

GUTACHTEN

IB-96-756

über ein mit dem brennbaren Kältemittel R 290 (Propan)
betriebenes Wärmepumpen-Heizungssystem – ACALOR
für Wohngebäude

Freiberg, 09.10.1996
Gu/Br

Dipl.-Ing. Gutte
Bearbeiter

Dieses Gutachten besteht aus: 11 Seiten Text

(im Original bestehend aus: 15 Seiten Text und 7 Anlagen)

Dieses Gutachten darf nur in vollem Wortlaut weiter verbreitet werden. Auszüge bedürfen der schriftlichen Zustimmung der IBExU GmbH.

GUTACHTEN

IB-96-756

über ein mit dem brennbaren Kältemittel R 290 (Propan)
betriebenes Wärmepumpen-Heizungssystem – ACALOR
für Wohngebäude

1 Auftrag

Mit dem Schreiben vom 06.09.1996 beauftragte die ACALOR Technik Scheel KG Lübow die IBExU Institut für Sicherheitstechnik GmbH mit der Erarbeitung eines explosionsschutztechnischen Gutachtens über ein mit dem brennbaren Kältemittel R290 (Propan) betriebenes Wärmepumpen-Heizungssystem – ACALOR für Wohngebäude.

2 Angaben zum Problem

Auf dem Wege zur Erlangung der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für ihr Wärmepumpen-Heiz-/Kühlsystem, das mit der direkten Kondensation/Verdampfung des Kältemittels R 290 (Propan) in Kupferrohrschlangen im Fußbodenteil oder unter Putz einer Wand arbeitet, ist die ACALOR TECHNIK SCHEEL KG mit ihrem Schreiben vom 14.03.1996 mit der Bitte um Unterstützung an IBExU herangetreten und hat die Technische Dokumentation gemäß EG-Maschinenrichtlinie vom 06.05.1995 vorgelegt. Eine überarbeitete Fassung dieser technischen Dokumentation vom 03.10.1996 wurde auch vorgelegt und ist diesem Gutachten als Anlage 1 beigelegt.

IBExU verfügt über einschlägige praktische Erfahrungen auf dem Gebiet der explosionsschutztechnischen Sicherheitsanforderungen für Kühlgeräte mit brennbaren Kältemitteln, da seit 1991 von IBExU die grundlegenden sicherheitstechnischen Gutachten zur Einführung und zum Einsatz von brennbaren Kältemitteln in Haushaltskühl- und Gefrierschränken des Haushaltgeräteherstellers FORON erarbeitet wurden.

Auf der Basis dieser Erfahrungen haben wir am 22.03.1996 der Firma ACALOR mit unserem Angebot IB-96-145 die Erstellung eines explosionsschutztechnischen Gutachtens vorgeschlagen, unter der Voraussetzung, dass bestimmte Materialeigenschaften, wie Korrosionsprobleme und (Berst)-Druckfestigkeiten IBExU von unabhängiger Seite zugearbeitet werden.

Dazu liegt die Arbeit „Kupferrohr in ACALOR-Heizsystem“ des in Österreich führenden Kupferverarbeiters buntmetall amstetten Ges. m. b. H. seit Mai 1996 vor. Neben Angaben zu Druckfestigkeiten von Kupferrohren verschiedener Querschnitte

enthält diese Arbeit die sicherheitstechnisch bedeutsame Aussage, dass Estrich auch im Langzeitbereich keine schädlichen korrosiven Einwirkungen auf Kupferrohr hat. Die genannte Arbeit ist diesem Gutachten als Anlage 2 beigelegt.

Weiterhin lagen für die Erarbeitung dieses Gutachtens folgende Arbeiten der Firma ACALOR bzw. des Mecklenburger Institutes für Thermodynamisches Heizen (MITH) vor:

1. *Experimentelle Untersuchung der Austrittsmengen von R 290 aus einem gerissenen ACALOR-Heizrohr im Fußbodenestrich vom 16.02.1995 (Anlage 3).*

Bei diesen Untersuchungen wurde festgestellt, dass auch beim Auftreten von Undichtheiten, die eigentlich durch das Abdrücken der Heizrohrschlangen mit 25 bar nach erfolgter Installation sicher vermieden werden, höchstens mit einem Eintrag von 200 g/h R 290 in einem Wohnraum zu rechnen ist.

