

Vorlesung MTI - Fügen

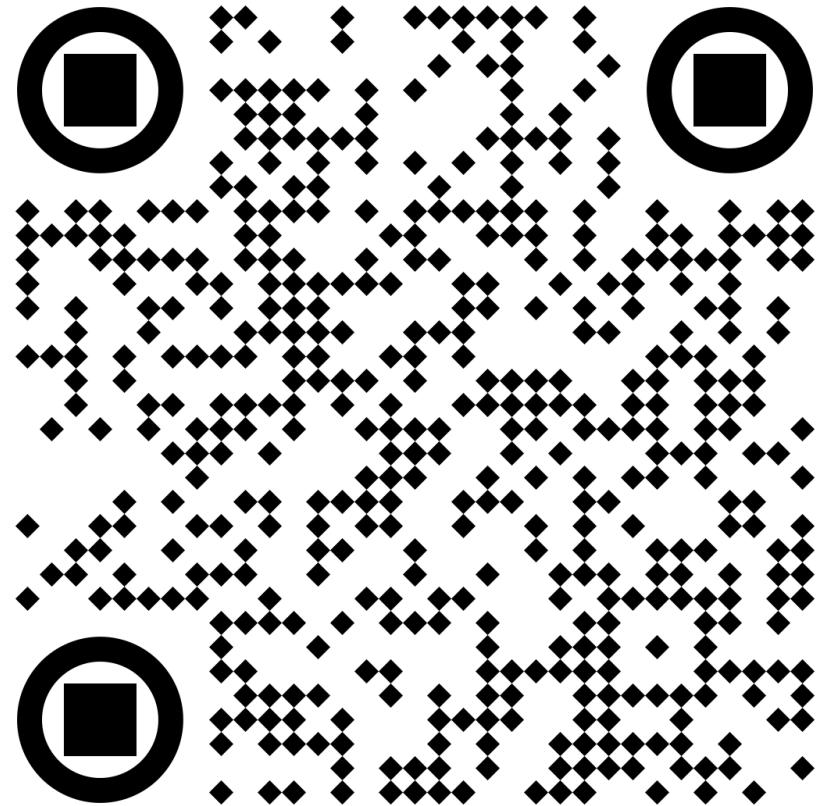
Prof. Dr.-Ing. Christian Willberg^{ID}
Hochschule Magdeburg-Stendal

Kontakt: christian.willberg@h2.de



Definition

Fügen ist das Zusammenbringen von verschiedenen Werkstücken (Bauelementen) geometrisch bestimmter fester Form oder von ebensolchen Werkstücken mit formlosem Stoff- oder Verbindungselementen. Dabei wird der Zusammenhalt zwischen den Elementen jeweils örtlich geschaffen oder vermehrt.



- gefügt werden können alle Arten von Werkstoffkombinationen
- nicht alle Fügeverfahren sind für alle Werkstoffe geeignet

Verfahrensgruppen

- Zusammensetzen
- Füllen
- An- und Einpressen
- Fügen durch Urformen
- Fügen durch Umformen
- Fügen durch Schweißen
 - Pressschweißen
 - Schmelzschweißen

- Fügen durch Löten
 - Weichlöten
 - Hartlöten
 - Hochtemperaturlöten
- Kleben
 - mit physikalisch abbindenden Klebstoffen
 - mit chemisch anbindenden Klebstoffen

