



Bildquelle: Martin Adams/unsplash

Abb. 1: Ein Luftspalt hinter Ummantelungen von technischen Dämmungen im Freien dient als Strahlungsschutz in klaren Nächten.

Ummantelungen mit Luftspalt: Carport für technische Dämmungen

Nach der Ausführungsnorm DIN 4140 ist ein Luftspalt hinter Ummantelungen von technischen Dämmungen im Freien notwendig. Hier kann es durch die Strahlungskälte bei wolkenlosen Nächten zur Kondensation von Luftfeuchtigkeit aus der Umgebungsluft kommen. Eine wissenschaftliche Annäherung an die Notwendigkeit des Luftspalts.

Dipl.-Ing. Roland Schreiner

Die DIN 4140 [1], als Ausführungsnorm für Dämmarbeiten an betriebstechnischen Anlagen in der Industrie und der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA), fordert einen Luftspalt hinter Ummantelungen von

technischen Dämmungen im Freien, um der Gefahr einer Wasseranreicherung im Dämmstoff zu begegnen. Die Ursache dafür ist kondensierende Feuchte auf der Innenseite von metallenen Ummantelungen, wenn

die Blechtemperatur in klaren Nächten durch Wärmeabstrahlung unterhalb der Taupunkttemperatur der im Dämmsystem eingeschlossenen Luft liegt.

Bei der zurzeit laufenden Überarbeitung der DIN 4140 wurde die Bedeutung dieses Luftspaltes intensiv diskutiert. Die folgenden Ausführungen sollen nun durch wissenschaftliche Erläuterungen den physikalischen Hintergrund näher untersuchen. Eine detaillierte Betrachtung führt allerdings zu vielen Einflussparametern. Deshalb wurden die vom Deutschen Wetterdienst [2] zur Verfügung gestellten historischen Wetterdaten aus dem Jahr 2020 für einen süddeutschen Standpunkt als Grundlage für die Simulation von Kondensationsvorgängen am Ummantelungsblech verwendet. Es liegen Wettermesswerte am Standort als Stundenmittelwerte vor für:

- Umgebungstemperatur in °C
- relative Luftfeuchte in %
- Windgeschwindigkeit in m/s
- Bewölkungsgrad in Achtel (0/8 = wolkenlos, 8/8 = bedeckt)
- globale Strahlungsdichte d. Sonne in W/m^2
- Atmosphärische Gegenstrahlung in W/m^2

Herausforderung: die äquivalente Himmelstemperatur

Die wärmeschutztechnische Auslegung von technischen Dämmungen wird nach der VDI 2055 Blatt 1 [3] durchgeführt. Hier wird der durch Strahlungsvorgänge begründete Wärmeaustausch mit der Umgebung nur mit einer festgesetzten Lufttemperatur berechnet. Bei klaren Nächten steht aber die Oberfläche der Dämmung bei freier Sicht auf den Himmel auch mit diesem im Strahlungsaustausch, da die Erdatmosphäre im Bereich der langwelligen Wärmestrahlung von ca. $8\ \mu m$ (Strahlungsmax. ca. $+50\ ^\circ C$) bis $13\ \mu m$ (Strahlungsmax. ca. $-50\ ^\circ C$) ein durchlässiges Strahlungsfenster aufweist (s. Abb. 2). Die tagsüber eintreffende, kurzwellige Sonnenstrahlung übersteigt i.d.R. die in die Atmosphäre abgehende, langwellige Wärmestrahlung im gleichen Zeitraum und erzeugt damit einen Netto-Energiegewinn, der die Oberfläche aufheizt. Nachts, wenn die abgegebene Strahlung viel größer ist als die eintreffende Strahlung, kommt es zu einer „passiven“ Strahlungskühlung („Radiative Cooling“). Die sogenannte äquivalente Himmelstemperatur ist dabei als die Temperatur eines schwarzen Körpers definiert, der die gleiche Strahlungsdichte wie die atmosphärische Gegenstrahlung aufweist. Sie repräsentiert dabei die obere Atmosphäre und ist