2. *Experimentelle Untersuchung der Schäden an ACALOR-Kupfer-Heizrohren beim Bruch einer Heizestrichplatte und nachfolgend erzwungenem Versatz vom 06.05.1996 (Anlage 4).*

Danach bleibt Kupferrohr (Abmessungen: □ 15 mm, Wanddicke 1 mm) im Heizestrich auch dann dicht, wenn den im Bereich eines Kupferrohres gerissenen Estrichplatten ein 5 cm Versatz mit Gewalt aufgezwungen wird.

In der Praxis kommt ein derartiger Versatz nicht vor, weil die unregelmäßig geformten Rissränder formschlüssig in ihrer ursprünglichen Position gehalten werden und kleine Rektivbewegungen der angrenzenden Estrichplatten vom duktilen Kupfer teils elastisch teils plastisch fließend aufgenommen werden.

3. *Experimentelle Festigkeitsuntersuchungen an blanken Kupferrohren im Heizestrich vom 04.09./03.10.1996 mit in Tabelle 1 dokumentierten Ergebnissen von 43 Berstversuchen (Anlage 5).*

Bei keinem der bis zu 0,35 mm dünnen Kupferrohre lag der Berstdruck unter 120 bar. Durch die scharfkantigen Kies enthaltenen Estrichumhüllung wurde bei 11 Proben der Berstdruck von minimal 120 bar niemals erniedrigt. Von mehreren Hundert Hartlotnähten, die einen Prüfüberdruck von mindestens 120 bar ausgesetzt waren, wurde keine undicht.

4. *Austrittsmengen von R 290 aus dünnwandigem Kupferrohr im Heizestrich vom 03.10.1996 mit in Tabelle 2 dokumentierten Messungen an 11 unterschiedlichen Rohrdefekten im Heizestrich (Anlage 6).*

Bei der von ACALOR vorgeschriebenen w/z = 0,5 plastischen Estrichmischung sind selbst bei sehr großen Rohrdefekten (Bohrungsdurchmesser 1 mm bis 6 mm) an im Estrich liegendem Kupferrohr (12 x 0,35) nicht mehr als 195 g/h R 290 ausgetreten.

Ziel dieses Gutachtens ist es, für die als Anlage 7 beigefügte Schrift „Zulassungsgegenstand und Anwendungsbereich der ACALOR Heiz-/Kühlanlage“ vom 03.10.1996 definierte Heiz-/Kühlsystem den Nachweis zu führen, dass für seinen Nutzer keine Explosionsgefährdungen zu erwarten sind.

3 Sicherheitstechnische Kennzahlen des als Kältemittel R 290 in der ACALOR – Heiz-/Kühlanlage eingesetzten Flüssiggases Propan

Das als brennbares Kältemittel R 290 in ACALOR-Heiz-/Kühlanlagen eingesetzte Propan besitzt folgende [1] und [2] entnommene sicherheitstechnische Kennzahlen:

Untere Explosionsgrenze:	2,1 Vol.-% 39 g/m ³
Obere Explosionsgrenze:	9,5 Vol.-% 180 g/m ³
Zündtemperatur:	470 °C
Maximaler Explosionsdruck:	6,0 bis 8,4 bar
Maximaler Druckanstieg:	17,2 bis 22,0 bar/s

Legt man einen in der Technik üblichen 50 %igen Sicherheitsabstand zur unteren Explosionsgrenze (UEG) zugrunde, ergibt sich bei einer Kältemittelkonzentration von > 1,05 Vol.-% bzw. 19,5 g/m³ eine Explosionsgefährdung, wenn brennbares Kältemittel R 290 im Raum über Undichtigkeit ausströmen könnte.

Bezüglich der Explosionswirkungen kann festgestellt werden, dass im Bereich der Explosionsgrenzen nur eine nahezu drucklose Abflammung des zündfähigen Gemisches erfolgt, derartige Abflammungen sind jedoch in der Lage, leichtentzündliche Materialien in Brand zu setzen.

Mit schweren Schäden an Gebäuden bzw. Gebäudeteilen muss dann gerechnet werden, wenn die Brenngaskonzentration im Kältemittel/Luft-Gemisch im Bereich der stöchiometrischen Konzentration von 4,03 Vol.-% liegt.

