

12 Schweißnahtberechnung

Die Berechnung der auftretenden Spannungen in Schweißnähten erfolgt im Regelfall mit Hilfe der elementaren Gleichungen der Festigkeitslehre. Auf weiterführende Berechnungsverfahren, wie z. B. die Traglast- und Fließgelenktheorie, wird nicht eingegangen.

Bei Bauteilen, die einer Abnahme oder späteren Betriebsüberwachung unterliegen, sind für die anzuwendenden Gleichungen und die zulässigen Spannungen unbedingt vorhandene Regelwerke zu beachten; z. B. für geschweißte Fahrzeuge, Maschinen und Geräte die DS952 [1] (s. unter 12.5), die FKM-Richtlinie [9] oder die IIW-Empfehlungen [13], für geschweißte Druckbehälter und Rohrleitungen die AD2000-Merkblätter, DIN EN 13 445-3 und DIN EN 13 480-3, für geschweißte Tragwerke von Kranen DIN 15018 [4] (s. unter 12.6) und für Stahlbauten DIN 18800-1 [5] (s. unter 12.3.1) und Eurocode 3 [3] (s. unter 12.7).

Im Maschinen- und Fahrzeugbau gibt es keine allgemeinverbindliche Berechnungsvorschrift. In allen Fällen wird auf die Normen und Richtlinien des Stahlbaus, des Kranbaus und der Deutsche Bahn AG verwiesen.

12.1 Abmessungen der Schweißnähte

Bei Stumpfnahten wird die rechnerische Schweißnahtdicke a gleich der Bauteildicke t gesetzt. Die meistens vorhandene Nahtüberhöhung bleibt dabei unberücksichtigt (**Bild 12-1b**). Bei unterschiedlichen Blechdicken ist die kleinere maßgebend (**Bild 12-1d**). Wechselt in einem Stumpfstoß die Blechdicke, so sind bei vorwiegend ruhender Beanspruchung bei Dickenunterschieden von mehr als 10 mm die vorstehenden Kanten im Verhältnis 1:1 oder flacher zu brechen (DIN 18 800-1) [5] oder bei dynamischer Beanspruchung bereits bei einem Dickenunterschied von mehr als 3 mm mit einer Neigung nicht steiler als 1:4 abzarbeiten (DS 952, s. **Bild 12-1e**). Wird eine Naht nicht völlig durchgeschweißt, so darf nur die tatsächlich erreichte

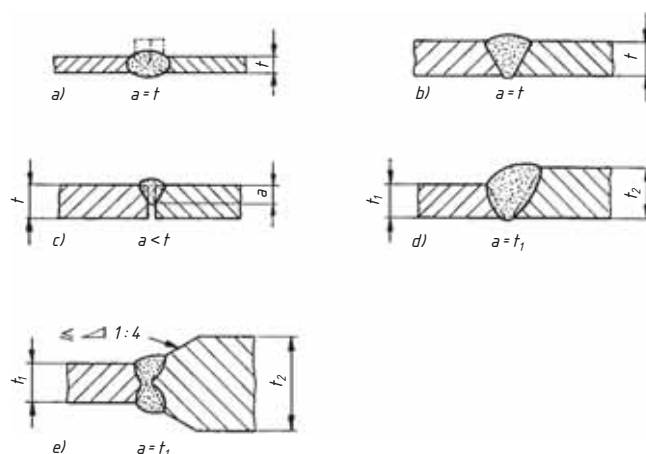


Bild 12-1

Stumpfstoße, Nahtdicke a

- Bördelnaht (Bördel vollständig niedergeschmolzen),
- durchgeschweißte V-Naht,
- nicht durchgeschweißte I-Naht,
- Bleche verschiedener Dicke als einseitig bündiger Stoß,
- zentrischer Stoß, vorstehende Kanten abgeschrägt.

Nahtdicke in die Berechnung eingesetzt werden (**Bild 12-1c**). Bei dynamisch beanspruchten oder einem besonderen Korrosionsangriff ausgesetzten Konstruktionen dürfen nicht durchgeschweißte Nähte nicht angewandt werden.

