

V/1 Sicherer Betrieb von Kältenetzen durch Qualitätssicherung

Dipl.-Ing. Holger Pareidt

Einführung

Der Begriff „Qualität“ ist in den letzten Jahren zu einem entscheidenden Faktor im Bereich Herstellung, Vertrieb, Installation und Betrieb von Produkten geworden. Er wird durch eine Vielzahl von Maßnahmen beschrieben und dokumentiert. Dabei verbergen sich heutzutage hinter dem Begriff „Qualität“ nicht mehr nur die Eigenschaften Präzision, Liefertreue und lange Lebensdauer, sondern er ist auch in die Bereiche der Entwicklung, des Services und der Personalverwaltung eingezogen. Es wird heute von Qualitätsmanagement gesprochen und dies beinhaltet die Verfahrensabläufe Qualitätsplanung, Qualitätsprüfung und Qualitätslenkung. Das Qualitätsmanagement ist unternehmensspezifisch und wird durch produktbezogene Maßnahmen umgesetzt. Erfolgt die Betrachtung über Unternehmensgrenzen hinweg, wie sie bei Kältenetzen notwendig ist, so ist die Definition des Begriffes „Qualität“ entsprechend neu zu bewerten.

Dem Begriff „Qualität“ liegt folgende Definition zu Grunde [1]:

„Qualität ist die Gesamtheit der Merkmale und Merkmalswerte eines Produktes oder einer Dienstleistung bzgl. ihrer Eignung, festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen“.

Aus dieser Definition läßt sich für Kältenetze folgendes ableiten:

Die Qualität ist immer ein Zusammenspiel aus verschiedenen Faktoren und das Bindeglied zwischen Rohrhersteller, Installateur und Betreiber.

Für die Errichtung und den Betrieb von Kältenetzen sind eine Vielzahl von Erfordernissen zu erfüllen. Diese Erfordernisse oder auch Randbedingungen, die sich durch die Temperatur und den Kälteträger ergeben, sind in der Planung entsprechend zu berücksichtigen und werden im Folgenden vorgestellt.

Systematik und Randbedingungen

Kältenetze lassen sich in drei Kategorien einteilen. Dabei ist die Betriebstemperatur der Einteilungsmaßstab. In **Bild 1** sind die drei Arten in Abhängigkeit der Betriebstemperatur dargestellt. Sie lassen sich untergliedern in Netze für Klimakälte (+ 15 °C bis + 3 °C), Gewerkekälte (+ 7 °C bis – 37 °C) und Tieftemperatur (< - 35 °C).

Definition von Anwendungsbereichen

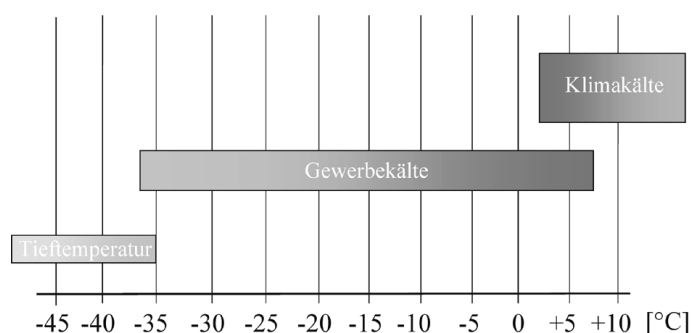


Bild 1:
Anwendungsbereiche von Kälte

Für den Transport der Kälte von der Erzeugung bis zum Verbraucher ist ein Kältemittel oder ein Kälteträger notwendig. Es kommen heute zum einen synthetische (z. B. R 134a, R 404a) oder natürliche Kältemittel (z. B. NH₃, CO₂, Propan) zum Einsatz. Als natürlicher Kälteträger lässt sich für Temperaturen über 0 °C Wasser hervorragend verwenden. Bei Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes von Wasser sind synthetische Kälteträger zu verwenden. Zum Einsatz können organische (Glykole) oder anorganische (Salze) kommen. Sie sind entsprechend den Anwendungstemperaturen auszuwählen.

