogenannten „Cap & Trade“. Eine Obergrenze (Cap) legt fest, wie viele Treibhausgas-Emissionen von den emissionshandelspflichtigen Anlagen insgesamt ausgestoßen werden dürfen. Die Mitgliedstaaten geben eine entsprechende Menge an Emissionsberechtigungen an die Anlagen aus – teilweise kostenlos, teilweise über Versteigerungen. Eine Berechtigung erlaubt den Ausstoß einer Tonne Kohlendioxid-Äquivalent (CO₂-Äq). Die Emissionsberechtigungen können auf dem Markt frei gehandelt werden (Trade). Hierdurch bildet sich ein Preis für den Ausstoß von Treibhausgasen. Dieser Preis setzt Anreize bei den beteiligten Unternehmen, ihre Treibhausgas-Emissionen zu reduzieren.“

Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/der-europaeische-emissionshandel#teilnehmer-prinzip-und-umsetzung-des-europaischen-emissionshandels>

Auf technischer Ebene gibt es eine Vielzahl von Optionen zur Steigerung der Energieeffizienz oder Verminderung von Treibhausgasemissionen. Die Kosten der meisten Vermeidungsstrategien sind allerdings nicht eindeutig abschätzbar.

Eine realistische Betrachtung effizienzsteigernder bzw. ökologischer Maßnahmen kann nicht unabhängig von wirtschaftlichen Aspekten erfolgen. Reine Appelle an die Verantwortung für die Umwelt und für die Lebensqualität zukünftiger Generationen reichen nicht aus. Maßnahmen, die zwar große Einsparpotentiale versprechen, sich jedoch in der erforderlichen Umsetzungsbreite als unrealistisch bzw. unwirtschaftlich darstellen, werden aus Entscheidersicht kaum Anwendung finden. Die wesentliche Frage lautet daher:

1. Introduction

Integration into the European climate protection targets

As part of the "European Green Deal," the EU agreed in December 2020 to raise the European climate protection target. According to this, greenhouse gas emissions are to be reduced by at least 55 percent (Germany at least 65 percent) by 2030 compared with 1990 levels. The goal of greenhouse gas neutrality by 2050 is laid down in the EU Climate Law.

In doing so, the EU has based its climate policy on a triad of targets:

- Greenhouse gas reduction,
- expansion of renewable energies and
- increasing energy efficiency.

"European emissions trading (EU ETS) has been the EU's central climate protection instrument since 2005. It is intended to reduce the greenhouse gas emissions of the participating energy sector and energy-intensive industry.

The EU ETS works according to the "cap and trade" principle. An upper limit (cap) defines the total amount of greenhouse gas emissions that may be emitted by installations subject to emissions trading. The member states issue a corresponding quantity of emission allowances to the installations - partly free of charge, partly via auctions. One allowance permits the emission of one tonne of carbon dioxide equivalent (CO₂-eq). The emission allowances can be freely traded on the market. This creates a price for the emission of greenhouse gases. This price incentivises the participating companies to reduce their greenhouse gas emissions."

Source: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/der-europaische-emissionshandel#teilnehmer-prinzip-und-umsetzung-des-europaischen-emissionshandels>

Multiple opportunities exist for an increase of energy efficiency or a reduction of greenhouse gas emissions. The cost, however, of most of the avoidance strategies are not unequivocally calculable.

A realistic look at efficiency improving respectively ecological measures must include economic aspects. Mere appeals to somebody's responsibility for the environment and the quality of life for future generations do not suffice. Actions promising large saving potentials, however, which are unrealistic in the required breadth of implementation, respectively which present themselves as totally uneconomical, will not be accepted by decision makers. Thus, the principal question is:

„Wo liegt der ökonomische Einstieg in notwendige ökologische Maßnahmen?“

Branchen, wie die Metallerzeugung, die Zementindustrie, die Grundstoffchemie und die Papier- und Zellstoffindustrie sind extrem energieintensiv. Beispielsweise werden in der Chemieindustrie große Stoffmengen erhitzt oder abgekühlt, verdampft oder zerkleinert. Hier kommt neben der Energieintensität auch noch die relative Größe der Branche, insbesondere in Bezug auf Deutschland, hinzu.

Der intelligente Umgang mit Energie wird zum entscheidenden Kriterium für betriebswirtschaftlichen Unternehmenserfolg und nachweisbaren Umweltschutz.

Dieser Technische Brief soll zeigen, dass Dämmmaßnahmen an betriebstechnischen Anlagen hinsichtlich der Energieeinsparung, mit geringem finanziellem Aufwand hocheffizient sind. Gleichzeitig bringen sie einen positiven ökologischen Effekt mit sich. Die technische Dämmung ist eine bewährte und anerkannte Technik, die größtenteils während des laufenden Betriebes umgesetzt werden kann.

2. Einsparpotentiale im Bereich Industrieisolierung

In Zusammenhang mit Industrieisolierungen sind insbesondere die CO₂-Äquivalente der Industrie und Energiewirtschaft zu betrachten. Ihr Anteil beträgt ca. 53 % aller von Menschen verursachten CO₂-Äquivalente.

„Where lies the economic approach to the ecological action required?“

Industries like metal production, cement industry, basic chemistry and the paper- and cellulose industry are extremely energy intensive. In the chemical industry, for example, large amounts of material are heated or cooled, evaporated or comminuted. In this field the energy intensity, especially regarding Germany, is aggravated by the size of the industry.

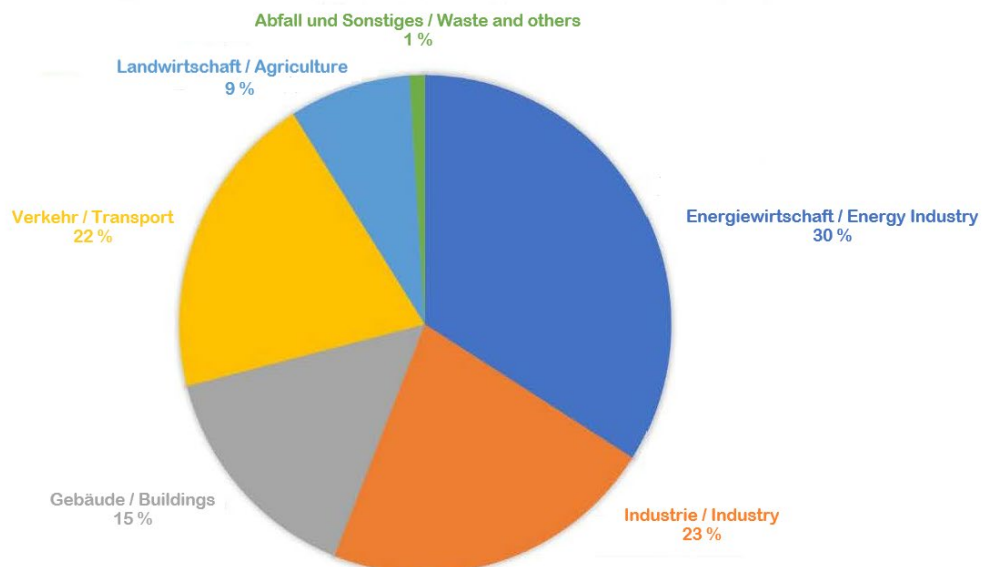
The intelligent handling of energy will become a decisive criterion for the operational success of an enterprise and for provable environment protection.

This technical brief is intended to show that insulation measures on operational systems are highly efficient in terms of energy savings at low cost. At the same time, they have a positive ecological effect. Technical insulation is a proven and recognised technology that can largely be implemented during ongoing operation.

2. Savings potential for industrial insulations

In connection with industrial insulation, the CO₂ equivalents of industry and the energy sector must be considered in particular. They account for around 53 % of all man-made CO₂ equivalents.

ANTEIL DER CO₂-ÄQUIVALENTE NACH SEKTOREN DES KLIMASCHUTZGESETZES (KSG) IM JAHR 2023 /
SHARE OF CO₂-EQUIVALENTS BY SECTOR UNDER THE CLIMATE PROTECTION ACT (KSG) IN 2023



Quelle: Umweltbundesamt, Bausteine für einen klimagerechten Verkehr;
Layout: Bundesfachabteilung WKSB im Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.

Bild 1: CO₂-Äquivalente in Deutschland nach Sektoren von 2023, ohne internationalen Verkehr, vorläufige Daten
Quelle: Umweltbundesamt [1]

Figure 1: CO₂ equivalents in Germany by sector from 2023, excluding international traffic, preliminary data
Source: German Federal Environment Agency [1]

Von den 53 %, die aus dem Energieaufwand aus Produktion und Prozessen resultieren, entfällt ein Teilbetrag auf die Wärmeverluste dieser Anlagen.

Wärmeverluste sind nicht allein mit Mehrkosten für den Bezug von zusätzlichem Brennstoff verbunden. Mit zusätzlichem Wärmebedarf erhöhen sich auch Aufwendungen für den Kauf von CO₂ Emissionsrechten, Kapitalkosten, Kosten für die Belüftung eingehauster Anlagen sowie alle sonstigen Kosten, die mit einem höheren Brennstoffverbrauch verbunden sind. Angemessener Wärmeschutz in der Industrie kann deshalb einen effektiven Beitrag zur Schonung der Ressourcen und zur Reduktion des CO₂-Äquivalente leisten. Die bisherigen Dämmmaßnahmen sind jedoch aus ökologischen Gesichtspunkten vielfach unzureichend. Deshalb sind bereits heute effizientere Systemlösungen gefragt und werden in Zukunft eine immer wichtigere Rolle spielen.

Rechtsverbindliche und einheitliche Dämmdickenvorgaben gibt es für die Industrie nicht. Die DIN 4140 [6] gibt jedoch Empfehlungen zur Begrenzung der Wärmeverluste, die auf ökologischen Gesichtspunkten basieren. In der DIN 4140 [6] wird die **Energieeffizienzklasse C (EEK C)** nach VDI 4610 Blatt 1 [3] für Neu- und Bestandsanlagen empfohlen.

Die Energieeffizienzklassen für technische Dämmung sind europäisch ebenfalls in der prEN 17956 [5] definiert, die auf Grundlage der VDI 4610 Blatt 1 [3] entwickelt wurde.

Auswirkung erhöhter Dämmmaßnahmen auf Ökonomie und Ökologie:

Energetische Einsparmaßnahmen haben direkte Auswirkung auf Produktionskosten, Vertriebsspannen, Erträge sowie Umweltbelastungen.

3. Bisher übliche Kriterien für die Auslegung von Wärmedämmungen

Dämmungen werden bislang sowohl nach technischen Gesichtspunkten ausgelegt:

- Begrenzung der Wärmeverluste
- Begrenzung der Wärmestromdichte bei Kraftwerkskomponenten
- Begrenzung der Oberflächentemperaturen

als auch nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten:

- Kapitalrückflusszeit (Amortisationszeit)
- Wirtschaftliche Dämmschichtdicke

Of the 53 % which result from the energy expenditure in production and processes, a portion is caused by the heat losses of these installations.