Bei Kehl­nähten ist die Nahtdicke a gleich der bis zum theoretischen Wurzelpunkt gemessenen Höhe des einschreibbaren gleichschenkligen Dreiecks, **Bild 12-2a**. Die jeweilige Schenkellänge wird mit z angegeben. Diese errechnet sich bei gleichschenkligen Nähten aus $z = a \cdot \sqrt{2}$, bei ungleichschenkligen Nähten gilt $a = 0,5 \cdot \sqrt{2} \cdot z_2$, wenn z_2 die kürzere Schenkellänge ist (Bild 12-2d). Bei Kehl­nähten mit tiefem Einbrand ist e für jedes Schweißverfahren (z. B. teil- oder vollmechanische UP- oder Schutzgasverfahren) in einer Verfahrensprüfung zu bestimmen. Nach DIN 18800-1 beträgt dann die rechnerische Nahtdicke $a = \bar{a} + e$, vgl. **Bild 12-2f**.

Üblich ist die Flachkehlnaht (**Bild 12-2a**), etwas unwirtschaftlicher, aber mit sehr günstigen dynamischen Eigenschaften am Nahtübergang ist die Hohlkehlnaht (**Bild 12-2c**). Wölb­nähte (**Bild 12-2b**) sind nur am Eckstoß sinnvoll.

Grundsätzlich wird unterschieden zwischen Nähten mit durch- oder gegengeschweißter Wurzel und Nähten mit nicht durchgeschweißter Wurzel. Zu den durchgeschweißten Nähten zählen neben der Stumpfnah, die DHV-Naht (K-Naht) und die HV-Naht mit oder ohne geschweißte Gegenlage (**Bild 12-3a**). Dabei ist die rechnerische Nahtdicke a gleich der anzuschließenden Bauteildicke t_1 .

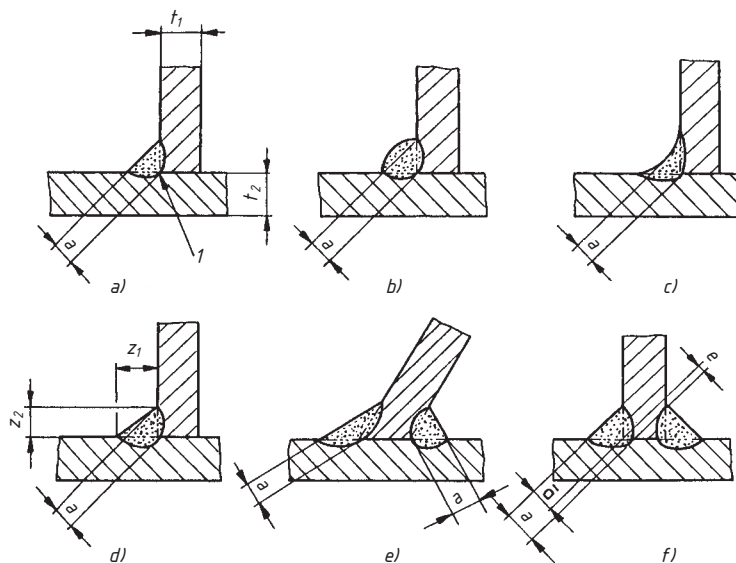


Bild 12-2 Kehl­nähte
a) Flachnaht (1 theoretischer Wurzelpunkt = Stirn-Längskante, a Nahtdicke),
b) Wölbnaht,
c) Hohlnaht,
d) Nahtdicke bei ungleichschenkliger Kehl­naht: $a = 0,5 \sqrt{2} \cdot z_2$ für $z_1 > z_2$,
e) Nahtdicke a bei gleichschenkliger Kehl­naht am Schrägstoß,
f) Doppelkehlnaht mit tiefem Einbrand: $a = \bar{a} + e$

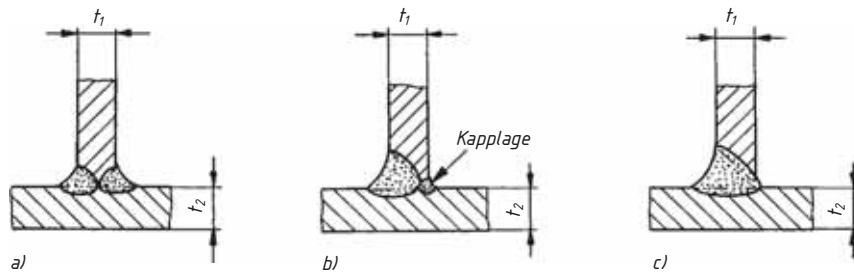


Bild 12-3a Sonstige (zusammengesetzte) Nähte mit durchgeschweißter Wurzel ($a = t_1$)
 a) DHV-Naht mit Doppelkehlnaht (K-Naht),
 b) HV-Naht mit Kehlnaht, Kapplage gegengeschweißt,
 c) HV-Naht mit Kehlnaht, Wurzel durchgeschweißt.

