

# Zugfestigkeit von Hart- und Weich-Lötungen im Technologieunterricht

Dieter Schmidt, Springe

## zum Autor

**Dieter Schmidt,**  
Oberstudienrat –  
Fachbereich  
Kältetechnik  
an den Berufs-  
bildenden Schu-  
len Springe



Löten ist nach DIN 8505 ein „Verfahren zum Verbinden metallischer Werkstoffe mit Hilfe eines geschmolzenen Zusatzmetalles (Lotes), gegebenenfalls unter Anwendung von Flußmittel und/oder Löt-Schutzgasen. Die Schmelztemperatur des Lotes liegt unterhalb derjenigen der zu verbindenden Werkstoffe.“ Nach der Arbeitstemperatur (AT) wird dabei zwischen Weichlöten ( $t < 450\text{ °C}$ ) und Hartlöten ( $t > 450\text{ °C}$ ) unterschieden.

Im Kälteanlagenbauerhandwerk hat das Löten zum Verbinden der häufig verwendeten Kupferrohrleitungen immer schon eine große Rolle gespielt. So ist ihm denn auch in der DIN 8975 Teil 6 (Kälteanlagen – Sicherheitstechnische Grundsätze für Gestaltung, Ausrüstung und Aufstellung) ein eigener Abschnitt gewidmet, in dem es u. a. heißt: „Bei Medientemperaturen unter  $-10\text{ °C}$  ist hart zu löten, es sei denn, es werden geeignete Zinn-Antimon-Weichlote benutzt. Bei (...) Kältemitteldruckleitungen sollte hartgelötet (...) werden.“

Die Bedeutung des Lötens ist aber unter Umweltschutzaspekten (Minimierung der Kältemittellemission durch Leckage) sogar noch gewachsen, weil es als unlös-



Bild 1 Die vorbereiteten Lötproben

bare Verbindung bei fachgerechter Ausführung in der Praxis bessere Dichtheit gewährleistet als z. B. die Bördelverschraubung. In diesem Zusammenhang sei auf die Untersuchung „Dichtheit von Kälteanlagen“ des ILK Dresden verwiesen, die ein häufiges Auftreten undichter Bördelverbindungen konstatiert und gleichzeitig feststellt: „Positiv zu vermerken ist die gute Qualität der Hartlötverbindungen. Von den geprüften Lötstellen waren nur 0,15 % undicht.“

Gründe genug, sich während der Ausbildung ausführlich mit dem Thema Löten auseinanderzusetzen. An den Berufsbildenden Schulen Springe werden die Auszubildenden der Fachklassen des Kälteanlagenbauerhandwerks in der Grundstufe deswegen neben dem Theorieunterricht auch durch praktische Demonstrationen mit der Problematik vertraut gemacht.

Hierzu dient u. a. ein Zugversuch, bei dem verschiedene in der Werkstatt erstellte Lötverbindungen (Cu-Rohr, Fittinglötung mit Weich- und Hartlot, Bild 1) und zum Vergleich ein ungelötetes Rohrstück in der Zerreißmaschine bis zum Bruch belastet werden.

Die dabei auftretenden Bruchkräfte geben nicht nur Aufschluß über die Festigkeit der verwendeten Lötverbindungen, sondern sensibilisieren die Schüler gleichzeitig für die Eigenschaften des für sie so wichtigen Werkstoffes Kupfer. Fragt man nämlich die Schüler mit Hinweis auf die oben zitierte Norm, warum für die Druckleitung wohl Hartlöten empfohlen wird, fällt ihnen zunächst ein, dies müsse wohl mit der höheren Festigkeit zusammenhängen. Wenn dann im Zugversuch die weichgelötete Probe mit höheren Festigkeitswerten aufwarten kann, ist die Verblüffung groß. Typische dabei ermittelte Werte für die maximale Zugkraft  $F_{\max}$  bei Cu-Rohr  $15 \times 1$  zeigt Tabelle 1.

Erst wenn man das Augenmerk der Schüler auf die genaue Lage der Bruchstelle (Bild 2) lenkt, kommen sie zu tieferen Erkenntnissen.