Heat losses not only cause extra costs for the additional fuel. With additional heat demands, e.g. the expenditure for the purchase of additional CO₂-emission certificates, capital expenditure, costs for ventilation of covered installations, as well as all other costs that are associated with higher fuel consumption increase too.

Appropriate thermal insulation in industry can therefore make an effective contribution to conserving resources and reducing CO₂ equivalents. However, current insulation measures are often inadequate from an ecological point of view. This is why more efficient system solutions are already in demand today and will play an increasingly important role in the future.

There are no legally binding and standardised insulation thickness specifications for the industry. The DIN 4140 [6], however, provides recommendations for limiting heat losses based on ecological aspects. DIN 4140 [6] recommends **energy efficiency class C (EEK C)** in accordance with VDI 4610 Sheet 1 [3] for new and existing systems.

The energy efficiency classes for technical insulation are also defined in Europe in prEN 17956 [5], which was developed on the basis of VDI 4610 Sheet 1 [3].

Consequences of increased insulation measures for economy and ecology:

Energy saving measures have direct consequences for production costs, marketing ranges, profit, and environment stress. The following example clearly demonstrates this:

3. Traditional criteria for thermal insulation design

Insulations have up to now been designed according to technical as well as according to economic considerations

- Limitation of heat losses
- Limitation the heat flow density of power plant components
- Limitation of surface temperatures

as well as from an economic point of view

- Capital payback time (amortisation time)
- Economic insulation layer thickness

3.1 Betriebstechnische Anforderungen

3.1.1 Begrenzung der Wärmeverluste

Der Wärmeverlust einer Anlage hat Einfluss auf ihren Energieverbrauch sowie ihre Effizienz und den CO₂-Äq-Ausstoß, der durch ihren Betrieb verursacht wird. Die Auslegung der Dämmdicke nach vorgegebenen einzuhaltenden Wärmeverlusten (W/m² bzw. W/m) orientiert sich an Prozessparametern; beispielsweise kann bei Verbindungsleitungen ein maximal zulässiger Temperaturabfall gefordert sein, um ein Stocken des Durchflussmediums zu verhindern.

Viele Ausschreibungen und Spezifikationen beziehen sich noch auf einen historischen Wert bzgl. einer maximalen Wärmestromdichte von 150 W/m². Dieser Wert aus den 1980-igern für Großkesselanlagen und Kraftwerkskomponenten ist nicht mehr zeitgemäß, da er die Energiepreisentwicklung der letzten Jahre nicht abbildet und die Nachhaltigkeit vermissen lässt.

3.1.2 Begrenzung der Wärmestromdichte bei Kraftwerkskomponenten

Im Rahmen der letzten Überarbeitung des AGI Arbeitsblatt Q 101:2021 "Dämmarbeiten an Kraftwerkskomponenten" [7] wurde der zuvor genannte historische Wert um 20 % reduziert. Es wird empfohlen, die maximale Wärmestromdichte auf 120 W/m² innerhalb und außerhalb von Gebäuden zu begrenzen. Wichtig hierbei zu erwähnen ist, dass diese Vorgabe explizit für Kraftwerkskomponenten gedacht ist. Hier werden auch gerade im Bereich der Kesselhäuser Systeme zur Wärmerückgewinnung der warmen Kesselhausluft eingesetzt.

3.1 Operational requirements

3.1.1 Limitation of heat losses

The heat loss of an installation determines its energy consumption as well as its efficiency and the CO₂-eq-emissions, caused by the operation. The design of the insulation system according to set heat losses (W/m² or W/m), which must be kept, is oriented on process parameters, e.g. in connection pipes a maximum acceptable temperature drop may be demanded, to prevent solidification of the fluid medium.

Many tenders and specifications still refer to a historical value regarding a maximum heat flow density of 150 W/m². This value from the 1980s for large boiler systems and power plant components is no longer up to date, as it does not reflect the energy price development of recent years and lacks sustainability.

3.1.2 Limiting the heat flow density of power plant components

As part of the latest revision of the AGI worksheet Q 101:2021 "Insulation work on power plant components" [7], the previously mentioned historical value was reduced by 20 %. It is recommended that the maximum heat flow density be limited to 120 W/m² inside and outside buildings.

It is important to note that this specification is explicitly intended for power plant components. Systems for recovering heat from the warm boiler house air are also used here, particularly in boiler houses

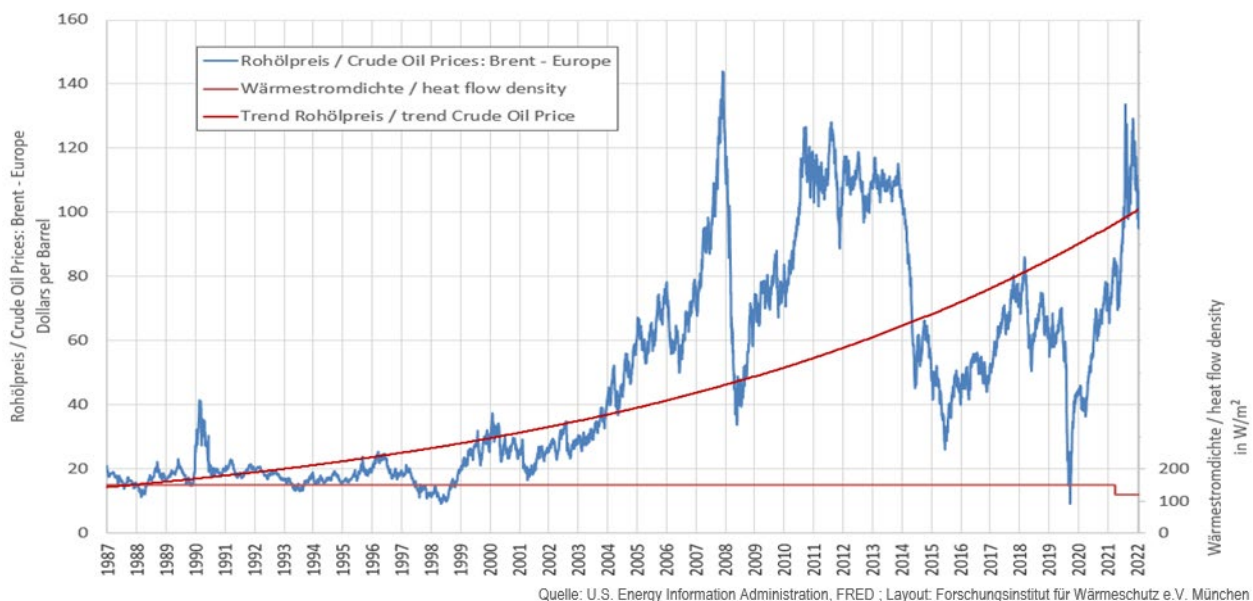


Bild 2: Entwicklung des Rohölpreises seit 1987 im Vergleich zur in diesem Zeitraum geforderten maximalen Wärmestromdichte von 150 W/m² bzw. 120 W/m² gemäß AGI Arbeitsblatt Q 101.

Figure 2: Development of the crude oil price since 1987 compared to the maximum heat flow density of 150 W/m² resp. 120 W/m² required in this period in accordance with AGI worksheet Q 101.

3.1.3 Begrenzung der Oberflächentemperaturen

- eine maximale Oberflächentemperatur aus Gründen des Verbrennungsschutzes im Sinne der Arbeitssicherheit
- eine minimale Oberflächentemperatur zur Tauwasservermeidung bei Kälteisolationen

Wärmeverluste und Begrenzung der Oberflächentemperaturen sind für die jeweiligen Anwendungsfälle wichtig aber berücksichtigen keine ökologischen Aspekte. Diese sollten nach VDI 4610 Blatt 1 [3] (prEN 17956 [5]) zusätzlich berechnet werden.

3.1.3 Limitation of surface temperatures

- a maximum surface temperature for reasons of combustion protection in terms of workplace safety
- a minimum surface temperature to avoid dew formation on cold insulations

Heat losses and limitation of surface temperatures are important for the respective applications but do not take ecological aspects into account. These should also be calculated in accordance with VDI 4610 Sheet 1 [3] (prEN 17956 [5]).

3.2 Betriebswirtschaftliche Anforderungen

3.2.1 Kapitalrückflusszeit (Amortisationszeit)

Betreiber fordern für ihre Investitionen eine angemessene Rendite, die in der Kapitalrückflusszeit ausgedrückt werden kann. Die Kapitalrückflusszeit ist eine betriebswirtschaftliche Kenngröße. Untersuchungen [2] zeigen, dass die Kapitalrückflusszeiten der Investitionen für technische Dämmungen in der Regel weit unterhalb eines Jahres liegen, womit Investitionen in diesem Bereich konkurrenzlos günstig sind.

3.2.2 Wirtschaftliche Dämmschichtdicke

Der Begriff der wirtschaftlichen Dämmschichtdicke ist in der VDI 4610 Blatt 3 [4] als die Dämmschichtdicke definiert, bei der – über die Nutzungsdauer der Anlage gesehen – die Summe aus den Investitionskosten und den trotz Isolierung noch vorhandenen Wärmeverlustkosten ein Minimum ergibt.

Die wirtschaftliche Dämmdicke ist eine rechnerisch zu ermittelnde Größe, die von vielen Parametern abhängig ist. Die wichtigsten Größen sind der Wärmepreis und dessen Änderung über die gesamte Anlagennutzungsdauer, die Betriebsstunden pro Jahr, die einmaligen Investitionskosten, die Qualität des Dämmsystems, sowie die Kapitalkosten.

Bild 3 zeigt die Gesamtkosten in Abhängigkeit von der Dämmschichtdicke. Hierbei ist der flache Verlauf der (roten) Kurve für die Gesamtkosten kennzeichnend. Die Gesamtkosten sind die Summe aus Investitionskosten und Wärmeverlustkosten; „sw“ ist die wirtschaftliche Dämmschichtdicke.

3.2 Economic requirements

3.2.1 Capital return time (ROI)

Installation operators demand an appropriate interest for their investment, which can be expressed as capital return time (also “return on investment = ROI). ROI is an economic index value. Studies [2] show that ROIs for thermal insulation investments are generally well below one year, which marks them as advantageous beyond competition.

3.2.2 Economic insulation layer thickness

The term “economic insulation layer thickness“ has been defined in VDI 4610 part 3 [4] as that insulation layer thickness, where the total of investment expenditure plus despite insulation remaining heat loss costs is at a minimum – calculated over the complete service life of the installation.

The economic insulation layer thickness is a calculated value, which depends on a variety of parameters. The most important variables are the heat price and its change over the entire service life of the system, the operating hours per year, the one-off investment costs, the quality of the insulation system and the capital costs.

Figure 3 shows the total costs as dependent on the insulation layer thickness. The flat course of the (red) total cost curve is distinctive here. The total costs are the sum of investment expenditure plus heat loss costs; “sw” is the economic insulation layer thickness.

