

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)

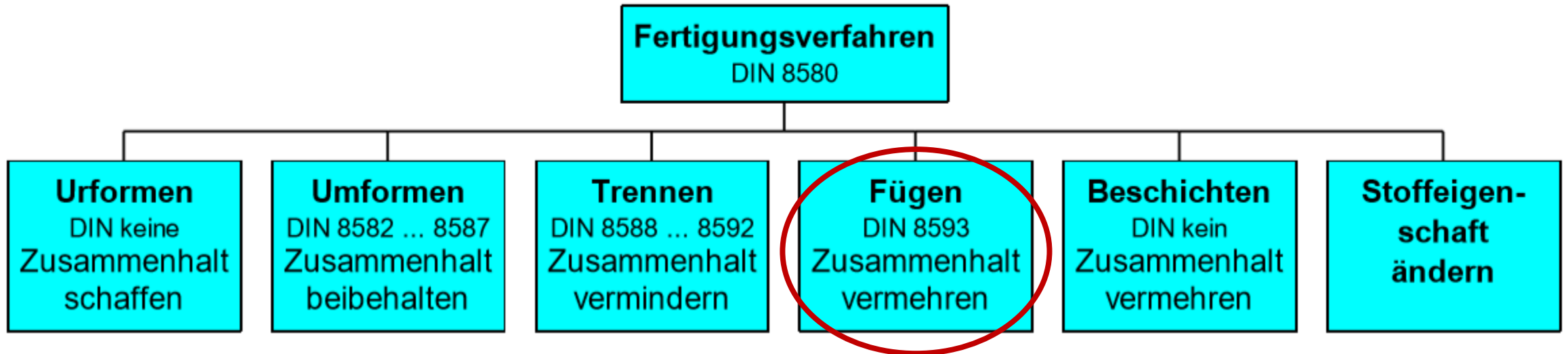
=> 4. Testat KON1- Wellenlagerung

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

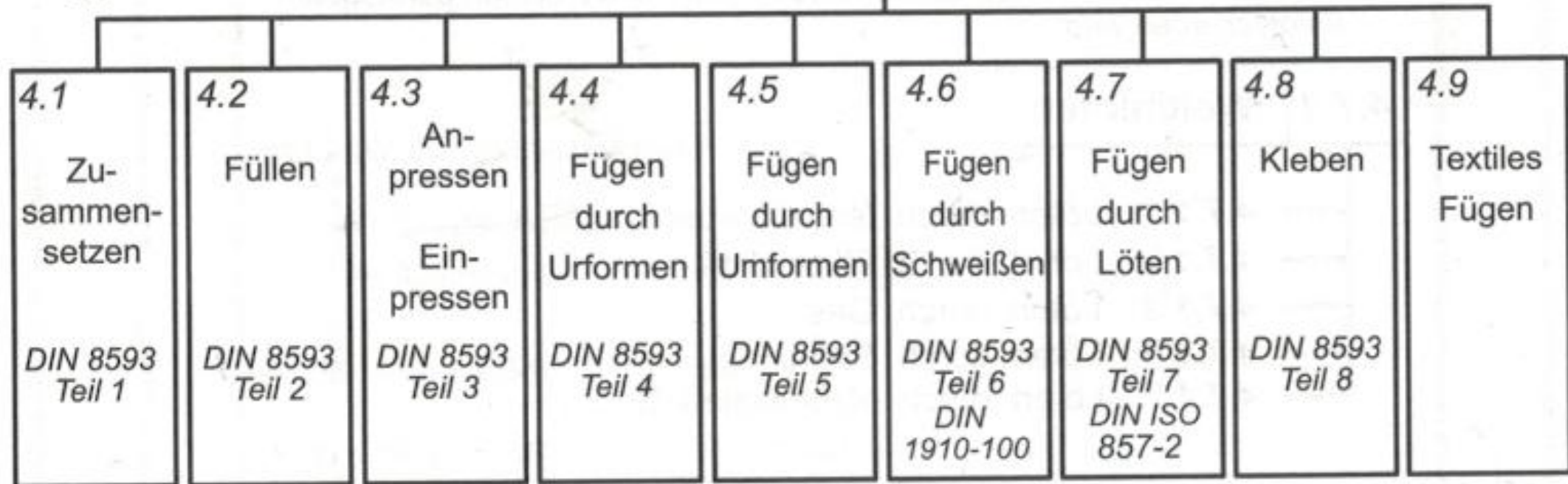
Neues Thema:

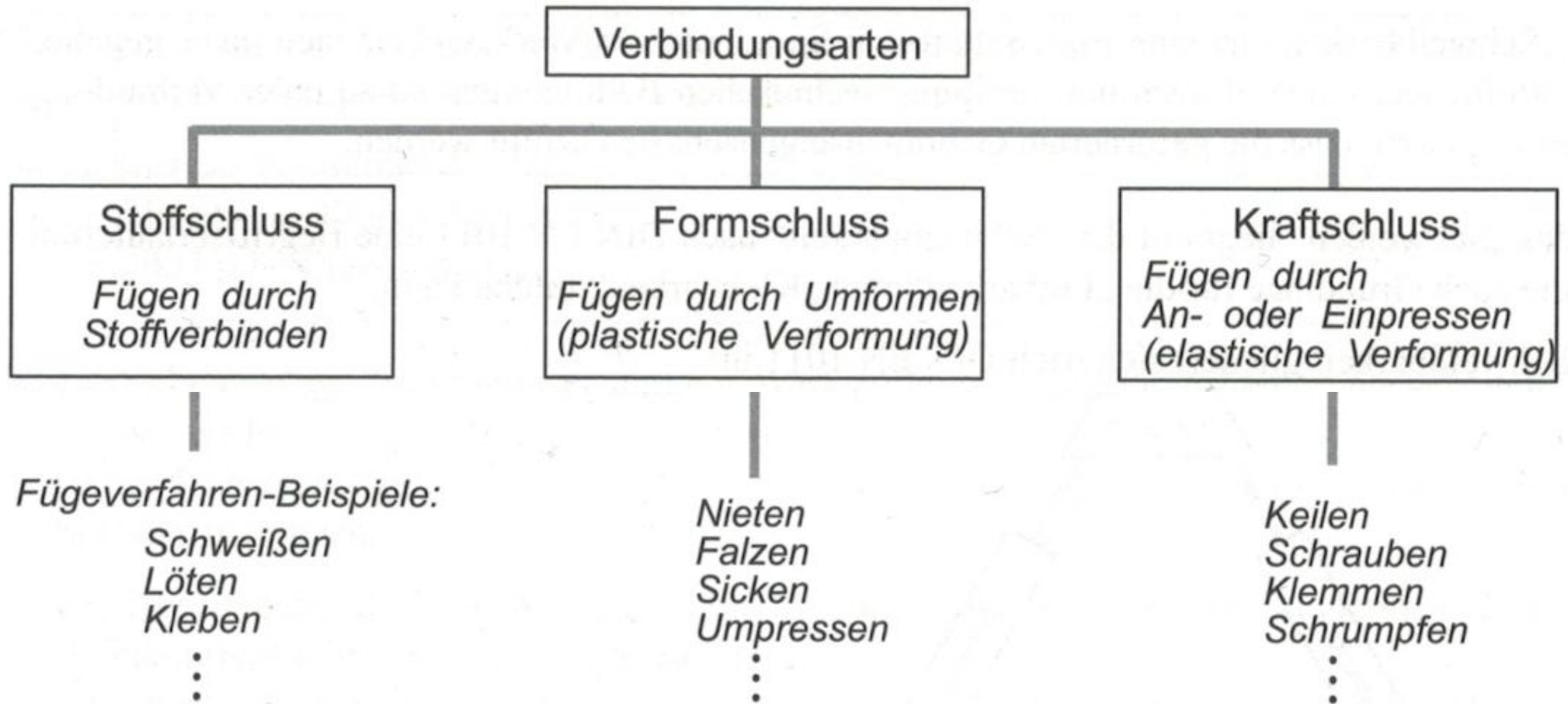
4. Fügen

Hauptgruppe



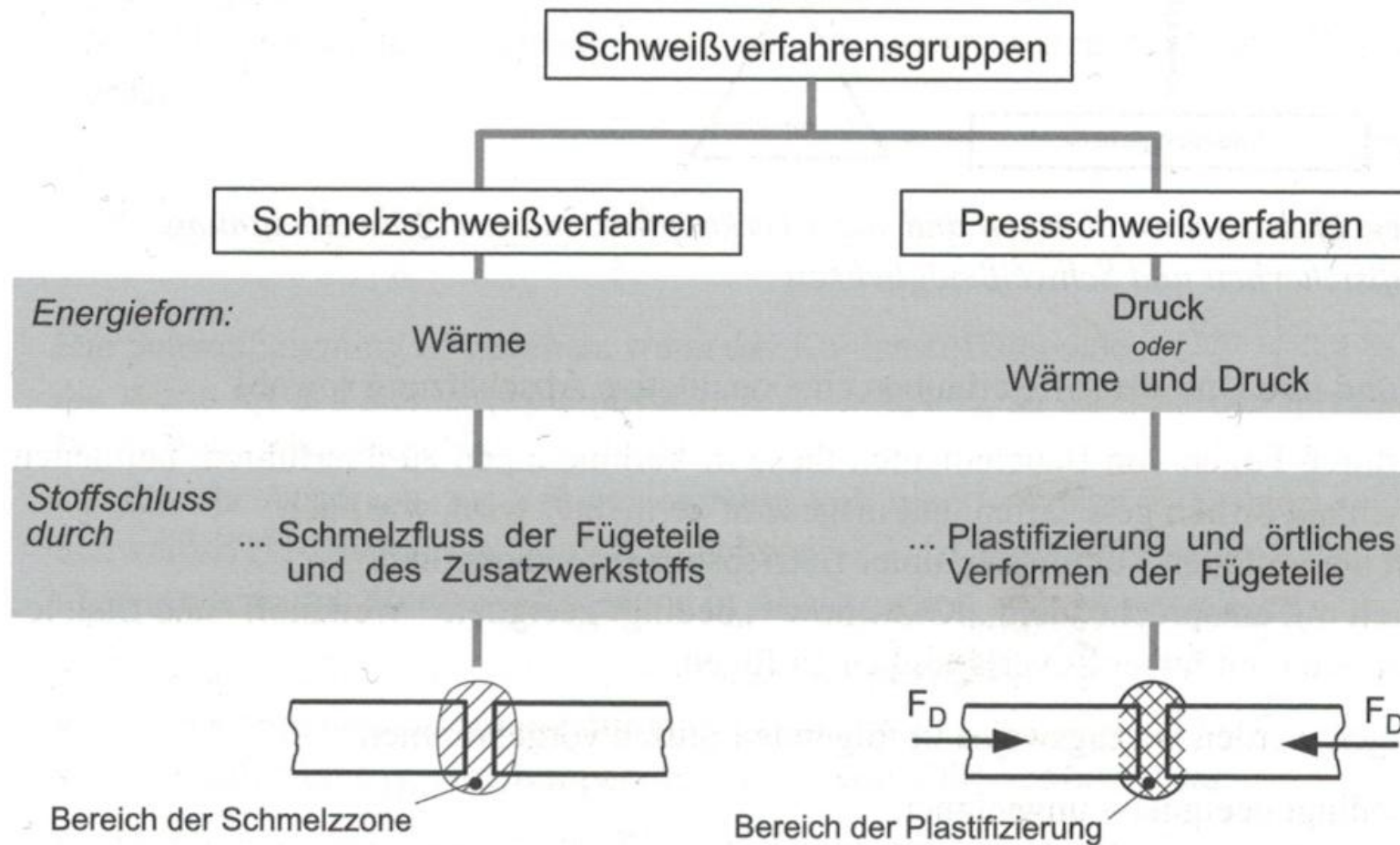
Gruppen





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

Wirkpaarung durch Schweißen



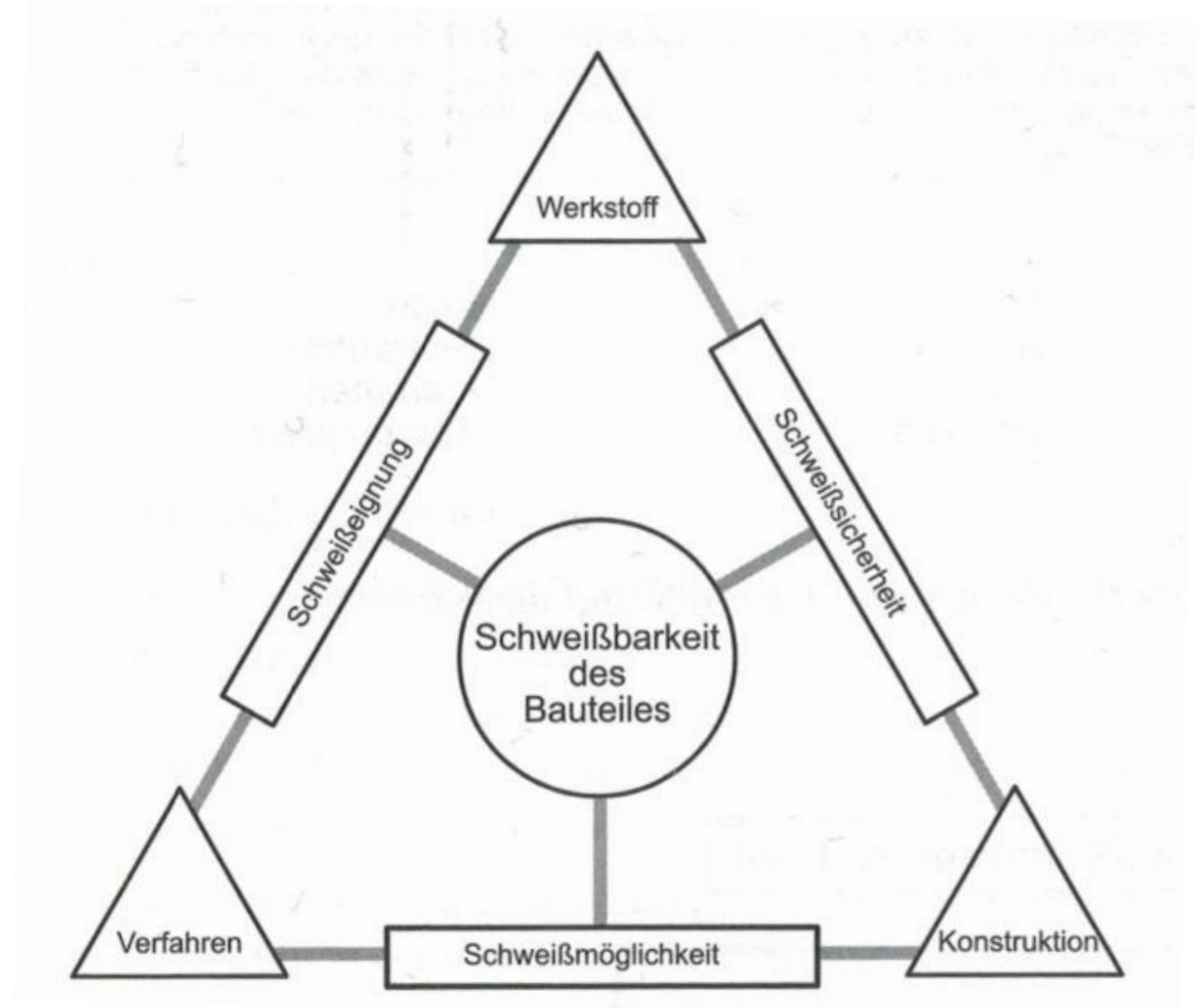
Quelle:
 Awiszus, et al.
 Grundlagen der
 Fertigungstechnik
 Hansa-Verlag

