

Fließkurven geben Aufschluss über das Umformverhalten des jeweiligen Werkstoffes und über den erforderlichen Kraftbedarf bei der Umformung (siehe Fließkurvenatlas von Doege, Meyer-Nolkemper und Saeed; Carl Hanser Verlag München Wien).

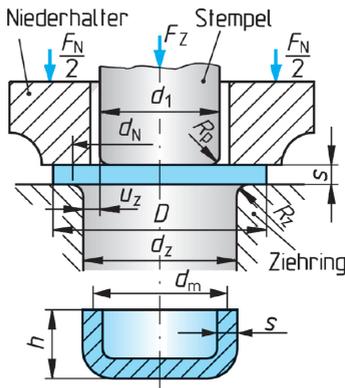
Niederhalter

Zur Vermeidung von Faltenbildungen wird ein Niederhalter (Blechhalter) mit einer bestimmten Kraft auf den Flansch gedrückt. Die Neigung zur Faltenbildung ist bei dünnem Blech stärker als bei dickem.

In der Praxis wird die Niederhalterkraft meist empirisch festgestellt, indem die Kraft am Zieheteil, das oft modellmäßig verkleinert ist, so lange gesteigert wird, bis das Ergebnis für den Tiefziehvorgang optimal ist.

Tiefziehkraft

Die Tiefziehkraft F_z ist vorrangig abhängig von
 a) mittlerem Umformquerschnitt A_z
 b) spezifischem Formänderungswiderstand



Es ist nur eine annähernde Bestimmung möglich, da der Formänderungswiderstand sich während des Ziehvorgangs ändert und verschiedenen Einflüssen unterliegt, wie z. B. Reibung, Kaltverfestigung, Ziehverhältnis.

Ausgehend von der Überlegung, dass die Ziehkraft kleiner sein muss als die **Bodenreibkraft F_B** und diese wie folgt berechnet werden kann

$$F_B \approx d_m \cdot \pi \cdot s \cdot R_m, \text{ wobei } d_m = d_1 + s$$

gilt für die Ziehkraft

$$F_z < F_B$$

$$F_z < d_m \cdot \pi \cdot s \cdot R_m$$

Aus einer Reihe von Formeln für die Ermittlung der Ziehkraft ist hier die praxisnahe, vereinfachte Berechnung nach Romanowski gewählt.

$$F_z \approx K \cdot d_m \cdot \pi \cdot s \cdot R_m$$

Der Korrekturfaktor K berücksichtigt die Ziehspannung im Verhältnis zur Zugfestigkeit und ist abhängig vom Werkstoff, dem Ziehverhältnis und der relativen Werkstoffdicke. Er soll den Wert 1 nicht übersteigen, da sonst die Gefahr besteht, dass das Ziehteil reißt.

Eine Auswahl von Werten ist im Anhang zu finden (S. 94).

Bei mehreren Ziehoperationen genügt die Ermittlung der Ziehkraft beim Erstzug, da die Ziehkräfte der Folgezüge wegen der erheblich niedrigeren Zugabstufung ($\beta_2 = d_1/d_2$) geringer sind.

Die **Gesamtziehkraft** bei Transfer- bzw. Folgewerkzeugen kann überschlägig ermittelt werden mit

$$F_{zges} \approx n \cdot F_{z1}$$

Bei einfachwirkender Presse erhöht sich die Ziehstößkraft um den Betrag der Niederhalterkraft F_N , da diese während des gesamten Ziehvorgangs dem Ziehstößel entgegenwirkt.

Die Ziehkräfte von nicht rotationssymmetrischen Werkstücken, die elliptische, quadratische oder rechteckige Formen haben, lassen sich bei genügend großen Eckenradien entsprechend den Gesetzmäßigkeiten der zylindrischen Teile berechnen

$$d = 1,13 \cdot \sqrt{A_{St}} \text{ (mm)} \text{ und } D = 1,13 \cdot \sqrt{A_z} \text{ (mm)}$$

wobei A_{St} der Stempelquerschnitt und A_z die Zuschnittsfläche ist.

