

# **Entwurf von Knoten und Anschlüssen im Stahlbau**

Technische Universität Darmstadt  
Institut für  
Stahlbau und Werkstoffmechanik

Ralf Steinmann

# 1 Schweißverbindungen

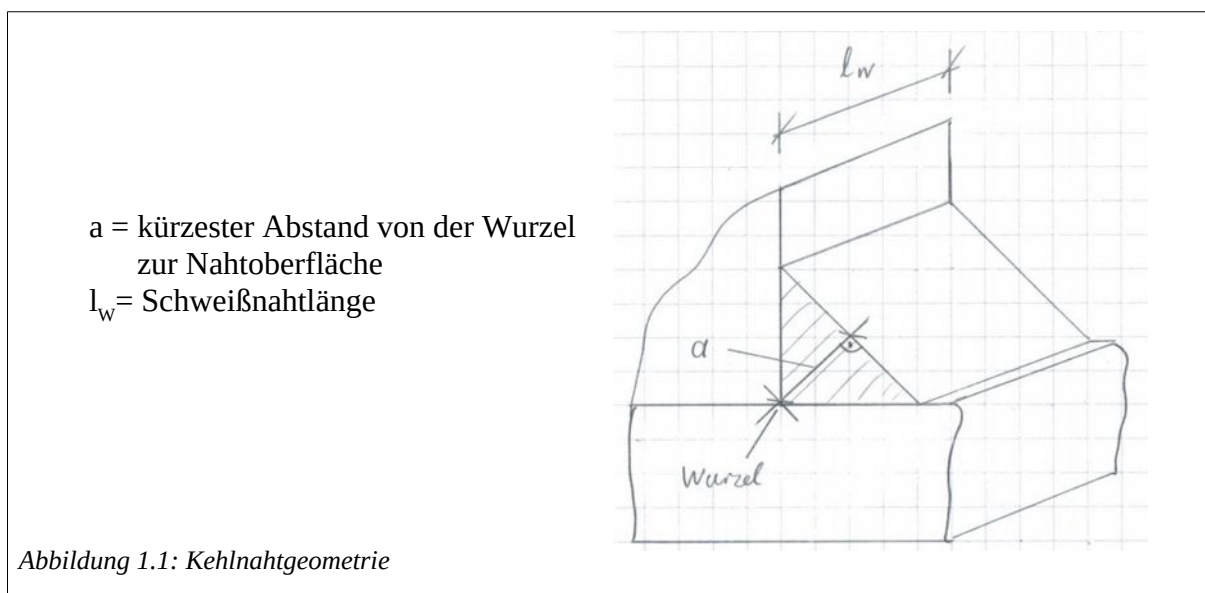
Den Nachweis für die ausreichende Tragfähigkeit von Schweißnähten regelt DIN EN 1993-1-8 Kapitel 4. Dies gilt für Bleche nach EN 1993-1-1 Tabelle 3.1 (oder vergleichbar nach den Anforderungen in Abschnitt 3.2) mit einer Blechdicke  $t \geq 3\text{mm}$  und bei Hohlprofilen für  $t \geq 2,5\text{mm}$ .

Als Kehlnähte werden Schweißverbindungen im spitzen Winkel zweier aneinander stoßender Bleche mit einem Öffnungswinkel zwischen  $60^\circ$  und  $120^\circ$  bezeichnet. Die Schweißnaht verbindet die Oberflächen der Bleche.

Als Stumpfnah bezeichnet man Schweißnähte, bei denen mindestens eine Stirnseite eines Bleches verschweißt wird. Man unterscheidet dabei voll durchgeschweißte Nähte, bei der die Schweißnaht die gesamte Blechdicke erfasst von nicht durchgeschweißten Nähten, bei der nur ein Teil der Blechdicke von der Schweißnaht erfasst wird.

Nicht durchgeschweißte Nähte werden beim Nachweis der Tragfähigkeit wie Kehlnähte behandelt.

Der Tragfähigkeitsnachweis wird mit Spannungen im kritischen Schnitt geführt. Die Schnittfläche  $A_w$  ergibt sich durch Multiplikation der Schweißnahtlänge mit dem kürzesten Abstand  $a$  zwischen der Schweißnahtwurzel und der Schweißnahtoberfläche (Im Fertigungsprozess entstandene konvexe Rundungen nach außen dürfen nicht berücksichtigt werden, konkave Rundungen, die das Maß  $a$  verringern müssen berücksichtigt werden.)



