

Tauwasserverhinderung – Hauptaufgabe einer Kälte­dämmung

Kälteisolation mit flexiblen Dämmstoffen

Michaela Störkmann, Münster

Jeder von uns kennt die Erscheinung der Tauwasserbildung, zum Beispiel bei gekühlten Getränken, die, sobald das Glas oder die Flasche in eine wärmere Umgebung kommen, zu Taubildung auf der Oberfläche neigen. Was bei Getränken als Ausdruck angenehmer Kühlung empfunden wird, kann an betriebstechnischen Anlagen unangenehme und schädliche Folgen haben.

Versetzen wir uns einmal in folgende Situation eines Warenhauses. Hinter der abgehängten Decke sind kältetechnische Anlagenteile verborgen. Kommt es in diesem Bereich zur Tauwasserbildung, wird durch das abtropfende Wasser im Laufe der Zeit die Decke durchfeuchten. Schlimmstenfalls wird dann sogar von der Decke abtropfendes Wasser hochwertige Waren beschädigen. Man kann sich auch leicht vorstellen, welche Kosten zum Beispiel entstehen, wenn Tauwasser zu Betriebsstörungen im Produktionsprozeß eines Industriebetriebes führt.

Trockene Dämmstoff- bzw. Ummantelungs­oberflächen bei Kälteisolationen müssen daher Ziel jeder Planung sein.

Luft kann nicht unendlich viel Wasserdampf aufnehmen

Die Luft enthält Wasser im gasförmigen Zustand. Bei einer bestimmten Temperatur und einer bestimmten relativen Luft-

feuchtigkeit enthält die Luft eine definierte Menge von Wasserdampf. Kühlt man Luft ab, so wird sie bei einer bestimmten Temperatur, der sogenannten Taupunkttemperatur, zu 100 % mit Wasserdampf gesättigt sein. Würde man die Luft weiter abkühlen, so würde ein Teil des Wassers nicht mehr in Form unsichtbaren Wasserdampfes gehalten werden können und deshalb in Tropfenform ausfallen. Warme Luft kann also mehr Wasserdampf aufnehmen als kalte (Bild 1).

Der jeweilige Wasserdampfgehalt der Luft kann der Einfachheit halber direkt aus Tabellen entnommen werden, die man in der Fachliteratur findet. Man kann hier sehr gut ablesen, wie weit man Luft einer bestimmten relativen Feuchte abkühlen darf, ohne daß die relative Feuchte von 100 % überschritten wird und damit Tauwasser ausfallen würde. In unserem Beispiel (Bild 2) darf die 22 °C warme Luft mit einer relativen Feuchte von 85 % um 2,6 K auf 19,4 °C abgekühlt werden, ohne daß Tauwasser entsteht. Diese Temperatur heißt deshalb Taupunkttemperatur.

Luft mit 22 °C und 85 % relativer Luftfeuchte enthält also genau soviel Wasser als unsichtbaren Wasserdampf wie bei einer Temperatur von 19,4 °C und 100 % rel. Feuchte, nämlich 14,1 g Wasser pro kg

zur Autorin

Dipl.-Ing. (FH) Michaela Störkmann
 Manager Technischer Kundenservice,
 Armstrong Insulation Products GmbH,
 Münster



trockener Luft. Würde man die Temperatur auf 6 °C reduzieren, können nur noch 5,8 g Wasser gehalten werden. Die Differenz von 8,3 g würde als Tauwasser auftreten.

Im Normalfall enthält Luft nur einen bestimmten Prozentsatz der maximal möglichen Feuchtigkeit. Er wird als relative Luftfeuchte angegeben, und läßt sich auf zweierlei Weise definieren:

1. als der einhundertfache Wert des Verhältnisses von vorhandenem Feuchtegehalt zu max. möglichem Feuchtegehalt.
2. als der einhundertfache Wert des Verhältnisses aus Wasserdampfdruck und Sättigungsdruck.