Versuchsreihe 1: Zugversuch von Fittinglötungen bei Raumtemperatur					
Lot	L-Ag 55 Sn	L-Sn Ag 5	L-Ag 2P	L-Ag 18P	ungelötetes Rohr
AT [°C]	650	240	710	650	–
$F_{\max}$ [N]	9300	15 000	9700	9200	15 000
Lage des Bruches	neben Fitting	neben Einspannung	neben Fitting	neben Fitting	neben Einspannung

Tabelle 1



Bild 2 Lötproben nach dem Zugversuch bei Raumtemperatur: Die Hartlötungen brechen neben dem Fitting (Lötstelle), die Weichlötung an der Einspannstelle

Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefaßt werden:

1. Die Fittinglötung selbst hält dem Zugversuch in jedem Fall (Weich- oder Hartlötung) stand.
2. Die Hartlötproben brechen in der Nähe des Fittings.
3. Die Weichlötprobe und das ungelötete Rohr brechen in der Nähe der Einspannstelle.

Erklärung: Die beim Hartlöten relativ hohe Arbeitstemperatur von ca. 700 °C schwächt den Grundwerkstoff (das Rohr hatte bei seiner Herstellung durch Kaltumformung an Festigkeit gewonnen, die durch Rekristallisationsglühen rückgängig gemacht wird). Die Festigkeit der verwendeten Hartlote ist in jedem Fall höher als die des geglühten Kupfers. Beim Weichlöten ist diese Schwächung offensichtlich geringer bzw. gar nicht feststellbar. Die Lage der Bruchstelle ist hier durch die Schwächung des Werkstoffes beim vorangegangenen starken Verformen zum Erzeugen der Einspannstelle (Rohr im Schraubstock flach gedrückt) zu erklären.

Warum wird nun in DIN 8975 für die Druckleitung Hartlöten empfohlen? Diese Eingangsfrage ist durch die erste Versuchsreihe noch nicht geklärt worden.

Festigkeitsgründe können offensichtlich kaum eine Rolle spielen. Die Schüler vermuten jetzt, daß vielleicht die durchweg höhere Temperatur auf der Druckseite dafür ausschlaggebend ist.

Zur Klärung dieser Frage werden die Zugproben in einer zweiten Versuchsreihe erneut durchgeführt, diesmal mit höherer Temperatur. Dazu werden die Lötproben in einem Anlaßofen auf 150 °C erwärmt und in heißem Zustand zerrissen. Zum Untermauern der nach Versuchsreihe 1 gefundenen Erklärung für die Schwächung der Hartlötproben allein durch das Glühen wird diesmal außerdem ein ungelötetes, aber in der Mitte vorübergehend auf etwa Löttemperatur erwärmtes Rohrstück genommen. Typische dabei ermittelte Werte für die maximale Zugkraft  $F_{max}$  zeigt Tabelle 2.

Die Ergebnisse der zweiten Versuchsreihe bestätigen zunächst einmal die von den Schülern geäußerte Vermutung, daß die Hartlötungen bei höheren Temperatur-

4). Die Hartlötungen brechen nach wie vor in der Nähe des Fittings, allerdings bei noch einmal deutlich geringeren Kräften als bei Raumtemperatur.

Außerdem zeigt die Probe mit dem geglühten Rohr die Herabsetzung der Festigkeit durch das Glühen. Das geglühte Rohrstück bricht nämlich genau an der Stelle der stärksten Erwärmung (Bild 5). Daß im vorliegenden Fall die Festigkeitsminderung nicht so stark war wie bei den Hartlötproben in der ersten Versuchsreihe, kann auf eine geringere Temperatur und kürzere Erwärmungsdauer zurückgeführt werden.

Die Versuche zeigen darüber hinaus, daß der Einsatz der hochsilberhaltigen (und damit besonders teuren) Lote hier zu keinem meßbaren Festigkeitsvorteil geführt hat, wie es die mit 650 °C geringere Arbeitstemperatur von L-Ag 55 Sn und L-Ag 18 P erwarten ließe. Offensichtlich ist dieser Temperaturvorteil unter Werkstattbedingungen nicht ohne weiteres zu nut-

Versuchsreihe 2: Zugversuch von Fittinglötungen bei 150 °C (geglühtes Rohr bei 20 °C)					
Lot	L-Ag 55 Sn	L-Sn Ag 5	L-Ag 2P	L-Ag 18P	geglühtes Rohr
AT [ °C]	650	240	710	650	-
$F_{max}$ [N]	8000	6000	7900	7300	10 000
Lage des Bruches	neben Fitting	Lötung!	neben Fitting	neben Fitting	an der Glühstelle!