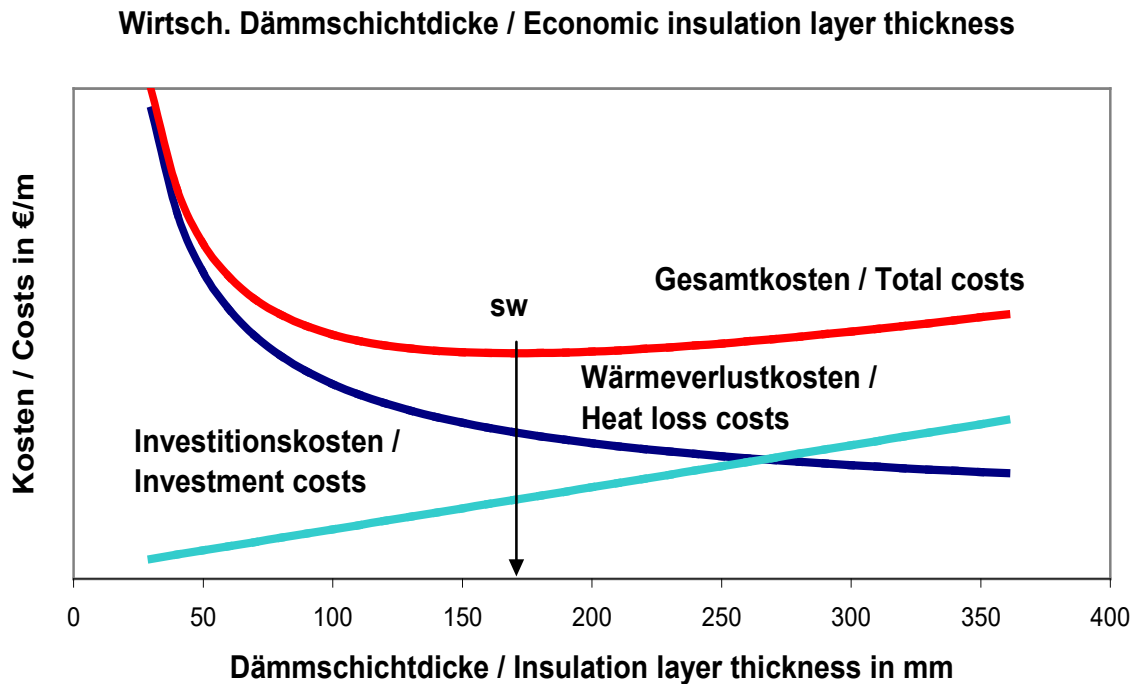


Bild 3: Gesamtkosten in Abhängigkeit der Dämmschichtdicke

Figure 3: Total costs as dependent on the insulation layer thickness

3.2.3 Bisheriges Vorgehen bei der Ermittlung wirtschaftlicher Dämmschichtdicken

3.2.3 Traditional approach in the determination of economic insulation layer thicknesses

Das bisherige Vorgehen bei der Ermittlung wirtschaftlicher Dämmschichtdicken ist gekennzeichnet durch eine oder mehrere der folgenden fehlerhaften Überlegungen:

The traditional approach towards the determination of economic insulation layer thicknesses is characterized through one or several of the following erroneous considerations:

- | | |
|---|--|
| <p>a) Es wird lediglich die Dämmschichtdicke <i>einer</i> Dämmung mit vorgegebenen Eigenschaften betrachtet, andere Dämmsysteme z. B. Dämmstoffe mit niedrigerer Wärmeleitfähigkeit oder andere Ummantelungsmaterialien werden außer Acht gelassen.</p> | <p>a) Solely the layer thickness of <i>one</i> insulation with set properties is considered, other insulation systems, e.g. insulation materials with a lower thermal conductivity or different cladding materials are not taken into account.</p> |
| <p>b) Es wird in der Regel ein stetiger Verlauf der Kostenfunktion vorausgesetzt; Sprünge in den Wärmeverlust- und Investitionskosten bleiben unberücksichtigt.</p> | <p>b) Normally, a steady course of the expenditure function is assumed; jumps in the heat loss- and in the investment expenditure curves are not considered.</p> |
| <p>c) Künftige Energiepreisänderungen werden mangels genauer Prognostizierbarkeit häufig nicht betrachtet. Gerade diese Abschätzung kann über die Anlagenlaufzeit nicht seriös getätigt werden.</p> | <p>c) Future energy price rises are not being taken into account because of their lacking foreseeability. This estimation in particular cannot be made reliably over the lifetime of the system.</p> |
| <p>d) Es wird nur das gerade ungestörte Rohr betrachtet. Der Einfluss von Wärmebrücken wie von Flanschen, Armaturen, Auflagern auf den Wärmeverlust wird nicht untersucht.</p> | <p>d) Only the straight undisturbed pipe is considered. The influence of thermal bridges such as flanges, fittings and supports on heat loss is not analysed.</p> |

4. Möglichkeiten zur Reduzierung von Wärmeverlusten

Grundlage für Betrachtungen zur Reduzierung von Wärmeverlusten ist die Gleichung für die Rohrdämmung unter Einbeziehung anlagenbedingter Wärmebrücken. Für Behälter und ebene Dämmungen gelten analoge Gleichungen (Gleichung 1):

$$\dot{Q} = \frac{\pi \cdot (\vartheta_M - \vartheta_U)}{\frac{1}{2\lambda_B} \ln\left(\frac{d_R + 2 \cdot s}{d_R}\right) + \frac{1}{(\alpha_k + 4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_m^3) \cdot (d_R + 2 \cdot s)}} \cdot l + \text{Summe(AWB)}$$

Hierbei sind:

$\dot{Q}$	der Wärmeverlust einer ungestörten gedämmten Rohrleitung
ϑ_M	die Mediumtemperatur
ϑ_U	die Umgebungstemperatur
λ_B	die Betriebswärmeleitfähigkeit der Dämmung
d_R	der äußere Rohrdurchmesser
s	die Dämmschichtdicke
α_k	der konvektive Wärmeübergang an der Dämtoberfläche
ε	der Emissionsgrad der Dämtoberfläche
σ	die Stefan-Boltzmann-Konstante
T_m	die mittlere Temperatur von Dämtoberfläche und Umgebung in Kelvin
l	die Länge der Rohrleitung

Summe (AWB) = Summe der Wärmeverluste der ungedämmten oder gedämmten anlagenbedingten Wärmebrücken

Möglichkeiten zur Reduzierung der Wärmeverluste sind demnach:

4.1 Erhöhung der Dämmschichtdicke s

Eine Erhöhung der Dämmschichtdicke führt zu einer Reduzierung des Energieverlustes. Es ist jedoch zu beachten, dass z.B. eine Verdoppelung der Dämmschichtdicke nicht zu einer Halbierung des Energieverlustes führt (siehe Bild 6). Die Realisierung einer höheren Dämmschichtdicke kann aus Platzgründen nur eingeschränkt möglich sein.

4. Possibilities to reduce heat losses

The foundation for considerations of heat loss reductions is the equation for pipe insulation, taking installation related thermal bridges into account. For vessels and plain insulations analogous equations apply (Equation 1):

Where:

$\dot{Q}$	is the heat loss of the undisturbed insulated pipe
ϑ_M	is the medium temperature
ϑ_U	is the ambient temperature
λ_B	is the operating thermal conductivity
d_R	is the outer pipe diameter
s	is the insulation layer thickness
α_k	is the convective heat transfer at the insulation surface
ε	is the emissivity of the insulation surface
σ	is the Stefan-Boltzmann constant
T_m	is the average temperature of insulation surface and the ambient in Kelvin
l	is the length of the pipe

Sum (AWB) = sum of the heat losses of insulated and uninsulated installation related thermal bridges

Possibilities to reduce heat losses thus are:

4.1 Increase insulation layer thickness s

Increasing the thickness of the insulation layer leads to a reduction in energy loss. However, it should be noted that doubling the insulation thickness, for example, does not halve the energy loss (see Figure 6). The realisation of a higher insulation layer thickness may only be possible to a limited extent for reasons of space.

4.2 Verringerung der Betriebswärmeleitfähigkeit λ_B

Die Betriebswärmeleitfähigkeit eines Dämmsystems kann durch verschiedene Parameter beeinflusst werden.

Die Wärmeleitfähigkeit eines Dämmstoffes hat direkten Einfluss auf die Betriebswärmeleitfähigkeit und damit auf den Wärmeverlust.

Neben den klassischen und kosteneffektiven Dämmstoffen, z.B. Mineralwolle, stehen auch Dämmstoffe mit einer deutlich geringeren Wärmeleitfähigkeit zur Verfügung die z.B. bei gleicher Dämmdicke eine deutliche Reduzierung der Betriebswärmeleitfähigkeit bewirken. Die höheren Materialkosten dieser Produkte führen aber nicht immer zu wirtschaftlichen Lösungen.

Durch Verzicht auf metallische Unterkonstruktionen kann die Betriebswärmeleitfähigkeit ebenfalls verringert werden.

4.2 Lowering the operational thermal Conductivity λ_B

The operational thermal conductivity of an insulation system can be influenced by various parameters.

The thermal conductivity of the insulation material has direct influence on the operational thermal conductivity and thereby on the heat loss. In addition to the classic and cost-effective insulation materials, e.g. mineral wool, insulation materials with a significantly lower thermal conductivity are also available which, for example, result in a significant reduction in the thermal conductivity with the same insulation thickness. However, the higher material costs of these products do not always lead to economical solutions.

To dispense with metal sub-constructions can also lower the operational thermal conductivity.

4.3 Änderung des äußeren Wärmeübergangskoeffizienten

Hier sind die Möglichkeiten sehr eingeschränkt und die Reduzierung des Wärmeverlustes ist gering. Eine Änderung des äußeren Wärmeübergangskoeffizienten kann praktisch nur durch unterschiedliche Ummantelungen und deren Emissionsgrade erreicht werden.

4.3 Changing the external heat transfer coefficient

The options here are very limited and the reduction in heat loss is small. A change in the external heat transfer coefficient can practically only be achieved by using different claddings and their emissivities.

4.4 Reduzierung der Wärmeverluste über anlagenbedingte Wärmebrücken (Summe AWB)

Anlagenbedingte Wärmebrücken sind z. B. ungedämmte oder unzureichend gedämmte Armaturen, Flansche, Messstellen, Auflager, Aufhängungen, Abflachungen.

Wärmeverluste von Auflagern und Aufhängungen können sich in der gleichen Größenordnung bewegen wie die der ungestörten Dämmung. Deshalb ist hierauf ein besonderes Augenmerk zu richten. Vielfach können geringere Wärmeverluste nicht durch verbesserte Dämmmaßnahmen, sondern nur durch eine geeignete Konstruktion der Auflager bzw. Hänger erreicht werden.