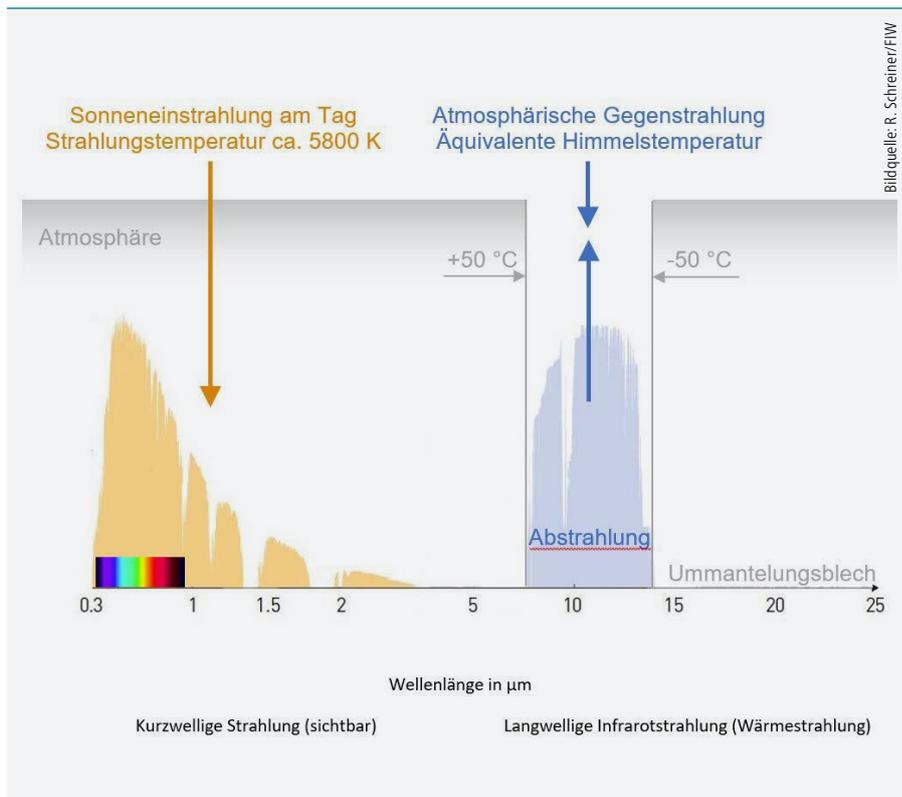


Abb. 2: Gleichzeitiger Strahlungsaustausch der Oberfläche von techn. Dämmungen im Freien. Energieeintrag durch globale Sonnenstrahlung am Tag und zusätzlich Abstrahlung über das atmosphärische Fenster zwischen $8\ \mu m$ (ca. $+50\ ^\circ C$) und $13\ \mu m$ (ca. $-50\ ^\circ C$). Abb. mit unterschiedlichen Skalierungen für Ein- und Abstrahlung.

im Wesentlichen vom Bewölkungsgrad und dem Feuchteanteil in der Luft abhängig. Sie kann bei wolkenlosem Himmel Temperaturen weit unterhalb der Umgebungstemperatur erreichen. Eine Unterkühlung von bis zu 30 Kelvin ist möglich.

Abb. 3 zeigt die Situation der Globalstrahlung durch die Sonne sowie die atmosphärische Gegenstrahlung im langwelligen Infrarotbereich im Tagesverlauf. Ebenfalls ist die äquivalente Himmelstemperatur dargestellt. Es zeigt sich, dass die bei wolkenlosem Himmel im Vergleich zu einem bewölkten Himmel erniedrigte atmosphärische Gegenstrahlung zu sehr niedrigen äquivalenten Himmelstemperaturen führt, die deutlich unterhalb der Lufttemperatur liegen.

Energiebilanz am Ummantelungsblech

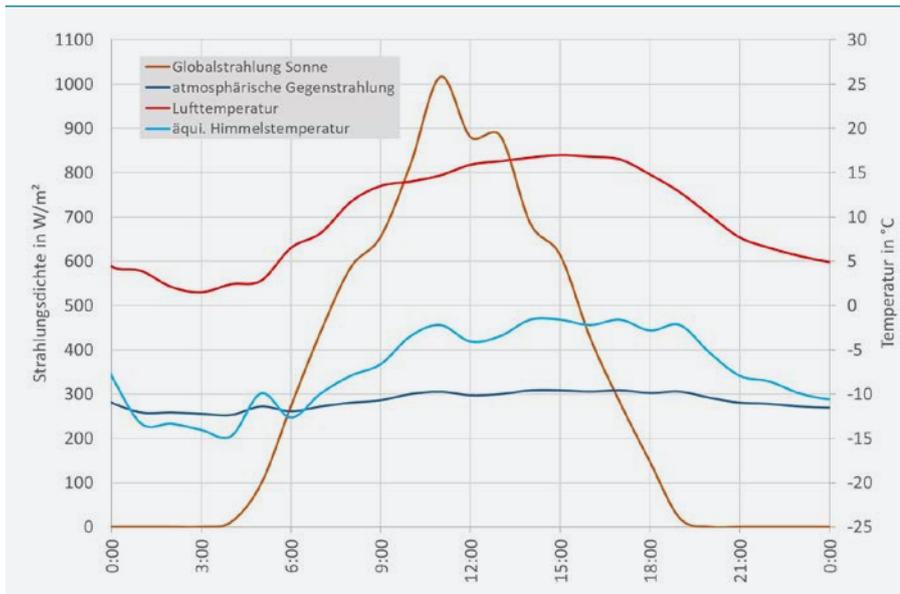
Es wird beispielhaft eine gedämmte Rohrleitung (DN 200, Temperatur $+120\ ^\circ C$, Dämmstoff: Wärmeleitfähigkeit $0,04\ W/(m\cdot K)$, Dicke = $0,1\ m$) im Freien betrachtet. Durch die Lösung der Energiebilanz am Ummantelungsblech kann für jeden Stundenmittel-