Die Spannungen im kritischen Schnitt entlang der Linie  $a$  müssen die folgenden Bedingungen erfüllen:

von Miseses 
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} \leq \sigma_{w,Rd} = \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad \text{und} \quad \sigma_{\perp} \leq 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

In der Praxis müssen die Spannungskomponenten im kritischen Schnitt aus der Spannungen der angeschlossenen Bleche berechnet werden. Daher ist es naheliegend Vereinfachungen für praktisch auftretende Fälle vorzunehmen.

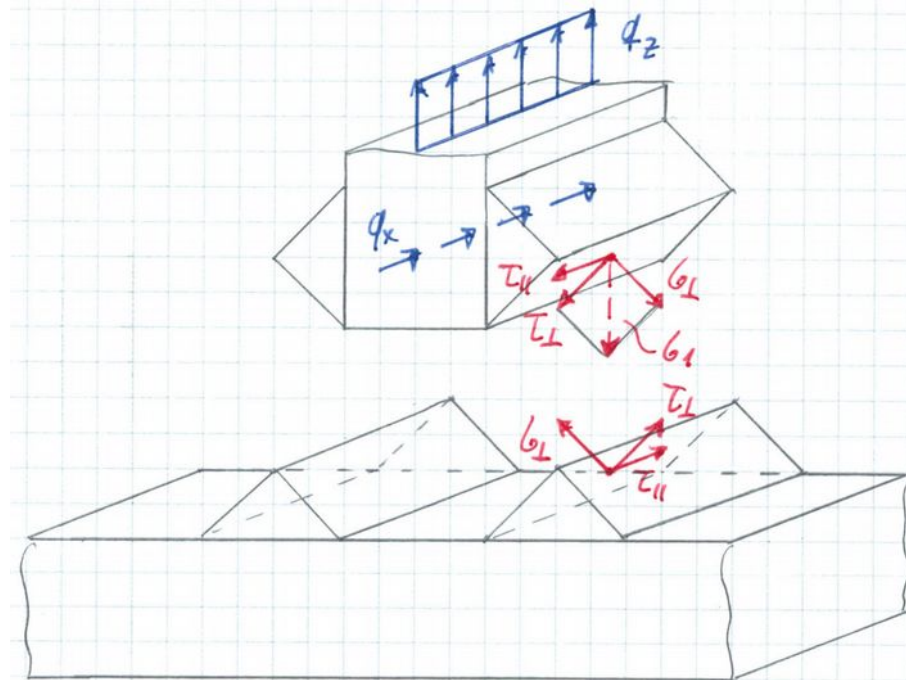


Abbildung 1.2: Schweißnahtspannungen

Bei typischen rechtwinkligen Verbindungen mit Kehlnähten (siehe Abbildung 1.2) oder bei Stumpf verschweißten Blechstößen können 3 Fälle unterscheiden.

Im Fall 1 wird die Schweißnaht ausschließlich durch  $\tau_{II}$  beansprucht. Diese Beanspruchung entsteht durch eine Streckenlast  $q_x$ . Alle anderen Spannungskomponenten nehmen den Wert 0 an. Der Nachweis für solche Situationen ist in (Abbildung 1.3) gezeigt. In diesem Fall bietet die Schweißnaht den geringsten Widerstand und der Nachweis kann deshalb ohne weiteres auf die übrigen Fälle angewendet werden. Die Ergebnisse liegen „auf der sicheren Seite“. Dies ist vor allem dann sinnvoll und verringert den Aufwand, wenn die Schweißverbindung aus konstruktiven Gründen erforderlich ist und nur geringe Kräfte zu übertragen hat. Es entspricht dem Vereinfachten Verfahren nach DIN-EN 1993-1-8 Abschnitt 4.5.3.3.

