

# Fügen verstehen

Schweißen, Löten, Kleben und Nieten verständlich erklärt: Stoff-, Form- und Kraftschluss, E-Hand, MAG, MIG und WIG, Gasschweißen und Brennschneiden, Nahtarten und Schweißsymbole, Schweißfehler und Prüfung, Weich- und Hartlöten, Kleben, Nieten und Clinchen - mit Sicherheit beim Fügen.

## Das kannst du danach

- Du unterscheidest lösbare und unlösbare Verbindungen und ordnest sie Stoff-, Form- und Kraftschluss zu.
- Du erklärst E-Hand, MAG, MIG und WIG, wählst das passende Verfahren und liest Schweißsymbole mit a-Maß.
- Du erkennst Schweißfehler, lötest weich und hart mit Flussmittel und Spalt, klebst und nietest fachgerecht - und kennst die Sicherheitsregeln beim Fügen.

## Dein Weg durch das Heft

- 01 Fügen: lösbar oder unlösbar? · S. 2
- 02 Lichtbogenschweißen: E-Hand, MAG, MIG, WIG · S. 4
- 03 Gasschweißen und thermisches Trennen · S. 6
- 04 Nahtarten und Schweißsymbole · S. 8
- 05 Schweißfehler, Verzug und Prüfung · S. 10
- 06 Weichlöten - vom Kupferrohr bis zur Platine · S. 12
- 07 Hartlöten · S. 14
- 08 Kleben · S. 16
- 09 Nieten, Clinchen, Pressverbindungen · S. 18

## SO LERNST DU DAMIT

Lies ein Kapitel und rechne das Beispiel nach. Löse danach die Aufgaben zuerst selbst. Auf den Hilfeseiten findest du Denkanstöße; die Lösungen erklären den Weg und typische Stolperstellen.

Die Beispiele dienen dem Lernen. Konkrete Arbeit, Prüfung und Freigabe richten sich nach Aufgabe, Zeichnung, Herstellerangaben und betrieblichen Vorgaben. Dieses Heft ersetzt keine Unterweisung.

## KAPITEL 01 | VERSTEHEN

# Fügen: lösbar oder unlösbar?

Fügen heißt, zwei oder mehr Teile dauerhaft zusammenzubringen. Lösbare Verbindungen (Schrauben, Stifte, Klemmungen) lassen sich ohne Zerstörung wieder trennen. Unlösbare Verbindungen - Schweißen, Löten, Kleben, Nieten - nur durch Zerstören der Verbindung oder eines Teils.

Wie eine Verbindung hält, beschreibt man mit drei Wirkprinzipien. Stoffschluss: Die Teile sind auf Werkstoffebene verbunden, etwa durch die erstarrte Schmelze beim Schweißen, das Lot oder den Klebstoff. Formschluss: Die Teile greifen ineinander, etwa der Niet im Loch oder der Clinchpunkt. Kraftschluss: Reibung durch Anpressen hält die Teile, etwa beim Schrumpfsitz oder der vorgespannten Schraube.

Die Wahl hängt von Werkstoff, Belastung, Stückzahl, Temperatur und Zugänglichkeit ab. Stahl schweißt man meist; Aluminium verlangt WIG oder MIG mit sauberer Vorbereitung; Thermoplaste werden geschweißt oder geklebt, Verbundwerkstoffe meist geklebt oder genietet; dünne Bleche werden geclincht oder punktgeschweißt. Die Fertigungsverfahren-Norm ordnet das Fügen in Gruppen, darunter: Zusammensetzen, An- und Einpressen (Pressverbindungen), Fügen durch Umformen (Nieten, Clinchen), Schweißen, Löten und Kleben.

- Lösbar: Schrauben, Stifte, Federn, Klemmen - trennbar ohne Zerstörung.
- Unlösbar: Schweißen, Löten, Kleben, Nieten, Clinchen, Pressverbindungen.
- Stoffschluss (Schweißen, Löten, Kleben), Formschluss (Niet, Clinchpunkt), Kraftschluss (Pressverbindung).
- Auswahl nach Werkstoff, Belastung, Stückzahl, Temperatur, Zugänglichkeit und Reparierbarkeit.

Kraftschluss hält nur, solange die Anpresskraft da ist: Eine Schraubverbindung, die sich lockert, verliert ihren Reibschluss - deshalb Schraubensicherung oder Vorspannkraft nach Anzugsmoment.

Stoffschluss ist oft am steifsten und dichtesten (Behälter, Rohre), aber er verändert den Werkstoff an der Verbindung: Wärme beim Schweißen, Alterung beim Kleben.

Sicherheit: Jedes Fügeverfahren hat eigene Gefahren: Strahlung und Rauch beim Schweißen, heiße Teile und Flussmitteldämpfe beim Löten, Lösemittel beim Kleben, Splitter beim Nieten. Vor dem ersten Mal gilt: Betriebsanweisung lesen, Schutzausrüstung anlegen, Absaugung prüfen.

## WEITERLESEN

# Fügen: lösbar oder unlösbar? (Fortsetzung)

**BEISPIEL / LERNZIEL**

Ein Fahrradrahmen aus Stahl ist gelötet oder geschweißt (stoffschlüssig), die Bremse geschraubt (lösbar), der Rahmenaufkleber geklebt (stoffschlüssig, aber ohne Kraft).

**Praxistipp**

Ein Maschinengestell aus S235-Profilen wird geschweißt - es muss nie wieder auseinander. Der Motor darauf wird geschraubt, weil er getauscht werden muss. Das Typenschild wird genietet oder geklebt.

**Typischer Fehler**

Ein Teil schweißen, das später gewartet oder getauscht werden muss - oder umgekehrt einen hoch belasteten Rahmen nur kleben, weil es schneller geht.

**Meine Notizen**

## KAPITEL 02 | VERSTEHEN

# Lichtbogenschweißen: E-Hand, MAG, MIG, WIG

Beim Lichtbogenschweißen erzeugt ein elektrischer Lichtbogen zwischen Elektrode und Werkstück so viel Wärme (mehrere tausend Grad), dass Grundwerkstoff und Zusatzwerkstoff aufschmelzen und zu einer Naht erstarren. Das Schmelzbad wird vor Luft geschützt: durch die Umhüllung der Stabelektrode oder durch Schutzgas.

**E-Hand (Lichtbogenhandschweißen):** Eine umhüllte Stabelektrode ist Zusatzwerkstoff und Lichtbogenträger zugleich; die Umhüllung bildet Schutzgas und Schlacke. Robust, auch im Freien, aber langsam und mit Schlacke. **MAG/MIG (Metall-Aktivgas/Metall-Inertgas):** Ein Drahtvorschub schiebt die Drahtelektrode durch den Brenner, Schutzgas aus der Flasche schützt das Bad - MAG mit aktivem Mischgas (Argon + CO<sub>2</sub>) für Stahl, MIG mit inertem Argon für Aluminium und Kupfer. Schnell, gut mechanisierbar. **WIG (Wolfram-Inertgas):** Der Lichtbogen brennt zwischen einer nicht abschmelzenden Wolframelektrode und dem Werkstück; Zusatzwerkstoff wird als Stab von Hand zugegeben. Langsam, aber sehr sauber und gut kontrollierbar - für dünne Bleche, Edelstahl, Aluminium (mit Wechselstrom) und sichtbare Nähte.

**Stromquelle und Polung:** E-Hand meist Gleichstrom, Polung je Elektrodentyp; WIG Gleichstrom mit Minuspol an der Elektrode (Stahl, Edelstahl), Wechselstrom für Aluminium (bricht die Oxidhaut auf). Beim MAG bestimmen Drahtvorschub und Spannung den Lichtbogen: Kurzlichtbogen für dünne Bleche und Zwangslagen, Sprühlichtbogen für dicke Querschnitte. Die Streckenenergie ( $\text{Strom} \times \text{Spannung} \div \text{Schweißgeschwindigkeit}$ ) steuert Einbrand, Wärmeeinflusszone und Verzug. **Schweißpositionen:** PA (Wanne) ist am einfachsten, PF (steigend) und PE (über Kopf) verlangen Übung.