Schweißbeignung

- Schweißbeignung
Schweißsicherheit
Schweißmöglichkeit

Quelle:

Awiszus, et al.
Grundlagen der
Fertigungstechnik
Hansa-Verlag



Schweißbarkeit von Stählen

Die Schweißbarkeit ist beeinflusst durch

- Chemische Zusammensetzung
- Metallurgische Eigenschaften
- Physikalische Eigenschaften

Die Schweißbarkeit ist gegeben wenn

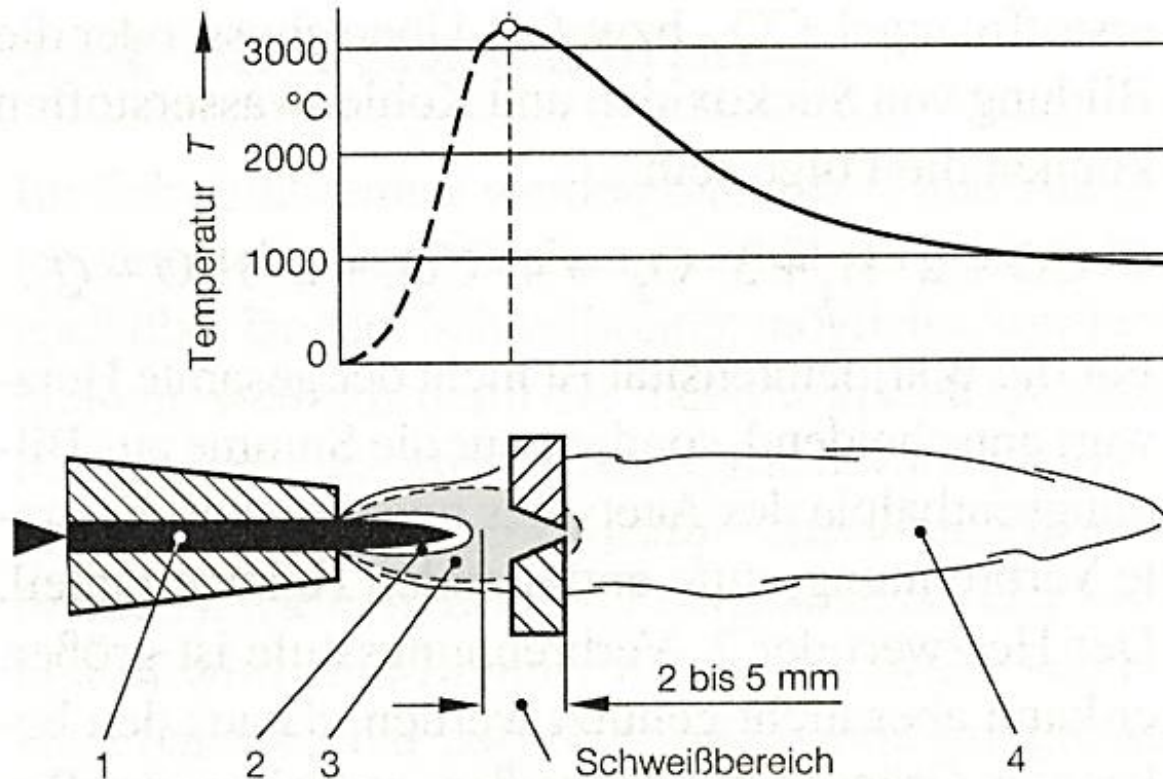
- der Kohlenstoffgehalt $C \leq 0,22 \%$
- das Kohlenstoffäquivalent $CE > 0,4\%$

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:

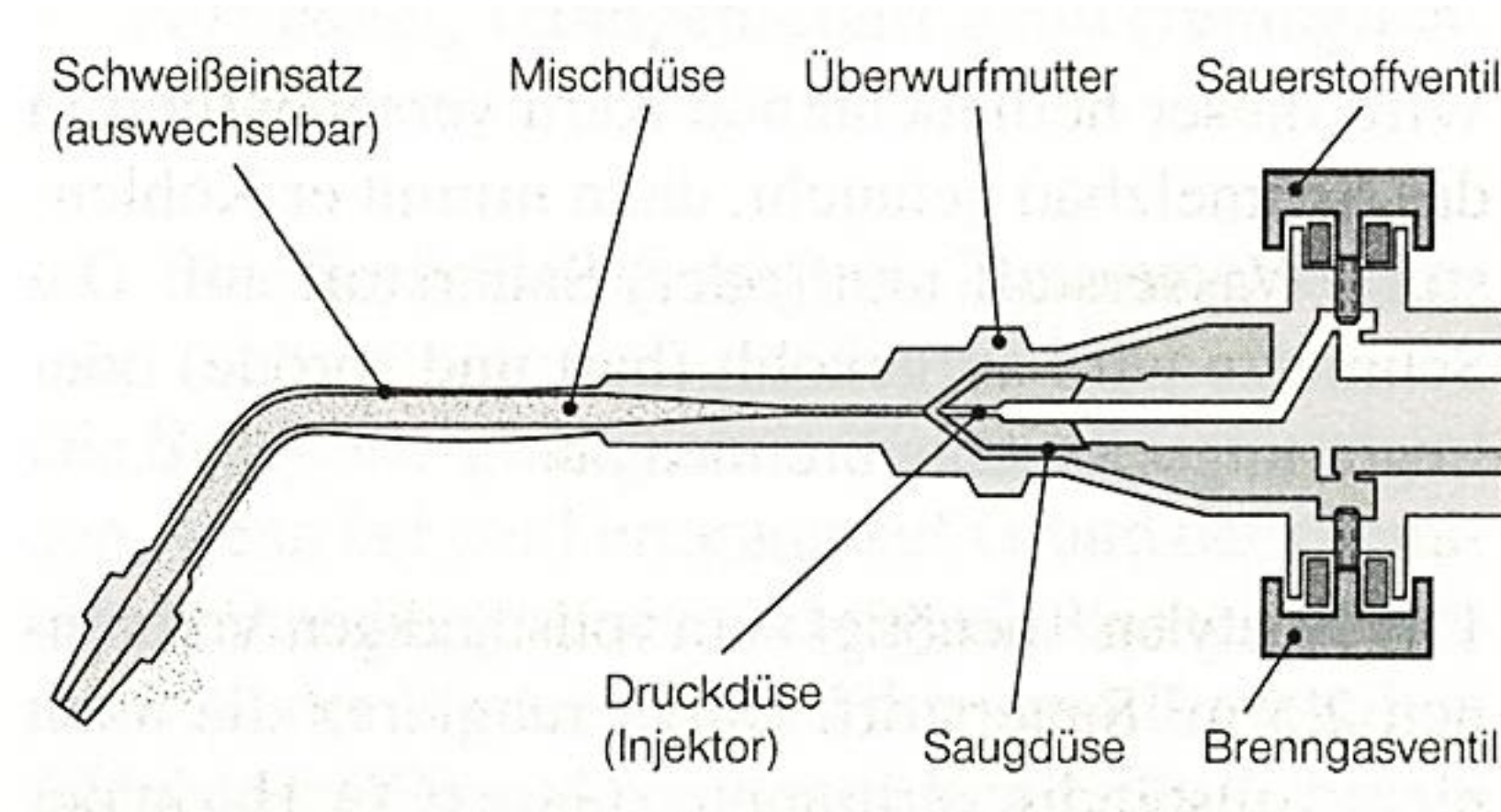
Fritz, Schulze:

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: $2 \cdot \text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow 4 \cdot \text{C} + 2 \cdot \text{H}_2$
- 3 1. Verbrennungsstufe (Schweißbereich) besteht in der Hauptsache aus reduzierenden Flammgasen CO und H_2 :
 $2 \cdot \text{C} + \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \cdot \text{CO} + \text{H}_2$
- 4 2. Verbrennungsstufe („Streuflamme“):
 $4 \cdot \text{CO} + 2 \cdot \text{H}_2 + 3 \cdot \text{O}_2 \rightarrow 4 \cdot \text{CO}_2 + 2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

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_{Netz}	Netzspannung
U_0	Leerlaufspannung der Schweißstromquelle
N	Windungszahl
I_S	Schweißstromstärke
I_{Netz}	Netzstrom

Beispiel:

Netz: 230 V, 16 A

Schweißen: 30 V

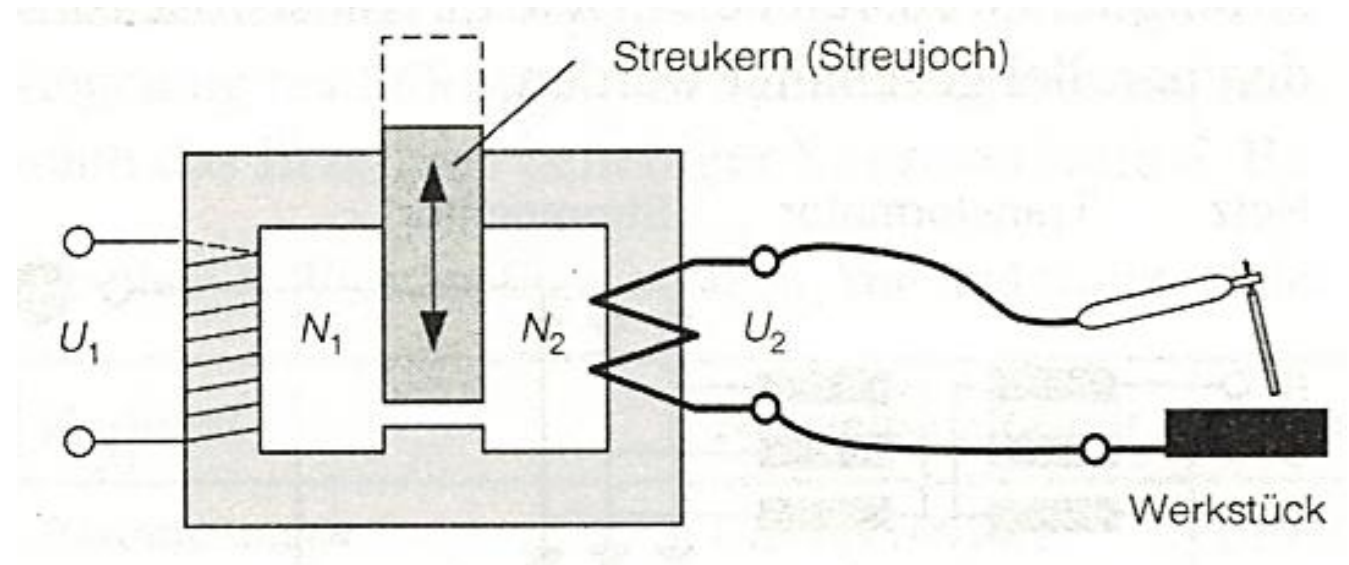
Schweiß-Strom: ?

Schweißen mit Lichtbogen

Früher:

mechanisch verstellbare
Transformatoren

=> Wechselstrom



Quelle:

Fritz, Schulze:

Fertigungstechnik,

Springer-Verlag

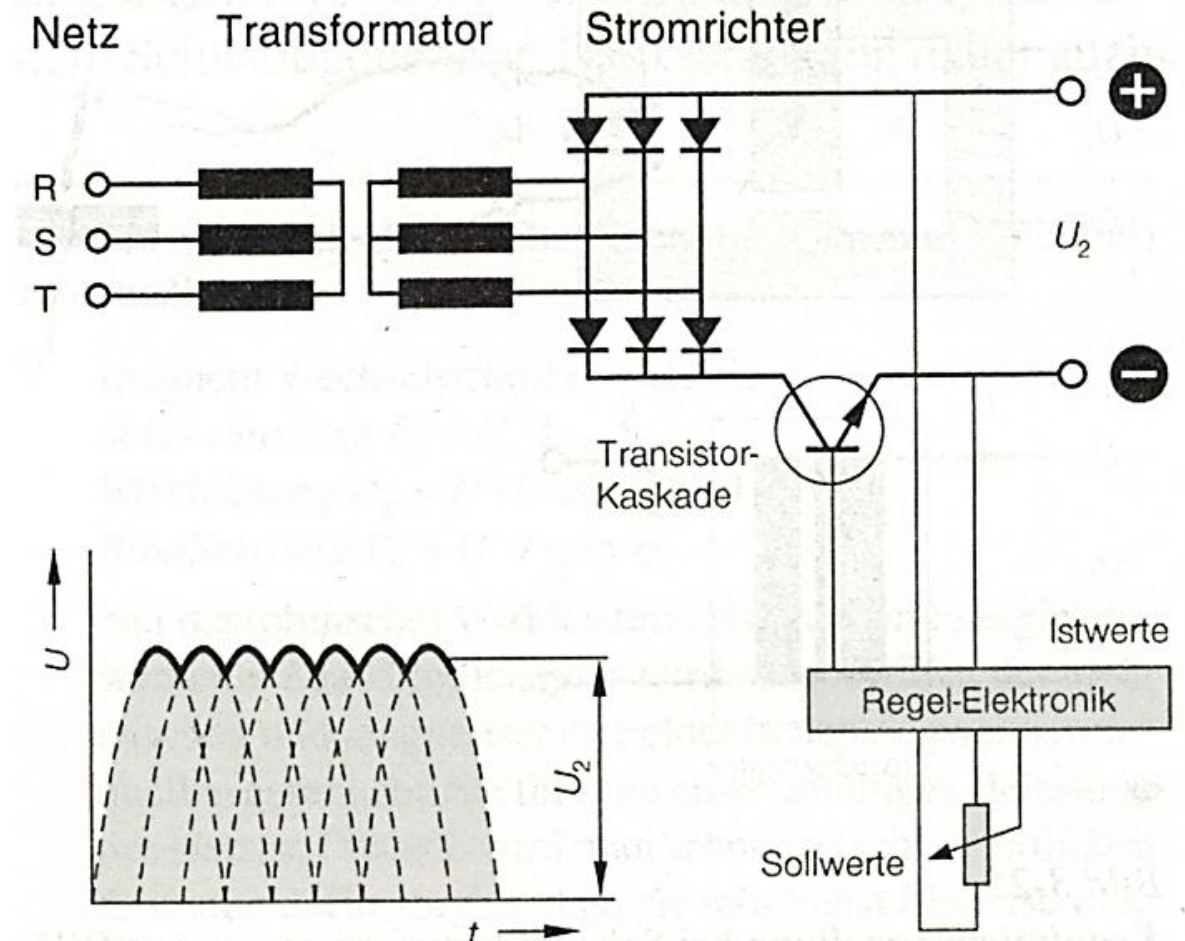
Schweißen mit Lichtbogen

Heute:

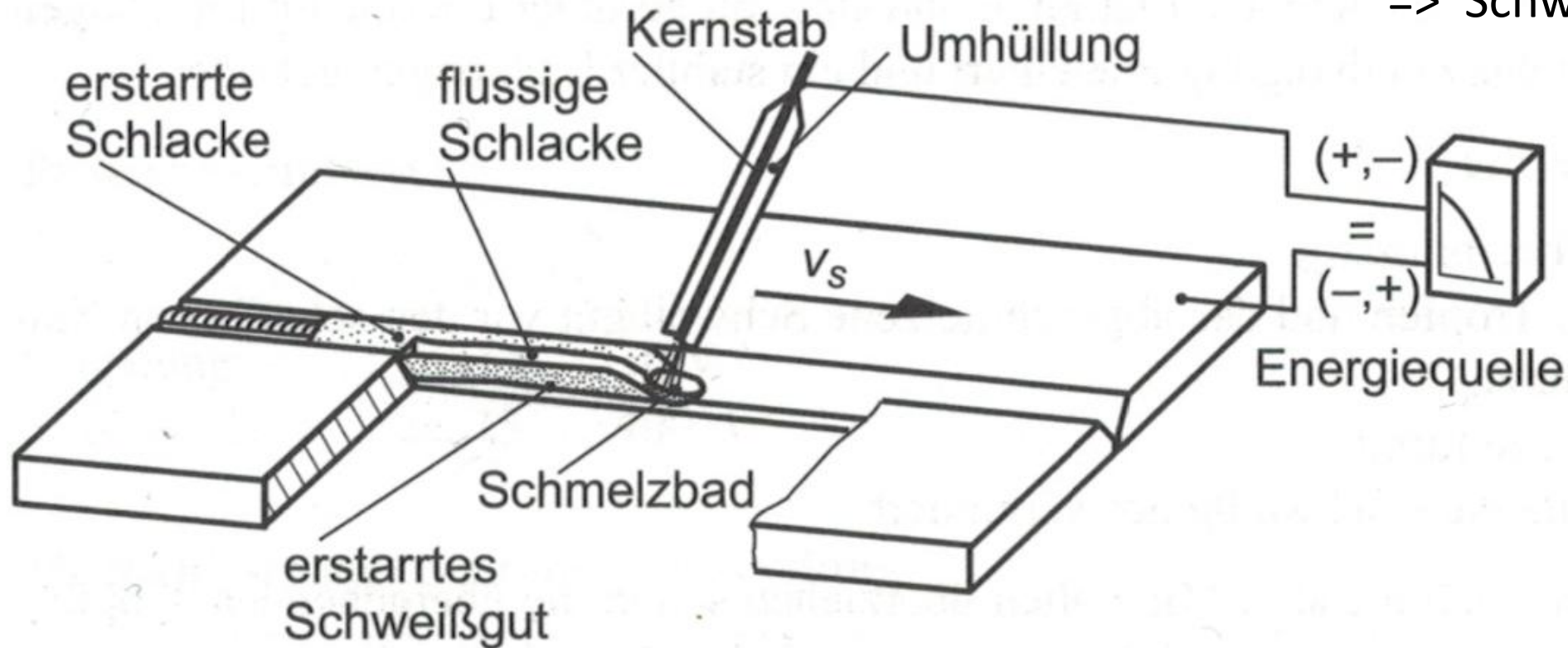
Schweißgleichrichter mit
Transistorregelung

Quelle:

Fritz, Schulze:
Fertigungstechnik,
Springer-Verlag

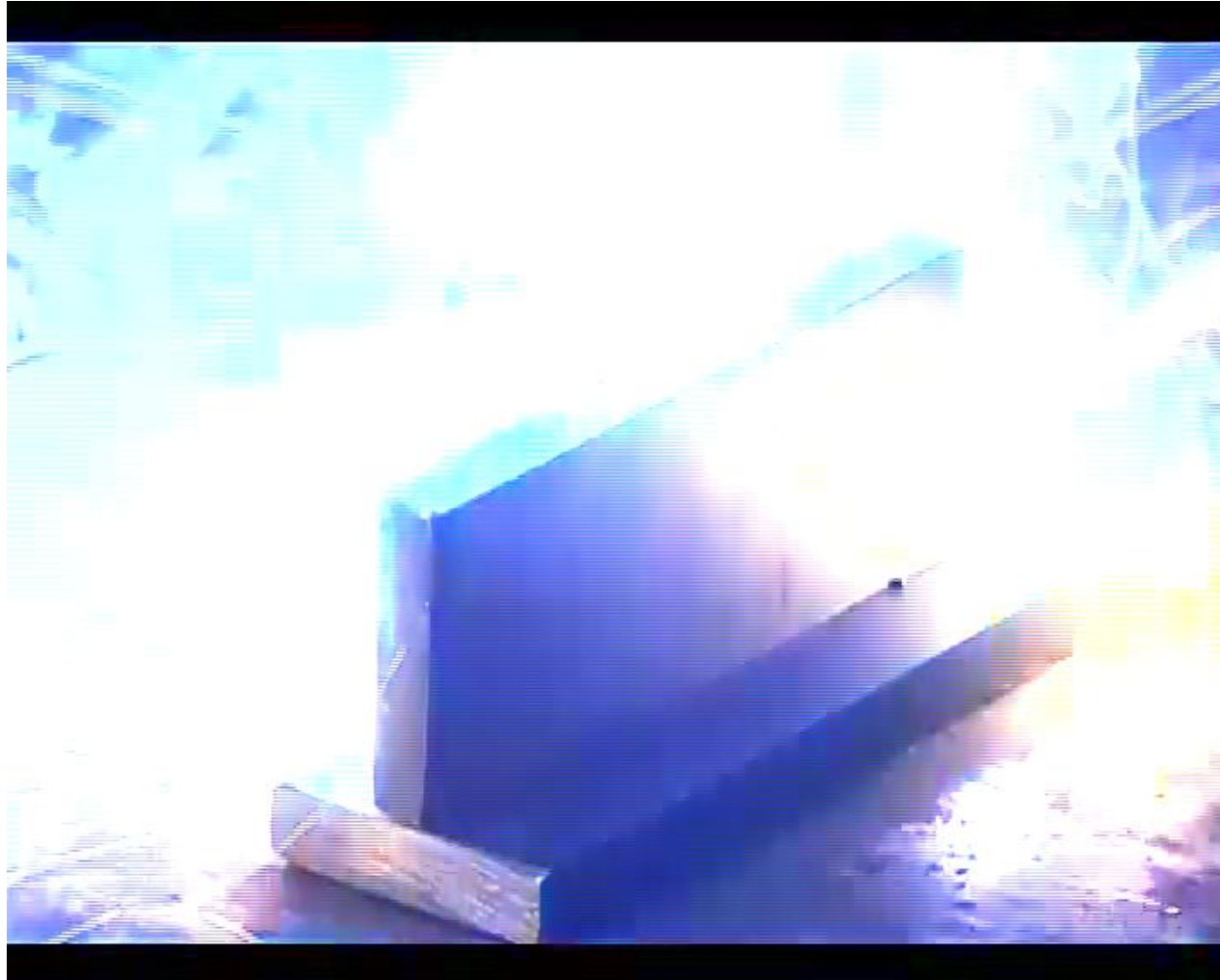


Lichtbogen Handschweißen (E-Hand)



Stabelektrode brennt ab
=> Schweißzusatz

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

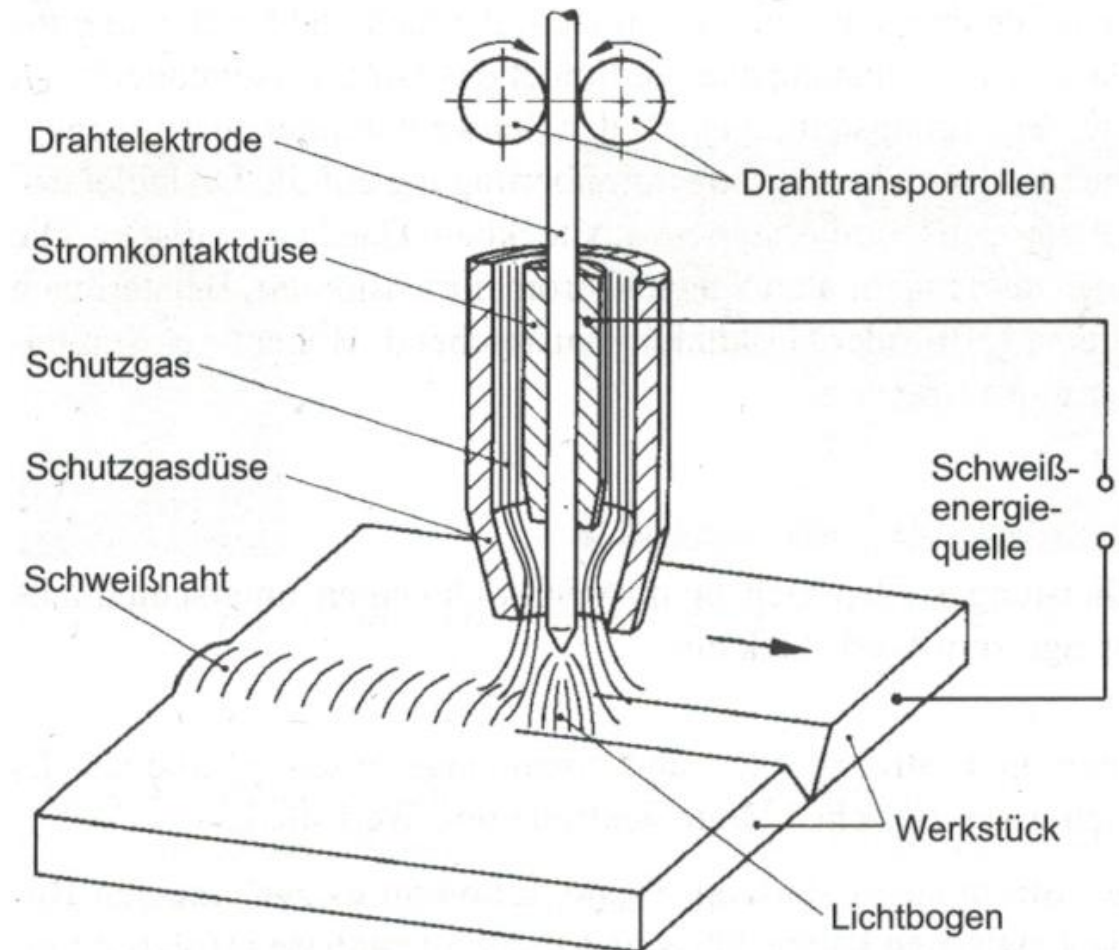


Quelle:
FT, Prof. Michalke

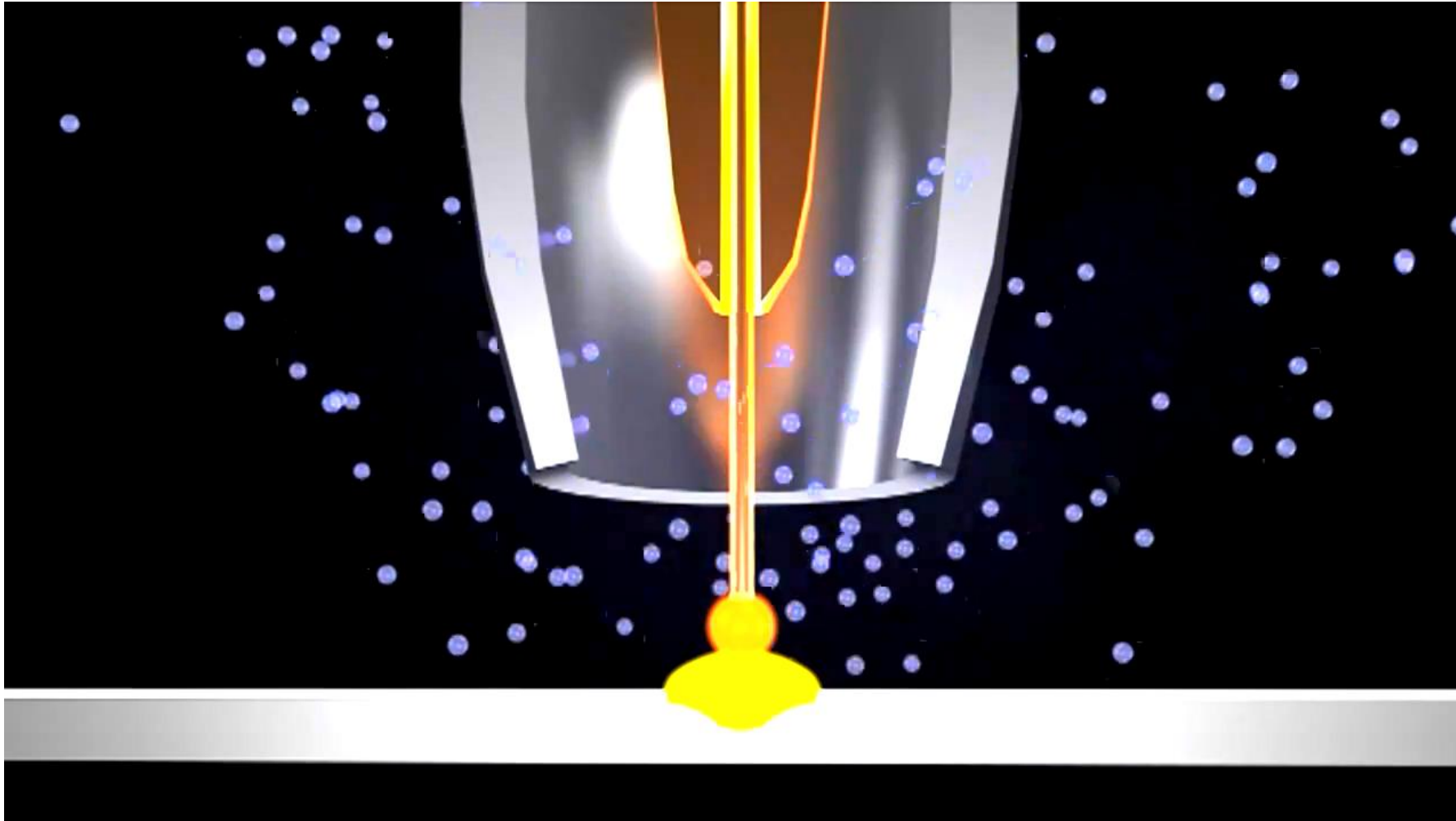
Metall-Schutzgasschweißen MIG / MAG

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 = CO₂, aktiv)



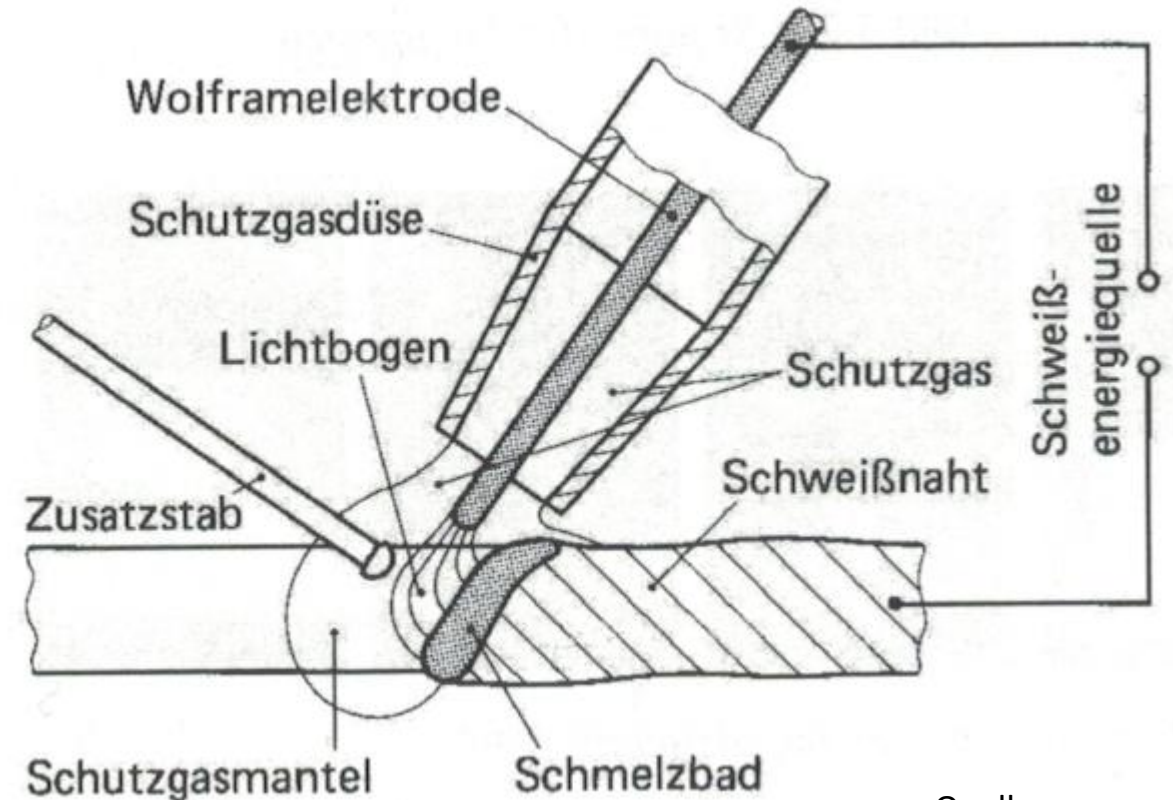
Quelle:
Awiszus, et al.