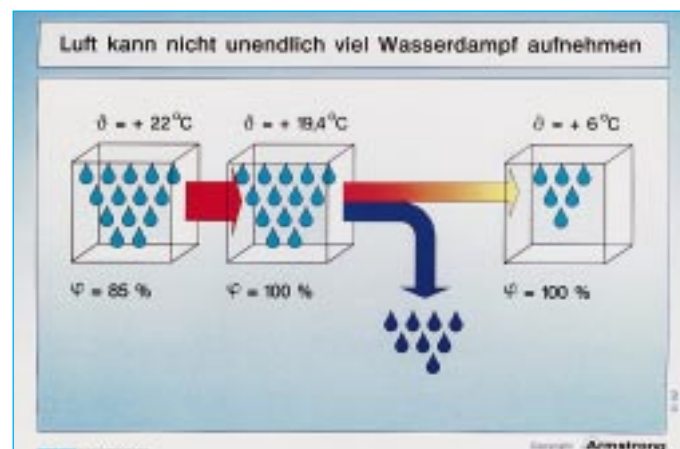


Bild 1

Bild 2

Die Taupunkttemperatur der Luft in Abhängigkeit von Temperatur und relativer Luftfeuchte

Lufttemperatur t, °C	Relative Luftfeuchte φ													
	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
20	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
22	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
24	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
26	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
28	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39

Taupunkttemperatur t_d in °C bei einer relativen Luftfeuchte von:

Lufttemperatur t, °C	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
20	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
22	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
24	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
26	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
28	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39

Bild 3



Die Taupunkttemperatur darf nicht unterschritten werden

Auf Dämmungen im Kältebereich übertragen bedeutet das, daß die Dämmschichtdicken so dimensioniert werden müssen, daß die Taupunkttemperatur auf der Dämmstoffoberfläche niemals unterschritten wird. Für unser Beispiel (Bild 3) muß die Dämmschichtdicke mindestens 15,7 mm betragen, damit es nicht zu Tauwasserbildung kommt (Umgebungstemperatur 22 °C, Mediumtemperatur 6 °C, relative Luftfeuchte 85 %, Rohraußendurchmesser 33,7 mm). In der Praxis wird man aber nur selten genau die Dämmschichtdicke bekommen, die exakt der errechneten Dämmschichtdicke entspricht. Man wählt daher im allgemeinen die nächst größere Dämmschichtdicke. Somit ist noch eine zusätzliche Sicherheit „eingebaut“.

Merksatz:

Um Tauwasser zu verhindern, muß also in jedem Fall gewährleistet sein, daß die Oberflächentemperatur auf der Dämmung

Rechnerische Ermittlung der Dämmschichtdicken [m]

Berechnungsformel für Rohre

$$\frac{d_2}{2} \ln \frac{d_2}{d_1} = \frac{\lambda}{\alpha_s} \left(\frac{\theta_a - \theta_i}{\theta_a - \theta_k} - 1 \right)$$

$$s_1 = \frac{d_2 - d_1}{2}$$

Berechnungsformel für ebene Flächen

$$s_1 = \frac{\lambda}{\alpha_s} \left(\frac{\theta_a - \theta_i}{\theta_a - \theta_k} - 1 \right)$$

Bild 4

mindestens gleich oder höher ist, als die Taupunkttemperatur bei definierten Umgebungsbedingungen.

Nur richtig bemessene Dämmschichtdicken schützen optimal vor Tauwasserbildung

Will man nun die Oberflächentemperatur berechnen, bzw. die Dämmschichtdicke (Bild 4), die mindestens notwendig ist, um sicherzustellen, daß die Oberflächen-

temperatur mindestens gleich der Taupunkttemperatur ist, müssen neben der Mediumtemperatur auch die Umgebungsbedingungen – Umgebungstemperatur, relative Luftfeuchte – bekannt sein bzw. sind im Rahmen der Projektierung als zu erwartende Maximalwerte festzulegen. Außerdem müssen die Wärmeleitfähigkeit der eingesetzten Isolierung, der Wärmeübergangskoeffizient der Oberfläche der Dämmung und das zu dämmende Objekt (Rohr/Kanal etc.) bekannt sein.