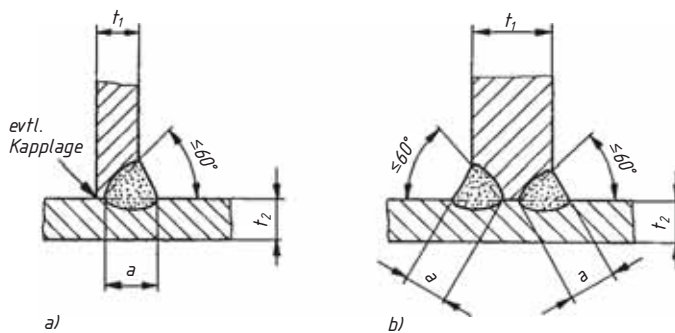


Bild 12-3b Sonstige Nähte mit nicht durchgeschweißter Wurzel
 a) HY-Naht mit Kehlnaht, b) DHY-Naht mit Doppelkehlnaht

Alle übrigen Nähte, einschließlich der Kehlnähte, zählen zu den nicht durchgeschweißten Nähten. Für die häufig ausgeführte HY- und DHY-Naht mit Kehlnaht bzw. Doppelkehlnaht nach **Bild 12-3b** ist die rechnerische Nahtdicke a gleich dem Abstand vom theoretischen Wurzelpunkt zur Nahtoberfläche. Sie dürfen nach DIN 18 800-1 nur in Position PA und PB mit Schutzgasschweißung ausgeführt werden. Sonst ist die Nahtdicke a um 2 mm zu vermindern oder durch eine Verfahrensprüfung festzulegen.

Um ein Missverhältnis von Nahtquerschnitt und verbundenen Querschnittsteilen zu vermeiden, müssen im Stahl- und Kranbau bei Bauteildicken $t \geq 3$ mm für die Schweißnahtdicke a von Kehlnähten folgende Grenzwerte eingehalten werden:

$$2 \text{ mm} \leq a \leq 0,7 \cdot t_{\min} \quad (12.1)$$

$$a \geq \sqrt{t_{\max}} - 0,5 \text{ mm} \quad (12.2)$$

mit t_{\min} bzw. t_{\max} als kleinster bzw. größter anzuschließender Bauteildicke in mm.

Eine Auslegung der Nahtdicke nach Bedingung (12.2) führt bei Bauteildicken über 25 mm zu unwirtschaftlichen Nahtdicken. In Abhängigkeit von den gewählten Schweißbedingungen (Vorwärmen, besonders schweißgeeigneter Werkstoff) darf auf die Einhaltung der Bedingung (12.2) verzichtet werden, jedoch sollte für Blechdicken $t \geq 30$ mm die Schweißnahtdicke mit

$a \geq 5$ mm gewählt werden. Die Vorschriften DS 804 und DS 952 der Deutsche Bahn AG [1,2] fordern als Mindestdicken für Kehlnähte noch 3,5 mm bzw. 3 mm.

Die rechnerische Länge l einer Schweißnaht ist ihre geometrische Länge. Bei Stumpfnähten ist l also gleich der Mindestbreite der zu schweißenden Bauteile. Für Kehlnähte ist sie die Länge der Wurzellinie. Krater, Nahtanfänge und Nahtenden, die die verlangte Nahtdicke nicht erreichen, zählen nicht zur Nahtlänge. Im Stahlbau müssen hinsichtlich der Nahtlänge bestimmte Bedingungen eingehalten werden. Kehlnähte dürfen beim Festigkeitsnachweis nur berücksichtigt werden, wenn $l \geq 6a$, mindestens jedoch 30 mm, ist. In unmittelbaren Laschen- und Stabanschlüssen erfolgt die Bestimmung der rechnerischen Schweißnahtlänge Σl nach **Bild 12-4**. Dabei ist l der einzelnen Flankenkehlnähte auf $150a$ begrenzt. Für Eisenbahnbrücken (DS 804) gilt für Flankenkehlnähte: $60a \geq l \geq 15a$.

Bei kontinuierlicher Krafteinleitung über die Anschlusslänge ist eine obere Begrenzung nicht erforderlich.

