

Dämmung in der Klima- und Kältetechnik

Grundlagen zur Dimensionierung und Vermeidung von Tauwasserbildung

Dipl.-Ing. Hubert Helms*

Jeder kennt den Effekt: Herabperlendes Wasser an einem gekühlten Getränk - Eine angenehme Erscheinung und Zeichen für Frische. Unerwünschte Auswirkungen hat dieses Phänomen dagegen bei der Dämmung haus- und betriebstechnischer Anlagen. Bildet sich auf solchen Objekten Tauwasser, kann dies erhebliche Schäden nach sich ziehen. Neben den Kosten für die Behebung des Schadens entstehen unter Umständen auch Folgekosten aufgrund durchfeuchteter Decken, beschädigter Waren oder Störungen von Produktionsprozessen. Der Beitrag beschäftigt sich daher mit der Beantwortung der Fragen: Wie kommt es zur Tauwasserbildung? Wann spricht man von einer Kälte­dämmung? Und welche Faktoren müssen berücksichtigt werden, um das Entstehen von Tauwasser zu verhindern?

Die DIN 4140 und das AGI-Arbeitsblatt Q 02 unterscheiden zwischen Wärme- und Kälte­dämmungen. Bei Wärmedämmarbeiten an betriebstechnischen Anlagen liegt die Betriebstemperatur über der Umgebungstemperatur, so dass Wärmedämmungen den Wärmeverlust des Medi-

ums vermindern. Kälte­dämmungen liegen dagegen vor, wenn die Betriebstemperatur des Mediums unter der Umgebungstemperatur liegt oder wenn wechselnde Betriebstemperaturen – auch kurzzeitig – die Taupunkttemperatur der Umgebungsluft unterschreiten. Kälte­dämmungen

sollen also den Wärmestrom zum Medium vermindern.

Es kann also durchaus notwendig sein, ein Objekt mit einer Betriebstemperatur von +40°C mit einer Kälte­dämmung zu ummanteln, weil die Temperatur der Umgebungsluft z. B. +50°C beträgt. Die besonderen Anforderungen an eine Kälte­dämmung sind nicht nur von der Temperatur des zu dämmenden Mediums abhängig, sondern vielmehr von den besonderen physikalischen Randbedingungen, die sich bei Medientemperaturen unterhalb der Umgebungstemperatur ergeben.

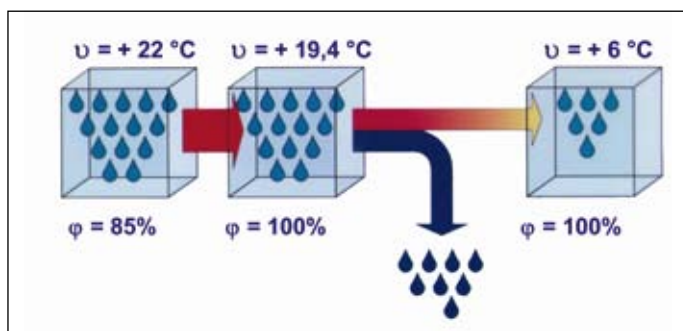
Physikalische Grundlagen

Die Fähigkeit der Luft Feuchtigkeit in Form von Wasserdampf aufzunehmen ist begrenzt, wobei warme Luft mehr Feuchtigkeit aufnehmen kann als kalte Luft. In der unmittelbaren Umgebung einer Rohrleitung, deren Mediumtemperatur unter der Temperatur der Umgebungsluft liegt, kühlt sich die Umgebungsluft ab. Da die vorhandene absolute Wasserdampfmenge mit dem



■ Klimakanäle über einem industriellen Waschband. Die rel. Luftfeuchtigkeit ist hier ein wichtiger Faktor zur Bestimmung der erforderlichen Dämmschichtdicke.

*) Dipl.-Ing. Hubert Helms, Manager Technical Services Armacell GmbH



■ Mit sinkenden Lufttemperaturen erhöht sich die Wasserdampfsättigung der Luft, sodass bei Unterschreitung der Taupunkttemperatur Kondensat ausfällt.

