4 Fachgerechte Installation einer einfachen Kälteanlage

4.1 Bauteile und Baugruppen einer einfachen ortsfesten Kälteanlage

Zur fachgerechten Installation einer ortsfesten Kälteanlage und Gewährleistung einer sicheren Funktion sind neben den vier grundlegenden Bauteilen (Verdichter, Verflüssiger, Drosselorgan, Verdampfer, siehe Kap. 3) noch weitere kältetechnische Bauelemente erforderlich. Diese werden nicht nur unter Berücksichtigung einer verbesserten Funktion, sondern auch aus Gründen der Sicherheit und der vorbeugenden Instandhaltung ausgewählt und eingebaut. Daher schauen wir uns hier in der Praxis häufig verwendete Bauteile an, wie Absperrventile, Magnetventile, Pressostate, Schaugläser und Filtertrockner. Alle genannten Bauteile sind mit im Kältemittel-Rohrsystem integriert.

4.1.1 Installation Kältemittel führender Rohrleitungen

In der Praxis wird normgerechtes Kupferrohr der DIN EN 12735, wie es in Kapitel 3.5 beschrieben wird, verwendet. Soll Kältemittel durch das Kupferrohr strömen, gelten Normen und Verordnungen für eine vorschriftsmäßige und fachgerechte Installation. Auch für eine einwandfreie Anlagenfunktion müssen bei der Rohrinstallation passende Vorgaben beachtet werden.

4.1.1.1 Rohrschneide- und Entgratwerkzeuge

Kupferrohre sind immer mit dem Rohrabschneider zu schneiden, niemals mit einer Säge, da sonst Sägespäne ins Innere der Rohre gelangen. Außerdem kann man durch einen Sägeschnitt das Rohr nicht exakt rechtwinklig ablängen. Das Schneidrad vom Rohrabschneider muss auf seine Schärfe kontrolliert werden. Unscharfe Schneidräder ergeben keinen sauberen Schnitt, sondern drücken den Rohrquerschnitt in der Schnittfuge ein. Der Rohrabschneider wird am Rohr angelegt und so weit zugedreht, bis ein Gegendruck spürbar wird. Nun wird er einmal um 360° gedreht und anschließend ca. eine halbe Umdrehung zurück. Diesen Vorgang wiederholt man so oft, bis das Kupferrohr abgetrennt ist. Im Inneren des Rohrs bildet sich beim Schneiden ein Grat. Dieser wird mit dem am Rohrabschneider vorhandenen Schaber oder einem Kegel- bzw. Klingenentgrater entfernt, wobei das Rohr immer mit der Schnittkante nach unten gehalten wird. Das Entgraten ist dann abgeschlossen, wenn der innere Rohrquerschnitt vollständig frei ist. Der Entgrater sollte leicht in das Rohr gedrückt werden. Zudem soll mit einer gleichmäßigen Rotation der Klinge um 360° vorgegangen werden Beim Entgraten dürfen die Späne niemals in die Rohrleitung oder Bauteile fallen. Funktionsstörungen bis hin zu einem Verdichterschaden können die Folge sein.



Abbildung 4.1 Rohrabschneider, Klingenentgrater (Werkbild: Rothenberger Werkzeuge GmbH)

4.1.1.2 Biegen von Kupferrohr

Nach Vorgabe der DIN EN 14276 kann das Kupferrohr auf der Baustelle nur kalt umgeformt werden (siehe Kap. 3.5). Daher beschränkt sich das Biegen (von Hand) auf der Baustelle auf das vom Hersteller weichgeglühte CU-Rohr der Festigkeitsklasse R220. Das Biegen von Rohrleitungen bietet viele Vorteile:

- Mögliche Undichten, wie bei Löt-, Bördel-, Pressverbindungen, können nicht auftreten.
- Es ist kostentechnisch günstiger als Press- und Lötfittinge.
- Es ist schneller durchführbar als Löten/Pressen.
- Es erfordert einen geringeren Material- und Werkzeugaufwand.