wert der Wettersituation am Standort die Blechtemperatur berechnet werden. Alle Berechnungen wurden mithilfe der VDI 2055 Blatt 1 [3] durchgeführt. Abb. 4 zeigt die Energiebilanz mit entsprechenden Anteilen:

1. Energieeintrag über die Dämmung durch eine warmgehende Rohrleitung
2. Konvektiver Wärmeaustausch am Ummantelungsblech mit der Umgebung unter Berücksichtigung der freien und der erzwungenen Konvektion; je nach Temperaturdifferenz zwischen Luft und Ummantelungsblech als Eintrag oder Verlust
3. Strahlungsvorgänge mit dem Emissionsgrad des Ummantelungsbleches
 - 3a) Sonneneinstrahlung am Tag, kurzwellige Strahlung (sichtbar)
 - 3b) Atmosphärische Gegenstrahlung, abhängig vom Bedeckungsgrad des Himmels mit Wolken, langwellige Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung)
 - 3c) Abstrahlung des Ummantelungsblechs aufgrund seiner Temperatur, langwellige Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung)

Ausführung

Bildquelle: R. Schreiner/FIW



Bildquelle: R. Schreiner/FIW

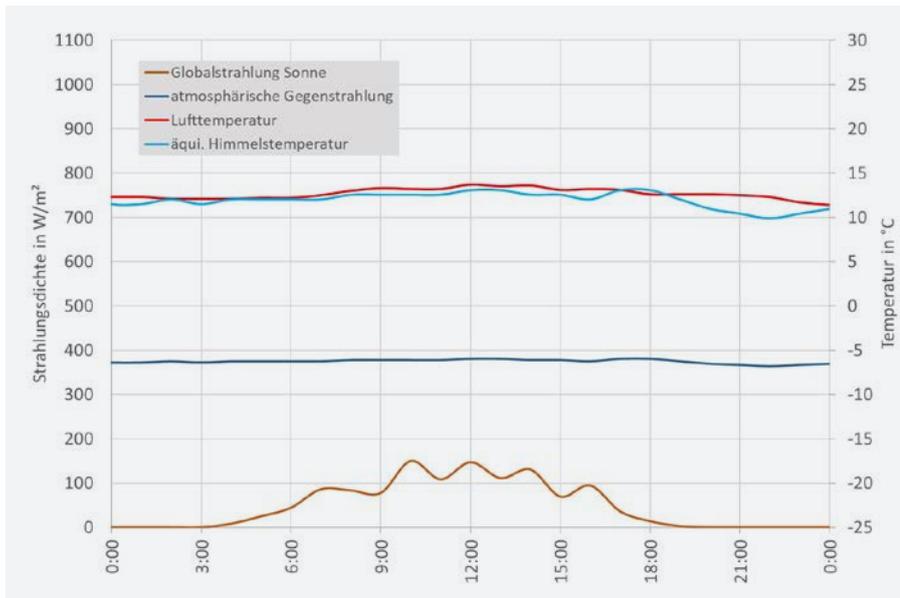


Abb. 3: Globale Sonnenstrahlung, Lufttemperatur, langwellige Gegenstrahlung der Atmosphäre sowie resultierende äquivalente Himmelstemperatur an einem wolkenlosen (oben) und an einem bedeckten Tag (unten).