Verbindungsarten

Stoffschluss

- Schweißen, Löten, Kleben

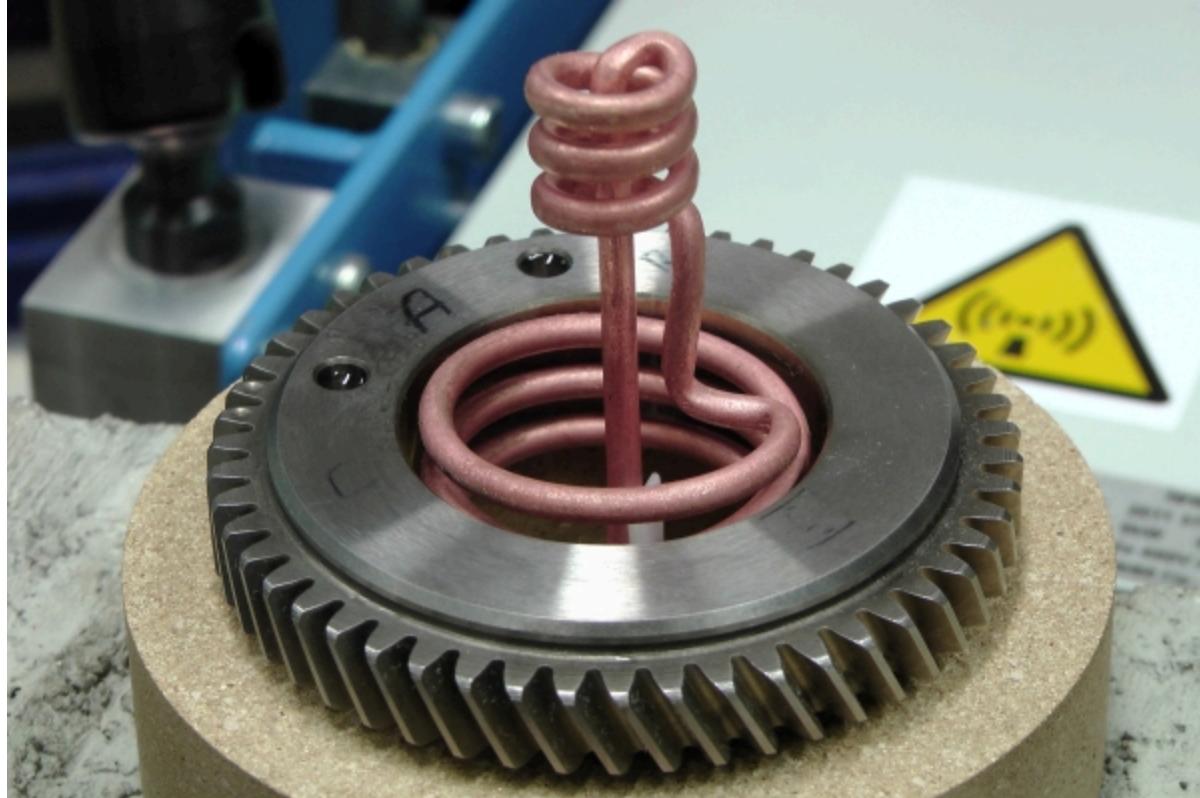
Formschluss

- Nieten, Falzen, UmPRESSen

Kraftschluss

- Schrumpfen, Schrauben, Keilen

Kraftschluss



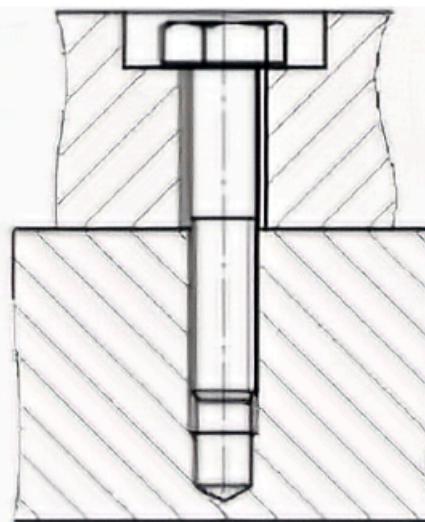
Schraubenverbindungen



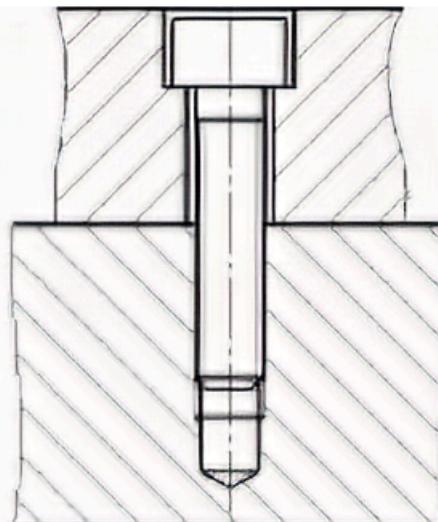
Schraubenverbindungen



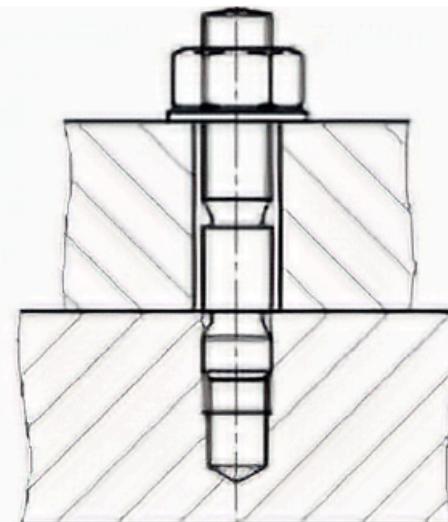
Durchsteckschraube



Sechskantschraube



Zylinderschraube



Stiftschraube

Durchsteckschraube	Einziehschraube, Sechskantschraube, Zylinderschraube	Stiftschraube
Die Verbindung wird erzeugt durch Verspannen mit einer Mutter.	Hier wird das Verspannen realisiert durch den Einzug in ein Gewinde, welches in einem zu verbindenden Objekt enthalten ist.	Bei einer Stiftschraube wird der Schraubenkopf durch eine Mutter ersetzt.
In den Bohrungen ist kein Gewinde enthalten (Durchgangsbohrungen).	Der Schraubenkopf kann zusätzlich versenkt werden oder aufliegen (siehe Durchsteckschraube).	

Quelle

Formschluss

- Verzahnungen
- Nuten und Federn
- Dübel in der Holzbearbeitung:
Dübel, die in entsprechend
gebohrte Löcher eingefügt
werden, um zwei Holzstücke
miteinander zu verbinden.



Stoffschluss

Schweißen

Löten

Kleben

Schweißen

Schmelzschweißverfahren

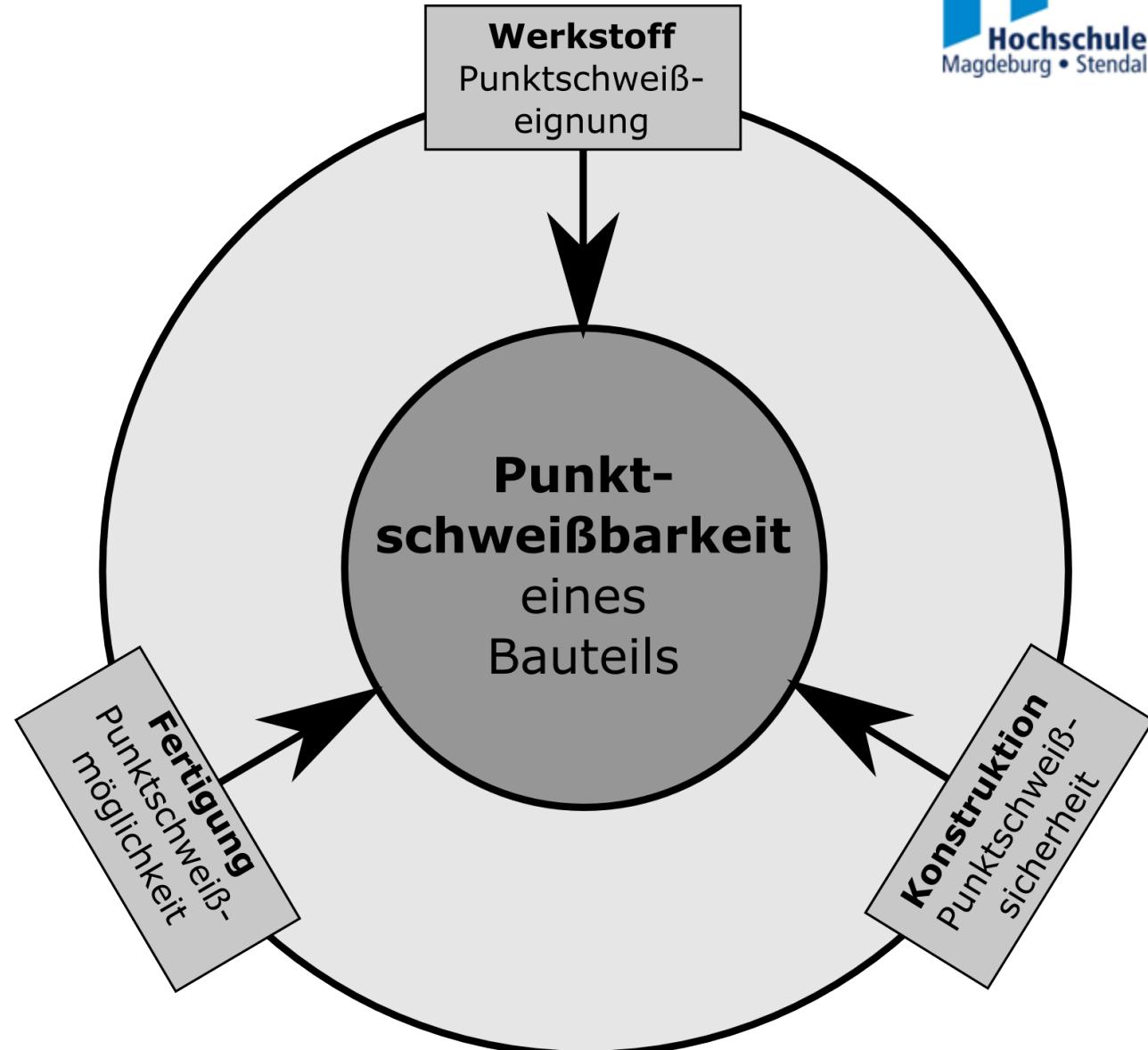
- Wärme
- Stoffschluss durch Schmelzfluss der Fügeteile und des Zusatzwerkstoffes