Abbildung 4.2 Biegezangen (Werkbild: Rothenberger Werkzeuge GmbH)

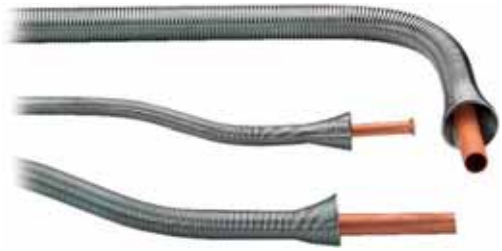


Abbildung 4.3 Biegefedern (Werkbild: Christof Fischer GmbH)

Hersteller liefern weichgeglühte Kupferrohre üblicherweise bis zu einem Rohrdurchmesser von d = 22 mm, die man dann mit Hand-Biegegeräten biegen kann. Mit elektrischen oder hydraulischen Biegeapparaten können größere Durchmesser und Rohre mit hoher Festigkeit gebogen werden. Um einen Rohrabschnitt genau berechnen und exakt zu fertigen, bedient man sich der

sogenannten „neutralen Faser“. Diese Strecke, gleichzeitig auch Rohrleitungsmittellinie, verändert beim Biegen nicht die Länge. Das äußere Rohrstück wird beim Biegen gestreckt, das innere Rohrstück gestaucht. Beim Aufmessen gibt der Anlagenbauer immer das Maß „Mitte zu Mitte“ (von neutraler Faser zur nächsten neutralen Faser) an.

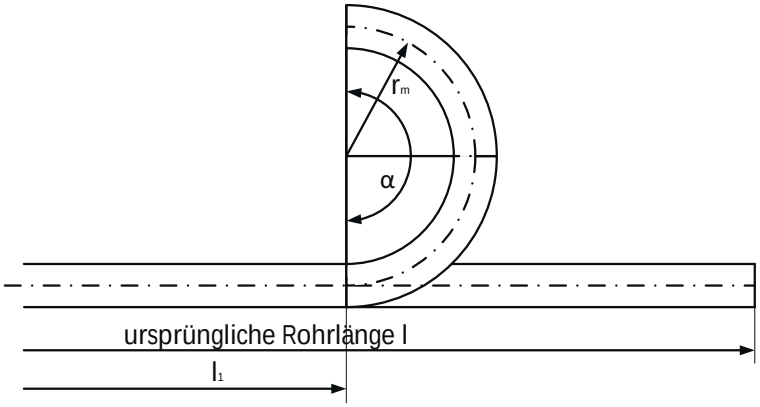


Abbildung 4.4 Gestreckte Länge beim Biegen von Rohren

$$l = l_1 + l_{\text{Bogen}}$$

$$l_{\text{Bogen}} = \frac{2 \cdot r_m \cdot \pi \cdot \alpha}{360°}$$

mit:

l_1	Länge gerades Rohrstück in mm (m)
l_{Bogen}	Länge Rohrbogen in mm (m), gestreckte Länge
r_m	Biegeradius Biegegerät in mm (m)
α	Biegewinkel in °

4.1.1.3 Aufweiten (Aufmuffen) von Kupferrohr

Eine Kupferrohr-Aufweitung zur Muffenherstellung ist, genau wie das Biegen, beschränkt auf das weiche Kupferrohr der Festigkeitsklasse R220. Mit einer Aufweitung lassen sich unterschiedliche Kupferrohre günstig und mit nur einer Lötstelle miteinander verbinden. (Für Kupferrohr der Festigkeitsklasse R290 gibt es für eine notwendige Lötverbindung fertige Muffen. Es kommen dann zusätzliche Materialkosten und zwei Lötstellen hinzu). Vor dem Aufweiten wird das Kupferrohr sorgfältig entgratet. Zudem muss das Rohr innen gereinigt sein (Rohrbürste), da nach dem Aufweitvorgang ein Absatz bzw. eine Kante entsteht. Diese kann anschließend nicht mehr ausreichend gereinigt werden. Sollte ein Grat im Rohr verbleiben, kann dieser beim Weiten zum Einreißen der Aufweitung/Muffe führen. Die Herstellung der Aufweitung sollte nicht in einem Zug erfolgen, sondern in zwei bis drei Teilschritten. So kann man das Einreißen der Aufweitung vermeiden. Mit den herkömmlichen Aufweitsätzen sind Dimensionen von 8–22 mm machbar. 6-mm-Rohre können mit einer Bördelglocke und einem Aufweiteinsatz geweitet werden. Bei größeren Kupferrohrdurchmessern verwendet man spezielle Aufweitdorne, ohne das Rohr vor-

her auszuglühen (Ausglühen und Aufweiten sind nach DIN EN 14276 eine nicht zugelassene Warmumformung).