Bildquelle: R. Schreiner/FIW

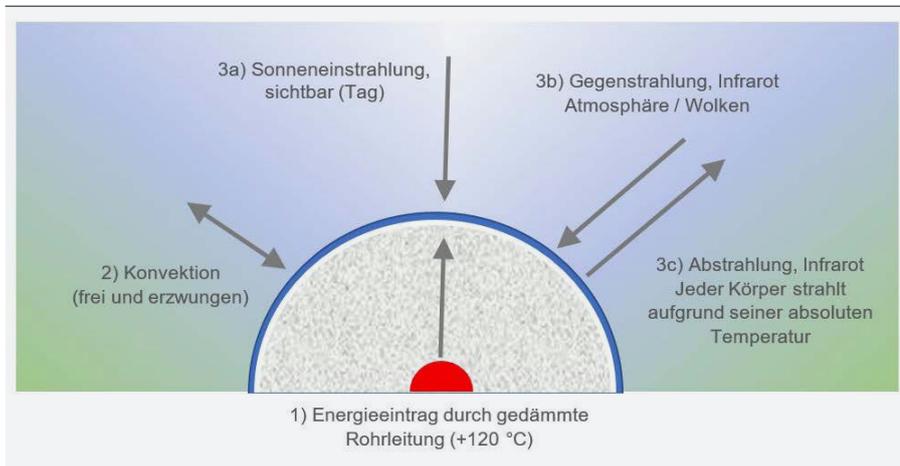


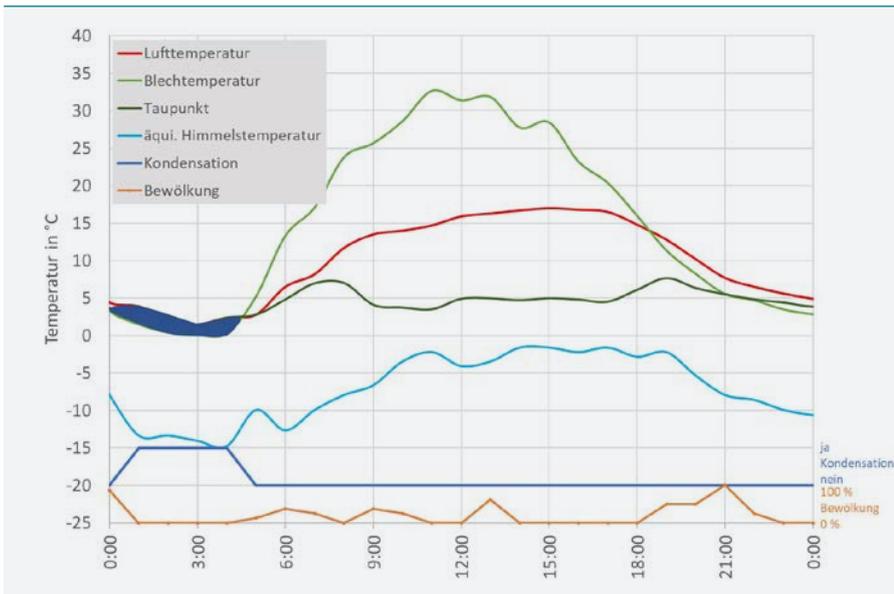
Abb. 4: Energiebilanz am Ummantelungsblech (blau) einer gedämmten Rohrdämmung

Die Berechnungsergebnisse sind exemplarisch für eine Rohrleitung mit einer Temperatur von +120 °C bei einem Emissionsgrad der Ummantelung von 0,8 dargestellt. Für die gekrümmte Oberfläche des Ummantelungsbleches am Rohr wurde ein praxisbezogener Sichtbarkeitsfaktor von 0,7 verwendet, da nicht alle Bereiche der Oberfläche freien Blick zum Himmel haben. Durch Lösen der Energiebilanz kann die Temperatur des Ummantelungsbleches zu jeder Stunde des Jahres ermittelt werden. Liegt diese unterhalb des Taupunktes der Umgebungsluft, fällt am Blech Kondensat in Form von Wasser oder Eis aus. Dies ist vor allem in den Morgenstunden der Fall, wenn die äquivalente Himmelstemperatur unterhalb der Temperatur der Umgebung liegt. Damit kann bei klarem nächtlichem Himmel eine Situation mit einer möglichen Kondensation von Feuchtigkeit am Ummantelungsblech entstehen (siehe Abb. 5).

Abb. 6 zeigt exemplarisch für September 2020 die berechnete Kondensationssituation. An ca. 14 Stunden (2 % der Monatsstunden) kommt es durch Unterschreitung des Taupunktes am Ummantelungsblech zu kondensierender Feuchtigkeit.

Abb. 7 zeigt die Berechnungsergebnisse im Jahresverlauf 2020. An ca. 160 Stunden (2 % der Jahresstunden) wird am Ummantelungsblech die Taupunkttemperatur unterschritten, es kommt zur Kondensation von Feuchtigkeit. Der Einfluss der Parameter Umgebungsluft, relative Luftfeuchte, atmosphärische Gegenstrahlung, globale Sonneneinstrahlung mit Bewölkungsgrad und Windgeschwindigkeit kann für den gewählten Standort mit der Simulation über den Jahresverlauf erfasst werden. Somit verbleiben noch der Emissionsgrad der Ummantelung und die Objekttemperatur der Rohrleitung als wichtige Einflussgrößen. Die Auswirkung des Emissionsgrades des Ummantelungsbleches wird in Abb. 8 verdeutlicht. Bei steigendem Emissionsgrad wird die durch Strahlung übertragbare Energie zunehmen und damit auch der nächtliche Abkühlvorgang verstärkt. Es kommt häufiger zu Kondensation. Die Energiebilanz wird ebenfalls entscheidend von dem Energiestrom durch den Dämmstoff beeinflusst.

