

# FERTIGUNGSTECHNIK



Wintersemester 2020/21

# GLIEDERUNG DER VORLESUNG

1	Einführung: Grundlagen der Fertigungstechnik		
2	Die verschiedenen Fertigungsverfahren		
2.1	Urformen (Gießen, Additiv, ...)	2.4	Fügen (Schweißen, Löten, ...)
2.2	Umformen (Massiv-, Blech-, ...)	2.5	Beschichten
2.3	Trennen (Drehen, Fräsen, ...)	2.6	Stoffeigenschaft ändern
3	Messen in der Fertigung		
4	Prüfungsvorbereitung		

# FÜGEN – DIN 8580

Zusammenbringen von Werkstücken auch mit formlosem Stoff.

Der Zusammenhalt der Teilchen bzw. Bestandteile wird vermehrt. Das heißt, die Werkstücke werden miteinander verbunden oder erhalten eine fest anhaftende Oberflächenschicht.

Für den Maschinenbau (sowie Fahrzeug- bzw. Apparatebau) relevante Verfahren sind die Schweiß-, Löt- und Klebeverfahren.

# EINTEILUNG

## Fügen

Zusammensetzen  
(Einlegen)

Füllen (Einfüllen)

An- und Einpressen  
(Schrumpfen)

Fügen durch Urformen  
(Ausgießen, Umgießen mit  
Kunststoff)

Fügen durch Umformen  
(Nieten, Bördeln)

Fügen durch Schweißen  
(schmelzverbindungs-  
schweißen)

Fügen durch Löten  
(Weichlöten, Hartlöten)

Kleben

Textiles Fügen

# SCHWEISSEN

Schweißverbindungen sind **stoffschlüssige** Verbindungen, die durch die Wirkung von Adhäsions- oder Kohäsionskräften zwischen den Fügeteilen entstehen. Die Verbindung ist **unlösbar**, die Fügeteile werden (im Gegensatz zu den Niet- und Schraubenverbindungen) beim Lösen zerstört.

Grundlage für das Schweißen ist eine schweißgerechte Konstruktion nach wirtschaftlichen und technischen Aspekten. Weiter müssen ausreichende Zähigkeitseigenschaften der zu fügenden Werkstoffe vorhanden sein.

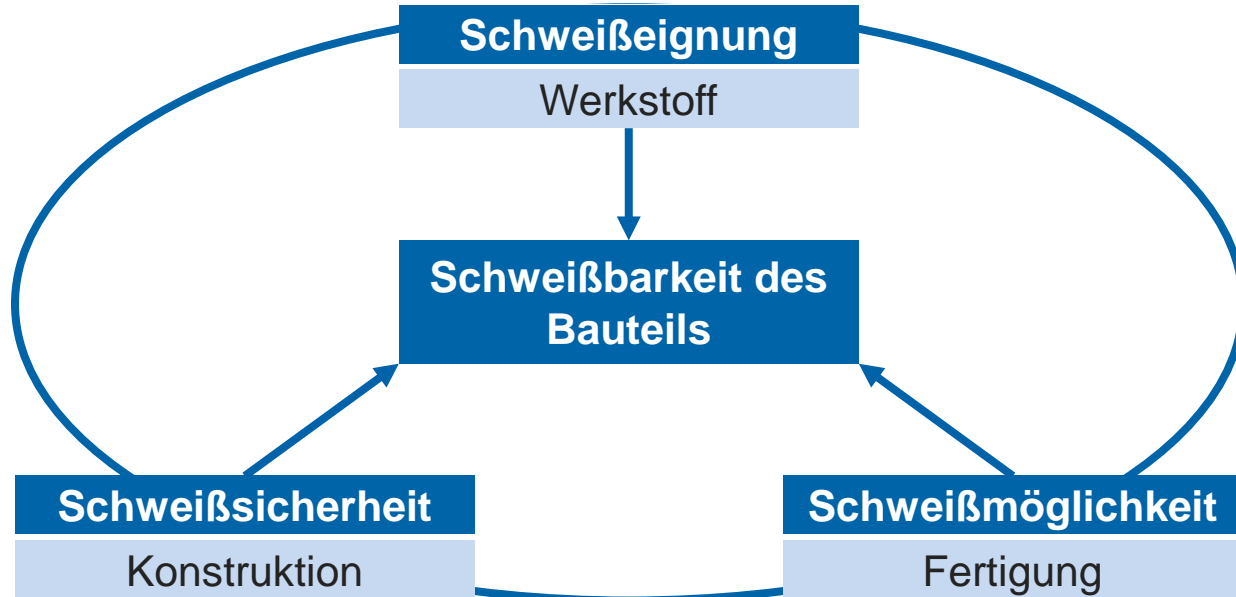
Vorteile werden bei größeren Konstruktionen erzielt, vor allem:

- Materialeinsparung
- Größere Konstruktive Freizügigkeit
- Reduzierung des Risikos von Ausschuss
- Erleichtertes Ausbessern

(Vgl.: kleinere Bauteile in großer Stückzahl → Vorzugsverfahren: Gießen)



# DARSTELLUNG DER SCHWEISSBARKEIT I



## 2.4 Fügen

# DARSTELLUNG DER SCHWEISSBARKEIT II

Schweißbarkeit eines Bauteils hängt vom **Werkstoff**, von der **Konstruktion** und der **Fertigung** ab.

Zwischen Einflussgrößen und Schweißbarkeit stehen die Eigenschaften:

- Schweiß**eignung** des Werkstoffes
- Schweiß**sicherheit** der Konstruktion
- Schweiß**möglichkeit** der Fertigung.

Die Schweiß**eignung** des Werkstoffes wird beeinflusst durch chemische Zusammensetzung, Erschmelzungs- und Vergießungsart.

## 2.4 Fügen

# DARSTELLUNG DER SCHWEISSBARKEIT III

Gute Schweißeignung:

Baustähle nach DIN 17100, in Gütegruppe 3 und 2 z. B. **S275JR**

Eingeschränkte Eignung:

**S235JR** → Festigkeitsklasse A ← **S275JR**

Mit besonderen Maßnahmen  
schweißbar:

**E295, E335** } Festigkeitsklasse B  
**E360**

Allgemeine Baustähle;  
Zahl entspricht der Streckgrenze

Kaum schweißbar:

Niedrig legierte Stähle:

gut schweißbar, wenn C-Gehalt < 0,22 %, P- und S-Gehalt < 0,06 %.  
Austenitische Stähle sind besser schweißbar als ferritische.

**GGL:**  
**GGG und GTW:**  
**GTS:**

Reparaturschweißen  
Festigkeitsschweißungen möglich  
nicht schweißbar

**Gusseisen**  
Lamellengraphit (GGL)  
Kugelgraphit (GGG)  
Temperguss  
Weiß (GTW)  
Schwarz (GTS)

Al-Legierungen:

gut schweißbar (Bsp. AlMg<sub>3</sub>)

Cu und Cu-Legierungen:

gut schweißbar

Messing:

Schweißbarkeit abnehmend mit steigendem Zn-Gehalt

## 2.4 Fügen

# VORAUSSETZUNGEN

Hoher Anspruch an **Sauberkeit** der Füge­teile besonders im Bereich der Schweißnaht (frei von Rost, Fett, Öl, Farben, Feuchtigkeit, Belägen, Bewüchsen)

### Herausforderung:

Wegen der rapiden Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeit ist das Schmelzbad nur wenige Sekunden flüssig. Das bedeutet, dass entstehende Gase der umgebenden Atmosphäre sowie die aus den Verunreinigungen nicht vollständig entweichen.

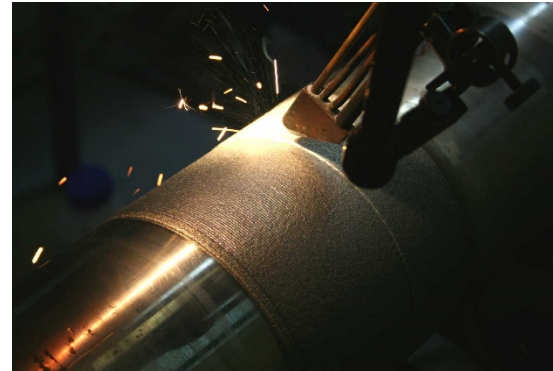
Folglich können Poren bzw. metallurgische Mängel (Abbrand der Legierungselemente, Zähigkeitsverlust, etc.) entstehen.

# SCHWEISSVERFAHREN

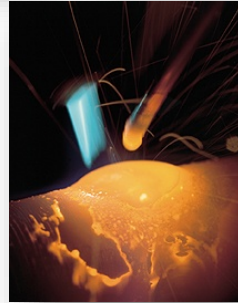
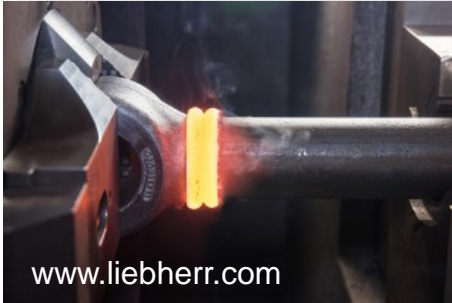
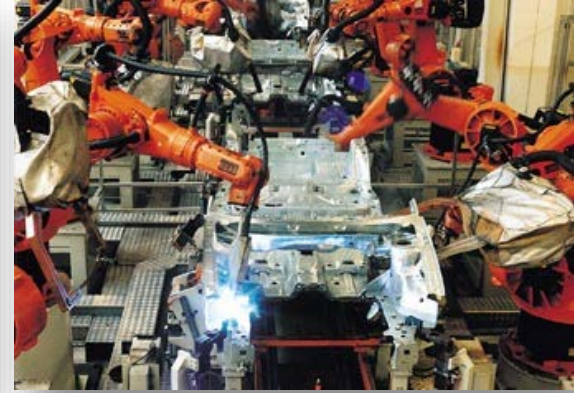
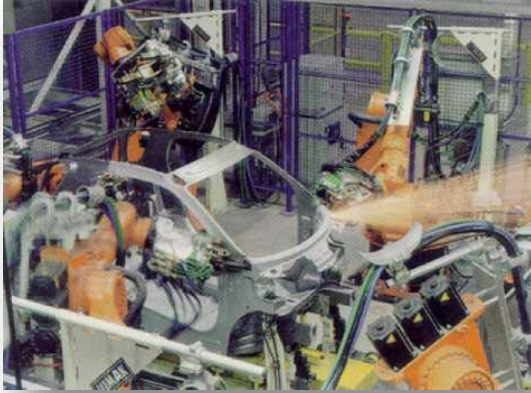
## Verbindungsschweißen



## Auftragschweißen



# VERBINDUNGSSCHWEISSEN



## 2.4 Fügen

# VERBINDUNGSSCHWEISSEN

(Verbindungs-) Schweißen ist das Vereinigen von Werkstoffen unter Anwendung von Wärme und/oder Kraft ohne oder mit Schweißzusatzwerkstoffen. Es kann durch Schweiß-Hilfsstoffe, z.B. Pasten, Pulver oder Gase, erleichtert werden. Die Verbindung ist stoffschlüssig; sie beruht auf der Wirkung zwischenatomarer und zwischenmolekularer Kräfte.

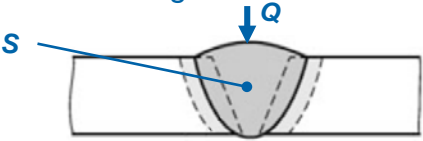
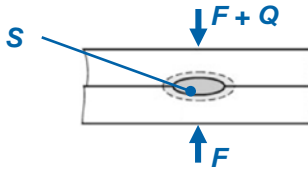
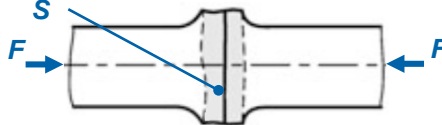
Verfahren:

- **Schmelzschweißen** (Schweißen bei örtlich begrenztem Schmelzfluss ohne Krafteinwirkung)
- **Pressschweißen** (Schweißen mit Krafteinwirkung)
- **Kaltpressschweißen** (Nur Krafteinwirkung, Verbindung entsteht im festen Zustand (Sprengschweißen))

Verbindungsschweißen



## 2.4 Fügen

# VERBINDUNGSSCHWEISSEN – GEGENÜBERSTELLUNG

Schmelzschweißverfahren	Pressschweißverfahren	Kaltpressschweißen
z. B. Gasschweißen Lichtbogenschweißen Schutzgasschweißen 	z. B. Widerstandspunktschweißen 	z. B. Sprengschweißen (dynamisches Verfahren) 

Die Schweißverbindung kommt zustande durch die Wirkung von:

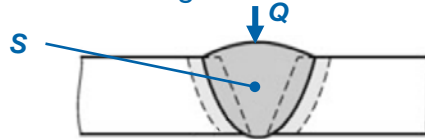
<b>Wärme Q</b> z. B. Gasflamme Lichtbogen Elektronenstrahl Lichtstrahl z. B. Laser	<b>Wärme Q und Kraft F</b> z. B. Stromwärme Reibung	<b>Kraft F</b> z. B. Statischer oder dynamischer Druck
--	---	---

Die Schweißzone **S** ist der örtliche begrenzte Bereich, in dem der Werkstoff während des Schweißens in einen plastisch leicht verformbaren (  ) und (oder) flüssigen Zustand (  ) gebracht wird.