Abbildung 4.5 Bördelgerät mit Aufweitdorn für 6-mm-Kupferrohr



Abbildung 4.6 Aufweitsatz (Werkbild: Christof Fischer GmbH)

4.1.1.4 Verbindung von Kältemittel führenden Rohrleitungen und Bauteilen

In der Technik unterscheiden wir zwischen lösbaren und nichtlösbaren Verbindungen. Unter lösbaren Verbindungen versteht man solche, bei denen das Verbindungsmittel nicht zerstört werden muss, um die Verbindung zu lösen. Das Lösen von nicht lösbaren Verbindungen kann nur durch mechanische Zerstörungen (Säge, Trennscheibe, …) erfolgen.

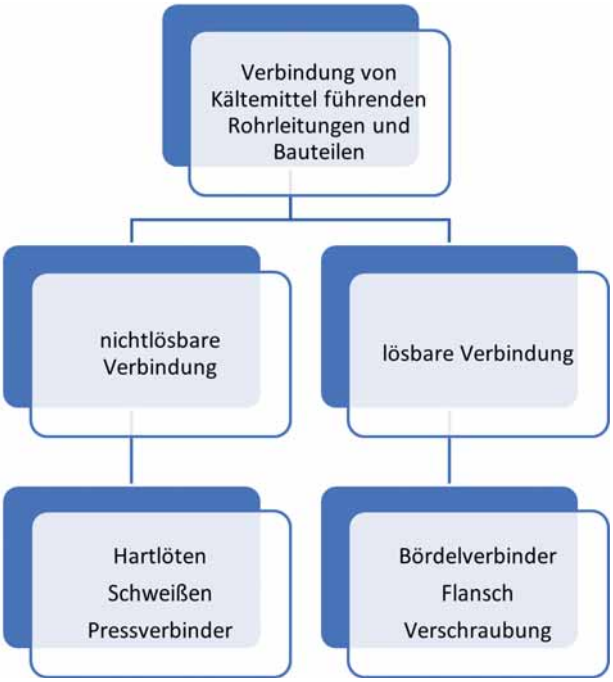


Abbildung 4.7 Übersicht über Verbindungen Kältemittel führender Rohrleitungen

Die DIN EN 378 macht Vorgaben über die Ausführung dieser Rohrleitungsverbindungen:

> *„Im Allgemeinen dürfen lösbare Verbindungen nur verwendet werden, wenn nichtlösbare Verbindungen aus technischen Gründen nicht geeignet sind.“*

So gibt es z. B. keinen *technischen* Grund, den Niederdruckschalter an einer Anlage zu bördeln. Der Grund für das Bördeln ist in der Regel die Bequemlichkeit: Das Bördelgerät ist schließlich leichter zu transportieren als das Lötgerät.

4.1.1.4.1 Hartlötverbindung

Nichtlösbare Verbindungen sind nach der DIN EN 378 durch Schweißen, Pressen oder Hartlöten nach DIN EN 14276 auszuführen.

Das Löten ist ein Fügeprozess, bei dem die zu verbindenden Grundwerkstoffe, anders als beim Schweißen, nicht aufgeschmolzen werden. Es entsteht ebenfalls eine unlösbare Verbindung durch das Aufschmelzen eines Zusatzes, dem Lot, gegebenenfalls mithilfe von Flussmitteln. Für die Durchführung der Verbindung mit dem Hartlötverfahren gilt DIN EN 14276. Hierin ist das Hartlöten nach dem Kapillarlötverfahren vorgeschrieben. Die Norm gibt die Kapillarspaltbreite und die Einstecktiefe abhängig vom Rohrdurchmesser vor.