Zur Erfüllung dieser Erfordernisse bzw. Randbedingungen sind entsprechende Rohrwerkstoffe auszuwählen. Dabei sind die verschiedenen Korrosionspotenziale zwischen den Kältemitteln, Kälteträgern und den Werkstoffen zu berücksichtigen. Üblicherweise kommen die Werkstoffe Kupfer, Stahl und Aluminium zur Anwendung. Kupfer wird vornehmlich in Klein- und Kompaktanlagen oder in der Maschinenraumverrohrung verwendet. Der Werkstoff Stahl findet seine Anwendung im Bereich der NH₃-Anlagen, Großanlagen und in Kaltwassernetzen. Aluminium wird in nur geringem Maße eingesetzt. Die Einsatzgebiete liegen im Bereich von kleinen NH₃-Anlagen und der Kryotechnik (< - 100 °C). Es steht mit diesen Rohrwerkstoffen eine breite und bewährte Anzahl an Möglichkeiten zur Auswahl. Die benötigten Verbindungstechniken sind erprobt und in den verschiedenen technischen Regeln beschrieben.

Neben der anwendungsgerechten Auswahl der Rohrwerkstoffe ist ein besonderes Augenmerk auf die Isolierung zu legen. Eine Rohrleitung ist zu isolieren, wenn die Mediumtemperatur dauerhaft unterhalb der ortsüblichen Raumtemperatur liegt. Die minimale Isolierstärke ist so zu wählen, dass an der Oberfläche der in der Luft enthaltende Wasserdampf nicht kondensieren kann. Neben dieser Forderung zur Verhinderung von Tauwasserbildung an den Rohrleitungen ist der Wärmeeintrag so gering wie möglich zu halten. Der Verlust von Kälteenergie ist ein Kostenfaktor, da die Kälteerzeugung sehr energieintensiv ist.

Die Isoliermaterialien für die Kältetechnik wurden in den letzten Jahren ständig weiterentwickelt. Es werden heute standardmäßig die Isolierstoffe Elastomerkautschuk und PUR-Schaum mit Blechummantelung verwendet. Für spezielle Anwendungsgebiete werden heute noch Korkisolierungen und für die Luftverflüssigung wird die Vakuumisolierung eingesetzt. Jede Art der Isolierung ist auf den Einsatzfall hin zu überprüfen und gemäß den Normen und Richtlinien auszulegen.

Da die Isolierung die Rohrleitung vor äußerer Korrosion, hervorgerufen durch das Tauwasser, und Wärmeeinträgen von der Umgebung schützt, ist im Vorfeld eine Schwachstellenanalyse vorzunehmen. Es ist somit im Rahmen der übergeordneten Qualitätsplanung, wie sie für Kältenetze notwendig ist, eine Fehlermöglichkeitseinflussanalyse (FMEA) vorzunehmen. Als Ergebnis dieser Analyse lassen sich die folgenden Schwachpunkte und die sich daraus ergebenden Folgen gemäß **Bild 2** darstellen.

Schwachstellen bei Standard-Isolierungen


- Montagefehler
 - UV-Beständigkeit
 - Wasseraufnahme
 - Formstabilität
-
- Korrosion am Mediumrohr
 - Zerstörung der Isolierung
 - Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit
-  **Steigerung der Kälteverluste**

Bild 2: Fehlermöglichkeitseinflussanalyse von Isoliersystemen

Es wird ersichtlich, dass die verschiedenen Arten von Isolierungen gemeinsame Schwachstellen haben. Die größten Schwachstellen mit der weitreichenden Folge sind die Montagefehler. Diese Schwachstellen sind wesentlich abhängig von der Ausbildung und Qualifikation des Personals. Die stoffspezifischen Schwachstellen sind mit UV-Beständigkeit, Wasseraufnahme und Formstabilität zu bezeichnen.

Die Auswirkungen der Fehler lassen sich wie folgt beschreiben: Es kommt zu Tauwasserbildung an den Mediumrohren bzw. Rohrbauteilen. Diese bewirkt Korrosion an den Werkstoffen, besonders beim Werkstoff Stahl. Neben der Korrosion an den Rohren und Bauteilen kommt es zu einer Durchfeuchtung der Isolierung. Eine durchfeuchtete Isolierung hat eine erhöhte Wärmeleitfähigkeit. Im Gegensatz zu kaltgehenden Rohrleitungen besteht bei warmgehenden Rohrleitungen, d. h. eine Mediumtemperatur dauerhaft über der ortsüblichen Raumtemperatur, die Möglichkeit, dass die Isolierung mit der Zeit wieder getrocknet wird. Die Isolierung wird im Extremfall von der Nässe zerstört und ist dann neu auf die Rohrleitung aufzubringen. Doch bevor es zu diesem Extremfall kommt, erhöht sich der Wärmeeintrag aus der Umgebung auf die Rohrleitung.