Pressschweißverfahren

- Druck oder Wärme und Druck
- Plastifizierung und örtliches Verformen der Fügeteile

Schweißbarkeit

- Schweißeignung (Werkstoff <-> Verfahren)
- Schweißsicherheit (Werkstoff <-> Konstruktion)
- Schweißmöglichkeit (Konstruktion <-> Verfahren)



Schweißeignung von Stählen

Abschätzung

- unlegiert $C \leq 0.22\%$ -> schweißbar
- unlegiert bedingt schweißbar $0.22\% \leq C \leq 0.4\%$

Für Legierungen wird das sogenannte Kohlenstoffäquivalent bestimmt

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15}$$

- $CE \leq 0.4\%$ Schweißeignung

Schweißsicherheit

- Konstruktive Gestaltung
 - Kraftflüsse im Bauteil
 - Anordnung von Schweißnähten
 - Werkstückdicke,
 - Kerbwirkung
 - Steifigkeitsunterschiede

Sicherheit wird verbessert, wenn

- keine Umlenkung des Kraftflusses
- ein- oder zweiachsiger Spannungszustand
- Kerben sind zu vermeiden
- kontinuierliche Übergänge bei Querschnitten

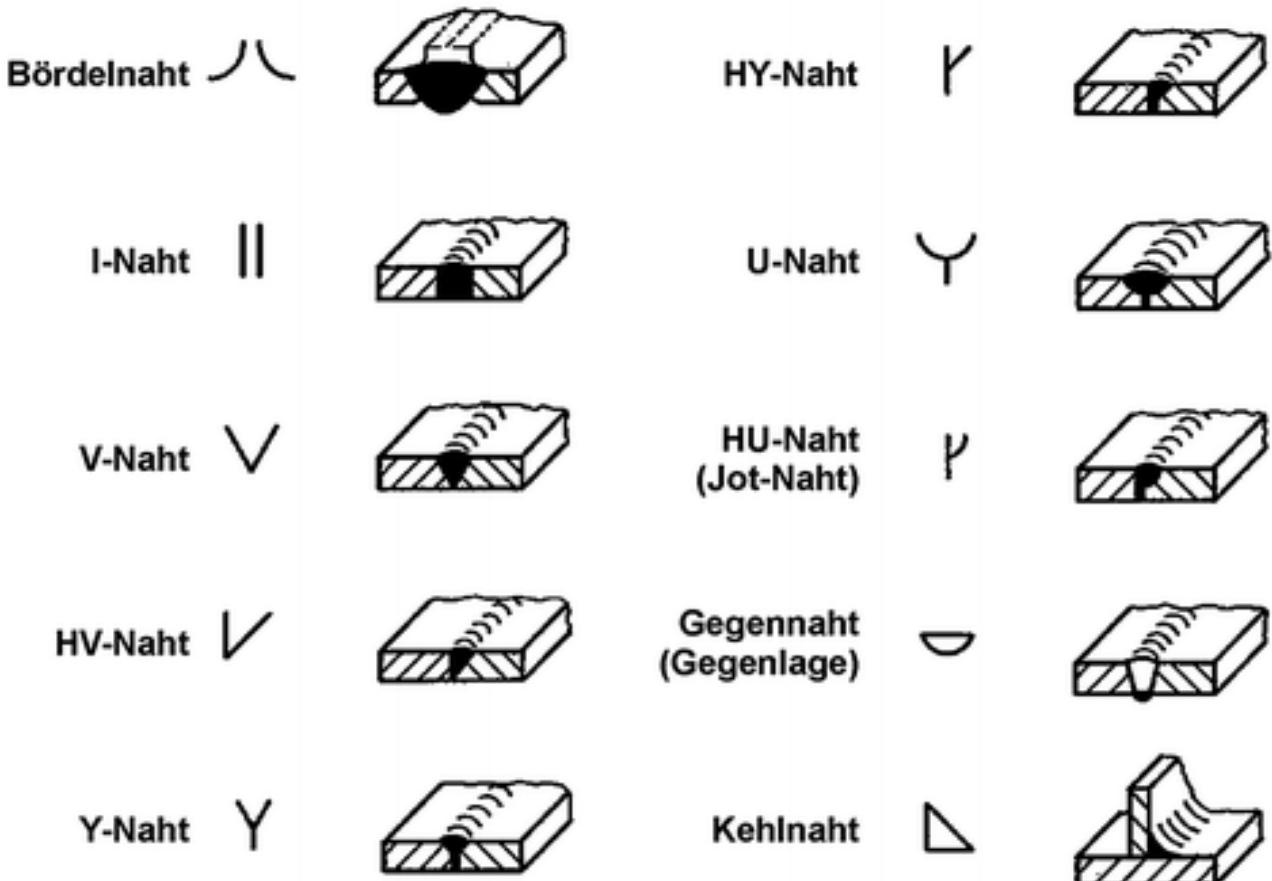
Belastungen wie Temperaturen, Schwingungen, etc. sind zu berücksichtigen.

Schweißmöglichkeit

- unter den vorhandenen Bedingungen muss die Schweißung fachgerecht durchgeführt werden können
- Vorbereiten (Fugenform, Stoßart, Vorwärmen, Schweißverfahren, etc.)
- Ausführen (Wärmeeinbringung, Wärmeführung, Schweißfolge)
- Nachbereiten/Nachbehandeln (Richten, Schleifen, Wärmebehandlung, etc.)