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



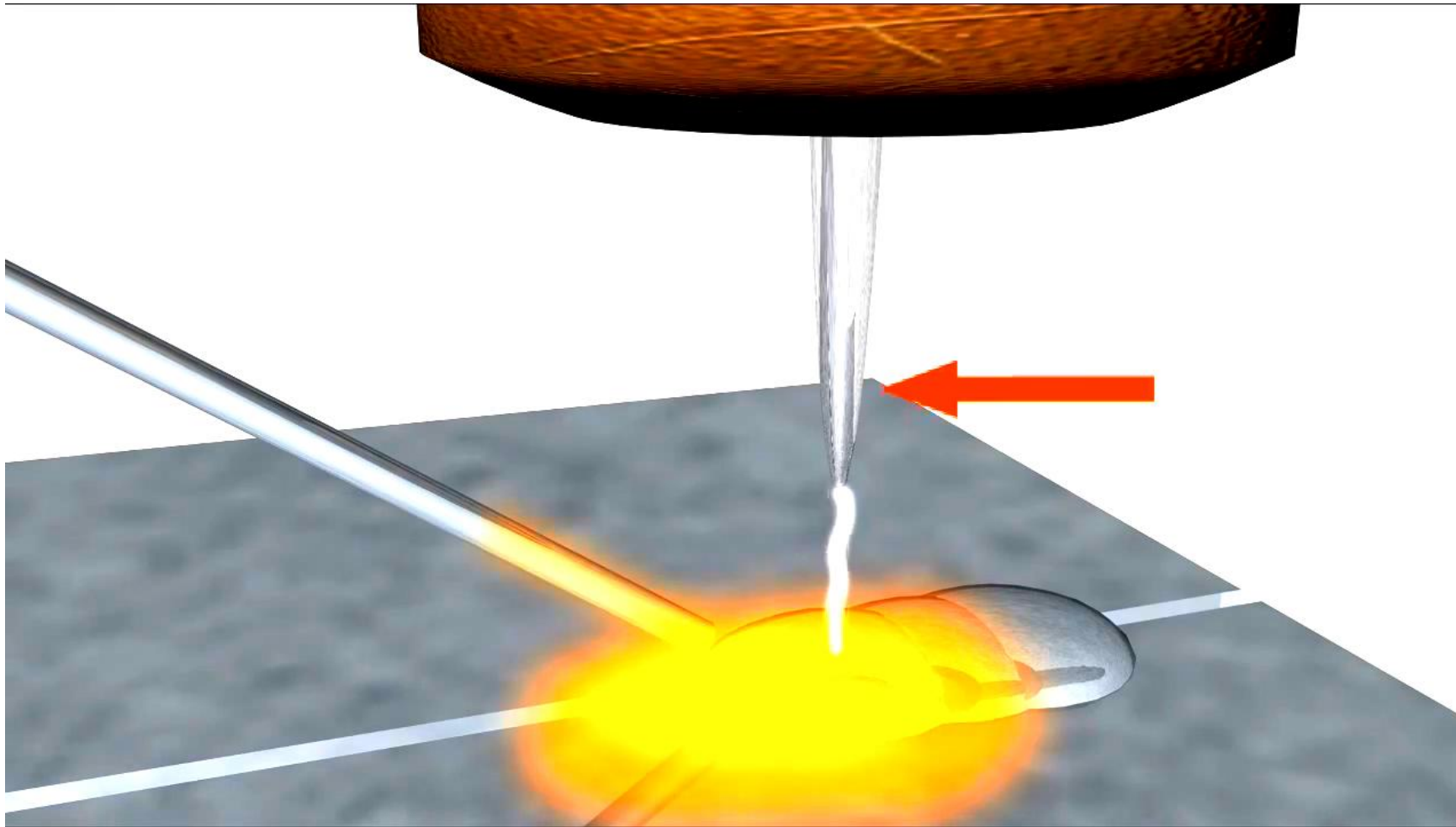
Quelle:
Awiszus, et al.
Grundlagen der
Fertigungstechnik
Hansa-Verlag

Beispiel WIG-Schweißen

Schweißen eines Edelstahlbehälters
für eine alkalische Brennstoffzelle

Bild: Prof. Enno Wagner

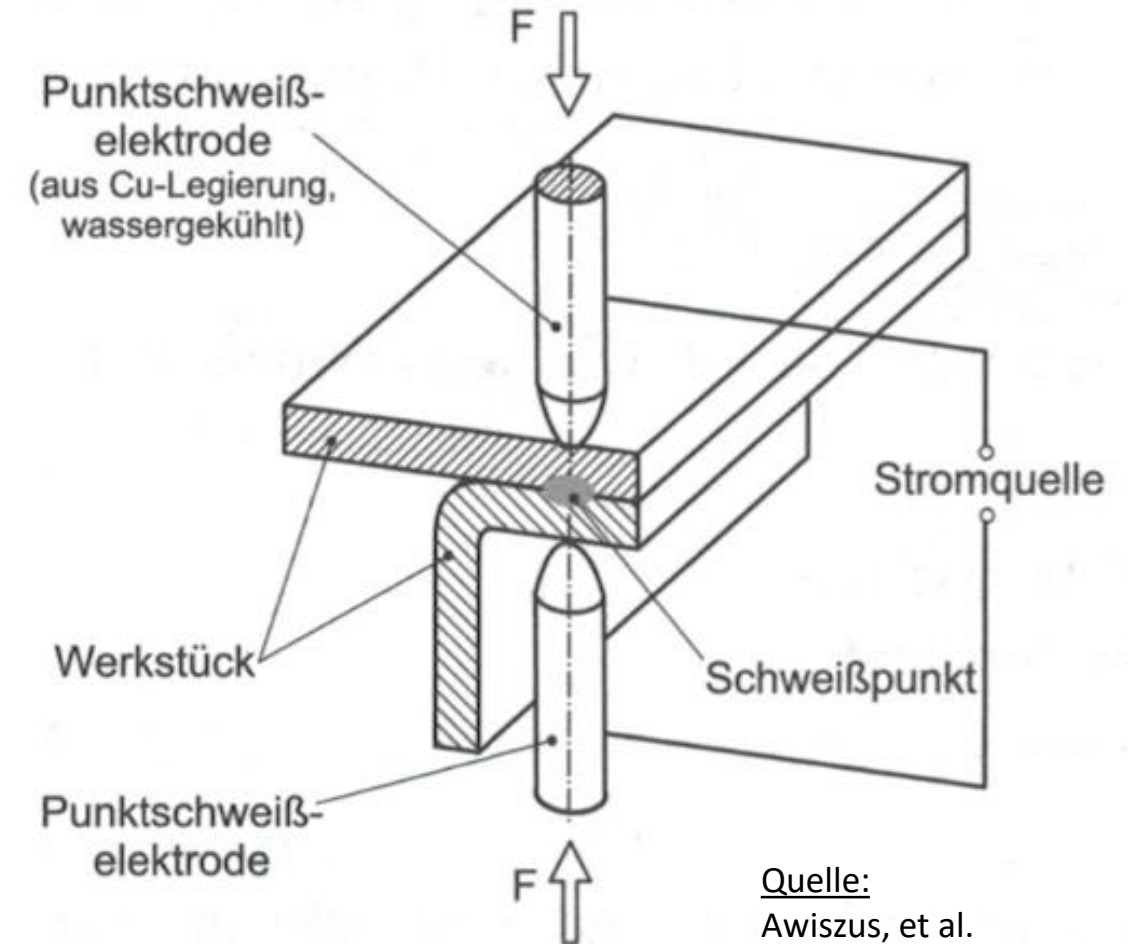




Quelle:
FT, Prof. Michalke

Punktschweißen (zweiseitig)

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

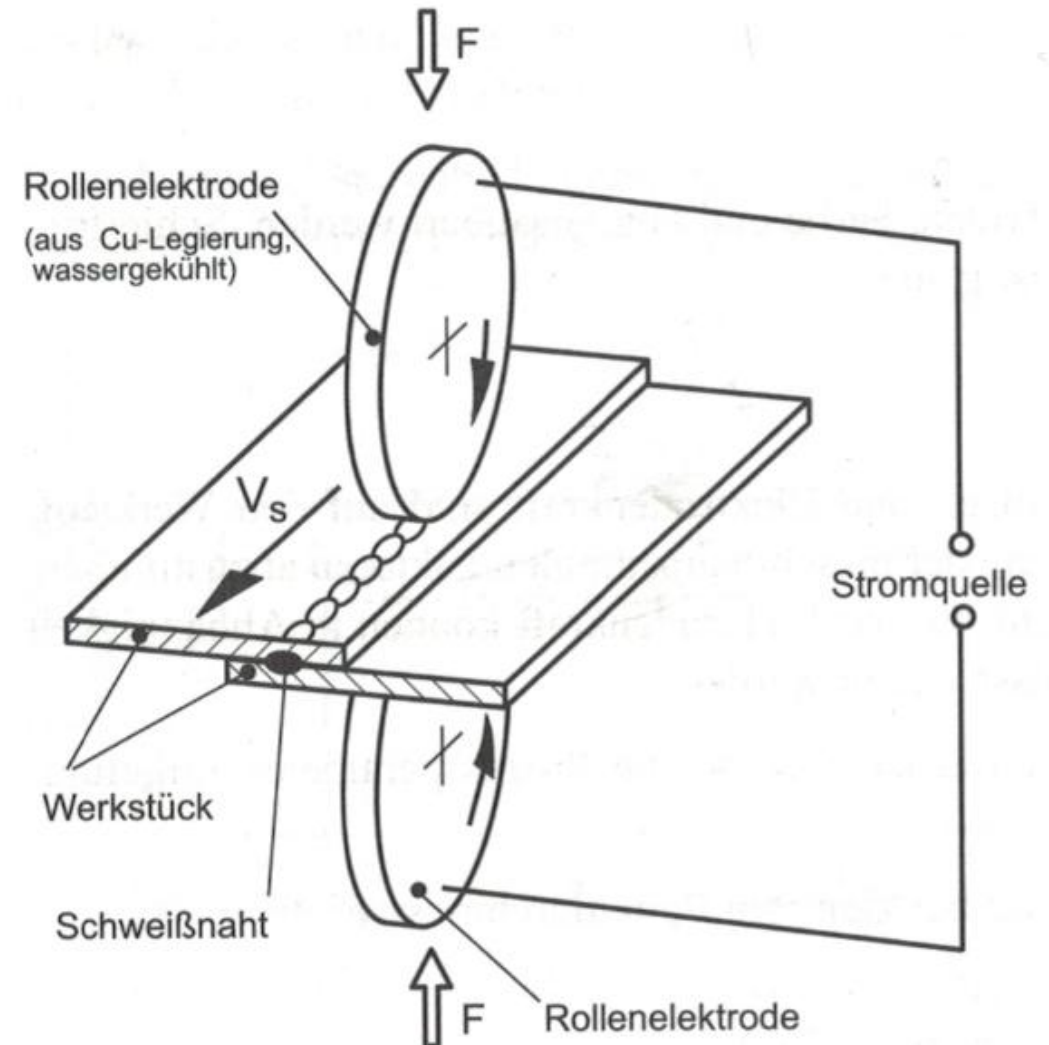


Quelle:
Awiszus, et al.
Grundlagen der
Fertigungstechnik
Hansa-Verlag

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

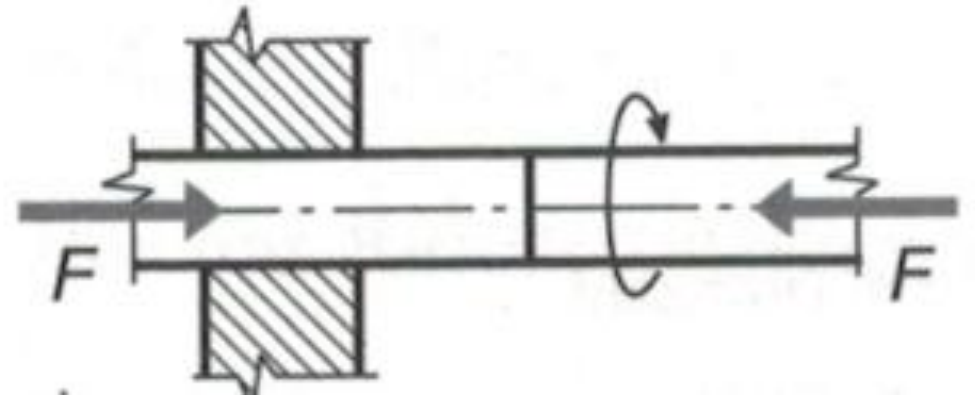
=> Vor allem im Karosseriebau
mittels Robotern



Quelle:
FT, Prof. Michalke

Schweißen durch Bewegungsenergie => Reibschweißen

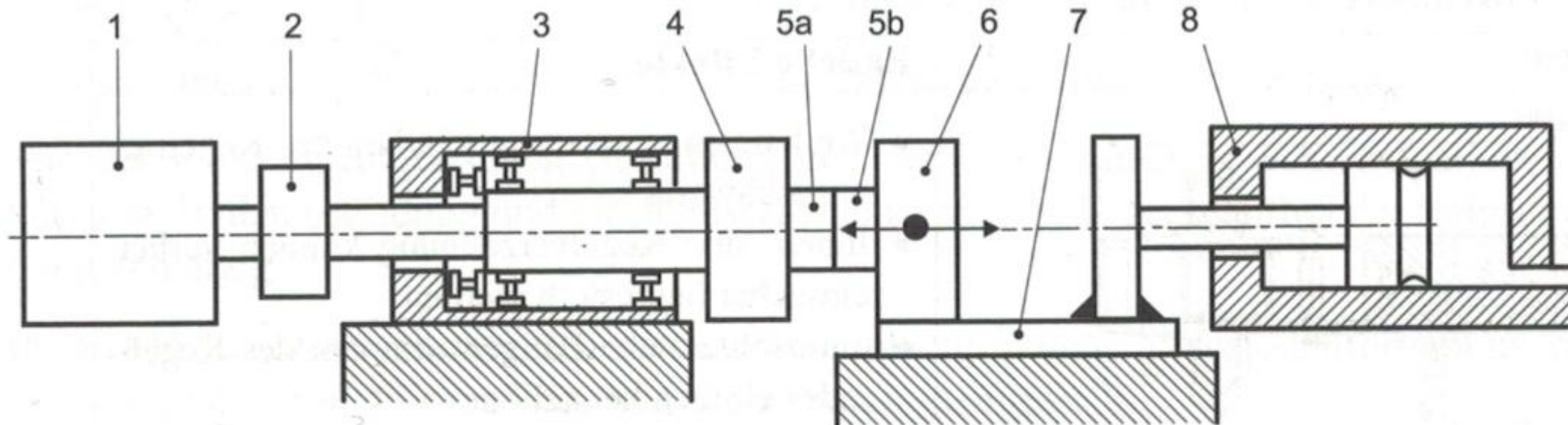
- Notwendige Wärme wird durch mechanische Reibung erzeugt
- Anwendung: verschweißen von Rohren und Wellen



