

Studiengang Mechatronik

Modul 5 – Konstruktion 1:

# Fertigungstechnik

- 11. Vorlesung -

Prof. Dr. Enno Wagner

13. Januar 2026

## Übersicht

### Organisatorisches

### Thema Fügen

- Schweißen
- Löten
- Formschluss

### Thema Beschichten

## Ergebnis 3. Testat KON1:

Fertigungsaufgabe

=> Siehe Aushang in der Übung

Nächsten Dienstag (14.01.2026)

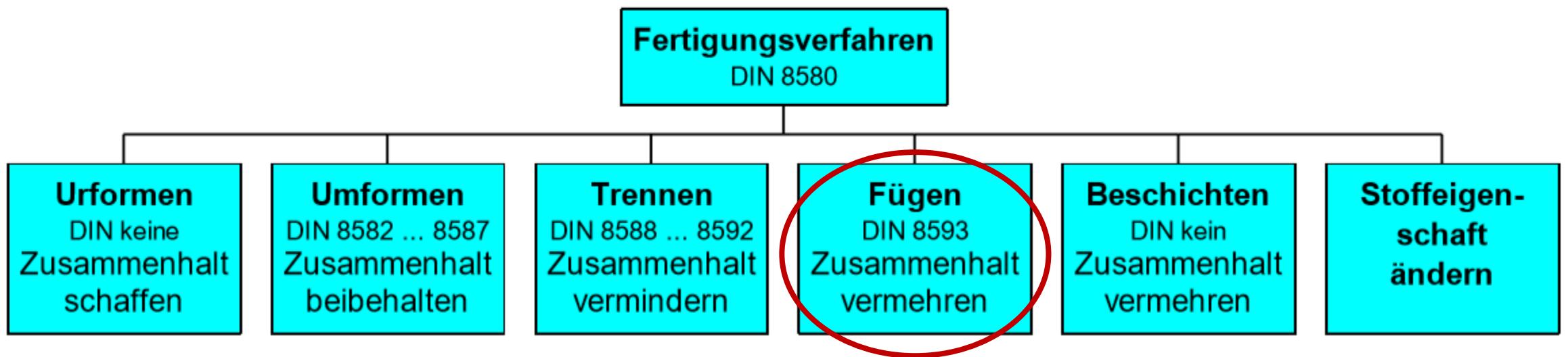
=> 4. Testat KON1- Wellenlagerung

Untergliederung der Fertigungsverfahren

**Hauptgruppen nach DIN 8580**

## Fertigungsverfahren

Einteilung in 6 Hauptgruppen nach DIN 8580



Quelle: Skript Prof. H. Albrecht, Frankfurt AUS, WS 16/17

Neues Thema:

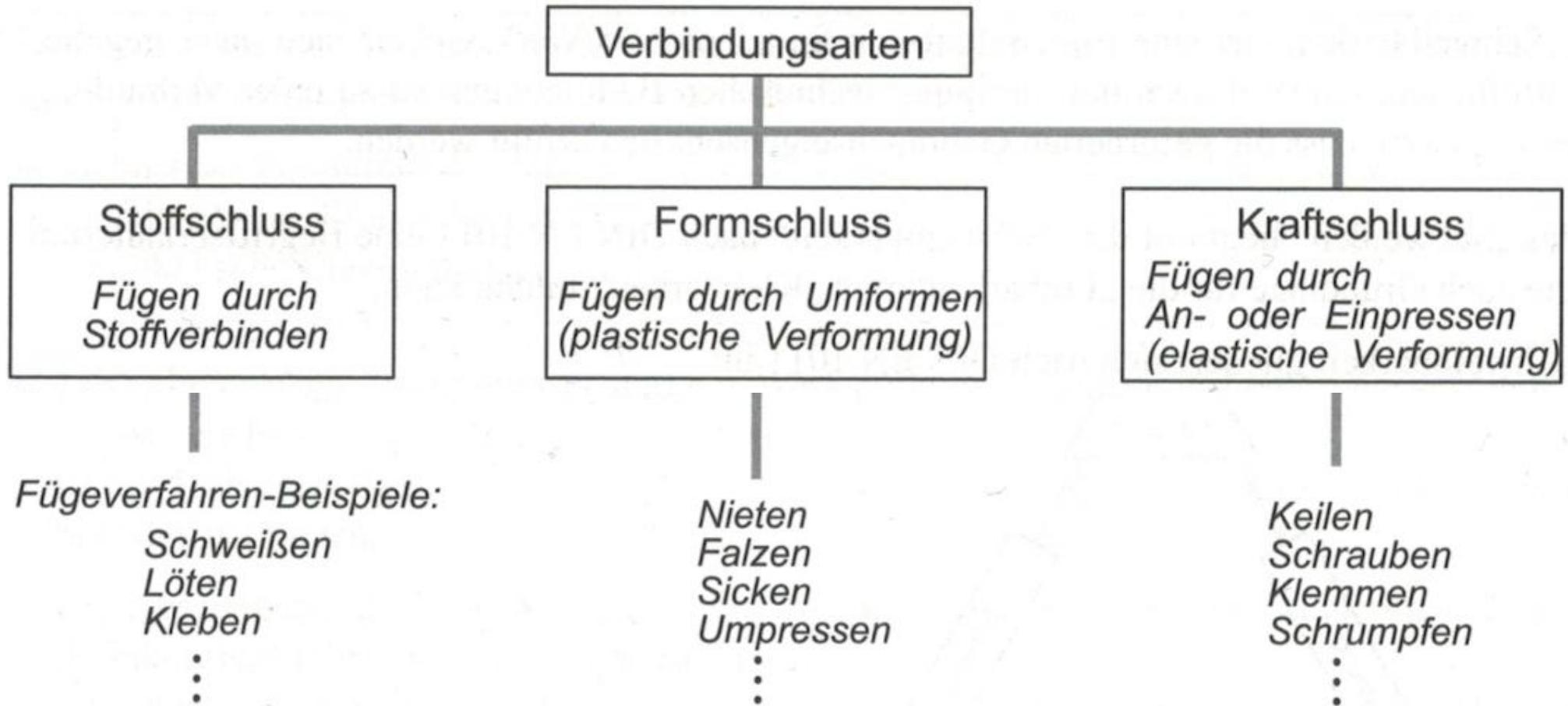
# 4. Fügen

## Hauptgruppe

### 4 **Fügen** **DIN 8593**

## Gruppen



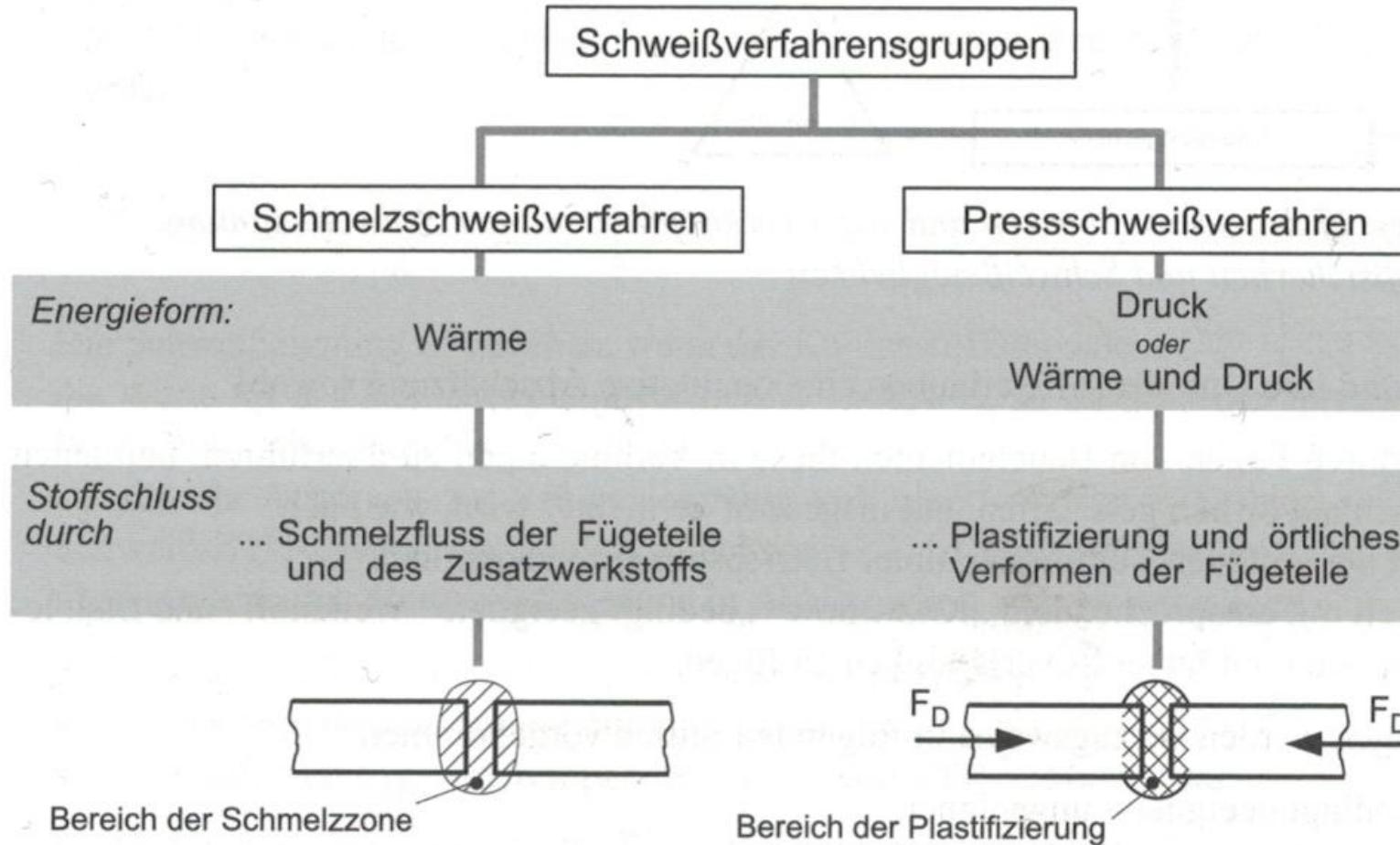


Quelle:

Awiszus, et al.

Grundlagen der  
Fertigungstechnik  
Hansa-Verlag

## Wirkpaarung durch Schweißen



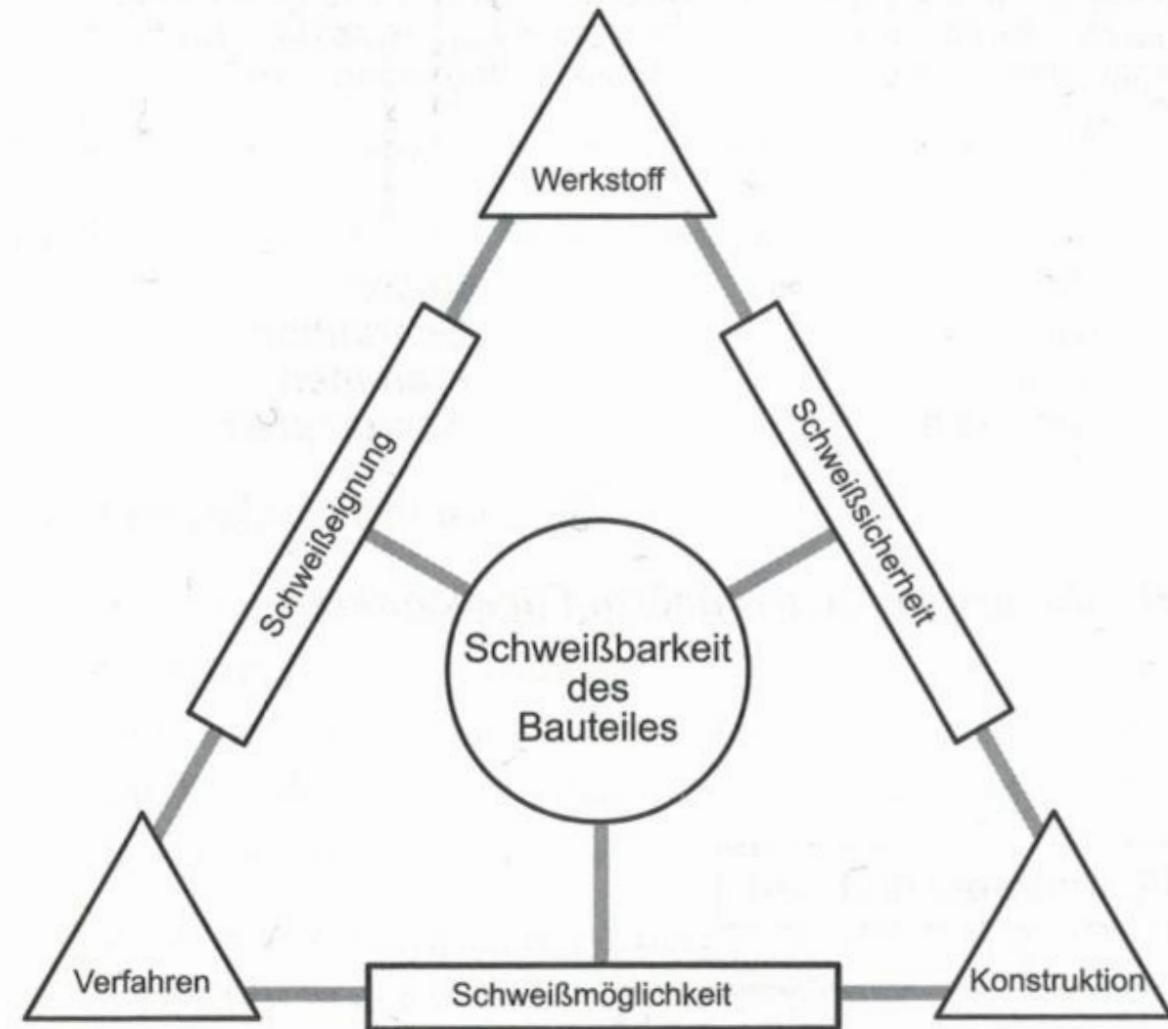
Quelle:  
 Awiszus, et al.  
 Grundlagen der  
 Fertigungstechnik  
 Hansa-Verlag

## Schweißeignung

- Schweißeignung  
Schweißsicherheit  
Schweißmöglichkeit

Quelle:

Awisszus, et al.  
Grundlagen der  
Fertigungstechnik  
Hansa-Verlag



## Schweißeignung von Stählen

Die Schweißeignung ist beeinflusst durch

- Chemische Zusammensetzung
- Metallurgische Eigenschaften
- Physikalische Eigenschaften