Niederhalterkraft

Die Niederhalterkraft F_N ist das Produkt aus Niederhalterfläche A_N und dem Niederhalterdruck p_N :

$$F_N = A_N \cdot p_N$$

Die Niederhalterfläche wird ermittelt mit

$$A_N = \frac{\pi}{4} (D^2 - d_N^2) \text{ dabei ist } d_N = d_1 + 2u_z + 2R_z$$

Da bei geringeren Ziehteilradien und Blechdicken der Ziehspalt und der Ziehkantenradius im Verhältnis zum Stempeldurchmesser vernachlässigt werden kann, darf näherungsweise gerechnet werden mit

$$F_N \approx \frac{\pi}{4} (D^2 - d_1^2) \cdot p_N$$

Die Höhe des spezifischen Niederhalterdrucks $\cdot p_N$ ist abhängig von

Werkstoff – Blechdicke – Ziehverhältnis – Reibung

Nach Siebel wird der Niederhalterdruck nach folgender Formel berechnet:

$$p_N = \left[(\beta - 1)^2 + \frac{d_1}{200 \cdot s} \right] \frac{R_m}{400}$$

Vereinfacht kann für p_N mit folgenden Werten gerechnet werden.

| Werkstoff | p_N in N/mm ² |
|-----------|----------------------------|
| Stahl | 2,5 |
| Cu-Leg. | 2 ... 2,4 |
| Al-Leg. | 1,2 ... 1,5 |

Beispiel:

Für den in Bild 1 dargestellten Napf aus Tiefziehblech DC04 mit $R_m = 350 \text{ N/mm}^2$ sind zu ermitteln:

Rondendurchmesser

Ziehstufen

Ziehkraft

Niederhalterkraft

Kraftaufwand der Presse, wenn mit einem Folgewerkzeug auf einer einfachwirkenden Ziehpresse gearbeitet wird.

Rondendurchmesser

$$D = \sqrt{d^2 + 4dh}, \text{ wobei } d = 36 \text{ mm} - 2 \cdot 0,5s = 35 \text{ mm} \\ \text{und } h = 70 \text{ mm} - 0,5s = 69,5 \text{ mm}$$

$$D = \sqrt{35^2 \text{ mm}^2 + 4 \cdot 35 \text{ mm} \cdot 69,5 \text{ mm}}$$

$$D = 104,6 \text{ mm}$$

Zur Ermittlung der Zugabstufung wird gewählt

$$D = 105 \text{ mm}$$

Zugabstufung:

Die Anzahl der Züge wird über das Ziehverhältnis ermittelt.

$$\beta_{\text{ges}} = \frac{D}{d_1} = \frac{105 \text{ mm}}{35 \text{ mm}} = 3; \rightarrow \beta_{\text{ges}} > \beta_{\text{max}}$$

Da β_{ges} größer als das zulässige Grenzziehverhältnis ist, sind mehrere Züge erforderlich.

Für den Anschlagzug (Erstzug) wird nach Bild 1, Seite 94 $\beta_1 = 1,9$ gewählt, für die Folgezüge $\beta_{2,3} = 1,3$.

Ermittlung der Züge:

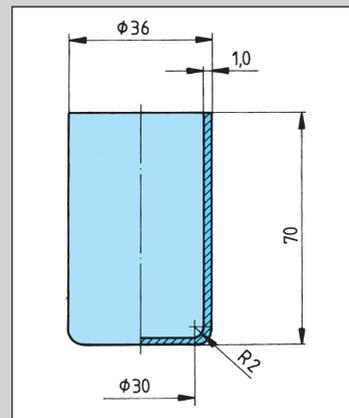
$$\text{Anschlagzug: } \beta_1 = \frac{D}{d_1} \quad d_1 = \frac{D}{\beta_1} = \frac{105 \text{ mm}}{1,9} = 55,26 \text{ mm}$$

$$\text{gewählt: } d_1 = 55 \text{ mm}$$

Folgezüge:

$$1. \text{ Weiterzug } \beta_2 = \frac{d_1}{d_2} \quad d_2 = \frac{d_1}{\beta_2} = \frac{55 \text{ mm}}{1,3} = 42,3 \text{ mm}$$

$$\text{gewählt: } d_1 = 42 \text{ mm}$$



1 Napf

Stempelhalte- noch Führungsplatte als völlig starr anzunehmen, doch genügt es, bei geführten Stempeln mit einfacher Sicherheit ($\nu = 1$) zu rechnen.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass man bei Verhältnissen $d/s \leq 1$ abgesetzte Stempel verwenden sollte. Normstempel dieser Art weisen eine mindestens zwei- bis fünfzehnfache Knicksicherheit gegenüber Stempeln mit durchgehendem Schaft auf.