Fugen

- Schweißquerschnitte unterscheiden sich je nach Verfahren

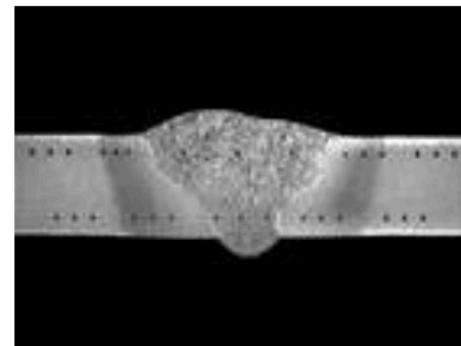




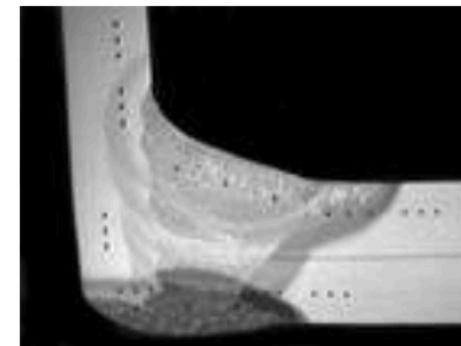
Aluminium-Verbindung V -
Schweißnaht



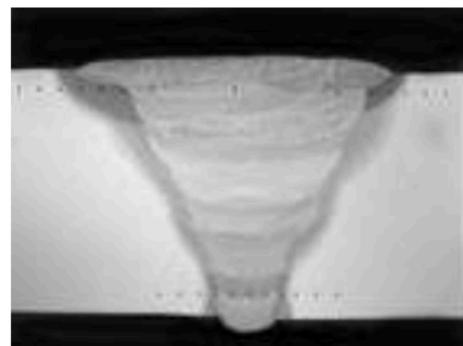
dünne Bleche (Acryl -
Einbettung für
Härteprüfung)



Verbindung gerader
Enden zweier Bleche



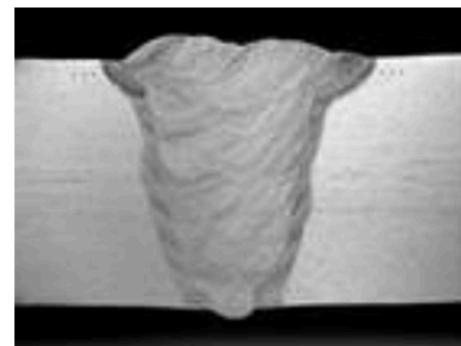
Makroskopisches Foto
Schweißnaht und
Härteprüfung



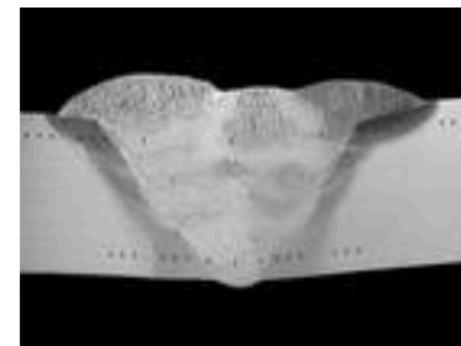
Härteprüfung zu hoher
Härte (vorzeitige
Rissbildung)



Makroaufnahme mit 3D-
Effekt Oberkante



Makro
Schweißnahtprüfung



Schweißnaht Stumpfstoß
V-Naht

Verfahren

- Lichtbogenschweißen
 - Schutzgasschweißen
 - Unterpulverschweißen
- Gasschmelzschweißen

Lichtbogenschweißen

- Lichtbogen brennt zwischen einer abschmelzenden Metallelektrode und dem Werkstück
- die Elektrode ist gleichzeitig der Schweißzusatz
- kann mit und ohne Schutzgas (Argon, Helium, oder Gemische) durchgeführt werden

Schutzgasschweißen

MSG - Metall Schutzgasschweißen

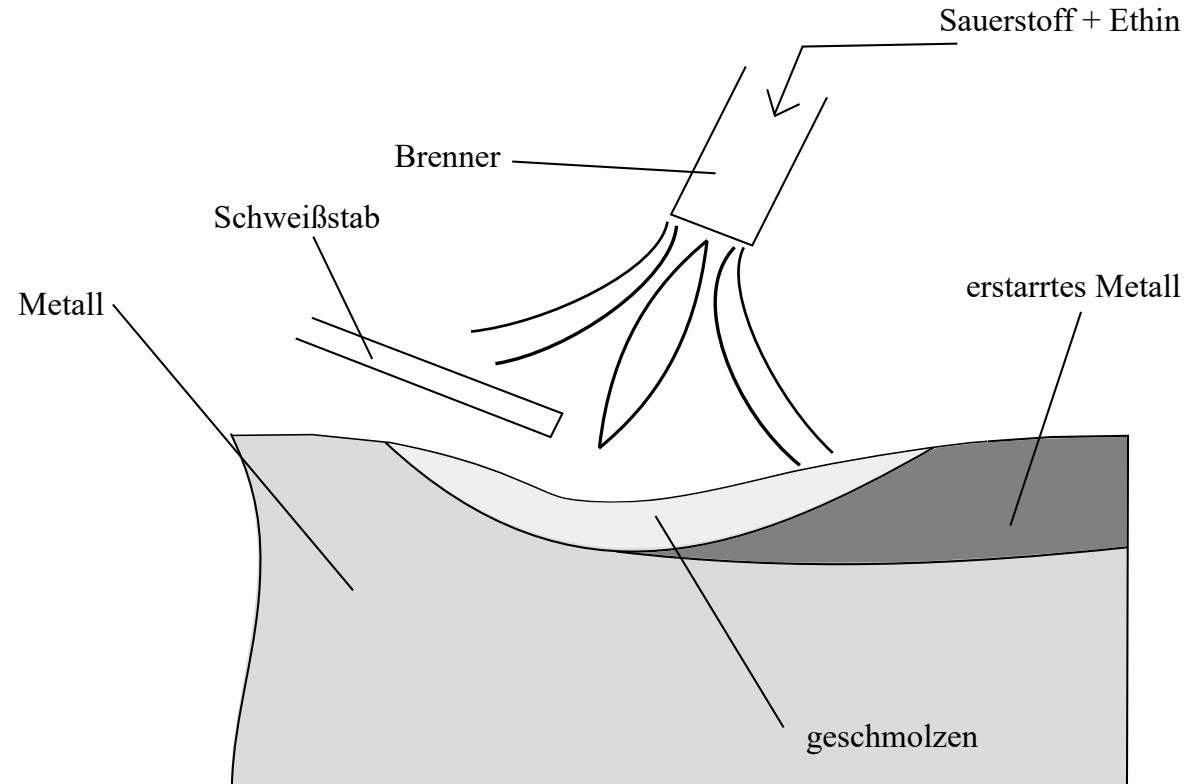
- unterteilt in MIG (Aluminium, Kupfer, Nickel, ..)
- MAG unlegierte und niedrig legierte und hoch legierte Stähle
- Elektrode wird abgeschmolzen

WIG - Wofram Internet Schweißen

- Lichtbogen brennt zwischen nicht abschmelzender Wolfram Elektrode und dem Werkstück
- Zusatzstab sorgt Schweißzusatz