Bildquelle: R. Schreiner/FIW



Bildquelle: R. Schreiner/FIW

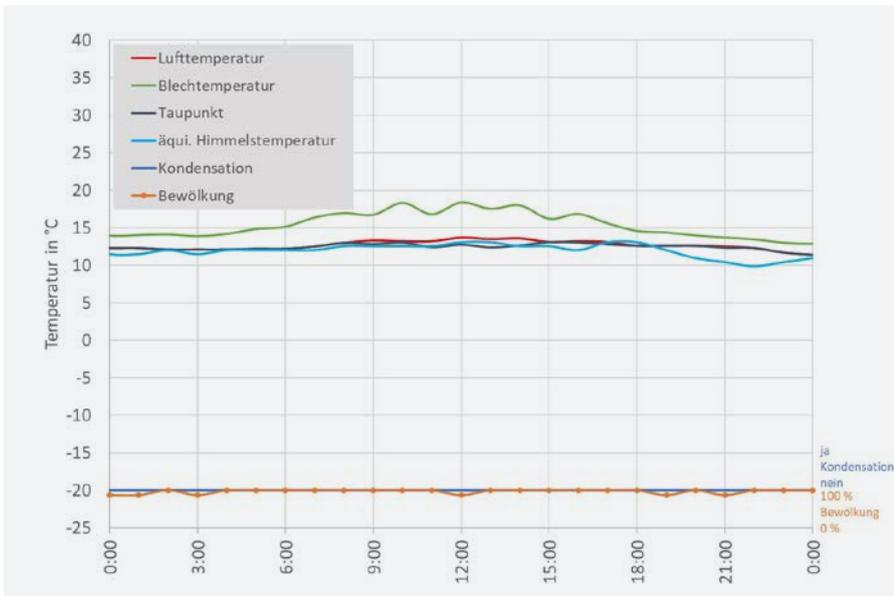
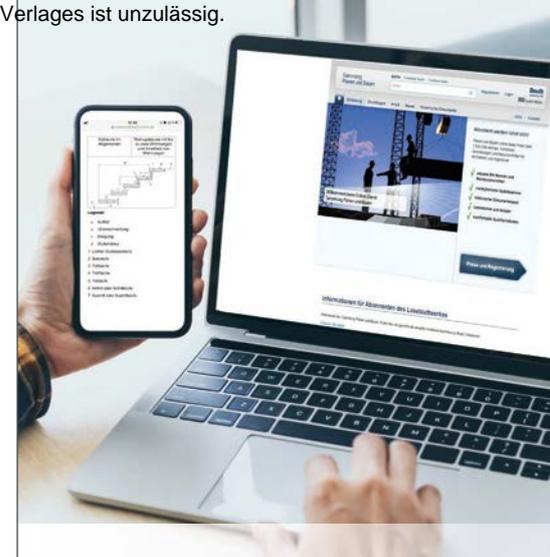


Abb. 5: Darstellung der Temperaturen des Ummantlungsbleches, Lufttemperatur, Taupunkt und äquivalente Himmelstemperatur an einem teilweise wolkenlosen (oben) und einem bedeckten Tag (unten). Kondensation (blaue Fläche) am Ummantlungsblech in den frühen Morgenstunden des wolkenlosen Tages, keine Kondensation während des bedeckten Tages, Emissionsgrad der Ummantlung 0,8 und Rohrleitung +120 °C

Hier werden zwei Fälle betrachtet. Entweder die Anlage ist nicht in Betrieb oder die Objekttemperatur beträgt +120 °C. Ist die Anlage nicht in Betrieb, fällt die Energiezufuhr über den Dämmstoff weg und es kommt deutlich häufiger zur Kondensation am Ummantlungsblech. Ist die gedämmte Rohrleitung warm (+120 °C) tritt eine Kondensation erst ab einem Emissionsgrad von ca. 0,4 auf.

Schlussbetrachtungen

Eine Aussage über die auf der Innenseite des Ummantlungsbleches anfallende Kondensatmenge kann nicht getroffen werden, da die Bereitstellung von feuchter Luft im Dämmsystem von der nicht bekannten Belüftung stark beeinflusst wird. Die Ergebnisse zeigen eine Gefahr durch Kondensationsbedingungen und damit eine mögliche Durchfeuchtung des Dämmstoffes im Jahresverlauf. Vor allem bei hohen Emissions-



Planen und Bauen online DIN-Normen und Bauvorschriften jederzeit verfügbar!