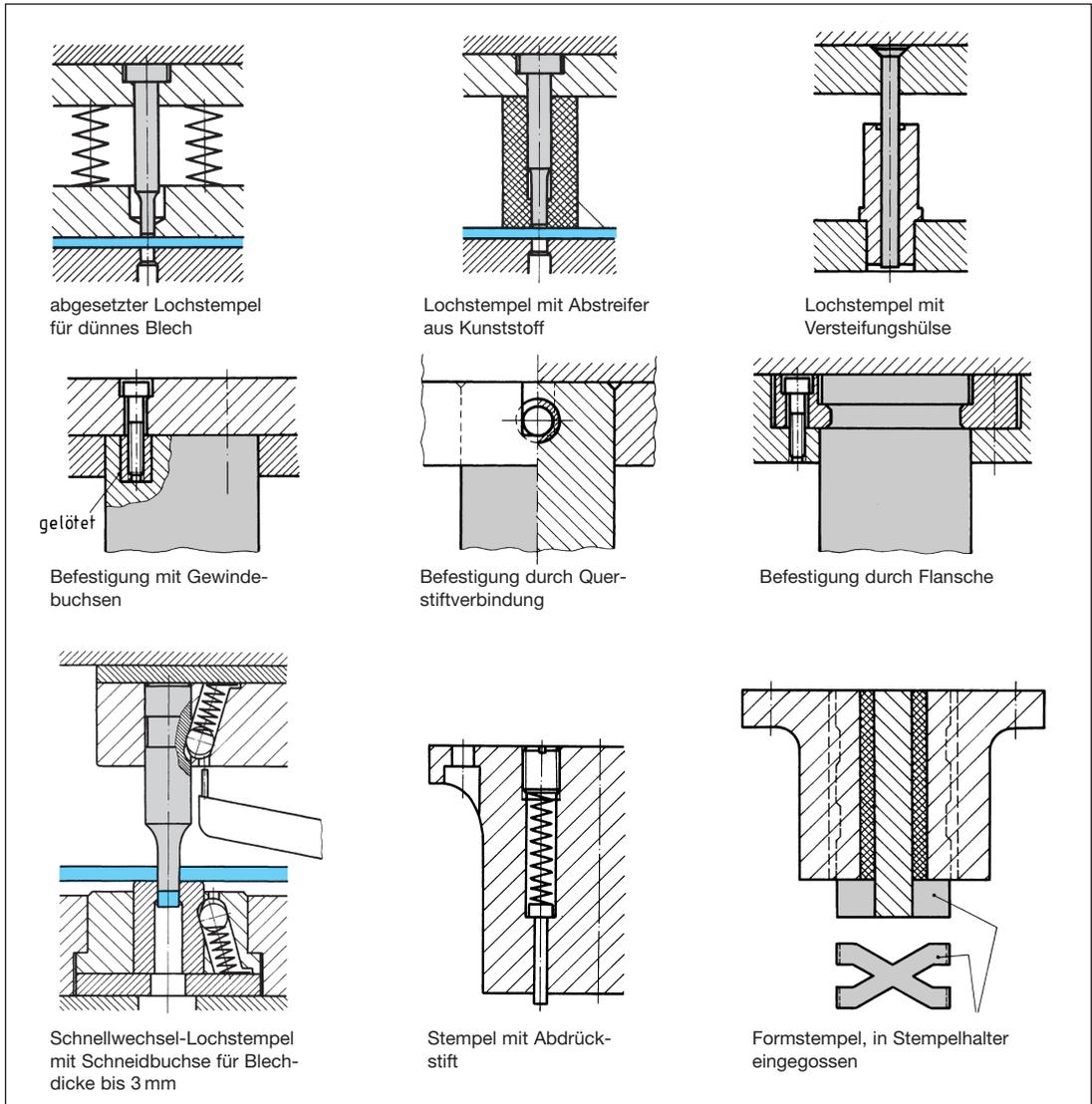
Eine andere Möglichkeit ist es, glatte Lochstempel in Buchsen zu führen, die dann nicht allein das

Ausknicken verhindern, sondern gleichzeitig als Niederhalter dienen können, wenn sie unmittelbar vor Beginn des Schneidvorganges auf dem Werkstoff aufsetzen.