Diese Formeln dürften allgemein bekannt sein. Entscheidend ist jedoch die Kenntnis darüber, wie sich die einzelnen Einflußgrößen auf die Auslegung und spätere Funktionstauglichkeit der Dämmung auswirken.

Die Einflußfaktoren Einflußfaktor – Umgebungsbedingung

Um die Mindest-Dämmschichtdicken von Kälte dämmungen ermitteln zu können, muß man Annahmen über typische Umgebungsbedingungen treffen. Die in Tabelle 1 aufgeführten Maximal-Werte wurden bei Anfragen von Isolierern, Planern und Anlagebetreibern genannt und spiegeln die Bedingungen wider, die typischerweise der Dimensionierung von Kälte dämmungen zugrunde gelegt werden.

Ein oft gemachter Fehler ist die Unterschätzung des Einflusses der rel. Luftfeuchte auf die notwendige Dämmschichtdicke zur Tauwasserverhinderung. Ein 10 %iger Anstieg der Luftfeuchte kann z. B. in bestimmten Bereichen eine Verdoppelung der Dämmschichtdicke erforderlich machen (siehe Tabelle 2).

	Umgebungstemp. in °C			rel. Luftfeuchte in %		
	max.	im Mittel	min.	max.	im Mittel	min.
Technikräume	32	18,5-22,5	5,0-13,0	75	55-65	35-55
Rohrschächte/-kanäle						
- "trocken"	24	20,0-23,0	16,0-22,0	65	50-60	35-55
- "feucht"	22	17,0-21,0	12,0-20,0	85	70-80	55-75
Kellerflure	siehe Rohrschächte/-kanäle - "feucht"					
Deckenhohlräume (Unterdecken)	siehe Rohrschächte/-kanäle - "trocken"					
Räume in Büros	28	19,0-24,0	10,0-20,0	70	55-65	40-60
- Schulen						
- Krankenhäuser						
Tiefgaragen						
- schlecht belüftet	siehe Rohrschächte/-kanäle - "feucht"					
- belüftet	26	16,0-20,0	6,0-14,0	89	65-75	40-60
Lebensmittelproduktion	20	15,5-17,5	11,0-15,0	90	70-80	50-70

Tabelle 1 Typische Umgebungsbedingungen für Kälteisolierungen

Einflußfaktor – Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes

Die Wärmeleitfähigkeitswerte, der für technische Isolierungen üblichen Dämmstoffe liegen im Bereich 0,030–0,060 W/(m · K). Ein die Wärmeleitfähigkeit beeinflussender Parameter ist die Mitteltemperatur. Bei elastomeren Dämmstoffen wie AF/Armaflex erhöht sich die Wärmeleitfähigkeit mit zunehmender Temperatur. Dadurch wird die Dämmschichtdicke der Isolierung maßgeblich beeinflusst, denn je niedriger die Wärmeleitfähigkeit, desto geringer die Dämmschichtdicke. Seriöse Dämmstoffanbieter geben daher die Wärmeleitfähigkeit ihrer Stoffe nur in Kombination mit der Mitteltemperatur an.

Einflußfaktor – Wärmeübergangskoeffizient

Was in der Praxis und auch bei der Planung von Anlagen auf jeden Fall vermieden werden muß, ist, daß Rohre und Kanäle zu dicht nebeneinander liegen und auch in zu geringem Abstand von Wänden und sonstigen Einbauten verlaufen. Neben der verarbeitungsbedingten Schwierigkeit hier überhaupt fachgerecht eine Dämmung aufbringen zu können, birgt dies auch die Gefahr in sich, daß Stauzonen auftreten. In diesen Bereichen wird die, für eine genügend hohe Oberflächentemperatur notwendige „Luftzirkulation“ (Konvektion) unterbunden, d. h., in solchen Stauzonen stellt sich ein geringerer Wärmeübergangskoeffizient ein (Bild 5). Dadurch erhöht sich die Gefahr der Tauwasserbildung erheblich. In DIN 4140, 11/1996 („Ausführung von Wärme- und