Fall 1: nur  $F_x$  wirkt

$$\tau_{||} = \frac{q_x}{a}$$

$$\sqrt{3} \tau_{||}^2 \leq \sigma_{w,Rd}$$

Nachweis  $\tau_{||} \leq \frac{\sigma_{w,Rd}}{\sqrt{3}}$

Bemessung  $\frac{q_x}{\sigma_{w,Rd} / \sqrt{3}} \leq a_{erf,1}$

Abbildung 1.3: Fall 1: Schubspannungen

Im Fall 2 (Abbildung 1.4) wird über das anschließende Blech die Beanspruchung  $q_z$  übertragen. Dadurch entsteht in der Schweißnaht die Spannung  $\sigma_{\perp}$ .

Fall 2: nur  $q_z$  wirkt:

$$\sigma_{\perp} = \frac{q_z}{a} \Rightarrow \sigma_{\perp}^2 = \frac{\sigma_1^2}{2}$$

$$\tau_{\perp}^2 = \frac{\sigma_1^2}{2}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 / 2 + 3 \tau_{\perp}^2 / 2} \leq \sigma_{w,Rd}$$

Nachweis  $\sigma_{\perp} \leq \frac{\sigma_{w,Rd}}{\sqrt{2}}$

Bemessung  $\frac{q_z}{\sigma_{w,Rd} / \sqrt{2}} \leq a_{erf,2}$

Abbildung 1.4: Fall 2: Schub und Normalspannungen gleicher Größe

In diesem Fall treten im kritischen Schnitt sowohl Schub- als auch Normalspannungen auf, die aufgrund der einfachen geometrischen Verhältnisse den gleichen Wert annehmen und im Nachweis zusammengefasst werden können. Die 2. Bedingung für die Normalspannung  $\sigma_{\perp}$  im kritischen Schnitt ist bei dieser Vorgehensweise automatisch erfüllt.

Nachweis für gemischte Fälle:  $\sqrt{\left(\frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{w,Rd} / \sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{||}}{\sigma_{w,Rd} / \sqrt{3}}\right)^2} \leq 1$  mit  $\sqrt{a_{erf,1}^2 + a_{erf,2}^2} = a_{ges}$

Abbildung 1.5: Gemischte Fälle 1 und 2

Mit Hilfe der beiden Fälle 1 und 2 lassen sich entsprechend Abbildung 1.5 auch kombinierte Beanspruchungen  $q_x$  und  $q_z$  behandeln. Der Vorteil bei der oben getroffenen Unterscheidung liegt darin, dass die Berechnung der erforderlichen Schweißnahtdicke  $a_{ges}$  durch einfache geometrische Überlagerung der beiden Fälle 1 und 2 erfolgen kann.

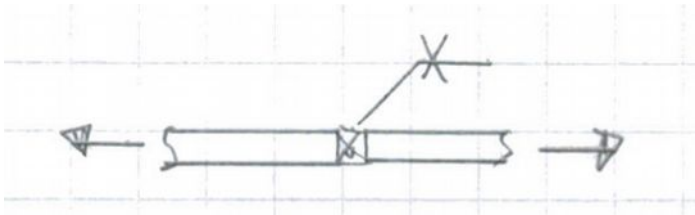
Diese Vorgehensweise entspricht damit dem richtungsbezogenen Nachweisverfahren nach DIN EN 1993-1-8 Abschnitt 4.5.3.2 und schöpft damit in einfacher Weise die Tragreserven in der Schweißnaht aus.

Bei Stumpfstoßen tritt Fall 3 auf (Abbildung 1.6). Hier wird die Schweißnaht ausschließlich durch Normalspannungen beansprucht, so dass in diesem Fall das Zusatzkriterium zu beachten ist.

Fall 3: Stumpfnaht:

$$\sigma_{\perp} = \frac{q_z}{a} \leq \sigma_{w, Rd}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2} \leq \sigma_{w, Rd}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \sigma_{w, Rd}$$


Für diesen Fall 3 muss das Zusatzkriterium  $\sigma_{w, Rd} = \sigma_{\perp} \leq 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$  beachtet werden.

Abbildung 1.6: Fall 3: nur Normalspannungen wirken

Für den täglichen Gebrauch sind die Widerstandswerte für die drei Fälle in der folgenden Tabelle 1.1 zusammengefasst.

Es ist zu beachten, dass der Schweißnahtwiderstand auf Basis der Streckgrenze berechnet wird und deshalb nicht nur von der Festigkeitsklasse, sondern auch von der Materialgüte abhängt.