Gasschmelzschweißen / Autogenschweißen

- wird nur noch selten genutzt
- hohe Betriebskosten und geringe Produktivität
- im Handwerk oder auf Baustellen aufgrund der geringen Anschaffungskosten im Einsatz

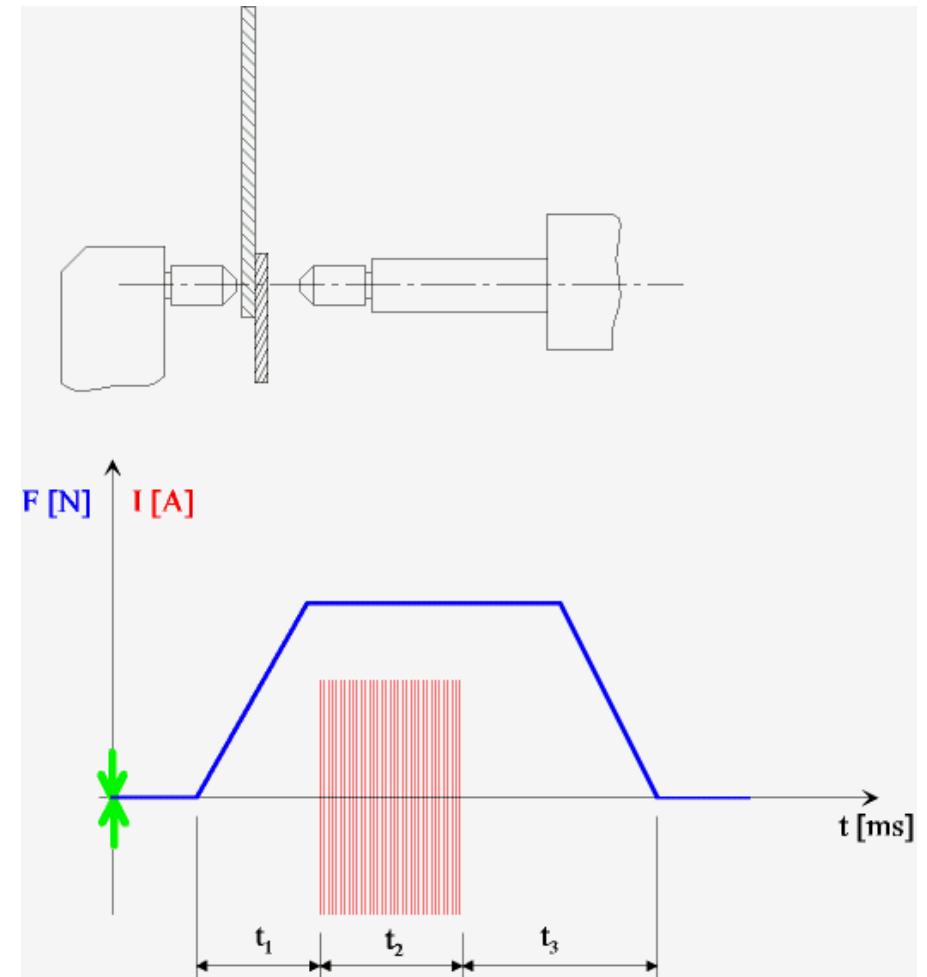


Widerstandsspressschweißen

- nutzt den elektrischen Widerstand zum heizen

$$Q = \int_0^{t_s} I^2 R dt = W_{elektrisch}$$

- oft bei Dünnblechen im Einsatz



Besonderheiten des Verfahrens

Vorteile	Nachteile
keine Nahtvorbereitung	große Kerwirkung in einem Punkt
kurze Schweißzeiten	geringe Dauerfestigkeit
gute Automatisierbarkeit	Kraftumlenkung infolge der Überlappungsverbindung
kleine Wärmeflusszonen	schlechte Prüfbarkeit

Reibschweißen

- notwendige Wärme wird durch Reibung erzeugt
- **rotierende** oder oszillierende Bewegung (**Ultraschallschweißen**)
- sehr gute Festigkeitseigenschaften
- es bildet sich ein feinkristalines Gefüge aus
- Ermüdungsverhalten ist gut
- die konstruktive Gestaltung spielt bei Reibschweißbauteilen eine große Rolle

Löten

- ein Material wird aufgeschmolzen und verbindet die Werkstücke

Vorteile

- Verbinden von verschiedenartigen Werkstoffen
- Verbinden von Nichtmetallen
- geringer Verzug und Wärmeeintrag
- kein Aufschmelzen des Grundwerkstoffs
- gute elektrische und Wärmeleitfähigkeit der Lötstellen

Nachteile

- Korrosionsgefahr aufgrund der Potentialunterschiede zwischen Lot und Grundwerkstoff
- Festigkeitseinbußen bei steigender Temperatur

- bis 450 °C: Weichlöten
- ab 450 °C: Hartlöten
- über 900 °C:
Hochtemperaturlöten



Lote

- meist Legierungen und selten reine Metalle
- Aufgabe die Grundwerkstoffe zu verbinden
- Lotschmelztemperatur muss niedriger sein als vom Grundwerkstoff
- wenigstens ein Legierungselement des Lots muss mit dem Grundwerkstoff einen Mischkristall bilden
- das Lot muss in der Lage sein den Grundwerkstoff zu benetzen