Durch das Dämmen von anlagenbedingten Wärmebrücken, z. B. wie die in den Bildern 4 + 5 dargestellten Einbauten, lässt sich der Gesamtwärmeverlust einer Anlage, gegenüber einer Anlage mit ungedämmten Einbauten, deutlich reduzieren. Dieses Beispiel einer Wärmeübergabestation eines Fernwärmeversorgungsunternehmens zeigt dies. Im konkreten Fall wurde eine Reduzierung des Gesamtwärmeverlustes von ca. 25 % erzielt.

Zu beachten ist, dass beispielsweise bei Antrieben von Armaturen oder Pumpen eine vom Hersteller vorgegebene Temperatur nicht überschritten werden darf. Hier ist zu prüfen, ob eine Dämmung aus technischen Gründen zulässig ist.

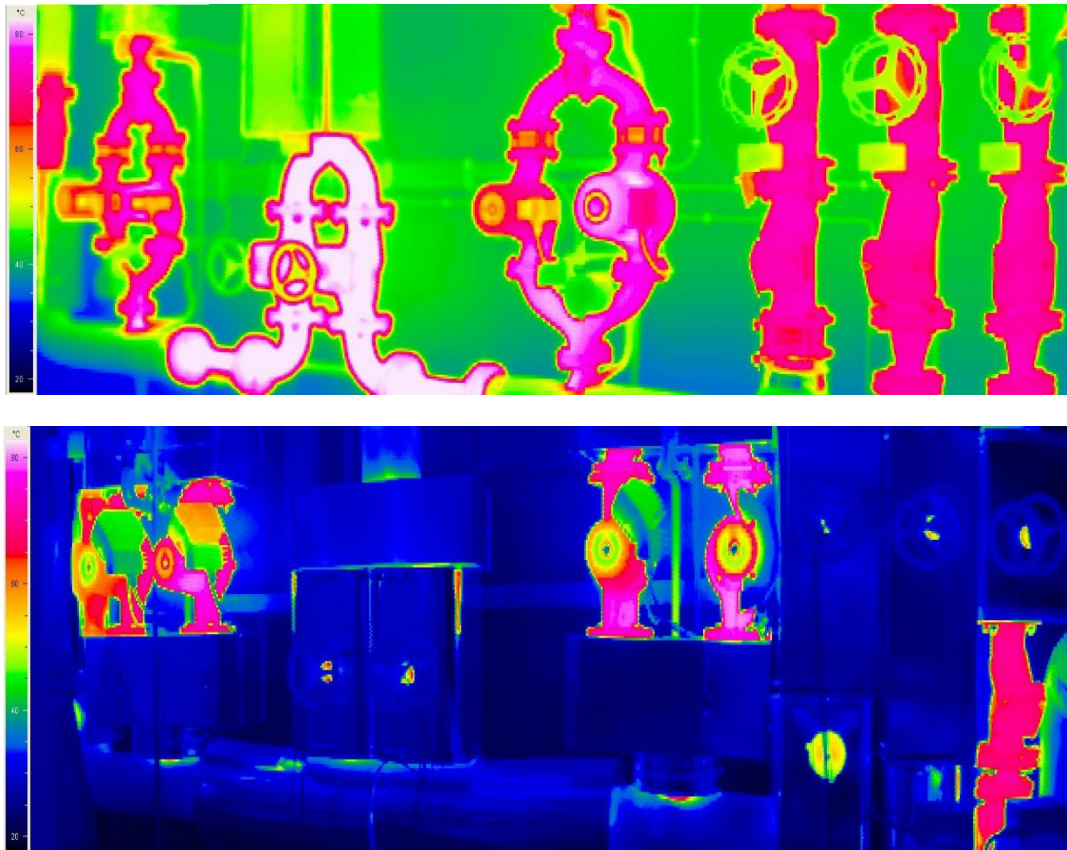
4.4 Reduction of heat losses via installation related thermal bridges (sum AWB)

System-related thermal bridges are e.g. uninsulated or insufficiently insulated fittings, flanges, measuring points, supports, suspensions, flattening's.

Heat losses from supports and suspensions can be of the same order of magnitude as those of the undisturbed insulation. Special attention must therefore be paid to this. In many cases, lower heat losses cannot be achieved through improved insulation measures, but only through a suitable design of the supports or hangers.

By insulating the installation related thermal bridges, e.g. appliances as shown in Figures 4 + 5, the total heat loss of an installation can be markedly reduced compared to an installation with uninsulated appliances. This example of a heat transfer relay station of a district heating company shows this. In this actual case, a 25 % reduction of the overall heat loss has been achieved.

Attention must be paid to the fact that e.g. for drives of appliances or pumps a set limit temperature must not be exceeded. Here it must be checked, whether an insulation is even admissible for operational reasons.



Bilder 4 + 5: Beispielhafte Infrarotaufnahmen ungedämmter und gedämmter Einbauten gleichartiger Übergabestationen eines Fernwärmeversorgungs-unternehmens bei gleicher Temperaturskalierung.

Figures 4 + 5: Exemplary Infrared pictures of uninsulated and insulated appliances at similar transfer relay stations of a district heating company. The pictures have an identical colour code.

Die Auswirkungen der genannten Einflussgrößen auf den Wärmeverlust einer Anlage zeigt Bild 6. Den größten Einfluss hat theoretisch die Betriebswärmeleitfähigkeit. Bei einem „kleinen Anteil von Wärmebrücken“ reduziert eine Senkung der Betriebswärmeleitfähigkeit um 40 % den Wärmeverlust um ca. 33 %. Eine Erhöhung der Dämmschichtdicke trägt ebenfalls zu einer deutlichen Reduzierung der Wärmeverluste bei. Eine Reduzierung des äußeren Wärmeübergangskoeffizienten hat dagegen nur einen geringen Einfluss.

Figure 6 shows the effects of the aforementioned influencing variables on the heat loss of a system. Theoretically, the greatest influence is exerted by the operational thermal conductivity. With a "small proportion of thermal bridges", a 40 % reduction in the operational thermal conductivity reduces the heat loss by approx. 33 %. Increasing the thickness of the insulation layer also contributes to a significant reduction in heat loss. A reduction in the external heat transfer coefficient, on the other hand, has only a minor effect.

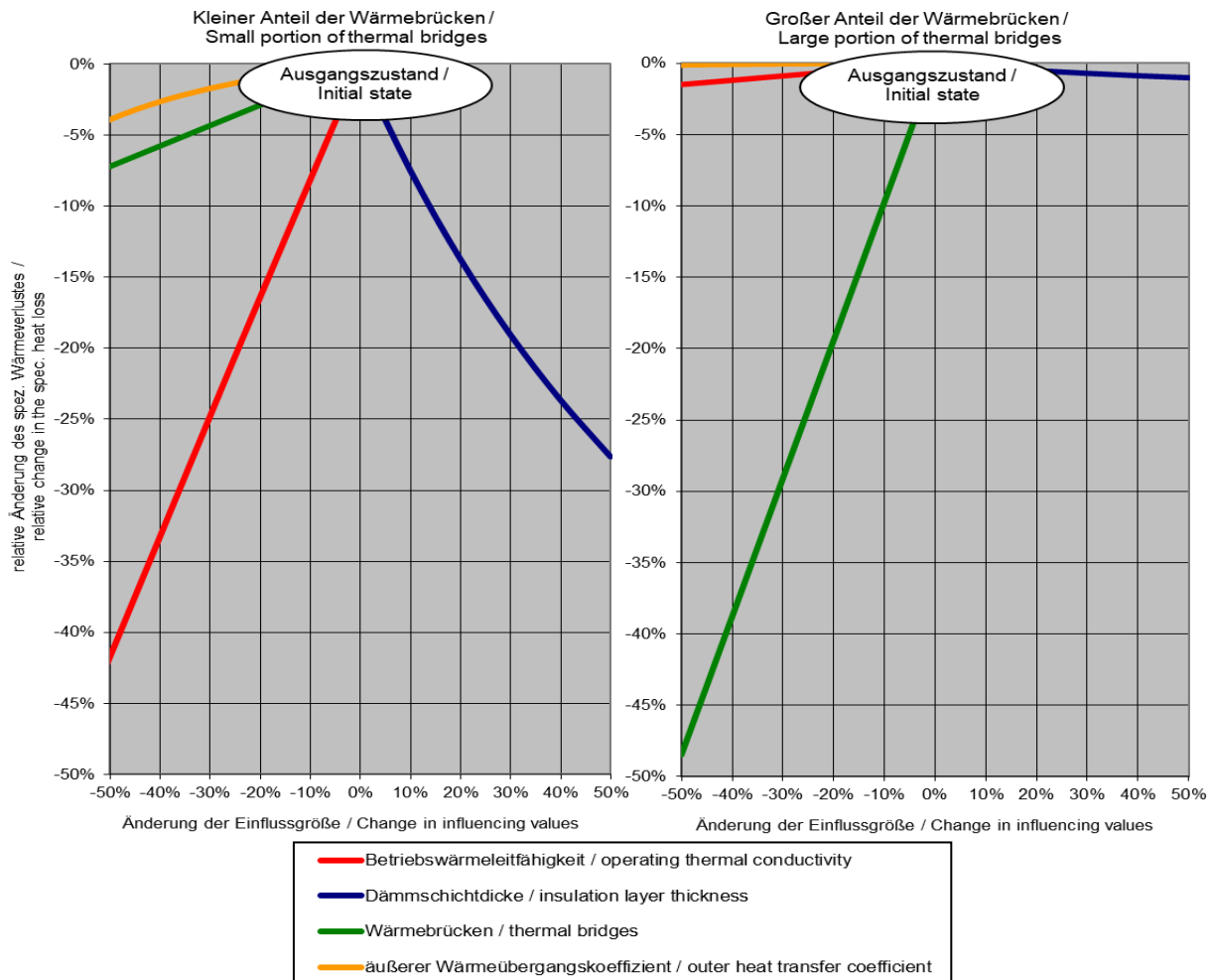


Bild 6: Auswirkung der wesentlichen Einflussgrößen auf den Wärmeverlust
 Linkes Bild: kleiner Anteil an Wärmebrücken
 Rechtes Bild: großer Anteil an Wärmebrücken

Figure 6: Effects of the principal values, influencing the heat loss
 Left figure: Small portion of thermal bridges
 Right figure: Large portion of thermal bridges

5. Zukunftsweisende Auslegungskriterien

Zukünftige Dämmungen sind unter Beachtung der nachfolgenden Gesichtspunkte auszulegen:

5.1 Einbeziehung von unterschiedlichen Dämmstoffen

Die oftmals in Spezifikationen vorgegebenen Dämmstoffe sind für die vorgesehene Anwendung auf Alternativen hinsichtlich optimaler Betriebswärmeleitfähigkeit und Wirtschaftlichkeit zu überprüfen. Das schließt auch eine Betrachtung der Unterkonstruktionen mit ein.

5.2 Berücksichtigung alternativer Ummantelungen

Alternative Ummantelungen mit anderen Emissionsgraden beeinflussen den Wärmeverlust und die Oberflächentemperatur. Beispielsweise bewirkt ein niedrigerer Emissionsgrad, z.B. glänzende Ummantelungen wie Aluminium und Edelstahl, eine marginale Senkung des Wärmeverlustes, er erfordert aber auch bei vorgegebener maximaler Oberflächentemperatur eine Erhöhung der Dämmschichtdicke.

