

Schäden an Kälteanlagen, wie können sie verhindert werden?

Peter Wohlmuth, München

In den vergangenen Jahren wurden durch das kältetechnische Laboratorium der TÜV Industrie Service GmbH TÜV SÜD Gruppe mehrere Schadensfälle untersucht und beurteilt, die durch Wartungsarbeiten oder während des Betriebes der Kälteanlage entstanden sind. Die untersuchten Schadensfälle waren häufig auf Fehler bei Bedienung, Wartung und Instandsetzung zurückzuführen. Einige beispielhafte, teils kuriose Schadensfälle sollen nun dargestellt werden.

Vorbemerkung: Die dargestellten Schadensfälle beruhen auf wahren Gegebenheiten. Übereinstimmungen mit bekannten Personen, Betreibern oder Fachfirmen sind rein zufällig.



Bild 1 Die Gleitringdichtung ist mit dem Teflonring nur bis auf die verjüngte Antriebswelle aufgeschoben

Wartungsarbeiten an einem offenen Verdichter

Entsprechend dem Wartungsauftrag des Betreibers sollte an einem offenen Schraubenverdichter die Gleitringdichtung gewechselt werden. Der Kohlenstoff-Gleitring wurde erneuert, der Gegenlauftring wurde entrostet, geschliffen und geläppt. Kurz nach Inbetriebnahme des instandgesetzten Verdichters versagte die neu eingebaute Gleitringdichtung, eine große Menge Kältemaschinenöl und Kältemittel wurde im

Maschinenraum freigesetzt, bis die Kälteanlage über die Gaswarnanlage abgeschaltet und das Betriebspersonal alarmiert wurde.

Die Gleitringdichtung ist mit dem Teflonring bis auf die verjüngte Antriebswelle aufgeschoben (Bild 1). Entsprechend der Abbildung in der Bedienungsanleitung muss der Teflonring auf der verdickten Antriebswelle aufsitzen. Es ist daher davon auszugehen, dass die Gleitringdichtung nicht bis auf die verdickte Antriebswelle aufgeschoben wurde bzw. aufgeschoben werden konnte.

Die Gleitringdichtung ist über einen Zapfen am Mitnehmerring mit der Antriebswelle verbunden und rotiert mit der Antriebswelle (Bild 2). Die Abdichtung erfolgt zwischen dem Kohlestoffring und der fest mit dem Verdichtergehäuse verbundenen Sitzscheibe.



Bild 2 Die Gleitringdichtung und ihre einzelnen Bestandteile

zum Autor

Dipl.-Ing. (FH)
Peter Wohlmuth,
Sachverständiger
nach BImSchG für
Kälteanlagen,
TÜV Industrie
Service GmbH TÜV
SÜD Gruppe,
München



Der Anpressdruck des Kohlestoffrings auf die Sitzscheibe wird über das Federpaket in der Gleitringdichtung gewährleistet.

Sowohl am Zapfen des Mitnehmerrings als auch am Muffenring der ausgebauten Gleitringdichtung sind deutliche Riefen in radialer Richtung erkennbar (Bilder 3a und 3b). Es ist daher davon auszugehen, dass bei der Montage der Gleitringdichtung der Zapfen am Mitnehmerring nicht in die vorgesehene Bohrung des Muffenrings eingeführt worden ist.

Der vergrößerte Abstand zwischen dem Mitnehmerring und dem Muffenring wird durch das Federpaket ausgeglichen. Dies führt zu einer wesentlich erhöhten Feder-



Bild 3a Mitnehmerring mit Zapfen der ausgebauten Gleitringdichtung

kraft und damit zu dem erheblichen Verschleiß des Kohlestoffs rings und letztlich zum Versagen der Gleitringdichtung.

Risse in der Eisschicht einer Kunsteisbahn

Entsprechend dem Beweisbeschluss des Landgerichts sollte ein Gutachten erstellt werden, ob die abstoßenden, abperlenden Eigenschaften der neu beschichteten Betonoberfläche der Eissportfläche gegenüber Wasser und Eis zu einer zermürbenden Wirkung auf die erste sich bildende Eisschicht führen, wodurch diese milchig wird und kein ausreichender Verbund zwischen Eis und Beschichtung besteht.