Abkühlen der Luft jedoch nicht abnimmt, ist die Luft bei einer bestimmten Temperatur zu 100 % mit Wasserdampf gesättigt. Diese Temperatur nennt man auch Taupunkttemperatur. Kühlt sich nun die Luft am Objekt weiter ab, so wird ein Teil des Wasserdampfes als Tauwasser ausfallen.

Übertragen auf Dämmungen im Kältebereich bedeutet dies, dass die gewählte Dämmschichtdicke die Unterschreitung der Taupunkttemperatur auf der Dämmstoffoberfläche wirksam verhindern muss. Ein wichtiger Punkt liegt hier in der Verarbeitung des Dämm-Materials. So müssen sämtliche Nähte sorgfältig verklebt werden, um einen Zutritt der Umgebungsluft zur Rohroberfläche zu verhindern.

Dämmschichtdicken richtig bemessen

Zur Berechnung der Oberflächentemperatur bzw. der erforderlichen Dämmschichtdicke müssen neben der Mediumtemperatur auch Umgebungsbedingungen wie Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit bekannt sein. Sie sind im Rahmen der Projektierung als zu erwartende Maximalwerte anzusetzen. Außerdem muss die Wärmeleitfähigkeit der eingesetzten

Isolierung sowie deren Wärmeübergangskoeffizient und die geometrischen Abmessungen des zu dämmenden Rohres, Kanals oder Behälters bekannt sein.

Entscheidend bei der Bestimmung der Dämmschichtdicke ist die Kenntnis der einzelnen Einflussgrößen auf die Auslegung und Funktions-tauglichkeit der Dämmung.



■ Schadensbild - Aufgrund offener Klebnähte hat sich zwischen Rohrleitung und Dämmung Kondensat angesammelt.

Bei Kälteleitungen wird die Mediumtemperatur durch die Wahl des entsprechenden Kältemittels bestimmt. Die Temperatur ist damit eindeutig festgelegt und als konstante Größe problemlos kalkulierbar. Weniger eindeutig lässt sich die Umgebungstemperatur bestimmen. Für Rohrleitungen im Außenbereich können Klimadaten – wie sie von verschiedenen Wetterdiensten angeboten werden – herangezogen werden. Für Anlagen im Innenbereich werden in der Regel Annahmen über typische Umgebungstemperaturen getroffen, die auf Erfahrungswerten beruhen.

Einflussgröße Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit (λ) beschreibt die Fähigkeit eines Stoffes, Wärme zu leiten. Je kleiner der λ -Wert, desto besser ist die Dämmwirkung. Die Wärmeleitfähigkeitswerte der für technische Isolierungen üblichen Dämmstoffe liegen im Bereich von 0,030 bis 0,060 W/(m·K). Dabei beeinflusst die Stofftemperatur die Wärmeleitfähigkeit der Dämmung, sodass grundsätzlich der für die Betriebstemperatur geltende λ -Wert in der Berechnung berücksichtigt werden muss. Häufig wird dabei der λ -Wert auf eine Mitteltemperatur bezogen. Die Mitteltemperatur selbst errechnet sich als arithmetisches Mittel der Oberflächen- und der Mediumtemperatur. In der Praxis ist es jedoch üblich, mit dem Mittelwert aus Umgebungs- und Mediumtemperatur zu rechnen.

Bei elastomeren Dämmstoffen erhöht sich die Wärmeleitfähigkeit mit zunehmender Temperatur. Dadurch wird die Dämmschichtdicke der Isolierung maßgeblich beeinflusst, denn je niedriger die Wärmeleitfähigkeit ist, desto geringer kann die Dämmschichtdicke gewählt werden.

Einflussgröße Relative Luftfeuchtigkeit

Die tatsächlich vorhandene Wasserdampfmenge der Luft wird auch als absolute


Luftfeuchtigkeit bezeichnet und in Gramm pro Kubikmeter Luft (g/m^3) angegeben. Die maximale Luftfeuchtigkeit dagegen gibt an, wie viel Wasserdampf ein Kubikmeter Luft – abhängig von der Temperatur – aufnehmen kann. So kann beispielsweise Luft von +30°C maximal 30,39 g Wasser aufnehmen, Luft von +5°C hingegen nur maximal 6,8g. Bei einem Abkühlen gesättigter Luft von +30°C auf +5°C würden also 23,5g Wasser ausgeschieden.