5. Future-oriented design criteria

Future insulations shall be designed heeding the following observations:

5.1 Considering different insulation materials

Insulation materials, frequently prescribed in specifications, shall be checked for the intended application with respect to possible alternatives for optimal thermal conductivity and profitability. This includes a consideration of sub-constructions.

5.2 Taking different cladding materials into account

Alternative claddings with different emissivities influence the heat loss and the surface temperature. For example, a lower emissivity, e.g. shiny claddings such as aluminium and stainless steel, results in a marginal reduction in heat loss, but also requires an increase in the insulation layer thickness for a given maximum surface temperature.

5.3 Berücksichtigung der Lagensprünge

Bei der Auslegung der Dämmschichtdicke nach betriebstechnischen Gesichtspunkten ist zu prüfen, ob die maximal verfügbaren Lieferdicken eines Dämmstoffes ausgenutzt werden können, wenn die Zusatzkosten für Montage und Material gering sind.

5.3 Taking layer jumps into account

When designing the insulation layer thickness following operational points of view, it must be checked, whether the maximum available supply thicknesses of an insulant can be exploited, if the additional costs for material and mounting are small.

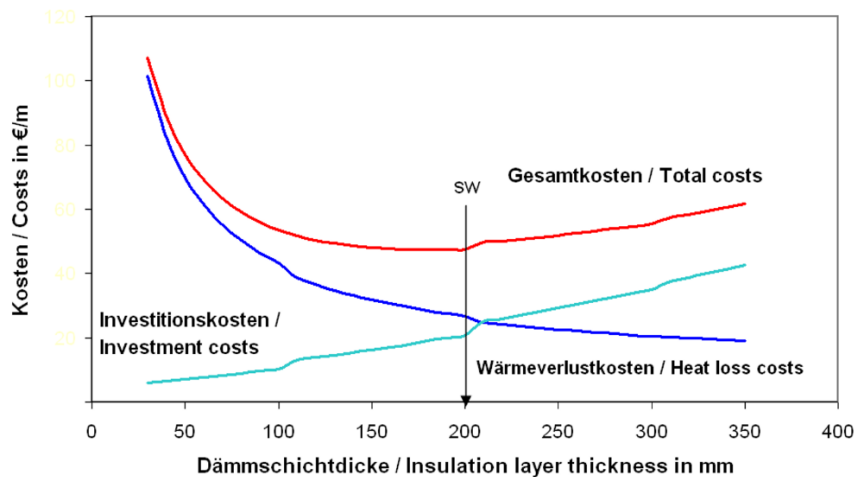


Bild 7: Kostenfunktionen in Abhängigkeit von der Dämmschichtdicke unter Berücksichtigung der Einflüsse mehrerer Dämmstofflagen

Figure 7: Cost functions as dependent on the insulation layer thickness, taking account of the influences of several insulant layers

Beim Übergang auf eine zusätzliche Dämmstofflage entstehen Sprünge in den Kostenfunktionen (Bild 7). Die Sprünge resultieren aus den zusätzlichen Aufwendungen bei der Montage. Diese Sprünge in den Kostenfunktionen werden „Lagensprünge“ genannt.

The transition to an additional insulation layer results in jumps in the cost functions (Fig. 7). The jumps result from the additional expenditure during installation. These jumps in the cost functions are called "layer jumps".

5.4 Berücksichtigung der Energiepreisänderungen

Energiepreisänderungen beeinflussen die Wärmeverlustkosten und damit die wirtschaftliche Dämmschichtdicke.

Energiepreisänderungen sind über die Anlagenutzungsdauer kaum prognostizierbar. Es obliegt der unternehmerischen Entscheidung des Anlagenbetreibers, welche Energiepreisentwicklung der Anlagenauslegung zugrunde gelegt werden soll.

5.4 Taking care of changes in energy prices

Changes in energy prices influence the heat loss costs and thereby the economic insulation layer thickness.

Energy price changes can hardly be predicted over the useful life of the system. It is up to the system operator to decide which energy price development to base the system design on.

5.5 Berücksichtigung der anlagenbedingten Wärmebrücken

Ein belastbares Energieeinsparpotential lässt sich nur unter Berücksichtigung der Wärmeverluste über anlagenbedingte Wärmebrücken ermitteln. Ungedämmte anlagenbedingte Wärmebrücken führen nicht zu einer Änderung der wirtschaftlichen Dämmschichtdicken. Sie beeinflussen jedoch den Gesamtwärmeverlust der Anlage und gehen so in deren Wärmeverlustkosten ein.

Werden diese Wärmebrücken gedämmt, erhöht dies einerseits die Investitionskosten, senkt jedoch gleichzeitig die Wärmeverlustkosten. Das Optimum über alle möglichen Dämmmaßnahmen sollte hier angestrebt werden, also eine insgesamt „wirtschaftliche Anlagendämmung“.

5.5 Taking installation related thermal bridges into account

A defendable energy savings potential can only be established when also taking into account the heat losses via installation related thermal bridges. Uninsulated installation related thermal bridges do not cause a change of economic insulation layer thicknesses. However, they influence the overall heat loss of the installation, thus becoming part of the heat loss costs.

If these thermal bridges are being insulated, an increase occurs in the investment expenditure, but on the other hand, heat loss costs are lowered simultaneously. The optimum across all conceivable insulation measures should here be aimed at, which means an overall "economic installation insulation".

5.6 Die Energieeffizienzklassen der VDI 4610

Mit der Einführung der VDI 4610 Blatt 1 [3] kann die technische Dämmung in Energieeffizienzklassen (EEK) untergliedert werden. Die Basis bilden dabei ökologische Aspekte der Herstellung und Verwendung von Dämmsystemen. Die verschiedenen EEK weisen entsprechende maximal zulässige Wärmestromdichten (oder längenbezogene Wärmeströme für Rohrleitungen) als Grenzen für die einzelnen Energieeffizienzklassen aus, die nur noch von der Geometrie (z. B. Größe der Rohrleitung) und der Betriebstemperatur abhängig sind.

Um zukünftige Anforderungen an die Energieeffizienz zu erfüllen, ist mit deutlich erhöhten Dämmschichtdicken zu rechnen. Der dafür notwendige Bauraum ist entsprechend zu berücksichtigen. Eine Abschätzung dafür bieten die Referenzdämmdicken der jeweiligen EEK nach VDI 4610 Blatt 1 [3].

In den Bildern 8, 9 und 10 sind für den Referenzfall der „Wärme“ (100 °C bis 500 °C) Dämmsysteme von Rohrleitungen DN 80, DN 200 und DN 400 exemplarisch für die EEK A bis D dargestellt. Die Referenzdämmschichtdicke s ist dabei in gestrichelter Form dargestellt, die maximal zulässige Referenzwärmestromdichte q_l als durchgehende Linie.

5.6 The energy efficiency classes of VDI 4610

With the introduction of VDI 4610 Sheet 1 [3] technical insulation can be categorised into energy efficiency classes (EEK). This is based on ecological aspects of the manufacture and use of insulation systems. The various EEKs indicate corresponding maximum permissible heat flow densities (or length-related heat flows for pipeline) as limits for the individual energy efficiency classes, which are only dependent on the geometry (e.g. size of the pipeline) and the operating temperature.

In order to fulfil future energy efficiency requirements, significantly increased insulation layer thicknesses must be expected. The installation space required for this must be considered accordingly. The reference insulation thicknesses of the respective EEK according to VDI 4610 Sheet 1 [3] provide an estimate of this.

Figures 8, 9 and 10 show examples of insulation systems for pipelines DN 80, DN 200 and DN 400 for EEK A to D for the reference case of "heat" (100 °C to 500 °C). The reference insulation thickness s is shown as a dashed line, the maximum permissible reference heat flow density q_l as a continuous line.

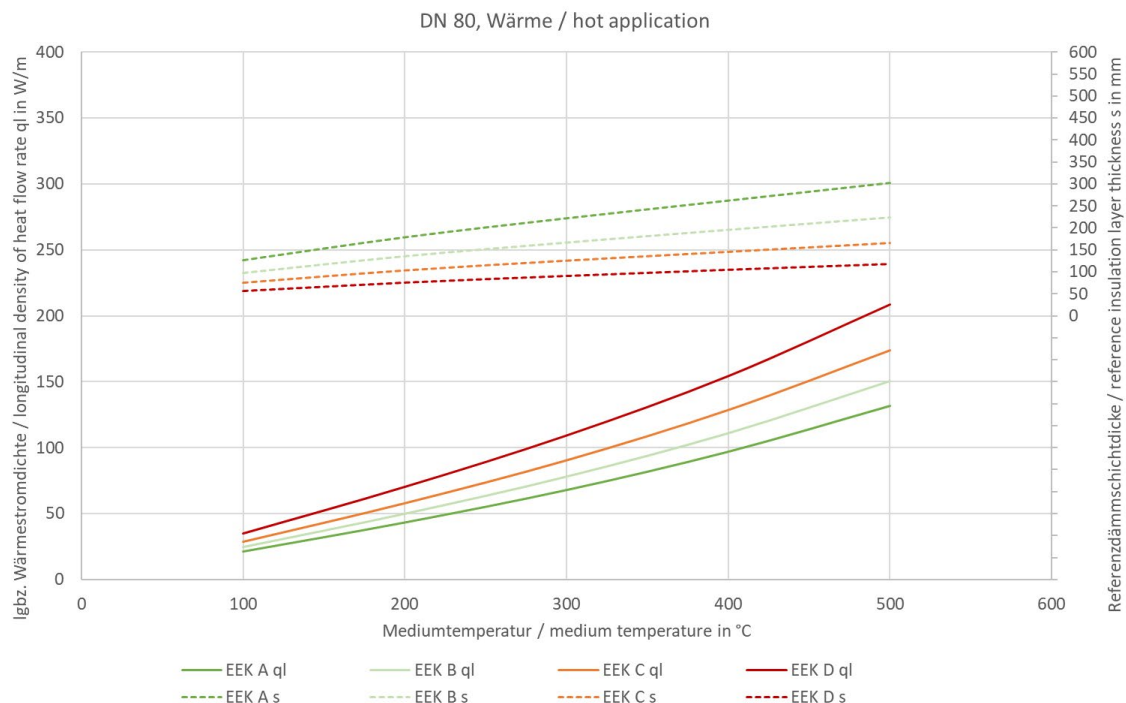


Bild 8: Darstellung der Wärmestromdichte und Dämmschichtdicke für die EEK A bis D für eine Rohrleitung DN 80, Wärmedämmung

Figure 8: Illustration of the heat flow density and insulation layer thickness for EEK A to D for a DN 80 pipeline, thermal insulation