- E-Hand: umhüllte Stabelektrode, Schlacke, robust, auch im Freien.
- MAG: Drahtelektrode + Aktivgas (Argon/CO<sub>2</sub>) für un- und niedriglegierte Stähle; MIG: Inertgas (Argon) für Aluminium, Kupfer.
- WIG: nicht abschmelzende Wolframelektrode, Zusatz von Hand, sehr sauber - Edelstahl, Aluminium, dünne Bleche.
- Zu viel Strom: Durchbrand, breite Wärmeeinflusszone; zu wenig: Bindefehler, Nahtüberhöhung.

Beim Elektrodenschweißen gibt es rutil-, basisch- und zelluloseumhüllte Elektroden. Basische Elektroden liefern zähe, rissarme Nähte, brauchen aber trockene Lagerung (Rücktrocknen) und Gleichstrom am Pluspol.

## WEITERLESEN

# Lichtbogenschweißen: E-Hand, MAG, MIG, WIG (Fortsetzung)

Kurzlichtbogen beim MAG: Der Draht taucht kurz ins Bad, der Tropfen reißt beim Kurzschluss ab - geringe Wärme, gut für dünne Bleche. Sprühlichtbogen: feine Tropfen fliegen frei - viel Wärme, nur in Wannen- oder Horizontallage (PA, PB).

Schweißanweisung (WPS): Sie legt Verfahren, Zusatz, Gas, Strom, Spannung, Geschwindigkeit und Lagen fest. Im Betrieb schweißt man nach ihr, nicht nach Gefühl.

Sicherheit: Der Lichtbogen sendet starke UV- und Infrarotstrahlung: Ohne Schweißhelm mit passender Schutzstufe droht das „Verblitzen“ der Augen, ungeschützte Haut bekommt Verbrennungen wie Sonnenbrand. Schweißrauch enthält Metalloxide und muss abgesaugt werden; Gasflaschen gegen Umfallen sichern.

**BEISPIEL / LERNZIEL**

Ein Lehrling stellt am MAG-Gerät den Drahtvorschub hoch, lässt aber die Spannung: Der Lichtbogen wird kurz, es spritzt und stottert. Spannung mitführen - die Tabelle am Gerät zeigt zusammengehörige Werte.

**Praxistipp**

Ein 3-mm-Stahlblech wird in der Werkstatt mit MAG bei rund 110 A und Mischgas geschweißt. Dasselbe Blech aus Edelstahl bekommt eine saubere WIG-Naht mit Argon. Die Reparatur am Zaun draußen bei Wind: E-Hand, weil Wind das Schutzgas wegblasen würde.

**Typischer Fehler**

Mit MAG bei Wind im Freien schweißen: Das Schutzgas wird weggeblasen, die Naht wird porig. Oder Aluminium mit Stahl-Einstellungen: ohne Oxidhautentfernung und falsches Gas gibt es keine Bindung.

**Meine Notizen**

## KAPITEL 03 | VERSTEHEN

# Gasschweißen und thermisches Trennen

Beim Gasschweißen (Autogenschweißen) liefert eine Acetylen-Sauerstoff-Flamme mit rund 3 100 °C die Wärme; Zusatzwerkstoff wird als Stab zugeführt. Heute dient die Flamme in der Werkstatt vor allem zum Hartlöten, Anwärmen, Richten und Brennschneiden.

Die Flamme wird am Brenner eingestellt: neutral (gleich viel Acetylen und Sauerstoff) zum Schweißen, leicht reduzierend (Acetylenüberschuss) zum Schweißen von Aluminium und Gusseisen, neutral bis leicht reduzierend zum Hartlöten mit Silber- oder Kupfer-Phosphor-Lot, leicht oxidierend (Sauerstoffüberschuss) zum Messingschweißen und für Messinglot. Beim Brennschneiden wird der Stahl mit der Heizflamme auf Zündtemperatur gebracht, dann verbrennt ein Sauerstoffstrahl das Eisen und bläst die Schlacke aus der Fuge. Das funktioniert nur bei un- und niedriglegierten Stählen; Edelstahl, Aluminium und Kupfer schneidet man mit Plasma oder Laser.

Acetylen-Flaschen (Schulter kastanienbraun) enthalten das Gas in Aceton gelöst und dürfen nur stehend benutzt werden; Sauerstoff (Schulter weiß, Flaschenkörper oft blau) darf nie mit Öl oder Fett in Berührung kommen - Öl entzündet sich im reinen Sauerstoff.

Rückschlagsicherungen am Druckminderer und am Brenner verhindern, dass eine Flamme in den Schlauch zurückschlägt. Beim Plasmaschneiden wird ein Gas durch einen eingeschnürten Lichtbogen auf über 20 000 °C erhitzt und bläst das geschmolzene Metall aus - für alle leitfähigen Metalle. Winkelschleifer mit Trennscheibe: schnellstes Verfahren für Profile und Bolzen, aber Funkenflug und Scheibenbruch sind die Gefahren.

- Neutrale Flamme zum Stahlschweißen; leicht reduzierend für Aluminium und Gusseisen; neutral bis leicht reduzierend für Silberlot; leicht oxidierend für Messing und Messinglot.
- Brennschneiden: nur un- und niedriglegierter Stahl, der im Sauerstoffstrahl verbrennt.
- Plasma- und Laserschneiden: alle leitfähigen Metalle, schmale Fuge, wenig Verzug.
- Trennschleifen: schnell, aber Funkenflug, Lärm und Scheibenbruch - nur mit intakter Schutzhaube.

Beim Brennschneiden entsteht eine Schnittfuge (Kerf) von einigen Millimetern; Maße werden deshalb mit Schnitzzugabe angerissen. Die Schnittkante hat eine aufgehärtete Zone - vor dem Bearbeiten oder Schweißen entfernen.

Richten mit der Flamme: Eine kleine Zone wird gezielt erwärmt, kann sich wegen des kalten Umfelds nicht ausdehnen und staucht sich; beim Abkühlen schrumpft sie und zieht das Blech gerade - das Prinzip hinter dem Schweißverzug, nur bewusst genutzt.

## WEITERLESEN

# Gasschweißen und thermisches Trennen (Fortsetzung)

Sicherheit: Gasflaschen nur mit Ventilschutzkappe transportieren, gegen Umfallen sichern, Acetylen stehend. Sauerstoff nie zum Abblasen von Kleidung oder zum „Lüften“ - Kleidung wird dann wie Zunder. Vor dem Brennschneiden brennbare Stoffe im Umkreis entfernen, Löschmittel bereithalten und nach Feuerarbeiten die Brandwache einhalten.

**BEISPIEL / LERNZIEL**

Zündtemperatur von Baustahl rund 1 150 °C, Schmelzpunkt rund 1 500 °C: Weil der Stahl im Sauerstoff unterhalb seines Schmelzpunkts verbrennt, bleibt die Schnittfuge schmal und das Material daneben fest.

**Praxistipp**

Ein 20 mm dickes Flacheisen wird mit dem Brennschneider getrennt und anschließend die Schnittkante entgratet. Die Edelstahlplatte daneben kommt in den Plasmaschneider, weil der Sauerstoffstrahl sie nicht verbrennen kann.

**Typischer Fehler**

Mit Brennschneiden an Edelstahl oder Aluminium „probieren“: Die Oxidschicht schmilzt höher als der Werkstoff, es entsteht nur ein verschmierter Rand. Oder: Flamme mit Sauerstoffüberschuss zum Stahlschweißen - die Naht wird porig und spröde.