Üblicherweise setzt man die absolute mit der maximalen Luftfeuchtigkeit ins Verhältnis und bezeichnet dieses Verhältnis als relative Luftfeuchtigkeit, die in Prozent angegeben wird.

Bei der Ermittlung der notwendigen Dämmschichtdicke zur Tauwasser-Verhinderung wird der Einfluss der relativen Luftfeuchtigkeit häufig unterschätzt. Je höher die Luftfeuchtigkeit, umso größer muss – bei sonst gleichen Bedingungen – die erforderliche Dämmschichtdicke sein. So kann unter bestimmten Umständen ein 10%iger Anstieg der Luftfeuchte zu einer Verdoppelung der Dämmschichtdicke, ein weiterer 10%iger Anstieg schon zu einer Vervierfachung des Ausgangswertes führen.

Die Einflussgröße „relative Luftfeuchtigkeit“ wirkt sich also enorm auf die spätere Dämmschichtdicke aus. Leider lässt sich in vielen Fäl-


Berechnungsformel für Rohre



$$\frac{d_a}{2} \ln \frac{d_a}{d_i} = \frac{\lambda}{\alpha_a} \left(\frac{\vartheta_a - \vartheta_i}{\vartheta_a - \vartheta_K} - 1 \right)$$

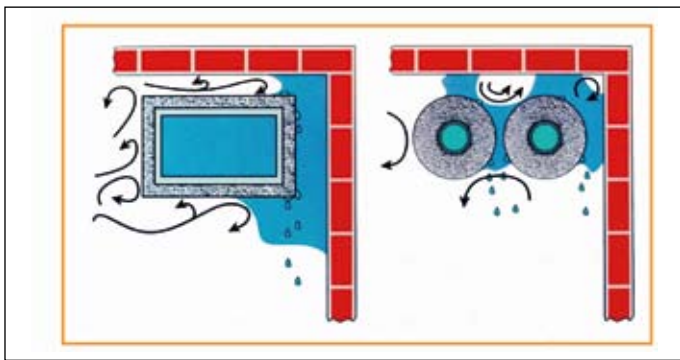
$$S_R = \frac{d_a - d_i}{2}$$

Berechnungsformel für ebene Flächen



$$S_F = \frac{\lambda}{\alpha_a} \left(\frac{\vartheta_a - \vartheta_i}{\vartheta_a - \vartheta_K} - 1 \right)$$

■ Rechnerische Ermittlung der Dämmschichtdicken für Rohre und Flächen.



■ Stauzonen unterbinden den konvektiven Wärmeübergang und erhöhen die Gefahr der Tauwasserbildung.

len diese Größe nicht so einfach bestimmen wie etwa die Mediumtemperatur oder die Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes. Detaillierte Kenntnisse über den späteren Einsatzbereich der Anlage sind daher für die Planung äußerst wichtig, um eine möglichst realistische Einschätzung der späteren Feuchtigkeitsverhältnisse vornehmen zu können.

Einflussgröße Wärmeübergangskoeffizient

Einen ähnlich großen Einfluss wie die relative Luftfeuchtigkeit auf die Dämmschichtdicke besitzt auch der Wärmeübergangskoeffizient. Er setzt sich aus einem Anteil Konvektion und einem Anteil Wärmestrahlung zusammen.

Die Konvektion trägt dabei wesentlich zur Verbesserung des Wärmübergangs bei. Je schneller die umgebende Luft strömt, desto mehr Wärme wird abtransportiert. In der Praxis muss daher auf jeden Fall vermieden werden, dass Rohre und Kanäle zu dicht nebeneinander liegen bzw. auch in zu geringen Abständen von Wänden und sonstigen Einbauten verlaufen. Neben den verar-

beitungsbedingten Schwierigkeiten für eine fachgerechte Ausführung von Dämmarbeiten können so Stauzonen entstehen, in denen die notwendige „Luftzirkulation“ unterbunden wird. In solchen Stauzonen stellt sich ein geringerer Wärmeübergangskoeffizient ein, womit sich die Gefahr der Tauwasserbildung ganz erheblich erhöht.