Verfahren

Kolbenlöten

Induktionslöten

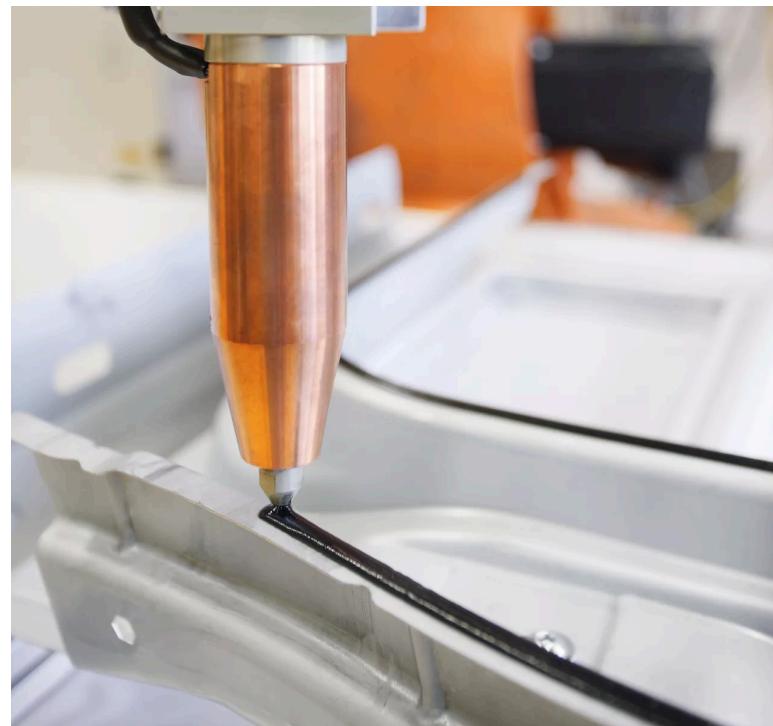
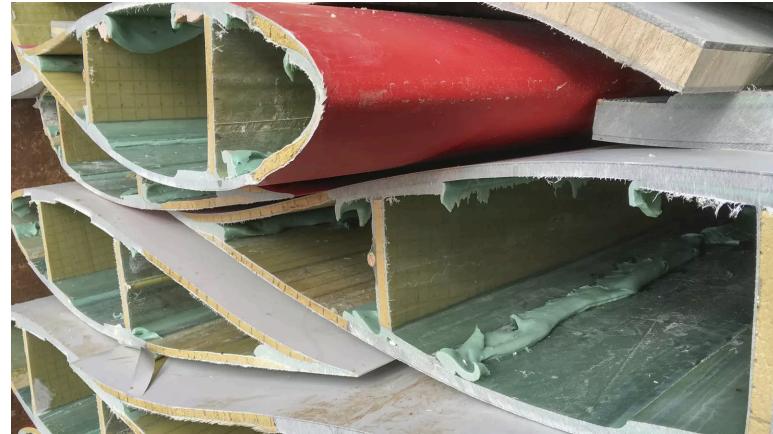
Widerstandslöten

- direkt: Strom fließt über die Lötstelle
- indirekt: Strom fließt nicht über die Lötstelle

...

Kleben

Kohäsion - Klebstoff muss genug Festigkeit haben
Adhäsion - Klebstoff muss mit genügend Festigkeit am Fügeteil angebunden sein



Vorteile

- nahezu alle Werkstoffkombinationen können gefügt werden;
- flächigen Kraftübertragung erzeugt eine gleichmäßige Verteilung der Kräfte
- große Klebefläche => relativ hohe Kräfte können zwischen dünnen Fügeteile übertragen werden $\sigma = \frac{F}{A}$
- elastischen Klebstoffe erlauben kleine Relativbewegungen der Fügepartner, z. B. können Fügeteildehnungen bei Temperaturschwankungen ausgeglichen und Schwingungen effektiv gedämpft werden
- geringe oder keine Wärmebelastung
- Fügetoleranzen können ausgeglichen werden
- ...

Nachteile

- in der Regel wird eine Sofortfestigkeit nicht erreicht
- je nach chemischer Basis eingeschränkte thermische und chemische Belastbarkeit/Beständigkeit
- die mechanischen Eigenschaften sind temperaturabhängig;
- z. T. eine gewisse Neigung zum Kriechen;
- Klebungen altern
- eine Wiederlösbarkeit der Verbindung ist häufig nicht ohne Beschädigung mindestens eines der Fügeteile möglich

Oberflächenbehandlung

- Oberfläche hat oft Verunreinigungen wie
 - Staub, Metallabrieb $\sim 10^4 – 10^5$ nm
 - Öle Fette ~ 3 nm
 - Reaktionsschichte $\sim 1 – 10$ nm
 - Grundwerkstoff mit verändertem Gefüge
- Reinigen erfolgt
 - chemisch
 - mechanisch
 - entfetten

**Geruch/VOC
Emission**

Farbe

**Umweltschutz/
Arbeitssicherheit**

Fügeteile

Werkstoff

Oberflächenqualität

Oberfächenvorbehandlung

Abmessungen

Ökonomie

- Materialkosten
- Prozesskosten
- Investitionskosten
- Personalkosten

Stückzahlen

Bauteilgröße

Taktzeit

Festigkeitseigenschaften
elastisch/steif

Klebstoff- auswahl

Belastung z.B. durch

Temperatur
Mechanisch
Feuchtigkeit
Chemikalien
Strahlung

- statisch/dynamisch
- kurzzeitig/lang andauernd
- einmalig/mehrmals

**dem Klebprozess
vor- und nach-
gelagerte Prozesse**

Applikationstechnik

- Sprühapplikation
- Raupenapplikation
- Flächige Beschichtung

Verfestigungsbedingungen

- Raumtemperatur
- wärmebeschleunigt
- heißhärtend
- Licht-härtend

Prozesssicherheit

**Zusätzliche
Eigenschaften**

z.B. thermische oder
elektrische Leitfähigkeit
Dichtigkeit

Fließeigenschaften
z.B. Viskosität, Fließgrenze,
selbstverlaufend/standfest

Klebstofftechnologie

- physikalisch verfestigend
- chemisch verfestigend
 - 1K-/2K-
- Haftklebstoff

Prüfung

- Kleben ist ein sogenannter „spezieller Prozess“, d. h. eine Prüfung ist nicht vollständig durch zerstörungsfreie Methoden realisierbar
- Sicherheit durch robusten und reproduzierbaren Klebprozess
- Kissing Bonds

- Reaktionsauslösung ist abhängig vom Klebstoff
 - Temperatur, Zugabe eines Härters, Feuchtigkeit, Strahlung, ...
- Automatisierung über **Roboter** möglich

