

# Auswahlregeln für Lote und Flussmittel



## 1. Einführung

Schweißzusätze sind fast immer werkstoffspezifisch, d.h. sie werden in erster Linie nach der Zusammensetzung der zu verschweißenden Grundwerkstoffe ausgewählt. Sie sind meist gleich oder ähnlich zusammengesetzt wie die Grundwerkstoffe.

Lote sind dagegen nur in Ausnahmefällen werkstoffspezifisch. Im Regelfall kann das gleiche Lot für verschiedene Grundwerkstoffe eingesetzt werden.

Für die Lotauswahl sind daher mehrere Kriterien bestimmend:

- Art und Behandlungszustand der Grundwerkstoffe
- Abmessungen und Herstelltoleranzen der Werkstücke
- die zur Durchführung der Lötarbeiten verfügbaren Betriebseinrichtungen
- die an den Verbindungsstellen auftretenden Belastungen (Größe, Richtung, Art)
- Betriebstemperatur
- Betriebsdruck
- die an den Lötverbindungen angreifenden Medien
- Weiterverarbeitung der Werkstücke
- eventuell vorhandene Regeln der Technik
- Arbeitssicherheit
- wirtschaftliche Fertigung

## 2. Auswahlkriterien und daraus abgeleitete Auswahlregeln

### 2.1 Art und Behandlungszustand der Grundwerkstoffe:

- Das Lot muss *tiefer* schmelzen als der Grundwerkstoff (mindestens 50 – 100 °C)
- Das Lot muss den Grundwerkstoff benetzen können
- Das Lot muss so ausgewählt werden, dass z.B. durch Härten, Homogenisieren oder Kaltverfestigung herbeigeführte gewünschte Behandlungszustände durch die Löterwärmung möglichst nicht beeinträchtigt werden.

### 2.2 Abmessung und Herstelltoleranzen der Werkstücke:

- Werkstücke mit Lötspalten von mehr als 0,5 mm (Lötügen) werden nach dem Fugenlötverfahren gelötet. Da hierbei relativ große Lotmengen benötigt werden, setzt man bevorzugt die silberfreien Hartlote BrazeTec 60/40 und BrazeTec 48/10 ein.
- Verträgt das Werkstück keine gleichmäßige Erwärmung über die Gesamtlänge der Lötstelle, wird ebenfalls nach dem Fugenlötverfahren gearbeitet.
- Werkstücke mit Lötspalten unter 0,5 mm werden im Spaltlötverfahren gelötet. Bei breiten Spalten ist es günstig, ein zäherfließendes Lot zu verwenden. Diesen zähfließenden Zustand kann man herbeiführen, wenn man das Lot unterhalb der Liquidustemperatur verarbeitet. Dies ist von der Wärmeleitung her umso einfacher, je breiter das Schmelzintervall des Lotes ist. Daher verwendet man für breite Spalte ein Lot mit breitem Schmelzintervall, bzw. umgekehrt: das Schmelzintervall des Lotes darf umso enger sein, je enger der Spalt ist.

### 2.3 Verfügbare Betriebseinrichtungen

Das Lot muss mit den verfügbaren Betriebseinrichtungen verarbeitet werden können.

- Ofenlöten:
  - a) Cadmium- und möglichst zinkfreie Lote verwenden.
  - b) Lote mit engem Schmelzintervall bevorzugen.

In der Regel werden hochschmelzende Lote eingesetzt.

- Brenner- bzw. induktives Löten:

Hierbei werden niedrigschmelzende Silber- bzw. CuP-Lote eingesetzt.

### 2.4 Mechanische Belastung der Lötstelle

Bei Lötstellen kann mit folgenden Festigkeiten gerechnet werden:

#### a) Hartlötstellen

Zugfestigkeit: 200 MPa (N/mm<sup>2</sup>)  
Scherfestigkeit: 100 MPa (N/mm<sup>2</sup>)

#### b) Weichlötstellen

Scherfestigkeit: 3 MPa (N/mm<sup>2</sup>)

Bei diesen Werten ist der Spaltfüllgrad von 80 % berücksichtigt. Mit den meisten Hartloten erreicht man an Prüfkörpern nach DIN 8525 höhere Lötstellenfestigkeiten (siehe BrazeTec-Lieferprogramm).

### 2.5 Betriebstemperatur

Erhöhte Betriebstemperaturen führen fast immer zu einem erheblichen Festigkeitsrückgang in den Lötverbindungen. Die im Lieferprogramm angegebenen maximalen Betriebstemperaturen sollten bei Dauerbelastung nicht überschritten werden.

Kurzzeitige Überschreitungen sind zulässig, wenn bei der erhöhten Temperatur keine nennenswerte Belastung der Lötverbindung vorliegt.

Man sollte grundsätzlich mechanische und thermische Belastungen von Lötstellen im Zusammenhang betrachten. Treten neben hoher mechanischer Belastung auch erhöhte Betriebstemperaturen auf, so sollten keine cadmiumhaltigen und zinnhaltigen Hartlote eingesetzt werden. Günstiger verhalten sich dagegen Lote wie BrazeTec 4404, BrazeTec 4900 und besonders BrazeTec 48/10.

### 2.6 Betriebsdruck

- Erhöhter Druck führt zu einer mechanischen Belastung der Lötstelle. Es muss daher neben dem Druck auch noch die Konstruktion bekannt sein, damit die auftretende mechanische Belastung bestimmt werden kann. Auch hier ist die Betriebstemperatur zu beachten.
- Bei Lötverbindungen, die vakuumdicht sein müssen, muss die Vakuumbeständigkeit der Lote anhand von Dampfdruckkurven geprüft werden. Normalerweise sind Hartlötverbindungen auch vakuumdicht. Muss Vakuumdichtigkeit auch bei erhöhten Temperaturen gewährleistet sein, so sind hierfür die zink- und cadmiumfreien Lote einzusetzen.

### 2.7 Angreifende Medien

- Luft  
Es können praktisch alle Lote verwendet werden. Bei stark schwefelhaltiger Industriatmosphäre sollten BrazeTec-Silfos-Lote nicht eingesetzt werden.
- Brennbare Gase  
Für brennbare Gase ist Hartlöten vorgeschrieben. Folgende Lote sind durch das Arbeitsblatt GW 2 zugelassen: BrazeTec 4576, BrazeTec 3476, BrazeTec 4404, BrazeTec Silfos 2, BrazeTec Silfos 94.  
Können schwefelhaltige Medien (z.B. Motorenöle, Stallatmosphären) an die Lötstelle gelangen, scheiden phosphorhaltige Lote aus.

Azetylenleitungen müssen nach ISO 9539, Ausgabe 1988, mit Loten gelötet werden, die nicht mehr als 46 % Ag und nicht mehr als 37 % Cu enthalten (BrazeTec 4576 bzw. BrazeTec 4404).

- Technische Gase  
Bei technischen Gasen wie Druckluft, Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Kohlendioxid, Argon und Helium besteht bezüglich der Lotauswahl keine Beschränkung.
- Flüssigkeiten  
Destilliertes Wasser, organisches Lösungsmittel, Alkohole, ammoniakfreie Kältemittel sowie schwefelfreie Öle erfordern keine speziellen Lote. Für schwefelhaltige Medien scheiden phosphorhaltige Lote aus.

Gegenüber schwachsauren Lösungen oder verdünnten Laugen sind Hartlötstellen beständig, wenn Kupfer, Kupfer-Legierungen oder Kohlenstoffstähle gelötet werden.

Bei korrosionsbeständigem Stahl können mit zinkhaltigen Silberhartloten keine korrosionssicheren Lötverbindungen hergestellt werden, selbst wenn nur Leitungswasser an die Lötstelle gelangt (Messerschnittkorrosion). Vergleichsweise günstiger als zinkhaltige Silberhartlote verhält sich BrazeTec 6009, obwohl auch bei diesem Lot eine Messerschnittkorrosion nicht ausgeschlossen werden kann. Korrosionssichere Lötverbindungen können u.a. nur mit Nickelbasisloten (Ofenlötung) erreicht werden.

- See- und brackwasserbeständige Kupfer-Nickel-Eisen-Legierungen, aber auch Kohlenstoffstähle

und andere Kupferlegierungen werden bei Seewasserbelastung vorzugsweise mit Hartlot BrazeTec 4404 gelötet (nicht Chromnickelstähle). Lötstellen, die mit Nahrungsmitteln in Berührung kommen, sollten mit antimon-, blei- und cadmiumfreien Loten gelötet werden.

### 2.8 Weiterverarbeitung gelöteter Bauteile

- Galvanisieren

Bei Anwendung höherschmelzender Lote wie BrazeTec 60/40 oder BrazeTec 48/10 müssen die Flussmittelreste mechanisch entfernt werden. Oftmals kann auch mit Gasflux gearbeitet werden.

Niedrigschmelzende Silberhartlote bevorzugen, da die Flussmittelreste leicht entfernbar sind. Cadmiumfreie Lote bilden in der Regel glattere Hohlkehlen. In speziellen Fällen sind siliziumhaltige Silberhartlote empfehlenswert.

- Emaillieren / Wärmebehandlungen

Das Lot muss so ausgewählt werden, dass es bei der Weiterverarbeitung nicht aufschmilzt bzw. durch die Erwärmung und mechanische Belastung zu stark beansprucht wird.

### 2.9 Regeln der Technik

Das Lot muss gegebenen Vorschriften und Richtlinien entsprechen. Dazu zählen Normen, Merkblätter und Spezifikationen der Auftraggeber.

### 2.10 Arbeitssicherheit

- Dämpfe  
Beim Löten an Luft entstehen Flussmittel-Lotdämpfe.

Flussmitteldämpfe müssen nicht in jedem Fall abgesaugt werden, es ist aber zu empfehlen. Flussmitteldämpfe sind in erster Linie ätzend.

Lotdämpfe sind nach dem derzeitigen Stand der Erkenntnisse unkritisch, sofern nicht mit cadmiumhaltigen Loten gearbeitet wird. Absaugung oder Atemschutz ist bei der Verarbeitung cadmiumhaltiger Lote notwendig.

- Abwasser  
Das Abwasser darf maximal 0,1 mg/Liter Cadmiumionen enthalten (der Wert richtet sich nach den örtlichen Vorschriften). Mit den üblichen Entgiftungsverfahren lässt sich

Cadmium aus dem Abwasser nicht immer genügend entfernen, um den Grenzwert zu unterschreiten.

Durch Auswahl eines cadmiumfreien Lotes lassen sich die angesprochenen Probleme mildern bzw. vermeiden.

### 2.11 Wirtschaftlichkeit der Lötung

Es muss das Lot eingesetzt werden, das die wirtschaftlichste Fertigungsmethode erlaubt.

Die niedrigschmelzenden Silberhartlote sind relativ teuer. Durch die niedrigeren Arbeitstemperaturen ergibt sich aber eine Reihe von Vorteilen, die die höheren Lotkosten oftmals weit überwiegen. Es gilt der Grundsatz: „Nicht die Lotkosten entscheiden über die Wirtschaftlichkeit“, sondern die „Gesamtkosten für das fertige Bauteil“.

Vorteile der niedrigen Arbeitstemperaturen:

- + Niedrige Energiekosten
- + Geringer Verzug
- + Geringes Verzundern
- + Vermeiden der Rekristallisation

## 3. Kostenerfassung

Die LötKosten ergeben sich aus:

- Stoffkosten für Lot- und Flussmittel bzw. kontrollierte Atmosphäre
- Hilfsstoffen (Entfettungsbäder, Beizen)
- Energie
- Abschreibungen von Lötgeräten oder Lötanlagen
- Fertigungskosten und Gemeinkosten

Arbeitsgänge beim Löten:

- Vorbereiten (schleifen, entfetten usw.)
- Löten
  - Fügen der Einzelteile
  - Positionieren der Einzelteile
  - Lot- und (eventuell) Flussmittellzugabe
  - Erwärmen (bei Handlötung).
- Nacharbeiten
  - Flussmittel entfernen (eventuell)
  - Entzundern (eventuell)
  - Verzug beseitigen (eventuell)
  - Kontrollieren
  - Gegen Korrosion schützen (eventuell)

### 4. Lote

- **Cadmiumfreie Universallote**  
Die Palette dieser Lote wurde aus Gründen des Umweltschutzes schon seit längerer Zeit erweitert. Wegen Cadmiumfreiheit handelt es sich dabei um einen hervorragenden Beitrag zum Gesundheitsschutz der Lötter.
- **Cadmiumhaltige Universallote**  
Es handelt sich um die typischen Silberhartlote, welche die niedrigsten Arbeitstemperaturen für Schwermetalllote aufweisen. Diese sind nur für Lötstellen mit Betriebstemperaturen bis 150 °C geeignet. Wegen des Cadmiumgehalts und der damit verbundenen Gesundheitsproblematik werden diese Lote von BrazeTec nicht mehr empfohlen!
- **Silfos-Lote**  
Speziallote für Kupferwerkstoffe. Flussmittelfrei zu verarbeiten auf Kupfer, Silber und Kupfer-Zinn-Legierungen. Bei zusätzlicher Anwendung von Flussmitteln auch für Kupfer-Zink-Legierungen geeignet. Nicht geeignet bei schwefelhaltigen Medien und nicht geeignet für Eisen- und Nickellegierungen.
- **Hartlote für Hartmetalllötungen**  
Diese Lote werden außer für Hartmetalle auch für relativ schwer zu benetzende Werkstoffe wie Chrom, Molybdän, Wolfram, Tantal, Niob und Kobalt eingesetzt. Wegen des Mangananteiles gute Benetzungseigenschaften, durch Nickelanteil hohe Festigkeit.  
Für rissgefährdete Hartmetallwerkzeuge ist Schichtlot BrazeTec 49/Cu einzusetzen.
- **Hartlot für Aluminiumlötungen**  
Geeignet für Reinaluminium und Aluminiumlegierungen mit Solidustemperaturen oberhalb 640 °C.

- **Hartlote für Sonderanwendungen**
- **Flussmittelumhüllte Hartlote**
- **Palladiumhaltige Hartlote**
- **Vakuumbhartlote**
- **Spezialweichlote „Soldamoll“**  
Diese Lote werden eingesetzt, wenn die Anforderungen an die Lötstellen von den billigen Massenloten auf Blei-Zinn-Basis nicht mehr erfüllt werden.

### 5. Flussmittel

Die Flussmittelauswahl erfolgt in erster Linie nach der Arbeitstemperatur des gewählten Lotes. Die Arbeitstemperatur des Lotes muss innerhalb des Flussmittel-Wirktemperaturbereiches liegen.

In zweiter Linie erfolgt die Flussmittelauswahl nach dem zu lötenden Grundwerkstoff.  
Hinweise enthält das BrazeTec - Lieferprogramm.

Rückstände der hygroskopischen Flussmittel zur Vermeidung von Korrosionserscheinungen entfernen.

Sofern Abkochen nicht genügt, BrazeTec-Flux-Ex für Stahlteile bzw. BrazeTec-Neacid für Buntmetallteile verwenden.

Nicht hygroskopische Flussmittel führen nicht zu Korrosionserscheinungen. Ihre Entfernung erfolgt am besten auf mechanischem Wege.

- Spezialweichlötflussmittel „Soldaflux“
- Lotpasten

---

Unsere Angaben über unsere Produkte und Geräte sowie über unsere Anlagen und Verfahren beruhen auf einer umfangreichen Forschungsarbeit und anwendungstechnischen Erfahrung. Wir vermitteln diese Ergebnisse, mit denen wir keine über den jeweiligen Einzelvertrag hinausgehende Haftung übernehmen, in Wort und Schrift nach bestem Wissen, behalten uns jedoch technische Änderungen im Zuge der Produktentwicklung vor. Darüber hinaus steht unser Anwendungstechnischer Dienst auf Wunsch für weitergehende Beratungen sowie zur Mitwirkung bei der Lösung fertigungs- und anwendungstechnischer Probleme zur Verfügung.

Das entbindet den Benutzer jedoch nicht davon, unsere Angaben und Empfehlungen vor ihrer Verwendung für den eigenen Gebrauch selbstverantwortlich zu prüfen. Das gilt - besonders für Auslandslieferungen - auch hinsichtlich der Wahrung von Schutzrechten Dritter sowie für Anwendungen und Verfahrensweisen, die von uns nicht ausdrücklich schriftlich angegeben sind. Im Schadensfall beschränkt sich unsere Haftung auf Ersatzleistungen gleichen Umfangs, wie sie unsere Allgemeinen Verkaufs- und Lieferbedingungen bei Qualitätsmängeln vorsehen.