In der DIN 4140 wird folglich auch ein Abstand von 100 mm zwischen fertig gedämmten Rohrleitungen bzw. als Abstand zur Wand oder Decke gefordert. Bei Behältern, Apparaturen etc. soll der Abstand sogar 1000 mm betragen.

Der Einfluss der Wärmestrahlung auf den Wärmeübergangskoeffizienten wird im Wesentlichen von der Oberflächenbeschaffenheit des Dämmstoffes oder dessen Ummantelung bestimmt. So absorbiert ein Dämmstoff auf Basis synthetischen Kautschuks mehr Wärmeenergie als z. B. eine Aluminiumfolie, was sich positiv auf die erforderliche Dämmschichtdicke auswirkt.

derliche Dämmschichtdicke zur Tauwasserverhinderung auswirkt. Je höher also das Absorptionsvermögen, desto geringer wird die Dämmschichtdicke.

Der Wärmeübergangskoeffizient wird von vielen Faktoren beeinflusst, die in der Regel aber nicht exakt und eindeutig bestimmt werden können. Dennoch muss ein möglichst realistischer Wert für den Wärmeübergangskoeffizienten festgelegt werden. In der VDI 2055 – Wärme- und Kälteschutz für betriebs- und haustechnische Anlagen, finden sich hierzu Berechnungsformeln, die eine näherungsweise Berechnung des Wärmeübergangskoeffizienten ermöglichen.

α_s-Werte für verschiedene Oberflächen:

- „AF/Armaflex“, ungestrichen schwarz oder mit Schutzanstrich: 9 W/(m² · K)
- Mit verzinktem Stahlblech ummantelt: 7 W/(m² · K)
- Mit Aluminium- oder Edelstahlblech ummantelt: 5 W/(m² · K)

Dimensionierungsbeispiel aus der Praxis

Die Brisanz, die in der Ermittlung der erforderlichen Mindestdämmschichtdicke zur Tauwasserverhinderung liegt, soll an einem Beispiel aus der Praxis verdeutlicht werden. Zur Dämmung des Frischluftansaugkanals in einer Papier verarbeitenden Fabrik waren Platten aus elastomerem Dämmstoff in ei-

ner Dämmschichtdicke von 19 mm ausgeschrieben worden. Grundlage für die Berechnung war eine angenommene Ansaugtemperatur von -12°C. Als Umgebungstemperatur wurde ein Wert von +23°C zugrunde gelegt, die relative Luftfeuchtigkeit wurde mit 65% festgelegt (siehe Tabelle 1).

Leider wurde schon kurze Zeit nach Inbetriebnahme der Anlage festgestellt, dass sich Tauwasser auf der Dämmsstoffoberfläche bildete. Ein sicheres Zeichen dafür, dass die Dämmschichtdicke zu gering angesetzt worden war. Vor Ort durchgeführte Messungen lieferten schnell eine Erklärung: Die Umgebungstemperatur war zwar geringfügig höher als angenommen, die 19 mm dicke Dämmung wäre jedoch trotz dieser Abweichung ausreichend bemessen gewesen. Anders sah es bei der relativen Luftfeuchte aus: Hier wurde ein Wert von 80% gemessen. Bei der Planung war nicht berücksichtigt worden, dass die Räumlichkeiten in regelmäßigem Abstand mit Wasser gereinigt werden, sodass die relative Luftfeuchtigkeit für die Auslegung zu niedrig angesetzt worden war. Tabelle 1 zeigt eine Gegenüberstellung der geplanten und tatsächlichen Randbedingungen. So ergab die erneute Berechnung eine mehr als doppelt so dicke Dämmschicht wie vom Planer ausgeschrieben.