„Planen und Bauen online“ unterstützt Architekten und Planer im Büro und unterwegs bei der täglichen Arbeit.

Zum Inhalt:

Die Webseite hält über 1.500 Bauvorschriften, darunter über 900 aktuelle DIN-Normen, rund 80 Rechtstexte und über 650 historische Dokumente für Sie bereit.

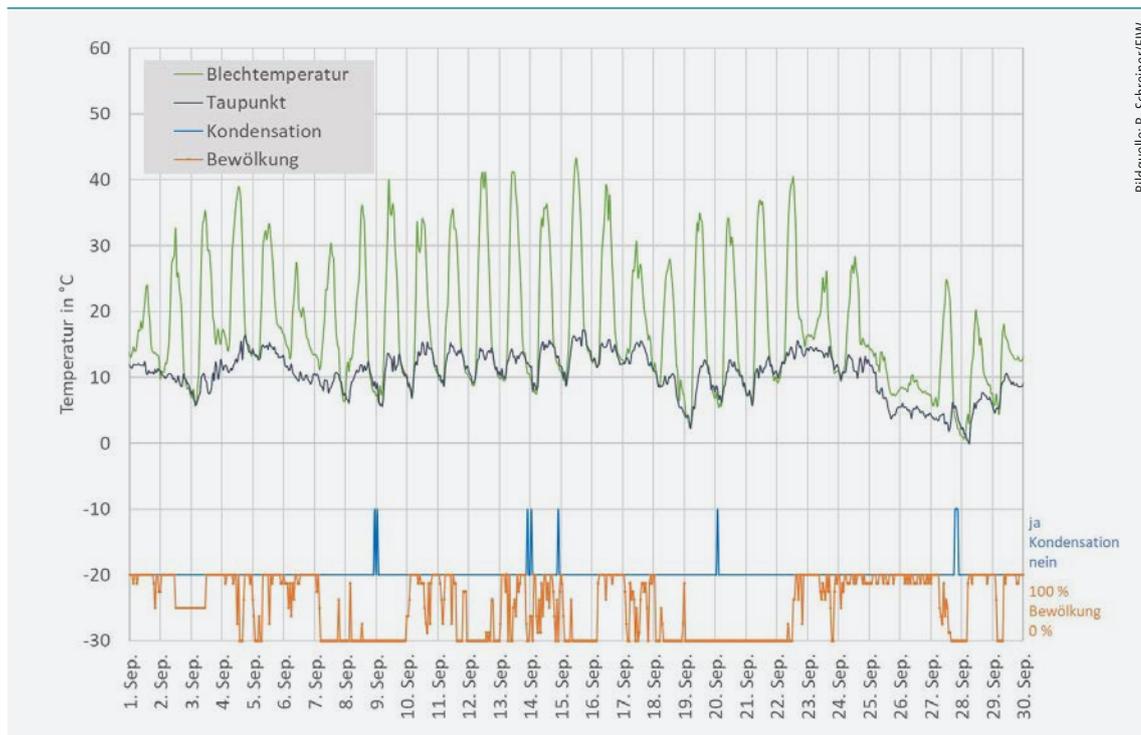
Ihre Vorteile:

- Zeit und Geld sparen:
Vorschriften und Normen im Wert von über € 90.000,-
- Online überall und auf jedem Gerät abrufbar