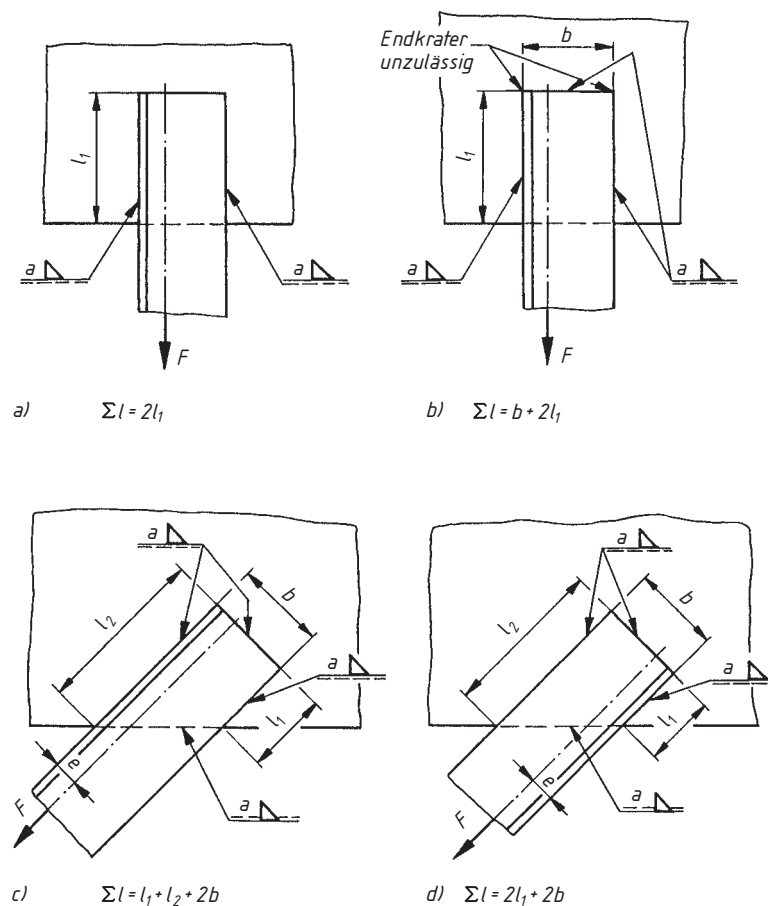


Bild 12-4 Rechnerische Schweißnahtlänge bei unmittelbaren Stabanschlüssen im Stahlbau (DIN 18 800-1) a) mit Flankenkehlnähten, b) mit Stirn- und Flankenkehlnähten, c) mit ringsumlaufender Kehlnaht: Schwerachse näher zur längeren Naht ($e < b/2$), d) mit ringsumlaufender Kehlnaht: Schwerachse näher zur kürzeren Naht ($e < b/2$).

12.2 Berechnung der Schweißnahtspannungen

Die Schweißnahtnennspannungen werden aus den Belastungen nach den Regeln der elementaren Festigkeitslehre ermittelt. Dabei werden bewusst vereinfachende Annahmen getroffen. Stoßhaft auftretende Lasten sind durch Stoßfaktoren und Schwingbeiwerte (Betriebsfaktoren) zu berücksichtigen. Zum Teil sind die Lastannahmen und die anzuwendenden Gleichungen in Regelwerken festgelegt.

Die zu ermittelnden Schweißnahtspannungen lassen sich nach **Bild 12-5** unterscheiden in:

- Normalspannungen σ_{\parallel} in Nahrichtung.
Sie haben geringe Bedeutung und werden beispielsweise bei Stahlbauten mit ruhender Belastung nicht berücksichtigt.
- Normalspannungen σ_{\perp} quer zur Nahrichtung.
Sie sind maßgebend für die Berechnung der Stumpf- und Kehlnähte.
- Schubspannungen τ_{\parallel} in Nahrichtung.
Sie treten in Hals- und Flankenkehlnähten und bei Querkraftanschlüssen auf (z. B. **Bild 12-6** und **12-7**).
- Schubspannungen τ_{\perp} quer zur Nahrichtung.
Sie treten in Stirnkehlnähten auf.

Allgemein gilt für eine durch die Längskraft F_{\parallel} bzw. die Querkraft F_{\perp} je für sich allein beanspruchte Schweißverbindung die Normal- bzw. Schubspannung

$$\sigma_{\perp}, \tau_{\perp}, \tau_{\parallel} = \frac{F}{A_w} = \frac{F}{\Sigma a \cdot l} \quad (12.3)$$

mit $F = F_{\parallel}$ bzw. $F = F_{\perp}$

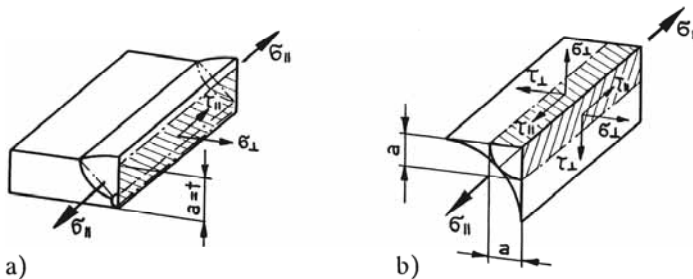


Bild 12-5
Kennzeichnung der
Schweißnahtspannungen
a) in Stumpfnähten,
b) in Kehlnähten