Grundsätzlich muss in Wohngebäuden mit dem Vorhandensein von Zündquellen, wie offene Flammen, heiße Oberflächen und elektrische Funken, gerechnet werden. Das Schutzkonzept für das mit R 290 (Propan) betriebene ACALOR-Heiz-/Kühlsystem muss somit in der Verhinderung des Austrittes von Kältemittel über Undichtheiten in den in Estrich bzw. Putz eingebetteten Heizrohren bestehen.

Auf der Basis der von ACALOR bzw. dem MITH durchgeführten Voruntersuchungen zu Austrittsmengen von R 290 aus dünnwandigen im Heizestrich eingebetteten Kupferrohr (vgl. Anlage 6 mit Tabelle 2) kann jedoch festgestellt werden, dass bei maximalen Austrittsmengen von 195 g/h bei sehr hypothetisch angenommenen Leckgrößen, die in der Praxis auf Grund der Einbauvorschriften nicht auftreten können, in Räumen mit 4 m² Grundfläche und einer Wohnraumhöhe von 2,50 m bei

Zugrundelegung eines einfachen natürlichen Luftwechsels die 50%-UEG-Sicherheitsgrenze gerade erst erreicht, aber nicht überschritten wird. Vernünftiger Weise kann davon ausgegangen werden, dass Wohnräume, die beheizt werden müssen, eine Grundfläche größer 4 m² besitzen. Dadurch ist davon auszugehen, dass selbst bei größeren Undichtheiten in den Kupferheizrohren auf Grund der Sperrwirkung der Estrichschicht und eventuell weiterer Fußbodenbeläge (Fliesen, geklebte Teppichböden) bzw. der Putzschicht die Kältemittelkonzentration in den Räumen, die mit einem ACALOR-Heizsystem ausgerüstet sind, den 50%-Sicherheitsgrenzwert der UEG des Kältemittels R 290 (Propan) nicht erreicht bzw. überschreitet.

Diese Untersuchungen haben somit gezeigt, dass selbst bei der als schlimmsten Fall zu sehenden Annahme, dass mit Rissen bzw. Lecks versehene Kupferheizrohre eingebaut werden und die erforderliche Druckprobe zur Leckerkennung beim Einbau weggelassen wurde, bei vorschriftsmäßiger Ausführung des Estrichs keine gefährlichen Kältemittel/Luft-Gemische in den Einbau-Räumen auftreten werden.

Prinzipiell können jedoch derartige Lecks ausgeschlossen werden, da die Einbauvorschrift von ACALOR eine mindestens drei Wochen dauernde Druckprobe mit 25 bar Prüfüberdruck vorsieht, in deren Zeitraum der Druck in den Kupferheizrohren abzüglich Temperatur bedingter Druckschwankungen konstant bleiben muss. Die erfolgreiche Druckprüfung ist vor Inbetriebnahme durch einen Sachkundigen gemäß §32 DruckbehV im Rahmen der Erstellung der Prüfbescheinigung über die ordnungsgemäße Herstellung, Errichtung, Druckprüfung und Prüfung vor Inbetriebnahme nach §30 a DruckbehV entsprechend zu dokumentieren (vgl. Anlage 7 – Zulassungsgegenstand und Anwendungsbereich).

4 Beurteilung der Möglichkeit des Auftretens von Undichtheiten bedingt durch Materialeigenschaften des verwendeten Kupferrohres

Grundsätzlich sind zwei Möglichkeiten bzgl. des Auftretens von Undichtheiten auf Grund von Materialeigenschaften des Kupferrohres denkbar:

- Leckagebildung durch Aufreißen des Kupferrohres bei übermäßiger Druckbeanspruchung
- Leckagebildung durch Korrosionsvorgänge

Die Leckagebildung durch Aufreißen des Kupferrohres bei übermäßiger Druckbeanspruchung kann ausgeschlossen werden, da physikalisch- und konstruktionsbedingt der Systemdruck im bestimmungsgemäßen Betrieb einen Wert von 20 bar nicht überschreiten kann, womit der in Versuchen festgestellte minimale Berstdruck von 120 bar um das 6fache unterschritten wird. Auch bei Vorhandensein von scharfkantigem Kies im Estrich und an den Hartlöttnähten wurden bei den durchgeführten Berstversuchen der maximale Berstdruck von 120 bar niemals unterschritten (vgl. Anlage 5).