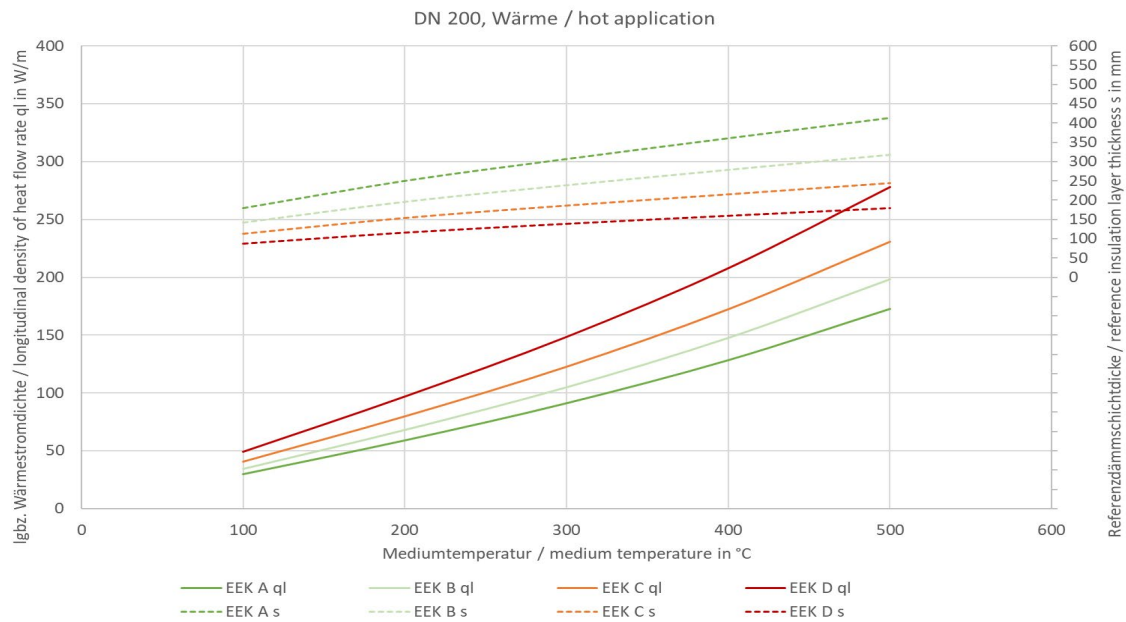


Bild 9: Darstellung der Wärmestromdichte und Dämmschichtdicke für die EEK A bis D für eine Rohrleitung DN 200, Wärmedämmung

Figure 9: Illustration of the heat flow density and insulation layer thickness for EEK A to D for a DN 200 pipeline, thermal insulation

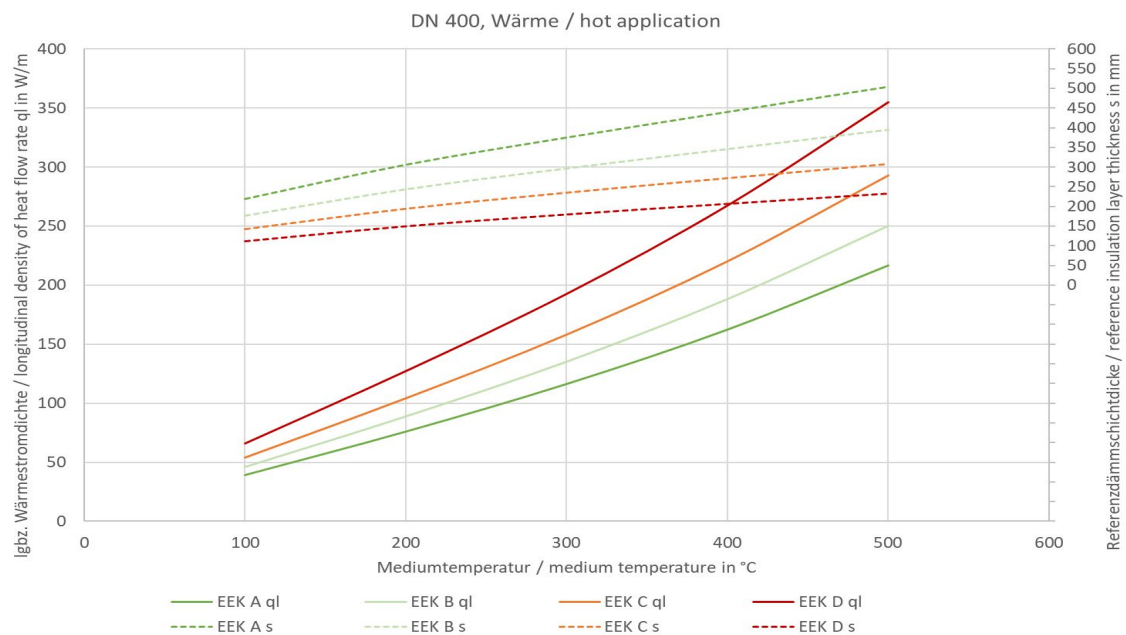


Bild 10: Darstellung der Wärmestromdichte und Dämmschichtdicke für die EEK A bis D für eine Rohrleitung DN 400, Wärmedämmung

Figure 10: Illustration of the heat flow density and insulation layer thickness for EEK A to D for a DN 400 pipeline, thermal insulation

6. Dämmen als betriebswirtschaftliche Chance

Dämmen sollte nicht als Kostenfaktor, sondern als betriebswirtschaftliche Chance gesehen werden. Dies lässt sich anhand nachstehender Praxisbeispiele leicht nachvollziehen

6. Insulation as a business opportunity

Insulating should not be viewed as a cost factor but instead as an economic opportunity. This can be easily understood when considering the examples below.

Beispiel 1: Energieeinsparung – ungedämmte Tankdächer

Es gibt heutzutage immer noch Tanks, die zwar eine Dämmung am Mantel aber nicht auf dem Dach haben. Aufgrund der Größe solcher Objekte bietet sich - auch bei geringen Mediumtemperaturen - ein enormes Einsparpotential in Hinblick auf die Energieverluste und damit verbundenen Emissionen von Treibhausgasen. Das folgende Beispiel wurde in einer Raffinerie realisiert:

Mediumtemperatur: 60 °C
 Dimension: Tankdach ca. 7.000 m², entspricht in etwa der Größe eines Fußballfeldes
 Betriebsstunden: 8.760 h/a
 Anlagenlaufzeit: > 20 Jahre
 Sanierung: 30 mm Dämmung
 Amortisation: < 2,5 Jahre

Example 1: Energy saving – uninsulated tank roofs

Nowadays, there are still tanks that have insulation on the walls but not on the roof. Due to the size of such objects - even with low medium temperatures - there is enormous potential for savings in terms of energy losses and the associated greenhouse gas emissions. The following example was realised in a refinery:

Medium temperature: 60 °C
 Dimension: Tank roof approx. 7,000 m², roughly equivalent to the size of a football pitch
 Operating hours: 8,760 h/a
 Plant service life: > 20 years
 Refurbishment: 30 mm insulation
 Amortisation: < 2.5 years



Bild 11: Unisoliertes Tankdach vor der Sanierung ¹

Figure 11: Uninsulated tank roof before refurbishment



Bild 12: Isoliertes Tankdach nach der Sanierung ¹

Figure 12: Insulated tank roof after refurbishment

Tabelle 1: Darstellung der Einsparmöglichkeiten mit verschiedenen Ansätzen ^{1,2}
 Table 1: Illustration of the potential savings with different approaches

	CO ₂ in t		Energie in MWh		Energiekosten in €		Wärmestromdichte in W/m ²
Ohne Isolierung	1.900		9.500		240.000		250
30 mm entspricht VDI Klasse G	400	- 1.500	2.000	- 7.500	55.000	- 185.000	55
200 mm entspricht VDI Klasse A	75	- 1.825	400	- 9.100	9.500	- 230.000	10

¹ Quelle: EiiF "White Paper 2021" [9] ; ² Layout: Bundesfachabteilung WKSb im Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.

Beispiel 2: Unisolierte Ventile

In vielen Anlagen sind die Rohrleitungstrecken gedämmt aber an Flanschen und Ventilen wird die Dämmung oftmals unterbrochen. Die Strecke und somit das Einsparpotenzial erscheinen gering und vernachlässigbar. Doch schaut man sich eine einzelne Armatur unter energetischen Gesichtspunkten an, kann ein riesiges Einsparpotenzial erkannt werden, wie das folgende Beispiel zeigt:

Mediumtemperatur: 150 °C
 Dimension: DN 150
 Betriebsstunden: 8.760 h/a
 Anlagenlaufzeit: > 10 Jahre

Energieverlust einer einzigen Armatur: 10.600 kWh / a

Sanierung: 80 mm Dämmung

Einsparung: ca. 10.000 kWh / a

Amortisation: i.d.R. < 1 Jahr

Quelle: „EiF White Paper 2021“ [9]

Example 2: Energy saving - uninsulated valves

In many systems, the pipeline routes are insulated, but the insulation is often interrupted at flanges and valves. The distance and therefore the potential savings appear small and negligible. However, if you look at an individual fitting from an energy point of view, a huge savings potential can be recognised, as the following example shows:

Medium temperature: 150 °C
 Dimension: DN 150
 Operating hours: 8,760 h/a
 System service life: > 10 years

Energy loss of a single fitting: 10,600 kWh / a

Refurbishment: 80 mm insulation

Savings: approx. 10,000 kWh / a

Amortisation: usually < 1 year

Source: “EiF White Paper 2021” [9]

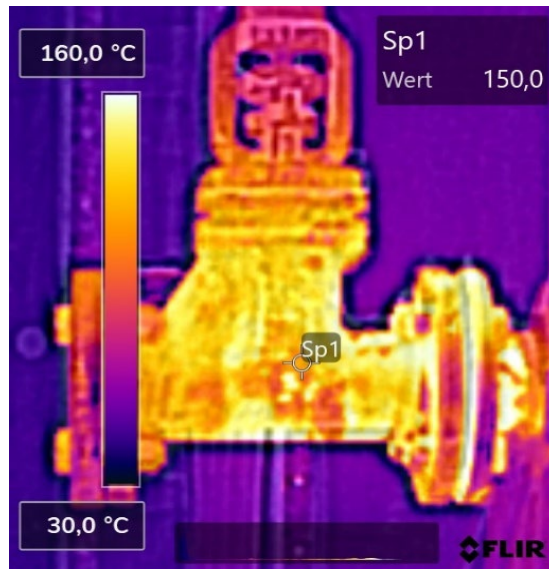


Bild 13: Beispielhafte Thermographie eines unisolierten Ventils

Figure 13: Exemplary thermography of an uninsulated valve

Eine Amortisationszeiten von mehreren Jahren für eine Gesamtanlage stehen in der Regel mehrere Monate für die Isolierung gegenüber. Gleichzeitig liegt das Investitionsvolumen für die Isolierung solcher Anlagen im Bereich von ca. 0,5 % bis 3 % der Gesamtinvestition. Unter der Annahme angeglicherter Amortisationszeiten sollten höhere Investitionen für die Isolierung zugelassen werden. Diese höheren Investitionen bewirken eine Effizienzsteigerung der Isolierung, die wiederum beschleunigend auf die Amortisation wirkt.