Die Schweißeignung ist gegeben wenn

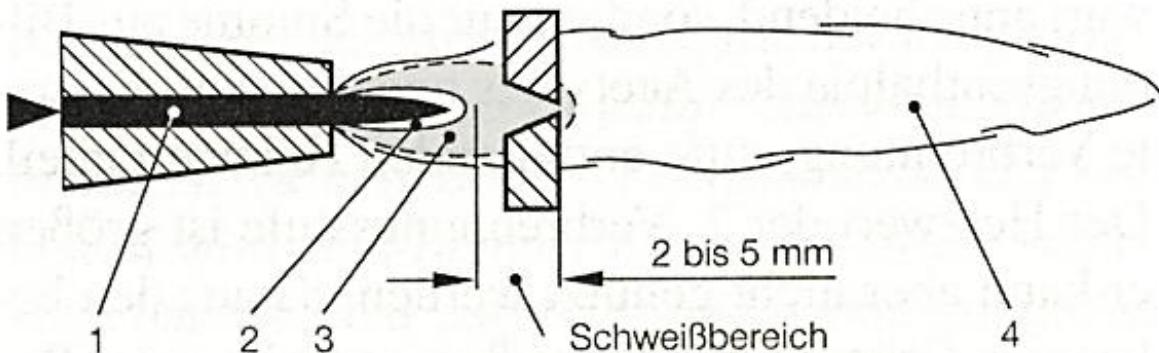
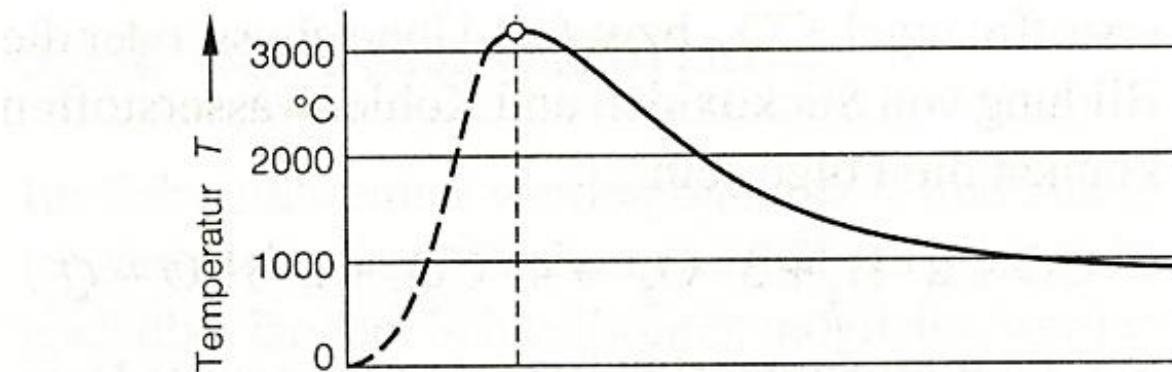
- der Kohlenstoffgehalt  $C \leq 0,22\%$
- das Kohlenstoffäquivalent  $CE > 0,4\%$

Quelle:

Awiszus, et al.  
Grundlagen der  
Fertigungstechnik  
Hansa-Verlag

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

## Gasschweißen



Quelle:

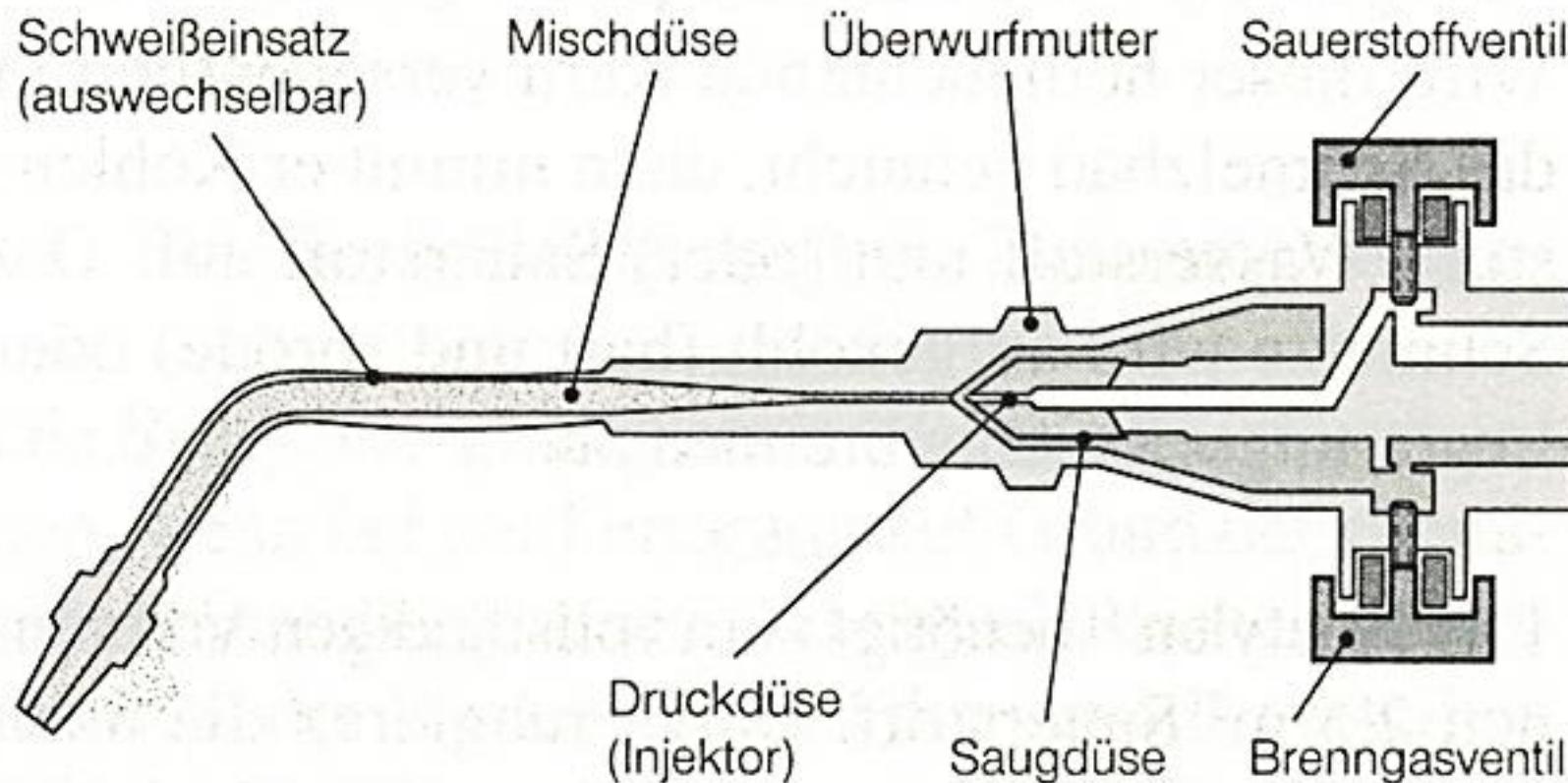
Fritz, Schulze:

Fertigungstechnik, Springer

- Schmelzfluss durch örtlich einwirkende Acetylen-Sauerstoff-Flamme
- Wärme und Schweißzusatzstoff werden getrennt zugeführt
- DIN ISO 857-1

- 1 kaltes  $C_2H_2$ -Sauerstoffgemisch
- 2 Acetylenzerfall:  $2 \cdot C_2H_2 \rightarrow 4 \cdot C + 2 \cdot H_2$
- 3 1. Verbrennungsstufe (Schweißbereich) besteht in der Hauptsache aus reduzierenden Flammgasen CO und  $H_2$ :  
 $2 \cdot C + H_2 + O_2 \rightarrow 2 \cdot CO + H_2$
- 4 2. Verbrennungsstufe („Streuflamme“):  
 $4 \cdot CO + 2 \cdot H_2 + 3 \cdot O_2 \rightarrow 4 \cdot CO_2 + 2 \cdot H_2O$

## Injektorbrenner - Schnittdarstellung



Quelle:  
Fritz, Schulze:  
Fertigungstechnik,  
Springer

## Schweißen mit Lichtbogen

- Selbstständige Gasentladung zwischen zwei Elektroden
- Ionisierung des Gases führt zur Plasmabildung (vierter Aggregatzustand)
- Plasma-Temperaturen: 4.000 – 30.000 K
- Stromquellen: Transformatoren

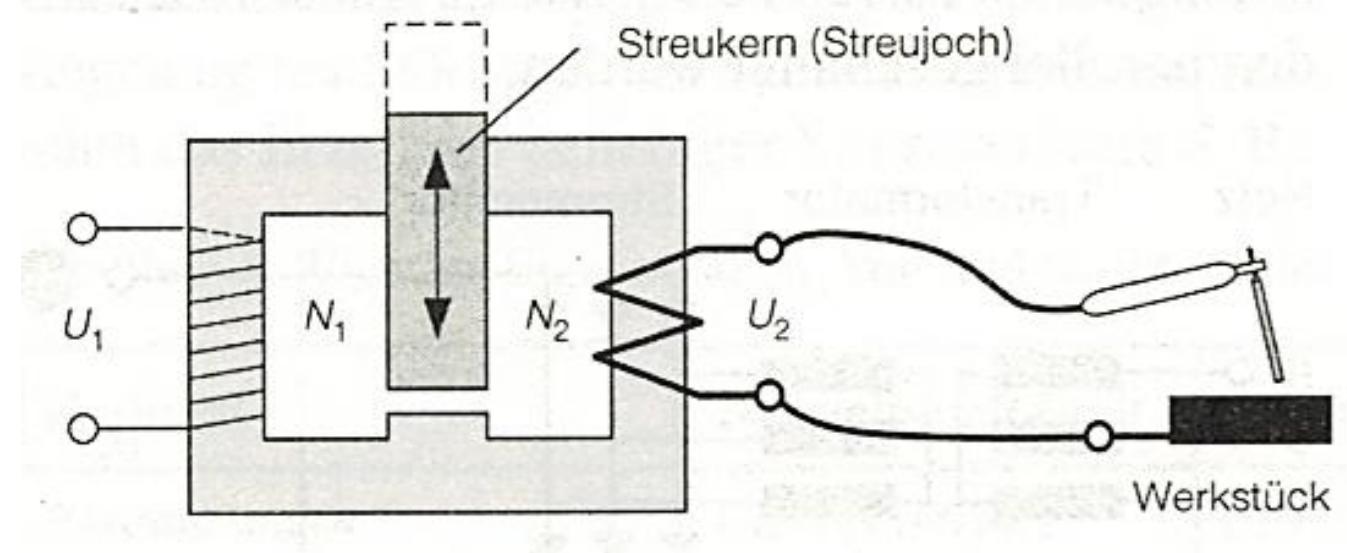
$$\ddot{U} = \frac{U_{\text{Netz}}}{U_0} = \frac{N_{\text{primär}}}{N_{\text{sekundär}}} = \frac{I_S}{I_{\text{Netz}}}$$

$U_{\text{Netz}}$	Netzspannung
$U_0$	Leerlaufspannung der Schweißstromquelle
$N$	Windungszahl
$I_S$	Schweißstromstärke
$I_{\text{Netz}}$	Netzstrom

Beispiel:  
 Netz: 230 V, 16 A  
 Schweißen: 30 V  
 Schweiß-Strom: ?

## Schweißen mit Lichtbogen

Früher:  
mechanisch verstellbare  
Transformatoren  
=> Wechselstrom



Quelle:  
Fritz, Schulze:  
Fertigungstechnik,  
Springer-Verlag

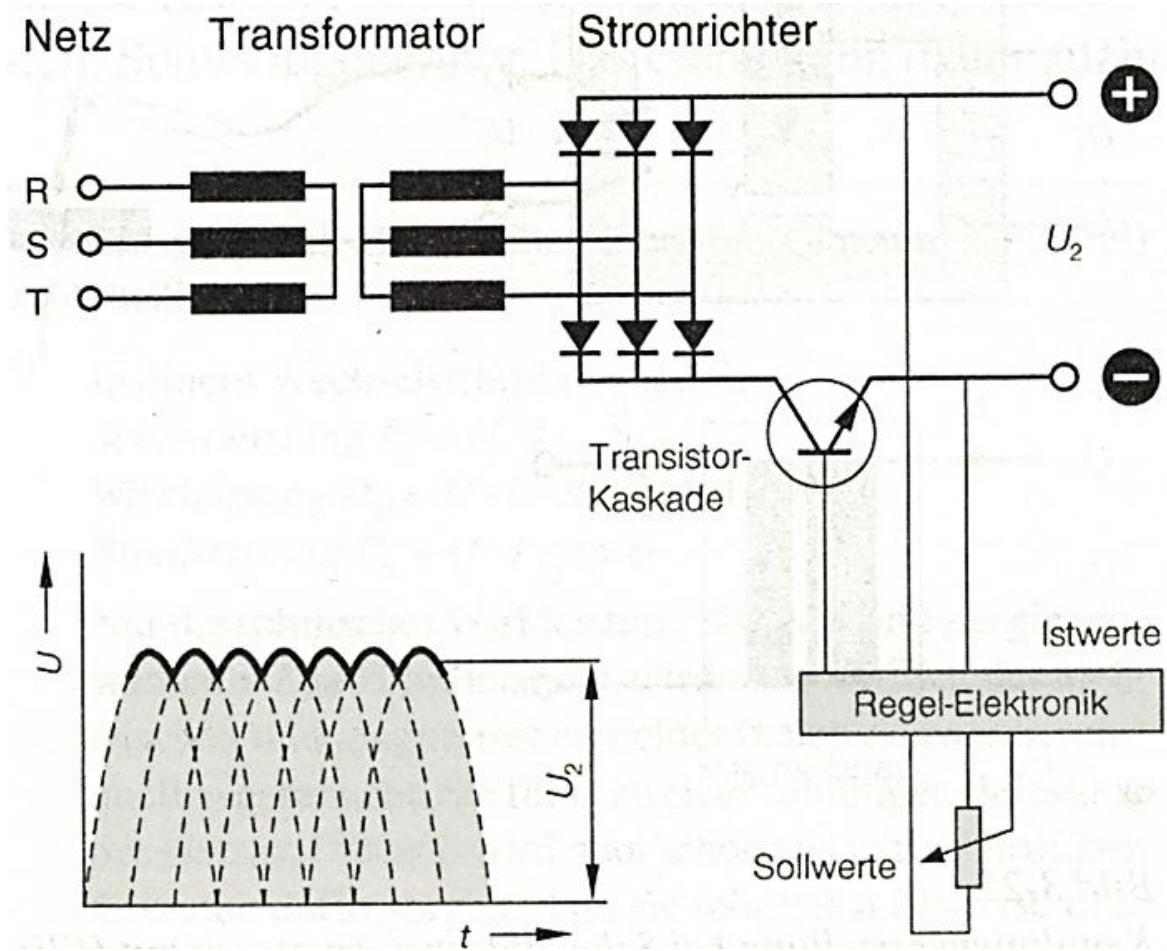
## Schweißen mit Lichtbogen

Heute:

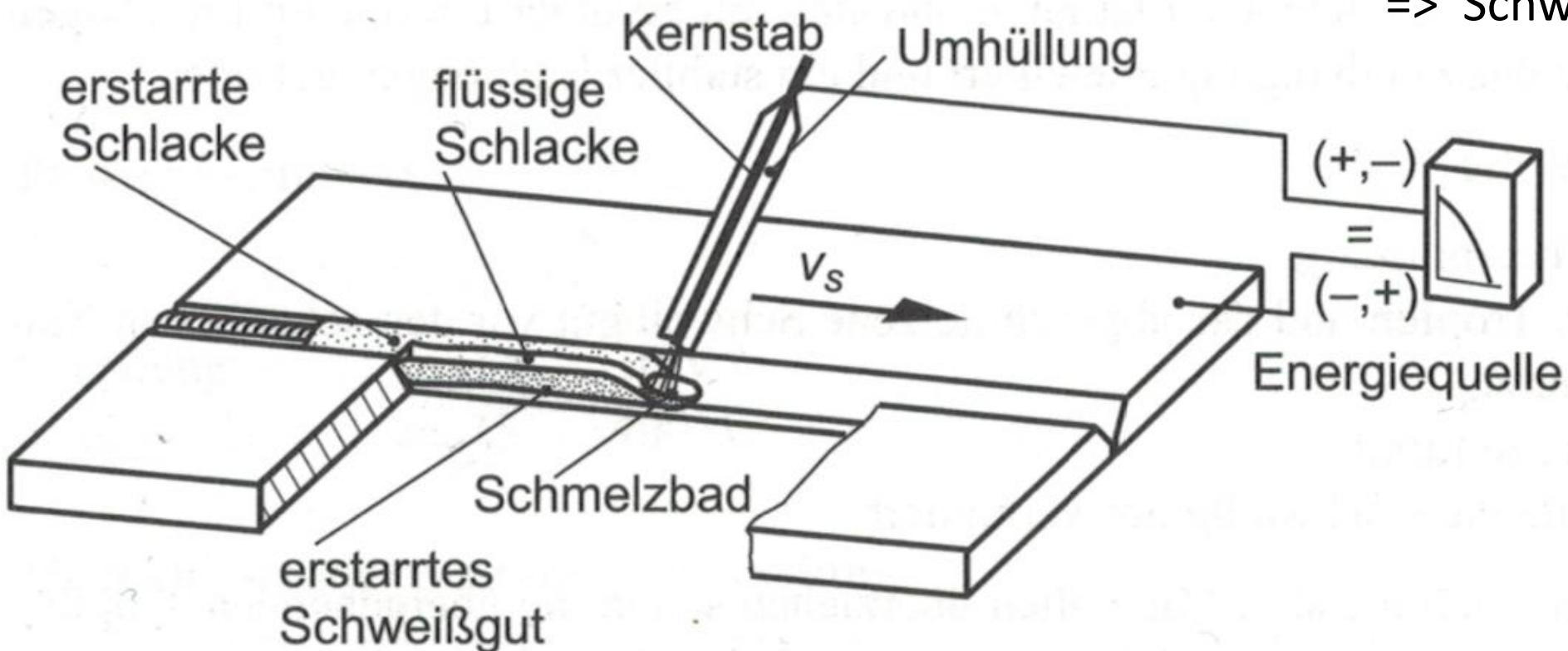
Schweißgleichrichter mit  
Transistorregelung

