

Lötfehler im Technologieunterricht

Dieter Schmidt, Springe

Löten ist gemäß DIN 8505 ein „Verfahren zum Verbinden metallischer Werkstoffe mit Hilfe eines geschmolzenen Zusatzmetalles (Lotes), gegebenenfalls unter Anwendung von Flussmitteln und/oder Löt-Schutzgasen. Die Schmelztemperatur des Lotes liegt unterhalb derjenigen der zu verbindenden Grundwerkstoffe; diese werden benetzt, ohne geschmolzen zu werden.“ Nach der Arbeitstemperatur (AT) wird zwischen Weich- (AT < 450 °C), Hart- (450 °C < AT < 900 °C) und Hochtemperaturlöten (AT > 900 °C) unterschieden.

In der Praxis des Kälteanlagenbauers spielt das Fügeverfahren Hartlöten eine hervorragende Rolle. Als so genannte nichtlösbare, stoffschlüssige Verbindung garantiert eine fachgerechte Hartlötverbindung eine hohe Dichtheit, Festigkeit und Wärmebeständigkeit, was durch Felduntersuchungen des ILK Dresden bestätigt wurde¹. Die Zeiten, als es noch hieß,

„Kinder betet, Vater lötet“, sind also längst vorbei.

Die Bedeutung des Hartlöten wird auch durch DIN EN 378-2 unterstrichen: Die Norm empfiehlt für Verbindungen Kältemittel führender Rohre nichtlösbare Verbindungen, schreibt hierzu Schweißen oder Hartlöten vor bzw. verbietet dafür ausdrücklich Weichlöten. Dies ist nur noch

zum Autor

Dieter Schmidt,
Studiendirektor
an den Berufsbil-
denden Schulen
Springe



im wasserseitigen Bereich von Kälteanlagen zulässig.

Hartlöten wird deshalb nicht nur im ersten überbetrieblichen Lehrgang („Biegen, Bördeln, Löten“), sondern auch im Fachunterricht der Berufsschule intensiv behandelt. An den Berufsbildenden Schulen Springe wird dazu nach einer Erarbeitung der wesentlichen Merkmale des Löten bzw. Hartlöten auch eine Unterrichtseinheit über Lötfehler durchgeführt, die hier in ihrem Kontext vorgestellt werden soll.

Löten Kältemittel führender Leitungen

Beim Löten Kältemittel führender Leitungen ist auf besondere Sauberkeit zu achten. Keinesfalls dürfen Fremdstoffe wie Späne, Zunder, Flussmittel oder Feuchtigkeit ins Rohrinne gelangen. Späne und Zunder könnten den Ringdüsenspalt des Expansionsventils blockieren. Flussmittel und Feuchtigkeit führen im Kältemittelkreislauf auf Dauer zur Bildung aggressiver Säuren, die beispielsweise die Wicklungen des Elektromotors angreifen oder Kupferplattierung bewirken. Zur Vermeidung von Zunderbildung im Rohrinne werden Kältemittel führende Leitungen

Lot	Zugfestigkeit [N/mm ²]	Naht	Arbeitstemperatur [°C]	Einsatzgrenzen	
				t _{min} [°C]	t _{max} [°C]
L - Cu P 6	250	Spalt	ca. 760	- 20	+ 150
L - Ag 2 P	250	Spalt und Fuge	ca. 740	- 20	+ 150
L - Ag 5 P	250		ca. 710	- 40	+ 150
L - Ag 15 P	250	Spalt	ca. 700	- 70	+ 150
L - Ag 18 P	250	Spalt	ca. 650	- 70	+ 150
Bei Cu/Cu kein Flussmittel erforderlich, Phosphor verhindert Oxidation; Cu-Legierungen (Messing, Rotguss) erfordern zusätzliches Flussmittel; nicht für Stahl geeignet (spröde).					
L - Ag 44	bis 480 an Stahl	Spalt	ca. 730	- 200	+ 300
L - Ag 34 Sn	bis 480 an Stahl	Spalt	ca. 710	- 200	+ 200
L - Ag 40 Sn	bis 430 an Stahl		ca. 690	- 200	+ 200
L - Ag 45 Sn	bis 430 an Stahl		ca. 670	- 200	+ 200
L - Ag 55 Sn	bis 430 an Stahl		ca. 650	- 200	+ 200
Mit Flussmittel zu löten: Cu/Cu, Cu/Cu-Legierungen, Cu/Stahl. Steigender Silberanteil senkt AT (Vorteil), aber Silber ist teuer.					
L - Sn Ag 5	44	Spalt	ca. 240	- 200	+ 110
L - Sn Sb 5	54		ca. 240	- 200	+ 110
Weichlöten für Kältemittelleitungen lt. EN 378 verboten.					
Lote für die Kältetechnik und ihre Einsatzbereiche					

Tabelle 1 Innerhalb der Kältetechnik gebräuchliche Lote und ihre jeweiligen Einsatzbereiche

¹ Institut für Luft- und Kältetechnik, Dresden, „Dichtheit von Kälteanlagen“, 2000. Dort heißt es: „Positiv zu vermerken ist die gute Qualität der Hartlötverbindungen!“

deshalb grundsätzlich unter Verwendung Schutzgas gelötet, indem man z.B. beim Löten trockenen Stickstoff unter leichtem Überdruck durch das zu lötende Rohr strömen lässt.