# VERBINDUNGSSCHWEISSEN

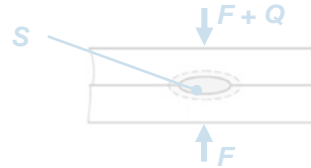
### Schmelzschweißverfahren

z. B. Gasschweißen  
Lichtbogenschweißen  
Schutzgasschweißen



### Pressschweißverfahren

z. B. Widerstandspunktschweißen



### Kaltpressschweißen

z. B. Sprengschweißen  
(dynamisches Verfahren)



Die Schweißverbindung kommt zustande durch die Wirkung von:

#### Wärme $Q$

z. B. Gasflamme  
Lichtbogen  
Elektronenstrahl  
Lichtstrahl z. B. Laser

#### Wärme $Q$ und Kraft $F$

z. B. Stromwärme  
Reibung

#### Kraft $F$

z. B. Statischer oder dynamischer  
Druck, Reibung  
(oszillierende oder rotierende  
Relativbewegung und  
statischer Druck)

Die Schweißzone  $S$  ist der örtliche begrenzte Bereich, in dem der Werkstoff während des Schweißens in einen plastisch leicht verformbaren (  ) und (oder) flüssigen Zustand (  ) gebracht wird.

# SCHMELZSCHWEISSEN

**Schmelzschweißen** ist Schweißen bei örtlich begrenztem Schmelzfluss ohne Anwendung von Kraft, mit oder ohne Schweißzusatz [DIN 1910].

Schweißverfahren für Metalle werden nach Art der Erwärmung, des Schutzes der Schweißstelle und der Zuführung des Schweißzusatzwerkstoffes unterschieden. Ein äußerst wichtiger Gesichtspunkt, insbesondere beim Schmelzschweißen, ist die Beachtung der entsprechenden *Unfallverhütungsvorschriften* (UV-Strahlung, Explosionsgefahr, giftige Gase).

# GASSCHMELZSCHWEISSEN

Das Schweißbad beim Gasschmelzschweißen (auch **Autogenschweißen** genannt) entsteht durch unmittelbares örtlich begrenztes Einwirken einer Brenngas-Sauerstoff- oder Brenngas-Luft-Flamme. Wärme und Schweißzusatz werden i.a. getrennt zugeführt [DIN 1910].

Für Eisenwerkstoffe wird als Brenngas Acetylen ( $C_2H_2$ ) im Volumenverhältnis 1:1 mit Sauerstoff gemischt. Das Gasschmelzschweißen wird meistens als Handschweißen im handwerklichen Bereich eingesetzt. Hierfür kommt häufig der Injektorbrenner zum Einsatz.

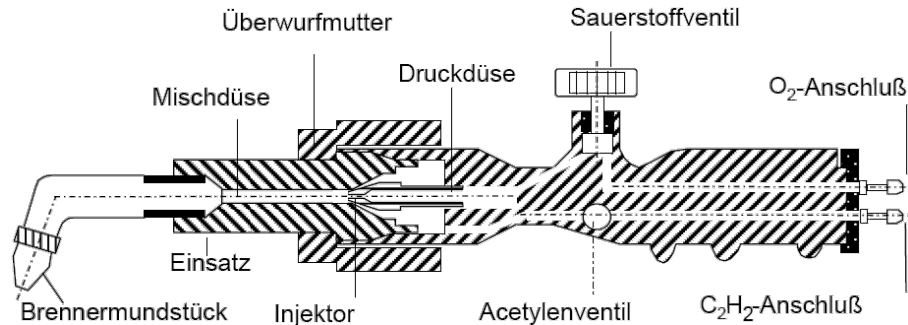


## 2.4 Fügen

# INJEKTORBRENNER

Die häufigsten Schweißbrenner arbeiten nach dem Injektorprinzip. Der aus der Düse des Injektors mit hoher Geschwindigkeit austretende Sauerstoff erzeugt einen Unterdruck, wodurch das Acetylen angesaugt wird. In der Mischdüse werden die beiden Gase homogen gemischt.

Die Arbeitsdrücke (Überdrücke) betragen beim Acetylen 0,2 bar und beim Sauerstoff 2,5 bar. Sie werden durch Druckminderer an den Flaschen eingestellt. Beim Zünden der Flamme wird zuerst das Sauerstoffventil und dann das Acetylenventil geöffnet, beim Löschen der Flamme wird zuerst das Acetylenventil geschlossen.



## 2.4 Fügen

# ACETYLEN

**Acetylen** bzw. **Ethin** ist ein farbloses Gas mit der Summenformel  $C_2H_2$ .

Acetylen verbrennt an der Luft mit leuchtender, stark rußender Flamme. Die Flamme wird bis zu  $1.900\text{ °C}$  heiß, bei der Verbrennung mit reinem Sauerstoff sogar bis zu  $3.100\text{ °C}$  (Anwendung beim autogenen Schweißen).

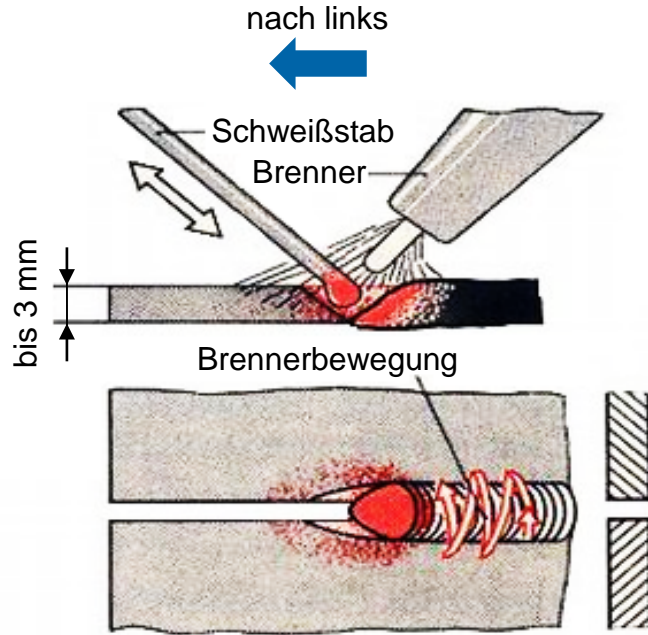
Acetylen ist hochentzündlich. Zwischen einem Volumenanteil von 2,3% bis 82% bildet es in Luft explosive Gemische. Die Zündtemperatur in Luft liegt bei Atmosphärendruck bei  $305\text{ °C}$ .

Wird Acetylen inhaliert führt es zu Schwindel und Teilnahmslosigkeit.

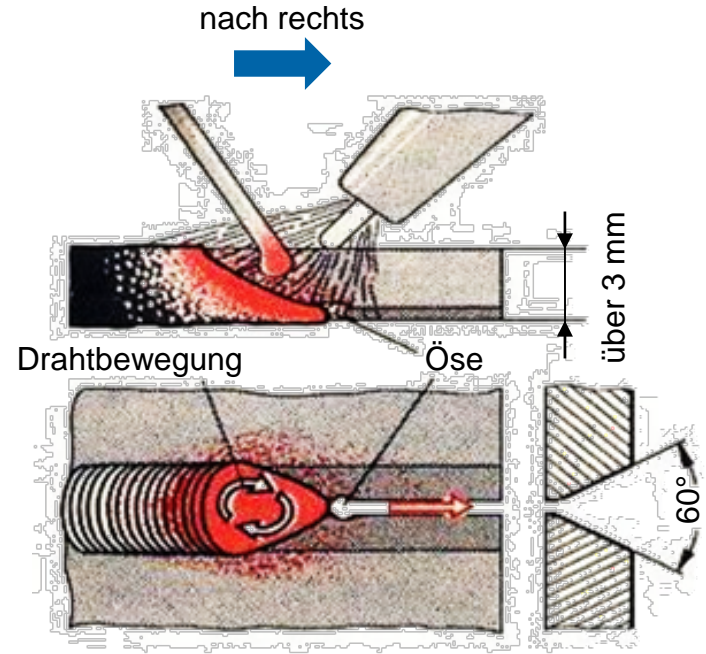
Farbkennzeichnung von Acetylen-Flaschen: kastanienbraun

2.4 Fügen

# SCHWEISSARTEN BEIM GASSCHMELZSCHWEISSEN I



Flammenkegel kontaktlos mit Schweißbad



## 2.4 Fügen

# SCHWEISSARTEN BEIM GASSCHMELZSCHWEISSEN II

Beim **Nachrechts-Schweißen (NR)** wird der Schweißzusatz hinter dem Schweißbrenner zugeführt. Die Schweißflamme ist auf die fertige Naht gerichtet. Die Wärmeeinbringung ist verhältnismäßig groß, so dass diese Art des Schweißens bei Wanddicken über 3 mm eingesetzt wird.

Beim **Nachlinks-Schweißen (NL)** wird der Schweißzusatz vor dem Brenner geführt. Die Flamme bläst in die offene Fuge. Daher ist die Wärmeeinbringung geringer; das Verfahren eignet sich für dünnere Wanddicken.

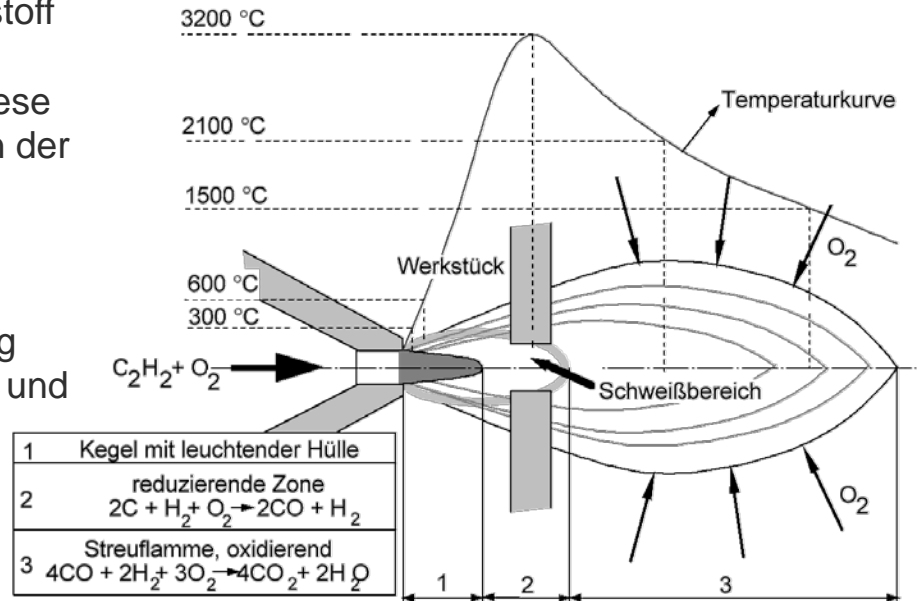
## 2.4 Fügen

# TEMPERATURVERLAUF / REAKTIONEN I

Nach dem Zünden der Flamme bilden sich ein Flammkegel und eine Primär- und Sekundärflamme. Im Flammkegel zerfällt das Acetylen  $C_2H_2$  in Kohlenstoff und Wasserstoff unter Wärmeabgabe.

In der Primärflamme verbrennt der Kohlenstoff mit dem zugemischten Sauerstoff zu Kohlenmonoxid (1. Verbrennungsstufe). Diese Zone bildet die eigentliche Schweißzone, in der die höchste Temperatur (3050 - 3200 °C) erreicht wird.

In der Sekundärflamme verbrennt das Kohlenmonoxid mit dem aus der Umgebung eindiffundierten Sauerstoff zu Kohlendioxid und der Wasserstoff zu Wasser.

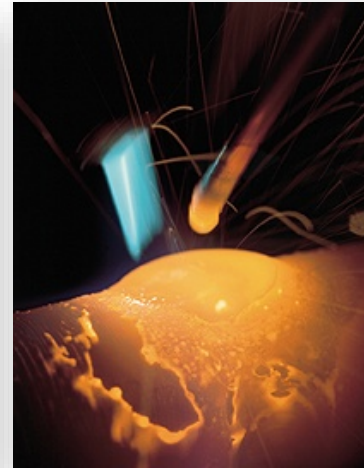


## 2.4 Fügen

# TEMPERATURVERLAUF / REAKTIONEN II

Diese zweite Verbrennungsstufe ist zum Schweißen ungeeignet, da hier der Werkstückwerkstoff oxidiert werden kann.

Bei einem Mischungsverhältnis von 1:1 (neutrale Flamme) können in der Schweißzone durch die Gase CO und H<sub>2</sub> Metalloxide reduziert werden. Ein Sauerstoffüberschuss bewirkt dort eine Oxidation, ein Brenngasüberschuss eine Aufkohlung des Werkstückwerkstoffes.



## 2.4 Fügen

# LICHTBOGENHANDSCHWEISSEN I

**Das Schweißbad entsteht durch Einwirken eines oder mehrerer Lichtbögen.** Der Lichtbogen brennt zwischen einer Elektrode und dem Werkstück, zwischen zwei Elektroden und/oder zwischen den Werkstücken. Bei Verwendung einer abschmelzenden Elektrode ist diese gleichzeitig Schweißzusatz [DIN 1910].

Zum Lichtbogenschweißen gehören u.a. die Verfahren Lichtbogenhandschweißen, Schutzgasschweißen und Plasmaschweißen.

Durch Aufsetzen der Elektrode und anschließendes Abheben wird der Lichtbogen gezündet (Kurzschlusszündung). Er bewirkt ein Aufschmelzen des Grundwerkstoffes und der umhüllten Elektrode. Der flüssige Elektrodenwerkstoff wird durch die im Lichtbogen wirksamen Kräfte zum Werkstück übertragen (auch entgegen der Schwerkraft).