Quelle:

Fritz, Schulze:  
Fertigungstechnik,  
Springer-Verlag

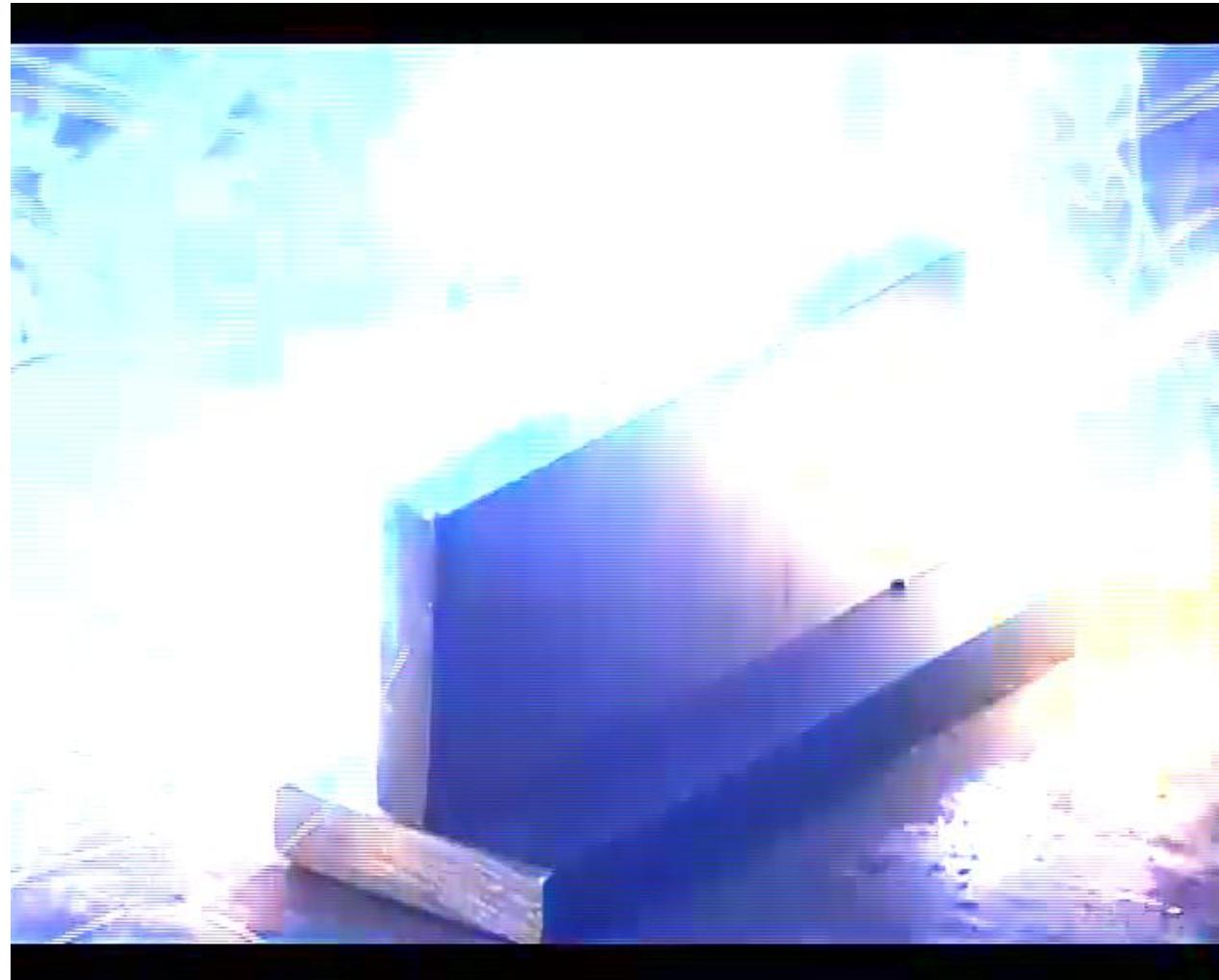


## Lichtbogen Handschweißen (E-Hand)



Stabelektrode brennt ab  
=> Schweißzusatz

Quelle:  
Awiszus, et al.  
Grundlagen der  
Fertigungstechnik  
Hansa-Verlag

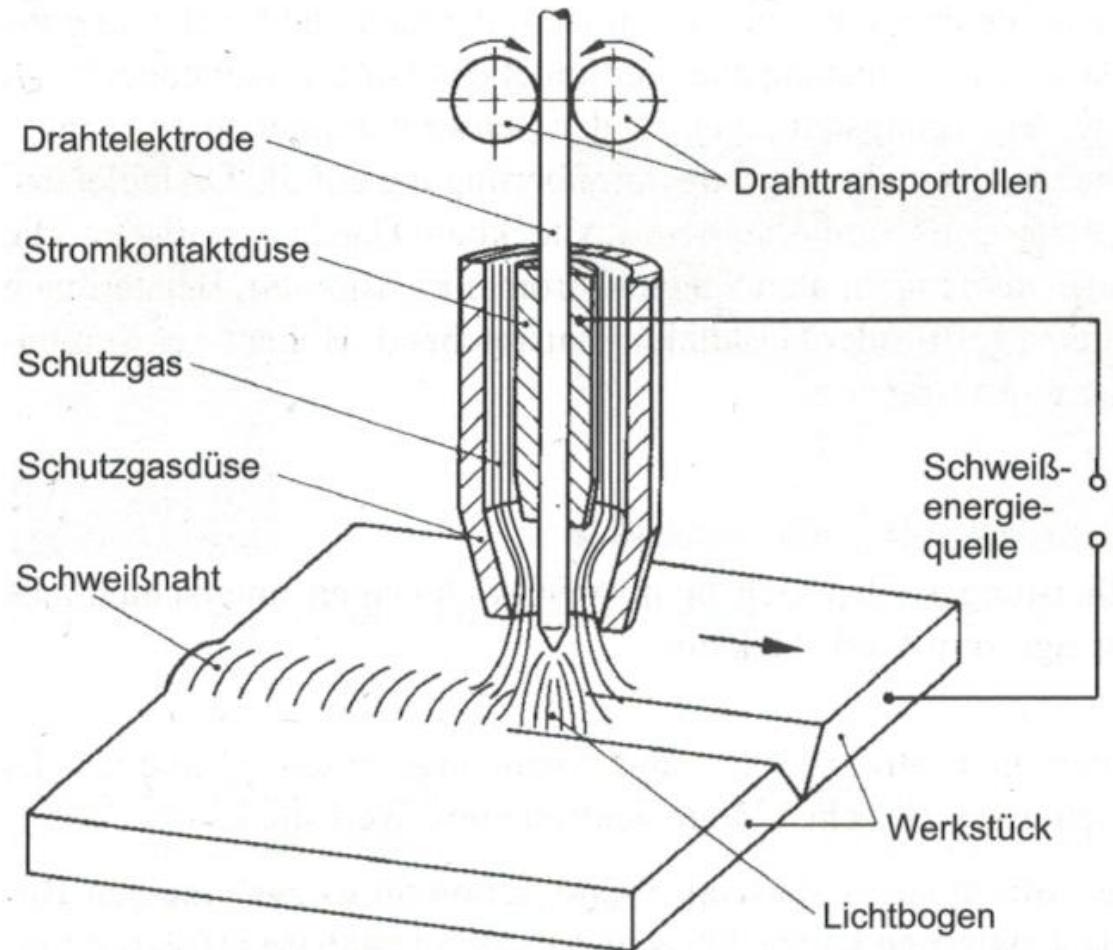


Quelle:  
FT, Prof. Michalke

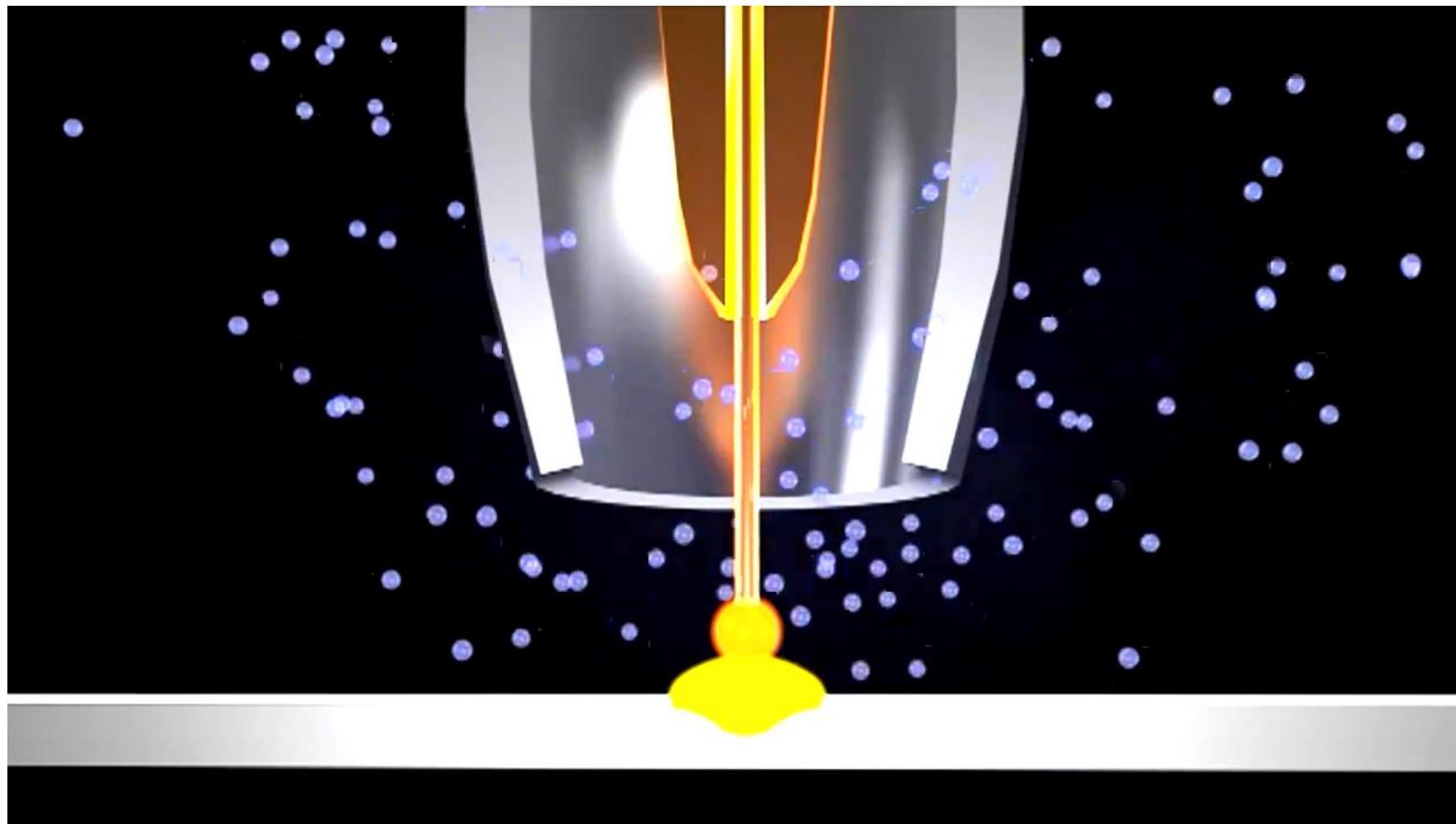
## Metall-Schutzgasschweißen MIG / MAG

Nach DIN EN 14610

- Abschmelzende Elektrode = Schweißzusatz
- Drahtelektrode wird automatisch zugeführt (endlos, von Drahtspule)
- Durchmesser ca. 0,8 ... 1,6 mm
- Schutzgas aus Düse zum Schutz des Schmelzbades (MIG = Argon/Helium, MAG = CO<sub>2</sub>, aktiv)



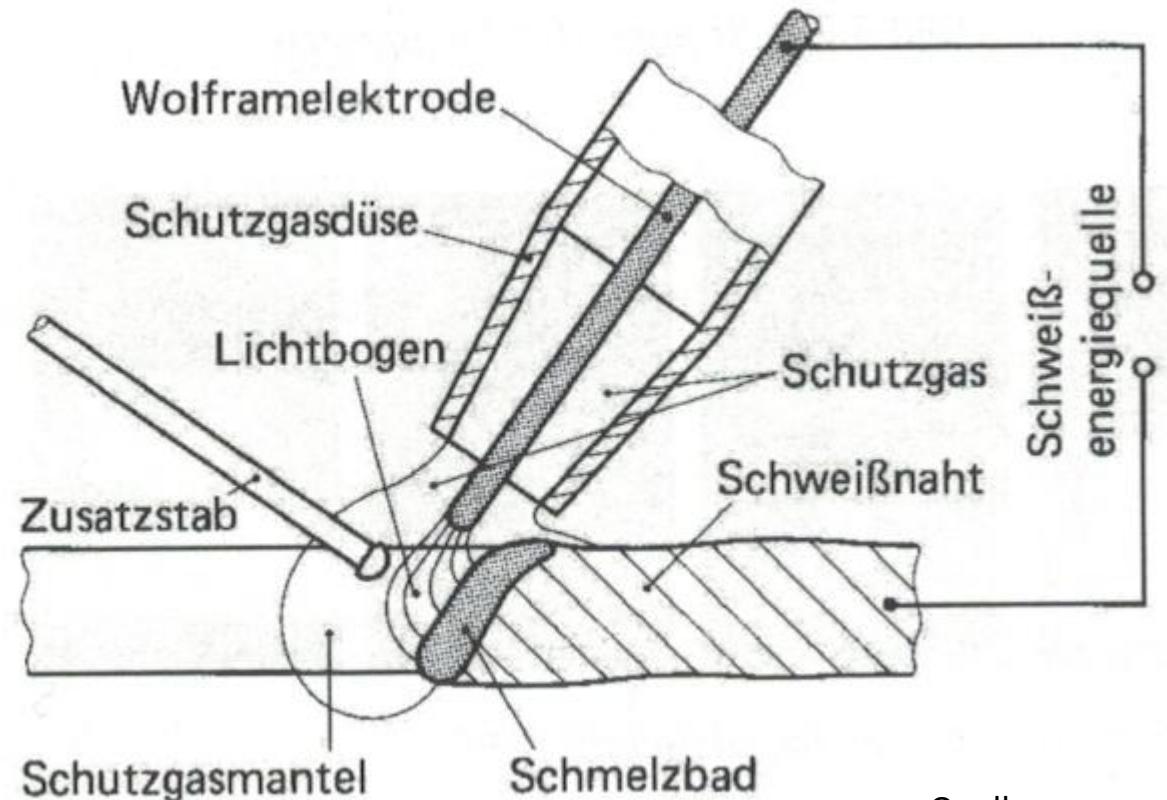
Quelle:  
Awiszus, et al.