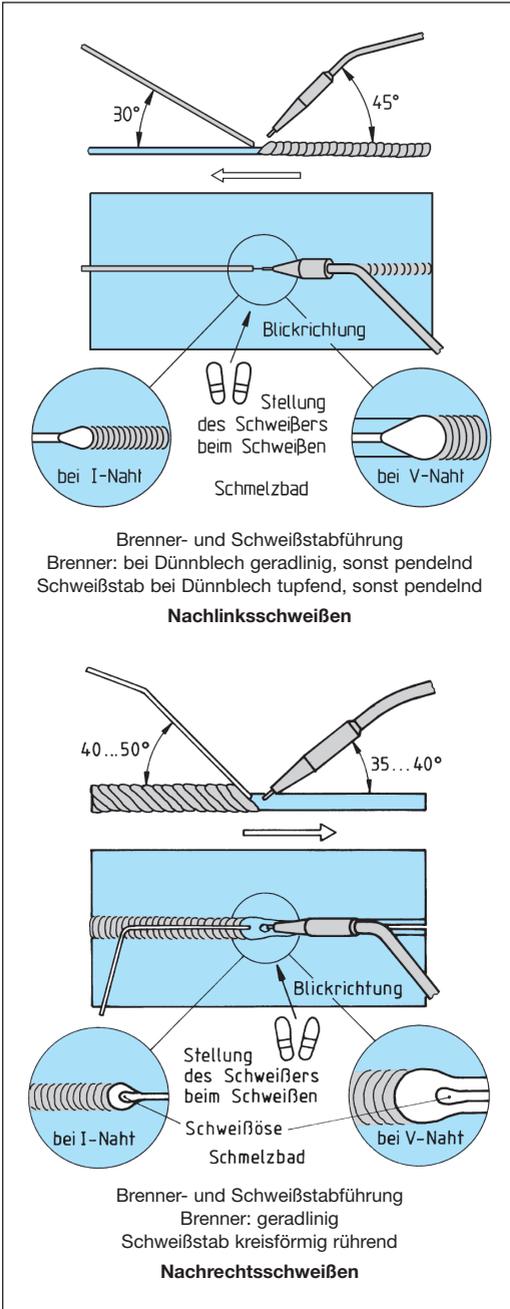
Beide Ausführungen erfordern eine zuverlässige, genaue Hubbegrenzung, die durch feste Anschläge am sichersten gewährleistet ist.

Runde Schneidstempel sind genormt

- mit kegeligem Kopf nach DIN 9861
- mit zylindrischem Kopf nach DIN ISO 8020
- Schnellwechsel-Schneidstempel nach DIN ISO 10071



1 Stempelformen



1 Brennerhaltung und Schweißstabführung

Die Brennerhaltung und die Schweißstabführung beeinflussen dieses Aufschmelzen. Es wird unterschieden zwischen **Nachlinksschweißen** (NL) und **Nachrechtsschweißen** (NR).

1. **Nachlinksschweißen** (Bild 1a), bei Dünnblechen bis 3 mm wegen der geringen Wärmeabgabe an den Werkstoff.

Reihenfolge für Gerät und Werkstoff in Schweißrichtung: geschweißte Naht – Brenner – Schweißzusatzwerkstoff.

2. **Nachrechtsschweißung** (Bild 1b) ab 3 mm Blechdicke, ergibt besseren Schutz des Schweißbades vor Luftzutritt und zu schneller Abkühlung.

Reihenfolge für Gerät und Werkstoff in Schweißrichtung: geschweißte Naht – Schweißzusatzwerkstoff – Brenner.

Verschweißbare Werkstoffe

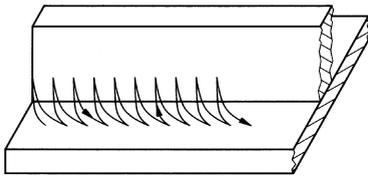
Unlegierte und niedrig legierte Stähle sind gut schweißbar, hochlegierte Stähle, Aluminiumlegierungen und Gusseisen jedoch nur bedingt mit Flussmitteln schweißbar. Schweißzusatz zum Schmelzschweißen von Gusseisen in DIN EN ISO 1071.

Schweißstäbe als Schweißzusatz bei unlegierten und warmfesten Stählen sind in DIN EN 12536 festgelegt. Fugenformen und Symbole der Schweißnahtvorbereitung in DIN EN ISO 9692.