Da der maximal mögliche Betriebsdruck den Berstdruck der verwendeten Kupferrohre um mindestens das 6fache unterschreitet, wird der Einbau von Sicherheitsventilen oder Überdruckwächtern für nicht notwendig erachtet. Sicherheitsventile und Druckwächter stellen, bezogen auf das ACALOR-Heiz-/Kühlsystem, aus Sicht des Explosionsschutzes auf Grund möglicher Undichtheiten, die zur Bildung explosionsgefährlicher Atmosphäre führen können, eher ein Risiko dar.

Die Leckagebildung durch Korrosionsvorgänge im Inneren des Kupferrohres und außen am Kupferrohr kann gleichfalls ausgeschlossen werden. Durch Untersuchungen am Kupferrohr durch „buntmetall amstetten GmbH“ konnte nachgewiesen werden, dass bei Verwendung von nitrit- oder ammoniumfreien Baustoffen (Putze, Estriche) auch im Langzeitbereich keine schädlich korrosiven Einwirkungen auf das Kupferrohr zu erwarten sind. Für Räume mit aggressiver Atmosphäre sieht ACALOR einen 50 µm dicken Kunstharzlacküberzug vor. Räume mit aggressiver Atmosphäre sind im Wohnbereich, eventuell mit Ausnahme von Hobby-Räumen, nicht vorstellbar.

Eine Korrosion im Inneren des Kupferrohres ist bei Verwendung von DIN-gerechtem Propan nicht möglich. Derartiges Propan enthält als Verunreinigung keine sauren oder alkalischen Bestandteile. Propan selbst kann nicht durch Oxidation des Rohrleitungsmaterials Kupfer Korrosion bewirken, da es als Kohlenwasserstoffverbindung zur Gruppe der reduzierend wirkenden chemischen Verbindungen gehört.

Aus materialtechnischer Sicht bestehen somit grundsätzlich keine Bedenken gegenüber dem Einbau von ungeschütztem Kupferrohr mit hartgelöteten Verbindungsstellen bei einer Wandstärke von $\geq 0,35$ mm. Voraussetzung ist jedoch, dass sie in Anlage 7 Zulassungsgegenstand und Anwendungsbereich genannten Bedingungen:

- vorschriftsmäßige Ausführung von Hartlöt Nähten
- Verwendung nitrit- und ammoniumfreier Baustoffe
- Abnahmepflicht und Druckprüfung der Anlage vor Inbetriebnahme durch einen Sachkundigen nach §32 DruckbehV

durch die Installationsfirma bzw. die Bau ausführende Firma eingehalten werden.

5 Möglichkeiten der Bildung explosionsfähiger Gemische durch Fehlverhalten des Gebäudenutzers

Werden durch den Betreiber bzw. Nutzer der ACALOR-Heiz-/Kühlanlage im Bereich der im Fußbodenestrich oder unter Putz verlegten Kupferrohre Bohr- oder Nagelarbeiten durchgeführt, ist bei Beschädigung des Kupferrohres vom Vorhandensein explosionsfähiger Atmosphäre zumindest in dem betroffenen Raum, mit hoher Wahrscheinlichkeit auch in angrenzenden Räumen, auszugehen.

Bei derartigen Arbeiten würde die Gas sperrende Wirkung der Estrich- oder Putzschicht entfallen und das Kältemittel könnte direkt über den Nagelkanal oder das Bohrloch in den Raum gelangen. Vernünftige technische Maßnahmen, die ein derartiges Fehlverhalten des Nutzers ausschließen, sind nicht realisierbar.

Diese Gefährdung kann somit ausschließlich über organisatorische Maßnahmen beseitigt werden. Grundsätzlich muss somit für die Bereiche der durch eine ACALOR-Anlage beheizten oder gekühlten Räume, in denen sich die Kupferheizrohre befinden, das Durchführen von Bohr- und Nagelarbeiten untersagt werden.

Die Installationsfirma hat dem Kunden einen exakten Lageplan der verlegten Kupferheizrohre bei Übergabe der Anlage zu übergeben. Weiterhin ist durch die Installationsfirma, der Kunde schriftlich darüber zu belehren, dass im Bereich der Kupferheizrohre keine Nagel- oder Bohrarbeiten durchgeführt werden dürfen. Diese schriftliche Belehrung sollte weiterhin einen Hinweis enthalten, dass der Kunde seinerseits die Verantwortung dafür trägt, dass bei Nutzung der Räumlichkeiten durch Fremdperson (z. B. bei Vermietung) oder bei Verkauf des Objektes der Nachnutzer über die Besonderheiten des ACALOR-Systems informiert und speziell über das Verbot der Durchführung von Bohr- und Nagelarbeiten belehrt wird. Wenn möglich sind an Heizungsflächen Warnvermerke anzubringen.