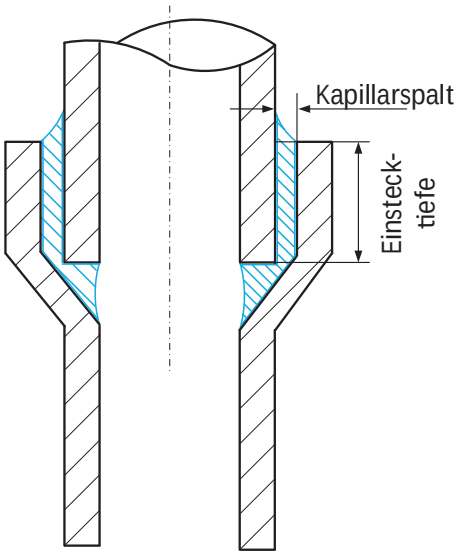


Abbildung 4.8 Hartlötverbindung bei Kupferrohr

Tabelle 4.1 Normgerechte Kapillarspaltbreite und Einstecktiefe bei Hartlötverbindungen nach DIN EN 14276

Rohrdurchmesser	Kapillarspaltbreite in mm	min. Einstecktiefe in mm
bis 8	0,05–0,35	6
bis 12	0,05–0,35	7
bis 16	0,05–0,45	8
bis 25	0,05–0,45	10
bis 35	0,05–0,55	12
bis 45	0,05–0,55	14

Die vorgegebenen Maße gelten für alle Hartlöt-Verbindungsstellen; nach Norm gefertigte Fittinge erfüllen diese Vorgaben. Für Abzweige bzw. T-Stücke kann auch eine kaltgezogene Aushalsung von Hand mit den notwendigen Abmessungen gefertigt werden.



Abbildung 4.9 Herstellung von Abzweigen (Werkbild: Rothenberger Werkzeuge GmbH)

Das Hartlöten sollte stets unter Schutzgas oder einem anderen Formiergas stattfinden. Wird ohne Schutzgas gelötet, so entsteht in der Nähe der Lötstelle an den Innenwänden der Rohre Zunder

(Kupferoxid). Anders als bei den vormals verwendeten Kältemaschinen-Mineralölen lösen die synthetischen POE-Öle diese Oxidschichten ab. Daher ist in der DIN EN 12735 für Kupferrohre die werkseitige Entfernung der Oxidschicht und eine entsprechende innere Reinheit vorgeschrieben. Eine nachträgliche Reinigung der Rohre von innen ist in der Praxis nahezu unmöglich. In der Anlage verbleibender Zunder führt zu möglichen Lagerschäden im Verdichter, da sich der Zunder sehr fein zerreiben kann und so bis in die Lager des Verdichters vordringt. Es wird daher dringend empfohlen, beim Löten Schutzgas zu verwenden.

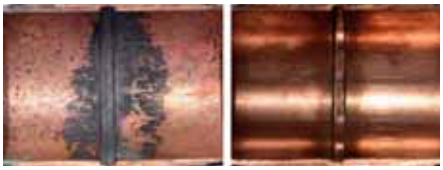


Abbildung 4.10 Vergleich Löten ohne Schutzgas (links) und mit Schutzgas (rechts) (Werkbild: Messer SE & Co. KGaA)

Schutz gegen Zunderbildung bietet bereits die Verwendung von Stickstoff der Qualität „technisch rein“, das beim Löten die Rohre füllt und Luft und damit den Sauerstoff verdrängt. Der/die Monteur/in muss dafür sorgen, dass Rohrleitungsabschnitte zum Löten entsprechend vorbereitet sind. Auch wenn die Rohre beim Löten an irgendeiner Stelle noch offen sind, müssen die zu bearbeitenden Rohre ständig von Stickstoff durchströmt werden. Eine geringfügige Stickstoffströmung reicht aber aus, sodass sich auch der Stickstoffverbrauch in Grenzen hält.

Effektiver ist die Verwendung von Formiergas (Stickstoff-/Wasserstoffgemisch, Wasserstoffanteil 5−10 %). Hierbei wird mithilfe des Wasserstoffs entstandenes Kupferoxid wieder zu metallischem Kupfer reduziert. Voraussetzung ist, dass Rohre und Fittings aus sauerstofffreiem Kupfer (DHP) hergestellt sind.