Aus der FMEA-Betrachtung einer Isolierung sind entsprechende Schlussfolgerungen hinsichtlich der Einsatzbedingungen und der Verarbeitung zu ziehen. Kombiniert man die Betrachtungen mit den einzusetzenden Rohrwerkstoff, so erkennt man, dass sich vorisolierte Rohre wirtschaftlich einsetzen lassen. Vorisolierte Rohre werden heute überwiegend in der Fernwärmetechnik eingesetzt. Sie sind für den Einsatz für kaltgehende Medien geeignet, weil das Mediumrohr individuell an das Medium angepasst werden kann, wobei die Standardwerkstoffe Kupfer und Stahl sind, und die Mäntel entweder aus Polyethylen oder Blech sind. Die Isolierung des Zwischenraumes erfolgt mit PUR-Schaum.

Neben den direkt abgleichbaren Eigenschaften weisen vorisolierte Rohre Vorteile auf, die sich im Rahmen einer übergreifenden Qualitätsplanung und -sicherung ergeben. Die Produktion der Rohre erfolgt weitgehend nach festgelegten Verfahrensabläufen und Qualitätsprüfungen. Somit werden alle Rohrlängen in einer gleichbleibenden Qualität gefertigt. Weiterhin werden die Montagearbeiten auf der Baustelle minimiert, da nur noch Isolierarbeiten an Verbindungs- und Abzweigstellen erstellt werden müssen. Die für Verbindungs- und Abzweigstellen benötigten Nachisolierstücke werden vorgefertigt auf die Baustelle geliefert. Damit reduziert sich der Einflussfaktor „Mensch“ auf die Gesamtqualität des installierten Kältenetzes.

Einsatzfähigkeit von vorisolierten Rohren

Neben den genannten Vorteilen weisen vorisolierte Rohre mit einer PUR-Schaum-Isolierung den Effekt der Wasseraufnahme auf. Die Wasseraufnahmefähigkeit ist eine Eigenschaft des PUR-Schaumes. Das PE-Mantelrohr, das bei den klassischen Fernwärmerohren den PUR-Schaum und das Mediumrohr vor dem Erdreich schützt, ist wasserdampfdurchlässig. Bei Wickelfalzrohre ist der Schwachpunkt, an dem Wasserdampf in den PUR-Schaum eindringen kann, die umlaufende Falz. Zur Bestimmung der Feuchtigkeitszunahme von vorisolierten Rohren mit PE- und Wickelfalzmantel wurde am Fernwärme-Forschungsinstitut in Hannover e. V. (FFI) ein Forschungsvorhaben zu dem Themenkomplex durchgeführt. Die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen hat das AiF-Vorhaben Nr.: 12141 N „Einsatz von Fernwärmekomponenten in Klimatisierungs- und Prozesskältesystemen“ über das BMWi gefördert.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhaben wurden, neben der Eignung von klassischen Wärmespeichern zur Kaltwasserspeicherung, Fernwärmerohre für den Transport von Klimakälte $\vartheta = +4\text{ °C}$ und Prozesskälte $\vartheta = -25\text{ °C}$ auf ihre Eignung hin untersucht. Der dafür benötigte Versuchsstand ist im Technikum des FFI aufgebaut worden und ist schematisch in **Bild 3** dargestellt.

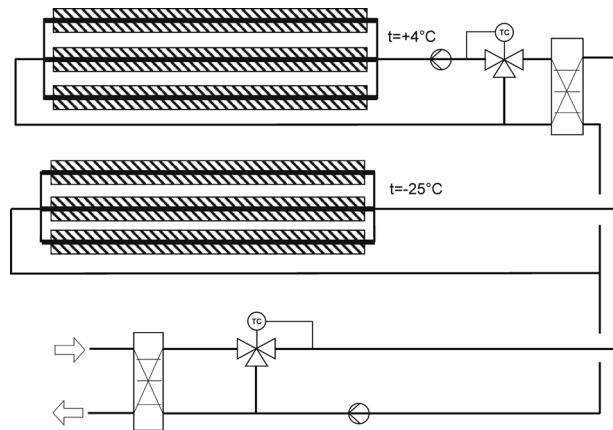


Bild 3: Versuchsaufbau zum Forschungsvorhaben „Einsatz von Fernwärmekomponenten in Klimatisierungs- und Prozesskältesystemen“