Quelle:

Awiszus, et al.
Grundlagen der
Fertigungstechnik
Hansa-Verlag

Reibschweißen

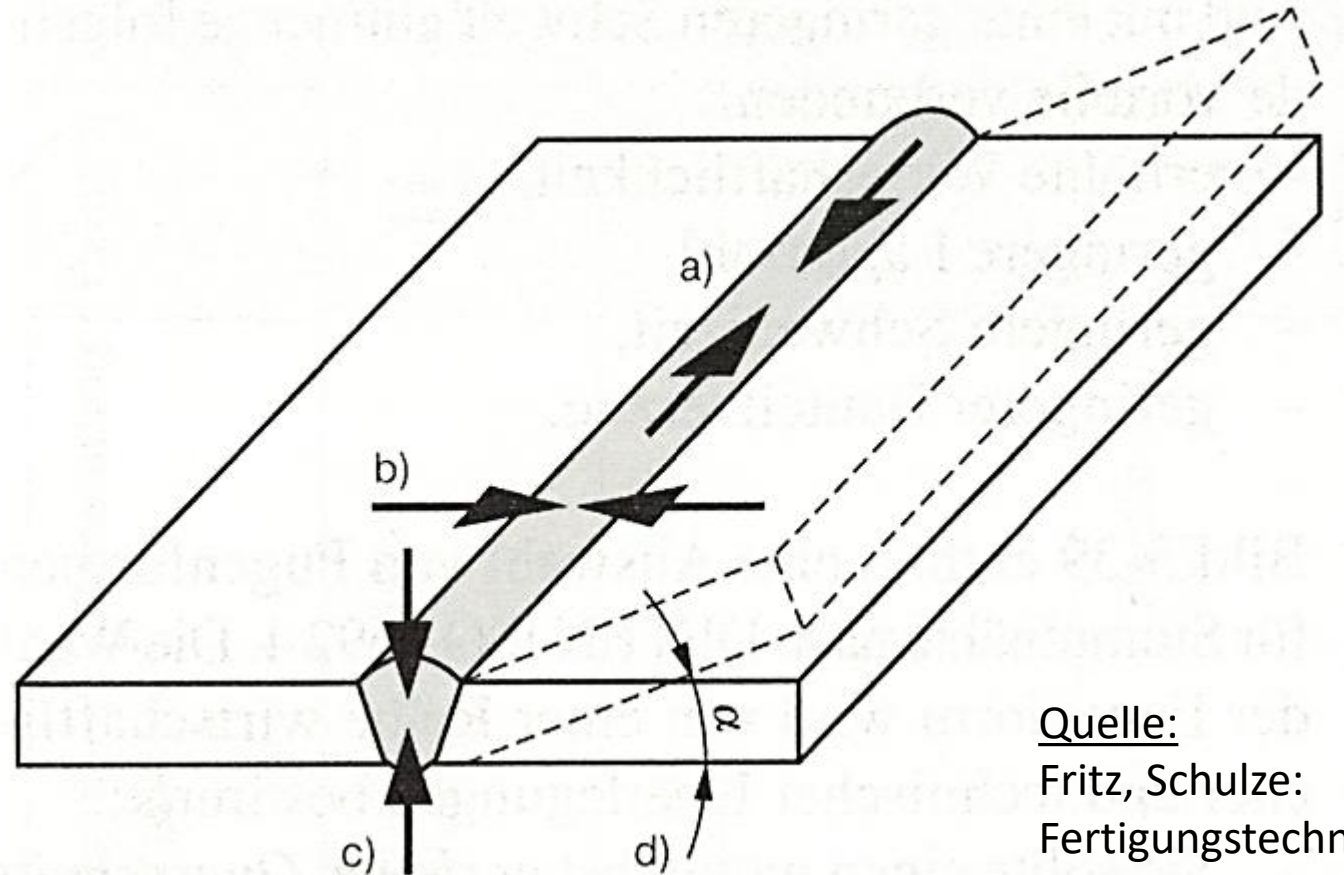


1 Motor; 2 Kupplung/Bremse beim Reibschweißen mit kontinuierlichem Antrieb,
 Schwungmasse beim Schwungradreibschweißen; 3 Spindelkopf; 4 Spanneinrichtung
 für rotierendes Werkstück; 5a Werkstück rotierend; 5b Werkstück feststehend;
 6 Spanneinrichtung für feststehendes Werkstück; 7 Schlitten; 8 Erzeugung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

Schweißnahtschrumpfung

Richtung der
Schrumpfungsvorgänge in einer
Schweißverbindung








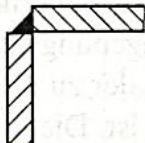
- a) Längsschrumpfung
- b) Querschrumpfung
- c) Dickenschrumpfung
- d) Winkelschrumpfung α



Quelle:
Fritz, Schulze:
Fertigungstechnik,
Springer-Verlag



Gestaltung von Schweißnähten

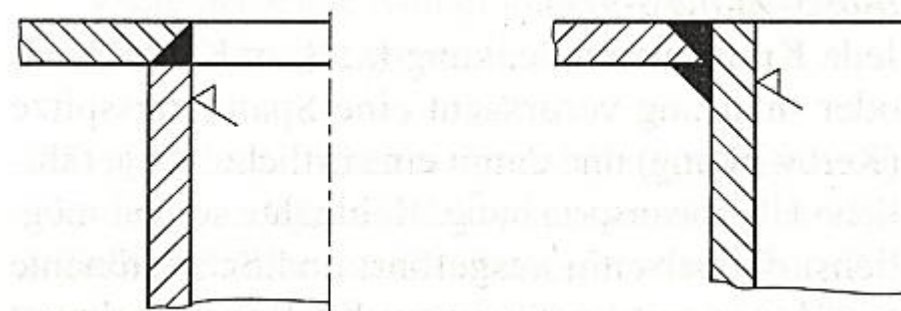
Stoßart	Benennung	Darstellung	Symbol
Stumpfnähte	I-Naht		==
	V-Naht		>
	Y-Naht		>Y
	X-Naht		X
Stirrnaht	Stirnflachnaht		
Kehlnähte	Kehlnaht		△
	Überlappnaht		△
	Ecknaht		△

Quelle:
Fritz, Schulze:
Fertigungstechnik,
Springer-Verlag

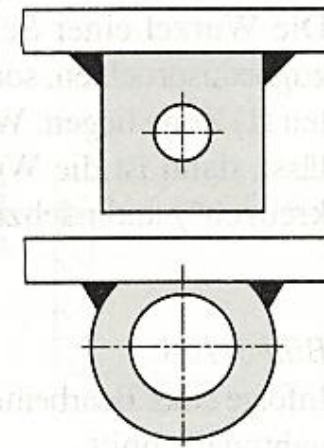
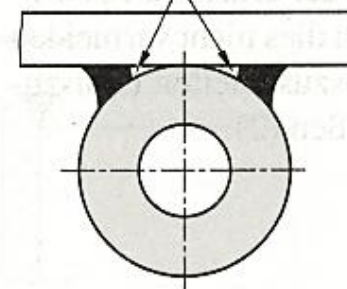
Gestaltung von Schweißnähten

ungünstig

günstig



Schlackeneinschluss
(Wurzelkerbe)



Quelle:
Fritz, Schulze:
Fertigungstechnik,
Springer-Verlag

Schweißgerechte Gestaltung: Punktschweißen

Bild 3-124

Sollen über einen Rohranschluss 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 Wurzelspaltes (Pfeil) von Kehlnaht (2).

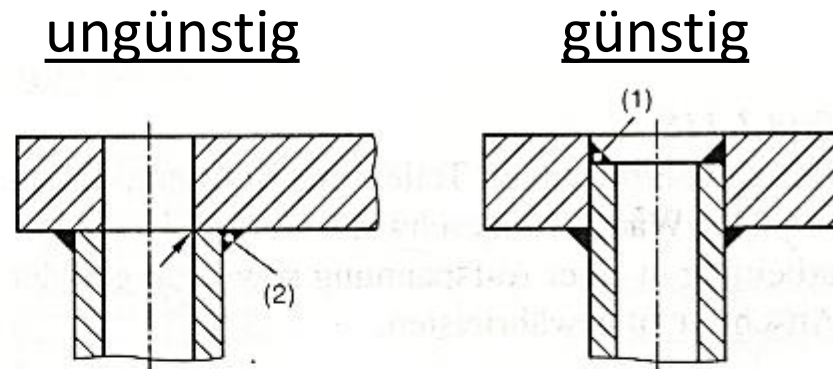


Bild 3-124

Bild 3-125

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

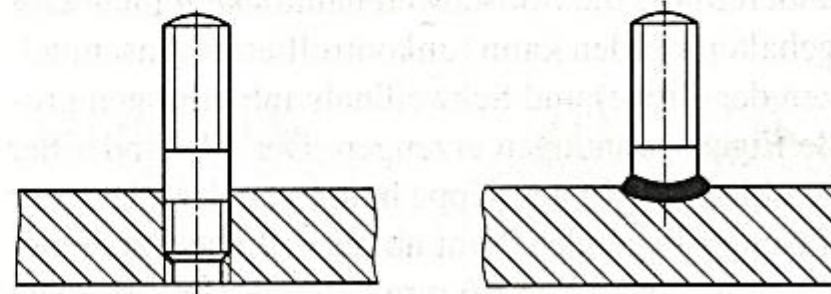
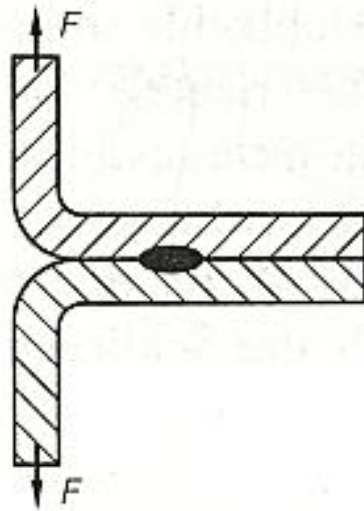


Bild 3-125

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.

ungünstig

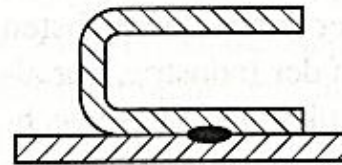


Bild 3-128

günstig

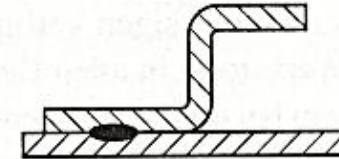


Bild 3-129

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

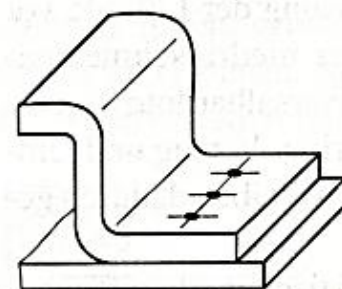
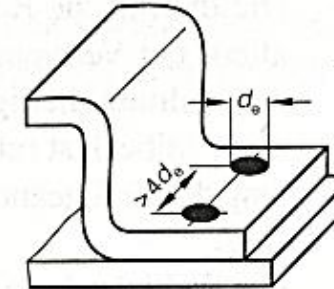


Bild 3-129



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:

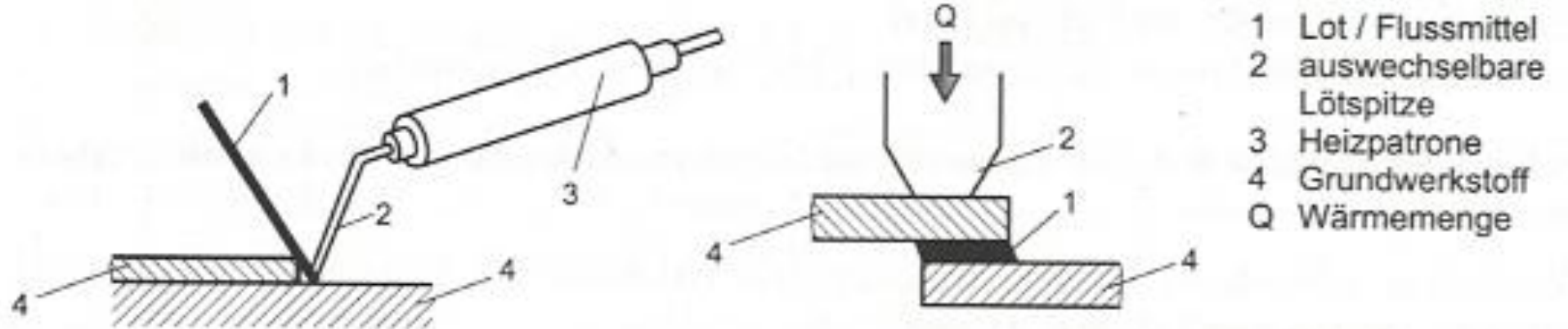
Awiszus, et al.