Kältearbeiten an betriebstechnischen Anlagen“) wird folglich auch grundsätzlich ein Abstand von 100 mm zwischen den fertig gedämmten Rohrleitungen bzw. als Abstand zur Wand oder Decke gefordert. Bei Behältern, Apparaturen etc. wird sogar ein Abstand von mindestens 1000 mm gefordert.

Der Wärmeübergangskoeffizient außen α_a , muß auf jeden Fall bestimmt werden. Dafür müssen zunächst:

1. Die Platzverhältnisse/Lüftungsverhältnisse ermittelt werden.
2. Die Oberflächenbeschaffenheit des Dämmstoffes oder dessen Beschichtung bekannt sein.

In der VDI-Richtlinie 2055, 07/94 („Wärme- und Kälteschutz für betriebs- und haustechnische Anlagen“) – und zukünftig auch in einer entsprechenden

Europannorm – findet man geeignete Berechnungsformeln.

Vereinfachend kann bei normalen Platzverhältnissen für z. B. mit AF/Armaflex gedämmte Anlagen für den α_a -Wert mit folgenden Erfahrungswerten gerechnet werden:

- Ungestrichen schwarz oder mit Schutzanstrich Armafinish 99 gestrichen (grau/weiß): 9 W/(m² · K)
- Mit verzinktem Stahlblechmantel ummantelt: 7 W/(m² · K)*
- Mit Aluminiumblech ummantelt: 5 W/(m² · K)*

Die Tabelle 2 zeigt, welche Mindest-Dämmschichtdicken bei einer Mediumtemperatur von +6 °C und einer Umgebungstemperatur von +22 °C für die ebene Fläche eingesetzt werden müssen, wenn die α_a -Werte bzw. Luftfeuchten variiert werden.

Rechnerische Ermittlung der Dämmschichtdicken

Bei Berechnung der notwendigen Dämmschichtdicke zur Verhinderung von Tauwasser ist entscheidend, ob eine ebene Fläche oder ein zylindrisches Objekt (Rohr) gedämmt werden soll (Bild 4).

Bei zylindrischen Objekten gehen neben den Umgebungsbedingungen auch das

* Um das Eindringen der Blechtreibschrauben in die Dämmung aufzufangen, muß allerdings, unter Berücksichtigung der Änderung des Wärmeübergangskoeffizienten, die Dämmschichtdicke der flexiblen Dämmung (Elastomer) um die Eindringtiefe der Blechtreibschrauben erhöht werden. Eine andere Alternative ist die Ausführung mit zusätzlichem Luftspalt gemäß DIN 4140, Ausgabe 11/96.

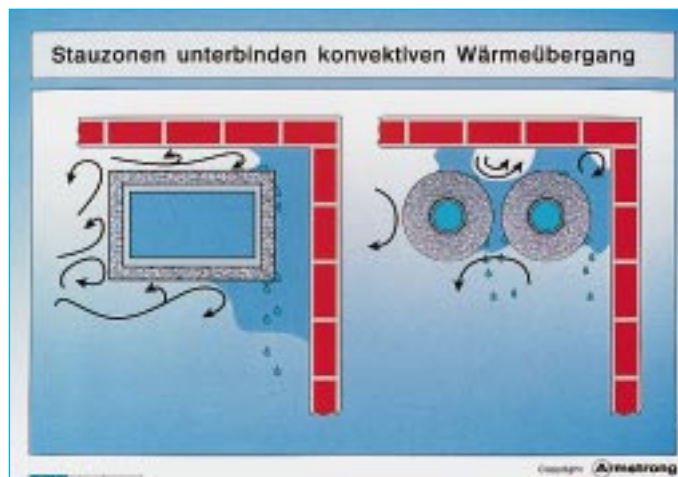


Bild 5

Relative Luftfeuchte [%]	Wärmeübergangskoeffizient α_a [W/m ² · K]		
	9	7	5
55	≥ 2,9	≥ 3,7	≥ 5,2
65	≥ 5,5	≥ 7,1	≥ 9,9
75	≥ 10,2	≥ 13,1	≥ 18,3