Mittels einer Kälteanlage wird ein anorganischer Kälteflüssigkeit im Erzeuger-Kühlkreis auf eine frei wählbare Temperatur abgekühlt. Die exakte Temperierung des Verteiler-Kühlkreises erfolgt über ein Drei-Wege-Mischventil. Dort wird der Kälteflüssigkeit auf $\vartheta = -25\text{ °C}$ temperiert. Eine dafür geeignete Pumpe wälzt den Kälteflüssigkeit entsprechend um. Die Klimakälte $\vartheta = +4\text{ °C}$ wird über einen nachgeschalteten Wärmeübertrager erzeugt, und die exakte Temperierung erfolgt auch hier über ein Drei-Wege-Mischventil. Somit ist es möglich, die geforderten Temperaturparameter für die Versuchsdauer einzuhalten.

Es wurden für die Untersuchungen verschiedene Typen von vorisolierten Rohren untersucht. Für die Untersuchungen für den Bereich Klimakälte wurden Kunststoffmantelrohre, Wickelfalzhöhre und flexible Metallmediumrohre genommen. Für den Bereich der Prozesskälte kamen Kunststoffmantelrohre und Wickelfalzhöhre zum Einsatz. Einige Kunststoffmantelrohre haben ein mit Epoxydharz beschichtetes Stahlmediumrohr. Alle Rohre entsprachen Standardkomponenten der Fernwärmetechnik und unterlagen hinsichtlich der PUR-Schaumqualität der EN 253 [2].

Die eingesetzten Rohrtypen haben alle die gleichen Abmessungen. Es sind Rohre mit der Nennweite DN 25 und einem Außendurchmesser von $DA = 90\text{ mm}$. Das Versuchsprogramm sah einen kontinuierlichen Betrieb der Rohre bei den Temperaturparametern vor. Die Umgebung war gleich dem Luftzustand im Technikum, d. h. es wurde keine speziellen Umgebungsbedingungen geschaffen. Die Betriebsdauer der Rohre betrug 150 Tage. Da die Versuche über die Sommermonate durchgeführt wurden, herrschten sehr gute Umgebungsbedingungen für die Untersuchungen hinsichtlich des gelösten Wasserdampfes in der Luft, der für den Feuchteintrag in die Rohre erforderlich ist.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in der **Tabelle 1** dargestellt.

Aus den Ergebnissen geht deutlich hervor, dass die Rohre während des Betriebes Feuchtigkeit aufgenommen haben. Das Kunststoffmantelrohr hat bei dem Betrieb mit Gewerbekälte im Vergleich zum Wickelfalzhöhre mehr Feuchtigkeit aufgenommen. Bei dem Betrieb mit Klimakälte haben beide Rohre den gleichen relativen Wassergehalt.

Prüfling	relativer Wassergehalt [%] bei den Einsatzbedingungen		
	Gelagert ohne Belastung	Klimakälte $\vartheta = +4^{\circ}\text{C}$	Gewerbekälte $\vartheta = -25^{\circ}\text{C}$
Kunststoffmantelrohr	0,18	1,51	2,94
Wickelfalzrohr	0,25	1,50	2,33

Tabelle 1: Untersuchungsergebnisse des Forschungsvorhabens „Einsatz von Fernwärmekomponenten in Klimatisierungs- und Prozesskältesystemen“

Aus den Untersuchungen wird ersichtlich, dass sich der Feuchtigkeitsgehalt im Kältebetrieb bei beiden Standardrohrtypen aus der Fernwärmetechnik, Kunststoffmantelrohr und Wickelfalz, erhöht. Die aufgenommene Feuchtigkeit liegt nach 150 Tagen in einem unkritischen Bereich für den PUR-Schaum. Gemäß der EN 253 darf der PUR-Schaum bis zu 10 % Wasser aufnehmen. Mit ca. 3 % liegt die aufgenommene Wassermenge in einem unkritischen Bereich. Eine Langzeitschädigung des PUR-Schaumes mit diesem Feuchtegehalt ist nach dem jetzigen Kenntnisstand bei diesen geringen Wassergehalten nicht zu erwarten.