**Meine Notizen**

## KAPITEL 04 | VERSTEHEN

# Nahtarten und Schweißsymbole

Die Stoßart sagt, wie die Teile zueinander liegen: Stumpfstoß (in einer Ebene), T-Stoß, Überlappstoß, Eckstoß. Die Nahtart sagt, wie die Fuge gefüllt wird: Stumpfnäht (I-, V-, X-Naht) oder Kehlnaht im Winkel. In der Zeichnung steht alles in einem Schweißsymbol: Pfeil, Bezugslinie, Grundsymbol und Maße.

Das Grundsymbol zeigt die Nahtform: ein Dreieck für die Kehlnaht, ein V für die V-Naht, zwei parallele Striche für die I-Naht, Zusatzzeichen am Knick ergänzen es: ein Kreis für „umlaufend“, eine Fahne für „Baustellennaht“. Steht das Symbol auf der durchgezogenen Bezugslinie (Volllinie), liegt die Naht auf der Pfeilseite; steht es auf der gestrichelten Linie - egal ob diese über oder unter der Volllinie gezeichnet ist -, liegt sie auf der Gegenseite. Vor dem Kehlnahtsymbol steht das a-Maß (Höhe des eingeschriebenen gleichschenkligen Dreiecks) oder das z-Maß (Schenkellänge):  $a \approx 0,7 \cdot z$ . Hinter dem Symbol stehen Anzahl und Länge der Nahtabschnitte, etwa  $5 \times 50$  (30) für fünf 50-mm-Abschnitte mit 30 mm Abstand.

Dicke Bleche brauchen eine Nahtvorbereitung: Ab etwa 3 bis 5 mm (je nach Verfahren) wird die Fuge angefast (V-Naht,  $60^\circ$  Öffnungswinkel, Steg und Spalt), ab rund 15 mm beidseitig (X-Naht), damit der Lichtbogen bis zur Wurzel kommt. Die Wurzel ist die erste Lage ganz unten, die Decklage die letzte oben; dazwischen Fülllagen. Kehlnähte werden nach a-Maß berechnet: Die tragende Fläche ist  $a \times \text{Nahtlänge}$ . Zusätzliche Angaben im Symbol: Nahtoberfläche (eben, konvex, konkav), Schweißverfahren als Nummer (z. B. 135 für MAG), Bewertungsgruppe und die Gabel am Ende für weitere Hinweise.

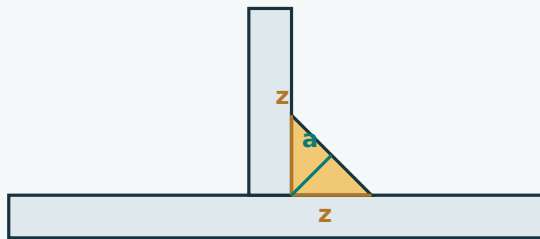
- Stoßarten: Stumpf-, T-, Überlapp-, Eckstoß; Nahtarten: I-, V-, X-Naht (Stumpfnähte) und Kehlnaht.
- Symbol: Pfeil zeigt zur Naht, Grundsymbol auf der Volllinie = Pfeilseite, auf der gestrichelten Linie = Gegenseite.
- a-Maß = Höhe des eingeschriebenen Dreiecks, z-Maß = Schenkel;  $a \approx 0,7 \cdot z$ .
- Zusatzzeichen: Kreis = umlaufend, Fahne = Baustellennaht;  $n \times l$  (e) = unterbrochene Naht.

Nahtvorbereitung spart Zusatzwerkstoff und Wärme: Eine V-Naht mit zu großem Öffnungswinkel braucht viele Lagen, zu kleiner Winkel führt zu Bindefehlern an der Wurzel.  $60^\circ$  ist der übliche Kompromiss.

Unterbrochene Nähte (Stepp- oder Kettennähte) sparen Wärme und Verzug bei gering belasteten Teilen, sind aber in korrosiver Umgebung ungünstig, weil Wasser in die Lücken kriecht.

## WEITERLESEN

# Nahtarten und Schweißsymbole (Fortsetzung)

**Kehlnaht am T-Stoß**

$z$  = Schenkellänge

$a$  = Höhe des eingeschriebenen Dreiecks (Nahtdicke)

$$a \approx 0,7 \cdot z$$



Gefordert ist das  $a$ -Maß:  $a_4$  heißt 4 mm Nahtdicke - die Schenkel sind dann rund 5,7 mm lang.

**BEISPIEL / LERNZIEL**

Gefordert: Kehlnaht  $a_5$ , Länge 120 mm, beidseitig. Tragender Querschnitt je Naht:  $5 \times 120 = 600 \text{ mm}^2$ , beide Seiten 1 200  $\text{mm}^2$ . Mit  $z$ -Maß 5 wären es nur rund  $3,5 \times 120 = 420 \text{ mm}^2$  je Seite.

**Praxistipp**

In der Zeichnung steht „ $a_4 \blacktriangle$  (Kreis)“ an einer Konsole: Kehlnaht mit 4 mm  $a$ -Maß, umlaufend. Der Lehrling schweißt sie zuerst nur auf einer Seite - die Kennzeichnung „umlaufend“ hat er übersehen.

**Typischer Fehler**

Das  $a$ -Maß mit der Schenkellänge verwechseln: Eine Kehlnaht mit  $z = 4 \text{ mm}$  hat nur  $a \approx 2,8 \text{ mm}$  und ist zu schwach, wenn  $a_4$  gefordert war.

**Meine Notizen**

## KAPITEL 05 | VERSTEHEN

# Schweißfehler, Verzug und Prüfung

Eine Naht ist nur so gut wie ihre Bindung zum Grundwerkstoff. Typische Fehler: Poren (Gaseinschlüsse), Bindefehler (Naht liegt auf, ohne zu verschmelzen), Einbrandkerben am Nahtrand, Schlackeneinschlüsse, Risse, Durchbrand und Nahtüberhöhung. Dazu der Verzug: Beim Abkühlen schrumpft die Naht und zieht die Teile schief.

Jeder Fehler hat typische Ursachen. Poren: Feuchtigkeit, Rost, Fett oder zu wenig Schutzgas. Bindefehler: zu wenig Strom, zu schnelle Führung, falscher Brennerwinkel, zu enge Fuge. Einbrandkerben: zu viel Strom, zu langer Lichtbogen, falscher Brennerwinkel oder zu schnelle Führung - beim Pendeln an den Flanken zu kurz verweilt. Schlacke: Lagen nicht gereinigt (E-Hand). Risse: zu schnelle Abkühlung, Wasserstoff, Eigenspannungen, harte Werkstoffe ohne Vorwärmen. Verzug: einseitiger Wärmeeintrag und falsche Schweißfolge.

Prüfverfahren: Sichtprüfung (VT) ist immer der erste Schritt - Nahtform, Kerben, Spritzer, Risse an der Oberfläche. Farbeindringprüfung (PT) macht feine Oberflächenrisse sichtbar: rotes Eindringmittel, reinigen, weißer Entwickler zieht das Mittel aus dem Riss.

Magnetpulverprüfung (MT) für ferromagnetische Stähle zeigt Risse bis knapp unter die Oberfläche. Ultraschall (UT) und Durchstrahlung (RT) finden innere Fehler: UT zeigt flächige Fehler wie Bindefehler und Risse besonders gut, RT bildet Poren und Einschlüsse ab.

Zerstörende Prüfungen (Biegeprobe, Bruchprobe, Schliff) an Arbeitsproben zeigen Einbrand und Wurzel. Gegen Verzug: Heften, wechselseitig schweißen, Pilgerschritt, Vorspannen, Spannvorrichtungen, möglichst wenig Lagen.