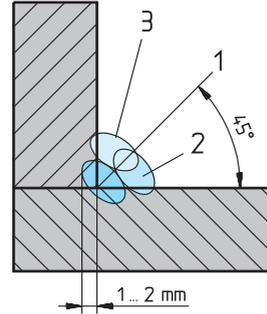
Die Schweißstäbe sind in sechs Klassen eingeteilt, die sich in der chemischen Zusammensetzung und daher im Schweißverhalten und in der Schweißneigung unterscheiden. Kurzzeichen der Schweißstäbe OI ... OVI. Zu bevorzugen sind die zähfließenden Schweißstabsklassen OIII bis OVI ohne Spritzer- und Porenneigung. Die Schweißstäbe sind genormt in den Durchmessern 2 mm, 2,5 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm und 6 mm in Längen von 1 m.

| Kurzzeichen des Stabes | Fließverhalten | Spritzer | Porenneigung |
|------------------------|----------------------|----------|--------------|
| OI | dünnfließend | viel | ja |
| OII | weniger dünnfließend | wenig | ja |
| OIII | zähfließend | keine | nein |
| OIV | | | |
| OVI | | | |
| OVI | | | |

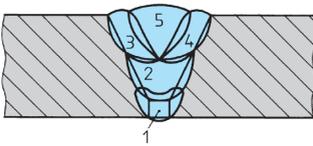
2 Schweißzusatz für unlegierte und warmfeste Stähle (Auszug DIN EN 12536), Schweißverhalten



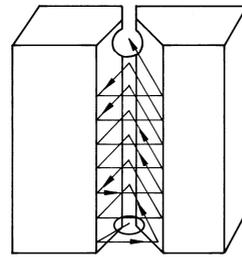
a) Kehlnaht in 1 Lage, Schweißposition PB, Pendelraupe



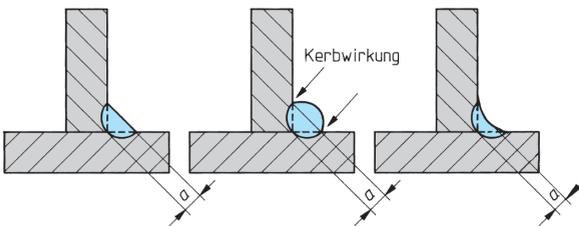
b) Kehlnaht in 3 Lagen.
 1. Wurzel mit Elektrodenstellung 1 in 45°.
 2. Untere Deckraupe mit El. Anstell $\alpha \approx 65^\circ$.
 3. Obere Deckraupe mit El. Anstell $\alpha \approx 30^\circ$ in Strichraupen. Schweißposition PB.



c) Lagenfolge einer V-Naht, Wurzellage 1 und Zwischenlage 2 in kleiner Pendelraupe, Decklage 3, 4 und 5 in Strichraupen. Schweißposition PA

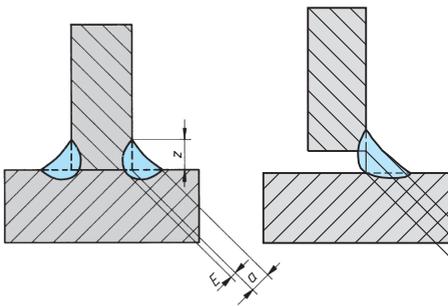


d) V-Naht in 1 Lage, Schweißposition PF, Pendelraupe.



e) Grundarten von Kehlnähten

1. Die Flachkehlnaht ist die wirtschaftlichste Form der Kehlnaht.
2. Die Wölbkehlnaht sollte vermieden werden. Kerben wirken bruchfördernd.
3. Die Hohlkehlnaht ergibt – wie die Flachkehlnaht – einen günstigen Kraftlinienverlauf. Erfordert mehr Schweißzusatz bei gleichem a-Maß.



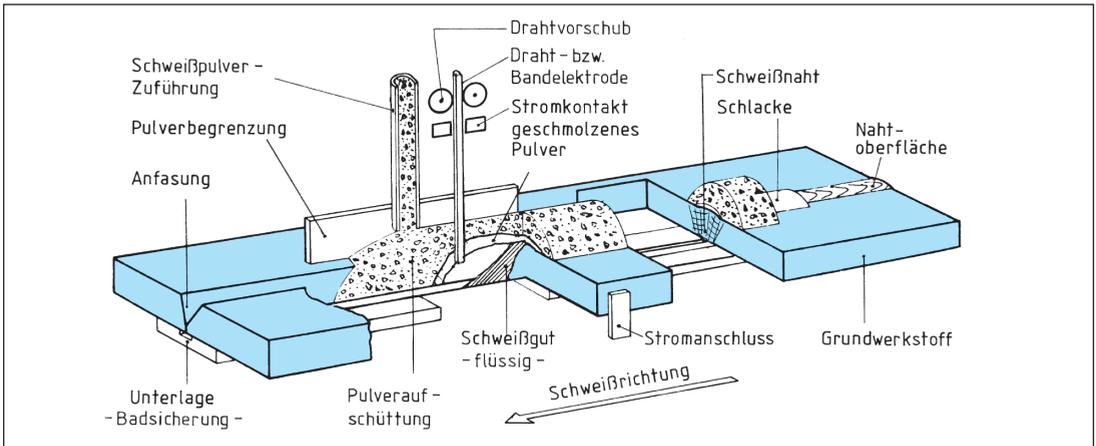
f) Auswirkungen durch falsches Anpassen

T-Stöße beim Zusammenbau möglichst eng fügen. Bei spaltfreier Anpassung kann durch Wurzeleinbrand das a-Maß günstiger ausfallen.