Grundlagen der Fertigungstechnik

Hansa-Verlag

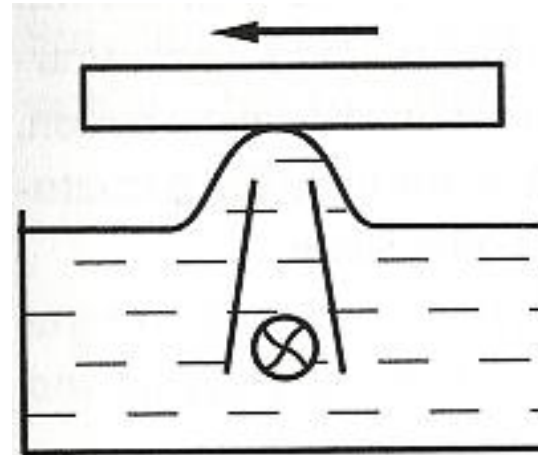
Prinzip des Kolbenlötens

Beispiel:
 Elektronik-
 Einzelfertigung



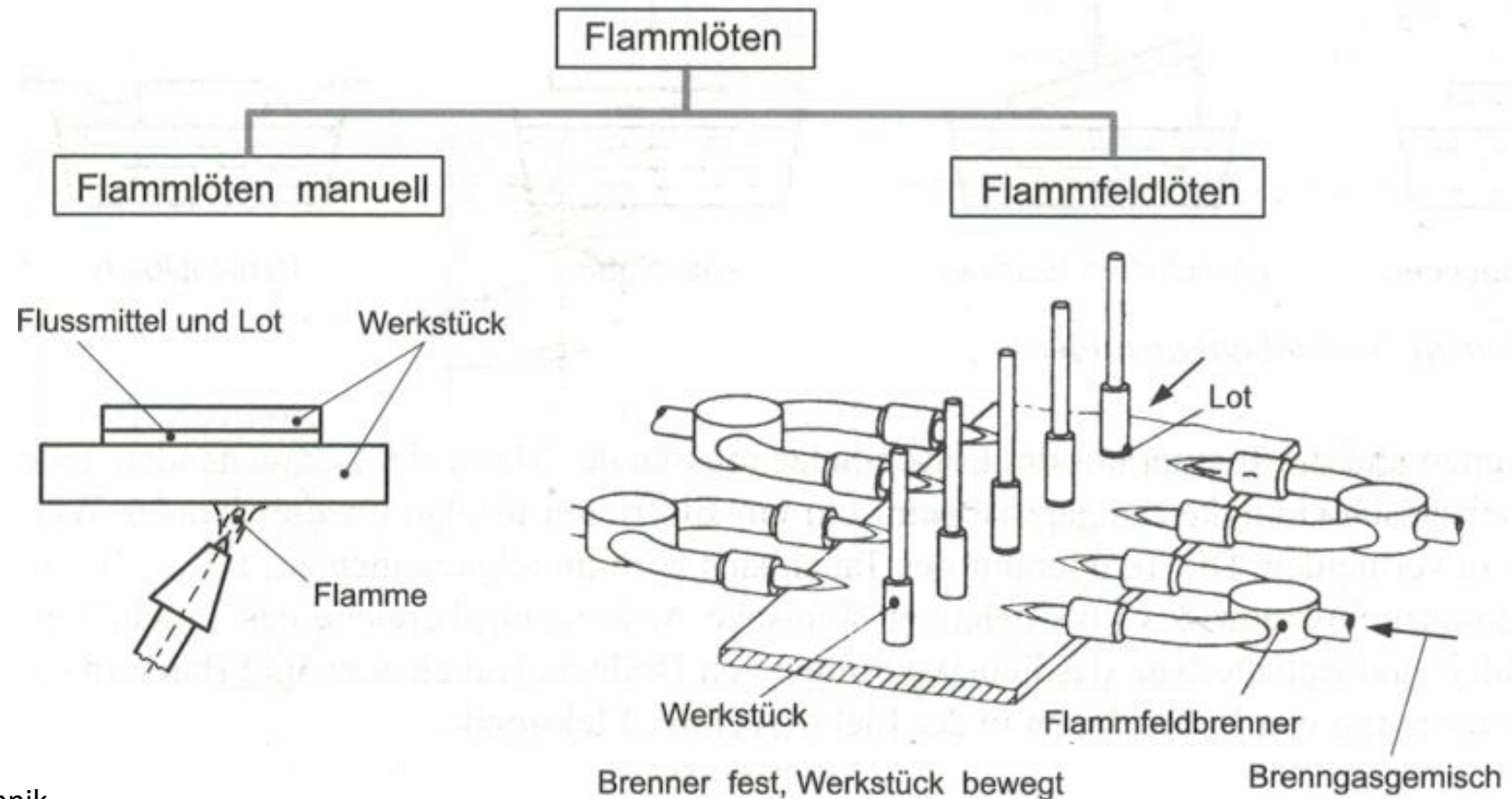
Prinzip des Wellenlötens

Beispiel:
 Elektronik-
 Massenfertigung



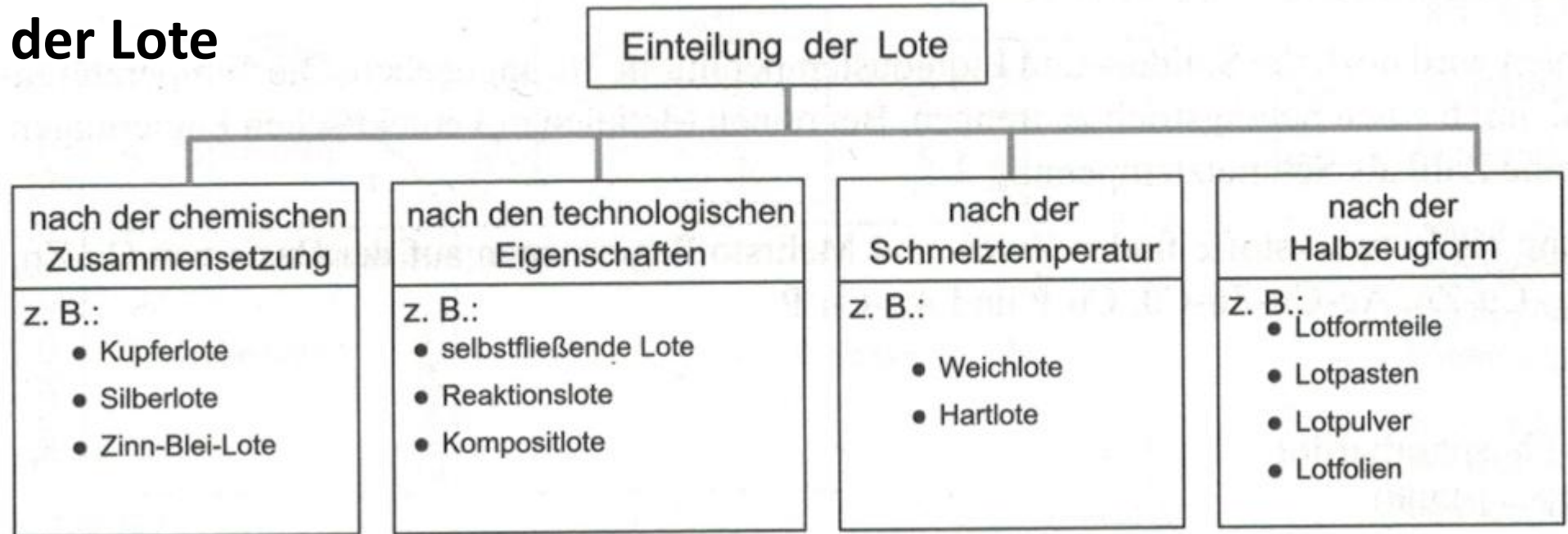
Quelle:
 Awiszus, et al.
 Grundlagen der Fertigungstechnik
 Hansa-Verlag

Verfahren



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

Klassifizierung der Lote

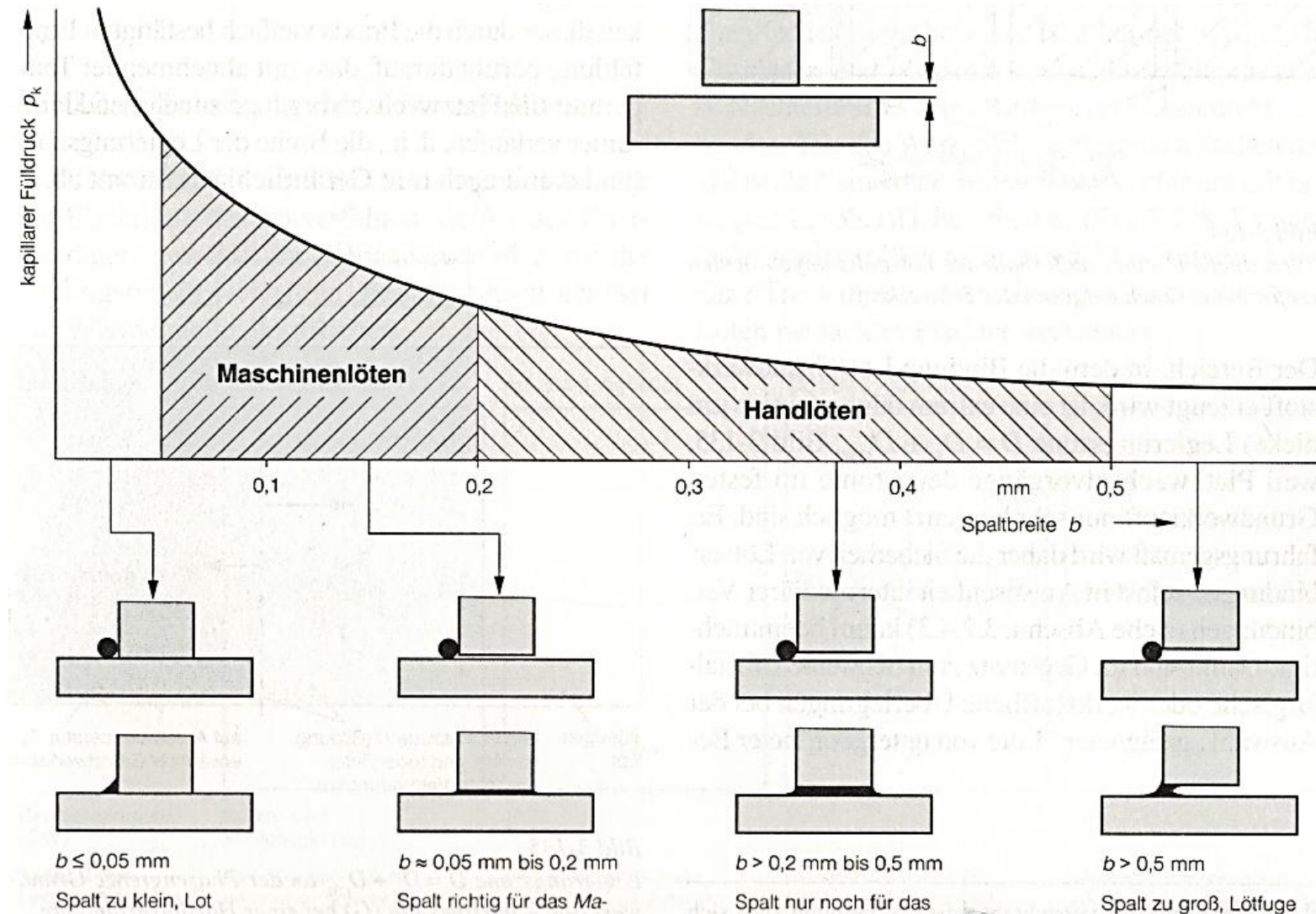


Quelle:
Awiszus, et al.
Grundlagen der
Fertigungstechnik
Hansa-Verlag

International üblich ist die Grobgliederung in:

- Weichlote (Liquidustemperatur des Lots $< 450\text{ °C}$),
- Hartlote (Liquidustemperatur des Lots zwischen 450 und 900 °C) und
- Hochtemperaturlote (Liquidustemperatur des Lots $> 900\text{ °C}$).

Gestaltung des Lotspaltes



Quelle:
Fritz, Schulze:
Fertigungstechnik,
Springer-Verlag

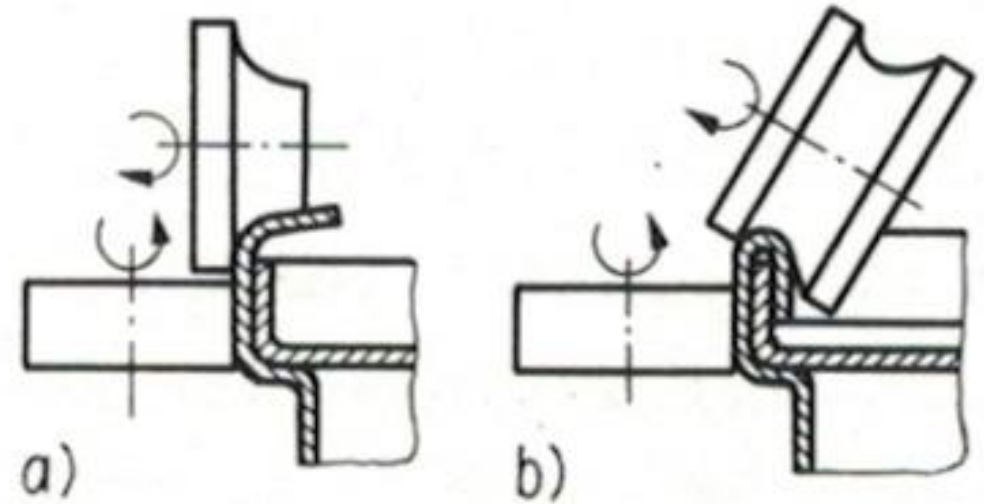
Formschlüssiges Fügen

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).

Quelle:

Krause: Konstruktions-
elemente der
Feinmechanik, Hansa



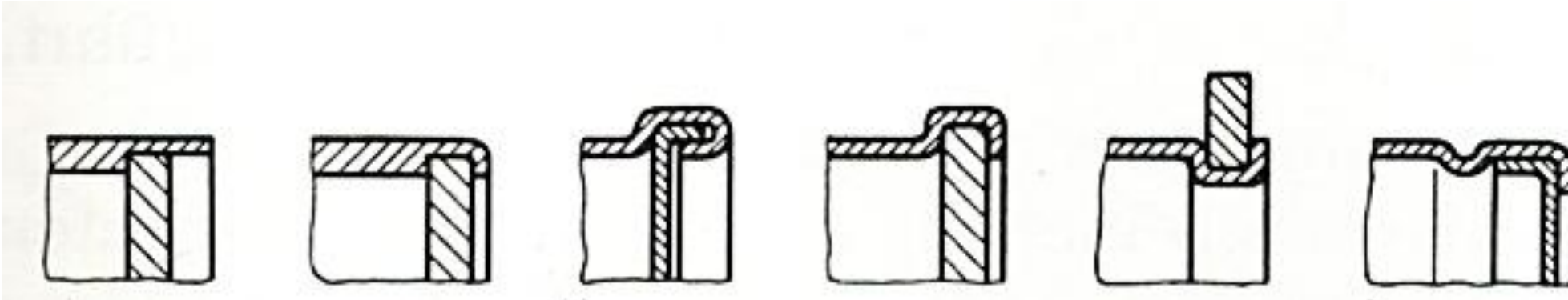
Bördelrollen

- a) 1. Rolle: Vorbördeln
- b) 2. Rolle: Fertigbördeln

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

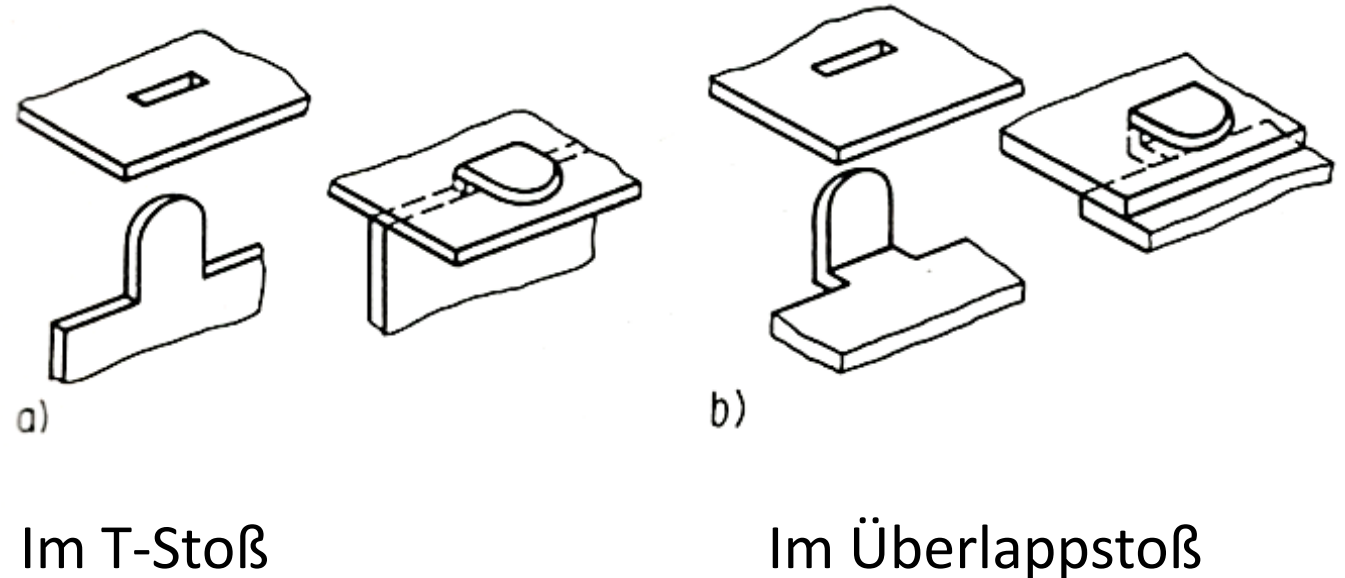
Beispiele:



Quelle:
Krause: Konstruktions-
elemente der
Feinmechanik, Hansa

Lapp- und Schränkverbindungen

- Formschlüssige, starre, bedingt lösbare Verbindungen von Blechteilen
- Lappen (aus Metall) wird nach dem Fügen um 90° (T-Stoß) oder 180° (Überlappstoß) umgelegt



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.)

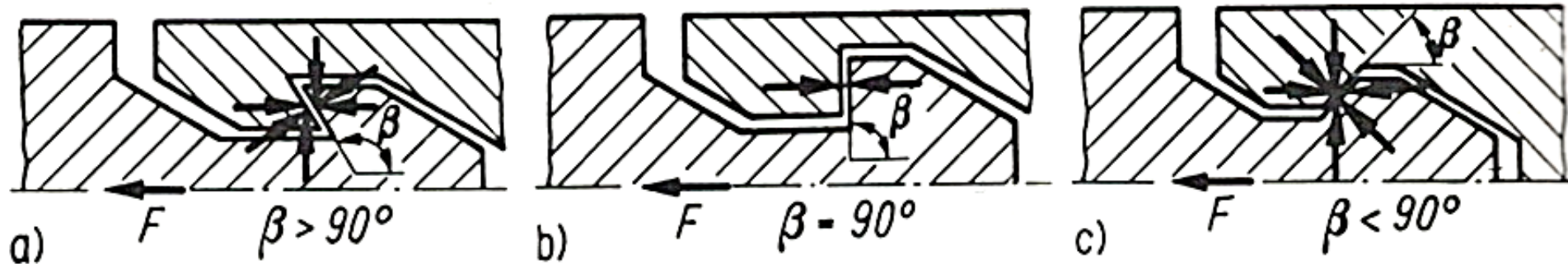
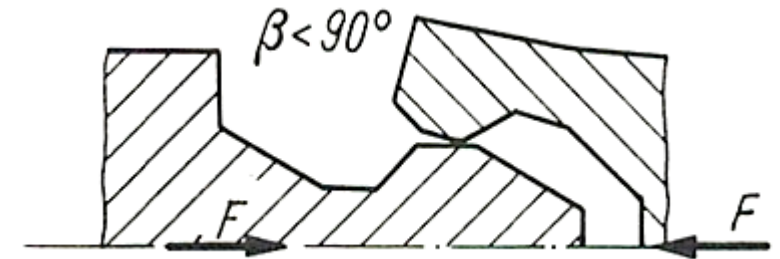


Bild 4.3.69. Schnappverbindungen

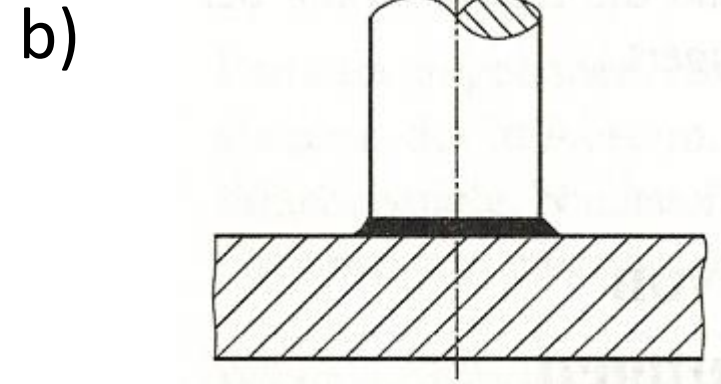
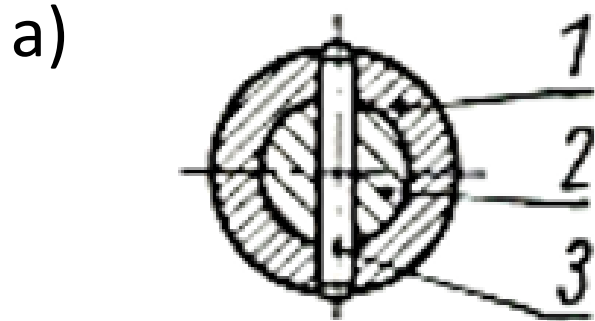
a), b) reiner Formschluß; c) Kraft- und Formschluß

Quelle:
Krause: Konstruktionselemente der
Feinmechanik, Hansa

Übungsfragen

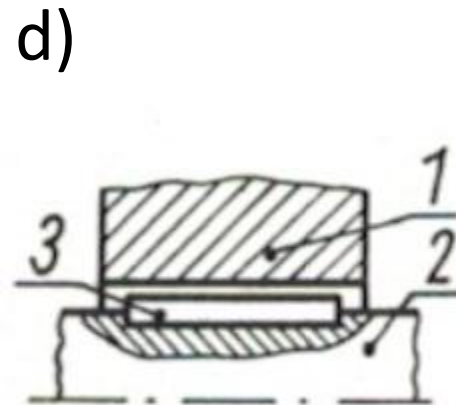
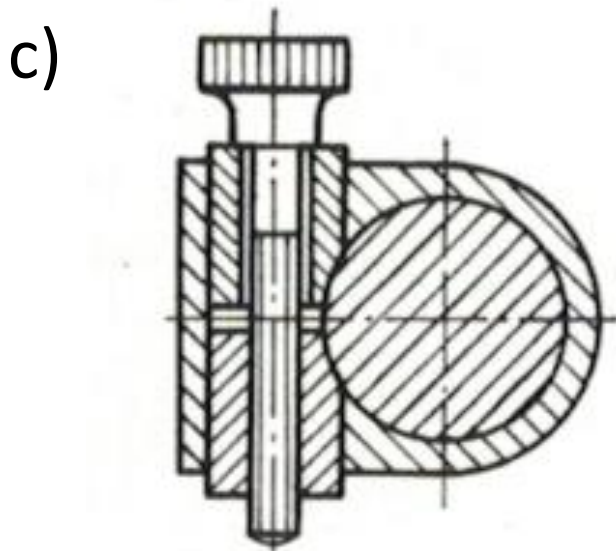
Um welche Art der Verbindung handelt es sich hier?

Kraftschlüssig, formschlüssig oder stoffschlüssig?



Übungsfragen

Um welche Art der Verbindung handelt es sich hier?
Kraftschlüssig, formschlüssig oder stoffschlüssig?



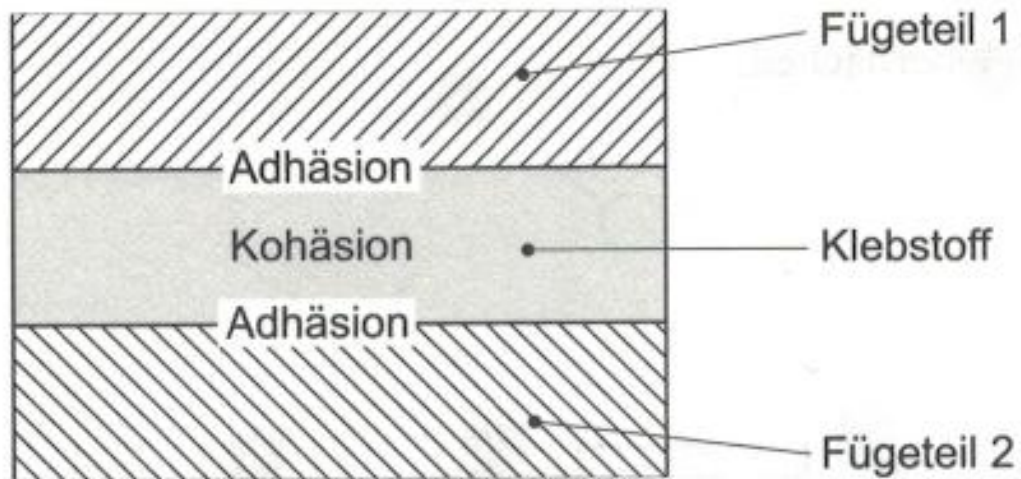
1 Nabe
2 Welle
3 Paßfeder

Kleben

Kleben – adhäsives Verbinden von Werkstoffen

Bei Klebverbindungen kommt es darauf an, dass:

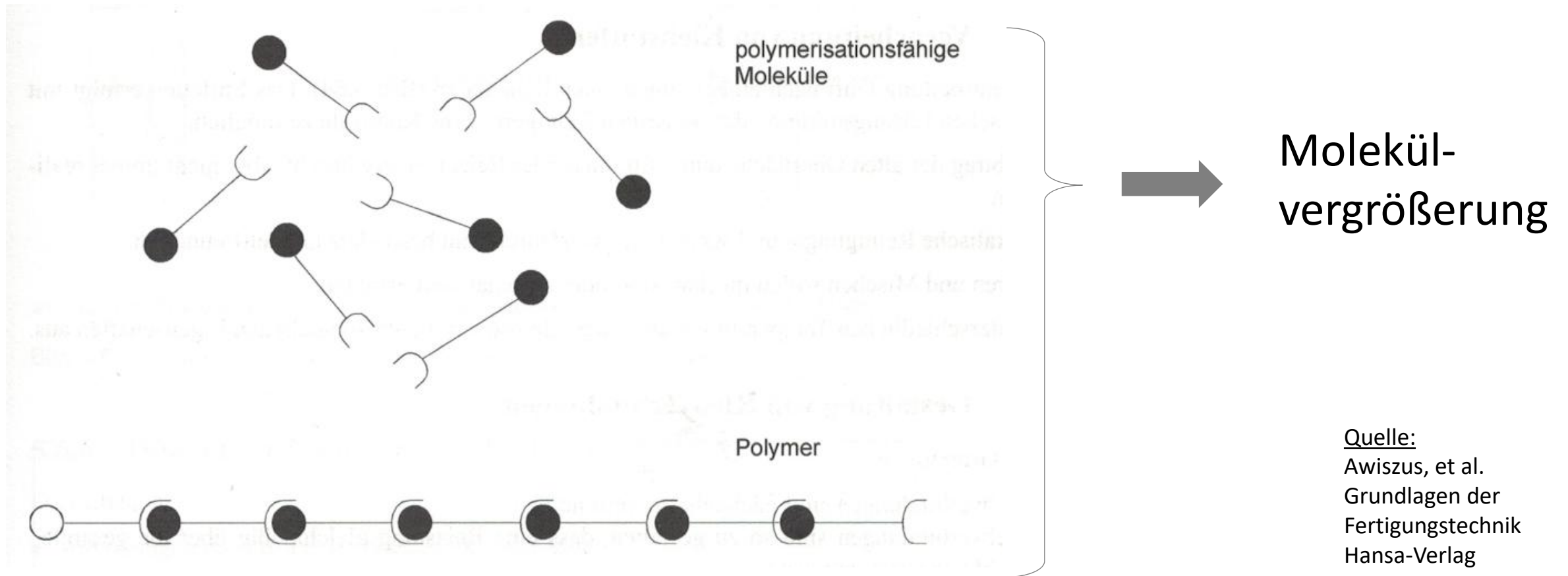
- der Klebstoff und die Fügeteile genügende Festigkeit aufweisen („Kohäsion“)
- der Klebstoff mit genügender Festigkeit auf den Fügeteilen haftet („Adhäsion“).



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

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

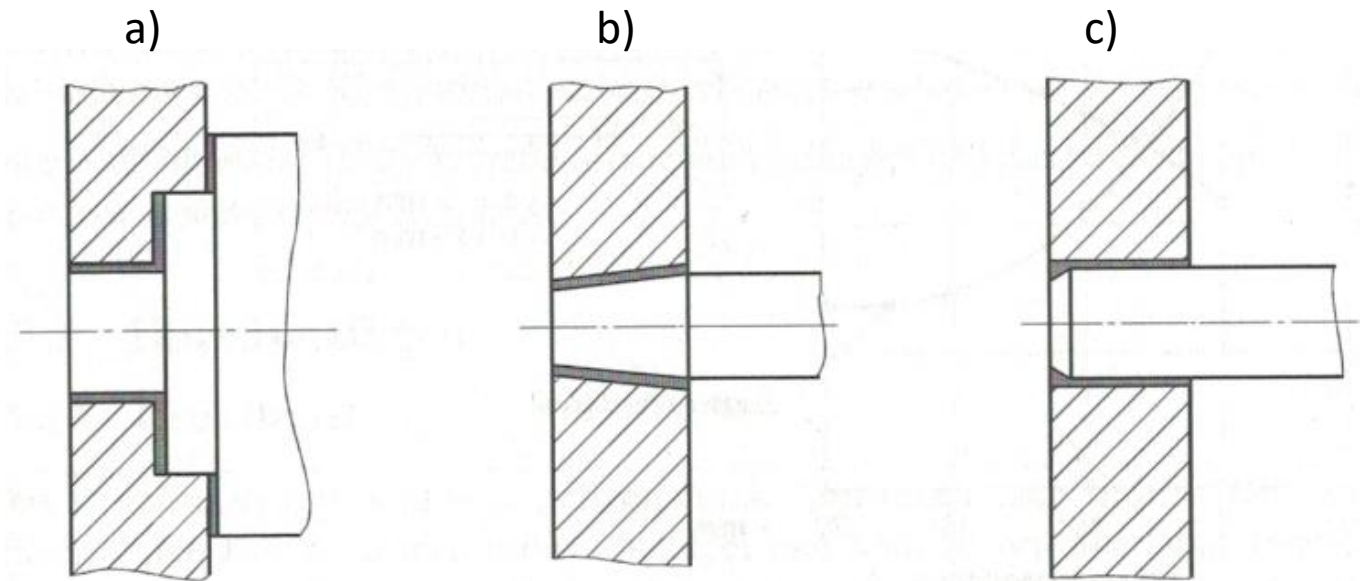
Chemisch reagierende Klebstoffe => **Polymerisation**