Dabei sind nur die Flächen $\Sigma a \cdot l$ derjenigen Schweißnähte anzusetzen, die aufgrund ihrer Lage vorzugsweise imstande sind, die vorhandenen Kräfte und Momente zu übertragen. So z. B. beim Trägeranschluss nach **Bild 12-6** zur Übertragung der Querkraft nur die Steganschlussfläche $A_w = 2 \cdot a_s \cdot l_{ws}$.

Durchgeschweißte Nähte aller Nahtgüten bei *Druckbeanspruchung* und mit nachgewiesener Nahtgüte bei *Zugbeanspruchung* brauchen nicht nachgewiesen zu werden, da der Bauteilwiderstand maßgebend ist. Die Ermittlung von $\Sigma a \cdot l$ bei unmittelbaren Stabanschlüssen erfolgt nach **Bild 12-4**.

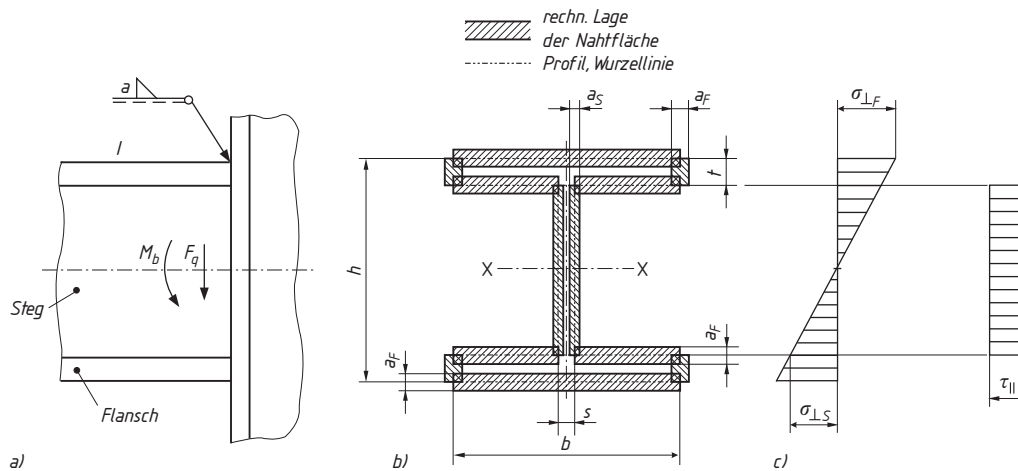


Bild 12-6 Zusammengesetzte Beanspruchung am biegesteifen Trägeranschluss (I-Schweißträger)
 a) Durch Biegemoment und Querkraft belastete umlaufende Kehlnaht
 b) rechnerische Nahtlage: Nahtfläche konzentriert in der Wurzellinie
 c) Verlauf der Schweißnahtspannungen

Für eine durch ein Biegemoment M_b beanspruchte Schweißverbindung entsprechend **Bild 12-6** ist die Normalspannung

$$\sigma_{\perp} = \frac{M_b}{I_w} y = \frac{M_b}{W_w} \quad (12.4)$$

Die Berechnung der Flächenmomente 2. Grades des meist aus Rechteckflächen zusammengesetzten Nahtquerschnitts (Nahtbild) erfolgt mit Hilfe des Verschiebesatzes (Satz von Steiner). Die Schweißnahtfläche der Kehlnähte denkt man sich dabei in der Wurzellinie konzentriert (vgl. **Bild 12-6**). Für den symmetrischen Trägeranschluss nach **Bild 12-6** wird I_w z. B. wie folgt bestimmt:

$$I_w = 2 \cdot a_s \cdot (h - 2t)^3 / 12 + 2 \cdot a_F \cdot b (h/2)^2 + 2 \cdot a_F \cdot (b - s) \cdot (h/2 - t)^2 + \dots \\ + 4 \cdot a_F \cdot t^3 / 12 + 4 \cdot a_F \cdot t [(h - t)/2]^2$$

Trägeranschlüsse mit I-Trägern dürfen im Stahlbau ohne weiteren Tragsicherheitsnachweis ausgeführt werden, wenn die Dicken der Doppelkehlnähte $a \geq 0,5 t$ (S 235) bzw. $a \geq 0,7 t$ (S 355) eingehalten werden (t = Flansch- bzw. Stegdicke).