Weiterhin ist der Kunde darüber zu belehren, dass vor einem Abriss des Gebäudes oder vor einer Gebäudesanierung mit Eingriffen in Fußboden und Mauerwerk das Kältemittel aus der Anlage durch eine sachkundige Firma zu entfernen ist und die im Gebäude befindlichen Kupferheizrohre mit Inertgas oder auch mit Luft brenngasfrei zu spülen sind.

6 Beurteilung des Explosionsschutzes im Bereich des Aufstellungsortes des Maschinensatzes (Verdichter, Verdampfer, Steuer- und Regeltechnik)

Als Verdichter wird in ACALOR-Anlagen ein gasdicht gekapselter Rollkolbenverdichter eingesetzt. Als Verdampfer wird ein mittels Gebläse Luft beheizter Rohrschlangenverdampfer eingesetzt.

Sämtliche Verbindungsstellen zwischen Verdichter, Verdampfer, Heizrohrschlange im Gebäudeinneren, Steuer- und Regelarmaturen sind wieder hart mit Formiergas R 290 gelötet.

Der Verdichter und der Verdampfer befinden sich außerhalb des Gebäudes und sind lediglich mit einem Wetterschutz ausgerüstet.

Gemäß Explosionsschutz-Richtlinie (EX-RL) Punkt 1.3.2 und 1.3.3 ist die ACALOR-Anlage auch im Bereich des Verdichters und des Verdampfers als konstruktiv auf Dauer technisch direkt ausgeführt anzusehen, da auf den Einsatz wieder lösbarer Schraub- und Flanschverbindungen verzichtet wurde. Alle Verbindungsstellen sind hartgelötet. Da auch im Bereich des Verdichters und Verdampfers keine Sicherheitsventile oder sonstige Abblasestellen vorhanden sind, braucht

entsprechend EX-RL Beispielsammlung Punkt 1.1.5.2.1 c), 1.1.7.2 und 1.1.8.2.1.3 keine Explosionsgefährdungszone festgelegt werden.

Die elektrische Ausrüstung der ACALOR-Anlage muss somit den Anforderungen der EN 60 529 entsprechen. Die elektrischen Betriebsmittel im Freien sind somit mindestens im Schutzgrad IP 54 (bei Vorhandensein eines Regenschutzdaches) oder IP 65 (ohne Regenschutzdach) auszuführen.

Die Schutzummauerung bzw. Schutzverkleidung für den Verdichter ist im Fußbereich mit Lüftungsöffnungen ins Freie zu versehen. Die Lüftungsöffnung sollte eine Fläche von 1 % der Bodenfläche, mindestens jedoch 100 cm² besitzen.

7 Zusammenfassung und Empfehlungen

Durch die Firma ACALOR wurde ein neuartiges Wärmepumpen-Heiz-/Kühlsystem vorgestellt, das als Kühlmittel R 290 (Propan), ein brennbares Flüssiggas, benutzt. Das Heiz-/Kühlsystem besteht aus folgenden Hauptbaugruppen:

- Rollkolbenverdichter
- Verdampfer
- Kondensator

Der Rollkolbenverdichter und der Luft beheizte Verdampfer sind im Freien nur mit Wetterschutz versehen aufgestellt. Der Kondensator in Form von nicht ummanteltem Kupferrohr (Wandstärke \square 0,35 mm) befindet sich im Estrich (Fußbodenheizung) oder unter Putz (Wandflächenheizung) des zu erwärmenden oder zu kühlenden Gebäudes.

Sämtliche Verbindungen zwischen den Baugruppen sind als nichtlösbare Hartlöt-Verbindungen ausgeführt. Eine Explosionsgefährdung durch dieses Wärmepumpen-Heiz-/Kühlsystem könnte bei Austritt von brennbarem Kältemittel aus den Kupferrohren infolge von Undichtigkeiten des Rohrmaterials in den zu beheizenden Räumen hervorgerufen werden.