Jetzt abonnieren unter www.planenundbauen-online.de

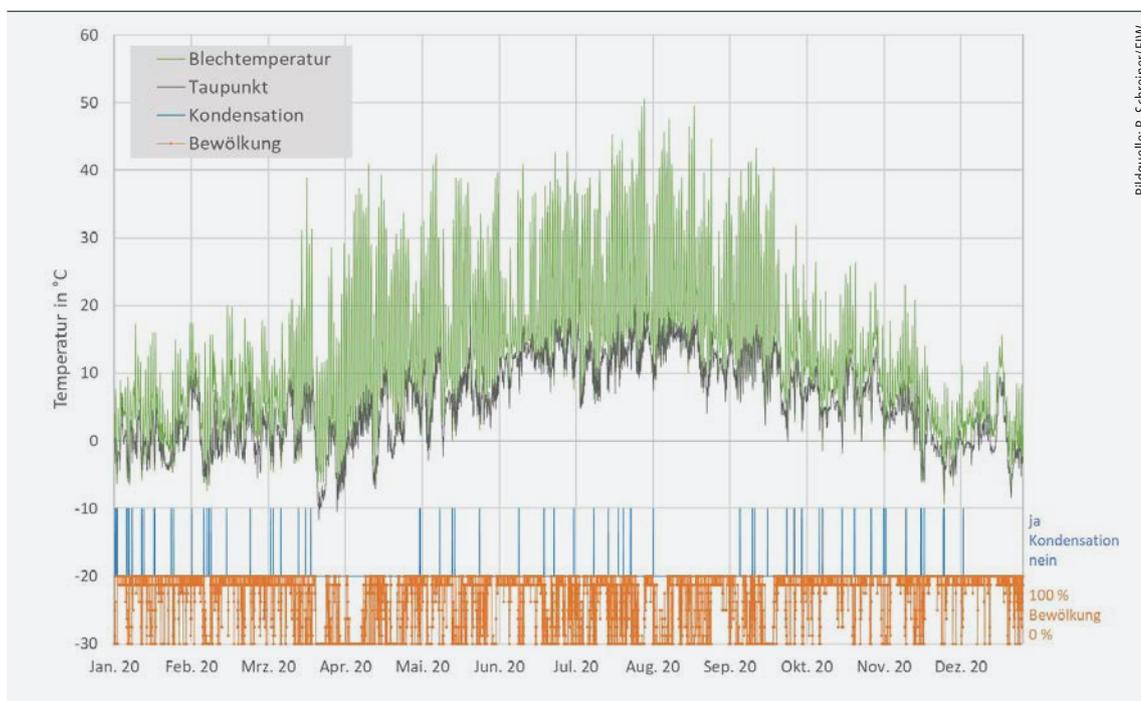
Beuth
RM Rudolf Müller

Ausführung



Bildquelle: R. Schreiner/FlW

Abb. 6: Kondensationsstunden (blau) für den Monat September 2020, Emissionsgrad 0,8 und Rohrleitung +120 °C

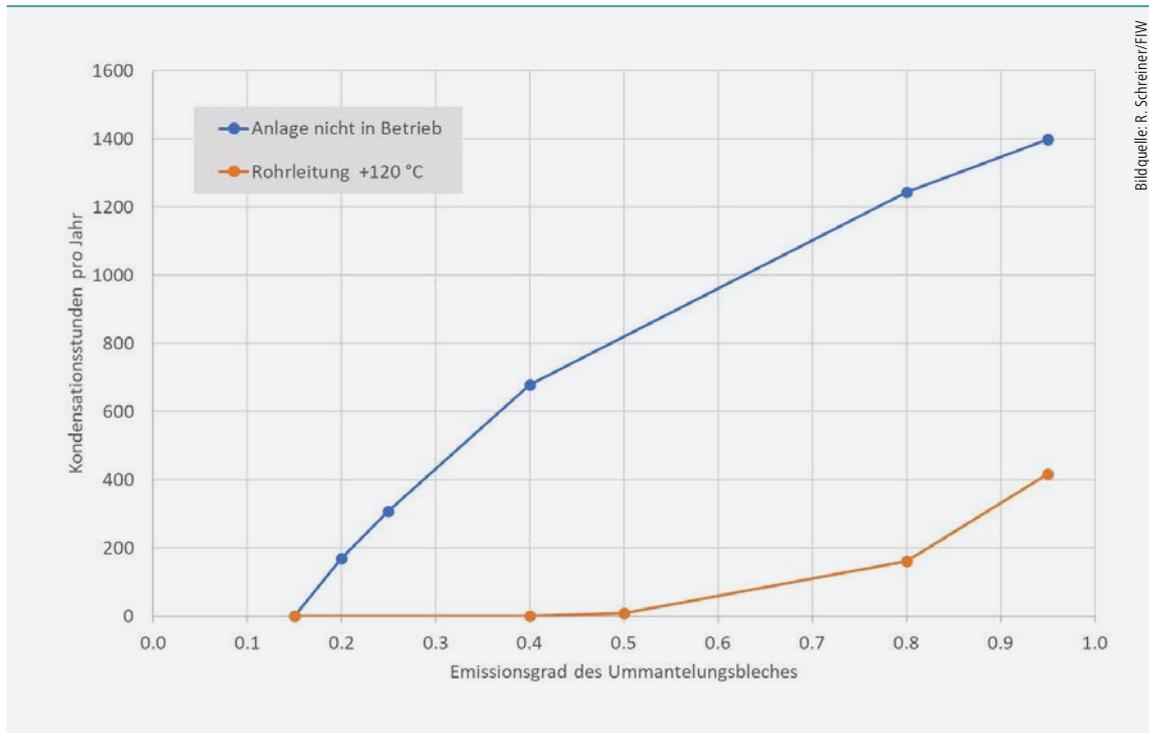


Bildquelle: R. Schreiner/FlW

Abb. 7: Kondensationsstunden (blau) im Jahresverlauf 2020, Emissionsgrad 0,8 und Rohrleitung +120 °C

graden der Ummantelung, die im Freien durch Verwitterung und Staubablagerungen durchaus realistisch sind, und bei technischen Anlagen, die nicht in Betrieb sind, kann es zu kondensierender Feuchtigkeit kommen. Alle Berechnungen wurden unter der Annahme der freien Sicht des Dämmobjektes zum Himmel durchgeführt. Verschattungen durch nahestehende Objekte würden die „passive“ Strahlungskühlung deutlich vermindern. Ist die Oberfläche von technischen Dämmungen im Freien vollständig verschattet, kann ein Strahlungsaustausch nur mit der Umgebungstemperatur stattfinden, die nächtliche Unterkühlung des Himmels hat dann keinen Einfluss mehr.