Tabelle 2

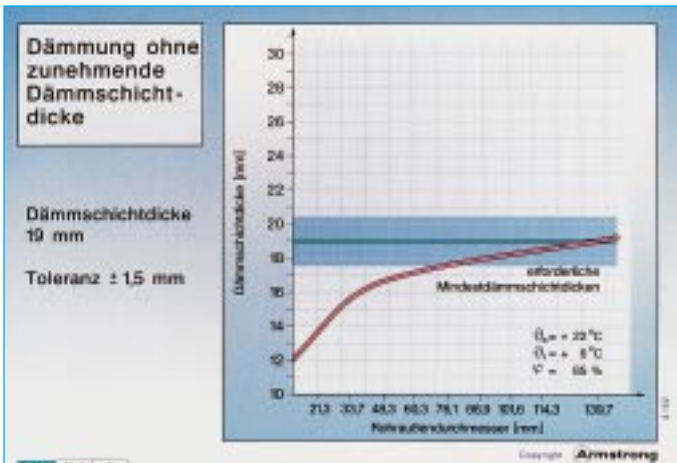


Bild 6

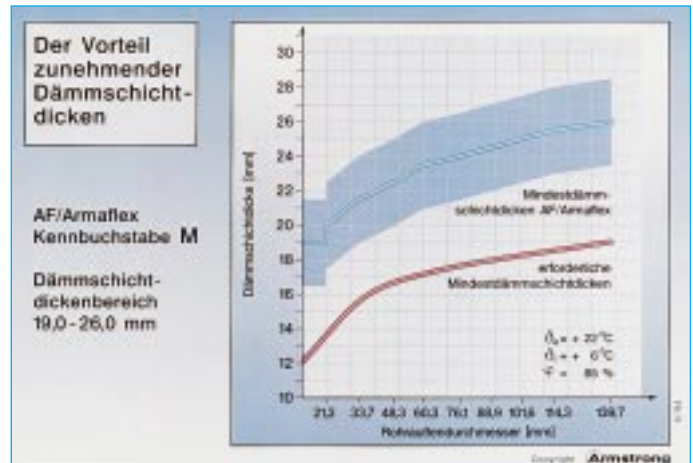


Bild 7

logarithmische Durchmesser Verhältnis des gedämmten Rohres zum ungedämmten Rohr in die Berechnung ein. Das hat zur Folge, daß bei Rohren dünnere Dämmschichtdicken ausreichen, um die gleiche Wirkung zu erzielen, d. h. die gleiche Oberflächentemperatur zu erhalten wie bei ebenen Flächen. Die Lösung ist nur iterativ zu ermitteln. Um dieses komplizierte Verfahren zu umgehen, erfolgt die Berechnung zweckmäßigerweise mit Hilfe eines Berechnungsprogrammes, wie z. B. das von Armstrong neu aktualisierte ArmWin 3.0 (kann bei Armstrong Insulation Products angefordert werden).

Außerdem ist es in der Praxis eher der Regelfall, daß nicht nur ein Rohraußendurchmesser vorherrscht, sondern viele Rohrleitungen mit unterschiedlichen Rohraußendurchmessern, aber sonst gleichen Umgebungsbedingungen installiert sind. Demnach müßte für jede Rohrleitung die Dämmschichtdicke des Isoliermaterials berechnet werden. Wenn man allerdings Dämmmaterialien mit sog. zunehmenden Dämmschichtdicken vorsieht, wie z. B. AF/Armaflex, dann kann man darauf verzichten und sich sehr viel Arbeit sparen.