Fügen durch Umformen

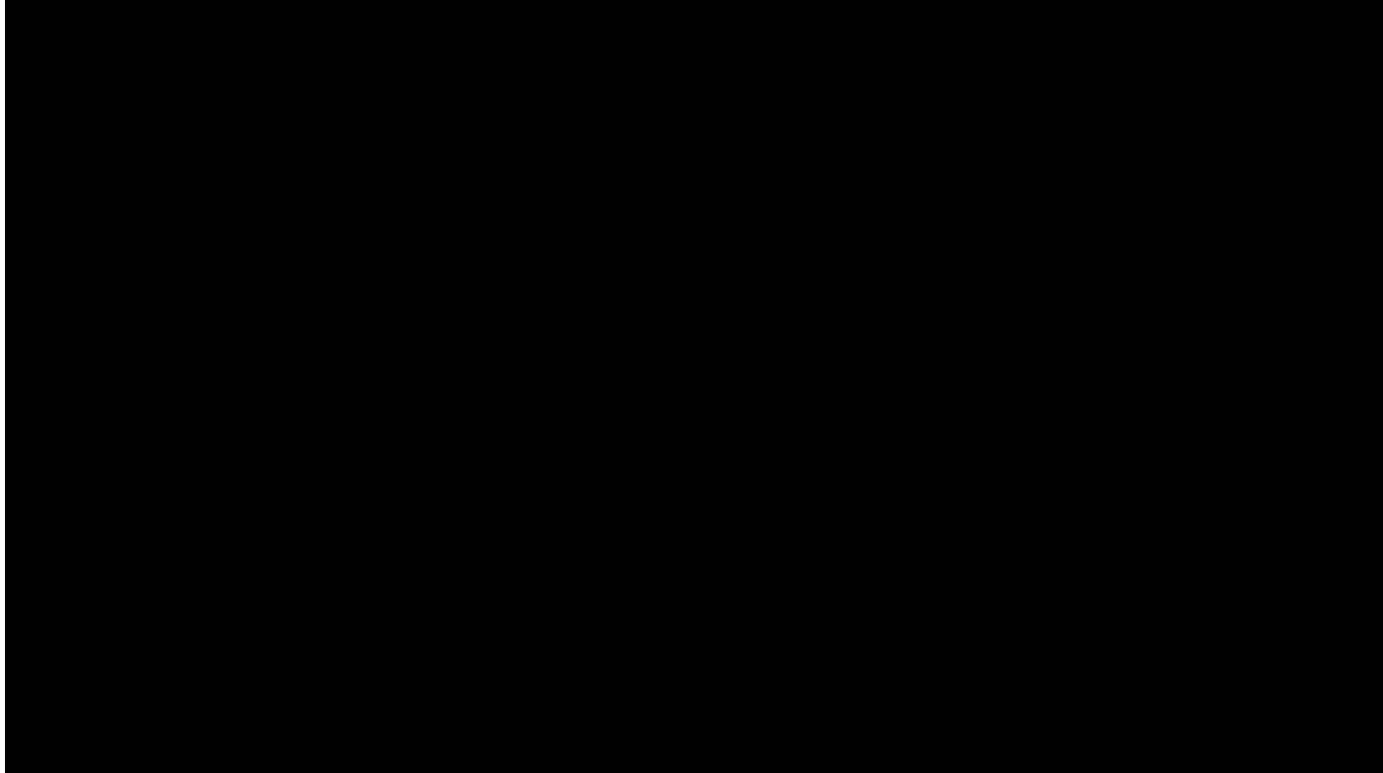
- Vorteile
 - kein Wärmeeintrag
 - große Vielfalt bei den Werkstoffen/-kombinationen
 - gute ökologische Verträglichkeit
 - einfache Qualitätskontrolle
 - hohe Wirtschaftlichkeit
- Nachteile
 - kaum Normungen
 - punktförmige Verbindung

Verfahren

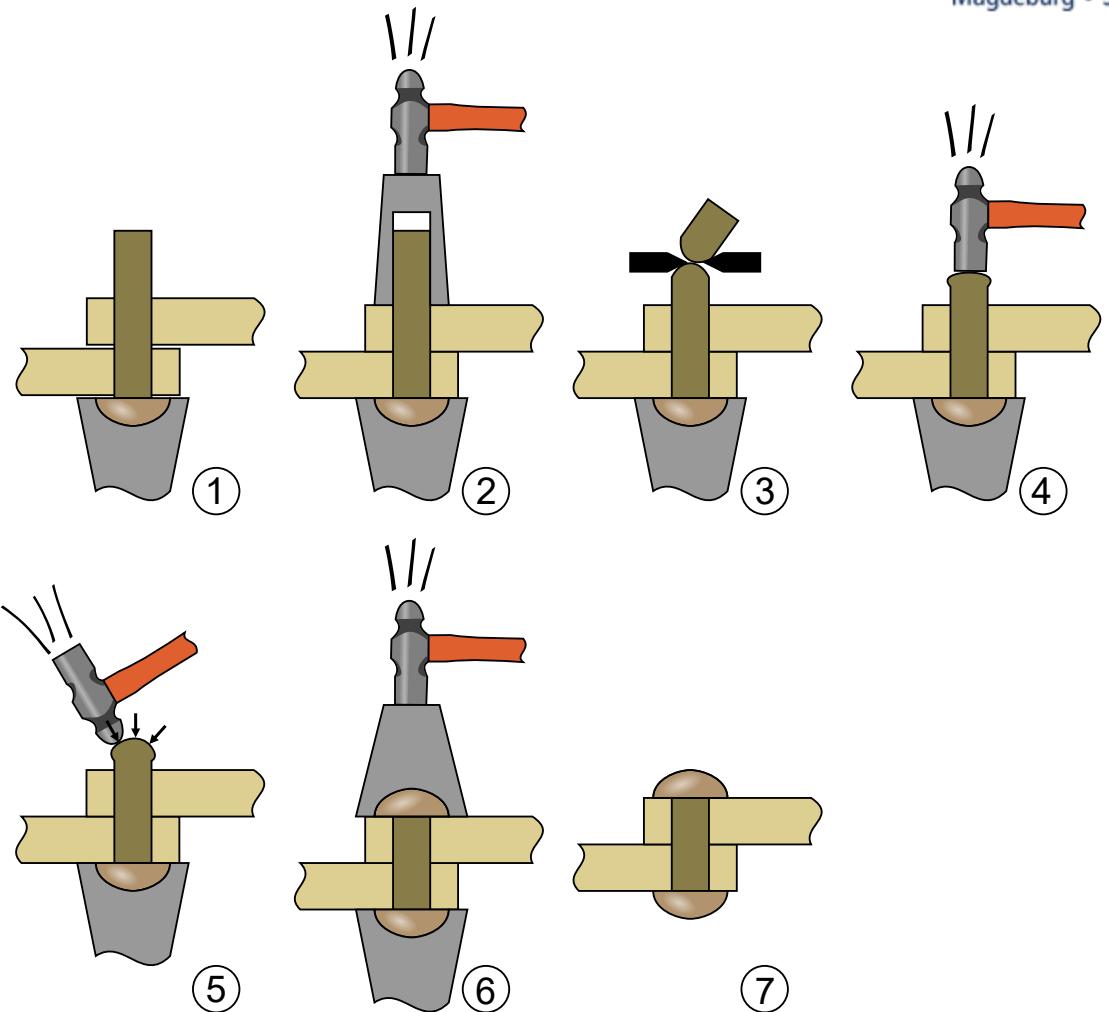
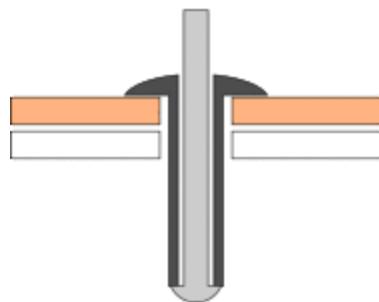
- Bördeln
- Falzen
- Verlappen