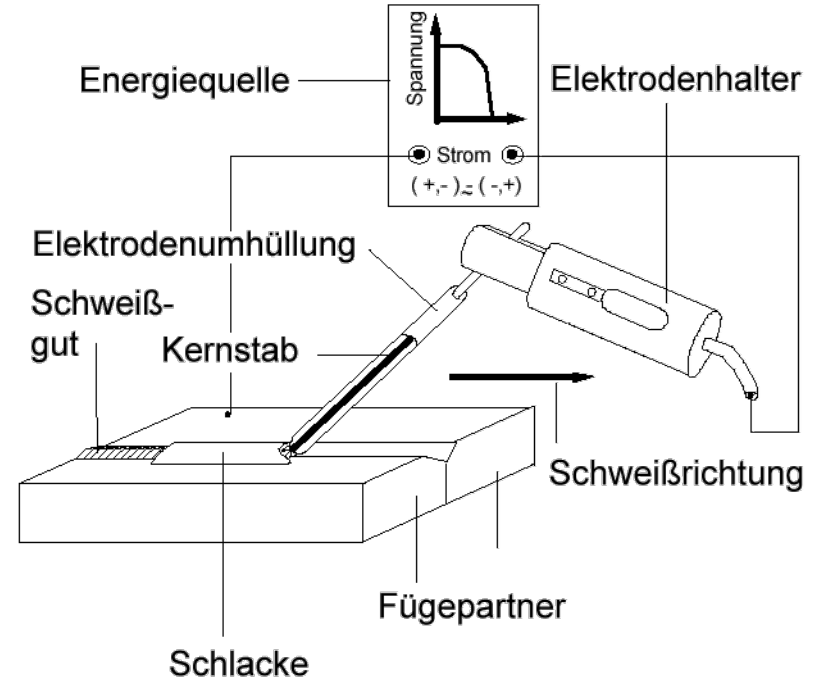
Der Lichtbogen brennt in einer lokalen Schutzgasatmosphäre, die durch Verdampfung der Elektrodenumhüllung entsteht. Weitere Aufgaben der Umhüllung sind die Bildung leicht ionisierbarer Elemente zur Stabilisierung des Lichtbogens und die Bildung von Schlacke, die die Schweißnaht vor atmosphärischen Einflüssen schützt.

## 2.4 Fügen

# LICHTBOGENHANDSCHWEISSEN II

Die Elektroden weisen verschiedene Zusammensetzungen und Dicken der Umhüllung auf und erlauben dadurch eine große Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Schweißaufgaben. Die Wahl der Elektrode richtet sich nach dem zu schweißenden Grundwerkstoff, der Blechdicke, den geforderten Gütewerten und der Schweißposition.

Schweißstromstärke: 20-300 A,  
Lichtbogenspannung 15-35 V.



2.4 Fügen

# ANWENDUNG LICHTBOGENHANDSCHWEISSEN



Elektroden-Schweißnaht vor und nach der Bearbeitung mit Schlackenhammer und Drahtbürste (von links)



Unter-Wasser-Anwendung



Normale Anwendung

## 2.4 Fügen

# SCHUTZGASSCHWEISSEN – WIG I

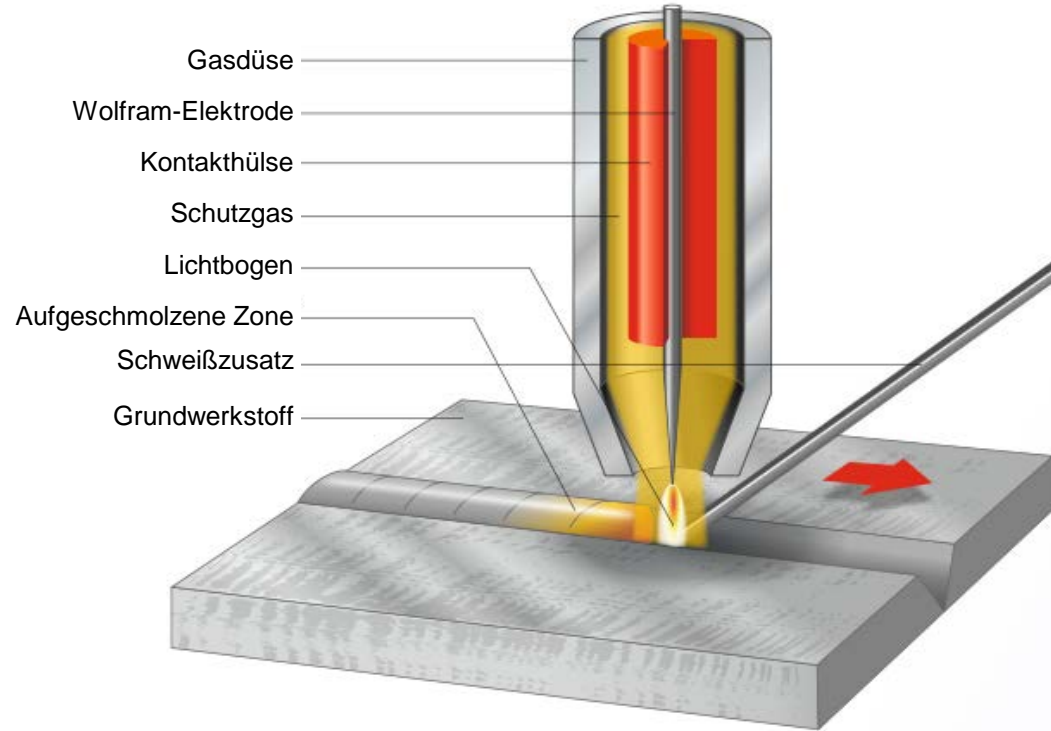
Bei den **Schutzgasschweißverfahren** werden Elektrode, Lichtbogen und Schmelzbad gegen die Atmosphäre durch ein dem Schweißprozess zuzuführendes inertes oder aktives Schutzgas abgeschirmt. Die Verfahren werden nach Art des Brenners, der Elektrode und des Schutzgases unterschieden.

Beim **Wolfram-Inertgasschweißen (WIG)** brennt der Lichtbogen zwischen einer **nicht abschmelzenden** Wolframelektrode und dem Werkstück. Ein Hochfrequenzzündgerät macht berührungsloses Zünden des Lichtbogens möglich, wodurch die Elektrodenspitze geschont wird.

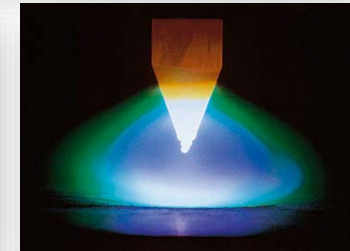
Durch den wasser- oder luftgekühlten Brenner wird konzentrisch das Schutzgas (meist Argon, bei Leichtmetallen Argon/Helium-Gemisch oder reines Helium) zugeführt.

Dünne Bleche können ohne Zusatzwerkstoff geschweißt werden; bei dickeren Teilen ist ein Zusatzwerkstoff erforderlich.

# SCHUTZGASSCHWEISSEN – WIG II



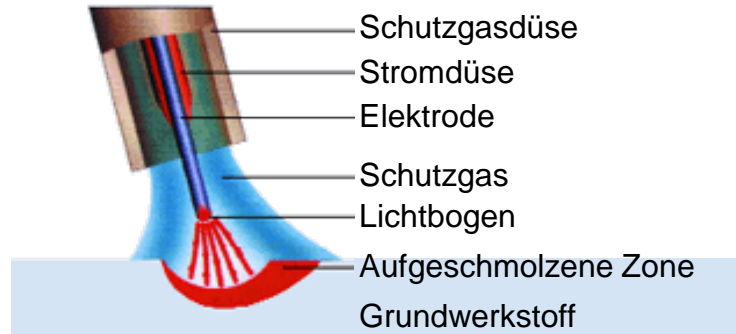
# BEISPIEL WIG – SCHWEISSEN



# SCHUTZGASSCHWEISSEN – MIG / MAG

Zum Metall-Schutzgasschweißen (MSG) gehören die beiden Verfahrensvarianten **Metall-Inertgasschweißen (MIG)** und **Metall-Aktivgasschweißen (MAG)**.

Bei beiden Verfahren brennt der Lichtbogen zwischen einer **abschmelzenden**, mit konstantem Vorschub zugeführten Elektrode und dem Werkstück. Der Lichtbogen wird durch Kontakt der positiv gepolten Elektrode mit dem Werkstück gezündet (Kontaktzündung). Die gut automatisierbaren Verfahren zeichnen sich durch hohe Abschmelzleistungen aus und gehören zu den Hochleistungsschweißverfahren.



## 2.4 Fügen

# BEISPIEL MIG / MAG – SCHWEISSEN



## 2.4 Fügen

# WOLFRAM – PLASMASCHWEISSEN I

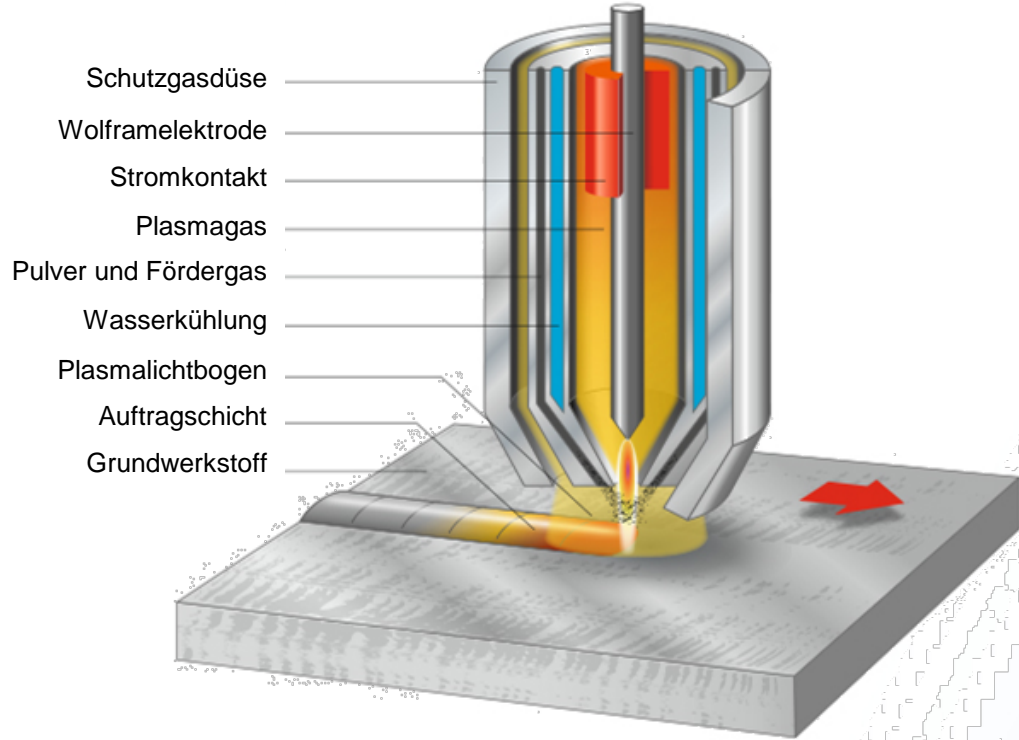
Die **Plasmaschweißverfahren** stellen eine Weiterentwicklung des Schutzgasschweißens dar. Entsprechend dazu gibt es beim Plasmaschweißen die Varianten **Wolfram-Plasmaschweißen (WP)** und **Plasma-Metall-Schutzgasschweißen (MSGP)**.

Beim **WP**-Schweißen werden nach Art des Lichtbogens die Verfahren mit übertragendem und nicht übertragendem Lichtbogen unterschieden. Die Wolfram-Elektrode des WP-Brenners ist von einem wassergekühlten Düsenkörper umgeben, durch den das Plasmagas (meist Argon) zugeführt und im Lichtbogen ionisiert wird. Durch die enge Düse wird das Plasma auf eine hohe Geschwindigkeit beschleunigt. Über das äußere Brennergehäuse wird das Schutzgas (Argon-H<sub>2</sub>-Gemisch, Argon-CO<sub>2</sub>-Gemisch) und eventuell ein Fokussiergas zum Einschnüren des Plasmastrahls zugeführt. Der übertragende Lichtbogen, der zwischen Wolfram-Elektrode und Werkstück brennt, wird durch einen mit Hochfrequenz gezündeten Hilfslichtbogen erzeugt.

Das **WP**-Schweißen erweitert den Einsatzbereich des WIG-Schweißens sowohl auf kleinere (Mikroplasmaverfahren, Blechdicke 0,01 - 1 mm) als auch auf größere (Plasma-Stichlochtechnik, Blechdicken 3 - 10 mm) Blechdicken.

2.4 Fügen

# WOLFRAM – PLASMASCHWEISSEN I



## 2.4 Fügen

# UNTERPULVERSCHWEISSEN / UP – SCHWEISSEN I

Das Unterpulverschweißen, kurz auch UP-Schweißen genannt, ist ein Lichtbogenschweißverfahren bei dem der Schweißlichtbogen unsichtbar zwischen einer endlosen Elektrode und dem Werkstück brennt. ([verdecktes Lichtbogenschweißen](#))

Der Lichtbogen und das Schmelzbad sind durch ein körniges Pulver abgedeckt. Ein Schutz der Schweißzone vor dem Einfluss der Atmosphäre besteht durch die aus dem Pulver gebildete Schlacke.