Kupfer-Kupfer-Verbindungen aus DHP-Kupfer können mit einem Silfos-Lot hartgelötet werden. Die Silfos-Lote enthalten als Flussmittel für reine Kupfer-Kupfer-Verbindung ca. 6 % Phosphor. Der Silberanteil bei diesen Loten reicht von 0−15 %.

Tabelle 4.2 Normgerechte Bezeichnung von Kupferhartloten

	Bezeichnung DIN EN 1044 (alt)	**Bezeichnung DIN EN ISO 17672**	**Bezeichnung DIN EN ISO 3677**	**Silberanteil**	**Arbeitstemperatur in °C**
Silfos 94	CP 203	CuP 179	B-Cu94P-710/890	0 %	760
Silfos 2	CP 105	CuP 279	B-Cu92PAg-645/825	2 %	740
Silfos 5	CP 104	CuP 281	B-Cu89PAg-645/815	5 %	710
Silfos 15	CP 102	CuP 284	B-Cu80AgP-645/800	15 %	700

Bei ungleicher Werkstoffpaarung, z. B. Messingbuchse – Kupferrohr, Stahl – Kupfer usw. kann kein Silfos-Lot mehr eingesetzt werden. In diesem Fall verwendet man Silberlote. Silberlote haben einen Silberanteil über 30 % und können damit die Verbindung der einzelnen Komponenten herstellen. Zusätzlich muss man allerdings ein Flussmittel einsetzen. Für die Verwendung in der Kältetechnik werden mit Flussmittel ummantelte Lote oder blanke Lotdrähte mit zusätzlichem Flussmittel angeboten. Da ummantelten Lote sehr kostspielig sind, sollte man diese nur gezielt

einsetzen. Für gelegentliche Lötarbeiten kann man ummanteltes Lot gut verwenden, bei häufigem Einsatz oder in der Serienfertigung ist der blanke Lötdraht bedeutend billiger. Das Flussmittel, welches hierbei extra aufgetragen wird, ist ein sehr geringer Kostenfaktor.

Tabelle 4.3 Normgerechte Bezeichnung von Silberhartloten

Bezeichnung DIN EN 1044 (alt)	Bezeichnung DIN EN ISO 17672	Bezeichnung DIN EN ISO 3677	Silberanteil	Arbeitstemperatur in °C
AG 104	AG 145	B-Ag45CuZnSn-640/680	45 %	670
AG 103	AG 155	B-Ag55ZnCuSn-630/660	55 %	650

Die inhaltliche Zusammensetzung (in %) einiger in der Praxis verwendeter Hartlote ist in der Tabelle 4.4 abzulesen.

Tabelle 4.4 Prozentuale Zusammensetzung verschiedener Hartlote

Hartlot	Cu (Kupfer)	Ag (Silber)	Zn (Zink)	Sn (Zinn)	P (Phosphor)
CP 104	89	5	–	–	6
CP 102	79	15	–	–	6
AG 104	27	45	25,5	2,5	–
AG 103	21	55	22	2	–

Warnhinweis: Im Markt gibt es noch Silberlote, die Kadmium (Cd) enthalten. Kadmium-haltige Lote sind seit dem 01.01.2012 allerdings verboten und dürfen nicht mehr eingesetzt werden. Überschreitet man beim Löten die Arbeitstemperatur, verbrennt das Kadmium und bildet toxische bzw. krebserregende Gase.

Die Verarbeitung von Silberhartloten erfolgt immer mit Flussmitteln. Nach dem Lötvorgang ist das verbliebene Flussmittel zu entfernen, da es mit der Feuchtigkeit der Umgebung reagiert. Es entsteht eine Säure, welche das Kupferoxid (natürliche Patina = Schutzschicht) zerstört und Grünspan als Korrosion begünstigt. Grünspan zersetzt das Kupferrohr und führt langfristig zu Lochfraß und Undichtigkeiten.



Abbildung 4.11 Flussmittel zum Auftragen



Abbildung 4.12 Mit Flussmittel ummanteltes Silberhartlot

Flussmittel zum Silberlöten für den Temperaturbereich 500–800 °C haben die Bezeichnung FH 10 und sind als Paste oder Pulver zum Anrühren im Fachhandel erhältlich (Abbildung 4.11). Das eigene Auftragen führt im Gegensatz zur Verwendung von Flussmittel ummantelten Lot (Abbildung 4.12) zu einer besseren Dosierung und einem geringeren Putzaufwand.