### 1.1.1 Schweißnahtwiderstandstabelle für die 3 Fälle

$\gamma_{M2} = 1,25$			$4 < t < 40$			Fall 1	Fall 2	Fall 3	
Stahlsorte			$f_y$	$f_u$	$\beta_w$	$\sigma_{w,rd} / \sqrt{3}$	$\sigma_{w,rd} / \sqrt{2}$	$0,9 f_u / \gamma_{M2}$	
EN 10025-2	S	235		235	360	0,8	208	255	259
EN 10025-5	S	235	W	235	360	0,8	208	255	259
EN 10210-1	S	235	H	235	360	0,8	208	255	259
EN 10219-1	S	235	H	235	360	0,8	208	255	259
EN 10025-2	S	275		275	430	0,85	234	286	310
EN 10210-1	S	275	H	275	430	0,85	234	286	310
EN 10219-1	S	275	H	275	430	0,85	234	286	310
EN 10025-3	S	275	N/NL	275	390	0,85	212	260	281
EN 10210-1	S	275	NH/NLH	275	390	0,85	212	260	281
EN 10025-4	S	275	M/ML	275	370	0,85	201	246	266
EN 10219-1	S	275	NH/NLH	275	370	0,85	201	246	266
EN 10219-1	S	275	MH/MLH	275	360	0,85	196	240	259
EN 10210-1	S	355	H	355	510	0,9	262	321	367
EN 10219-1	S	355	H	355	510	0,9	262	321	367
EN 10025-2	S	355		355	490	0,9	251	308	353
EN 10025-3	S	355	N/NL	355	490	0,9	251	308	353
EN 10025-5	S	355	W	355	490	0,9	251	308	353
EN 10210-1	S	355	NH/NLH	355	490	0,9	251	308	353
EN 10025-4	S	355	M/ML	355	470	0,9	241	295	338
EN 10219-1	S	355	NH/NLH	355	470	0,9	241	295	338
EN 10219-1	S	355	MH/MLH	355	470	0,9	241	295	338
EN 10210-1	S	420	NH/NLH	420	540	0,88	283	347	389
EN 10025-3	S	420	N/NL	420	520	0,88	273	334	374
EN 10025-4	S	420	M/ML	420	520	0,88	273	334	374
EN 10219-1	S	420	MH/MLH	420	500	0,88	262	321	360
EN 10025-6	S	460	Q/QL/QL1	460	570	0,85	310	379	410
EN 10210-1	S	460	NH/NLH	460	560	0,85	304	373	403
EN 10219-1	S	460	NH/NLH	460	550	0,85	299	366	396
EN 10025-3	S	460	N/NL	460	540	0,85	293	359	389
EN 10025-4	S	460	M/ML	460	540	0,85	293	359	389
EN 10219-1	S	460	MH/MLH	460	530	0,85	288	353	382

Die grau unterlegten Werte für  $\beta_w$  stammen aus dem NA-1993-1-8

Die Spalte Fall 1 entspricht dem Vereinfachten Verfahren

Materialien nach DIN EN 1993 1-1 Tabelle 3.1

EN 10025-2

EN 10025-3 normalgeglühte/normalisierend gewalzt

EN 10025-4 thermomechanisch gewalzt

EN 10025-5 wetterfest

EN 10025-6 Flacherzeugnisse vergütet

EN 10210-1 (Hohlprofile warm gefertigt)

EN 10219-1 (Hohlprofile kalt gefertigt, geschweißt)

Tabelle 1.1: Abminderungsfaktoren  $\beta_w$  und Grenz-Schweißnahtspannungen  $\sigma_w$  für Stähle nach EN 1993-1-1

Folgendes Beispiel zeigt die einfache Anwendung:

Aus der Zugbeanspruchung  $q$  kann die Schweißnahtspannung  $\sigma_1$  - und aus der Querbeanspruchung  $v$  die Schweißnahtspannung  $\tau_{II}$  berechnet werden. Aus beiden Spannungskomponenten kann jeweils ein Auslastungsgrad  $A$  ermittelt werden für den die Bedingung gilt, dass er kleiner 1 sein muss. Für kombinierte Beanspruchungen muss die geometrische Überlagerung dieser Auslastungsgrade diese Bedingung erfüllen.