Wird die Energiebilanz am Ummantelungsblech durch veränderte Wärmestromdichten mittels abweichender Objekttemperaturen, Verwendung anderer Dämmstoffe oder veränderte Dämmdicken beeinflusst, hat das eine direkte Auswirkung auf die berechneten Blechtemperaturen der Ummantelung.



Bildquelle: R. Schreiner/FlW

Abb. 8: Kondensationsstunden pro Jahr bei unterschiedlichen Emissionsgraden der Ummantelung und Betriebsarten der Rohrleitung (nicht in Betrieb und Rohrleitung +120 °C)

Gerade bei Kälte­dämmungen im Freien wird durch den zusätzlichen Energieabfluss am Ummantelungsblech häufiger eine Unterkühlung und damit die Bildung von Kondensat eintreten können.

Die Ermittlung von Zuständen mit Kondensation von Luftfeuchtigkeit an einer metallischen Ummantelung im Freien durch die Strahlungskälte des Himmels bei wolkenlosen Nächten über die durchgeführten Berechnungen sind aufgrund der Standortdaten nur für diesen Ort unter den angenommenen Randbedingungen gültig. Ist zwischen Dämmstoff und Ummantelung ein Luftspalt vorhanden, dient die Ummantelung als Strahlungsschutz, da für den Strahlungsaustausch anstelle der äquivalenten Himmelstemperatur nun die deutlich höhere Blechtemperatur tritt. Bei luftdurchlässigen Dämmstoffen kann als Schutz gegen Durchfeuchtung zusätzlich eine Kaschierung des Dämmstoffes erforderlich sein, um zu verhindern, dass an der Ummantelung entstehendes Kondensat in den Dämmstoff tropft. Kondensat am inneren Ummantelungsblech kann dann über Ablauföffnungen im unteren Bereich des Bleches aus dem Dämmsystem abfließen.

Die Forderung der DIN 4140, einen Luftspalt bei technischen Dämmungen im Freien zu installieren, konnte letztlich durch die Ergebnisse nicht abschließend geklärt werden, da die Menge an anfallendem Kondensat und dessen Auswirkungen auf das Dämmsystem durch die Berechnungen nicht ermittelt werden konnten. Der Einfluss von möglichen Trocknungsperioden, vor allem am Tag durch direkte Sonneneinstrahlung, konnte nicht bewertet werden. Hier ist die Branche aufgefordert, durch detaillierte Langzeitbeobachtungen von Versuchsstrecken weitere praxisbezogene Erkenntnisse zur Korrosionsgefährdung durch kondensierende Feuchtigkeit aufgrund der „passiven“ Strahlungskühlung von technischen Dämmsystemen im Freien zu bekommen.

Zum Schluss bleibt die Frage: Was hat ein Carport mit einer Ummantelung von technischen Dämmungen im Freien zu tun? Die physikalischen Vorgänge sind vergleichbar. Das Carport-Dach stellt in klaren Nächten einen effektiven Strahlungsschutz dar, damit sich am parkenden Auto kein Kondensat bilden kann und gerade im Winter die Scheiben eisfrei bleiben. Die gleiche Funktion eines Strahlungsschutzes erfüllt die Ummantelung eines technischen Dämmsystems im Freien, wenn ein Luftspalt zum Dämmstoff installiert ist. ■

Quellen

- [1] DIN 4140, „Dämmarbeiten an betriebstechnischen Anlagen in der Industrie und in der technischen Gebäudeausrüstung – Ausführung von Wärme- und Kälte­dämmungen“, 2014-04, Beuth Verlag
- [2] Klimadaten im frei zugänglichen Bereich des CDC OpenData des Deutschen Wetterdienstes; Index of /climate_environment/CDC/observations_germany/climate/hourly/, Link: www.dwd.de
- [3] VDI 2055 Blatt 1, „Wärme- und Kälteschutz von betriebstechnischen Anlagen in der Industrie und in der Technischen Gebäudeausrüstung – Berechnungsgrundlagen“, 2008-09, Beuth Verlag

Über den Autor

Dipl.-Ing. Roland Schreiner

Abteilungsleiter Technische Dämmungen, Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München