Die Eissportfläche in der Eissporthalle ist als Standardeisfläche (ca. 60 m x 30 m) ausgeführt. Auf die Betonschicht der Kälteschicht ist eine Kunststoffbeschichtung aufgetragen. Zusätzlich sind die Markierungen und Werbeflächen auf die Beschichtung aufgebracht. Um das Haftverhalten und die Qualität des Eises vergleichen zu können, sind in der Nähe der Einfahrt der Eismaschine jeweils eine ca. 0,5 m x 1 m große Fläche ohne Beschichtung (Betonoberfläche) und ein ca. 0,5 m x 1 m große Fläche mit aufgerauter Beschichtung vorbereitet.

Während der Ortseinsicht wird mit der Beeisung der Eissportfläche durch das Betriebspersonal durch Aufspritzen von Leitungswasser auf die kalte Kälteschicht begonnen (Bild 4).

Der Wasserfilm für die erste Eisschicht wird gleichmäßig aufgetragen, so dass die Oberfläche der Kälteschicht gleichmäßig benetzt ist, jedoch bilden sich aufgrund der Unebenheiten der Kälteschicht vereinzelt Lachen in den tiefer gelegenen Bereichen (Bild 5).



Bild 3b Muffenring der ausgebauten Gleitringdichtung

Eine abstoßende, abperlende Wirkung ist nur an den nachträglich ausgebesserten Stellen der Kunststoffbeschichtung und stellenweise an den Werbeflächen sowie im Bereich der Bande erkennbar.

Unterschiedliche Eisbildung an den vorbereiteten Flächen im Vergleich zu der beschichteten Fläche sind nicht erkennbar.

Nach dem Gefrieren der aufgetragenen ersten Wasserschicht beträgt die Oberflächentemperatur der ersten Eisschicht ca. $-5,5^{\circ}\text{C}$.

Die 2. und 3. Wasserschicht werden kurz nacheinander aufgetragen. Nach dem Gefrieren der 3. Wasserschicht ist die Kälteschicht vollständig mit Eis bedeckt, Lachenbildung durch tiefer liegende Stellen ist nicht mehr erkennbar.

Nach dem Gefrieren der 4. aufgetragenen Wasserschicht entstehen bereits erste Risse in der Eisschicht (Bild 6).

Nach dem Durchfrieren der Eisschicht sind großflächig verteilt verzweigte Risse erkennbar, die durch die gesamte Dicke der Eisschicht reichen.



Bild 4 Der Wasserfilm für die erste Eisschicht wird gleichmäßig aufgetragen

Aus der Eisschicht werden im Bereich der Risse über der beschichteten Kälteschicht und aus dem Bereich der unbeschichteten Kälteschicht jeweils eine Eisprobe entnommen. Unterschiedliche Haftung an den verschiedenen Oberflächen der Kälteschicht war nicht feststellbar. An beiden entnommenen Eisproben sind deutlich Luftpneinschlüsse erkennbar (Bild 7).

Stellungnahme zum Beweisbeschluss

Entsprechend der vom Internationalen Arbeitskreis Sport (IAKS) veröffentlichten Fachliteratur sollte die Eisschicht wegen der unterschiedlichen Wärmedehnung bei einer Oberflächentemperatur der Eissportfläche von ca. -1°C durch nur wenige Zehntel Millimeter dünne Schichten, wenn möglich durch Zuhilfenahme der Eisberei-tungsmaschine aufgebaut werden.

Kann die Eisberei-tungsmaschine nicht eingesetzt werden, ist die Eisschicht durch kleine gefrorene Wassertröpfchen (Eis-pepples) langsam zu einer zusammenhän-genden Eisschicht aufzubauen.

Die erkennbaren Risse sind demnach auf die zu tiefe Oberflächentemperatur der Eissportfläche und den zu dicken Wasser-auftrag zurückzuführen.