Quelle:  
FT, Prof. Michalke

## Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG)

- Wolframelektrode brennt nicht ab
- Schutzgas umströmt Elektrode
- Schweißzusatz wird von Hand zugeführt
- Gut geeignet für hoch legierte Stähle (Edelstahl), Titan, Tantal
- Mit Wechselstrom: Aluminium, Magnesium



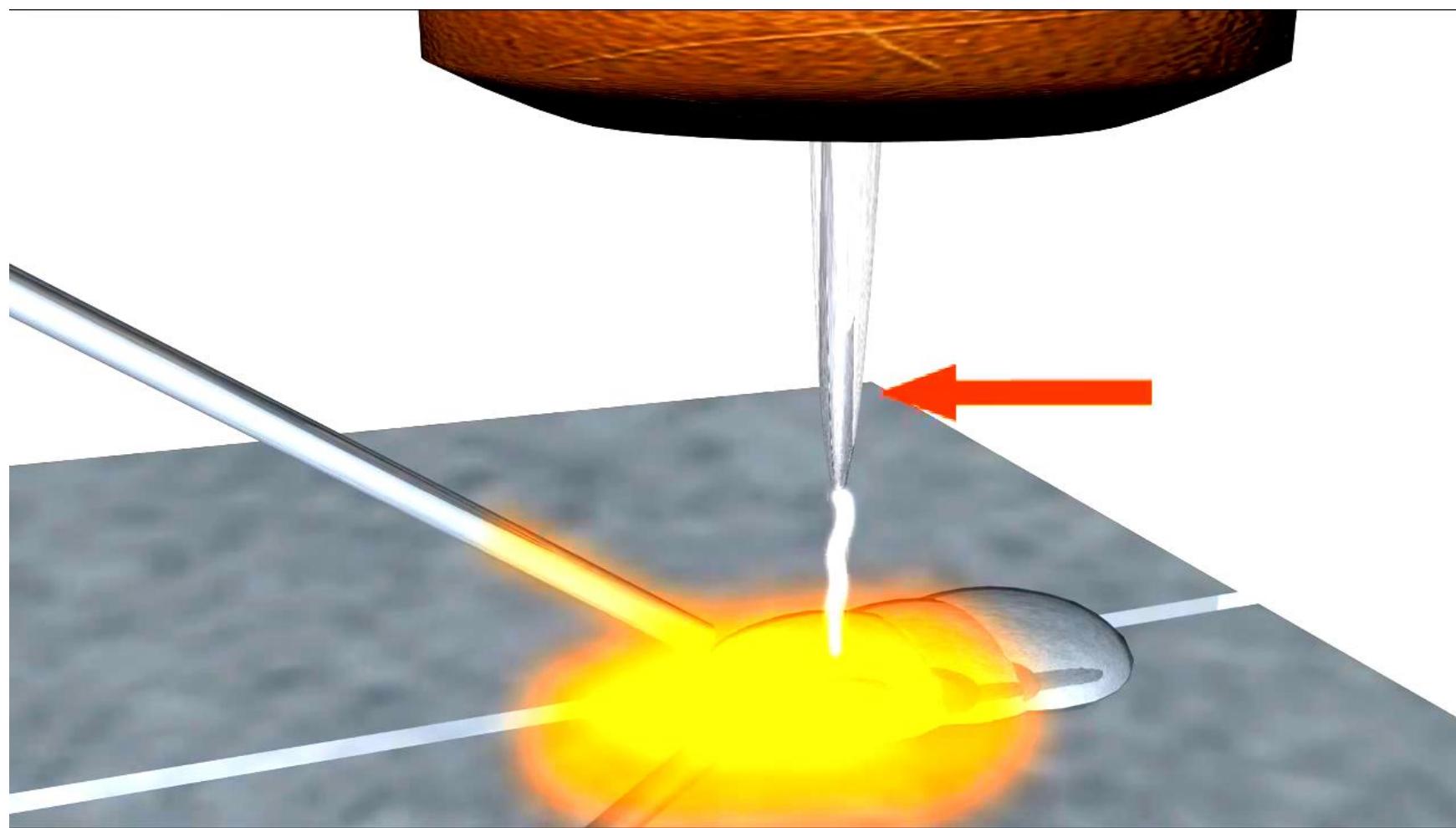
Quelle:  
Awiszus, et al.  
Grundlagen der  
Fertigungstechnik  
Hansa-Verlag

## Beispiel WIG-Schweißen

Schweißen eines Edelstahlbehälters  
für eine alkalische Brennstoffzelle

Bild: Prof. Enno Wagner

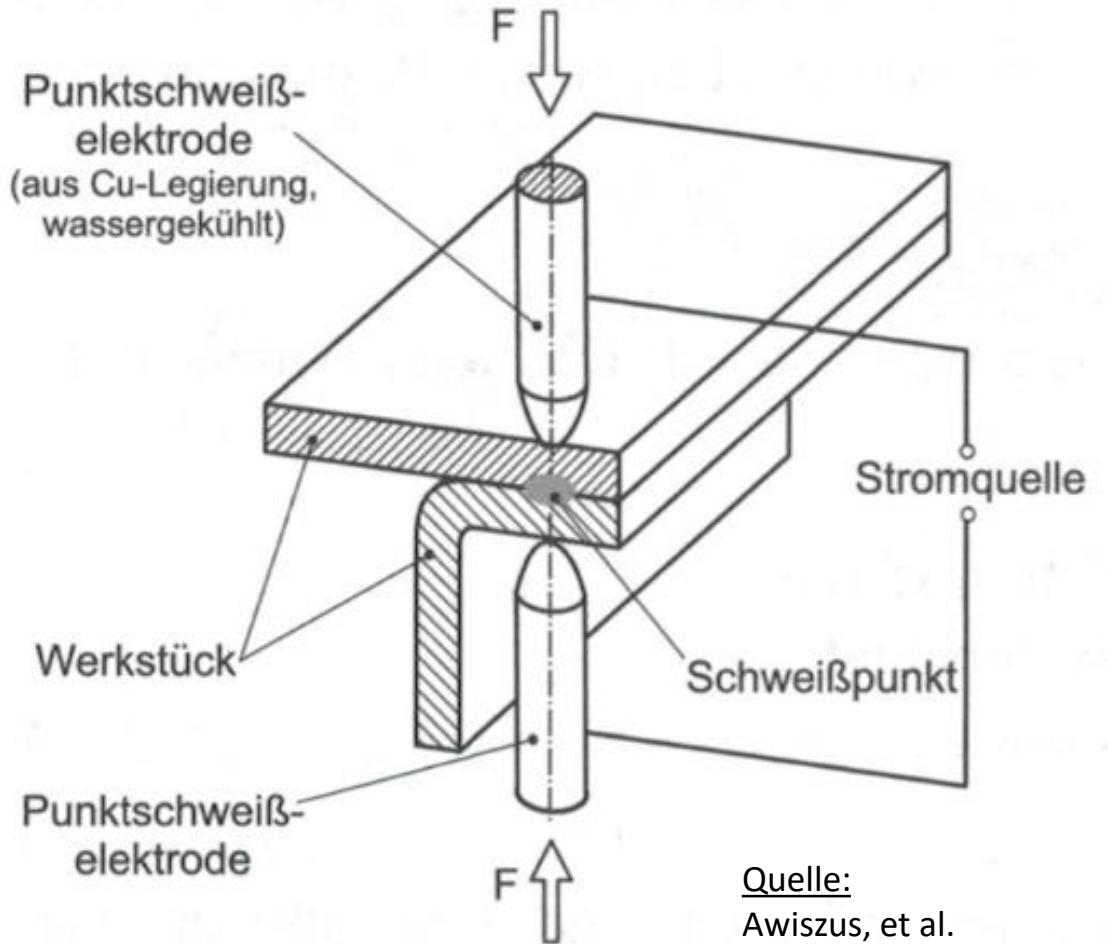




Quelle:  
FT, Prof. Michalke

## Punktschweißen (zweiseitig)

- Punktförmige Erwärmung der Werkstücke
- Unter Anwendung von Strom und Kraft an den punkt-/linsenförmige Verschweißung
- Ein-/Doppel-/Vielpunktschweißen



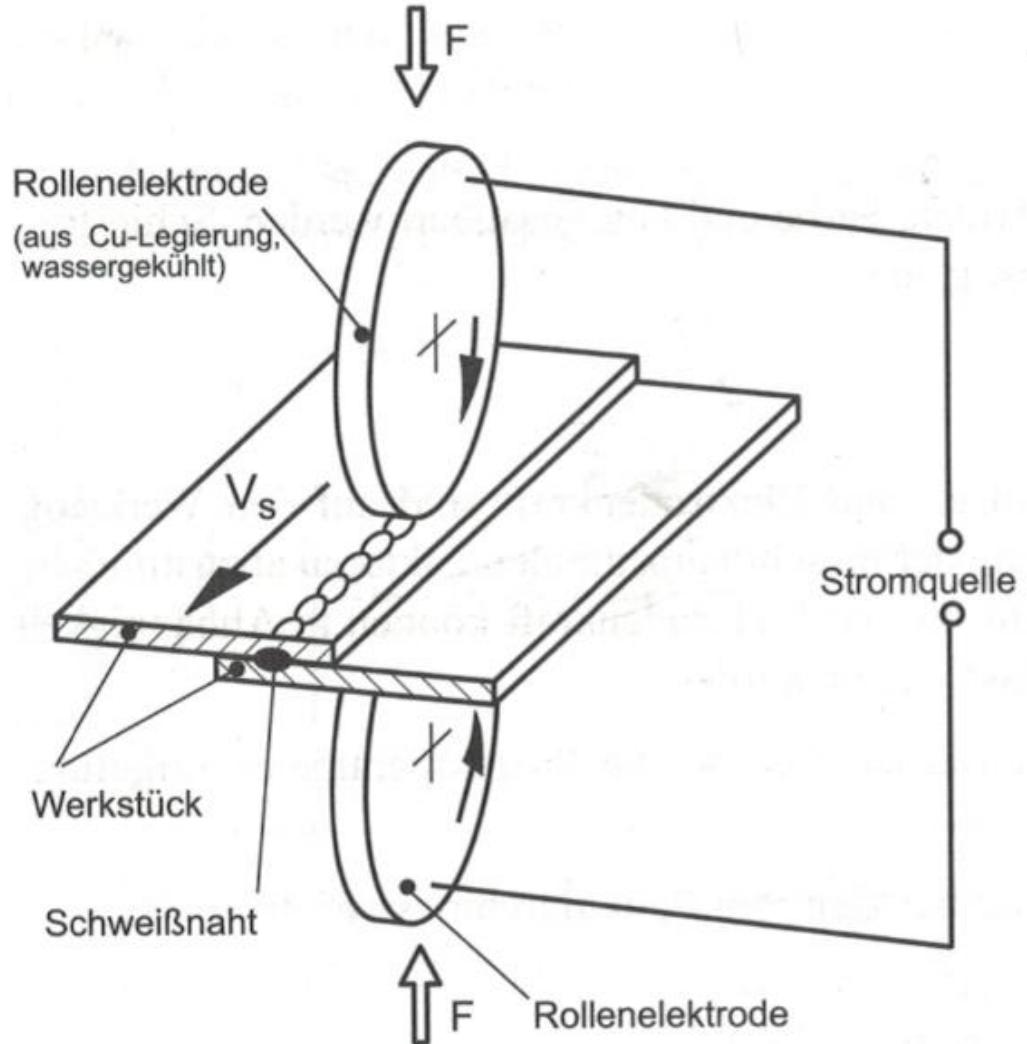
Quelle:  
Awiszus, et al.  
Grundlagen der  
Fertigungstechnik  
Hansa-Verlag

## Rollnahtschweißen

- Abgeleitet vom Punktschweißen
- Durch Drehung der Rollen  
Weiterbewegung des Werkstücks
- Höhere Schweißgeschwindigkeiten

Quelle:

Awiszus, et al.  
Grundlagen der  
Fertigungstechnik  
Hansa-Verlag



## Anwendung von Punktschweißen

=> Vor allem im Karosseriebau  
mittels Robotern

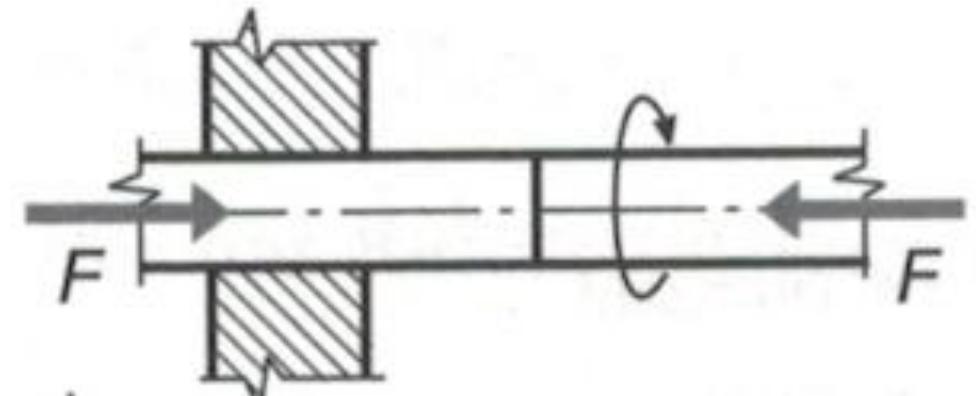


Quelle:  
FT, Prof. Michalke

## Schweißen durch Bewegungsenergie

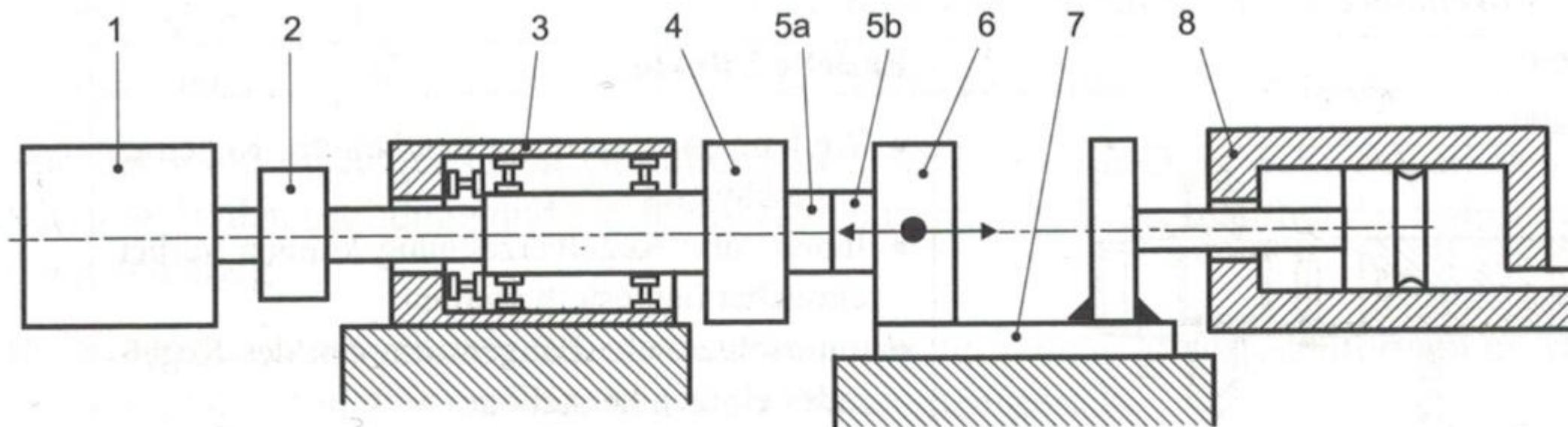
### => Reibschweißen

- Notwendige Wärme wird durch mechanische Reibung erzeugt
- Anwendung: verschweißen von Rohren und Wellen