Machen wir doch einmal die Probe aufs Exempel: Zunächst für einen Dämmschlauch ohne zunehmende Dämmschichtdicken. Die eingezeichnete Kurve stellt die Mindestdämmschichtdicke für das uns schon bekannte Beispiel dar (Bild 6). Wir gehen davon aus, daß der verwendete Dämmschlauch 19 mm dick ist und eine Toleranz von $\pm 1,5$ mm hat. Man sieht, daß dieser Schlauch nur für Rohrdurchmesser bis etwa über 60,3 mm (2") geeignet ist. Bei größeren Rohrdurchmessern müßte die nächstgrößere Dämmschichtdicke (32 mm) eingesetzt werden.

Nicht so bei zunehmenden Dämmschichtdicken. In unserem Beispiel (Bild 7) würde z. B. ein AF/Armaflex M-Schlauch

für alle Rohrdurchmesser ausreichen. Diese Dämmschläuche decken einen Dickenbereich von 19,0–26,0 mm ($\pm 2,5$ mm Dicken toleranz) ab! Man kann sehr gut erkennen, wie mit steigendem Rohrdurchmesser auch die Dämmschichtdicke zunimmt.

Diese Dämmschichtdicken haben bei allen Rohrdurchmessern einen angemessenen Abstand zu der berechneten Mindestdicke. Das bedeutet gleiche Sicherheit in allen Bereichen und positive Einwirkung auf die Energieeinsparung.

Kommen Dämmplatten zum Einsatz, haben diese natürlich keine zunehmenden Dämmschichtdicken. Deshalb ist hierfür eine individuelle Dimensionierung notwendig, abhängig davon auf welchen Rohrdurchmessern diese Platten eingesetzt werden oder ob die Platten auf ebenen Objekten zur Anwendung kommen.

Zusammenfassung

Die Verhinderung von Tauwasser auf der Oberfläche ist eine Minimalanforderung, die von jeder Kälte dämmung 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. Daher lohnt sich eine fachmännische Kälte dämmung in jedem Fall. Planer und Verarbeiter, die aus Kostengründen Qualitätseinbußen bei der Kälte dämmung in Kauf nehmen, gehen ein oft nicht kalkulierbares Risiko ein. □

Neues Vorstandsmitglied bei der Linde AG

Der Aufsichtsrat der Linde AG, Wiesbaden, hat in seiner Sitzung am 27. Januar 2000 Dr.-Ing. Hans-Peter Schmohl (55) mit Wirkung ab 1. Februar 2000 zum ordentlichen Vorstandsmitglied bestellt. Dr. Schmohl wird im Vorstand für die Technik des Arbeitsgebiets Förder technik zuständig sein sowie die Koordinierung des Arbeitsgebiets, das von ihm und Dipl.-Kfm Hubertus Krossa betreut wird, wahrnehmen.



Dr.-Ing. Hans-Peter Schmohl

Dr. Schmohl war zum Jahresende 1999 nach 24jähriger Tätigkeit bei der Jungheinrich AG, Hamburg, ausgeschieden. Er war 1990 Mitglied des Gründungsvorstands der Jungheinrich AG, wurde 1995 zum stellvertretenden Vorstandsvorsitzenden und 1996 zum Vorstandsvorsitzenden ernannt.

Dipl.-Ing. Falko Schling, der im Linde-Vorstand bisher die Technik im Arbeitsgebiet Förder technik betreut hat, wird nunmehr unter Beibehaltung der zentralen technischen Funktionen im Konzern für die Entwicklung und Produktion im Arbeitsgebiet Kältetechnik verantwortlich sein. Gerold Tandler ist für den Vertrieb und die kaufmännischen Funktionen sowie die Koordination dieses Arbeitsgebiets zuständig. Die Gesamtunternehmensfunktion Finanzen und Personalwesen wird er unverändert wahrnehmen.