Die Temperatur des Wassers beim Aufspritzen sollte entsprechend der Fachliteratur (veröffentlicht vom IAKS, VDI 2075) ca. 50°C bis 60°C betragen, da bei dieser Temperatur eine wesentlich verringerte Lösung von Gasen wie z.B. Luftsauerstoff gegenüber kaltem Wasser besteht. Die in den entnommenen Eisproben festgestellten, auf-



Bild 5 Aufgrund der Unebenheiten der Kälteschicht bilden sich vereinzelt Lachen in den tiefer gelegenen Bereichen

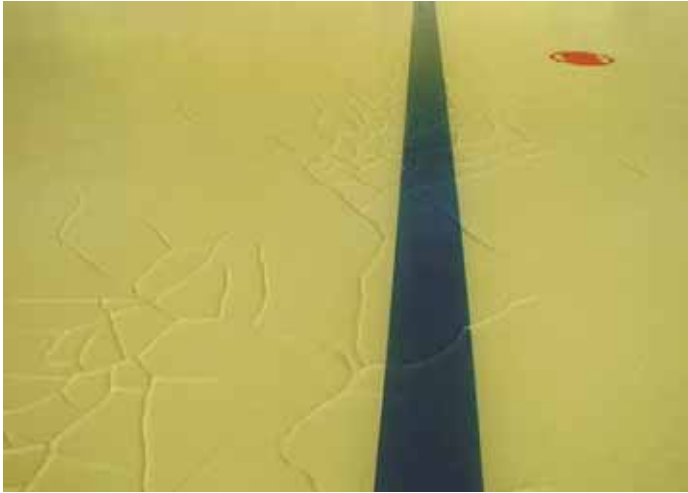


Bild 6 Nach dem Gefrieren der 4. aufgetragenen Wasserschicht entstehen bereits erste Risse in der Eisschicht

grund des hohen im Wasser gelösten Luftanteils eingeschlossenen Gasbläschen führen zu der trübenden Wirkung der Eisschicht.

Ammoniak-Leckage bei Instandsetzung der Wärmedämmung am Abscheider

An der Wärmedämmung des Abscheiders einer Kunsteisbahn wurde im Bereich der Anschlussleitung der Füllstandsanzeigeeinrichtung während der Stillstandszeit die Wärmedämmung instandgesetzt.

Dazu wurde von der ausführenden Firma eine Blechmanschette vorbereitet und mit der bestehenden Blechummantelung der Wärmedämmung verschraubt. Durch die auf die Rohrleitung aufgebrachte Fettbandage war jedoch ein dichter Abschluss der Blechummantelung nicht gegeben, die Blechrosette wurde daher zusätzlich im Bereich der Rohrleitung mit einer Schraube befestigt. Durch die Bohrung wurden ca. 4000 kg Ammoniak freigesetzt, nennenswert verletzt wurde durch den Schadensfall niemand (Bild 8).

Entsprechend der Technischen Regel Druckbehälter TRB 700 dürfen Druckbehälter nur von sachkundigen Personen gewartet werden. Sachkundig ist, wer aufgrund seiner Ausbildung und Erfahrung ausreichende Kenntnisse ... hat.

Von der Staatsanwaltschaft wurden unter anderem folgende Fragen an den Betreiber und den Sachverständigen gerichtet:

- Können derartige Arbeiten an einem mit Ammoniak gefüllten Behälter durchgeführt werden?
- Inwieweit war der Arbeiter unterwiesen?

Die gestellten Fragen sollten Betreiber und Fachfirmen zum Nachdenken anregen.

Flüssigkeitsschlag in einem Verdichter

Entsprechend dem Auftrag der Staatsanwaltschaft sollte ein Gutachten zum Schaden an einem Verdichter einer Ammoniak-Kälteanlage erstellt werden. Insbesondere war Stellung zu nehmen, ob als Ursache

- Materialermüdung oder
- menschliches Versagen in Form eines Bedienungsfehlers oder
- eine Kombination aus beiden Ursachen zum Schaden geführt hat. Der Zylinderkopf des Verdichters war geborsten (Bild 9). Im Maschinenraum wurden zwei Bruchstücke vorgefunden, die dem Zylinderkopf zuzuordnen sind. Zusätzlich wurden die dazugehörigen Ventilplatten, die Ventildfedern und die Gegenstücke der Ventildfedern der jeweiligen Zylinder im Maschinenraum vorgefunden.