- Poren = Gas im Bad (Feuchte, Fett, Rost, zu wenig Schutzgas).
- Bindefehler = keine Verschmelzung (zu kalt, zu schnell, falscher Winkel).
- Einbrandkerbe = Kerbe am Nahtrand (zu heiß, zu schnell, an den Flanken nicht gefüllt) - Rissstarter.
- Prüfen: VT immer, PT/MT für Oberflächenrisse, UT/RT für innere Fehler.
- Verzug: heften, Schweißfolge planen, wechselseitig, Pilgerschritt.

Wasserstoff aus feuchter Elektrodenumhüllung oder Rost löst sich im Schmelzbad und sammelt sich beim Abkühlen in Rissen - deshalb basische Elektroden rücktrocknen und Nahtbereiche trocken und sauber halten.

Bewertungsgruppen (B, C, D) legen fest, welche Fehlergröße zulässig ist. Eine Naht am Spielzeugregal braucht nicht dieselbe Qualität wie ein Anschlagpunkt für Lasten - die Zeichnung sagt, welche Gruppe gilt.

## WEITERLESEN

# Schweißfehler, Verzug und Prüfung (Fortsetzung)

Sicherheit: Beim Entfernen von Schlacke und Spritzern fliegen heiße Splitter: Schutzbrille auch nach dem Schweißen tragen. Prüfmittel der Farbeindringprüfung sind Sprays mit Lösemitteln - Lüftung und Hautschutz beachten.

**BEISPIEL / LERNZIEL**

Ein Schliff durch eine Kehlnaht zeigt: Die Naht liegt wie ein Wulst auf dem Blech, darunter ein dunkler Spalt - Bindefehler. Strom war zu niedrig, der Brenner zu steil auf das obere Blech gerichtet.

**Praxistipp**

Ein Rahmen soll nach dem Schweißen plan sein. Der Lehrling schweißt alle Nähte der Reihe nach auf einer Seite - der Rahmen wölbt sich um 3 mm. Beim zweiten Rahmen heftet er, schweißt wechselseitig und im Pilgerschritt - 0,5 mm.

**Typischer Fehler**

Eine Naht „schön dick“ legen, um sicherzugehen: Nahtüberhöhung erzeugt Kerbwirkung und zusätzlichen Verzug, trägt aber nicht mehr als die geforderte Naht.

**Meine Notizen**

## KAPITEL 06 | VERSTEHEN

# Weichlöten - vom Kupferrohr bis zur Platine

Beim Löten schmilzt nur das Lot, nicht der Grundwerkstoff. Das flüssige Lot benetzt die sauberen Oberflächen und kriecht durch Kapillarwirkung in den engen Spalt; beim Erstarren entsteht eine stoffschlüssige Verbindung. Beim Weichlöten liegt die Liquidustemperatur des Lotes (ab da ist es ganz flüssig) unter 450 °C - mit Zinnloten für Elektronik, Kupferrohre und Bleche.

Damit Lot benetzt, muss die Oberfläche metallisch blank und oxidfrei sein. Dafür sorgt das Flussmittel: Es löst Oxide und schützt die heiße Stelle vor neuer Oxidation. In der Elektronik steckt es als Kolophoniumseele im Lötendraht; für Kupferrohre nimmt man Lötpaste (Lötfett mit Lotpulver) oder ein Flussmittel für Weichlot; die Reste müssen danach abgewaschen werden, weil sie korrodieren. Das richtige Vorgehen: Lötstelle erwärmen, Lot an die Lötstelle (nicht an den Kolben) halten, Lot fließt, Kolben wegnehmen - fertig in zwei bis drei Sekunden. Zu lange Wärme schädigt Bauteile und Platine, zu wenig Wärme ergibt eine kalte Lötstelle.

Lote: Bleifreies SnAgCu (Schmelzbereich rund 217-220 °C) ist heute Standard in der Elektronik; SnCu für Installationen; früher SnPb (183 °C), das in der Elektronik für Neugeräte verboten ist und in Trinkwasserleitungen nie verwendet werden darf. Lötspitzentemperatur 320-360 °C für bleifrei. Werkzeuge: LötKolben oder Lötstation mit Temperaturregelung, Entlötlitze und Entlötpumpe, dritte Hand. Beim Rohrlöten: Weichlot für Trinkwasser und Heizung bis 110 °C; für Gas und heiße Leitungen ist Hartlöten vorgeschrieben.

- Löten: Grundwerkstoff bleibt fest, Lot schmilzt, Kapillarspalt zieht es ein.
- Flussmittel entfernt Oxide und schützt - ohne Flussmittel keine Benetzung.
- Elektronik: bleifreies Lot, 320-360 °C, 2-3 Sekunden, Lot an die Stelle, nicht an die Spitze.
- Gute Lötstelle: glatter, konkaver Kegel, Draht umschlossen (bleifrei seidenmatt, bleihaltig glänzend). Kalte Lötstelle: körnig, zerklüftet, Kugel.

Beim Löten von SMD-Bauteilen hilft Lötpaste und Heißluft; bei großen Masseflächen braucht es eine höhere Temperatur oder eine breitere Spitze, weil die Fläche die Wärme abführt - nicht einfach länger draufhalten.

Entlöten: Entlötlitze saugt das Lot über Kapillarwirkung auf, die Entlötpumpe saugt es ab. Beides nur mit frischem Flussmittel, sonst bleibt der Rest kleben.

## WEITERLESEN

# Weichlöten - vom Kupferrohr bis zur Platine (Fortsetzung)

Sicherheit: Lötdämpfe (verbranntes Flussmittel) reizen die Atemwege - Absaugung oder zumindest Lüftung, nicht über die Lötstelle beugen. Die Spitze hat über 300 °C: Ablage benutzen, Kabel nicht über die Spitze führen. Nach dem Löten Hände waschen, besonders bei bleihaltigem Lot in Altgeräten.

**BEISPIEL / LERNZIEL**

Ein Kabelbruch an der Niedervolt-Ausgangsleitung eines Ladegeräts (nicht an der 230-V-Netzleitung - die wird ersetzt): Gerät vom Netz trennen, Schrumpfschlauch aufschieben, Litzen abisolieren, verdrehen, vorverzinne, zusammenlöten und mit dem Schrumpfschlauch isolieren.

**Praxistipp**

Beim Widerstand auf der Platine: Lötspitze 330 °C, Spitze an Pad und Draht halten, Lötdraht dazu, ein gleichmäßiger konkaver Kegel entsteht (bleifrei: seidenmatt, nicht spiegelnd).  
Beim 15-mm-Kupferrohr: Fitting und Rohrende mit Vlies blank reiben, Lötpaste auftragen, mit dem Brenner das Fitting erwärmen, Lot an den Spalt - es wird eingesaugt.

**Typischer Fehler**

Lot auf die Lötspitze geben und dann „auftupfen“: Das Flussmittel verbrennt auf der Spitze, das Lot benetzt nicht, es entsteht eine körnige, klumpige kalte Lötstelle, die später ausfällt.

**Meine Notizen**

## KAPITEL 07 | VERSTEHEN

# Hartlöten

Hartlöten arbeitet mit Loten, deren Liquidustemperatur bei 450 °C oder darüber liegt - Silberlote, Kupfer-Phosphor-Lote, Messinglote. Die Verbindung ist deutlich fester als beim Weichlöten und hält auch höhere Temperaturen aus. Der Grundwerkstoff schmilzt wie beim Weichlöten nicht, deshalb lassen sich auch verschiedene Metalle verbinden: Stahl mit Hartmetall, Kupfer mit Messing.

Die Wärme kommt meist aus der Gasflamme (Acetylen-Sauerstoff oder Propan), in der Serie aus Induktion oder Ofen. Entscheidend ist der Lötspalt: 0,05 bis 0,2 mm, damit die Kapillarwirkung das Lot durch die ganze Fuge zieht - ein zu großer Spalt füllt sich nicht, ein zu enger lässt das Lot nicht herein. Das Flussmittel (auf Borat- oder Fluorid-Basis, als Paste oder Pulver) wird vor dem Erwärmen aufgetragen; es wird glasig und zeigt, wann die Arbeitstemperatur erreicht ist. Dann das Lot an die Fuge halten - es muss vom Werkstück, nicht von der Flamme geschmolzen werden.