Für eine Längsnaht des durch die Querkraft F_q beanspruchten Biegeträgers ergibt sich nach **Bild 12-7** die Schubspannung

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_q \cdot H}{I \cdot \Sigma a} \quad (12.5)$$

F_q Querkraft

H Flächenmoment 1. Grades der angeschlossenen Querschnittsflächen. In **Bild 12-7** z. B. zur Berechnung der Halsnaht: $H = A_F \cdot y$

I Flächenmoment 2. Grades des Gesamtquerschnitts

Σa Summe der Schweißnahtdicken für die angeschlossenen Querschnittsflächen. Für die Halsnaht in **Bild 12-7** z. B. $\Sigma a = 2a$

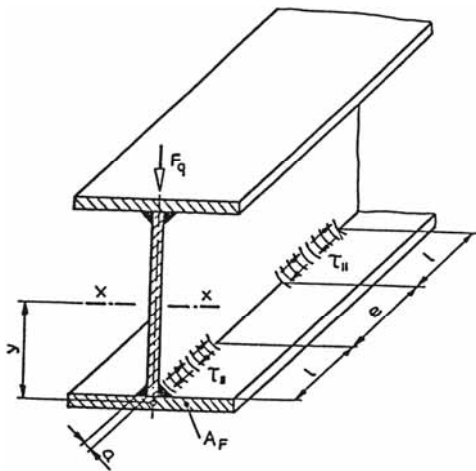


Bild 12-7
Schweißnahtschubspannungen
bei Querkraftbiegung

Bei unterbrochenen Nähten (**Bild 12-7**) ist die nach Gl. (12.5) berechnete Schubspannung mit dem Faktor $(e + 1)/l$ zu erhöhen.

Geht die Wirkungslinie der Belastung nicht durch den Schubmittelpunkt oder tritt ein Torsionsmoment M_t auf, so wird die Schweißverbindung auf Verdrehung beansprucht. Im Folgenden werden auch die statischen Torsionsmomente M_t mit T bezeichnet. Beim Kreisquerschnitt nehmen die Schubspannungen τ linear mit dem Radius r zu (**Bild 12-8a**)

$$\tau_{||} = \frac{T}{I_p} \cdot \frac{d_a}{2} = \frac{T}{W_p} \quad (12.6)$$

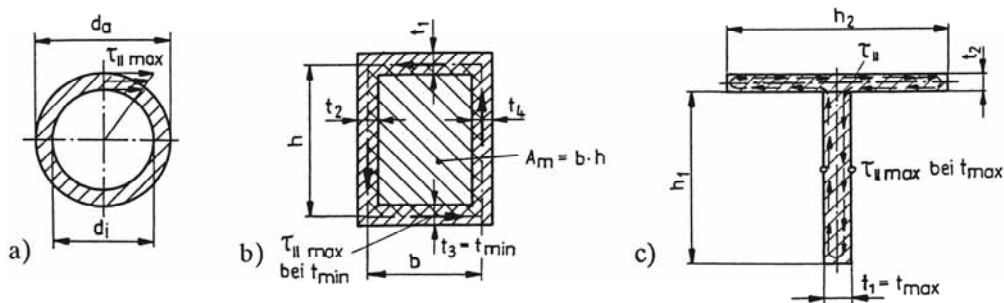


Bild 12-8 Maßgebende Abmessungen zur Berechnung der Torsionsflächenmomente 2. Grades
a) Kreisförmiger Hohlquerschnitt, b) dünnwandiger Hohlquerschnitt,
c) dünnwandiger offener Querschnitt ($h/t \gg 1$)

Das polare Flächenmoment 2. Grades beträgt für den Kreisquerschnitt $I_p = \pi \cdot d^4/32$ und für den kreisförmigen Hohlquerschnitt $I_p = \pi \cdot (d_a^4 - d_i^4)/32$. Das polare Widerstandsmoment W_p ergibt sich aus $W_p = I_p/(d_a/2)$.

Bei dünnwandigen geschlossenen Querschnitten kann man mit gleichmäßiger Schubspannungsverteilung über die Wanddicke rechnen. Ist die Wanddicke (Nahtdicke) nicht konstant,