Zusammenfassung und Ausblick

Der Betrieb von Kältenetzen ist nur möglich, wenn eine gesamtheitliche Betrachtung der Qualität vorgenommen wird. Die gesamtheitliche Betrachtung bedeutet, dass die Auswahl des Rohrwerkstoffes, die Art der Isolierung und die Verarbeitung auf die Betriebsparameter und die Betriebsstoffe des Kältenetzes abgestimmt werden müssen. Es ist eine Fehlermöglichkeitsinflussanalyse für das System Rohr und Isolierung durchzuführen. Anhand dieser Analyse lassen sich die Schwachstellen eines Netzes und seiner Bauteile herausfinden. Die größte Schwachstelle ist die fachgerechte und damit qualitativ hochwertige Verarbeitung der Isolierung um die Kälteleitungen. Nur dadurch wird eine lange Lebensdauer und ein minimaler Kälteverlust gewährleistet.

Zur Verringerung der Schwachstellen bei Kältenetzen empfiehlt es sich, vorisolierte Rohre zu verwenden. Vorisolierte Rohre, wie sie standardmäßig in Fernwärmenetzen verwendet werden, bieten verschiedene Vorteile. Der wesentliche Vorteil ist die Herstellung der vorisolierten Rohre. Die Rohre werden in einer gleichbleibenden Qualität und unter ständiger Überwachung hergestellt. Für die Verbindungsstellen gibt es vorgefertigte Verbindungsstücke, und damit wird die Fehlerquote bei einer fachgerechten Installation gesenkt. Neben den Vorteilen weist der verwendete PUR-Schaum eine systembedingte Schwachstelle auf. Er besitzt eine Wasseraufnahmefähigkeit. Zur Klärung der Auswirkungen der Schwachstelle wurde ein AiF-Vorhaben „Einsatz von Fernwärmekomponenten in Klimatisierungs- und Prozesskältesystemen“ im Fernwärme-Forschungsinstitut in Hannover e. V. durchgeführt. Es wurden vorisolierte Rohre der Typen Kunststoffmantelrohr und Wickelfalzrohr untersucht. Als Ergebnis wurde dabei festgestellt, dass im Rahmen der Versuchszeit von 150 Tagen in beiden Rohrtypen Feuchtigkeit aus der Umgebung aufgenommen wurde. Dabei hatte das Kunststoffmantelrohr beim Betrieb mit Gewerbekälte stärker Wasser aufgenommen als das Wickelfalzrohr.

Als Ausblick aus den durchgeführten Analysen und Untersuchungen im Technikum des FFI ist zu formulieren, dass vorisolierte Rohre, wie sie standardmäßig in der Fernwärmetechnik eingesetzt werden, für Kältenetze bedingt geeignet sind. Der PUR-Schaum wird bis zu einem gewissen Grade, der zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht wissenschaftlich abgesichert ist, Wasser aufnehmen. Diese Punkte sind in einem weiteren Forschungsvorhaben zu untersuchen und einer ingenieurwissenschaftlichen Betrachtung zu unterziehen, wobei der Einfluss einer ver-

besserten Wasserdampfdiffusionssperre bei den Kunststoffmantelrohren und einer verbesserten Abdichtung der Wickelfalzrohre auf eine reduzierte Wasseraufnahme zu berücksichtigen ist. Einen entscheidenden Faktor für einen sicheren Betrieb von Kältenetzen ist die fachgerechte Verarbeitung aller Komponenten und die angemessene Auswahl dieser für die entsprechenden Betriebsparameter.

Literatur

- [1] DIN 55350: Begriffe zu Qualitätsmanagement und Statistik, Teil 11: Begriffe des Qualitätsmanagements. Ausgabe: 1995 – 08.
- [2] EN 253:1994 vom CEN/TC 107: Werkmäßig gedämmte Verbundmantelrohrsysteme für erdverlegte Fernwärmenetze. Brüssel, 1994.

Verfasser: Dipl.-Ing. Holger Pareidt
Wissenschaftlicher Mitarbeiter im
Fernwärme-Forschungsinstitut in Hannover e.V.
Max-von-Laue-Straße 23
30966 Hemmingen
Telefon: (05 11) 9 43 70 – 0
Telefax: (05 11) 9 43 70 – 70