Zu beachten ist auch, dass manche Lote für tiefe Temperaturen nicht zugelassen sind. Je nach Einsatztemperatur ist also ein geeignetes Lot auszuwählen.

Tabelle 1 zeigt eine Auswahl der wesentlichen in der Kältetechnik gebräuchlichen Lote und ihre Einsatzbereiche. Diese Tabelle haben die Schüler in der Erarbeitungsphase als Arbeitsblatt erhalten.

Voraussetzungen beim Löten

Charakteristisch für das Löten ist die Tatsache, dass der Grundwerkstoff nicht geschmolzen wird. Die metallisch feste Verbindung kommt vielmehr durch ein Eindiffundieren des Lotes in die Oberfläche des Grundwerkstoffs zustande, so dass sich hier eine Legierung aus Lot und Grundmetall bildet. Voraussetzungen dafür sind

1. die Entfernung der auf Metalloberflächen stets vorhandenen Oxidschicht
2. die geeignete Werkstoffpaarung (Lot – Grundwerkstoffe)
3. das Einhalten der Arbeitstemperatur
4. das Einhalten des richtigen Lötspalts

1. Oxidschicht

Die zu verbindenden Teile müssen vor der Lötung metallisch rein gemacht werden. Während des Lötvorgangs sorgt meist ein Flussmittel für eine gute Benetzung des Lotes, indem es die restliche Oxidschicht entfernt, weitere Oxidation verhindert und das Fließen erleichtert. Bei Flussmittelmangel benetzt das Lot unvollständig, wodurch je nach Ausmaß Festigkeits- und/oder Dichtheitsprobleme verursacht werden. Bei Flussmittelüberschuss besteht die Gefahr, dass es in das Rohrinne gelangt und dort im Betrieb der Anlage mit dem Kältemittel chemisch reagiert – Korrosion.

2. Werkstoffpaarung

Nicht alle Lote sind für jeden Werkstoff geeignet. So sind in der Kältetechnik phosphorhaltige Lote wie L - Cu P6, L - Ag 2P, L - Ag 5P usw. beliebt, denn sie können für

Kupfer ohne Flussmittel verarbeitet werden, weil der enthaltene Phosphor (5–7%) die Oxidation des Grundwerkstoffs verhindert. Zugleich sind sie wegen des ggf. geringen Silbergehalts nicht so teuer. Zu beachten ist aber, dass eben wegen dieses Phosphorgehalts eine Lötung von Stahl nicht in Frage kommt. Hier bildet sich sprödes Eisenphosphid. Kupferlegierungen (Messing, Rotguss) erfordern außerdem ein zusätzliches Flussmittel.

3. Arbeitstemperatur

Unter der Arbeitstemperatur ist diejenige Temperatur zu verstehen, bei der das Lot sich ausbreiten, benetzen und mit dem Grundwerkstoff verbinden kann. Bei Unterschreiten dieser Temperatur kommt es nicht zur oben beschriebenen Legierungsbildung, es entsteht eine minderwertige so genannte Klebnaht, bei der das Lot nicht in den Lötspalt eingeschossen ist. Beim Überschreiten „verbrennt“ das Lot und das Flussmittel wird unwirksam. Das Lot ändert seine Zusammensetzung, weil Legierungsbestandteile bereits oxidieren. Dadurch kann das Lot nicht mehr gut fließen und binden, die Verbindung wird minderwertig.

Außerdem mindert die Erwärmung beim Hartlöten die Festigkeit des kalt gezogenen Rohrs aus Kupfer. Dieser Effekt wird in der Fachliteratur beschrieben und wurde durch Zugversuche von Lötproben an den BBS Springe nachgewiesen (siehe KK 8/2000).

4. Lötspalt

Die in der Kältetechnik übliche Verbindung von Rohrleitungen durch Fittings gewährleistet automatisch einen richtigen Lötspalt, in den das Lot durch Kapillarwirkung hineingezogen wird. Die Einhaltung bestimmter Lötspaltwerte ist dabei maßgeblich für die Qualität der Lötung, denn ein zu enger Spalt lässt das Lot nicht einfließen, ein zu weiter hat eine zu geringe Kapillarwirkung.

Mögliche Lötfehler

Aus der vorangehenden Darstellung des Problembereichs ergibt sich, dass folgende Lötfehler für eine Betrachtung in Frage kommen:

1. Nichtentfernen der Oxidschicht
2. Flussmittelmangel, -überschuss
3. Falsche Werkstoffpaarung (Lot - Grundwerkstoffe)
4. Nichteinhalten der Arbeitstemperatur
5. Nichteinhalten der Spaltbreite
6. Löten ohne Schutzgas
7. Ungeeignetes Lot (Einsatzgrenze)

Die Folgen des Lötens ohne Schutzgas (6) bzw. des Einsatzes eines ungeeigneten Lotes (7) sind eher langfristiger Natur und schwer darstellbar. Wie es im mit/ohne Schutzgas gelöteten Rohr aussieht, wurde zudem schon im vorangegangenen Unterricht gezeigt. Das Nichteinhalten der Spaltbreite (5) kommt in der Praxis der Fittinglötung praktisch nicht vor. Auch das Nichtentfernen der Oxidschicht (1) ist wegen der aggressiven Flussmittel kaum in seinen Auswirkungen erkennbar. Aus den genannten Gründen werden in dieser Unterrichtsstunde Lötfehler der Kategorie 2-4 behandelt.

Die Unterrichtsstunde „Lötfehler“

In den vorangegangenen Stunden wurde das theoretische Grundlagenwissen zum Löten erworben. Nun geht es darum, dieses Wissen anzuwenden und zu vertiefen, indem Lötfehler beurteilt werden.

Zum Einstieg in die Thematik wird das Foto einer fehlerhaften Lötung gezeigt (Bild 1). Im Unterrichtsgespräch werden Werkstoffpaarung, Lot und Schadensbild erarbeitet. Danach steht das Thema der Stunde fest: Lötfehler.

Für die anschließende Gruppenarbeitsphase werden vorbereitete Lötproben verteilt, die mit folgenden Fragen untersucht werden:



Bild 1 Cu/Cu mit Weichlot; das Schadensbild deutet auf Überhitzung hin

Nr.	Werkstoffe / Lot	Schaden / Kommentar	Foto
1	Cu / Cu L - Ag 34 Sn	Lötnaht ohne Flussmittel. Lötung sieht äußerlich fast einwandfrei aus. Im demontierten Zustand erkennt man, dass das Lot nicht in den Lötspalt eingeschossen ist.	
2	Cu / Cu L - Ag 34 Sn	Lötnaht mit zu viel Flussmittel (nämlich auf das Rohr und der Innenseite des Fittings aufgetragen). Beim Einstecken des Rohrs wird überschüssiges Flussmittel ins Rohr gedrückt und bildet dort beim Erwärmen eine Deckschicht.	
5	Cu / Cu Zn Sn L - Cu P 6	Lot füllt den Lötspalt sehr unvollständig. Phosphor-haltiges Lot erfordert bei Kupferlegierungen (hier Rotguss) ein Flussmittel, was hier weggelassen wurde.	
8	Cu Zn / Stahl L - Ag 18 P	Messingschraube auf Stahlblech, mit phosphorhaltigem Lot befestigt, bricht bei geringer Belastung wieder ab. Lötnaht ohne Festigkeit, weil sich sprödes Eisenphosphid gebildet hat – ungeeignetes Lot.	

Tabelle 2 Fehlerhafte Lötproben und ihre Ursachen

1. Welche Werkstoffe wurden miteinander verbunden?
2. Welches Lot wurde verwendet?
3. Beschreiben Sie das Schadensbild möglichst exakt (Fachbegriffe)! Folgen?
4. Welche Ursachen kommen für die Schadhafteit der Lötprobe in Frage?
5. Wie lässt sich der Lötfehler vermeiden?

In der folgenden Präsentationsphase werden die Ergebnisse der Untersuchungen vorgetragen und ggf. von anderen Schülern oder dem Lehrer berichtigt. Dabei wird jeweils ein Foto der Lötproben mittels Laptop und Beamer eingeblendet. Die ggf. korrigierten Gruppenarbeitsblätter werden gesammelt und für alle sichtbar im Klassenraum aufgehängt. Anschließend wird der Einstiegsfall wieder aufgegriffen und die Ursache ermittelt: Das Schadensbild deutet auf Überhitzung hin.

Zum Abschluss werden die wesentlichen Ergebnisse von den Schülern in Form

eines Lückentextes auf einem vorbereiteten Arbeitsblatt dokumentiert. Je nach Zeitbedarf kann dies auch in der nächsten Unterrichtsstunde erfolgen.

Für die Gruppenarbeit wurden in der Werkstatt der BBS Springe insgesamt neun fehlerhafte Lötproben hergestellt. Tabelle 2 zeigt eine Auswahl.

Zusammenfassung

An den BBS Springe werden die Auszubildenden im Rahmen des Theorieunterrichts zum Thema Löten mit fehlerhaften Lötproben konfrontiert, bei deren Untersuchung sie ihr bisher erworbenes Wissen anwenden, um die Ursachen der Lötfehler und mögliche Abhilfemaßnahmen zu ermitteln. Dadurch soll das Verständnis der Schüler für die Zusammenhänge beim Löten und zugleich ihr Qualitätsbewusstsein als künftige Kälteanlagenbauer gefördert werden. ■