- a \triangle Soll-Kehlnahtdicke
- E \triangle Wurzeleinbrand
- z \triangle Schenkellänge der Kehlnaht

Die Nahtarten sind zu unterscheiden in:
 BW – Stumpfnähte
 FW – Kehlnähte

1 Elektrodenbewegungen zur Nahtbildung



1 UP-Schweißung

Gleich- oder Wechselstrom gearbeitet werden. Das Nahtbild kann durch Ändern der Schweißdaten stark beeinflusst werden. Das Verfahren arbeitet wirtschaftlich und ist für die Auftragschweißung gut geeignet. UP-Mehrdrachtschweißen ist in DVS 0915, UP mit Bandedelektrode in DVS 0940 aufgeführt.

Anwendung und praktische Hinweise:

Mit dem UP-Verfahren erreicht man bei guter Wirtschaftlichkeit technologisch hochwertige, rissfreie Schweißnähte mit glatten Oberflächen, die kaum nachgearbeitet werden müssen. Es ist damit besonders für die Schweißung wie auch für das Plattieren und Panzern von Serien geeignet, z. B. im Behälter- und Apparatebau unter Verwendung von automatischen Schweißmaschinen.

Nachteilig bei diesem Verfahren ist seine Spaltempfindlichkeit, die im Rohrleitungsbau und Apparatebau Schwierigkeiten bereiten kann. Ist der Luftspalt nicht gleichmäßig, dann stellt man oft ungenügendes Durchschweißen fest, die Schweißkennwerte müssen deshalb der engeren Spaltbreite angepasst werden. Bei Spaltbreiten über 1 mm hat das meist ein Durchsacken des Schweißbades zur Folge. Die Verbindung mit dem Kurzlichtbogen (short arc) behebt weitgehend diesen Mangel, damit können Spalte bis 5 mm von Hand und bis 4 mm in mechanisierten Anlagen überbrückt werden. Kupferunterlagen an der Wurzelseite dienen dabei zur Schmelzbad-sicherung.

Engspaltschweißen wird nach DVS 0936 durchgeführt, Verfahrensvarianten sind in DVS 0948 enthalten.

Fugenformen an Stahl für das UP-Schweißen sind in DIN EN ISO 9692-2 aufgeführt.

UP-Drähte mit Durchmessern bis 6 mm und Bandedelektroden mit Querschnittsmaßen bis $120 \cdot 0,5$ mm sind in Anwendung. DIN EN 756 enthält die für das Verfahren notwendigen Drähte und Draht-Pulverkombinationen zum Schweißen von unlegierten Stählen und Feinkornstählen.

Für hochfeste Stähle finden sich Angaben in DIN EN ISO 26304.

Durch besondere Schweißnahtfugen an den zu verschweißenden Werkstücken ist der Schweißdrahtverbrauch niedrig, der Einbrand gut und die Schweißnahtzusammensetzung fast gleich der des Grundwerkstoffes.

Die Schweißpulver DIN EN 760 müssen auf den Schweißzusatz und die Strombelastbarkeit abgestimmt werden. Ihre Zusammensetzung hat starken Einfluss auf die metallurgische Reaktion. Unverschlacktes, gesäubertes Pulver kann dem Schweißprozess wieder zugeführt werden. Die Pulver sind hygroskopisch und müssen vor Anwendung rückgetrocknet werden.

Lichtbogenschmelzschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen (MBS)

Beim Schmelzschweißen werden in Abweichung vom Pressschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen die Werkstücke nicht mit Presskraft verschweißt.