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

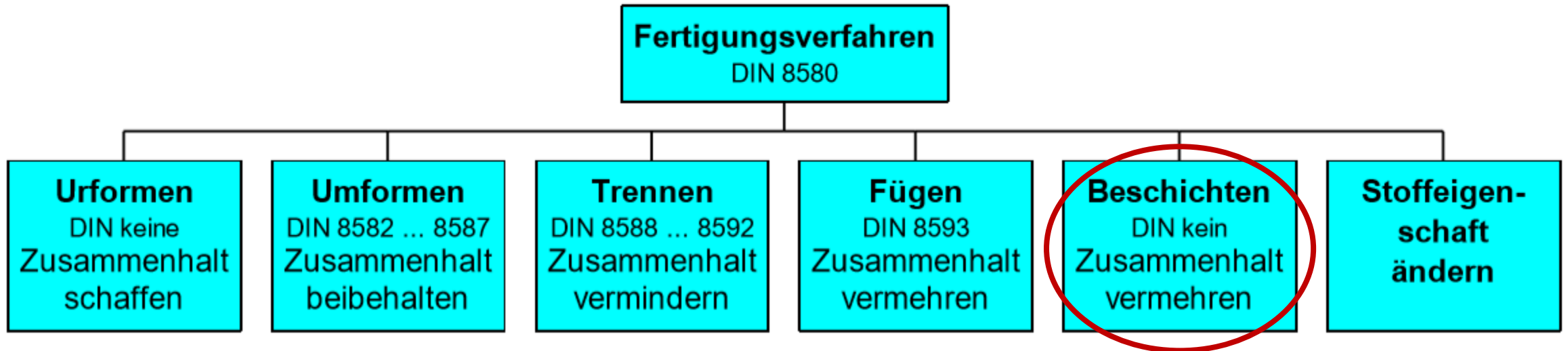
a) Bund mit Rundpassung

b) kegliche Fügeteile

c) angefaste Fläche

Fertigungsverfahren

Einteilung in 6 Hauptgruppen nach DIN 8580



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

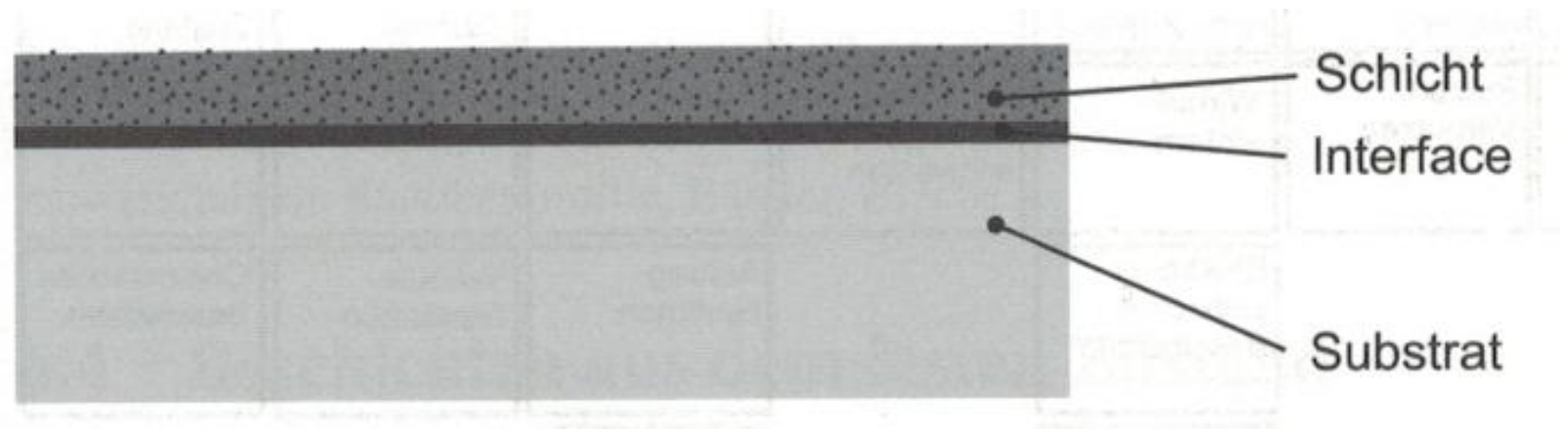
Neues Thema:

5. Beschichten

Definition

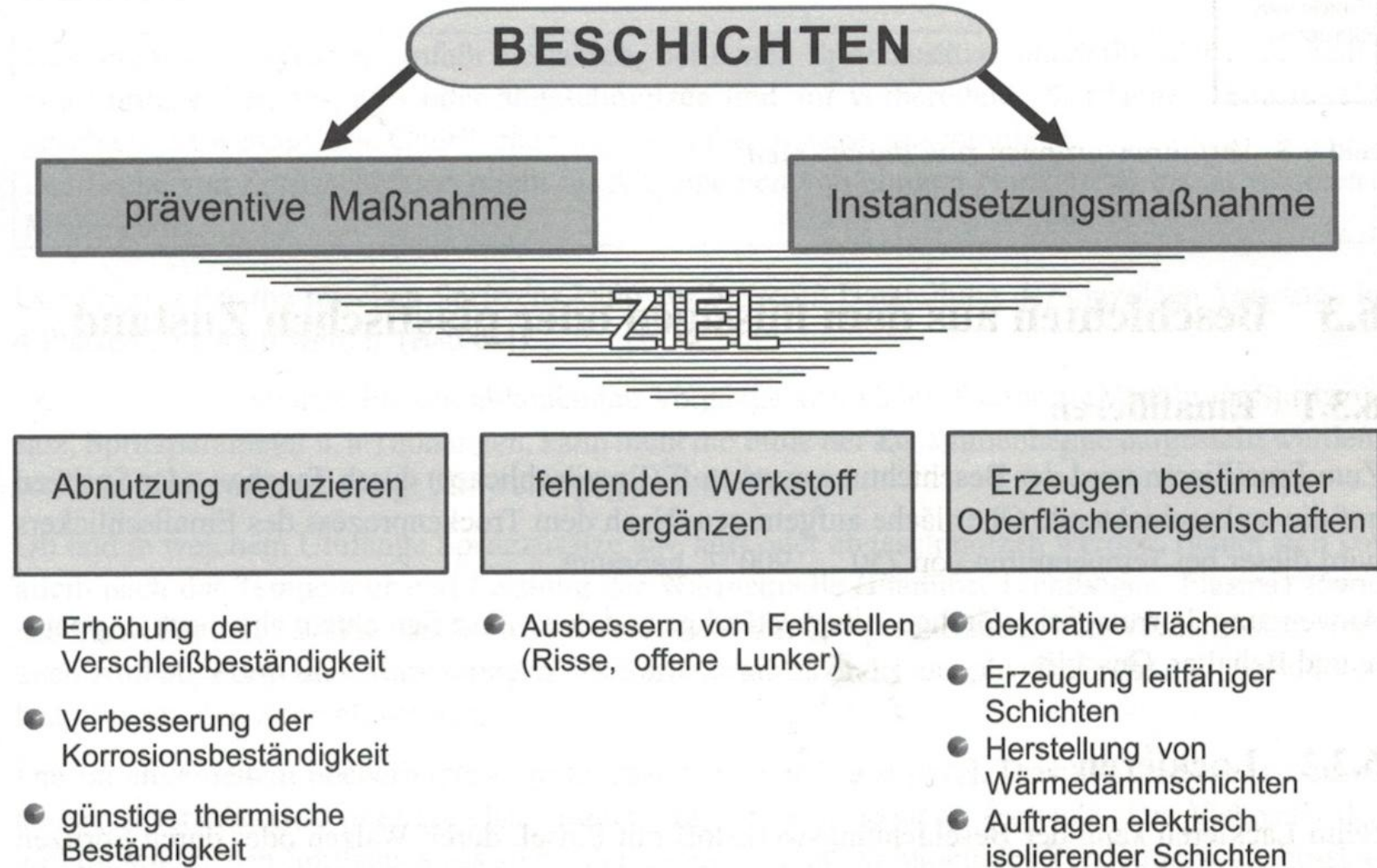
Beschichten ist das Erzeugen oder Herstellen von Schichten durch Aufbringen von geometrisch unbestimmten Stoffen auf aktivierte Oberflächen von Substanzen ohne wesentliche Änderung der Geometrie des Substrates.

Prinzip-Darstellung eines Schichtverbundes:

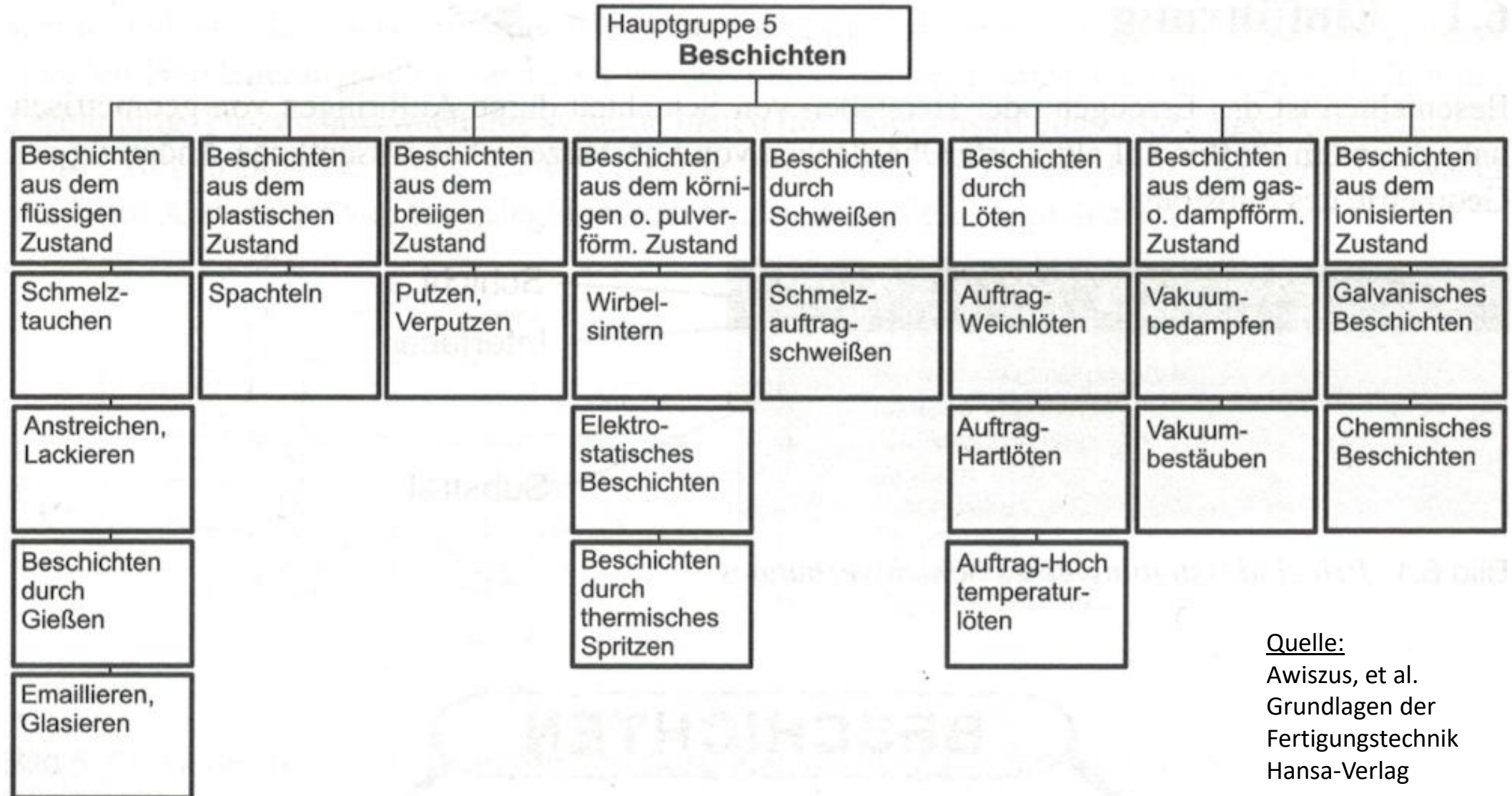


Quelle:
Awiszus, et al.
Grundlagen der
Fertigungstechnik
Hansa-Verlag

Zweck des Beschichtens

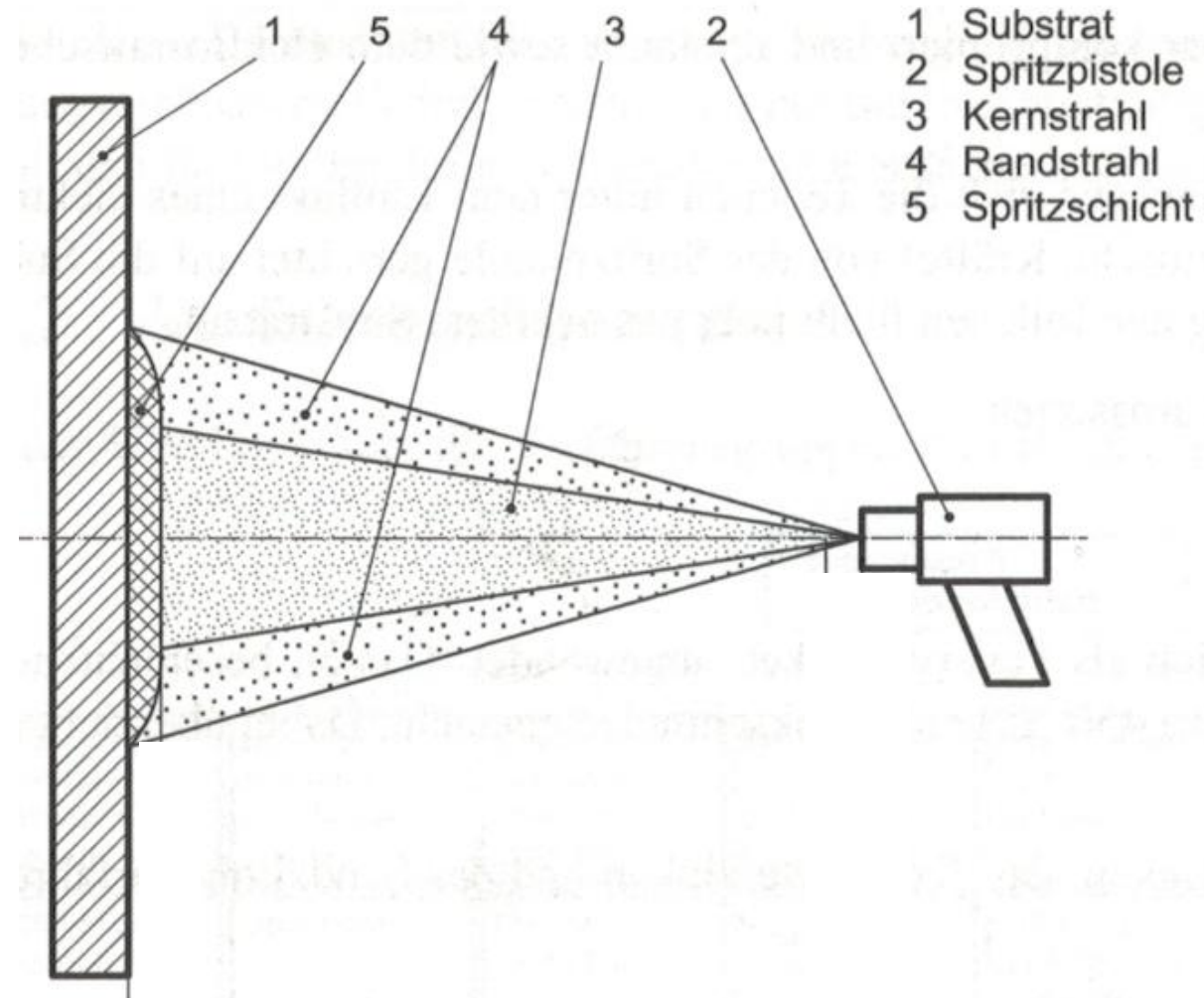


Quelle:
Awiszus, et al.
Grundlagen der
Fertigungstechnik
Hansa-Verlag



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.