Quelle:  
Awiszus, et al.  
Grundlagen der  
Fertigungstechnik  
Hansa-Verlag

## Reibschweißen

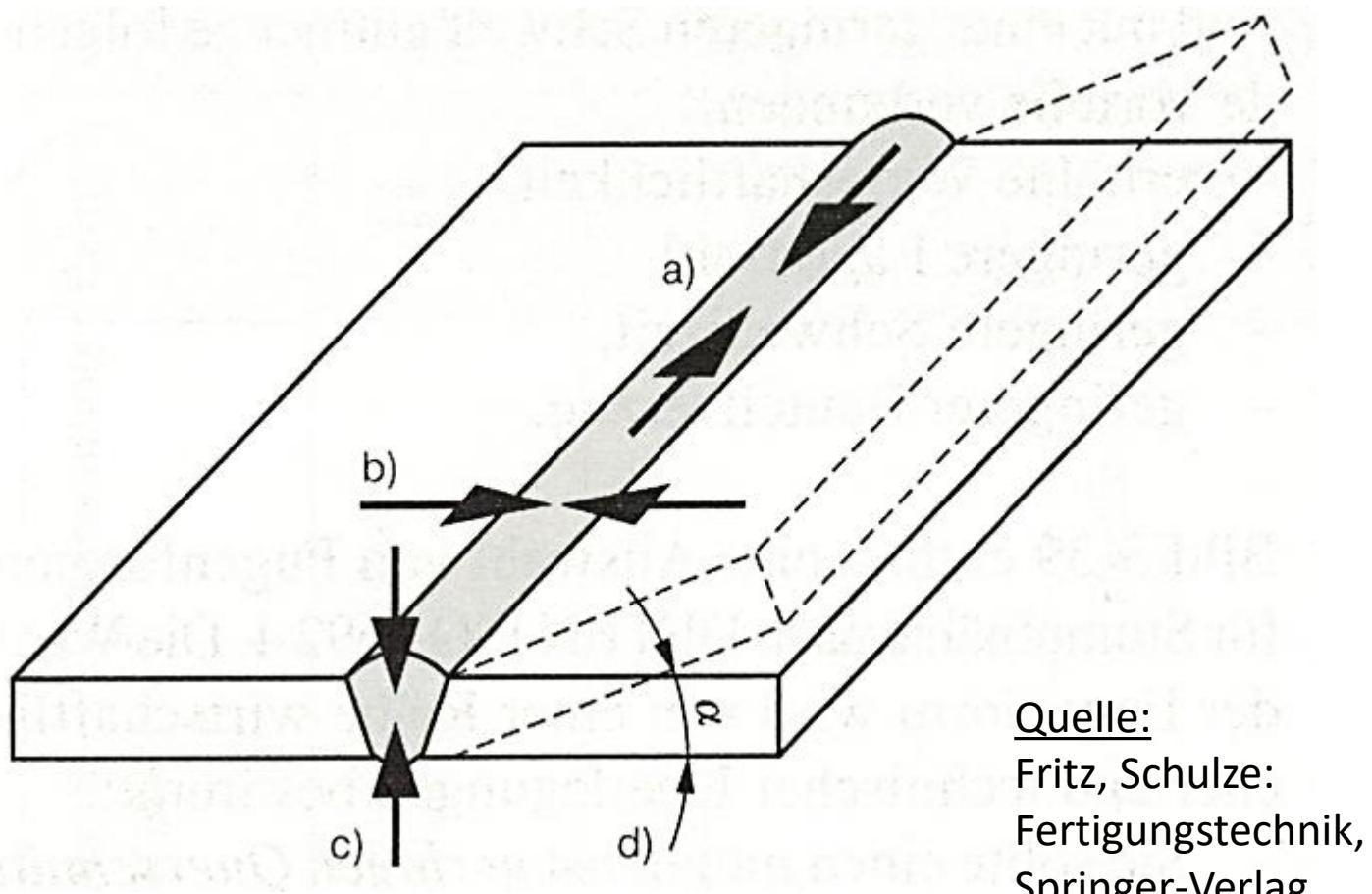


1 Motor; 2 Kupplung/Bremse beim Reibschweißen mit kontinuierlichem Antrieb, Schwungmasse beim Schwungradreibschweißen; 3 Spindelkopf; 4 Spanneinrichtung für rotierendes Werkstück; 5a Werkstück rotierend; 5b Werkstück feststehend; 6 Spanneinrichtung für feststehendes Werkstück; 7 Schlitten; 8 Erzeugung der Axialkraft durch Hydraulikzylinder

## Schweißnahtschrumpfung

Richtung der Schrumpfungsvorgänge in einer Schweißverbindung

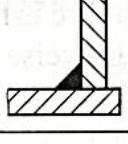
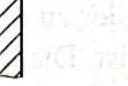
- a) Längsschrumpfung
- b) Querschrumpfung
- c) Dickenschrumpfung
- d) Winkelschrumpfung  $\alpha$



Quelle:  
Fritz, Schulze:  
Fertigungstechnik,  
Springer-Verlag



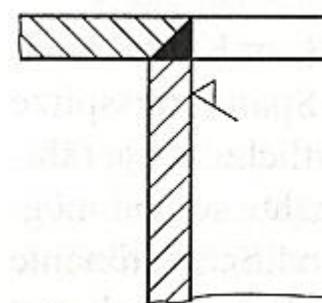
## Gestaltung von Schweißnähten

Stoßart	Benennung	Darstellung	Symbol
Stumpfnähte	I-Naht		=
	V-Naht		>
	Y-Naht		Y
	X-Naht		X
Stirnnaht	Stirnflachnaht		
Kehlnähte	Kehlnaht		<
	Überlappnaht		<
	Ecknaht		<

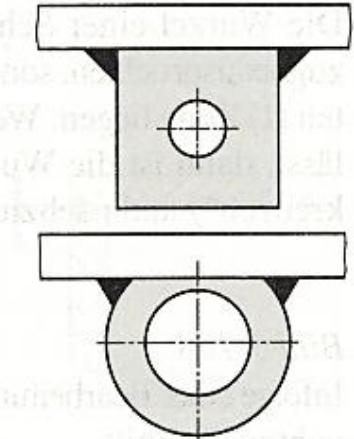
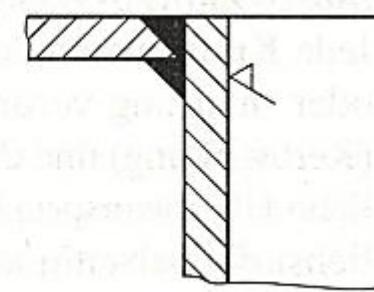
Quelle:  
 Fritz, Schulze:  
 Fertigungstechnik,  
 Springer-Verlag

## Gestaltung von Schweißnähten

ungünstig



günstig

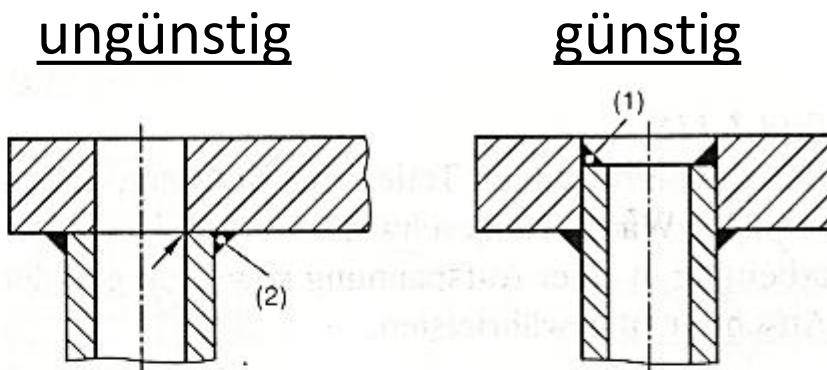


Quelle:  
Fritz, Schulze:  
Fertigungstechnik,  
Springer-Verlag

## Schweißgerechte Gestaltung: Punktschweißen

*Bild 3-124*

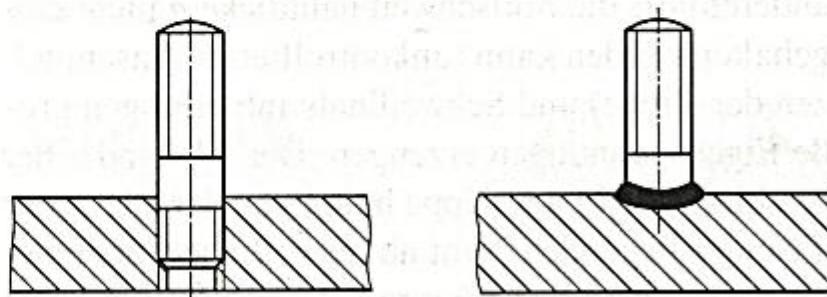
Sollen über einen Rohrabschluss große Kräfte oder Momente übertragen werden, so ist es zweckmäßig, das Rohr in der Bohrung des Blechs zu führen. Außerdem entfällt durch Kehlnaht (1) die extreme Kerbwirkung des Wurzelpaltes (Pfeil) von Kehlnaht (2).



*Bild 3-124*

*Bild 3-125*

Durch Bolzenschweißen können Gewindegelenkbolzen bis M24 aufgeschweißt werden. Dies ist im Allgemeinen wirtschaftlicher als die Verwendung von Stiftschrauben.

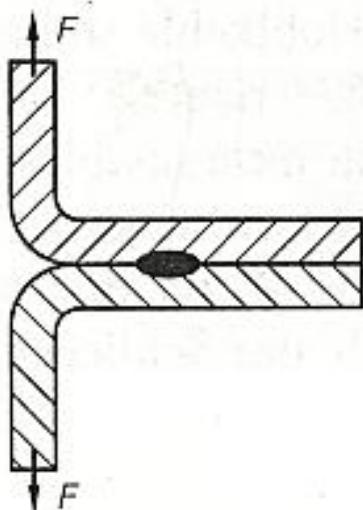


*Bild 3-125*

Quelle:  
Fritz, Schulze:  
Fertigungstechnik,  
Springer-Verlag

## Schweißgerechte Gestaltung: Punktschweißen

ungünstig



günstig



Quelle:  
Fritz, Schulze:  
Fertigungstechnik,  
Springer-Verlag

## Schweißgerechte Gestaltung: Punktschweißen

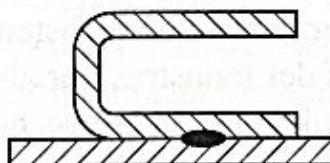
*Bild 3-128*

Auf gute Zugänglichkeit der Schweißpunkte ist zu achten, da man sonst (teure) gekröpfte Spezialelektroden verwenden muss, die weniger formstabil als die üblichen zylindrischen Formen sind.

*Bild 3-129*

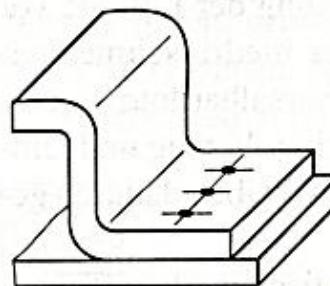
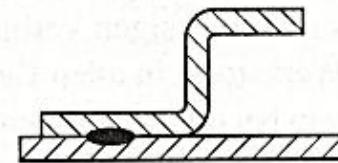
Mit vielen kleinen Punkten wird meist keine ausreichende Festigkeit erzielt. Wenige größere Punkte ergeben zuverlässigere Verbindungen.

ungünstig

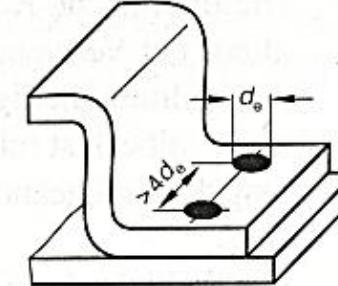


*Bild 3-128*

günstig



*Bild 3-129*



Quelle:  
Fritz, Schulze:  
Fertigungstechnik,  
Springer-Verlag

# Löten

## Definition Löten

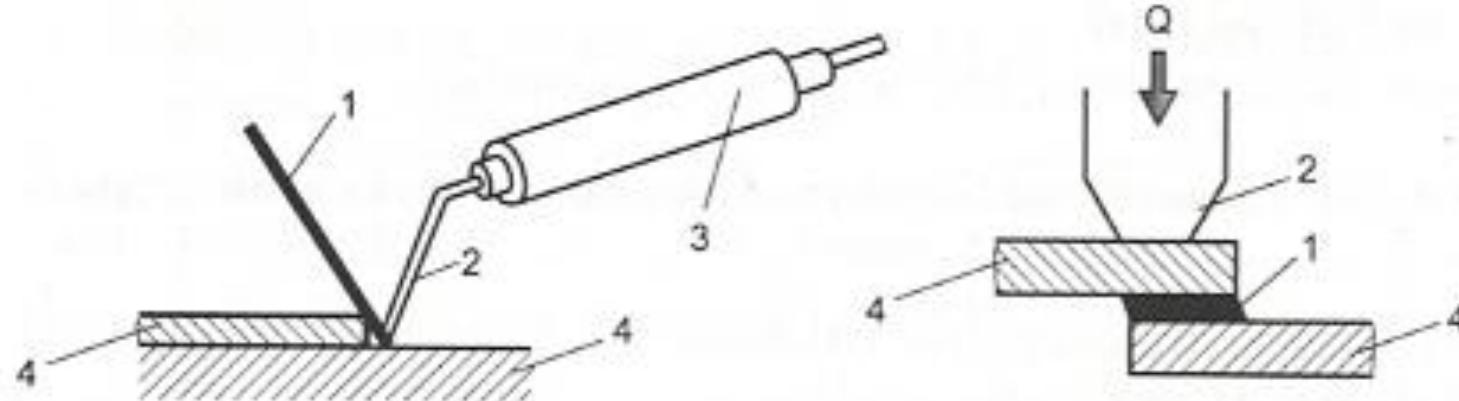
Nach DIN ISO 857-2 ist Löten ein thermisches Verfahren zum stoffschlüssigen Fügen und Beschichten von metallischen und nichtmetallischen Grundwerkstoffen, wobei eine schmelzflüssige Phase durch Schmelzen eines Lots (Schmelzlöten mit einem Fertiglot) oder durch Diffusion an den Grenzflächen (Diffusionslöten mit einem Reaktionslot) entsteht. Im Unterschied zum Schweißen wird die Solidustemperatur der Grundwerkstoffe nicht erreicht. Grundwerkstoff und Zusatzwerkstoff (Lot) können in ihrer chemischen Zusammensetzung sehr unterschiedlich sein.