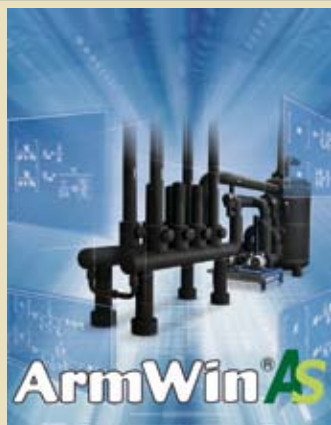
Im vorliegenden Fall konnte das Problem auf relativ einfache Weise gelöst werden, indem nach Abschalten der

■ Tabelle 1:

	Planerische Vorgaben	Tatsächliche Bedingungen
Relative Luftfeuchte	65 %	80
Umgebungstemperatur	+23 °C	26
Mediumtemperatur	-12 °C	-12 °C
Wärmeübergangskoeffizient außen	9 W/(m ² · K)	9 W/(m ² · K)
Wärmeleitfähigkeit Dämmstoff	0,0336 W/(m · K)	0,0337 W/(m · K)
Erforderliche Mindestdämmschichtdicke	13,9 mm	33,3 mm
Gewählte Dämmschichtdicke	19 mm	38 mm (2 x 19 mm)

Dämmschichtdicken kalkulieren

Eine Arbeitshilfe zur Berechnung der erforderlichen Dämmstoffdicken stellt Armacell Planern und Verarbeitern mit der Software „ArmWin AS“ zur Verfügung. So können mit dem Berechnungsprogramm nach Angaben des Unternehmens alle gängigen technischen Berechnungen sowohl im Kälte-/Klimabereich als auch im Sanitär- und Heizungsbereich durchgeführt werden. Neben der erforderlichen Dämmschichtdicke, dem Wärmestrom sowie der Temperaturveränderungen bei strömendem und stillstehendem Medium und der Einfrierzeit von Wasserleitungen könne mit dem Berechnungsprogramm auch die Heizkostensparnis pro Meter Rohr ermittelt werden. Die Software kann ohne Installation direkt auf der Internetseite des Dämmstoffherstellers genutzt werden.



Anlage und Trocknen der Dämmstoffoberfläche einfach eine zweite, 19 mm dicke Dämmstofflage aufgeklebt wurde. So einfach wie in diesem Fall lassen sich aber bei Weitem nicht alle Schadensfälle lösen.

Für die Dämmung von Kälteanlagen ist die Auswahl eines geeigneten Dämmstoffes

besonders wichtig. So sollte der Dämmstoff geschlossenzellig sein und über einen hohen Widerstand gegen Wasserdampfdiffusion verfügen, um auch dauerhaft das Eindiffundieren von Feuchtigkeit aus der Umgebungsluft auf ein Minimum zu begrenzen. Bewährt haben sich Dämmstoffe auf Basis synthetischen Kau-

tschuks. Neben guten technischen Werten eignen sie sich aufgrund ihrer Flexibilität und Verarbeitung. Der Dämmstoff weicht aber von den im Heizungs- und Sanitär-Bereich verwendeten ab. Sie sind für den Einsatz auf Kälteleitungen ungeeignet, da sie über einen deutlich geringeren Wasserdampfdiffusionswiderstand verfügen, als die speziell für Kälteanlagen konzipierten Materialien. Bei Kälteanlagen empfiehlt es sich darüber hinaus auf Dämmstoffe zurückzugreifen, deren zentrale technische Eigenschaften – μ - und λ -Werte – kontinuierlich fremdüberwacht werden.

Fazit

Die Verhinderung von Tauwasser auf der Oberfläche ist eine Minimalanforderung, die von jeder Kälteämmung dauerhaft und auch unter kritischen Bedingungen zu erfüllen ist. Voraussetzung hierfür ist die richtige Dimensionierung der Dämmschichtdicke, die neben der Material- und Verarbeitungsqualität maßgeblich ist. Planer und Verarbeiter, die aus Kostengründen

Qualitätseinbußen bei der Kälteämmung in Kauf nehmen, gehen ein oft nicht kalkulierbares Risiko ein. Neben der Verhinderung von Tauwasser dient die Dämmung von kältetechnischen Anlagen auch der Reduktion von Kälte- und damit Energieverlusten aus den Anlagenteilen. Aus energetischen Gesichtspunkten ist es daher sinnvoll, kältetechnische Dämmungen so zu planen, dass über die Minimalanforderung der Tauwasser-Verhinderung hinaus auch energetische Aspekte berücksichtigt werden. ■

Bilder: Armacell GmbH, Münster

@ Internetinformationen:
www.armacell.com