Fall b): Berechnung auf Schubbeanspruchung

$$\tau_{\text{vorh}} = \frac{F}{(d + 2s) \cdot \pi \cdot l} = \frac{1600}{(50 + 4) \cdot \pi \cdot 10}$$

$$= 0,95 \text{ N/mm} \ll \tau_{\text{zul}} = 5,3 \text{ N/mm}$$

Diese Lösung ist besser. Dabei könnte die Überlappungslänge theoretisch noch kleiner sein:

$$l = \frac{F}{(d + 2s) \cdot \pi \cdot \tau_{\text{zul}}}$$

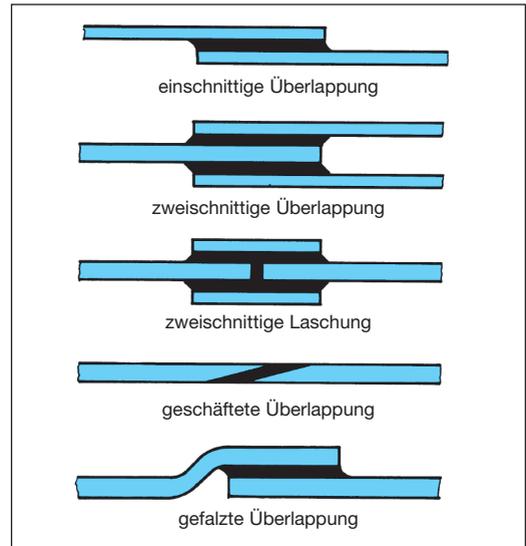
$$= \frac{1600}{(50 + 4) \cdot \pi \cdot 5,3} = 1,78 \text{ mm}$$

Auch fertigungstechnisch ist diese Lösung besser, da das Fügen der Bauteile durch einfaches Aufstecken des Deckels erfolgen kann, wogegen im ersten Falle zumindest mittels Klammern fixiert werden sollte.

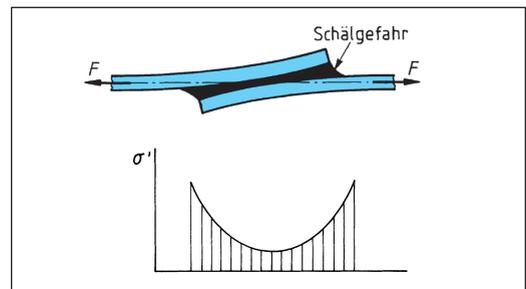
Es muss betont werden, dass es sich bei den verwendeten **Festigkeitswerten** um Beispiele handelt. Die tatsächlichen Kennwerte müssen vom Klebstoffanwender ermittelt bzw. vom Hersteller in Erfahrung gebracht werden. Nur in seltenen Fällen stehen alle Kennwerte gleichzeitig zur Verfügung.

DIN EN 13887 Strukturklebstoffe; Leitlinien für die Oberflächenvorbehandlung von Metallen und Kunststoffen vor dem Kleben.

DIN EN 15190 Strukturklebstoffe; Prüfverfahren zur Bewertung der Langzeitbeständigkeit geklebter metallischer Strukturen.



1 Fugenformen



2 Schälbeanspruchung durch Verformung

5.4.1.4 Konstruktive Gestaltung

Die spezifischen Eigenschaften einer Klebeverbindung zwingen zu eigenständigen Konstruktionen.

Es gelten folgende konstruktive Grundsätze:

Scherbeanspruchung in der Klebefuge anstreben

Zugbeanspruchung nur in besonderen Fällen zulassen

Schälbeanspruchung unter allen Umständen vermeiden

Fugenspalt so klein wie möglich halten

Keinesfalls können konventionelle Verbindungstechniken ohne tief greifende Konstruktionsänderungen durch Kleben ersetzt werden. Dabei ist schon vor dem Entwurf Klarheit über den zu verwendenden Kleber anzustreben, damit dessen

Eigenschaften gemäß den Herstellerangaben bei der Konstruktion berücksichtigt werden können.

Bild 1 zeigt die beim Kleben übliche Gestaltung von Verbindungen, die hauptsächlich auf Scherbeanspruchung abzielen.