Silberlote (z. B. mit 45 % Silber, Arbeitstemperatur um 650 °C) fließen gut und sind für Stahl, Edelstahl, Kupfer und Messing geeignet; cadmiumhaltige Hartlote sind wegen der giftigen Dämpfe in der EU bis auf wenige Sonderanwendungen verboten. Kupfer-Phosphor-Lote (um 710 °C) nur für Kupfer und Kupferlegierungen, nie für Stahl (spröde Phosphide). Messinglote (um 900 °C) für Stahl und Guss, etwa Fahrradrahmen, Rohrkonstruktionen. Nach dem Löten Flussmittelreste abwaschen, weil sie Korrosion verursachen. Die Bauteile werden beim Hartlöten so heiß, dass gehärteter Stahl angelassen und Aluminium kaum lötbar ist - Werkstoff vorher prüfen.

- Hartlot: Liquidustemperatur ab 450 °C - Silber-, Kupfer-Phosphor-, Messinglot.
- Lötspalt 0,05-0,2 mm - der Spalt ist die Pumpe (Kapillarwirkung).
- Flussmittel vorher auftragen, Werkstück erwärmen, Lot am Spalt anschmelzen.
- Verbindet verschiedene Metalle; fester und hitzebeständiger als Weichlöten, aber nicht so fest wie eine Schweißnaht.

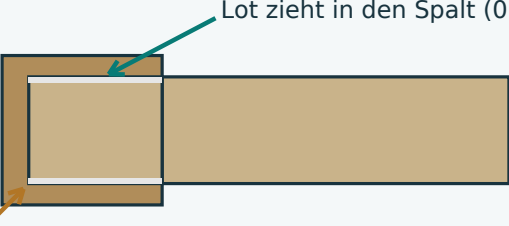
Weich- oder Hartlöten? Weichlot für Elektronik, Trinkwasser und Heizung; Hartlot für Gasleitungen, Kältetechnik, Werkzeuge und alles über 110 °C Betriebstemperatur - die Installationsregeln schreiben das vor.

Der Unterschied zum Schweißen liegt im Grundwerkstoff: Beim Löten bleibt er unter seinem Schmelzpunkt, deshalb weniger Verzug, keine Gefügeumwandlung in der Naht, aber auch nur die Festigkeit des Lots.

## WEITERLESEN

# Hartlöten (Fortsetzung)

Sicherheit: Hartlöten erzeugt Flussmitteldämpfe (oft mit Fluoriden) und bei falschen Loten giftige Metaldämpfe - nur mit Absaugung und cadmiumfreien Loten. Die Teile bleiben lange heiß: Zange und Ablage aus Stein oder Stahl, kein Holz. Brennerregeln wie beim Gasschweißen.



Lot zieht in den Spalt (0,05-0,2 mm)

**Rohr Fitting (Muffe)**

Nur das Lot schmilzt, der Grundwerkstoff bleibt fest.

Flamme: Fitting erwärmen  
Kapillarwirkung: Der enge Spalt ist die Pumpe - zu weit füllt sich nicht, zu eng lässt nichts herein.

Das Diagramm zeigt ein Rohr, das in ein Fitting (Muffe) eingesetzt ist. Ein brauner Balken stellt das Lot dar, das in den Spalt zwischen Rohr und Fitting gezogen ist. Ein grüner Pfeil weist auf den Spalt hin, und ein brauner Pfeil weist auf das Lot im Spalt hin.

**BEISPIEL / LERNZIEL**

Ein 15-mm-Kupferrohr mit Fitting: Spalt rund 0,1 mm. Beim Erwärmen des Fittings zieht das Lot nach dem Anschmelzen von selbst rund um das Rohr - auch nach oben, gegen die Schwerkraft.

**Praxistipp**

Eine Hartmetallschneide wird mit Silberlot auf den Stahlschaft eines Drehmeißels gelötet. Kupferrohre der Klimaanlage werden mit Kupfer-Phosphor-Lot gelötet - bei Kupfer auf Kupfer braucht dieses Lot kein zusätzliches Flussmittel.

**Typischer Fehler**

Das Lot in die Flamme halten, bis es tropft: Es fällt als Kugel auf das kalte Werkstück und fließt nicht in den Spalt. Richtig: Werkstück auf Arbeitstemperatur, Lot am Spalt anschmelzen lassen.

**Meine Notizen**

## KAPITEL 08 | VERSTEHEN

# Kleben

Kleben verbindet stoffschlüssig über einen Klebstoff, der an beiden Oberflächen haftet (Adhäsion) und in sich fest ist (Kohäsion). Es schmilzt die Fügeteile nicht an, verbindet verschiedenste Werkstoffe, dichtet gleichzeitig ab und verteilt die Kraft über die ganze Fläche - vorausgesetzt, die Oberflächen sind sauber und die Fuge ist richtig gestaltet.

Eine Klebung hält über die Fläche, nicht über eine Linie: Klebfugen werden deshalb überlappend ausgeführt und auf Zug-Scherung belastet, nie stumpf und nie auf Schälén (Abziehen an einer Kante). Die Oberfläche entscheidet: Reinigen und Entfetten ist Pflicht, Aufrauen vergrößert die Fläche, bei Kunststoffen wie PE oder PP hilft nur eine Vorbehandlung (Primer, Beflammen). Dünne, gleichmäßige Klebschicht (0,05-0,2 mm) ist fester als eine dicke. Danach: fixieren und die Aushärtezeit einhalten - Handfestigkeit ist nicht Endfestigkeit.

Klebstoffarten: Cyanacrylat („Sekundenkleber“) für kleine, passgenaue Teile, härtet durch Luftfeuchte in Sekunden; 2K-Epoxyd (Harz + Härter) für hochfeste, steife Metall- und Faserverbund-Klebungén; Methacrylat (2K) für Metall und Kunststoff mit Schlagzähigkeit; anaerobe Klebstoffe härten ohne Luft im Metallspalt - Schraubensicherung, Welle-Nabe-Fügung; Schmelzklebstoff (Heißkleber) für schnelle, wenig belastete Fügungen; Silikon und PU-Dichtklebstoffe für elastische, dichtende Verbindungen (Fenster, Karosserie); Kontaktklebstoff für Flächen (Beläge). Temperaturgrenzen beachten: Viele Klebstoffe weichen ab 80-120 °C auf.

- Adhäsion = Haften am Teil, Kohäsion = innere Festigkeit des Klebstoffs.
- Fuge überlappend, auf Zug-Scherung - Schälén und Stumpfstoß vermeiden.
- Oberfläche: reinigen, entfetten, aufrauen; dünne Klebschicht; Aushärtezeit abwarten.
- Klebstoff nach Werkstoff, Belastung, Temperatur und Spalt wählen (Cyanacrylat, Epoxyd, Methacrylat, anaerob, Schmelz-, Dichtklebstoff).

Ein Klebstoff altert: UV-Licht, Feuchte und Temperaturwechsel schwächen Adhäsion und Kohäsion. Für Außenbauteile zugelassene Systeme wählen und die Fuge vor Wasser schützen.

Hybridfügen: Kleben plus Nieten oder Punktschweißen kombiniert Sofortfestigkeit mit Flächenverbindung und Dichtheit - Stand der Technik im Karosseriebau.

## WEITERLESEN

# Kleben (Fortsetzung)

Sicherheit: Viele Klebstoffe und Reiniger enthalten Lösemittel oder reizende Härter: Sicherheitsdatenblatt lesen, passende Schutzhandschuhe laut Sicherheitsdatenblatt tragen (Nitril passt nicht für jedes Lösemittel) und für Lüftung sorgen. Cyanacrylat klebt in Sekunden Haut und Augenlider - nie mit den Fingern abwischen, Schutzbrille tragen.

**Überlappung: Zug-Scherung, große Fläche**

$$25 \times 15 \text{ mm} \times 15 \text{ N/mm}^2 \approx 5\,600 \text{ N}$$

**Stumpfstoß: winzige Fläche**

$$25 \times 2 \text{ mm} \times 15 \text{ N/mm}^2 \approx 750 \text{ N}$$

Kleben hält über die Fläche: überlappend fügen, Schalen an Kanten vermeiden, Klebschicht dünn und gleichmäßig.

**BEISPIEL / LERNZIEL**

Zwei Bleche 25 mm breit, 15 mm Überlappung, Klebstoff mit  $15 \text{ N/mm}^2$   
Zug-Scherfestigkeit:  $25 \times 15 \times 15 = \text{rund } 5\,600 \text{ N}$  - das entspricht der Gewichtskraft von über 500 kg. Dieselbe Klebung stumpf mit  $25 \times 2 \text{ mm}$  Fläche trüge nur 750 N.

**Praxistipp**

Ein Sensorhalter aus Aluminium wird auf eine lackierte Maschinenabdeckung geklebt: Lack anschleifen, mit Isopropanol reinigen, 2K-Epoxid dünn auftragen, 24 h fixieren. Am Schraubgewinde einer vibrierenden Pumpe sichert anaerober Klebstoff die Mutter.

**Typischer Fehler**

Fettige Finger auf der frisch gereinigten Fläche oder Sekundenkleber auf einer großen, stoßbelasteten Fläche: Cyanacrylat ist spröde und mag weder Schälkräfte noch Feuchte - die Verbindung platzt ab.

**Meine Notizen**

## KAPITEL 09 | VERSTEHEN

# Nieten, Clinchen, Pressverbindungen

Nieten verbindet formschlüssig: Der Niet steckt durch beide Teile, sein Schließkopf wird durch Umformen gebildet. Vollniete werden mit Gegenhalter und Kopfmacher gestaucht, Blindniete („Popniete“) lassen sich von einer Seite setzen - der Dorn zieht den Schließkopf und reißt ab. Clinchen fügt Bleche ganz ohne Zusatzteil, indem sie ineinander gedrückt werden.

Beim Blindniet gilt: Lochdurchmesser etwa 0,1 mm größer als der Nietdurchmesser, Klemmbereich des Niets passend zur Gesamtdicke der Bleche, Werkstoff von Niet und Blech aufeinander abstimmen (Alu-Niet in Alu, Stahl in Stahl, Edelstahl bei Korrosion) - sonst gibt es Kontaktkorrosion. Der Setzkopf liegt an, der Schließkopf bildet sich auf der Rückseite, der Dorn bricht an der Sollbruchstelle. Beim Vollniet wird der Schaft warm (Stahl ab 10 mm) oder kalt gestaucht; beim Abkühlen schrumpft er und spannt die Teile zusätzlich - bis heute im Stahlbau und in der Luftfahrt (dort kalt, Aluminium).

Nietarten: Vollniet (Halbrund-, Senkkopf), Blindniet (Standard, Dicht-, Mehrbereichsniet), Blindnietmutter (bringt ein Gewinde in dünnes Blech), Stanzniet (durchstanzt und formt ohne Vorloch), Clinchen (Durchsetzfügen: Stempel und Matrize formen einen Knopf).

Pressverbindungen zählen zur Gruppe „An- und Einpressen“: Längspressen (Einpressen von Buchsen, Lagern) und Querspressen (Schrumpfsitz: Nabe erwärmen, Welle kühlen) - kraftschlüssig über Übermaß, hoch belastbar. Nietverbindungen werden auf Abscheren des Niets und Lochleibung des Blechs berechnet.

- Vollniet: beidseitig zugänglich, Schließkopf wird gestaucht; Blindniet: einseitig, Dorn reißt ab.
- Blindniet:  $\text{Loch} = \text{Nietdurchmesser} + 0,1 \text{ mm}$ , Klemmbereich = Blechdicke, Werkstoffe abstimmen (Kontaktkorrosion).
- Clinchen und Stanznieten: ohne Vorloch und ohne Wärme; Clinchen kommt sogar ohne Zusatzteil aus - Bleche bis rund 3 mm.
- Pressverbindung: Übermaß erzeugt Kraftschluss (Lager einpressen, Schrumpfsitz).

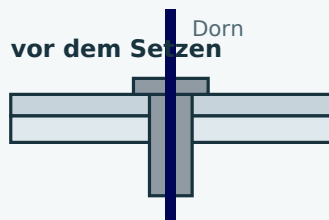
Nieten statt Schweißen, wenn verschiedene Werkstoffe (Alu auf Stahl), lackierte Teile oder wärmeempfindliche Bauteile verbunden werden - und im Flugzeugbau, weil sich die hochfesten Aluminiumlegierungen schlecht schweißen lassen und ein Riss in einer genieteten Struktur nicht einfach ins nächste Bauteil weiterläuft. Nietreihen selbst sind Kerbstellen und werden regelmäßig auf Risse geprüft.

## WEITERLESEN

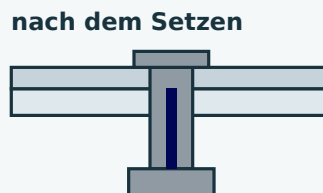
# Nieten, Clinchen, Pressverbindungen (Fortsetzung)

Die Lochleibung ist der Flächendruck zwischen Niet und Lochwand; bei dünnem Blech reißt das Loch aus, bevor der Niet abschert - deshalb Randabstand (rund  $2 \times d$ ) und Nietabstand (rund  $3 \times d$ ) einhalten.

Sicherheit: Beim Setzen von Blindnieten fliegt der abgerissene Dorn - Schutzbrille, und die Dorne gehören in den Auffangbehälter, nicht auf den Boden. Beim Einpressen mit der Hydraulikpresse Finger aus dem Pressbereich, Teile fluchtend ansetzen.



vor dem Setzen



nach dem Setzen

Dorn abgerissen

Setzkopf oben,  
Schließkopf unten

**Loch =  $d + 0,1 \text{ mm}$**   
**Klemmbereich = Dicke**

Blindniet: einseitig setzbar - der Dorn zieht den Schließkopf und reißt an der Sollbruchstelle ab.

## BEISPIEL / LERNZIEL

Blech  $1,5 \text{ mm} + 2,0 \text{ mm} = 3,5 \text{ mm}$  Gesamtdicke: Blindniet  $4 \text{ mm}$  mit Klemmbereich  $2,5\text{-}4,5 \text{ mm}$ , Loch  $\varnothing 4,1 \text{ mm}$ . Ein Niet mit Klemmbereich  $1\text{-}2,5 \text{ mm}$  würde nicht halten.

## Praxistipp

Ein Typenschild aus Alu wird mit zwei  $3\text{-mm}$ -Blindnieten auf das Stahlgehäuse gesetzt - Edelstahlniete, damit es nicht rostet. Im Schaltschrankbau werden Montageplatten geclincht, die Dachbleche der Karosserie werden stanzgenietet und geklebt.

## Typischer Fehler

Ein Blindniet mit zu kurzem Klemmbereich: Der Schließkopf bildet sich nicht, der Niet sitzt locker. Oder Stahlniete in Aluminiumblech im Freien: Kontaktkorrosion frisst das Alu rund um den Niet.

## Meine Notizen

## AUFGABEN 1-4

# Jetzt selbst anwenden

Notiere deinen Rechenweg oder begründe deine Entscheidung. Die Kapitelangabe hilft beim gezielten Nachlesen.

**Aufgabe 1 | Kapitel 1**

Ein Zahnrad soll dauerhaft auf einer Welle sitzen, ohne dass es je getauscht wird. Welche Verbindungsarten kommen infrage, und wie halten sie?

Meine Notizen

---

---

**Aufgabe 2 | Kapitel 2**

Ein Aluminiumblech soll sauber und sichtbar geschweißt werden. Welches Verfahren und welche Stromart wählst du - und warum?

Meine Notizen

---

---

**Aufgabe 3 | Kapitel 3**

Du sollst eine 10-mm-Edelstahlplatte und ein 10-mm-Baustahlblech zuschneiden. Welche Trennverfahren wählst du jeweils?

Meine Notizen

---

---

**Aufgabe 4 | Kapitel 4**

Im Symbol steht das Kehlnahtdreieck auf der gestrichelten Linie, davor a3, hinter dem Symbol  $3 \times 40$  (20). Was ist gefordert?

Meine Notizen

---

---

## AUFGABEN 5-8

# Jetzt selbst anwenden

Notiere deinen Rechenweg oder begründe deine Entscheidung. Die Kapitelangabe hilft beim gezielten Nachlesen.

**Aufgabe 5 | Kapitel 5**

Eine MAG-Naht zeigt viele kleine Löcher an der Oberfläche. Nenne drei mögliche Ursachen und was du jeweils prüfst.

Meine Notizen

---

---

**Aufgabe 6 | Kapitel 6**

Eine Lötstelle am Stecker sieht körnig und zerklüftet aus, das Lot sitzt als Kugel, der Draht wackelt. Was ist passiert, und wie löst du es richtig?

Meine Notizen

---

---

**Aufgabe 7 | Kapitel 7**

Eine Hartmetallschneide soll auf einen Stahlschaft. Warum lötet man sie, statt sie zu schweißen, und welches Lot nimmst du?

Meine Notizen

---

---

**Aufgabe 8 | Kapitel 8**

Ein Kunststoffgehäuse aus PP soll geklebt werden, der Kleber hält aber nicht. Woran liegt es, und was hilft?

Meine Notizen

---

---

## AUFGABEN 9-9

# Jetzt selbst anwenden

Notiere deinen Rechenweg oder begründe deine Entscheidung. Die Kapitelangabe hilft beim gezielten Nachlesen.

**Aufgabe 9 | Kapitel 9**

Ein Aluminiumblech soll an einem Stahlträger im Freien befestigt werden, nur von einer Seite zugänglich. Welche Verbindung wählst du, und worauf achtest du?

**Meine Notizen**

---

---

## DENKANSTÖSSE 1-8

# Hilfen, bevor du nachsiehst

**Zu Aufgabe 1**

Muss die Verbindung je wieder gelöst werden? Und was überträgt die Kraft - Werkstoff, Form oder Reibung?

**Zu Aufgabe 2**

Was macht die Oxidhaut des Aluminiums, und welches Gas darf mit dem Bad nicht reagieren?

**Zu Aufgabe 3**

Beim Brennschneiden verbrennt das Eisen. Was passiert mit Chromoxid und Aluminiumoxid im Sauerstoffstrahl?

**Zu Aufgabe 4**

Volllinie = Pfeilseite, gestrichelt = Gegenseite. Was bedeuten die Zahlen vor und hinter dem Symbol?

**Zu Aufgabe 5**

Poren sind Gas. Woher kommt Gas im Schmelzbad - und was hält es fern?

**Zu Aufgabe 6**

Körnig und zerklüftet: Hat das Lot benetzt? Was fehlte - Wärme, Flussmittel oder Ruhe?

**Zu Aufgabe 7**

Welche Werkstoffe verträgt Silberlot, und was passiert mit der Hartmetallschneide bei Schweißhitze?

**Zu Aufgabe 8**

Wie gut lässt sich PP vom Klebstoff benetzen (Oberflächenenergie) - und was verändert eine Vorbehandlung?

**LERNTRICK**

Nach einem Hinweis schließt du das Heft kurz. Erkläre dir den Ansatz in eigenen Worten und versuche die Aufgabe erneut. Erst dann mit der Lösung vergleichen.

## DENKANSTÖSSE 9-9

# Hilfen, bevor du nachsiehst

**Zu Aufgabe 9**

Zwei verschiedene Metalle und Feuchte: Welches ist das unedlere? Und wer darf dran, wenn nur eine Seite zugänglich ist?

**LERNTRICK**

Nach einem Hinweis schließt du das Heft kurz. Erkläre dir den Ansatz in eigenen Worten und versuche die Aufgabe erneut. Erst dann mit der Lösung vergleichen.

## SELBSTKONTROLLE 1-3

# Lösungen mit Begründung

## Aufgabe 1

Schrumpfsitz (Kraftschluss über Übermaß), Schweißen oder Kleben mit anaerobem Fügeklebstoff (Stoffschluss). Eine Passfeder wäre formschlüssig, aber lösbar - wenn das Zahnrad nie wieder abgezogen wird, braucht es diese Lösbarkeit nicht.

## Aufgabe 2

WIG mit Wechselstrom und Argon als Schutzgas. Der Wechselstrom bricht die zähe Oxidhaut des Aluminiums auf, das inerte Argon reagiert nicht mit dem Bad, und WIG erlaubt eine schmale, saubere Naht mit guter Kontrolle.

## Aufgabe 3

Baustahl: Brennschneiden (Eisen verbrennt im Sauerstoffstrahl) oder Plasma. Edelstahl: Plasmaschneiden oder Laser - die Chromoxidschicht verhindert das Verbrennen, Brennschneiden liefert keinen sauberen Schnitt.

### MEINE WIEDERHOLUNG

Welche Aufgabe war noch unsicher? Notiere den zugehörigen Begriff oder Rechenschritt. Wiederhole genau diesen Teil im Kapitel und löse die Aufgabe morgen ohne Vorlage erneut.

## SELBSTKONTROLLE 4-6

# Lösungen mit Begründung

## Aufgabe 4

Eine Kehlnaht mit 3 mm a-Maß auf der Gegenseite des Pfeils, unterbrochen: drei Nahtabschnitte zu je 40 mm mit 20 mm Abstand dazwischen.

## Aufgabe 5

Poren: zu wenig Schutzgas (Gasmenge, Düse verstopft, Zugluft prüfen), verunreinigte Fuge (Fett, Rost, Farbe, Feuchte - reinigen und trocknen) oder zu langer Kontaktrohrabstand/zu lange freie Drahtlänge (Abstand verringern). Erst Ursache abstellen, dann nachschweißen.

## Aufgabe 6

Kalte Lötstelle: Die Teile waren zu kalt oder haben sich beim Erstarren bewegt, das Lot hat nicht benetzt. Lötstelle neu erwärmen, frisches Lot mit Flussmittel zugeben, beide Teile ruhig halten, bis das Lot glatt und gleichmäßig erstarrt ist.

### MEINE WIEDERHOLUNG

Welche Aufgabe war noch unsicher? Notiere den zugehörigen Begriff oder Rechenschritt. Wiederhole genau diesen Teil im Kapitel und löse die Aufgabe morgen ohne Vorlage erneut.

## SELBSTKONTROLLE 7-9

# Lösungen mit Begründung

## Aufgabe 7

Hartmetall und Stahl lassen sich nicht miteinander verschweißen, und die Schneide würde durch die Schmelzwärme reißen. Hartlöten mit Silberlot verbindet beide stoffschlüssig bei rund 650 °C, ohne den Grundwerkstoff zu schmelzen.

## Aufgabe 8

PP hat eine sehr niedrige Oberflächenenergie - Klebstoffe benetzen es kaum. Hilfe: Oberfläche vorbehandeln (Primer für Polyolefine, Beflammen oder Plasma) und einen dafür geeigneten Klebstoff verwenden; oder mechanisch fügen.

## Aufgabe 9

Blindniete, weil nur eine Seite zugänglich ist. Gegen Kontaktkorrosion Aluminiumblech und Stahlträger elektrisch trennen (Isolierzwiseilage oder Beschichtung, ggf. Dichtniet). Als Niet Aluminium (mit Edelstahldorn) oder nach Herstellerangabe Edelstahl - nie blanken Stahlniet. Klemmbereich zur Gesamtdicke, Loch 0,1 mm größer als der Niet, Randabstände einhalten.