Return on investment periods of several years for the complete installation compare generally with some months for the insulation. At the same time, the insulation investment volume of such installations constitutes something in the area of 0,5 % to 3 % of the overall investment. Under the assumption of equalized ROI periods, higher investments for the insulation should be accepted. These higher investments result in an efficiency increase of the insulation, which in its turn shortens the capital return time.

Somit lohnt es sich umso mehr, über größere Isolierdicken und daraus resultierende mögliche Zusatzersparnisse nachzudenken. Die Empfehlung einer zulässigen Wärmestromdichte von 120 W/m^2 (gemäß AGI Arbeitsblatt Q 101 [7]), als Basis zur Ermittlung von wirtschaftlichen Isolierschichtdicken (gemäß VDI 4610 Blatt 3 [4]) anzuwenden, ist nicht länger zeitgemäß.

Unter heutigen Gesichtspunkten und wegen immer höher werdender Ansprüche, sollte deshalb gerade im Anlagenbereich über eine Verringerung der zulässigen Wärmestromdichte und damit auch über effizientere und ökologisch zeitgemäßere Isolierungen nachgedacht werden.

7. Einbeziehung von ökologischen Gesichtspunkten (Nachhaltigkeit)

*„**Nachhaltigkeit** bezeichnet eine Entwicklung, die den Bedürfnissen der jetzigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen.“*

Mit der VDI 4610, Blatt 1 [3] (prEN 17956 [5]) haben wir die Möglichkeit die ökologische Dämmdicke für Isoliersysteme zu ermitteln. Die DIN 4140 [6] empfiehlt Mindestdämmdicken gemäß VDI 4610, Energieeffizienzklasse C.

Folgende Forderungen sollten jedoch aus ökologischer Sicht in jedem Fall eingehalten werden:

- Es darf keine ungedämmten Anlagenteile mehr geben, soweit dies aus betriebstechnischen Gesichtspunkten möglich ist.
- Die gewählte Dämmschichtdicke muss einen möglichst geringen, aber betriebswirtschaftlich noch tragbaren vernünftigen Wärmeverlust ergeben, siehe DIN 4140 [6] als Empfehlung.
- Der kumulierte Energieaufwand für Herstellung, Transport, Montage und Entsorgung des Dämmsystems sollte geringer sein als die über die Lebensdauer der Isolierung eingesparte Energie.

7.1 Der kumulierte Energieaufwand (KEA)

Um eine nachhaltige Wirkung der Dämmung zu erzielen, ist der kumulierte Energieaufwand zu berücksichtigen.

Als kumulierter Energieaufwand wird die Energiemenge bezeichnet, die für Herstellung, Transport, Montage und Entsorgung eines Produktes verbraucht wird. Dabei werden auch alle Vorprodukte bis zur Rohstoffgewinnung berücksichtigt und der Energieeinsatz aller angewandten Produktionsprozesse addiert.

This makes it all the more worthwhile to think about greater insulation thicknesses and the resulting possible additional savings. The recommendation of a permissible heat flow density of 120 W/m^2 (according to AGI worksheet Q 101 [7]) as the basis for determining economical insulation thicknesses (according to VDI 4610 sheet 3 [4]) is no longer up to date.

From today's point of view and due to ever-increasing demands, a reduction in the permissible heat flow density and thus also more efficient and ecologically contemporary insulation should therefore be considered, especially in the plant area.

7. Inclusion of ecological considerations (sustainability)

*„**Sustainability**: Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.“*

With VDI 4610, Sheet 1 [3] (prEN 17956 [5]) we have the possibility, to determine the ecological insulation thickness for insulation systems. DIN 4140 [6] recommends minimum insulation thicknesses in accordance with VDI 4610, energy efficiency class C.

The following requirements, however, should in each case be met from an ecological point of view:

- There are not to be any uninsulated installation components anymore, as far as this is feasible from an operational point of view.
- The insulation layer thickness chosen must lead to a heat loss as small as possible, but economically still acceptable and sensible, see DIN 4140 [6] as a recommendation.
- The cumulative energy expenditure for production, transport, mounting and disposal of the insulation system should be lower than the amount of energy saved during the service life.

7.1 The cumulative energy effort

To achieve a sustainable effect of the insulation, the cumulative energy effort must be considered.

Cumulative energy effort is the term for the total amount of energy that is required for the production, the transport, the mounting and the disposal of a product. All primary products are also taken into account back to the raw-materials and the energy consumption of all production processes is added up.

Wenn zur Herstellung Maschinen oder Infrastruktur-Einrichtungen notwendig sind, wird üblicherweise auch der Energieverbrauch für deren Herstellung und Instandhaltung anteilig in die "graue Energie" des Endprodukts einbezogen. Die VDI-Richtlinie 4600 [10] definiert und erläutert den kumulierten Energieaufwand (KEA).

Where machines or infrastructure installations are required for the production, generally also the energy effort for their production and maintenance is proportionately included in the "grey energy" of the end product. The VDI Guideline 4600 [10] defines and explains the cumulative energy effort.

Tabelle 2 und 3 zeigen, dass der kumulierte Energieaufwand zur Erzeugung einer Isolierung deutlich geringer ist als die eingesparte Energie während der Nutzung.

Tables 2 and 3 show that the cumulative energy expenditure for the production of insulation is significantly lower than the energy saved during use.

Dämmschichtdicke / insulation layer thickness in mm			50	100	150	200	250	300	350
DN 80		80	13	21	30	40	51	64	78
	ϑ_{Med} in °C	300	3	4	5	6	7	8	10
		500	2	2	3	3	3	4	4
DN 200		80	11	15	19	25	31	37	44
	ϑ_{Med} in °C	300	2	3	3	4	4	5	6
		500	2	2	2	2	2	3	3
DN 500		80	9	12	14	17	21	24	28
	ϑ_{Med} in °C	300	2	2	3	3	3	4	4
		500	2	2	2	2	2	2	2

Tabelle 2: KEA: Tage, in denen die für Herstellung, Transport, Montage und Entsorgung einer Isolierung aufgebrauchte Energie wieder eingespart wird; Steinwolle 80 kg/m³; Ummantelung: 0,8 mm verzinktes Stahlblech

Table 2: Days in which the energy used for production, transport and disposal of the insulation is recovered; stone wool: 80 kg/m³; cladding: 0,8 mm galvanized steel sheet

Dämmschichtdicke / insulation layer thickness in mm			40	50	60	70	80	90	100
DN 40	ϑ_{Med} in °C	60	14	12	10	9	8	7	6
		100	31	26	22	19	17	15	13
DN 200	ϑ_{Med} in °C	60	20	18	16	14	13	12	11
		100	47	41	37	33	30	27	25
DN 500	ϑ_{Med} in °C	60	22	20	18	17	16	14	13
		100	53	48	44	40	36	34	31

Tabelle 3: KEA: Tage, in denen die für die Herstellung, Transport, Montage und Entsorgung einer Isolierung aufgebrauchte Energie wieder eingespart wird; Polyurethan Ortschaum 45 kg/m³; Ummantelung: 0,8 mm verzinktes Stahlblech

Table 3: Days in which the energy used for production, transport and disposal of the insulation is recovered; Polyurethane in-situ foam 45 kg/m³; cladding 0,8 mm galvanized steel sheet

In betriebstechnischen Anlagen gibt es keine andere Komponente mit vergleichbar günstiger Energiebilanz. Unter dem Aspekt des KEA lohnt sich isolieren also immer!

In industrial installations, no other component with a comparably advantageous energy balance exists. Under the auspices of the accumulated energy effort, thus, insulation always pays!

8. Anlagenplanung unter dämmtechnischen Gesichtspunkten

Ziel jeder Planung oder Sanierung einer technischen Anlage ist ein möglichst effizienter Einsatz der Energie, wobei die Dämmung eine herausragende Rolle spielt.

Es ist deshalb sinnvoll, den Fachmann für industrielle Isolierung bereits frühzeitig in die Anlagenplanung einzubeziehen.

Der Anlagenplaner kann durch die EEK C nach VDI 4610 (oder höherwertig) bereits den notwendigen Bauraum für das Isoliersystem einfach festlegen. Eine gute Hilfestellung bieten dafür die Tabellen in der VDI 4610 für verschiedene EEK.

Die zusätzlichen Abstandsregelungen für eine fachgerechte Ausführung ohne Behinderung nach DIN 4140 [6] und AGI Q 05 [8] sind ebenfalls einzuhalten.

Diese bedarf vorausschauender Beschaffung und einer Abkehr von reiner Investitionskostenminimierung. Häufig wird nur der Anschaffungspreis in die Kalkulation mit einbezogen, obwohl dieser nur ca. 10 bis 30 Prozent der Lebenslaufkosten beträgt. Bei Gesamtbetriebskostenbetrachtungen von Produktionsanlagen wird jedoch sofort klar, dass der Anteil der Betriebskosten die Investitionskosten bereits nach kurzer Zeit übersteigt. Dies gilt für Dämmmaßnahmen in besonderer Weise.

9. Schlussfolgerungen

Ausgehend von einer langfristigen Betrachtungsweise als Kernelement der Nachhaltigkeit stellt sich die Frage, welche langfristigen Entwicklungen bzw. Rahmenbedingungen sich positiv auf die Effizienz betriebstechnischer Anlagen auswirken. Aufgrund der hohen Rentabilität von Dämmmaßnahmen sollte die Frage des gewählten Dämmstandards hierbei besondere Berücksichtigung erfahren.

Für zukünftige Auslegungen muss die Bemessung des Wärme- und Kälteschutzes nach den Kriterien nachhaltiger Energieeinsparung zum Standard werden. Die Empfehlungen der DIN 4140 [6] bezüglich Dämmschichtdicken nach Energieeffizienzklasse C (oder höherwertig) nach VDI 4610 Blatt 1 [3] für Neu- und Bestandsanlagen bieten hierfür eine gute Grundlage für eine ökologisch sinnvolle Auslegung und sollten entsprechend umgesetzt werden. Die technische Realisierbarkeit ist dabei mit dem Fachmann für industrielle Isolierung abzuklären.

Die Energieeffizienzklassen für technische Dämmung sind europäisch ebenfalls in der prEN 17956 [5], auf Basis der VDI 4610 Blatt 1 [3], definiert.

8. Installation design with insulation considerations

The aim in planning the rehabilitation of an industrial installation is an as far as possible efficient employment of energy, where the insulation plays a decisive part.

It is therefore sensible, to have the expert for industrial insulations participate in the installation design at an early stage.

The system planner can easily determine the required installation space for the insulation system using EEK C according to VDI 4610 (or higher). The tables in VDI 4610 for various EEKs are a good aid for this.

The additional distance regulations for a professional design without obstruction in accordance with DIN 4140 [6] and AGI Q 05 [7] must also be observed.