Tabelle 2

ren fester sind als die Weichlötung. Diese weist jetzt die geringste Festigkeit auf und es kommt zur Zerstörung der Lötung, indem eines der Rohrteile sauber aus dem Fitting herausgezogen wird (Bilder 3 und



Bild 3 Die Lötproben nach dem Zugversuch bei ca. 150 °C: Bei der Weichlötung wird das Rohr aus dem Fitting gezogen

zen, so daß die Verwendung der preiswerteren Lote unter diesem Aspekt gerechtfertigt erscheint. Allerdings ist zu beachten, daß phosphorhaltige Lote nicht für die Lötung von Stahl geeignet sind und sich die Einsatzgrenzen der verschiedenen Lote sowohl nach oben wie nach unten erheblich unterscheiden. Die Tabelle 3 zeigt die vom Verfasser zusammengetragenen Werte im Überblick.

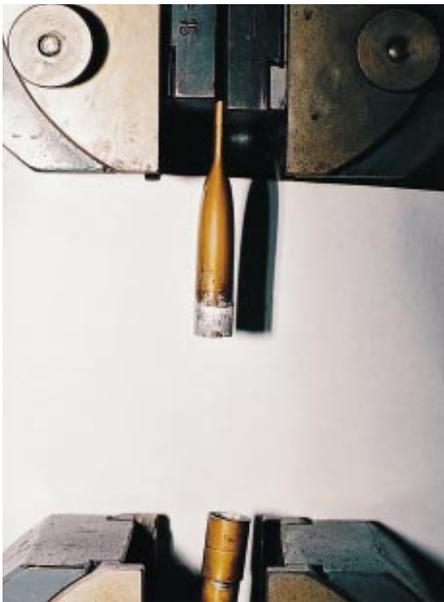


Bild 4 Noch in den Spannbacken: Die Weichlötprobe nach dem Zugversuch bei ca. 150 °C



Bild 5 Das unbehandelte Rohr bricht an der Einspannstelle (15 000 N), das geglüht an der Glühstelle (10 000 N). Deutlich erkennt man die mit der verminderten Festigkeit einhergehende Zunahme der Bruchdehnung

### Zusammenfassung

An den Berufsbildenden Schulen Springe werden den Auszubildenden durch Zugversuche mit in eigener Werkstatt erstellten Fittinglötungen wesentliche Eigenschaften des Kupfers sowie der Weich- und Hartlote veranschaulicht:

- Geglühtes Kupferrohr verliert gegenüber ungeglühtem an Festigkeit.
- Bei Raumtemperatur sind Weich- und Hartlote fester als der Grundwerkstoff.
- Bei ca. 150 °C bricht die Weichlötung eher als der Grundwerkstoff, die Hartlötungen sind nach wie vor fester als der Grundwerkstoff.
- Die Festigkeit des hartgelöteten Rohrs ist bei 150 °C geringer als bei Raumtemperatur.
- Auch durch starke mechanische Verformung kann eine Festigkeitsminderung erfolgen.

Die so vermittelten Erkenntnisse bilden eine gute theoretische Grundlage für den fachgerechten Umgang mit Kupfer und Lötungen in der Praxis des Kälteanlagenbauers. □

**www.cc-vertrieb.de**  
 Ersatzteile / SPARE PARTS  
 CARRIER / TRANE / YORK / CHRYSLER  
 REFCOM - WORTHINGTON  
 AIRTEMP / WESTINGHOUSE  
 DUNHAM - BUSH / VILTER  
**info@cc-vertrieb.de**

Lote für die KT und ihr Einsatzbereiche	Arbeitstemperatur [°C]	Einsatzgrenzen	
		t <sub>min</sub> [°C]	t <sub>max</sub> [°C]
<i>Phosphorhaltige Silberhartlote:</i>			
L-Ag 2P	ca. 710	-20	+150
L-Ag 5P	ca. 710	-40	+150
L-Ag 15P	ca. 710	-70	+150
<i>Cu ohne Flußmittel zu löten, Phosphor verhindert Oxidation; nicht für Stahl geeignet (spröde)</i>			
<i>Hochsilberhaltige Hartlote:</i>			
L-Ag 34 Sn	ca. 710	-200	+200
L-Ag 40 Sn	ca. 690	-200	+200
L-Ag 45 Sn	ca. 670	-200	+200
L-Ag 55 Sn	ca. 650	-200	+200
<i>Weichlote:</i>			
L-Sn Ag 5	ca. 240	-200	+100
L-Sn Sb 5	ca. 240	-200	+100
<i>Weichlöten für Druckleitungen nicht empfohlen</i>			

Tabelle 3