Ein hoher thermischer Wirkungsgrad durch die Pulverabdeckung führt zu einer hohen Abschmelzleistung im Vergleich zu anderen Schweißverfahren. Aus diesem Grund wird das Unterpulverschweißen als Hochleistungsverfahren bezeichnet.

## 2.4 Fügen

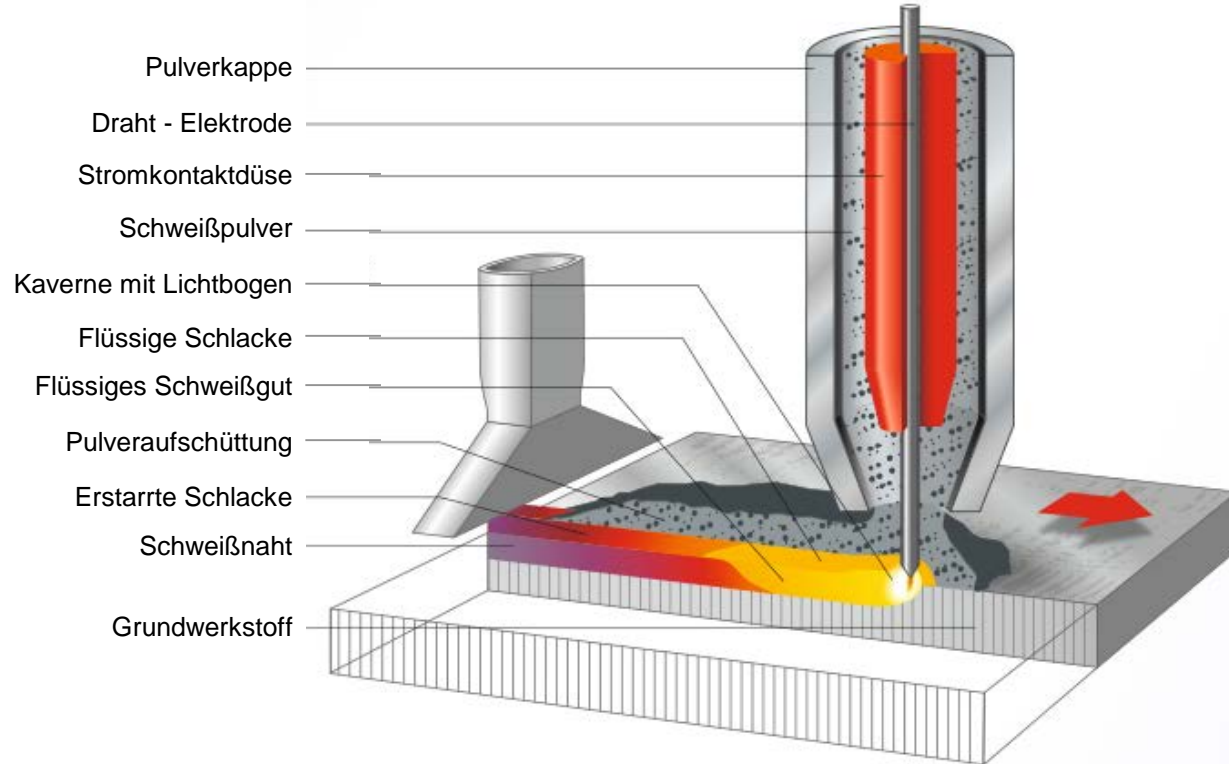
# UNTERPULVERSCHWEISSEN / UP – SCHWEISSEN II

Wirtschaftlich effizient wird UP-Schweißen ab einer Blechdicke von 6 mm angewendet. Die vielfältigen Anwendungsfälle in denen das Unterpulverschweißen eingesetzt wird, reichen vom Schiffbau über den Brücken- und Stahlbau bis zur Behälterfertigung. Das Verfahren wird sowohl zum Verbindungsschweißen als auch zum Auftragen von Verschleiß- und Korrosionsschutzschichten eingesetzt. Unlegierte und legierte Stähle sowie Chrom-Nickel-Stähle können verschweißt werden.

Hochleistungsschweißverfahren wie das UP-Schweißen werden vor allem mechanisiert oder automatisiert eingesetzt. Kürzere Schweißzeiten verbunden mit einer höheren Einschaltdauer führen dazu, dass lange Schweißnähte ohne Unterbrechung geschweißt werden können. Daraus resultieren kürzere Nebenzeiten, mit dem positiven Effekt der geringeren Schweißkosten.

2.4 Fügen

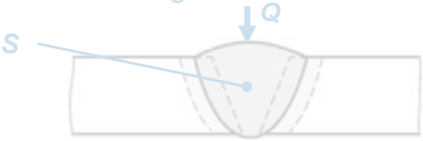
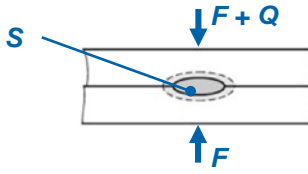

# UNTERPULVERSCHWEISSEN / UP – SCHWEISSEN III



Quellen: <http://www.kjellberg.de> | [www.diepiktografen.de](http://www.diepiktografen.de)

## 2.4 Fügen

# VERBINDUNGSSCHWEISSEN – GEGENÜBERSTELLUNG

Schmelzschweißverfahren	Pressschweißverfahren	Kaltpressschweißen
<p>z. B. Gasschweißen Lichtbogenschweißen Schutzgasschweißen</p> 	<p>z. B. Widerstandspunktschweißen</p> 	<p>z. B. Sprengschweißen (dynamisches Verfahren)</p> 

Die Schweißverbindung kommt zustande durch die Wirkung von:

<p><b>Wärme Q</b> z. B. Gasflamme Lichtbogen Elektronenstrahl Lichtstrahl z. B. Laser</p>	<p><b>Wärme Q und Kraft F</b> z. B. Stromwärme Reibung</p>	<p><b>Kraft F</b> z. B. Statischer oder dynamischer Druck, Reibung (oszillierende oder rotierende Relativbewegung und statischer Druck)</p>
---	--	---

Die Schweißzone **S** ist der örtliche begrenzte Bereich, in dem der Werkstoff während des Schweißens in einen plastisch leicht verformbaren (  ) und (oder) flüssigen Zustand (  ) gebracht wird.

## 2.4 Fügen

# PRESSSCHWEISSEN

Pressschweißen ist **Schweißen unter Anwendung von Kraft** ohne oder mit Schweißzusatz. Wichtige Pressschweißverfahren sind Widerstands-, Lichtbogen-, Gas-, Reib-, Ultraschall- und Kaltpressschweißen.

Beim **Widerstandspressschweißen** wird die zum Schweißen erforderliche Wärme durch Stromfluss über den elektrischen Widerstand der Schweißzone erzeugt (Widerstandswärme, Joule'sche Wärme). Die Verfahren können nach Art der Stromübertragung (konduktiv über Elektroden oder induktiv durch Induktoren), nach Art des Stromes (Gleich- oder Wechselstrom) und nach dem zeitlichen Verlauf von Strom und Kraft eingeteilt werden [DIN 1910 Teil 5].

Zum Widerstandspressschweißen gehören u.a. das Punkt-, Rollennaht-, Stumpf-, Buckelschweißen und induktive Widerstandspressschweißen. Je nach Art der Stromzufuhr wird das ein- und zweiseitige Punktschweißen unterschieden.

Um die Energieverluste und die Wärmeeinflusszone im Werkstück gering zu halten, wird mit hohen Strömen (bis 100 kA) und Spannungen im Sekundärkreis bis 20 V gearbeitet.

An Punktschweißelektroden werden hohe Anforderungen hinsichtlich guter elektrischer Leitfähigkeit, Festigkeit, geringe Legierungsneigung mit dem Werkstückwerkstoff gestellt.

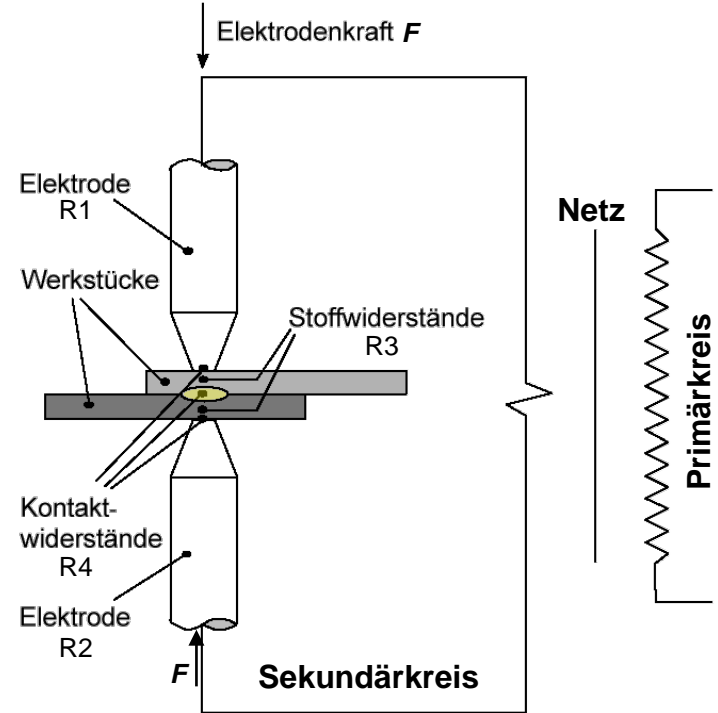
## 2.4 Fügen

# ZWEISEITIGES PUNKTSCHWEISSEN

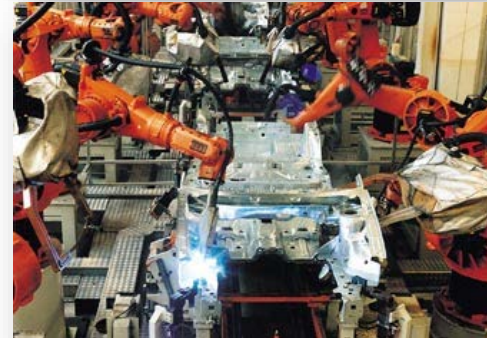
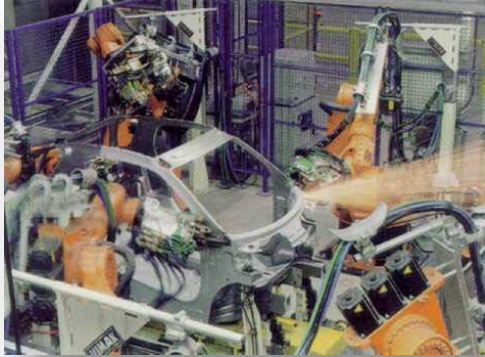
Jedes Element im Sekundärkreis setzt dem elektrischen Strom einen Widerstand  $R$  entgegen. Der Gesamtwiderstand ist die Summe aller Einzelwiderstände. Es wird unterschieden in Stoffwiderstände ( $R_1, R_2, R_3$  – meist als unveränderlich anzusehen) und Kontaktwiderstände ( $R_4$  – abhängig vom Oberflächenzustand des Werkstückes bzw. der Elektrodenspitzen).

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad \text{mit} \quad R = \sum R_i$$

Effizient ist die **Steuerung der Schweiß- und Fertigungsbedingungen so, dass der Kontaktwiderstand zwischen den Werkstücken die größte Wärmemenge erzeugt**. Zu steuernde Parameter: Schweißstrom  $I$ , Schweißzeit  $t$ , Elektrodenkraft  $F$



# BEISPIELE

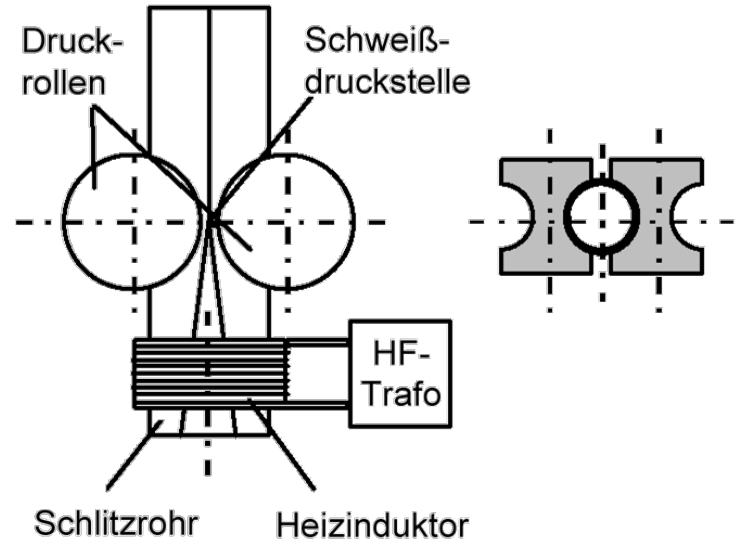


## 2.4 Fügen

# INDUKTIVES WIDERSTANDSPRESSSCHWEISSEN

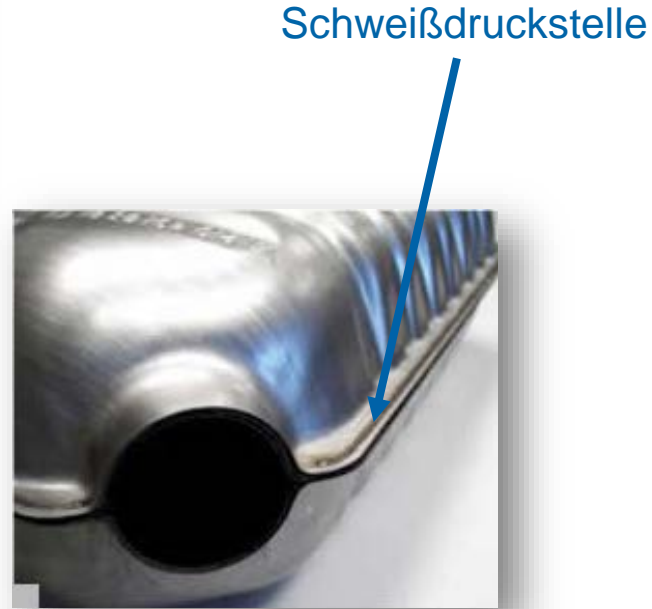
Das induktive Widerstandsschweißen wird als Längsnahtschweißverfahren bei der Herstellung von Rohren eingesetzt.

**Der Strom für die Widerstandserwärmung wird im Werkstück induziert**, wobei der stab- oder ringförmige Induktor das Werkstück nicht berührt und deshalb verschleißfrei arbeitet. Die Kraft wird mit Druckrollen übertragen.



2.4 Fügen

# BEISPIEL: ROLLSCHWEISSEN EINES TANKS



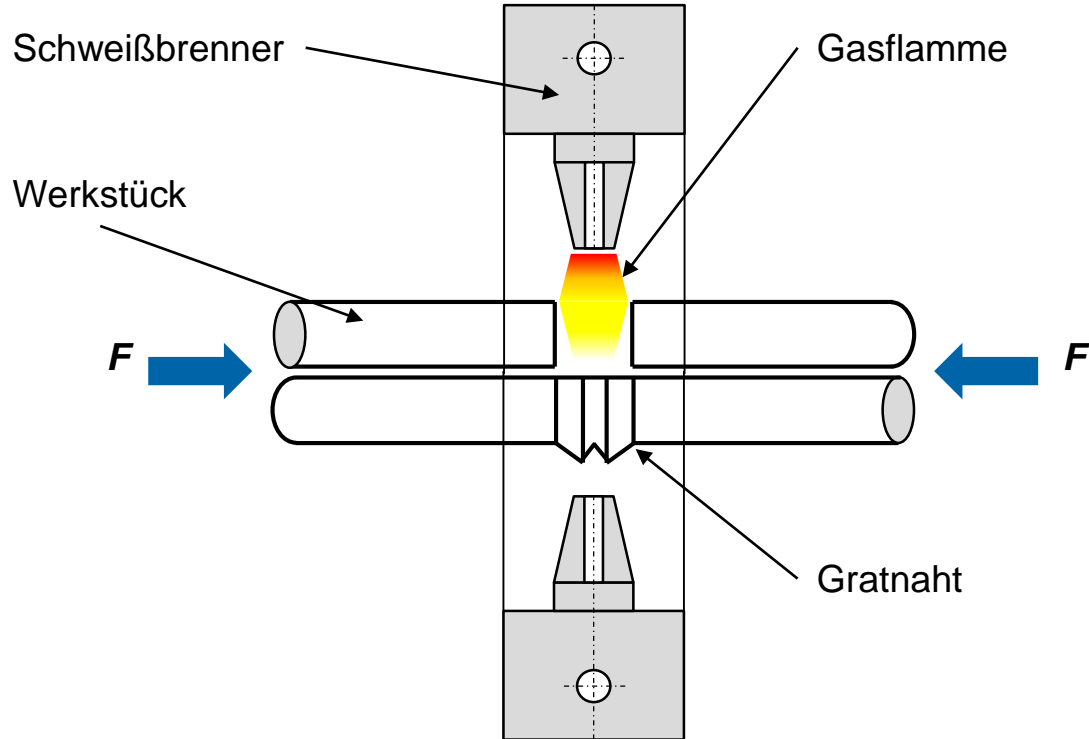
## 2.4 Fügen

# GASPRESSSCHWEISSEN

Beim Gaspressschweißen werden die Werkstücke an den Stoßflächen mit oder ohne Stoßflächenabstand durch Brenngas-Sauerstoffflammen erwärmt und unter Anwendung von Kraft geschweißt.

Unterschieden werden zwei Verfahren, das offene und das geschlossene Gaspressschweißen. Die Stauchkräfte werden mit handbedienten mechanischen Einrichtungen oder maschinell in Pressen erzeugt. Die Vorteile sind die geringen Investitionen, die Mobilität und die sehr gute Qualität der Schweißungen. Das Verfahren wird z.B. im Stahlbetonbau, beim Verschweißen von Fahroberleitungen und Eisenbahnschienen eingesetzt.

# OFFENES GASPRESSSCHWEISSEN



# BEISPIEL: EISENBAHNSCHIENEN VERSCHWEISSEN



# REIBSCHWEISSEN

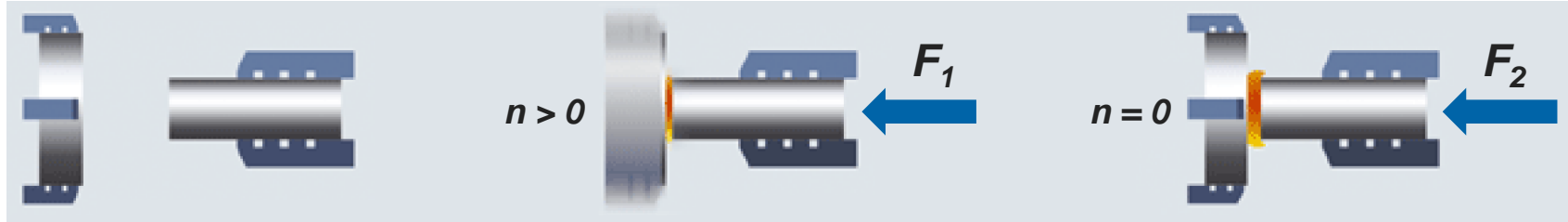
Die beim **Reibschweißen** benötigte Wärme wird durch Relativbewegung gegeneinander gepresster Werkstücke erzeugt. In den meisten Fällen wird dazu das eine Teil in Rotation versetzt, während das anderen in einer axial verschiebbaren Vorrichtung fest eingespannt ist und gegen das rotierende Teil gepresst wird.

Mit dem Verfahren besteht die Möglichkeit, unterschiedliche Werkstoffe, die sonst mit kaum einem anderen Verfahren schweißbar sind, miteinander zu verschweißen (z.B. Stahl mit Aluminium und Stahl mit Kupfer). Schweißbar sind alle legierten, unlegierten Stähle, Grauguss, Sinterwerkstoffe, NE-Metalle und thermoplastische Kunststoffe.

Zum Reibschweißen sind alle rohr-, stab- und scheibenförmigen Werkstücke geeignet. Es wird in der Automobilindustrie z.B. zum Verschweißen von Achs-, Gelenk- und Antriebswellen sowie Kolbenstangen eingesetzt

## 2.4 Fügen

# PRINZIP REIBSCHWEISSEN

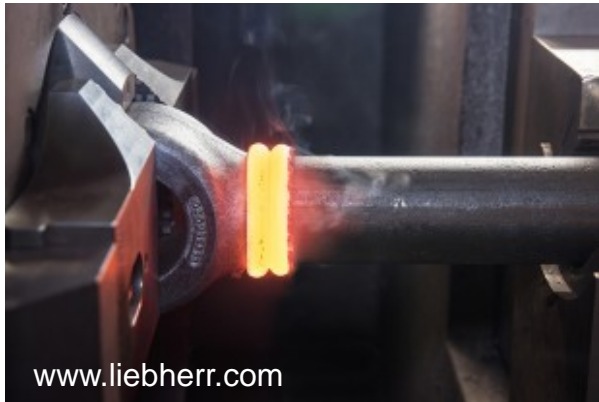
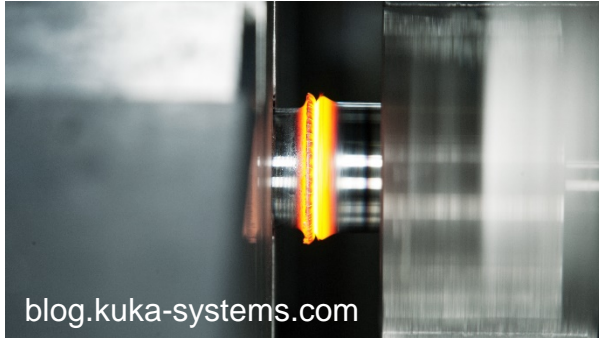


Die zwei zu verschweißenden Werkstücke werden fest eingespannt. Ein Werkstück wird in Drehbewegung versetzt.

Das feststehende Werkstück wird durch die Kraft  $F_1$  (Reibkraft) gegen das mit der Drehzahl  $n$  rotierende Werkstück gedrückt. Die Schweißstellen erwärmen sich.

Das rotierende Werkstück wird abgebremst, die Kraft  $F_2$  (Stauchkraft) wird aufgebracht. In der Bindeebene kommt es zur atomaren Bindung.

# BEISPIEL



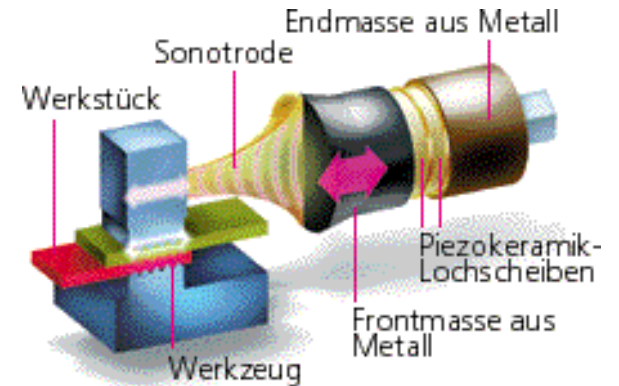
## 2.4 Fügen

# ULTRASCHALLSCHWEISSEN

Die Werkstücke werden an den Stoßflächen durch Einwirkung von Ultraschall ohne oder mit gleichzeitiger Wärmezufuhr unter Anwendung von Kraft vorzugsweise ohne Schweißzusatz geschweißt. Schwingungsrichtung des Ultraschalls und Krafrichtung verlaufen zueinander senkrecht, wobei die Stoßflächen der Werkstücke aufeinander reiben. Die Kraft wird i.a. über das schwingende Werkzeug aufgebracht. Je nach Ausbildung des Werkzeuges und Art der Berührung können Punkte oder Liniennähte geschweißt werden. Arbeitsfrequenz: 20-60 kHz, Werkzeugamplitude: 15-40  $\mu\text{m}$ .

Anwendung:

Verbinden von thermoplastischen Kunststoffen und Metallen in Automobil- und Verpackungsindustrie in Feinwerk- und Elektrotechnik



[www.ceramtec.de](http://www.ceramtec.de)



[www.youtube.com/watch?v=\\_Lph\\_B9NBvw](http://www.youtube.com/watch?v=_Lph_B9NBvw)

## 2.4 Fügen

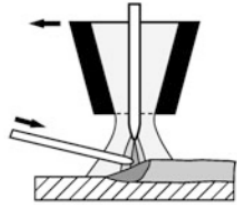
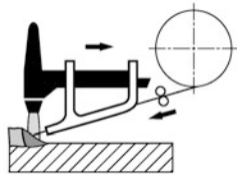
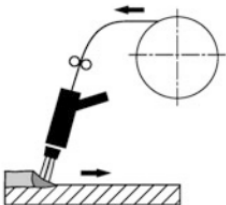
# AUFTRAGSSCHWEISSEN

Beschichten eines Werkstückes durch Schweißen. Dabei vergrößert sich das Werkstück.

- Verwendung bei abgenutzten Werkstücken → Werkstückergänzung
- Verwendung bei neuen Werkstücken → Verbesserung der Verschleiß- bzw. Korrosionseigenschaften
  - Artgleiche Auftragsschicht (Werkstoffergänzung)
  - Artfremde Auftragsschicht (Werkstoffeigenschaftsanpassung)
    - Auftragsschweißen von Panzerungen (Panzerung vorzugsweise verschleißfester als Grundwerkstoff)
    - Auftragsschweißen von Plattierungen (Plattierung vorzugsweise chemisch beständiger als Grundwerkstoff)
    - Auftragsschweißen von Pufferschichten (Erzielung einer beanspruchungsgerechten Bindung zwischen zwei nicht artgleichen Werkstoffen)

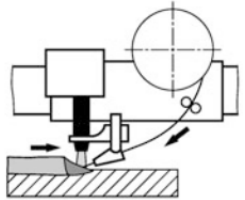
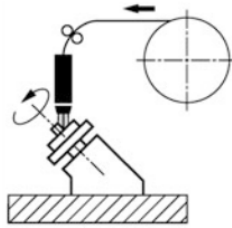
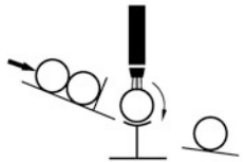
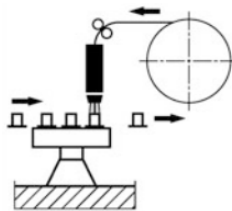
## 2.4 Fügen

# EINTEILUNG NACH FERTIGUNGSART I

Benennung	Beispiele Schutzgasschweißen		Bewegungs-/ Arbeitsabläufe		
	WIG	MSG	Brenner-/Werkstückführung	Zusatzvorschub	Werkstückhandhabung
Handschweißen (manuelles Schweißen)		—	manuell	manuell	manuell
Teilmechanisches Schweißen			manuell	mechanisch	manuell

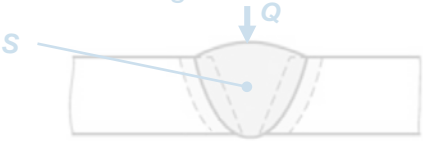
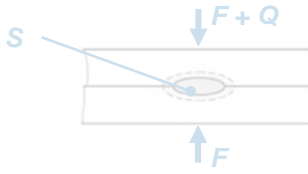
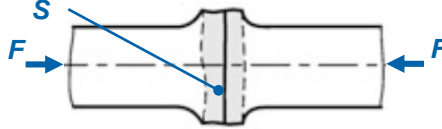
## 2.4 Fügen

# EINTEILUNG NACH FERTIGUNGSART II

Benennung	Beispiele Schutzgasschweißen		Bewegungs-/ Arbeitsabläufe		
	WIG	MSG	Brenner-/Werkstückführung	Zusatzvorschub	Werkstückhandhabung
Vollmechanisches Schweißen			mechanisch	mechanisch	manuell
Automatisches Schweißen			mechanisch	mechanisch	mechanisch

## 2.4 Fügen

# VERBINDUNGSSCHWEISSEN – GEGENÜBERSTELLUNG

Schmelzschweißverfahren	Pressschweißverfahren	Kaltpressschweißen
z. B. Gasschweißen Lichtbogenschweißen Schutzgasschweißen 	z. B. Widerstandspunktschweißen 	z. B. Sprengschweißen 

Die Schweißverbindung kommt zustande durch die Wirkung von:

### Wärme Q

- z. B. Gasflamme
- Lichtbogen
- Elektronenstrahl
- Lichtstrahl z. B. Laser

### Wärme Q und Kraft F

- z. B. Stromwärme
- Reibung

### Kraft F

- z. B. Statischer oder dynamischer Druck, Reibung (oszillierende oder rotierende Relativbewegung und statischer Druck)

Die Schweißzone **S** ist der örtliche begrenzte Bereich, in dem der Werkstoff während des Schweißens in einen plastisch leicht verformbaren (  ) und (oder) flüssigen Zustand (  ) gebracht wird.

# EINTEILUNG

## Fügen

Zusammensetzen  
(Einlegen)

Füllen (Einfüllen)

An- und Einpressen  
(Schrumpfen)

Fügen durch Urformen  
(Ausgießen, Umgießen mit  
Kunststoff)

Fügen durch Umformen  
(Nieten, Bördeln)

Fügen durch Schweißen  
(schmelzverbindungs-  
schweißen)

Fügen durch Löten  
(Weichlöten, Hartlöten)

Kleben

Textiles Fügen

# LÖTEN I

## Definition:

Löten ist ein thermisches Verfahren zum **stoffschlüssigen** Fügen und Beschichten von Werkstoffen, wobei eine flüssige Phase durch Schmelzen eines Lotes (Schmelzlöten) oder durch Diffusion an den Grenzflächen (Diffusionslöten) entsteht.



[www.kemmler-electronic.com](http://www.kemmler-electronic.com)

## LÖTEN II

Löten ist ein thermisches Verfahren zum Fügen oder Beschichten von Werkstoffen mit Hilfe eines geschmolzenen Zusatzmetalls (Lotes) unter Verwendung von Flussmitteln und/oder Lötenschutzgasen. **Die Schmelztemperatur des Lotes liegt unterhalb derjenigen der zu verbindenden Grundwerkstoffe.** Diese werden benetzt, ohne geschmolzen zu werden. Der Bindungsvorgang hängt vom System Lot-Grundwerkstoff und von der Löttemperatur und -zeit ab.

Bei Metallen ohne gegenseitige Löslichkeit beruht die Bindung auf Adhäsionskräften (Oberflächenbindungen durch freie Valenzen). Bei geringer Löslichkeit von Lot und Grundmetall erfolgt eine Diffusion im Grenzbereich, bei guter gegenseitiger Löslichkeit entstehen räumliche Diffusionsbindungen. Die Diffusionszone ist umso dünner, je größer der Schmelztemperaturunterschied von Grund- und Lotwerkstoff ist.

## 2.4 Fügen

# LÖTEN – UMSETZUNG UND EINTEILUNG

Die Energiezufuhr kann mit einem LötKolben, einer Flamme (Lötlampe), einem Lotbad (Wellenlöten von bestimmten Leiterplatten), Warmgas, Ultraschall im Ofen und durch elektrischen Strom (Induktionswiderstandlöten) erfolgen.

Einteilung der Verfahren nach Schmelztemperatur der Lotwerkstoffe:

- **Weichlöten** (Temperatur  $< 450$  °C),
- **Hartlöten** ( $> 450$  °C),
- **Hochtemperaturlöten** ( $> 900$  °C).

2.4 Fügen

# LÖTKOLBEN / LÖTLAMPPE



Lötfett / Flussmittel



Lötzinn

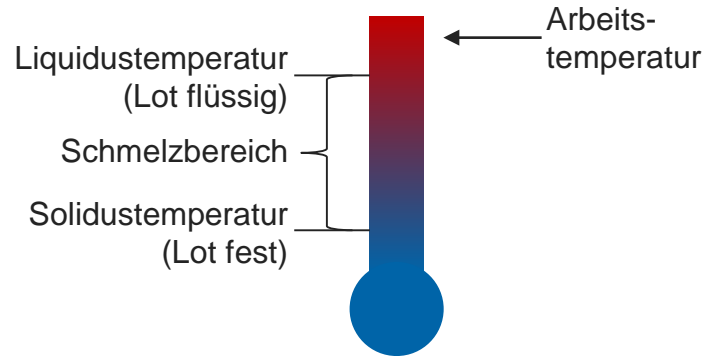
Quellen: www.comrad.de

## 2.4 Fügen

# SCHMELZBEREICH DES LOTES

### Der Schmelzbereich

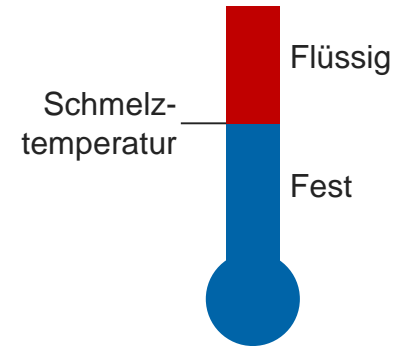
Lote sind meist nichteutektische Legierungen und haben einen Schmelzbereich. Nach Erreichen der Solidustemperatur geht das Lot innerhalb des Schmelzbereiches vom festen in den flüssigen Zustand über und ist bei Erreichen der Liquidustemperatur vollständig flüssig.



### VERGLEICH

### Der Schmelzpunkt

Reine Metalle und eutektische Legierungen haben einen definierten Schmelzpunkt



## 2.4 Fügen

# TEMPERATUREN BEIM LÖTEN

### Arbeitstemperatur:

- niedrigste Oberflächentemperatur an den zu verbindenden Grundwerkstoffen, bei der das Lot benetzt, sich ausbreitet und bindet
- Voraussetzungen:
  - keine Oxidhaut und kein Fettfilm
  - Werkstück muss Arbeitstemperatur erreicht haben

### Löttemperatur:

- Löttemperaturbereich wird begrenzt nach unten durch die Arbeitstemperatur (=minimale Löttemperatur), nach oben durch
  - das Flussmittel (sättigt sich bei zu hoher Temperatur mit Oxiden) oder
  - das Lot (einzelne Lotbestandteile können verdampfen) oder
  - die Wirtschaftlichkeit (unnötig hohe Temperaturen kosten unnötig Zeit und Energie)

## 2.4 Fügen

# FLUSSMITTEL

Wirktemperaturbereich:

Bereich, in dem das Flussmittel Metalloxide auflöst. Benetzung durch das Lot wird somit eingeleitet.

Aufgabe:

- Zerstörung der vorhanden Oxidschicht
- Verhinderung der Neubildung von Oxidschichten während der Erwärmung

Erforderliche Vorgänge:

- Wasser aus Flussmittel muss verdampfen
- Reaktion zwischen Metalloxide und Flussmittel
- Lot muss Flussmittel verdrängen
- Lot und Grundwerkstoff legieren sich

Zu vermeidende Vorgänge:

- Keine Oxidsättigung durch das Flussmittel
- Keine nachteiligen Veränderungen am Werkstück bzw. am Lot (beispielsweise durch zu hohe Temperatur)

## 2.4 Fügen

# PHYSIKALISCHE VORGÄNGE I

Damit das Lot **ideal** in einen Spalt **fließen** kann, sind verschiedene Parameter zu beachten:

- Spaltbreite (Kapillarwirkung bzw. kapillarer Fülldruck  $p_k$ )

sowie

- Flussmittel
- Temperatur
- Lotwerkstoff
- Atmosphäre

Diese vier Parameter üben Einfluss auf die **Benetzung** (und somit auf die Grenzflächenspannungen  $\gamma_i$ ) bzw. den Benetzungswinkel  $\varphi$  und auf die Ausbreitung des flüssigen Lottropfens aus.

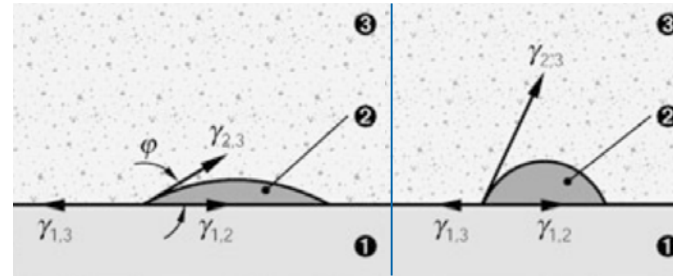
→ vollständige Benetzung  $\varphi = 0$  (einmolekulare Schicht)

## 2.4 Fügen

# PHYSIKALISCHE VORGÄNGE II

Eine Benetzung erfolgt, wenn Lot und Grundwerkstoff Mischkristalle oder intermediäre Verbindungen bilden können.

Bei völliger Unlöslichkeit der Metalle findet keine Oberflächenbenetzung statt = Lötvorgang nicht möglich



groß	Benetzbarkeit	gering
gut	Lötbarkeit	schlecht

$$\gamma_{1,3} - \gamma_{1,2} = \gamma_{2,3} \cos \varphi = \gamma_H$$

$\gamma_H = \text{Haftspannung}$

## 2.4 Fügen

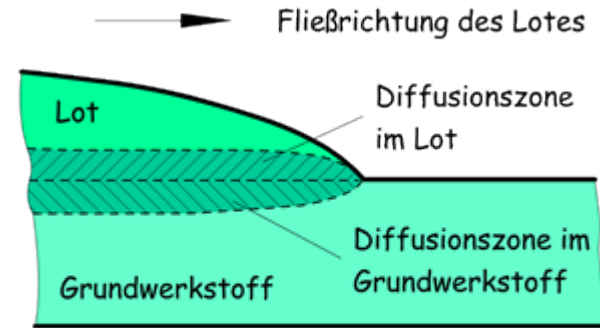
# PHYSIKALISCHE VORGÄNGE III – DIFFUSION

Diffusion von Lot und Grundwerkstoff:

In der Lotschicht befinden sich Bestandteile des Grundwerkstoffes und umgekehrt. Lot und Grundwerkstoff haben sich im Benetzungsbereich legiert, obwohl der Grundwerkstoff im festen Zustand verblieb.

Bei Metallen ohne gegenseitige Löslichkeit beruht die Bindung auf Adhäsionskräften. Bei geringer gegenseitiger Löslichkeit von Lot und Grundmetall erfolgt eine Diffusion im Grenzbereich.

Bei guter gegenseitiger Löslichkeit entstehen räumliche Diffusionsbindungen. Die Diffusionszone ist umso dünner, je größer der Schmelztemperaturunterschied von Grund- und Lötwerkstoff ist.

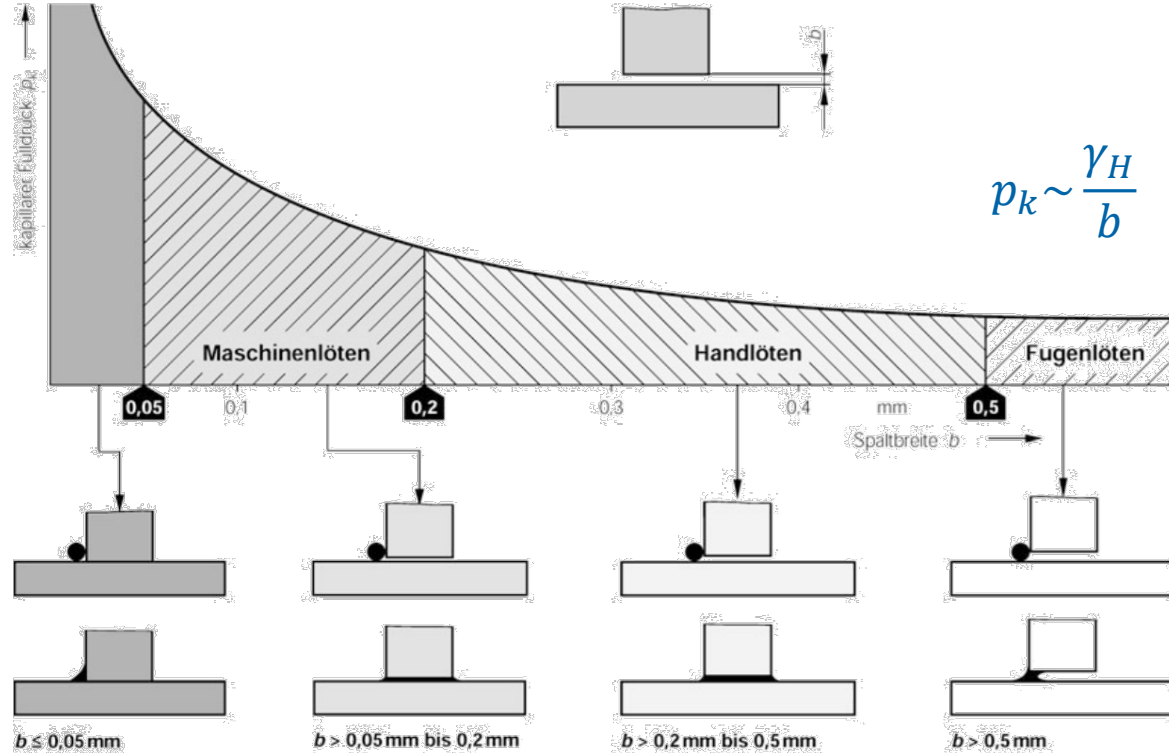


Diffusion von Lot und Grundwerkstoff

Quellen: <http://www.inggo.com>

2.4 Fügen

# ERREICHBARE SPALTBREITEN I



## 2.4 Fügen

# ERREICHBARE SPALTBREITEN II

$b \leq 0,05 \text{ mm}$

Spalt ist zu klein, das Lot kann nicht eindringen und verschließen

$b > 0,05 \text{ mm bis } 0,2 \text{ mm}$

Spalt richtig für das Maschinenlöten (exakte Vorbereitung!), Das Lot kann benetzen und verschließen.

$b > 0,2 \text{ mm bis } 0,5 \text{ mm}$

Spalt nur noch für das Handlöten geeignet. Wärme und Lotzufuhr müssen richtig dosiert werden.

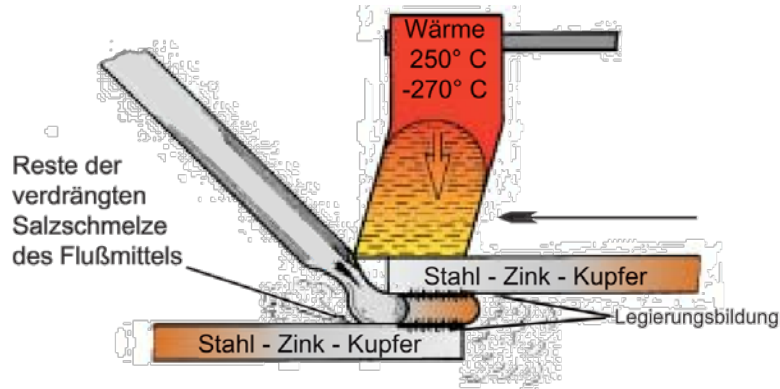
$b > 0,5 \text{ mm}$

Spalt zu groß, Lötfläche wird nur teilweise ausgefüllt, daher besondere Löttechnik erforderlich:  
Fugenlöten

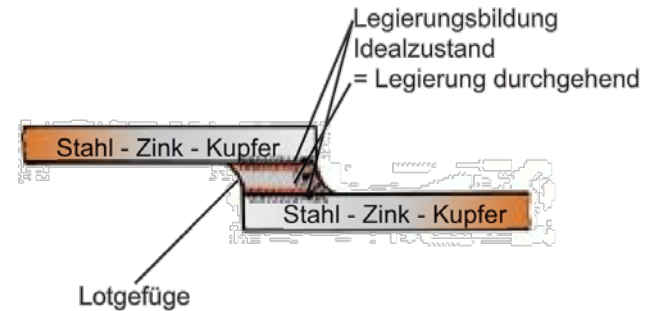
## 2.4 Fügen

# BEISPIEL WEICHLÖTEN – DACHRINNEN / FALLROHRE

Je enger der Lötspalt und je sauberer das Lot umso durchgehender ist die Legierungsbildung und umso fester die Lötnaht.



### Fertige Lötnaht



## 2.4 Fügen

# WEITERE LÖTVERFAHREN I

## LÖTBADWEICHLÖTEN

Die zu lötenden Teile werden mit Flussmittel benetzt, anschließend **in flüssiges Lot eingetaucht**.

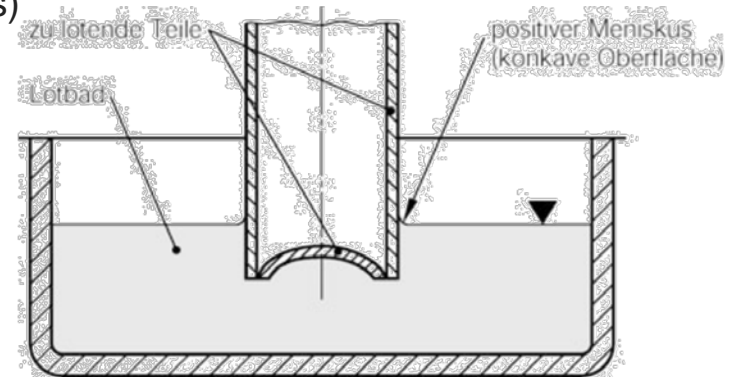
Selektives Löten wird durch Aufbringen von Pasten, Lacken oder Papiermasken erreicht.

Voraussetzung:

- Eintauchgeschwindigkeit so wählen, dass zu jeden Zeitpunkt die Arbeitstemperatur am Werkstück erreicht wird (Kontrolle: positiver Meniskus)

Nachteile:

- Das senkrechte Eintauchen in das unbewegte Bad kann zur Bildung von Gasblasen oder Flussmitteleinschlüssen führen



## 2.4 Fügen

# WEITERE LÖTVERFAHREN II

## WELLENLÖTEN/SCHWALLLÖTEN

Wellenlöten oder Schwalllöten ist ein Lötverfahren, mit dem elektronische Baugruppen (Leiterplatten) halb- oder vollautomatisch nach dem Bestücken gelötet werden.

Vorbereitung:

- Benetzen der Lötseite der Leiterplatte mit Flussmittel (engl.: flux) (Aufsprühen: Sprayfluxen oder Aufschäumen: Schaumfluxen)
- Vorheizen der Leiterplatte (Konvektionsheizung oder Infrarot – Strahlern)
  - Verdampfung der Lösemittelanteile des Flussmittels (sonst Blasenbildung)
  - Vermeidung eines Temperaturverzuges durch zu drastischen Temperaturanstieg beim Lötvorgang

## 2.4 Fügen

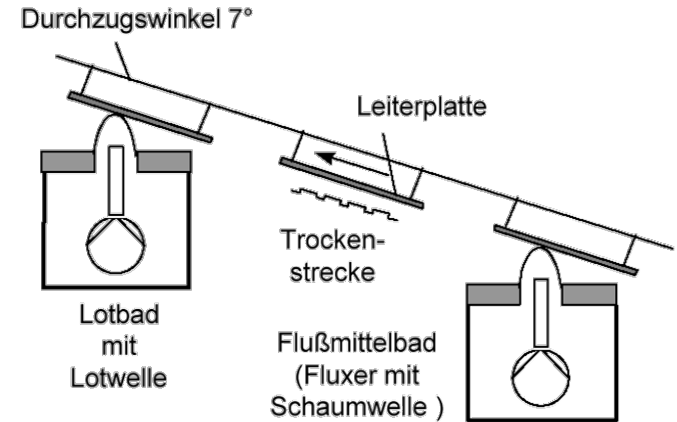
# WEITERE LÖTVERFAHREN III

## WELLENLÖTEN/SCHWALLLÖTEN

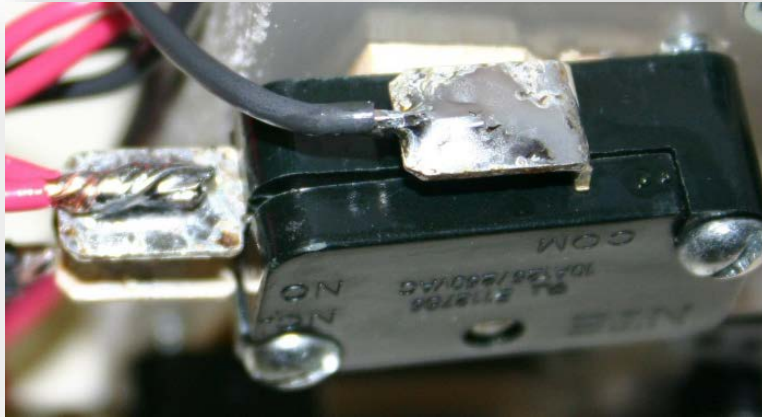
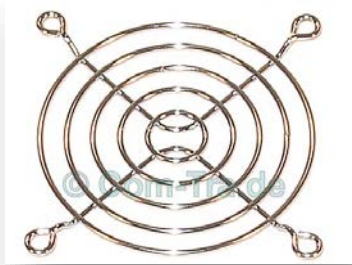
Lötvorgang:

- Baugruppe wird über eine Lotwelle gefahren
- Erzeugung der Lotwelle durch Pumpen von flüssigem Lot durch einen Spalt

Löttemperatur liegt bei bleihaltigen Loten bei ca. 250° C bei bleifreien Loten ca. 30 C° höher. In der Regel 270 C°



# ANWENDUNGSBEISPIELE



# EINTEILUNG

## Fügen

Zusammensetzen  
(Einlegen)

Füllen (Einfüllen)

An- und Einpressen  
(Schrumpfen)

Fügen durch Urformen  
(Ausgießen, Umgießen mit  
Kunststoff)

Fügen durch Umformen  
(Nieten, Bördeln)

Fügen durch Schweißen  
(schmelzverbindungs-  
schweißen)

Fügen durch Löten  
(Weichlöten, Hartlöten)

Kleben

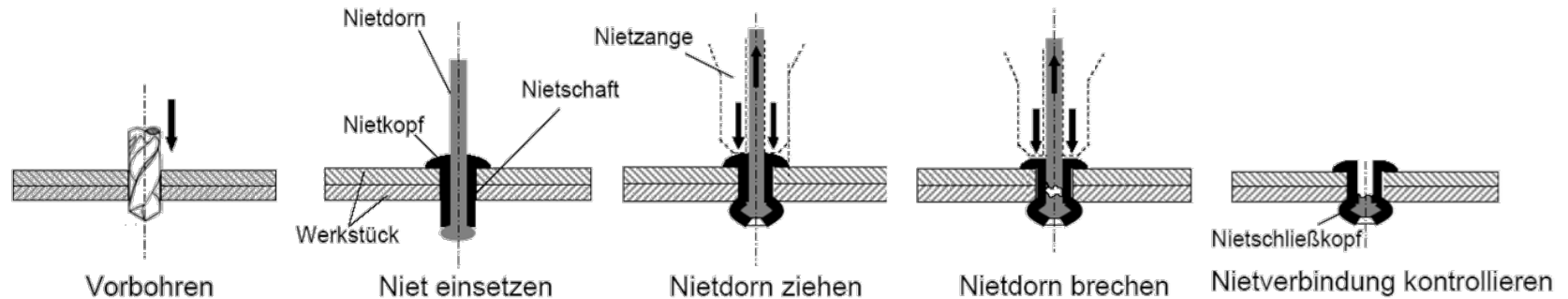
Textiles Fügen

## 2.4 Fügen

# BLINDNIETEN I

Für verschiedene Anwendungsgebiete wurden im Laufe der Jahre eine Vielzahl von Blindniet-Ausführungen entwickelt. Die Blindnietvarianten Senk-, Flachkopfnieten, Einnietmuttern und Einzelbolzen werden heute hauptsächlich industriell eingesetzt.

Um eine dauerhafte und sichere Verbindung zu gewährleisten, muss das Niet-Material, der Nietdurchmesser und die Nietlänge auf den Werkstoff und die Geometrie der zu fügenden Teile abgestimmt sein.



## BLINDNIETEN II

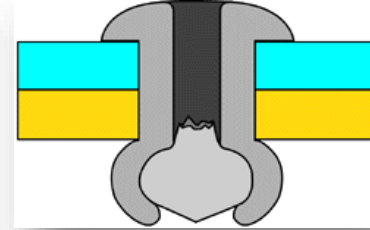
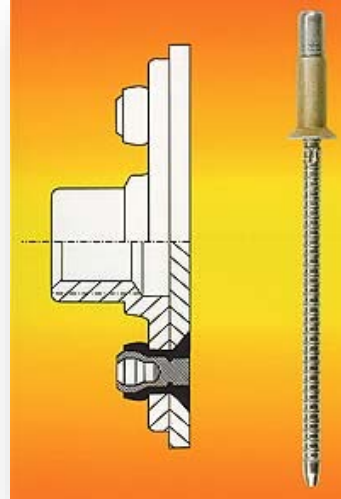
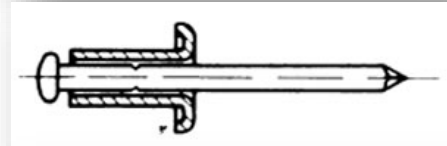
Vorgang:

- Axiales Lochen der zu fügenden Bauteile (mittels Bohren oder Stanzen)  
→ Bohrlochdurchmesser = Nietdurchmesser
- Einsetzen des Nietes, mittels Nietzange wird der Nietdorn aus dem Niet gezogen
- Nietkopf wird durch die Nietzange auf das Bauteil gepresst
- Die Verdickung am Ende des Nietdornes wird in die Niethülse gezogen, welche sich dadurch aufweitet
- Bei vollständigem Ausformens des Nietschließkopfes bricht der Nietdorn an der Sollbruchstelle

Fehlerhafte Nietverbindungen können aufgebohrt und erneuert werden

## 2.4 Fügen

# BLINDNIETEN UND VERSCHIEDENE HANDNIETZANGEN



## 2.4 Fügen

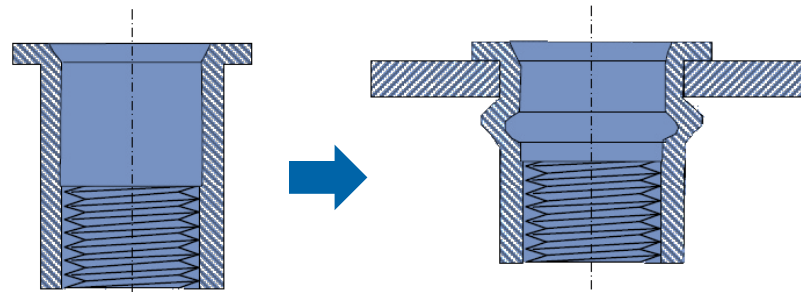
# EINNIETMUTTER

In der industriellen Anwendung von Blindnieten ist der Einsatz von Einnietmuttern im Flug- und Fahrzeugbau stark verbreitet.

Das Funktionsprinzip ist dem der klassischen Nietverbindung sehr ähnlich.

Einnietmutter besitzen keinen Nietdorn, sondern ein Innengewinde, in das zum Fügen ein Gewindedorn eingedreht wird. Dieses Innengewinde bleibt nach dem Fügen und Ausdrehen des Gewindedorns funktionsfähig und kann als Mutterngewinde genutzt werden.

Somit wird die Einnietmutter nicht nur zum Fügen zweier oder mehrerer Bauteile, sondern auch zur Befestigung von Muttern- oder Bolzengewinden an dünnwandigen Werkstücken eingesetzt.



## 2.4 Fügen

# STANZNIETEN I

Beim **Stanznieten** dringen die Niete **ohne Vorlochen** in die Füge­teile ein. Die zu fügenden Bauteile müssen von beiden Seiten für das Nietwerkzeug zugänglich sein, da zur Umformung eine **Gegenmatrize notwendig** ist.

Es wird zwischen Halb­hohl- und Vollniet unterschieden.

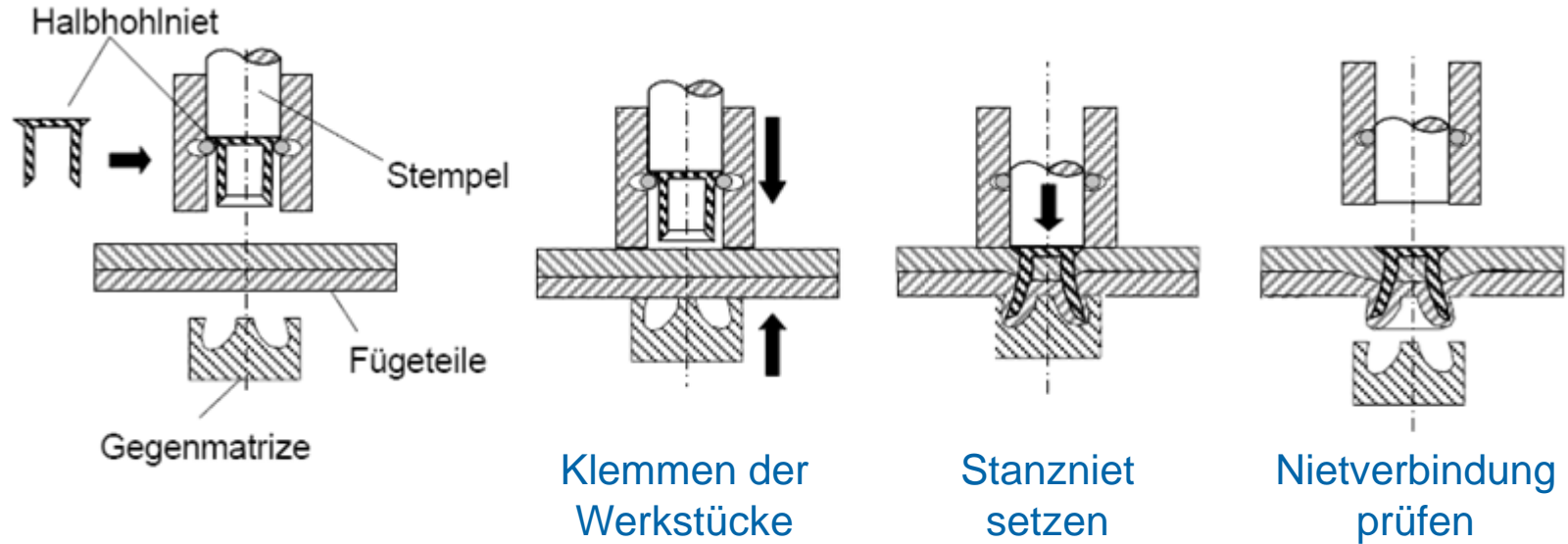
Die Füge­verbindung wird entweder durch Umformen des Nietes (Halbhohl­niet) oder der Füge­teile (Vollniet) geschaffen. Beim Stanznieten mit Vollniet werden die Füge­teile durch­stanzt.

Durch die Kontur der Gegen­matrize wird das an den Niet angrenzende Material der Füge­teile in den konkaven Bereich des Niets gedrückt und somit eine kraft- und formschlüssige Verbindung geschaffen. Beim Stanznieten mit Halb­hohl­niet wird der erste Füge­partner durch­stanzt, der zweite zusammen mit dem Unterteil der Niete in der Gegen­matrize zu einem Schließkopf ausgeformt.

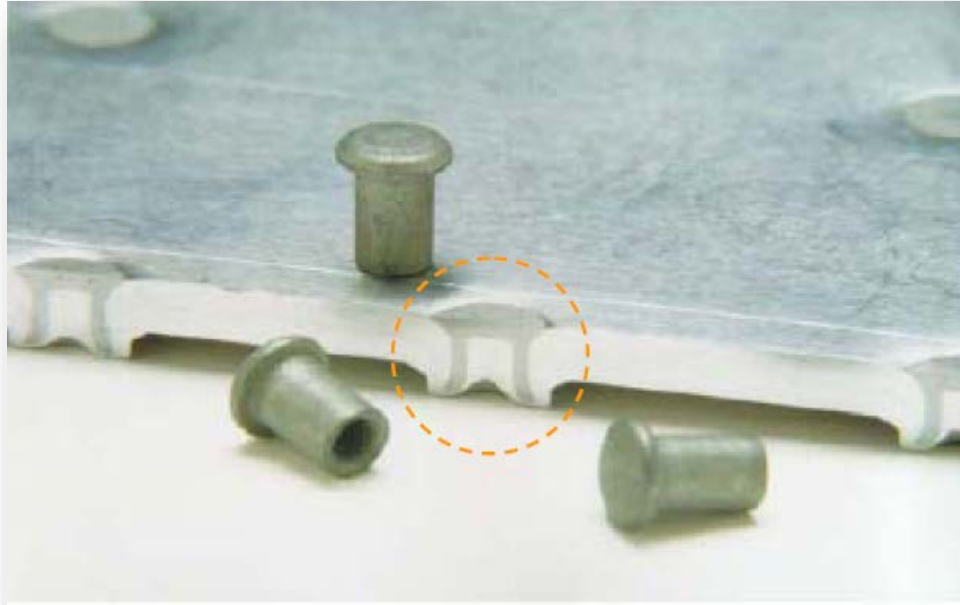
Beim Stanznieten wird kein Nietdorn benötigt. Dies ist gerade bei der automatisierten Serienanwendung ein großer Vorteil, da nach dem Fügen kein Nietdorn abgeführt werden muss.

2.4 Fügen

# STANZNIETEN II



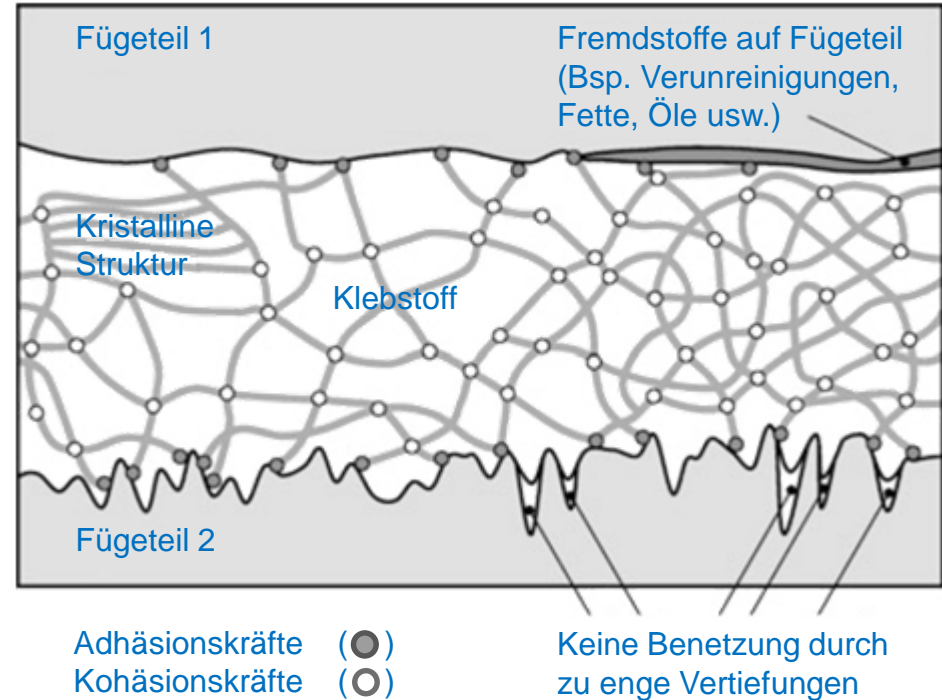
# BEISPIEL: STANZNIETEN VON BLECHEN



# KLEBEN

Das Verbinden von Fügeteilen wird beim Kleben durch eine dünne Klebstoffschicht erreicht.

Die Festigkeit der geklebten Verbindung hängt von der Eigenfestigkeit (Kohäsion) und den Verformungseigenschaften des Klebstoffs sowie von den Bindekräften zwischen Klebstoffschicht und der Fügeteiloberfläche (Adhäsion) ab. Diese Grenzschichten sind von besonderer Bedeutung.



## 2.4 Fügen

# KLEBEN – ADHÄSION UND KOHÄSION

### **Adhäsion (Grenzflächenhaftung)**

Adhäsionskräfte wirken zum Beispiel, wenn ein nasses Blatt Papier an einer Scheibe haften bleibt. Es sind Anziehungskräfte mit einer sehr geringen Reichweite im Bereich von Mikrometern. Sie wirken also nur da, wo die Grenzflächen von zwei Stoffen sehr nahe beieinander sind. Selbst bei polierten Flächen erkennt man unter dem Elektronenmikroskop viele kleine Unebenheiten; die Stoffe berühren sich nur an vielen kleinen Punkten und nicht auf einer großen Fläche.

### **Kohäsion (Zwischenmolekularen Kräfte)**

Die Kohäsionskräfte sind die Kräfte, die innerhalb des Klebstoffes wirken und ihm seine eigene Festigkeit verleihen.

## 2.4 Fügen

# BEURTEILUNG KLEBEN

## Vorteile

- Konstruktion stärker ausführbar
- Verbindung ohne Wärmezufuhr
- Glatte Oberfläche, saubere Kontur
- Klebnähte gas- und flüssigkeitsdicht
- höhere Korrosionsbeständigkeit
- Isolation gegen elektrischen Strom
- Dämmung gegen Wärme und Körperschall
- Vibrationsdämpfung
- durch Wärme trennbar

## Nachteile

- relativ geringe Warmfestigkeit
- mechanische und chemische Klebflächenvorbehandlung notwendig
- Anpassung an Einzelfall oft schwierig (sehr viele Klebsorten notwendig)
- geringe Festigkeit
- teuer (abhängig von Einzelfall)

## 2.4 Fügen

# TECHNISCHE ANWENDUNG KLEBEN

- Fenstergläser und Windschutzscheibe in KFZ
- mit dem Rumpf verklebte Tragwerke bei Flugzeugen. Klebungen wurden erstmals in der Fokker F-27 in den 1960er Jahren eingesetzt
- bei Zahnersatz: Verkleben von Brücken, Kronen, Verblendschalen und Inlays
- oberflächenmontierte, elektronische Bauelemente Surface Mounted Device (SMD) werden erst auf die Platine geklebt und dann verlötet
- kupferkaschierte Leiterplatten (Platinen)
- in Form von Klebebändern

# TECHNISCHE ANWENDUNG KLEBEN



[https://www.youtube.com/watch?v=ojAtQX2pX\\_c](https://www.youtube.com/watch?v=ojAtQX2pX_c)



Additive Fertigung

# FERTIGUNGSTECHNIK 20/21 - 15

Technische Universität Bergakademie Freiberg  
IMKF - Additive Fertigung  
Agricolastraße 1, 09599 Freiberg, Germany

Prof. Dr.-Ing. Henning Zeidler  
Tel: +49 3731 39 30 66  
henning.zeidler@imkf.tu-freiberg.de