Analog trifft das in eingeschränktem Maß auf die im Freien angeordneten Baugruppen zu.

Undichtigkeiten, die zum Ausströmen von Kältemittel führen, könnten wie folgt hervorgerufen werden:

1. *Unsachgemäßes Verlegen der Kupferheizrohre (Abknicken, Beschädigen mit Werkzeug bei der Montage)*
2. *Unsachgemäße Ausführung der hartzulötenden Verbindungsstellen*

3. *Korrosionsvorgänge im Bereich der Kupferheizrohre außen durch Verwendung ungeeigneter Baustoffe (nitrit- und ammoniumhaltig), im Inneren der Kupferheizrohre durch die Aggressivität des Kältemittels*
4. *übermäßige Druckbeanspruchung*
5. *Beschädigung der Kupferheizrohre durch die Ausführung von Bohr- und Nagelarbeiten durch den Nutzer des Heizsystems*

Im Rahmen von Untersuchungen und durchgeführten Sicherheitsbetrachtungen können diese theoretischen Möglichkeiten zum Auftreten von Undichtheiten wie folgt ausgeschlossen werden:

Der Gefahr der Leckentstehung durch unsachgemäße bzw. nachlässig ausgeführte Installationsarbeiten wird durch eine dementsprechende Qualifikation des Montagepersonals und die Vorgabe der Installationsschritte durch Arbeitsanweisungen begegnet.

Durch die Entwicklung geeigneter Verlegetechnologien, wie das Verlegen von dünnwandigem Kupferrohr unter einem Innendruck von 10 bar, kann zum Beispiel die Gefahr des Knickens der Rohrleitung deutlich verringert werden.

Um die Gefahr der Leckbildung infolge unsachgemäß ausgeführter Installationsarbeiten ausschließen zu können, erfolgt im Rahmen der Prüfungen vor Inbetriebnahme nach §30 a DruckbehV unter anderem eine Druckprüfung des gesamten Systems mit einem Prüfüberdruck von 25 bar, der über einen Zeitraum von mindestens 3 Wochen konstant bleiben muss. Auf Grund des langen Prüfzeitraumes können auch kleine Leckagen (Mikrolecks) zuverlässig erkannt werden. Bei Beachtung der Montageanweisungen und ordnungsgemäßer Durchführung der Druckprüfung ist die Entstehung von Leckagen, die zum Austritt des brennbaren Kältemittels R 290 im Betrieb und somit zur Bildung explosionsfähiger Atmosphäre führten können, auszuschließen.

Damit sind die genannten Gefahrenpunkte 1. und 2. für das ACALOR-Heiz-/Kühlsystem nicht relevant. Korrosionsvorgänge im Rohraußenbereich können, wie Untersuchungen gezeigt haben, nicht auftreten, wenn, wie seitens ACALOR vorgeschrieben, nitrit- und ammoniumfreie Baustoffe als Estrich oder Putz eingesetzt werden. Eine Korrosion durch das Kältemittel Propan (R 290) muss grundsätzlich ausgeschlossen werden, da Propan zur Gruppe der reduzierend wirkenden chemischen Verbindungen gehört und keine aggressiven (sauren oder alkalischen) Verunreinigungen enthält.

Auch ein Verstopfen der Rohrleitungen durch Ablagerungen kann ausgeschlossen werden, da Propan nach DIN 51 622 keine Ablagerungen bildende Verunreinigungen enthält. Gegenüber eventuell in der Rohrleitung vorhandenen Fetten und Ölen wirkt es zumindest in der Flüssigphase als Lösungsmittel.

Damit können auch Korrosionsvorgänge als Quelle von Leckagen ausgeschlossen werden (Punkt 3.). Eine Druckbeanspruchung, die zum Aufreißen des verwendeten Kupferrohrmaterials führt (Punkt 4.), kann gleichfalls ausgeschlossen werden, da System bedingt und physikalisch bedingt (Dampfdruck des Kältemittels in Abhängigkeit von der Temperatur im System) der Druck im Rohrsystem 20 bar nicht überschreiten kann, jedoch selbst dünnwandige Kupferrohre (Wandstärke $\geq 0,35$ mm, $\varnothing \leq 12$ mm) und gelötete Verbindungsnahte Berstdrücke von > 120 bar aufweisen, wie in Versuchen festgestellt wurde.