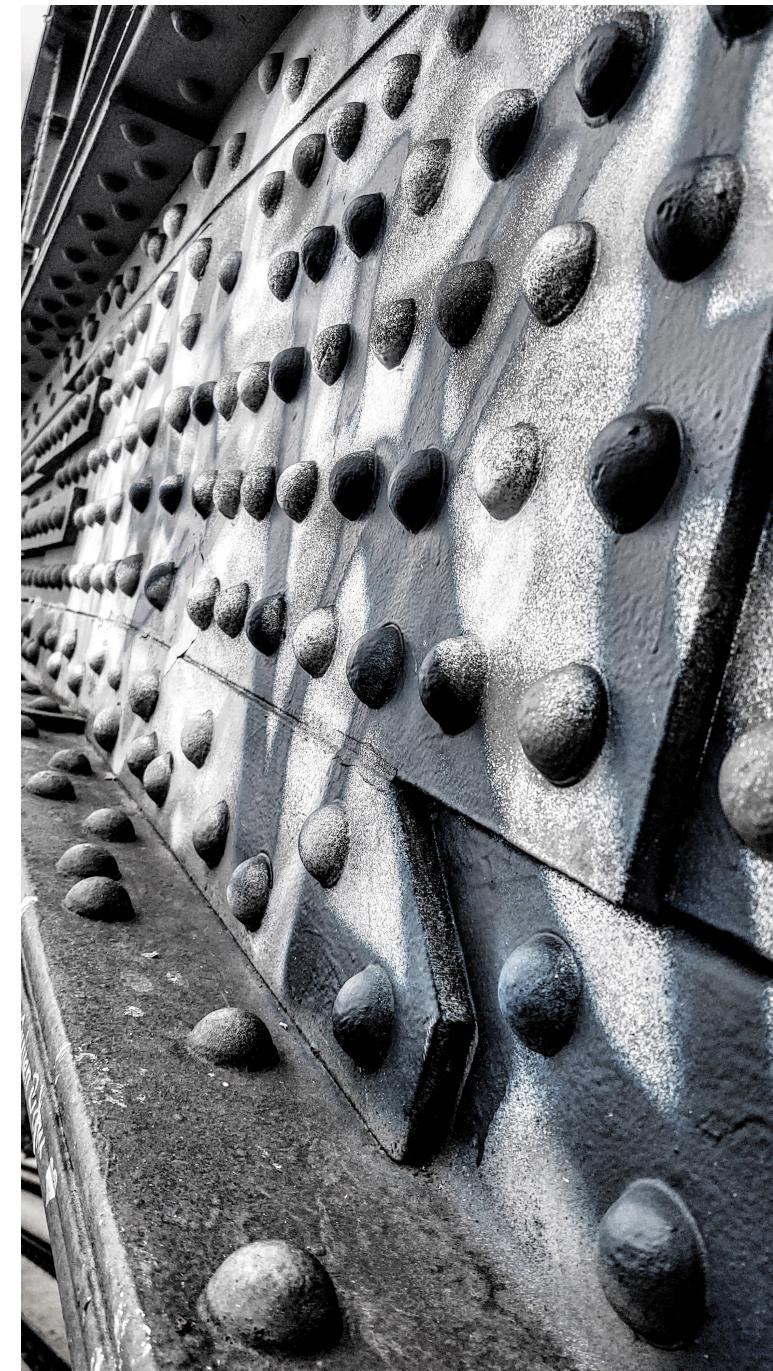
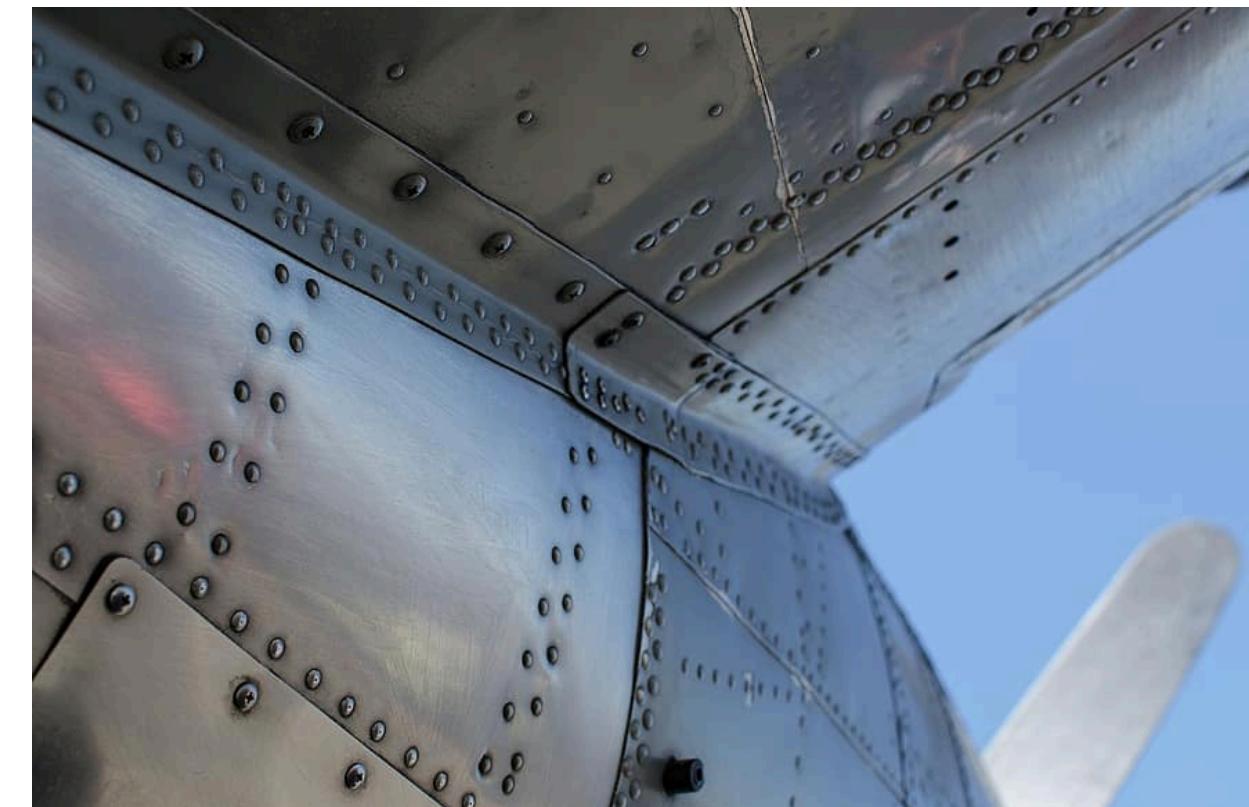


Durchsetzfügen



Stanznieten / Niet





Referenzen

Birgit Awiszus et al. (2007) "Grundlagen der Fertigungstechnik"