### MEINE WIEDERHOLUNG

Welche Aufgabe war noch unsicher? Notiere den zugehörigen Begriff oder Rechenschritt. Wiederhole genau diesen Teil im Kapitel und löse die Aufgabe morgen ohne Vorlage erneut.

## NACHSCHLAGEN | DEIN NÄCHSTER SCHRITT

# Begriffe & Weiterlernen

## Fügen

Dauerhaftes Verbinden von zwei oder mehr Teilen - lösbar (Schrauben, Stifte) oder unlösbar (Schweißen, Löten, Kleben, Nieten).

## Stoffschluss

Verbindung auf Werkstoffebene: Die Teile hängen über erstarrte Schmelze, Lot oder Klebstoff zusammen.

## Kraftschluss

Verbindung durch Reibung infolge einer Anpresskraft - hält nur, solange die Kraft wirkt.

## E-Hand-Schweißen

Lichtbogenhandschweißen mit umhüllter Stabelektrode: Die Umhüllung bildet Schutzgas und Schlacke - robust, auch im Freien.

## MAG-Schweißen

Metall-Aktivgas-Schweißen: Drahtelektrode mit Vorschub, aktives Mischgas aus Argon und CO<sub>2</sub> - Standard für un- und niedriglegierte Stähle.

## WIG-Schweißen

Wolfram-Inertgas-Schweißen: nicht abschmelzende Wolframelektrode, Argon als Schutzgas, Zusatzwerkstoff von Hand - sehr saubere Nähte.

## Autogenschweißen

Gasschweißen mit Acetylen-Sauerstoff-Flamme (rund 3 100 °C) und Zusatzstab; heute vor allem zum Hartlöten, Richten und Anwärmen genutzt.

## Brennschneiden

Thermisches Trennen: Der Stahl wird auf Zündtemperatur erhitzt und verbrennt im Sauerstoffstrahl - nur bei un- und niedriglegierten Stählen.

## Plasmaschneiden

Trennen mit einem eingeschnürten Lichtbogen, der ein Gas auf über 20 000 °C erhitzt - für alle leitfähigen Metalle, auch Edelstahl und Aluminium.

## Rückschlagsicherung

Sicherheitseinrichtung an Druckminderer und Brenner, die ein Zurückschlagen der Flamme in Schlauch und Flasche verhindert.

## WEITERLESEN

# Begriffe & Weiterlernen (Fortsetzung)

## Kehlnaht

Schweißnaht im Winkel zwischen zwei Teilen (T-Stoß, Überlappstoß, Eckstoß), mit Dreieckssymbol gekennzeichnet und über das a-Maß bemessen.

## Stumpfnah

Naht zwischen zwei in einer Ebene liegenden Teilen (Stumpfstoß): I-Naht ohne Fase, V-Naht einseitig, X-Naht beidseitig angefast.

## a-Maß

Nahtdicke einer Kehlnaht: Höhe des in den Nahtquerschnitt eingeschriebenen gleichschenkligen Dreiecks;  $a \approx 0,7 \cdot z$  (Schenkellänge).

## Schweißsymbol

Zeichnungsangabe aus Pfeil, Bezugslinie, Grundsymbol (Nahtart) und Maßen; Symbol auf der Volllinie = Pfeilseite, auf der gestrichelten Linie = Gegenseite; Zusatzzeichen: Kreis = umlaufend, Fahne = Baustellennaht.

## Einbrandkerbe

Rinne am Nahtrand, wo der Lichtbogen Grundwerkstoff weggeschmolzen hat, ohne ihn zu füllen - wirkt als Kerbe und Rissstarter.

## Schweißverzug

Verformung der Teile durch das Schrumpfen der abkühlenden Naht; gegensteuern mit Heften, Schweißfolge, wechselseitigem Schweißen und Spannvorrichtungen.

## Pilgerschritt

Schweißfolge gegen Verzug: kurze Nahtabschnitte entgegen der Gesamtrichtung, jeweils ein Stück zurückversetzt.

## Kalte Lötstelle

Lötstelle, bei der das Lot nicht benetzt hat - körnig, zerklüftet, kugelig (bleifreies Lot ist auch gut gelötet seidenmatt); entsteht durch zu wenig Wärme oder Bewegung beim Erstarren.

## Entlötlitze

Kupfergeflecht mit Flussmittel, das geschmolzenes Lot über Kapillarwirkung aufsaugt - zum Entfernen von Lot und Bauteilen.

## WEITERLESEN

# Begriffe & Weiterlernen (Fortsetzung) (Fortsetzung)

**Silberlot**

Hartlot mit Silberanteil (Arbeitstemperatur um 650 °C) für Stahl, Edelstahl, Kupfer, Messing und Hartmetall; nur cadmiumfrei verwenden.

**Arbeitstemperatur**

Temperatur, bei der das Lot vollständig fließt und benetzt; das Flussmittel wird dabei glasig - das Werkstück, nicht die Flamme, schmilzt das Lot.

**Kleben**

Stoffschlüssiges Fügen mit einem Klebstoff, der an den Oberflächen haftet (Adhäsion) und in sich fest ist (Kohäsion) - ohne die Fügeteile anzuschmelzen, auch für verschiedene Werkstoffe.

**Adhäsion**

Haftung des Klebstoffs an der Oberfläche des Fügeteils; braucht saubere, entfettete, oft aufgeraute Flächen.

**Kohäsion**

Innere Festigkeit des Klebstoffs selbst - die Klebschicht darf nicht in sich reißen.

**Klebfuge**

Gestaltung der Klebestelle: überlappend, auf Zug-Scherung belastet, mit dünner, gleichmäßiger Klebschicht; Schälen und Stumpfstoß vermeiden.

**Anaerober Klebstoff**

Klebstoff, der nur unter Luftabschluss im engen Metallspalt aushärtet - zur Schraubensicherung und für Welle-Nabe-Fügungen.

**Blindniet**

Niet, der von einer Seite gesetzt wird: Der Dorn zieht den Schließkopf und reißt an der Sollbruchstelle ab.

**Klemmbereich**

Bereich der Gesamtdicke, für den ein Blindniet ausgelegt ist - zu kurz oder zu lang, und der Schließkopf bildet sich nicht richtig.

## WEITERLESEN

# Begriffe & Weiterlernen (Fortsetzung) (Fortsetzung) (Fortsetzung)

## Clinchen

Durchsetzfügen: Stempel und Matrize drücken zwei Bleche zu einem formschlüssigen Knopf - ohne Loch, Wärme oder Zusatzteil.

## Kontaktkorrosion

Korrosion des unedleren Metalls, wenn zwei verschiedene Metalle leitend verbunden und feucht sind - etwa Stahlniet im Aluminiumblech.

## Pressverbindung

Kraftschlüssige Welle-Nabe-Verbindung über Übermaß: Längspressen (Einpressen) oder Querpressen (Schrumpfsitz durch Erwärmen der Nabe).

## Auf LehrLynx weiterüben

- Fügen online lernen
- Fügen · Wissenscheck
- Sicherheit beim Schweißen und Löten
- Schweiß- und Lötlabor
- Bilderquiz · Schweißsymbole
- Arbeitsblatt erstellen

Die zugehörigen Online-Seiten findest du über den Downloadbereich oder die Website-Suche. Dort lassen sich Fachbegriffe anklicken und Modelle selbst verändern.

### KURZ ERKLÄREN STATT NUR WIEDERERKENNEN

Erkläre einen Begriff mit eigenem Beispiel. Sage anschließend, wo das Beispiel nicht mehr ausreicht. So prüfst du, ob du den Zusammenhang verstanden hast.

## Meine Notizen