Zur Kühlung von Eiswasser wird in der Brauerei ein Wärmeaustauscher betrieben, der in die Ammoniak-Kälteanlage eingebunden ist. Durch den Wärmeeintrag aus dem Eiswasser verdampft flüssiges Kältemittel in dem Wärmeaustauscher. Der Wärmeaustauscher ist saugseitig in die Saugleitung der Verdichter eingebunden.

Die kältemittelseitige Füllstandsregelung des Wärmeaustauschers erfolgt über zwei an der Flüssigkeitsstandanzeige angebrachte Schaltkontakte. Beim Erreichen des unteren Schaltkontaktes

wird ein Magnetventil in der Flüssigkeitsleitung von der Hochdrucksammelflasche zum Wärmeaustauscher geöffnet und flüssiges Kältemittel wird in den Wärmeaustauscher entspannt. Beim Erreichen des oberen Schaltkontaktes wird das Magnetventil geschlossen.

Zusätzlich ist an der Flüssigkeitsstandanzeige ein Maximalstandsbegrenzer angebaut (Bild 10), bei dessen Ansprechen die Verdichter abgeschaltet werden, um ein Ansaugen von flüssigem Kältemittel durch die Verdichter und somit eine Schädigung der Verdichter beim Versagen der Füllstandsregelung zu verhindern. Die beiden Anschlussleitungen (oben und unten) der Flüssigkeitsstandanzeige für den Wärmeaustauscher sind mit Absperrarmaturen ausgerüstet, die gegen Betätigung durch Unbefugte mit einer Kappe geschützt sind.



Bild 7 An beiden entnommenen Eisproben sind deutlich Lufteinschlüsse erkennbar

Konstruktionsbedingt schwankt der Kältemittelfüllstand im Wärmeaustauscher insbesondere bei Lastwechseln stark. Um ein unnötiges Ansprechen des Maximalstandsbegrenzers zu verhindern und somit die Betriebssicherheit der Kälteanlage zu erhöhen, wird die Füllstandsregelung erfahrungsgemäß durch das beinahe Schließen der Absperrarmaturen zwischen Wärmeaustauscher und Füllstandsregelung gedrosselt.

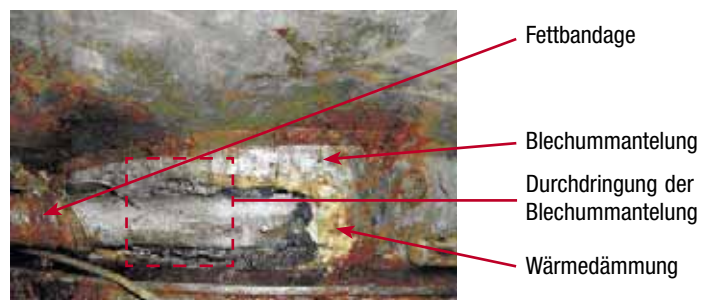
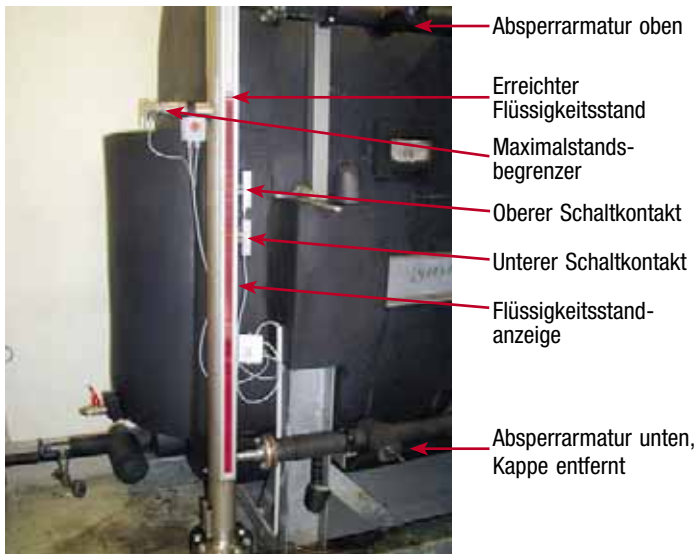