Quelle:

Awiszus, et al.  
Grundlagen der Fertigungstechnik  
Hansa-Verlag

## Prinzip des Kolbenlötens

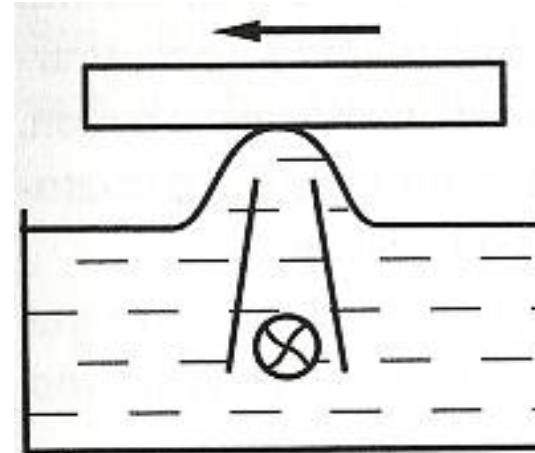
Beispiel:  
Elektronik-  
Einzelfertigung



- 1 Lot / Flussmittel
- 2 auswechselbare Lötspitze
- 3 Heizpatrone
- 4 Grundwerkstoff
- Q Wärmemenge

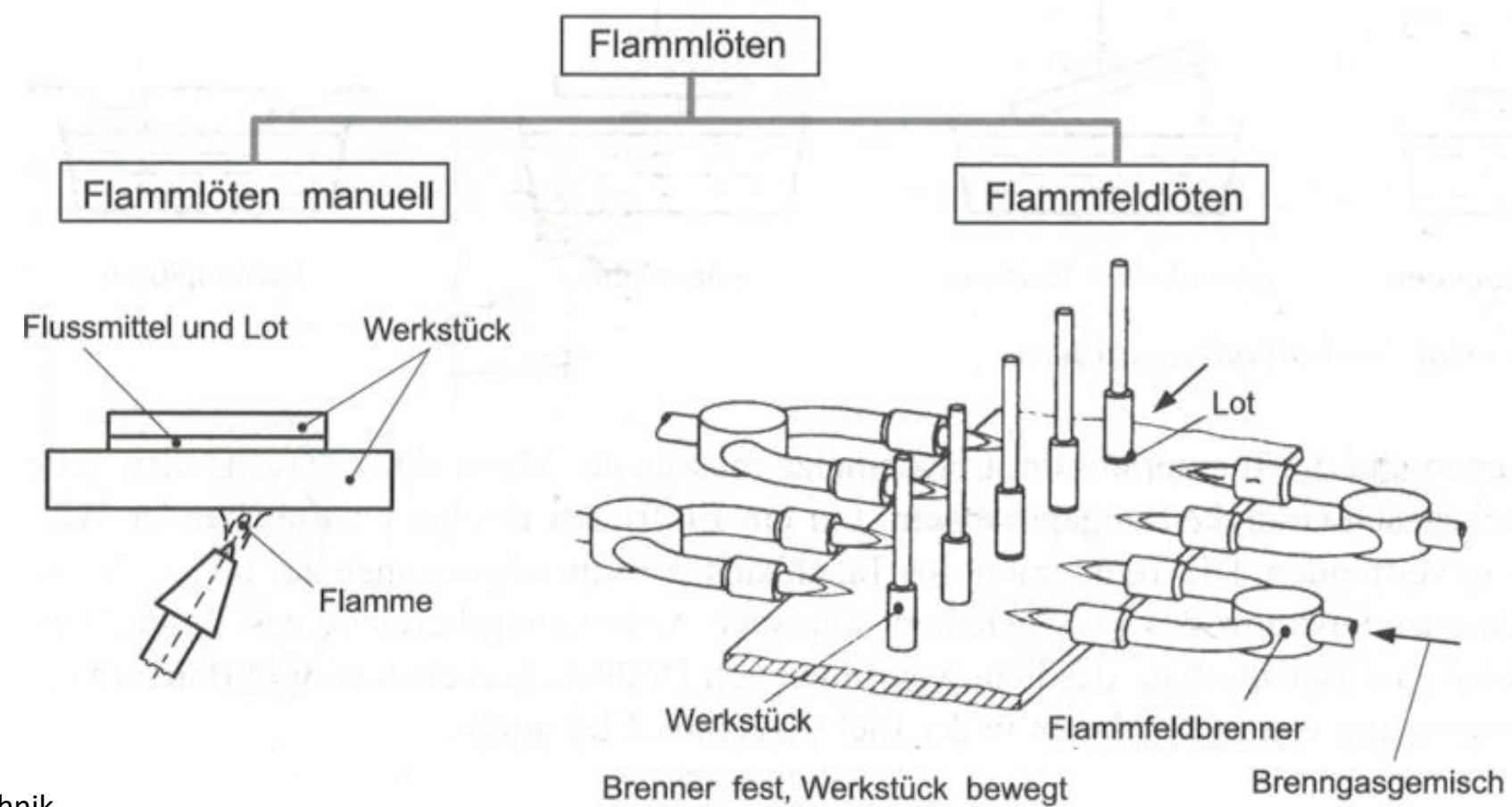
## Prinzip des Wellenlötens

Beispiel:  
Elektronik-  
Massenfertigung



Quelle:  
Awiszus, et al.  
Grundlagen der Fertigungstechnik  
Hansa-Verlag

## Verfahren

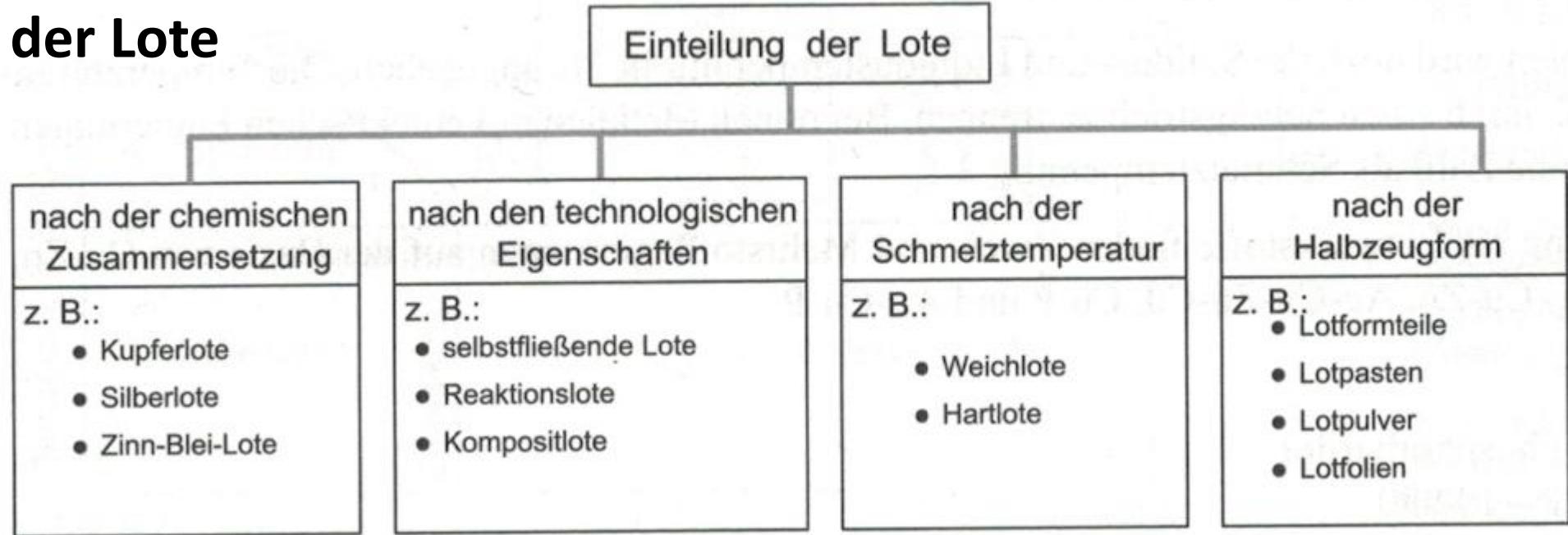


Quelle:

Awiszus, et al.  
Grundlagen der Fertigungstechnik  
Hansa-Verlag

## Klassifizierung der Lote

Quelle:  
Awiszus, et al.  
Grundlagen der  
Fertigungstechnik  
Hansa-Verlag



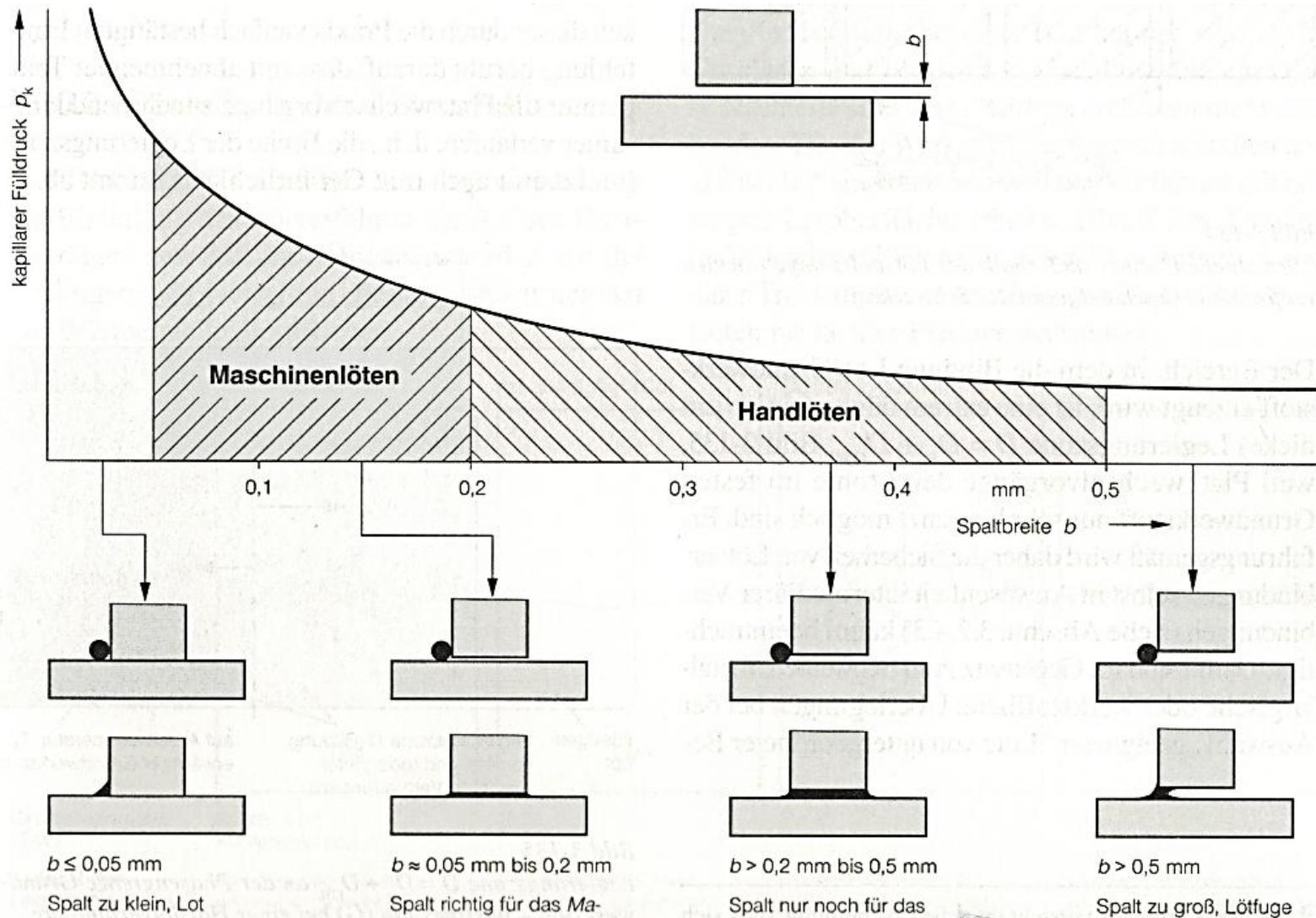
International üblich ist die Grobgliederung in:

- Weichlote (Liquidustemperatur des Lots < 450 °C),
- Hartlote (Liquidustemperatur des Lots zwischen 450 und 900 °C) und
- Hochtemperaturlote (Liquidustemperatur des Lots > 900 °C).

## Gestaltung des Lotspaltes

Quelle:

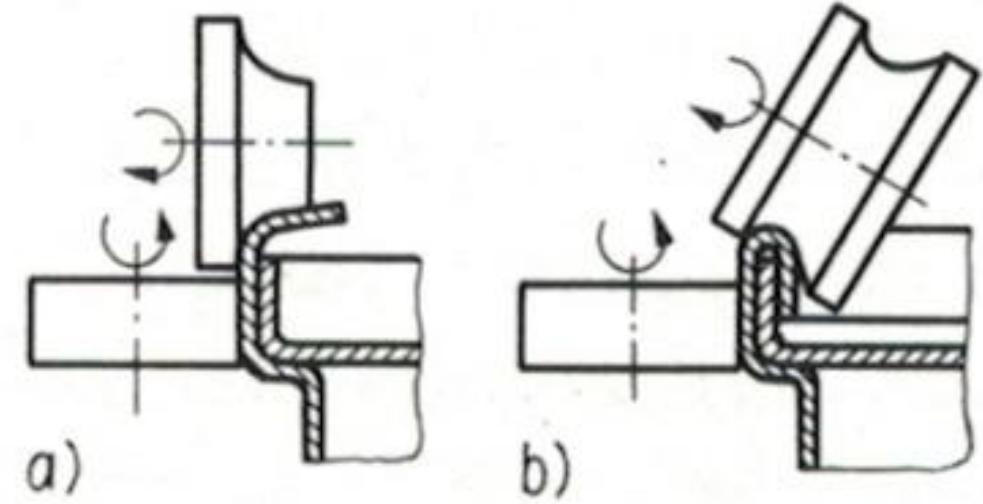
Fritz, Schulze:  
Fertigungstechnik,  
Springer-Verlag



# Formschlüssiges Fügen

## Bördelverbindungen

Bördelverbindungen sind formschlüssige, starre und unlösbare Verbindungen, häufig von rohrartigen Bauteilen. Sie entstehen durch das Fügen der Verbindungspartner und das anschließende Umlegen (Bördeln) des Rohrrandes (Bordes).



### Bördelrollen

1. Rolle: Vorbördeln
2. Rolle: Fertigbördeln

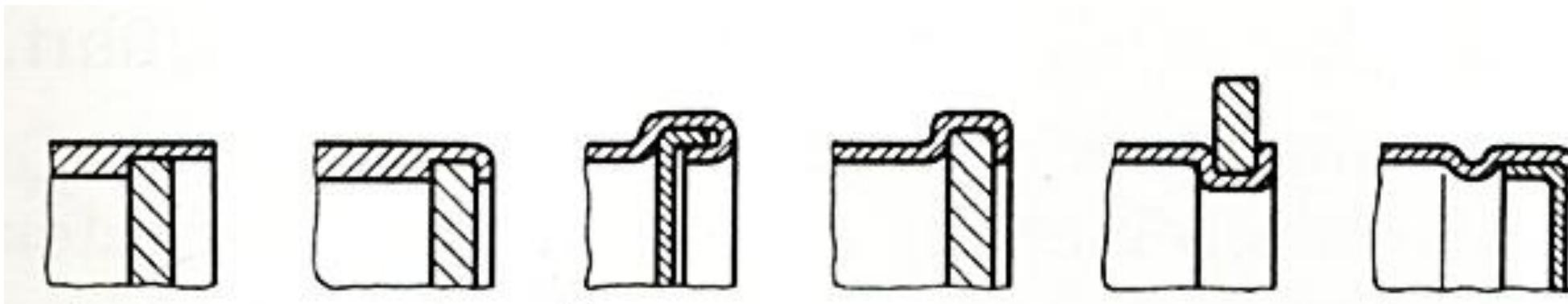
#### Quelle:

Krause: Konstruktions-  
elemente der  
Feinmechanik, Hansa

## Grundsätze bei der konstruktiven Gestaltung beim Bördeln

- Duktile, als gut dehn- und streckbare Werkstoffe auswählen:
- Tiefziehstahlblech, Messing, Aluminium, Aluminium-Knetlegierungen
- Bei unterschiedlichen Materialien: Bördelfuge besonders sauber halten

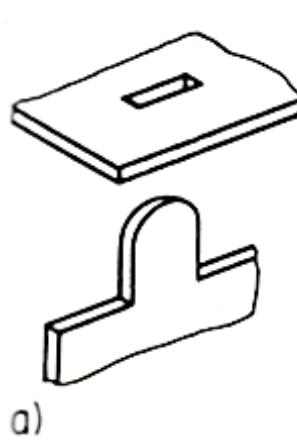
Beispiele:



Quelle:  
Krause: Konstruktions-  
elemente der  
Feinmechanik, Hansa

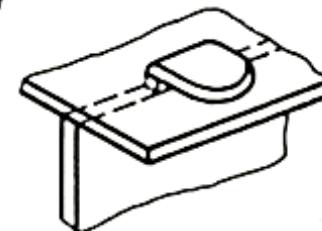
## Lapp- und Schränkverbindungen

- Formschlüssige, starre, bedingt lösbar Verbindungen von Blechteilen
- Lappen (aus Metall) wird nach dem Fügen um  $90^\circ$  (T-Stoß) oder  $180^\circ$  (Überlappstoß) umgelegt



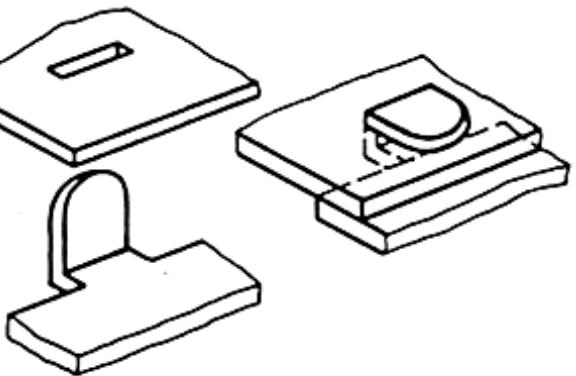
a)