The design requires procurement with foresight and a deviation from mere investment cost minimization. Frequently, only the procurement price is included in the calculation, despite its constituting only about 10 to 30 % of the life cycle cost. When considering the overall operational costs, however, it becomes immediately obvious that the portion of the operational costs exceeds that of the investment costs already after a short period. This applies to insulation measures in a specifically pronounced way.

9. Conclusions

Starting with a long term consideration as a core element of sustainability the question poses itself, which long term developments respectively frame conditions have a positive influence on the efficiency of industrial installations. Because of the high profitability of insulation measures, the question of the insulation standard to choose should be paramount.

For future designs, the orientation of thermal and cold protection at the criteria of sustainable energy savings should become standard.

The recommendations of DIN 4140 [6] regarding insulation thicknesses according to energy efficiency class C (or higher) in accordance with VDI 4610 Sheet 1 [3] for new and existing systems provide a good basis for an ecologically sensible design and should be implemented accordingly. The technical feasibility should be clarified with the industrial insulation specialist.

The energy efficiency classes for technical insulation are also defined in Europe in prEN 17956 [5], based on VDI 4610 Sheet 1 [3].

Auslegungskriterien hinsichtlich der Arbeitssicherheit (Berührungsschutz), der Verhütung von Tauwasser an der Oberfläche, betriebstechnischer Anforderungen oder der Wirtschaftlichkeit bieten nur Mindestanforderungen für eine Bemessung, die in der Regel überschritten werden, wenn nach gesamtwirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten ausgelegt wird.

Die Auslegung von Dämmungen stellt sich als eine Optimierungsaufgabe dar, die die in dem vorliegenden technischen Brief beschriebenen Parameter umfasst.

Bei Anlagenbetreibern innerbetrieblich häufig angeführte Hemmnisse, wie

- beschränkte bauliche Möglichkeiten zum Einbau größerer Dämmschichtdicken,
- Anpassungsbedarf in Werksordnungen bei veränderter Dämmschichtdicke und/oder neuer Materialien,
- Geringer Stellenwert von Dämmmaßnahmen an sich,
- Nicht vorhandene Nutzungskonzepte für die „überschüssige Wärme“, Fehlannahmen bezüglich der Wirtschaftlichkeit einzelner Dämmmaßnahmen, insbesondere im Hinblick auf Armaturen und Flansche,
- Verteilte Budgetverantwortlichkeiten (während der Instandhaltungsverantwortliche die Kosten für eine optimierte Dämmung aus seinem Budget bezahlen muss, wird in erster Linie der Energiemanager bzw. dessen Budget vom eingesparten Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß profitieren.)

und fehlerhafter Verhaltensweisen, wie

- für Instandhaltungsarbeiten entfernte Dämmung wird nachher nicht wieder angebracht,
- beschädigter Dämmung wird zu wenig bzw. keine Aufmerksamkeit mehr geschenkt,
- Kosten für Dämmmaßnahmen werden nicht als Investition bewertet, sondern als reine Ausgabe gesehen, die möglichst gering ausfallen soll,
- aus mangelnder Kenntnis wird auf vermeintlich bewährte, aber inzwischen veraltete Spezifikationen zurückgegriffen

gilt es diesbezüglich zu hinterfragen und entgegenzuwirken.

Neben der Aufklärungs- und Informationsarbeit der BFA WKSB, der Unternehmen der Isoliertechnik und der Dämmstoffhersteller wären flankierende Maßnahmen der Politik begrüßenswert.

Für die technische Dämmung gibt es aktuell Förderprogramme, z.B. BAFA (Querschnittstechnologien), die das Isolieren noch attraktiver machen.

- Politische Programme, mit denen Energieberatungen gefördert werden, müssen das Thema Industrieisolierung mit einbeziehen.

Design criteria with regard to occupational safety (protection against accidental contact), prevention of condensation on the surface, operational requirements or economic efficiency only provide minimum requirements for a design, which are generally exceeded if the design is based on macroeconomic and ecological aspects.

The design of an insulation system is an optimization task, taking the parameters into account that have been described in this Technical Letter.

Obstacles frequently mentioned by installation operators, such as

- limited building possibilities for the application of higher insulation thicknesses,
- needs for adjustments in company regulations for altered insulation layer thicknesses or new materials,
- low interest level for insulation measures as such
- non-existent concepts for the use of “surplus, heat”, mal conceptions regarding the economy of individual insulation measures, especially for appliances and flanges,
- split budget responsibilities (Whilst the one responsible for maintenance and repair has to pay for the insulation optimization out of his budget, the profit because of energy and CO₂ emissions saved goes to the energy manager, respectively to his budget.)

and faulty conduct, such as

- insulation removed for repair work is not re-installed later,
- no or not enough attention is paid to damaged insulations,
- expenditure for insulation is not considered an investment, but instead as mere costs, to be kept as low as possible,
- because of lacking knowledge supposedly proven, but meanwhile totally outdated specifications are relied upon

must be questioned and countered.

Next to the information and education work of the BFA WKSB, the enterprises of the insulation industry and the insulation material manufacturers, supporting activities by politicians would be welcome.

There are currently subsidy programmes for technical insulation, e.g. BAFA (cross-section technologies), which make insulation even more attractive.

- Political programmes sponsoring energy advising must include the subject of industrial insulation.

- Das Thema Energieeffizienz durch Wärmeschutz gehört in die Bildungspläne von Schulen, Fachhochschulen und Technischen Universitäten.
- Anreizprogramme für Energieeffizienzanalysen in Betrieben, sowie für Energiespar-Investitionen, d. h. auch verbesserte Abschreibungsbedingungen für den Einsatz von energieeffizienten Lösungen, müssen geschaffen werden.
- The subject energy efficiency through heat protection must be included in the agendas of schools, high schools and technical universities.
- Incentive programmes for energy efficiency analyses in companies, as well as for energy saving investments, i.e. also improved tax reduction conditions for the implementation of energy efficient solutions must be created.

Literatur / Literature:

[1] Umweltbundesamt (UBA)

UBA-Kurzpapiere ; Artikel "Bausteine für einen klimagerechten Verkehr" - Stand 04/2024

[2] Poblitzki, J.

Mehr elektrische Energie durch optimierte Dämmdickenverteilung ; Isoliertechnik 3 (2012)

[3] VDI 4610, Blatt 1

Energieeffizienz betriebstechnischer Anlagen - Wärme- und Kälteschutz

[4] VDI 4610, Blatt 3

Energieeffizienz betriebstechnischer Anlagen - Methoden zur Optimierung von Dämmsystemen

[5] prEN 17956

Heizungsanlagen und wassergeführte Kühlanlagen in Gebäuden - Energieeffizienzklassen für technische Dämmsysteme - Berechnungsmethoden

[6] DIN 4140

Dämmarbeiten an betriebstechnischen Anlagen in der Industrie und in der technischen Gebäudeausrüstung–Ausführung von Wärme- und Kälte-dämmungen

[7] AGI Arbeitsblatt Q 101

Dämmarbeiten an Kraftwerkskomponenten

[8] AGI Arbeitsblatt Q 05

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

[9] EiiF

"White Paper 2021 - Decarbonising Industry with Rapid Payback"

[10] VDI 4600

Kumulierter Energieaufwand (KEA) - Begriffe, Berechnungsmethoden

Bildnachweise / Picture credits:

Bild 1, Seite 4: UBA-Kurzpapiere ; Bausteine für einen klimagerechten Verkehr – Stand 04/2024 ;
Layout: Bundesfachabteilung WKS im Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.

Bild 2, Seite 6: U.S. Energy Information Administration, Federal Reserve Economic Data (FRED) ;
Layout: Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München

Bild 3, Seite 8 / Bilder 4 + 5, Seite 11 / Bild 6, Seite 12: Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München

Bild 7, Seite 13 / Bild 8, Seite 14 / Bilder 9 + 10, Seite 15: Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München

Gleichung 1, Seite 9: Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München

Bilder 11 + 12, Seite 16: EiiF "White Paper 2021 - Decarbonising Industry with Rapid Payback"

Tabelle 1, Seite 16: EiiF "White Paper 2021 - Decarbonising Industry with Rapid Payback"

Layout: Bundesfachabteilung WKS im Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.

Bild 13, Seite 17: Bohle Isoliertechnik GmbH

Tabellen 2 + 3, Seite 19: Eigene Darstellung

Haftungsausschluss / Disclaimer:

Der Technische Brief Nr. 14 „Energieeffizienz im Anlagenbau – Aspekte nachhaltigen Dämmens“ stellt eine pauschale Sachverhaltsdiskussion dar, die eine technische bzw. bauphysikalische Bewertung eines Einzelfalles nicht ersetzt. Sie sind das Ergebnis einer Gemeinschaftsarbeit des Technischen Ausschusses der Bundesfachabteilung Wärme-, Kälte-, Schall- und Brandschutz (BFA WKSB) im Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (HDB) und gibt eine Information zum Stand der Technik zum Zeitpunkt der Veröffentlichung. Die Anwendung auf konkrete Lebenssachverhalte ist stets sorgfältig eigenverantwortlich zu prüfen, woraus sich andere oder zusätzliche Maßnahmen ergeben können. Für Aktualität, Vollständigkeit und Richtigkeit der Inhalte wird keine Haftung übernommen.

Technical Letter No. 14 “Energy efficiency in plant construction - aspects of sustainable insulation” is a general discussion of the facts that cannot replace a technical or building physics assessment of an individual case. They are the result of joint work by the Technical Committee of the Federal Specialist Department for Heat, Cold, Noise and Fire Protection (BFA WKSB) in the German Construction Industry Federation (HDB) and gives information about the status of technology at the moment of publication. The application to specific circumstances must always be checked carefully and independently, which may result in other or additional measures. No liability is assumed for the topicality, completeness, and correctness of the contents.

An diesem Technischen Brief haben folgende Mitglieder und ständigen Gäste des Technischen Ausschusses der BFA WKSB mitgearbeitet: / *The following members and permanent guests of the Technical Commission of the BFA WKSB have contributed to this Technical Letter:*

- Denis Edelfhof
- Gerd Gollenstede
- Andreas Götze
- Karlheinz Kermann
- Christoph Krauß
- Sascha Leschzyk
- David Maurer
- Andreas Regel
- Walter Riering
- Rene Scharnowski
- Christian Seyfarth
- Roland Schreiner
- Mike Tomasina



IMPRESSUM / IMPRINT

Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.

Geschäftsbereich Hochbau, Normung und Nachhaltigkeit
Bundesfachabteilung Wärme-, Kälte-, Schall- und Brandschutz
Kurfürstenstraße 129, D-10785 Berlin
www.bauindustrie.de

ANSPRECHPARTNER

Andreas Götze
Bundesfachabteilung Wärme-, Kälte-, Schall- und Brandschutz
Tel. +49 30 21286-0
Fax +49 30 21286-250
Email bfa.wksb@bauindustrie.de

Titelseite: © Florencio Horcajo Alvarez / iStock

Mai 2024, 4. Überarbeitete Auflage; May 2024, 4th revised edition