Bild 8 An der Wärmedämmung des Abscheiders einer Kunsteisbahn wurde im Bereich der Anschlussleitung der Füllstandsanzeigeeinrichtung die Wärmedämmung fehlerhaft instandgesetzt. Ergebnis 4 t Ammoniak wurden freigesetzt

Bild 10 Zusätzlich ist an der Füllstandsanzeige ein Maximalstandsbegrenzer angebaut, bei dessen Ansprechen die Verdichter abgeschaltet werden, um ein Ansaugen von flüssigem Kältemittel durch die Verdichter beim Versagen der Füllstandsregelung zu verhindern



Es ist daher davon auszugehen, dass die zwei kommunizierenden Druckgeräte (Wärmeaustauscher und Flüssigkeitsstandanzeigeeinrichtung) durch die Absperrarmatur in der unteren Anschlussleitung flüssigkeitsseitig getrennt waren.

Der Flüssigkeitsstand in der Flüssigkeitsstandanzeige entspricht dann nicht dem Flüssigkeitsstand im Wärmeaustauscher. Beim Betrieb des Verdichters verdampft Kältemittel auch in der Flüssig-

keitsstandanzeige und wird über die obere Anschlussleitung durch den Verdichter abgesaugt. Erreicht der Flüssigkeitsspiegel den unteren Schalterpunkt am Flüssigkeitsstandanzeiger wird das Magnetventil in der Flüssigkeitsleitung von der Hochdrucksammelflasche zum Wärmeaustauscher geöffnet und flüssiges Kältemittel wird dem Wärmeaustauscher aus der Hochdrucksammelflasche zugeführt.

Bild 9 Der Zylinderkopf des Verdichters war geborsten. Im Maschinenraum wurden zwei Bruchstücke vorgefunden, die dem Zylinderkopf zuzuordnen waren



Da die Absperrarmatur in der unteren Anschlussleitung zu weit geschlossen ist, kann kein flüssiges Kältemittel in die Flüssigkeitsstandanzeige nachströmen. Der Flüssigkeitsstand in der Flüssigkeitsstandanzeige erreicht den oberen Schaltkontakt nicht, so dass die Kältemittelzufuhr aus der Hochdrucksammelflasche in den Wärmeaustauscher durch das Magnetventil nicht unterbrochen wird. Ebenfalls kann der Maximalstandsbegrenzer nicht ansprechen.

Durch die Überfüllung des Wärmeaustauschers mit flüssigem Kältemittel saugt der Verdichter flüssiges Kältemittel an. Da flüssiges Kältemittel nicht verdichtet werden kann, führt dieses aufgrund der Druckstöße beim Verdichten zu einer Schädigung der Verdichter.

Wie können derartige Schadensfälle in Zukunft verhindert werden?

Seit dem 01.01.2004 ist für den Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen, und somit auch Kälteanlagen, die Betriebssicherheitsverordnung anzuwenden.

Der Arbeitgeber hat bei einer Gefährdungsbeurteilung die notwendigen Maßnahmen für die sichere Benutzung der Arbeitsmittel zu ermitteln. Benutzung umfasst alle Maßnahmen wie Erprobung, Inangasetzung, Stillsetzung, Gebrauch, Inangasetzung und Wartung.

Ist die Betriebssicherheitsverordnung ein geeignetes Mittel um derartigen Schadensfällen vorzubeugen?

Oftmals ist der Betreiber bei der Erstellung der Gefährdungsbeurteilung überfordert und kann derartige Vorkommnisse nicht berücksichtigen. Vielmehr sollten Betreiber und Fachfirmen durch Unterweisung, Schulung und Weiterbildung ihrer Mitarbeiter derartigen Schadensfällen vorbeugen. Auszuschließen werden jedoch auch dann solche Schadensfälle in Zukunft nicht sein. ■