4.1.1.5 Herstellung von Bördelverbindungen

Nach DIN EN 378 sind lösbare Verbindungen, wie das Bördeln (siehe Abbildung 4.16), zu vermeiden, solange es keinen technischen Grund gibt. Die Norm macht außerdem noch Vorgaben, wie Bördelverbindungen zu fertigen sind:

- Bördelverbindungen sind beschränkt auf vom Hersteller weichgeglühtes Kupferrohr DIN EN 12735 der Festigkeitsklasse R220 bis zu einem maximalen Außendurchmesser von 20 mm (die Bördelherstellung bedeutet eine Kaltumformung des Kupferrohrs).
- Die Rohre müssen rechtwinklige Enden haben und entgratet sein.
- Bördelverbindungen an Abschnitten, die einfrieren können oder Schwingungen ausgesetzt sind, müssen mit entsprechenden Gegenmaßnahmen vor Schaden bewahrt werden.
- Bei Bördelverbindungen mit Kupferrohr gelten die in der Tabelle 4.5 angegebenen Drehmomente, um die Bördelmutter festzuziehen.



Abbildung 4.13 Drehmomentschlüssel für Bördelverbinder (Werkbild: Rothenberger Werkzeuge GmbH)

Durch Kaltumformung entsteht ein kegel- bzw. trichterförmiges Rohrende. Bei der Herstellung des Bördels sollte zum Reduzieren der Reibung zwischen Bördelwerkzeug und Kupferrohr ein wenig Kältemaschinenöl aufgetragen werden; das ausreichende Entgraten wird vorausgesetzt. Beim Bördeln ist nicht zu vergessen, die Überwurfmutter vorher überzustreifen. Ist der Bördel zu groß geraten, sodass die Überwurfmutter nicht darüber passt, ist es besser, einen neuen Bördel zu fertigen als den zu großen abzufeilen (1. Material am Bördel zu dünn, 2. Späne, 3. Aufwand). Zur Größe eines Bördels gibt Tabelle 4.5 eine Orientierung.

Möchte man die Länge eines Rohrabschnitts berechnen, wird ein Zumaß von 1,5 mm je Bördel aufaddiert, da sich das Rohrstück durch das Aufdornen jeweils um ca. 1,5 mm verkürzt. Beim finalen Einbau sollte der Bördel außen wie innen mit Kältemaschinenöl benetzt werden.

Das gebördelte Kupferrohr dient als metallische Dichtung bei dieser Verbindungstechnik. Metallische Dichtungen sind nur einmal zu benutzen. Daher muss man Bördel, nachdem sie einmalig angezogen waren, abschneiden und erneuern. Ein/e gute/r Monteur/in achtet daher bei einer Neuinstallation auf eine ausreichende Kupferrohrzugabe, damit am Rohranschluss für Bauteile, die

eventuell bei Wartungen gewechselt werden (z. B. Filtertrockner in der Flüssigkeitsleitung), noch genügend Material für einen neuen Bördel vorhanden ist.



Abbildung 4.14 Handbördelgerät (Werkbild: Christof Fischer GmbH)



Abbildung 4.15 Bördelglocke

Tabelle 4.5 Abmessungen und Anziehmomente von Bördelverbindungen

Außendurchmesser		Anschlussgewinde UNF	Außendurchmesser des Bördels in mm	Mindestwanddicke in mm	Anziehdrehmoment in Nm
metrisch	zöllig				
6		7/16´´	9–9,9	0,80	14–18
	1/4	7/16´´	9–9,9	0,80	14–18
10		5/8´´	13–14,5	0,80	33–42
	3/8	5/8´´	13–14,5	0,80	33–42
12		3/4´´	15–17,5	0,80	50–62
	1/2	3/4´´	15–17,5	0,80	50–62
15		7/8´´	19–20,3	0,80	63–77
	5/8	7/8´´	19–20,3	0,95	63–77
18		1 1/16´´	24–25,1	1,00	90–110
	3/4	1 1/16´´	24–25,1	1,15	90–110



Abbildung 4.16 Bördelverbindung mit Verbindungsnippel (5/8 UNF × 10 mm)