Im T-Stoß



b)

Im Überlappstoß

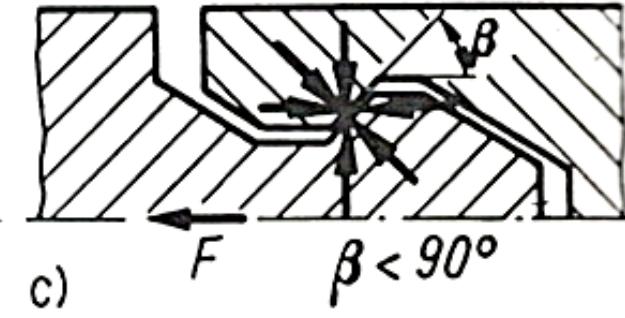
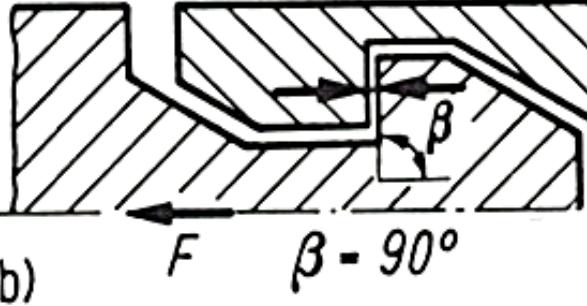
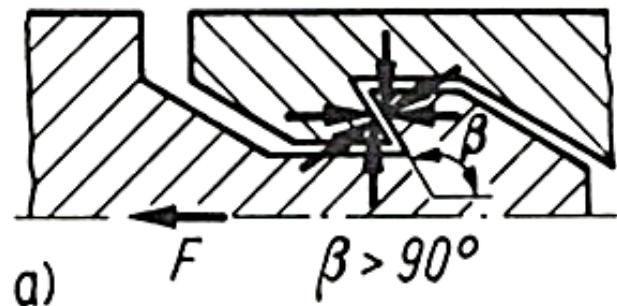
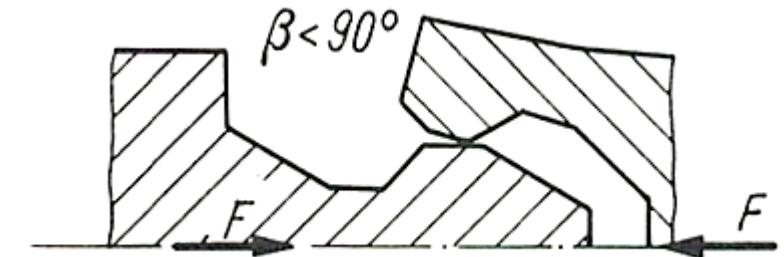


Quelle:  
Krause: Konstruktions-  
elemente der  
Feinmechanik, Hansa

## Schnappverbindung

Grundsätze bei der konstruktiven Gestaltung:

Werkstoffe mit guter Elastizität (Stahl, Kautschuk, Thermoplaste, oder gute plastische Verformbarkeit (Kupfer, Aluminium, Silber, etc.)



**Bild 4.3.69.** Schnappverbindungen

a), b) reiner Formschluß; c) Kraft- und Formschluß

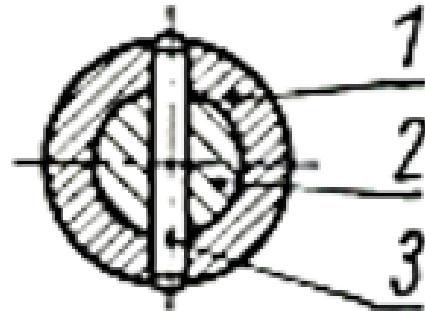
Quelle:  
Krause: Konstruktions-  
elemente der  
Feinmechanik, Hansa

## Übungsfragen

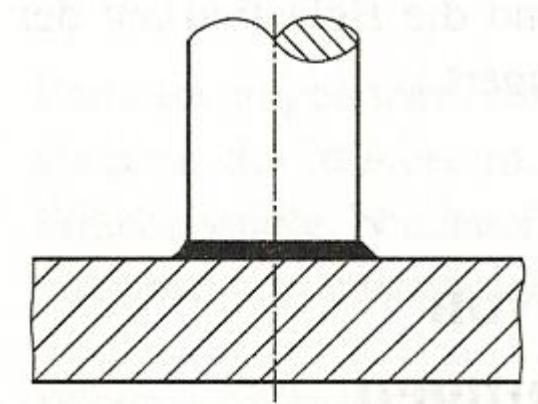
Um welche Art der Verbindung handelt es sich hier?

Kraftschlüssig, formschlüssig oder stoffschlüssig?

a)



b)

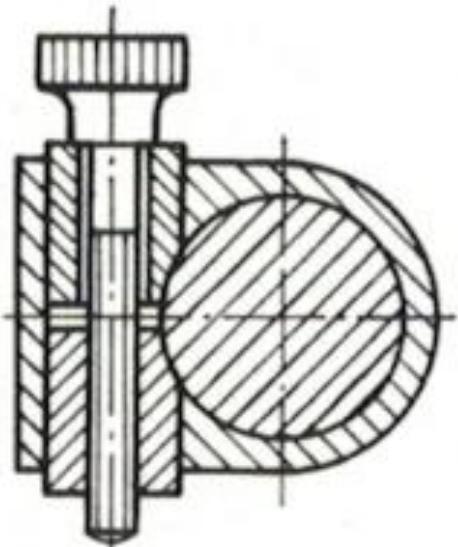


## Übungsfragen

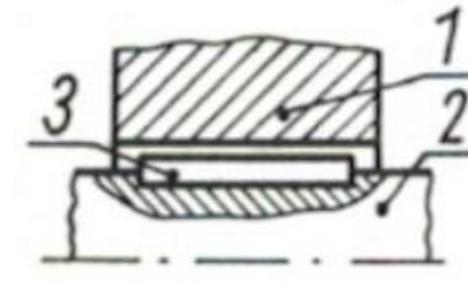
Um welche Art der Verbindung handelt es sich hier?

Kraftschlüssig, formschlüssig oder stoffschlüssig?

c)



d)



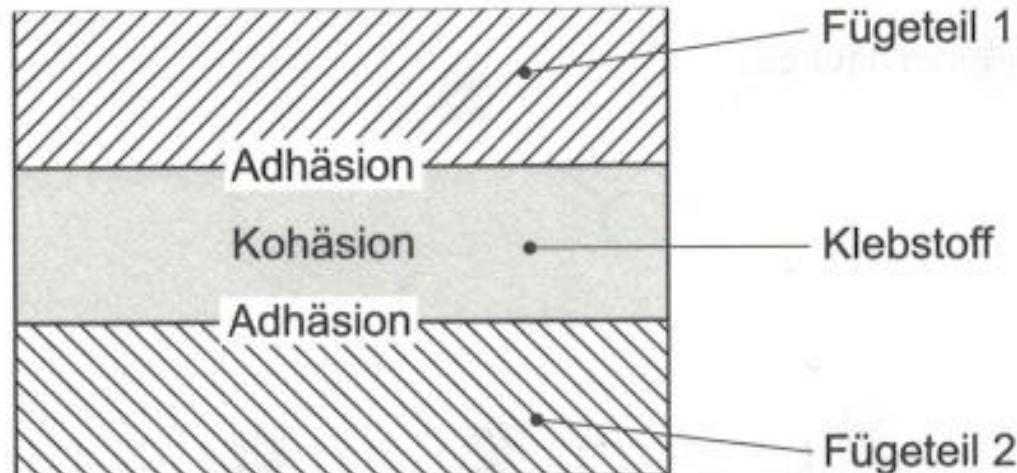
1 Nabe  
2 Welle  
3 Paßfeder

# Kleben

## Kleben – adhäsives Verbinden von Werkstoffen

Bei Klebverbindungen kommt es darauf an, dass:

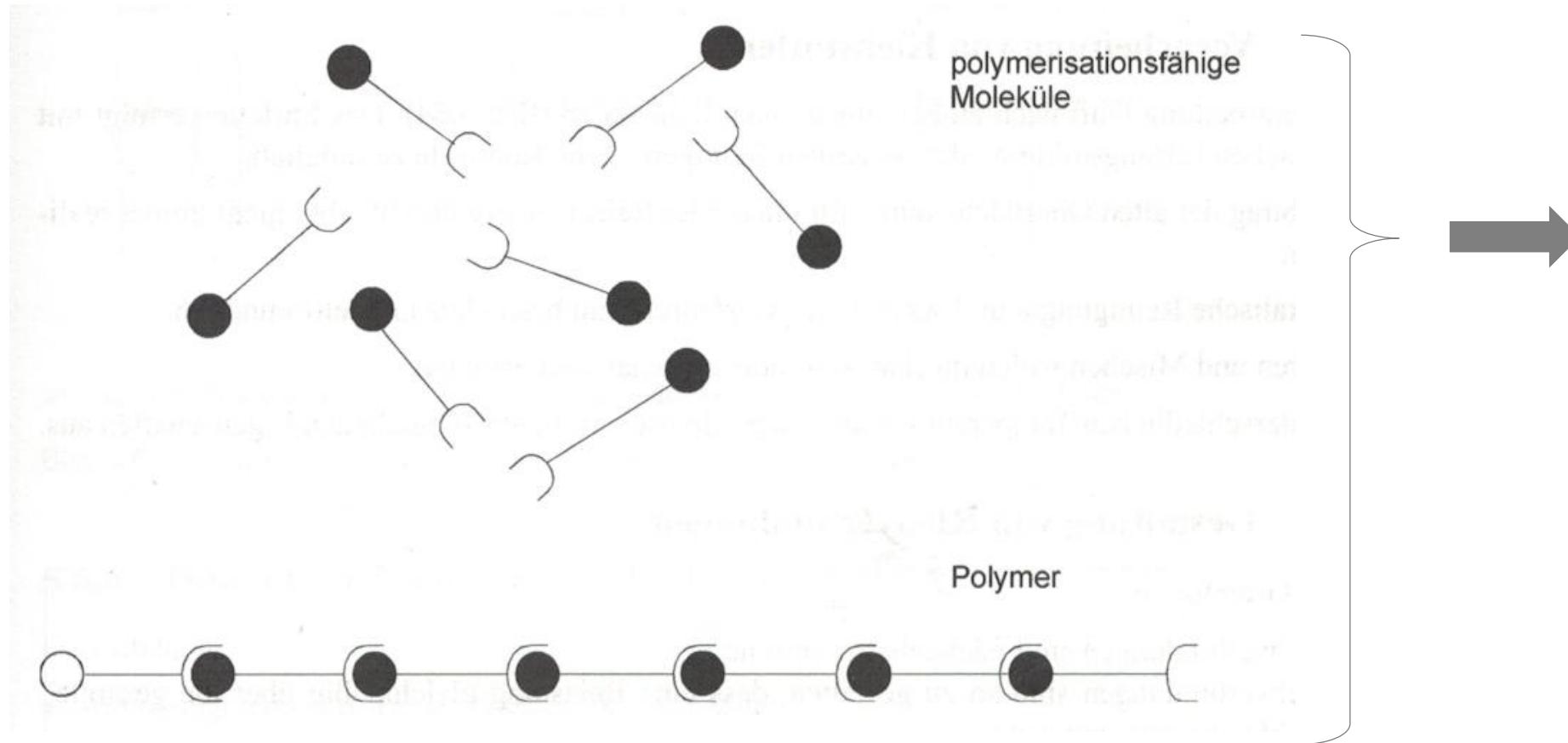
- der Klebstoff und die Fügeteile genügende Festigkeit aufweisen („Kohäsion“)
- der Klebstoff mit genügender Festigkeit auf den Fügeteilen haftet („Adhäsion“).



Kleben hat viele Vorteile ist aber auch nicht unproblematisch. Klebstoffe haften auf einigen Kunststoffen nicht.

Quelle:  
Awiszus, et al.  
Grundlagen der Fertigungstechnik  
Hansa-Verlag

## Chemisch reagierende Klebstoffe => Polymerisation

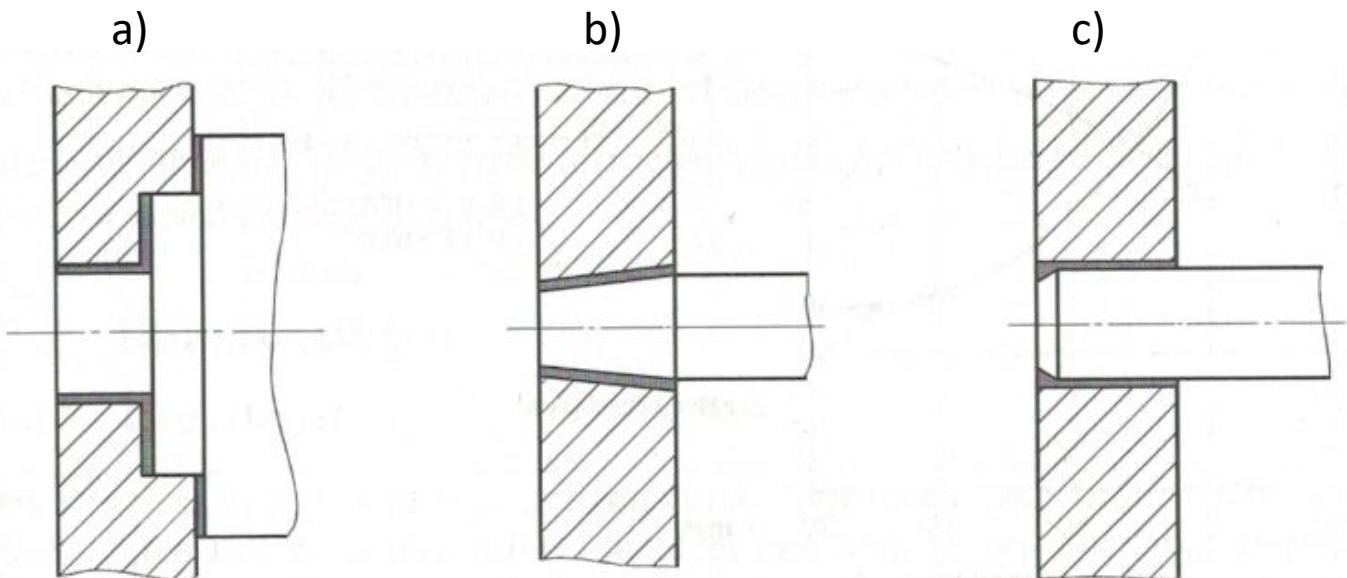


Molekül-  
vergrößerung

Quelle:  
Awiszus, et al.  
Grundlagen der  
Fertigungstechnik  
Hansa-Verlag

## Gestaltung von Klebverbindungen

- Klebverbindungen sind flächenhafte Verbindungen
- Klebverbindungen sind so zu gestalten, dass eine Belastung gleichmäßig über die gesamte Klebfläche erfolgt



Quelle:

Awiszus, et al.  
Grundlagen der  
Fertigungstechnik  
Hansa-Verlag

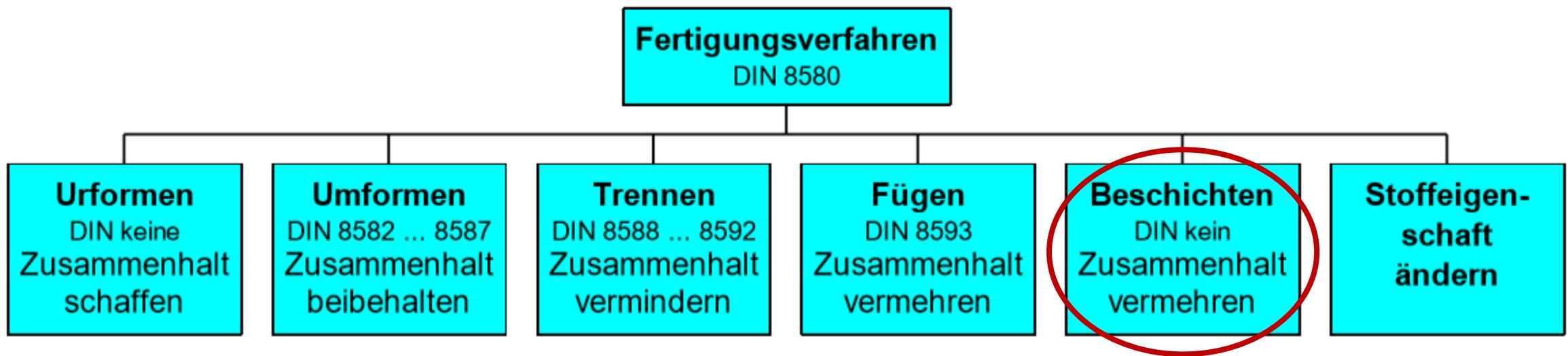
a) Bund mit Rundpassung

b) keglige Fügeteile

c) angefaste Fläche

# Fertigungsverfahren

Einteilung in 6 Hauptgruppen nach DIN 8580



Quelle: Skript Prof. H. Albrecht, Frankfurt AUS, WS 16/17

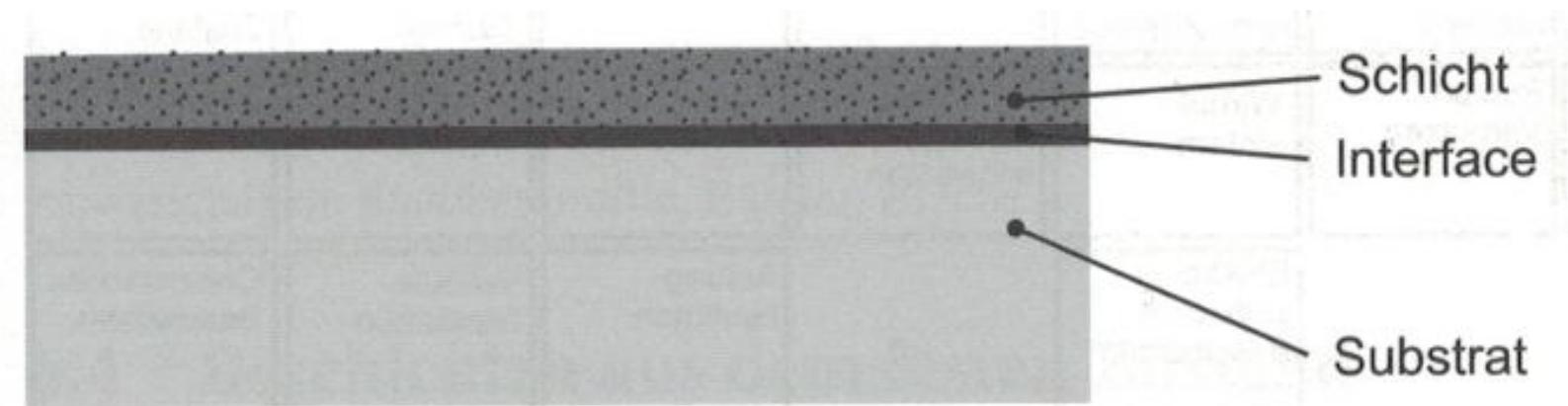
Neues Thema:

## 5. Beschichten

## Definition

Beschichten ist das Erzeugen oder Herstellen von Schichten durch Aufbringen von geometrisch unbestimmten Stoffen auf aktivierte Oberflächen von Substanzen ohne wesentliche Änderung der Geometrie des Substrates.

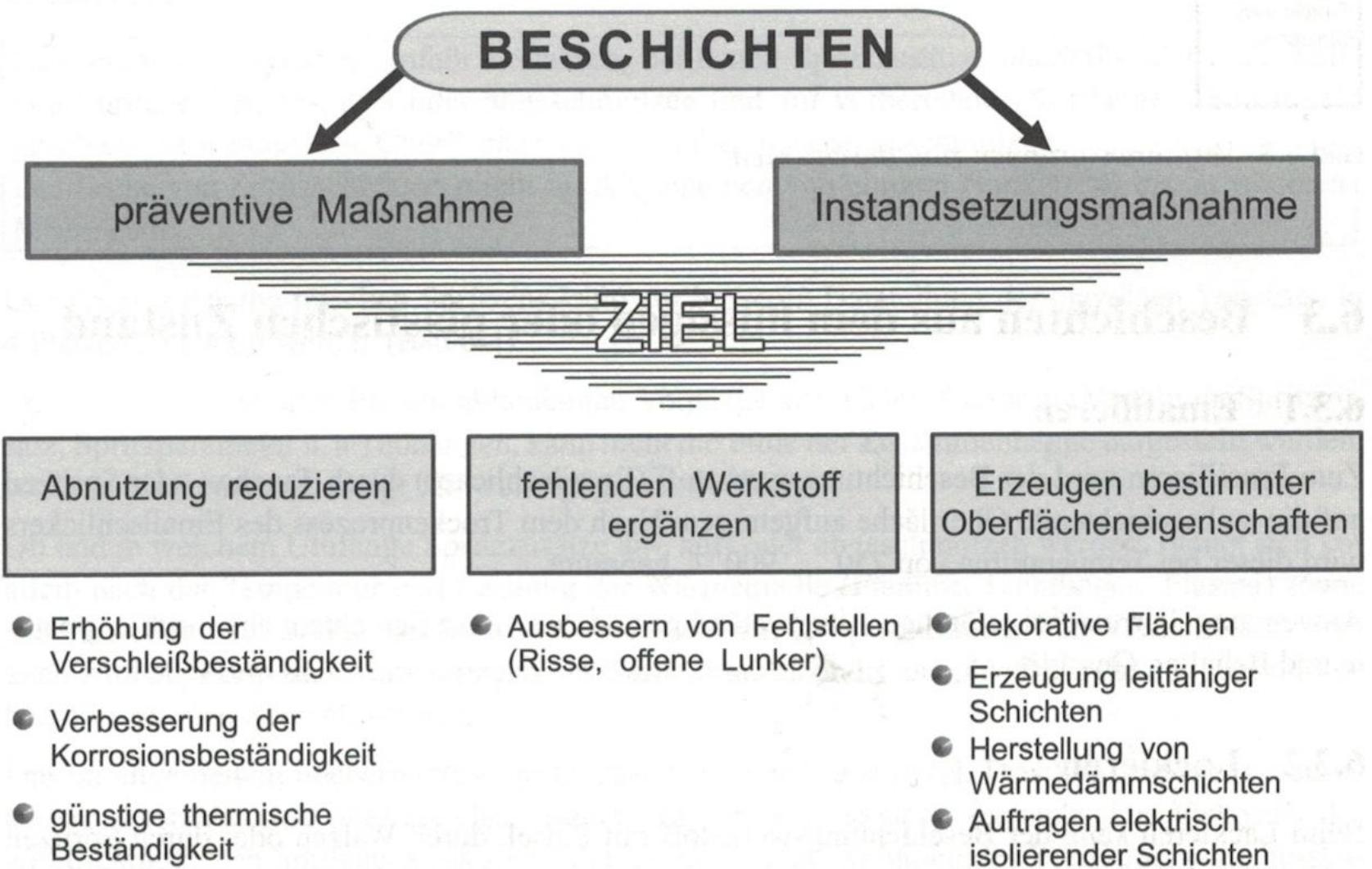
### Prinzip-Darstellung eines Schichtverbundes:



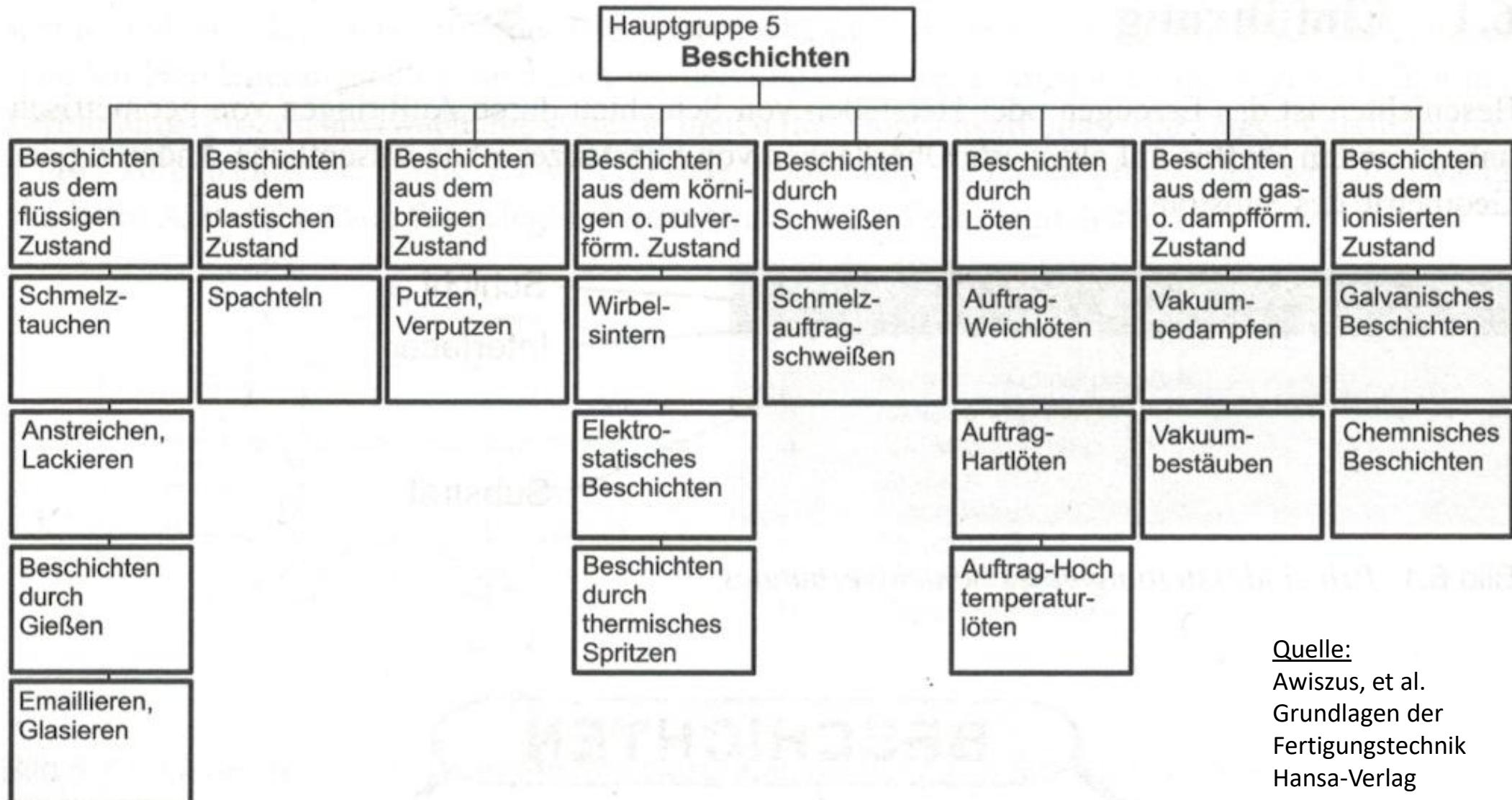
Quelle:

Awiszus, et al.  
Grundlagen der  
Fertigungstechnik  
Hansa-Verlag

## Zweck des Beschichtens

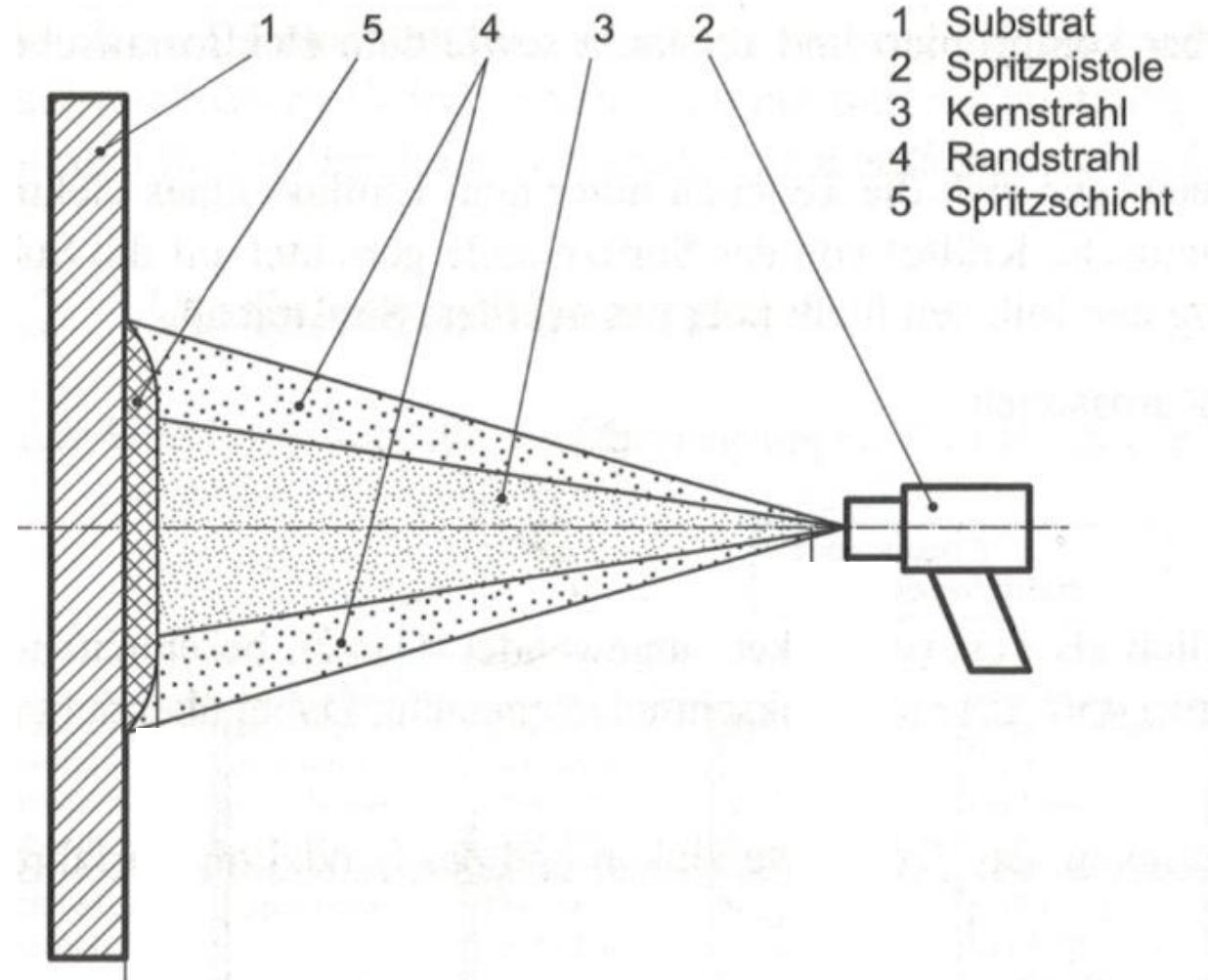


Quelle:  
Awiszus, et al.  
Grundlagen der  
Fertigungstechnik  
Hansa-Verlag



Quelle:  
 Awiszus, et al.  
 Grundlagen der  
 Fertigungstechnik  
 Hansa-Verlag

## Spritzprozess



Quelle:  
Awiszus, et al.  
Grundlagen der  
Fertigungstechnik  
Hansa-Verlag

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit !

## Hinweis

Diese Folien sind ausschließlich für den internen Gebrauch im Rahmen der Lehrveranstaltung an der Frankfurt University of Applied Sciences bestimmt. Sie sind nur zugänglich mit Hilfe eines Passwortes, dass in der Vorlesung bekannt gegeben wird.