Zur Verhinderung der Leckagebildung durch Bohr- und Nagelarbeiten ist der Nutzer bei der Übergabe schriftlich zu belehren, dass im Bereich der Kupferheizrohre keine derartigen Arbeiten durchgeführt werden. Bei der Übergabe der Anlage ist dem Nutzer ein entsprechend exakter Verlegeplan mit zu übergeben. Wenn möglich, sollten auf den Heizflächen entsprechende Warnhinweisschilder angebracht werden.

Eine mögliche Explosionsgefährdung durch Austritte von Kältemittel bei Beschädigung der Rohrleitung durch unsachgemäß ausgeführte Bohr- oder Nagelarbeiten kann nur durch Vorgabe entsprechender Verhaltensmaßnahmen verhindert werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das neuartige, durch ACALOR entwickelte mit brennbarem Kältemittel R 290 (Propan) betriebene, Wärmepumpen-Heiz-/Kühlsystem bei ordnungsgemäßer und sachkundiger Installation, Prüfung vor Inbetriebnahme durch einen speziell für dieses Heizungssystem sachkundigen Fachmann, Einhaltung der Materialqualitäten für das verwendete Kupferrohr und die benötigten Lötwerkstoffe und Beachtung einiger Verhaltensanforderungen durch den Nutzer aus der Sicht des Explosionsschutzes kein besonderes Sicherheitsrisiko für den Nutzer darstellt.

Folgende Empfehlungen sollen abschließend noch gegeben werden:

- Die Montage sollte nur von entsprechend für dieses Heizungssystem qualifizierten und zugelassenen Firmen vorgenommen werden.
- Wartungs- und Reparaturarbeiten dürfen gleichfalls nur von speziell qualifizierten und zugelassenen Firmen vorgenommen werden.
- Die Erstellung der Prüfbescheinigung vor Erstinbetriebnahme über die ordnungsgemäße Herstellung, Errichtung und Druckprüfung nach §30 a DruckbehV durch einen Sachkundigen gemäß §32 DruckbehV, der gleichfalls speziell für die Besonderheiten dieses Heizungssystems qualifiziert ist.
- In Betrieb befindliche Heizungsanlagen sollten analog zu Gas- oder Ölfeuerungen einmal jährlich einer Überprüfung unterzogen werden, die von einer dafür qualifizierten Firma durchzuführen wäre.

Da das ACALOR-Heiz-/Kühlsystem konstruktions- und physikalisch bedingt als eigensicher bezeichnet werden kann, ist der Einbau von Sicherheitsventilen oder Druck- und Temperaturwächtern mit Sicherheitsschaltfunktion nicht erforderlich.

Literaturverzeichnis

- [1] Nabert/Schön/Redeker
Sicherheitstechnische Kennzahlen brennbarer Gase und Dämpfe
2. Auflage, Deutscher Eichverlag GmbH, Braunschweig 1963
(Nachdruck 1991)
- [2] Steinleitner
Brandschutz- und sicherheitstechnische Kennwerte gefährlicher Stoffe
Staatsverlag der DDR, Berlin 1988
- [3] Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften
Richtlinien für die Vermeidung der Gefahren durch explosionsfähige
Atmosphäre mit Beispielsammlung – Explosionsschutz-Richtlinien (Ex-RI)
Carl-Heymanns-Verlag KG Köln, Juni 1996

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Technische Dokumentation der ACALOR-Fußbodenheizung gemäß EG Maschinenrichtlinie vom 03.10.1996
- Anlage 2: Kupferrohr in ACALOR-Heizsystemen
- Anlage 3: Experimentelle Untersuchung der Austrittsmengen vom R 290 aus einem gerissenen ACALOR-Heizrohr unter einem Fußbodenestrich
- Anlage 4: Experimentelle Untersuchung der Schäden an ACALOR-Kupfer-Heizrohren beim Bruch einer Heizestrichplatte und nachfolgend erzwungenem Versatz
- Anlage 5: Experimentelle Fertigungsuntersuchungen an blanken Kupferrohren im Heizestrich
- Anlage 6: Austrittsmengen von R 290 aus dünnwandigen Kupferrohren im Heizestrich
- Anlage 7: Zulassungsgegenstand und Anwendungsbereich der ACALOR-Heiz-/Kühlanlage