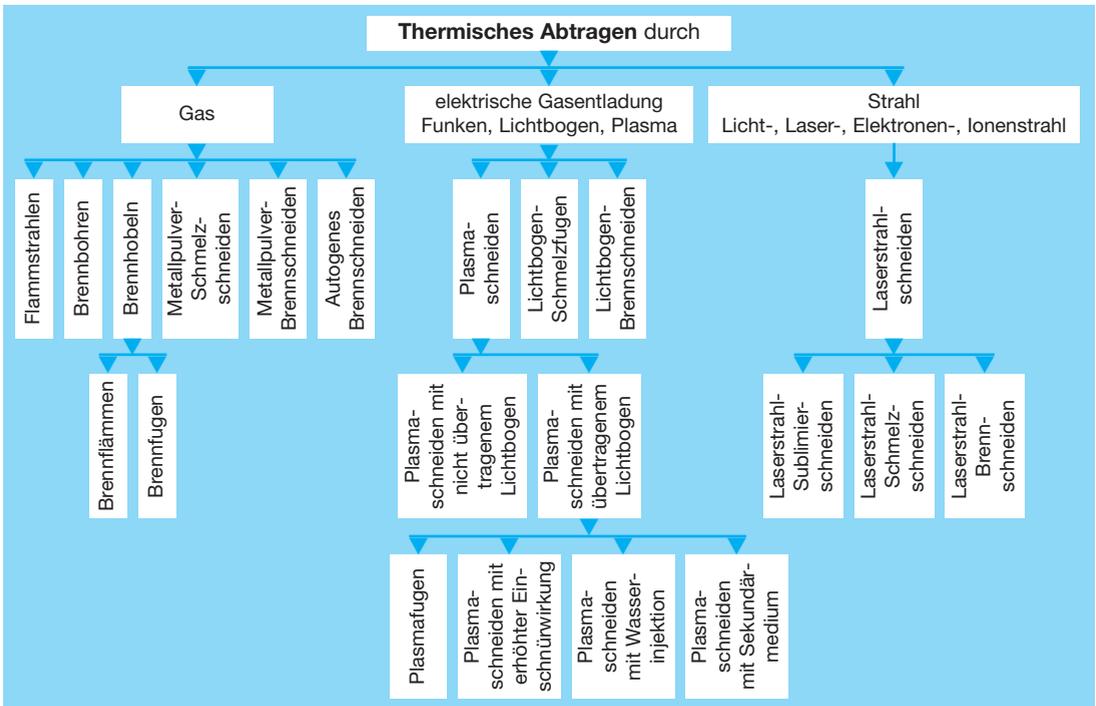
Dabei ist die einschnittige Überlappung nur bei sehr starren Fügeteilen sinnvoll, da schon geringe elastische Verformungen der Bauteile zu einer Zug-Scherbeanspruchung oder sogar zu Schälbeanspruchung führen kann (Bild 2).

Bei der geschäfteten Überlappung muss berücksichtigt werden, dass ihre Herstellung teuer, bei dünnen Blechen sogar meistens undurchführbar ist.

Wenn eine Schälbeanspruchung nicht sicher vermieden werden kann, z. B. an den Enden der Klebefuge, dann ist durch geeignete konstruktive

7 Thermisches Schneiden

Unterteilung der thermischen Schneidverfahren und Prozesse nach DIN 2310-6:



Einige dieser thermischen Abtrageverfahren sind **auch thermische Trennverfahren**.

Als thermisches Trennverfahren werden in der Metallverarbeitung überwiegend **autogenes Brennschneiden**, **Plasmaschneiden** und **Laserstrahlschneiden** angewendet.

Hierbei wird angestrebt, Werkstücke mit geringen Form- und Maßabweichungen zu fertigen.

Die **Formabweichungen der Schnittfläche** (dazu gehören **Rechtwinkligkeits-** und **Neigungstoleranz** sowie die **gemittelte Rautiefe** und die **Maßabweichung der Schnittbreite und Schnittlänge**) sollten so gering sein, dass geschnittene Werkstücke ohne Nacharbeit zur Weiterverwendung geeignet sind. Werkstücke, für die eine mechanische Bearbeitung vorgesehen ist, werden mit einem entsprechenden Aufmaß hergestellt.

7.1 Qualität der Schnittflächen

Die Qualität der Schnittflächen ist für das thermische Trennen verfahrensabhängig festgelegt in DIN EN ISO 9013. Sie gilt für Werkstoffe, die zum

- autogenen Brennschneiden von 3 bis 300 mm,
- Plasmaschneiden von 1 bis 150 mm,
- Laserstrahlschneiden von 0,5 bis 40 mm

geeignet sind. Die Norm enthält die **Qualitätseinteilung** sowie **Maßtoleranzen**.

Die Qualität der Schnittfläche wird beschrieben durch:

- die **Rechtwinkligkeits- und Neigungstoleranz u** , in mm,
- die **gemittelte Rautiefe $Rz5$** in μm
- **Form- und Lagetoleranzen** in mm.

Unregelmäßigkeiten an autogenen Brennschnitten, Laserstrahlschnitten und Plasmaschnitten sind in DIN EN 12584 angegeben und in 5 Gruppen beschrieben: