

4.3 Schweißverbindungen

4.3.1 Einführung, Allgemeines

Nach ISO 857-1 wird unter Schweißen die Vereinigung von Grundwerkstoffen unter

- Anwendung von Wärme
- mit oder ohne Druck
- mit oder ohne Schweißzusatzwerkstoff

verstanden. Durch die Vereinigung ergibt sich ein kontinuierlicher innerer Aufbau der verbundenen Metalle. Das Ergebnis des Schweißens ist die Schweißnaht.

Schweißverbindungen können somit eine ideale Verbindung von Stahlbauteilen sein, da die Kräfte unmittelbar, das heißt ohne weitere Stoßbauteile, übertragen werden. Mit Schweißverbindungen kann man kraftflussgerecht konstruieren.

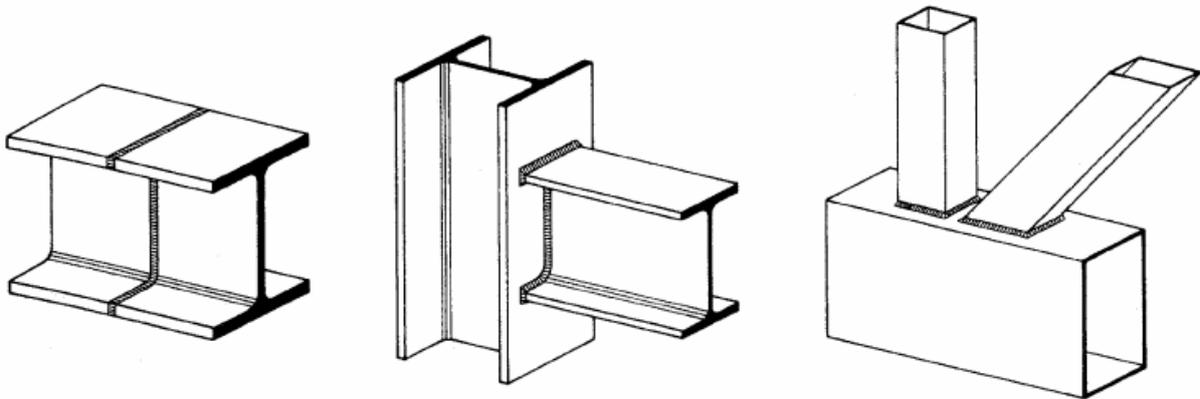


Bild 4.26: Schweißverbindungen

Nachteile des Schweißens können sein:

- Änderungen des Gefüges infolge der Wärmeeinwirkung und Gasaufnahme bei hoher Temperatur
- Eigenspannungen infolge veränderter Schrumpfung
- Schweißverformungen infolge möglicher Schrumpfung.

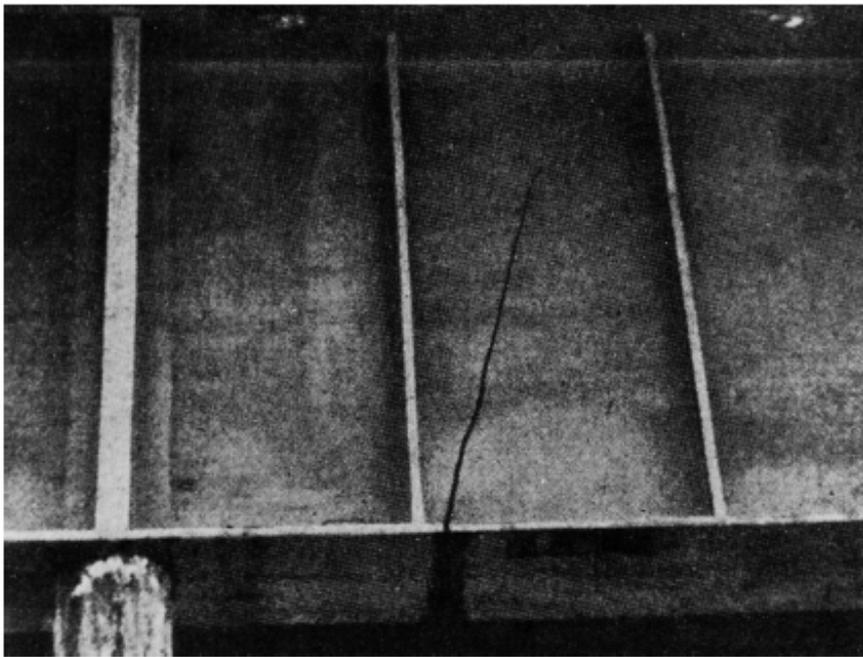
Für den Stahlbau ist das Schmelzschweißen das wichtigste Schweißverfahren. Beim Schmelzschweißen wird durch Wärme des Lichtbogens das Grundmaterial der miteinander zu verbindenden Stahlteile örtlich begrenzt aufgeschmolzen. Die Stahlbauteile werden dann durch ebenfalls aufgeschmolzene Zusatzwerkstoffe miteinander verbunden.

Weitere im Stahlbau angewandte Verfahren ohne die Zuführung von Zusatzwerkstoffen mit Anwendung von Druck sind

- das Pressschweißen und
- das Reibschweißen.

Tabelle 4.19: Geschichtliche Entwicklung des Schweißens

1821	Entdeckung des Lichtbogens und der Möglichkeit der Anwendung als konzentrierte Wärmequelle mit hoher Ausbeutemöglichkeit und Temperaturen bis 5000 °C
1890	Idee: Zusatzwerkstoff als Lichtbogenträger zu nutzen → Schweißdraht wird zur Elektrode
1908	Patent für Umhüllung der Elektrode
1924	erste Schweißautomaten
1929	erste geschweißte Fachwerkstraßenbrücke, 27 m Spannweite, Polen
1930	erste geschweißte Vollwandträger-Eisenbahnbrücke, 10m Spannweite, Deutschland
1935	Autobahnbrücke über den Lech, 94 m Spannweite
1935/36	Schadensfälle an der Zoobrücke in Berlin und der Autobahnbrücke Rüdersdorf bei Berlin durch Sprödbrüche dicker Lamellen der Hauptträger aus dem damaligen St 52
1938	Serie von Einstürzen belgischer, bogenförmiger, vierendeelartiger Kanalbrücken
1943-46	Schadensfälle an Liberty-Schiffen
1970	erste vollgeschweißte Straßenbrücke über den Rhein
1990	thermomechanisch TM-gewalzte Stähle

**Bild 4.27: Sprödbrüche dicker Lamellen der Hauptträger**

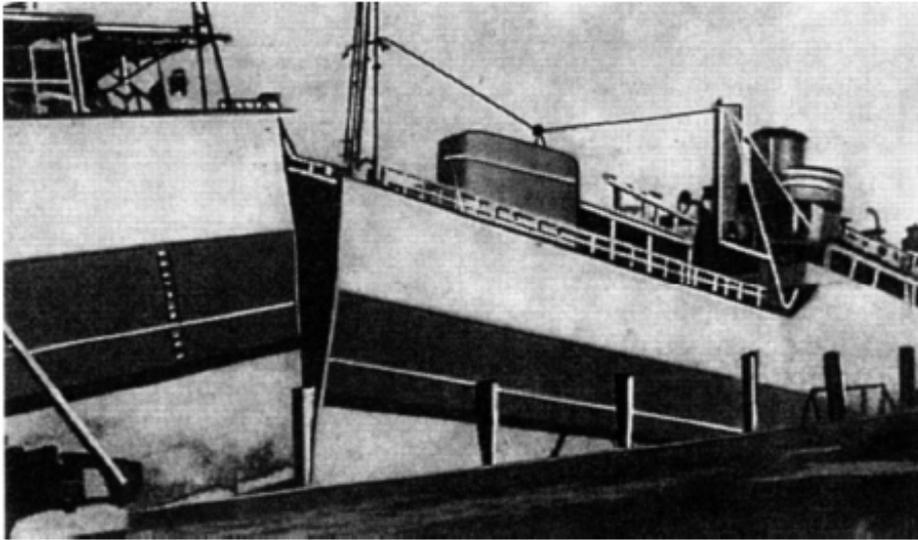


Bild 4.28: Spröbruch eines Liberty-Schiffes

Die heutige Bedeutung der Schweißverbindungen ist – außer durch die beste Möglichkeit des kraftflussgerechten Konstruierens – gegeben durch

- im allgemeinen wirtschaftlichste Übertragung von Kräften bei der Herstellung der Verbindung in der Werkstatt, oft auch auf der Baustelle
- Vermeiden von Querschnittsschwächungen durch Schraubenlöcher
- Gestaltung von Konstruktionen geringerer Korrosionsanfälligkeit.

Die sichere Verwendung von Schweißkonstruktionen setzt voraus

- im allgemeinen höhere Ansprüche an die Qualität des Werkstoffes als bei geschraubten Verbindungen
- höhere Anforderungen an Ausrüstung und Qualität des Personals der Stahlbaubetriebe (Schweißerprüfung, Schweißfachingenieur)
- Berücksichtigung der unvermeidbaren Kerben bei nicht vorwiegend ruhender Belastung.

Die Begriffe Schweißbeignung, Schweißsicherheit und Schweißbarkeit sind wie folgt festgelegt.

Schweißbeignung

Schweißbeignung ist eine Frage des Werkstoffes. Gusseisen ist z. B. nicht oder kaum schweißgeeignet. Bei Stahl bestimmen u. a. die Schweißbeignung

- die chemische Analyse
- Stahlgütegruppe (festgelegt vorwiegend nach Kerbschlagzähigkeit)
- Anlieferungszustand (kaltverformt)
- Werkstofffehler (Seigerungen).

Schweißsicherheit

Die Schweißsicherheit ist von der Art der Konstruktion abhängig und wird beeinflusst durch

- die Art der Konstruktion: Blechdicke, Lage der Nähte, Fugenform, Nahtaufbau
- die Art der Herstellung: Schweißverfahren, Zusatzwerkstoff, Vorwärmen, Schweißfolge, Nachbehandlung
- die Beanspruchung der Konstruktion: ruhend, schwingend, schlagartig,
- die Richtung der Beanspruchung zur Walzrichtung und zur Richtung von Nähten
- die Temperaturbedingungen bei der Herstellung und dem Einsatz der Konstruktion.

Schweißbarkeit

Die Schweißbarkeit ist gegeben, wenn schweißgeeignete Werkstoffe schweißsicher verarbeitet und eingesetzt werden können.

4.3.2 Darstellung von Schweißnähten

Regelungen zur Darstellung sowie Symbole für Schweißverbindungen sind der DIN EN 22553 zu entnehmen.

Tabelle 4.20: Grundsymbole von Schweißnähten nach DIN EN 22553

Nr.	Benennung	Darstellung	Symbol	Nr.	Benennung	Darstellung	Symbol
1	Bördelnaht (die Bördel werden ganz niedergeschmolzen)			11	Lochnaht		
2	I-Naht			12	Punktnaht		
3	V-Naht			13	Liniennaht		
4	HV-Naht			14	Steiflankennaht		
5	Y-Naht			15	Halb-Steiflanken-naht		
6	HY-Naht			16	Stirnflachnaht		
7	U-Naht			17	Auftragung		
8	HU-Naht (Jot-Naht)			18	Flächennaht		
9	Gegenlage			19	Schräгнаht		
10	Kehlnaht			20	Falznaht		

Tabelle 4.21: Zusatzsymbole

Form der Oberflächen oder der Naht		Symbol
a)	flach (üblicherweise flach nachbearbeitet)	—
b)	konvex (gewölbt)	
c)	Konkav (hohl)	
d)	Nahtübergänge kerbfrei	
e)	verbleibende Beilage benutzt	
f)	Unterlage benutzt	

Tabelle 4.22: Ergänzungssymbole

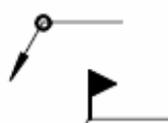
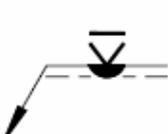
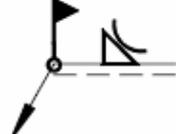
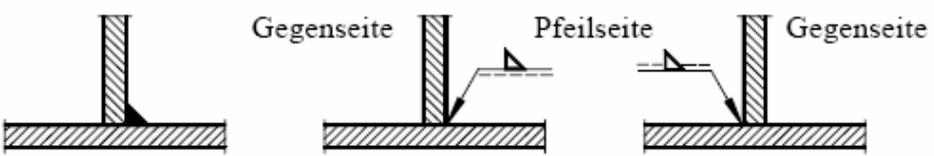
ringsum- verlaufende Naht	
Baustellennaht	

Tabelle 4.23: Kombination der Symbole

V-Naht mit ebener Oberfläche, Wurzel ausgearbeitet und gegengeschweißt		ringsum-verlaufende Kehlnaht mit hohler Oberflächenform, auf der Baustelle geschweißt	
Stellung des Bezugszeichens bzw. des Symbols			
			

4.3.3 Schweißverfahren

Bei stahlbautypischen Lichtbogenschweißverfahren wird unterschieden, ob der Lichtbogen

- sichtbar (offen)
- unter Pulver oder
- unter Schutzgas verdeckt ist.

Pulver und Schutzgas behindern den freien Zutritt der Atmosphäre zum Schmelzbad und damit dessen Beeinflussung durch Aufnahme von Gasen. Beim offenen Lichtbogen wird dies durch Aufschmelzen und Vergasen der dafür auf der Elektrode aufgetragenen Umhüllung erreicht. Sie wurde allerdings zunächst eingeführt, um den Lichtbogen gegenüber seinem Verhalten bei zunächst ohne Umhüllung verwendeten Elektroden zu stabilisieren.

Handschweißen mit offenem Lichtbogen

Das Prinzip der Herstellung einer Schweißnaht durch Handschweißen ist im folgenden Bild dargestellt. Im Detail werden die Verhältnisse im Bereich des Lichtbogens genauer gezeigt. Stahlkern und Umhüllung der Stabelektrode gehen durch die Wärme des Lichtbogens in Schmelze und Gas über. Gleichzeitig wird ein Teil des Grundmaterials aufgeschmolzen. Die abgekühlte Stahlschmelze wird zur Schweißnaht, die abgekühlte Schmelze der Umhüllung zur Schlacke.

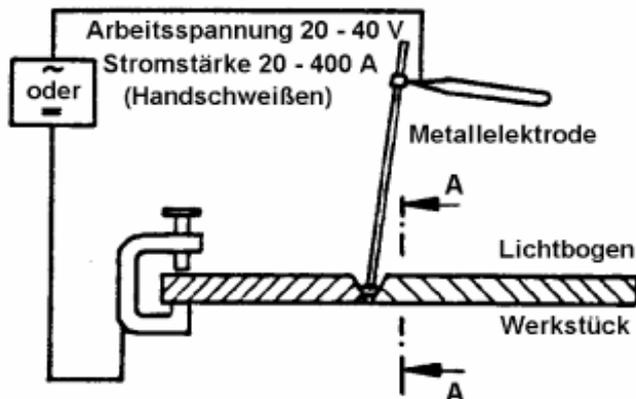


Bild 4.29: Prinzip der Handschweißung mit Stabelektrode

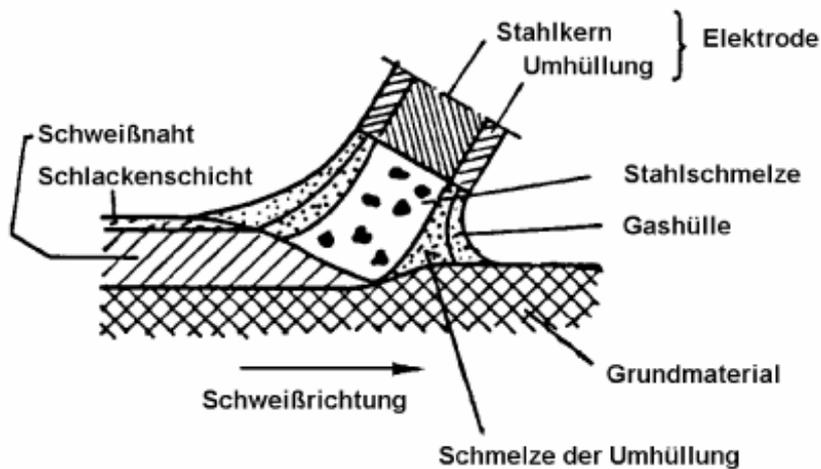


Bild 4.30: Entstehen der Schweißnaht

Nachfolgend wird der Aufbau einer Stumpfnahht gezeigt. Bei größeren Blechdicken muss die Verbindung in mehreren Lagen hergestellt werden.

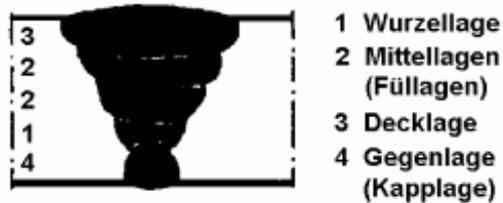


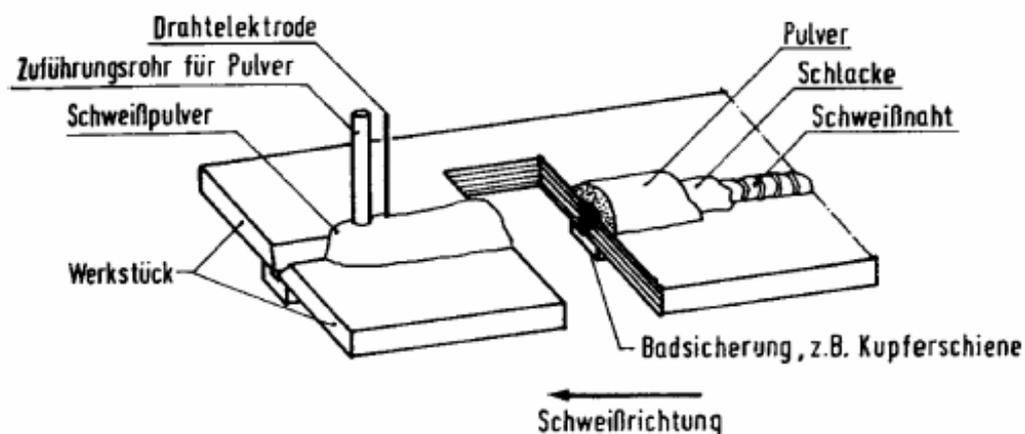
Bild 4.31: Lagenaufbau bei Schweißnähten

Tabelle 4.24: Vor- und Nachteile des Handschweißens mit offenem Lichtbogen

Vorteile	Nachteile
breites Anwendungsgebiet durch beliebige Schweißposition	jeweils neues Ansetzen bei Wechsel der Elektroden (Kerben, Aufhärtungen)
geringe Einrichtungskosten	geringe Leistungsfähigkeit (Erzeugung Schweißgut je Zeiteinheit)
	hohe Abhängigkeit vom Schweißer

Unterpulverschweißen mit verdecktem Lichtbogen

Vor der momentanen Schweißstelle wird mit einer automatischen Anlage Pulver, das bei Erhitzung schlackenbildend ist, gestreut. Eine nackte Drahtelektrode schmilzt am Lichtbogen ab und wird automatisch nachgeführt. Hinter der momentanen Schweißstelle wird das nicht verbrauchte Pulver automatisch angesaugt und dem Prozeß wieder zugeführt.



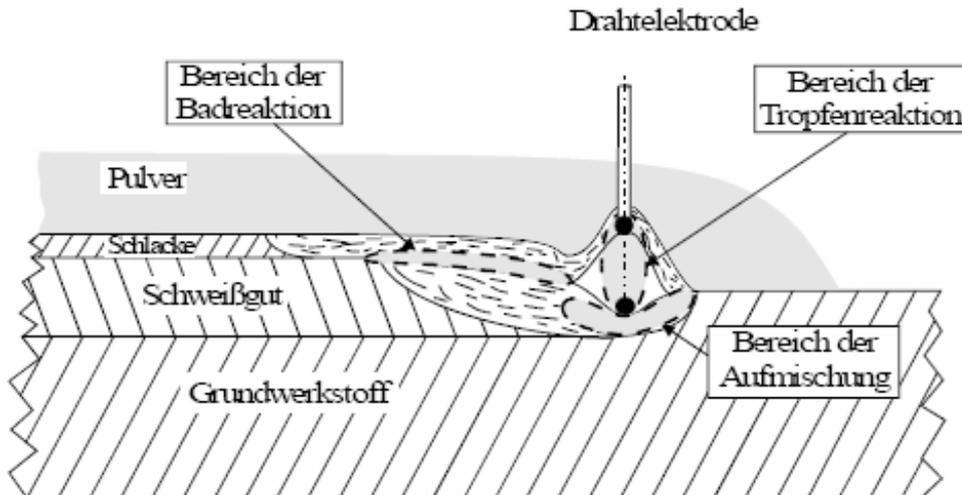


Bild 4.32: Unterpulverschweißen

Tabelle 4.25: Vor- und Nachteile des Unterpulverschweißens

Vorteile	Nachteile
tiefer Einbrand	nur Wannenlage oder horizontale Nähte
sichere Erfassung des Wurzelbereiches	größere Investitionskosten
hohe Leistung durch Anordnung mehrerer Elektroden hintereinander zur Erzeugung mehrerer Lagen	

Schutzgasschweißen

Das Schweißbad wird durch das Schutzgas vor dem Zutritt der Luft geschützt. Die nicht umhüllte Elektrode wird automatisch nachgeführt.

Es kommen beim Schutzgasschweißen

- inerte = völlig reaktionsunfähige Gase (MIG-Schweißen)
- aktive Gase (MAG-Schweißen) und
- Gasgemische

zur Anwendung.

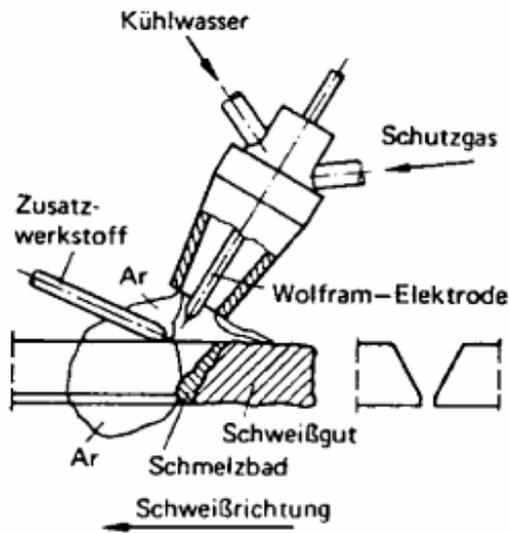


Bild 4.33: Schutzgasschweißen

Tabelle 4.26: Vergleich der Schutzgasverfahren

Gas	inertes Gas	Gasgemisch	aktives Gas
	Argon	90 % Argon 5 % CO ₂ 5 % O ₂	CO ₂
Verfahren	MIG	MAG	MAG
Einbrandtiefe	gering	kleiner	größer
Nahtaussehen	breiter, glatt	glatt	überwölbt, grob
Spritzerbildung	gering	gering	groß

Tabelle 4.27: Vor- und Nachteile des Unterpulverschweißens

Vorteile	Nachteile
Naht bei der Herstellung sichtbar	Gasschutzglocke wird bei Wind weggeblasen → wetterabhängig
tiefer Einbrand möglich	zusätzliche Einrichtungen (Wetterschutz) beim Schweißen auf der Baustelle
Verfahren automatisierbar und regelbar	
beliebige Schweißpositionen	

4.3.4 Mögliche Auswirkungen des Schweißens auf Werkstoff und Konstruktion

Auf den Werkstoff

Beim Schweißen treten in den zu verbindenden Teilen erhebliche Temperaturen auf, die von der unmittelbaren Schweißstelle abklingen.

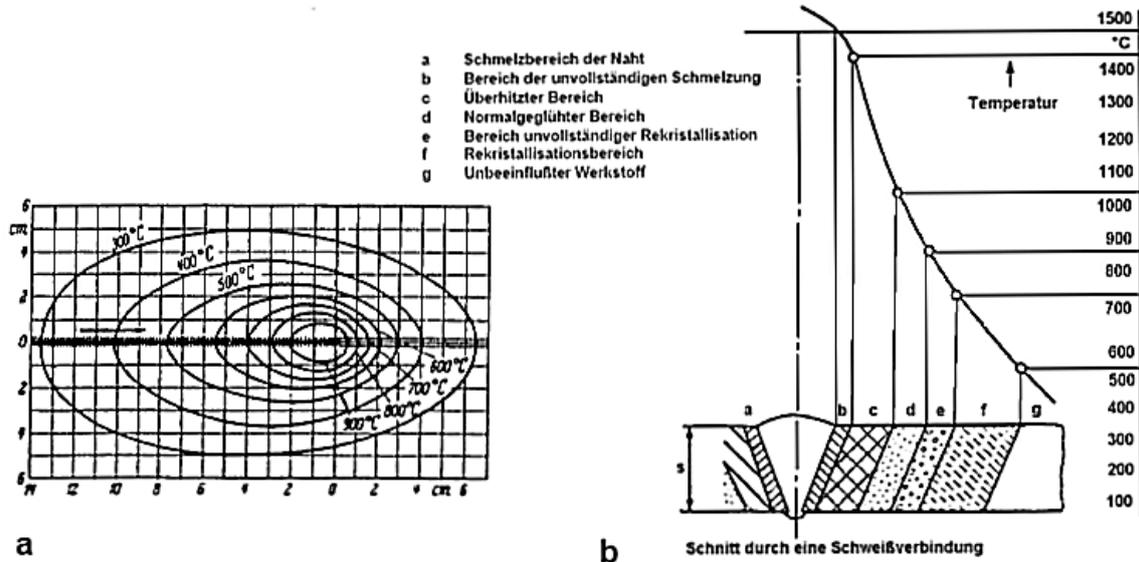


Bild 4.34: Temperaturverteilung

a – Isothermen während des Schweißens an 5 mm dicken Stahlblechen beim Gasschweißen

b – Temperaturverteilung an einer Naht

Erwärmen und Abkühlen des Werkstoffs führen zu Aufhärtungen des Werkstoffes. Die Aufhärtung kann durch das Schweißen einer Decklage auf das warme Werkstück reduziert werden. In der Praxis wärmt man unter bestimmten Bedingungen beim Schweißen vor.

Vorwärmen (oder auch Nachwärmen) wird im allgemeinen im Bereich zwischen etwa 100° C und 250° C vorgenommen. Stähle mit C-Gehalt und äquivalenten Werten unter Berücksichtigung der Legierungselemente unter etwa 0,23 % müssen im allgemeinen nicht vorgewärmt werden.

Die Aufhärtung hängt unter anderen von

- der chemischen Zusammensetzung des Stahles
- dem Kohlenstoffgehalt und
- der Abkühlgeschwindigkeit

ab und kann dadurch gefährlich werden, dass durch die Verringerung der Bruchdehnung schon beim Abkühlen oder erst unter zusätzlichen Dehnungen aus Lasten Risse entstehen.

Die Abkühlgeschwindigkeit ist wiederum von vielen Einflüssen abhängig, wie

- Nahtform
- Blechdicke
- Schweißgeschwindigkeit
- Vorwärmtemperatur
- Elektrodendurchmesser.

Auf die Beanspruchung

Durch die Abkühlung unterhalb des Schmelzpunktes verkürzen sich Schweißgut und Wärmeeinflusszone entsprechend der Temperaturdifferenz und des Wärmeausdehnungskoeffizienten, falls keine Behinderung für die Verkürzung vorliegt. Dies wird als Schrumpfung bezeichnet.

Wenn die Schrumpfung verhindert wird, treten Eigenspannungen auf, welche bis zum Fließen des Werkstückes führen können.

Fazit: Beim Schweißen muss man entweder große Verformungen oder große Eigenspannungen in Kauf nehmen.

Der Spannungszustand, welcher infolge Schrumpfen auftritt, ist ein mehrachsiger, da beim Abkühlen Schrumpfungen in drei Richtungen auftreten:

- in Richtung quer zur Naht in Blechebene
- in Längsrichtung der Naht in Blechebene
- in Richtung quer zur Naht normal zur Blechebene (Dickenrichtung).

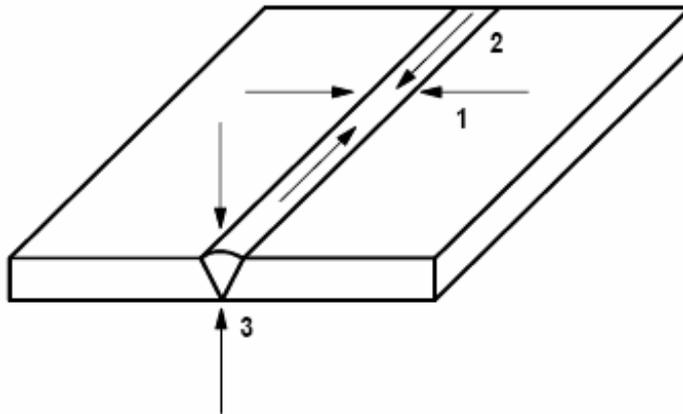


Bild 4.35: Mehrachsiger Spannungszustand

Die Schrumpfungen werden mehr oder weniger behindert. Die Schrumpfung längs und quer zur Naht in Blechebene ist abhängig von Nahtlänge, Blechdicke, Konstruktion, Anzahl der Lagen, etc. Die Schrumpfung normal zu Blechdicke hängt vorwiegend von dieser ab.

Hinweise für die Praxis

- Dreiachsigen Spannungszustand durch Art der Konstruktion und Herstellung wegen Sprödbruchgefahr vermeiden.
- Schweißfolge so festlegen, dass Schrumpfung möglichst ungehindert eintreten kann.
- Gegebenenfalls spannungsfrei oder spannungsarmglühen.

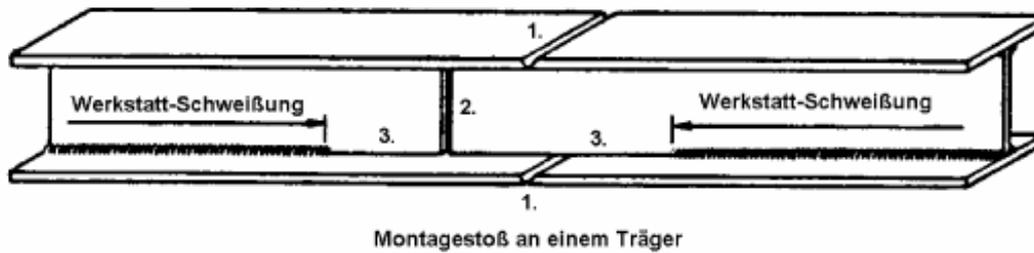
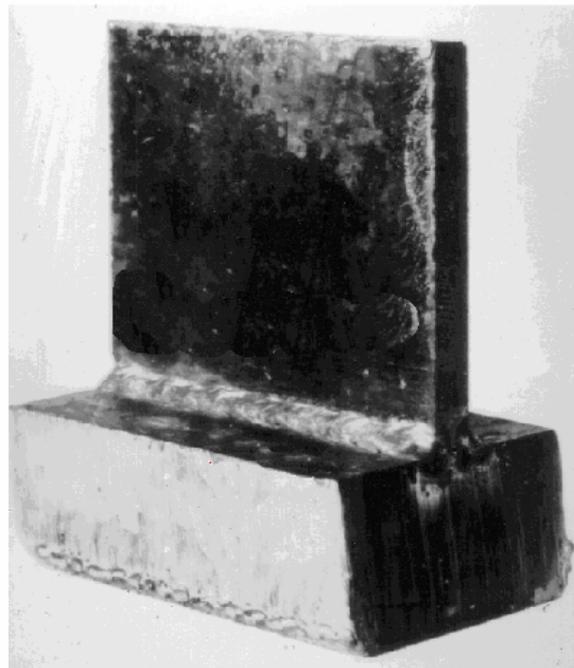
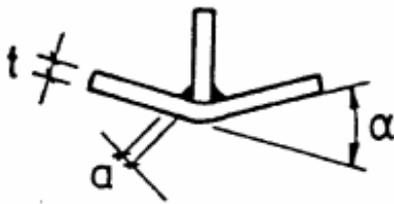


Bild 4.36: Grundregeln für die Schweißfolge mit Rücksicht auf die Querschrumpfung

Auf die Bauwerksform

Das Verhindern von Schrumpfungen ist die Ursache für die Eigenspannungen, also die Beanspruchung von Bauteilen aus dem Schweißen.

- Winkelschrumpfung



Doppel - Kehlnahtprobe nach DIN 50 129

Bild 4.37: Winkelschrumpfung bei Kehlnähten

Der Winkel ist abhängig von der Schweißnahtdicke a zur Blechdicke t sowie dem Schweißverfahren.

Tabelle 4.28: Schrumpfwinkel bei Stumpfnähten

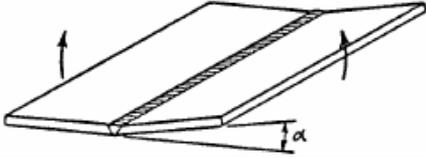
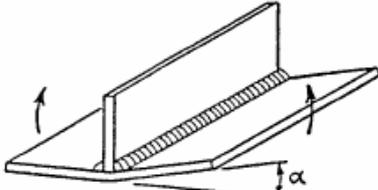
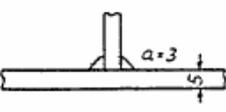
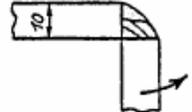
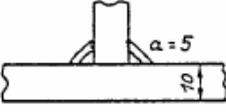
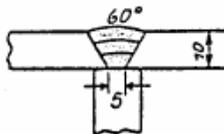
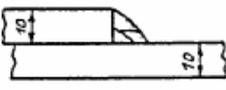
		Schrumpfwinkel α			Schrumpfwinkel α
Querschnitt	Schweißprozess		Querschnitt	Schweißprozess	
	111 3 Lagen	1°		111 8 Lagen mit großer Breite	7°
	111 5 Lagen	3 1/2°		111 8 Lagen, geschweißt mit 22 Raupen	13°
	111 5 Lagen, Wurzel ausgefugt, 3 Lagen von der Rückseite	0°		111 von 1/3 Seite 4 Lagen 121 von 2/3 Seite 1 Lage	2°

Tabelle 4.29: Schrumpfwinkel bei Kehlnähten

		Schrumpfwinkel α			Schrumpfwinkel α
Querschnitt	Schweißprozess		Querschnitt	Schweißprozess	
	111 1 Lage in PA	3°		111 3 Lagen in PA	1 1/2°
	111 2 Lage in PA	3°			
	111 2 Lagen in PA	1°		111 3 Lagen in PA	1°
	111 2 Lagen in PA	2°			

- Querschrumpfung

Das Schrumpfmaß ist von Nahtvolumen und Nahtform abhängig.

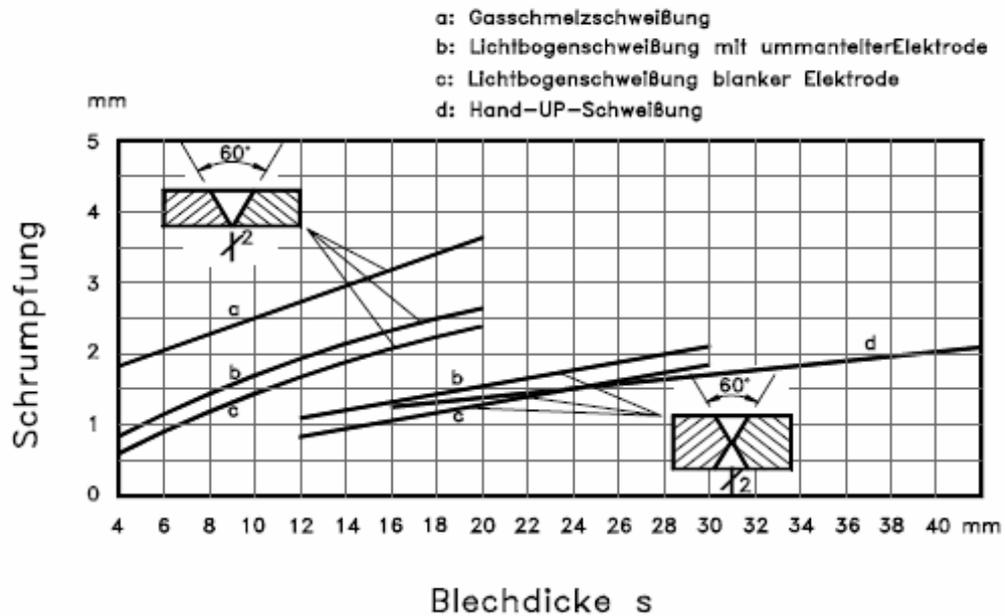


Bild 4.38: Querschrumpfung in Abhängigkeit von der Blechdicke und Nahtart

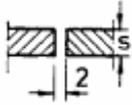
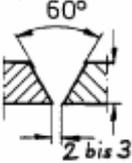
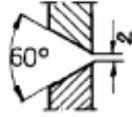
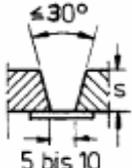
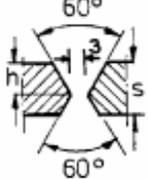
4.3.5 Formen der Schweißnähte für Schmelzschweißverbindungen

4.3.5.1 Stumpfnähte

Mit Stumpfnähten werden planeben angeordnete Bleche gleicher oder unterschiedlicher Dicke miteinander verbunden. Sie sind planmäßig für die Übertragung von Scheibenkräften, also Normal- und Schubkräften in der Ebene der Bleche, vorgesehen.

Abhängig von der Blechdicke und vom Schweißverfahren kommen verschiedene Ausführungen infrage, die unterschiedliche Nahtvorbereitungen erfordern und zu verschiedenen Nahtformen führen.

Tabelle 4.30: Nahtart und -vorbereitung

Name	Bild	Sym- bol	Geeignet für s = in mm	Zahl d. Lagen f. t=14 mm	Schw. verf.	Vorbereitung u. Bemerkung
I-Naht			1 bis 3	-	UP	Einf.Schnittkante Wenn beidseitig geschw., gut ge- eignet, auch für dynam. Beansprg.
V-Naht (Wannen- lage) *		∇	3 bis 20	3	SG/ CO2	Einf.Schnittkante Für dyn. Bean- sprg. nur mit Kapplage geeignet
V-Naht (Quer- naht) *		>	8 bis 20	3	SG/ CO2	wie vor
Steiffl. naht		∇	bis 20	6	UP	Einf.Schnittkante Unterlage vors. Für dyn.Bean- sprg. nur bedingt ge- eignet
2/3-X- V-Naht		X	12 bis 40	2	SG	Doppelte Schn.K. Werkstück b.Schw. wenden. Für dyn. Belastg. gut ge- eignet.

Bei Stumpfstoßen von Blechen verschiedener Dicke ist die Kerbschärfe zu reduzieren.



Bild 4.39: Ausführung von Stumpfstoßen

4.3.5.2 Schweißnähte bei T-Stößen

Die T-förmigen Schweißstöße können mit Nähten unterschiedlicher Ausführungsformen ausgeführt werden. Man unterscheidet grundsätzlich in

- durch- oder gegengeschweißte Nähte
- nicht durchgeschweißte Nähte
- Kehlnähte
- Dreiblechnaht.

D-HV-Naht (K-Naht)	Stegnaht D-HY-Naht mit Kehlnaht	Doppel- Kehlnaht	Doppel- Kehlnaht mit tiefem Einbrand
Durchge- schweißt	Nicht durchge- geschweißt	Kehlnaht	Kehlnaht

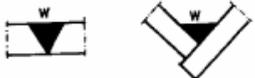
Bild 4.40: Verschiedene Ausführungen von T-Stößen

4.3.6 Zur Ausführung von Schweißnähten

- Schweißnahtposition

Für die Qualität einer Schweißnaht ist ihre Position beim Schweißen wichtig. Sie muß daher im allgemeinen auf den Ausführungsunterlagen angegeben werden.

Tabelle 4.31: Schweißnahtpositionen

<p>Wannenlage (w)</p> 	<p>Schweißbad befindet sich in einer Wanne und läuft nicht aus. Voraussetzung für UP-Schweißen.</p> <p>Da günstigste Schweißposition, wird sie oft durch großen Aufwand herbeigeführt.</p>
<p>Horizontal (h)</p> 	<p><i>Beispiel:</i> Kehlnaht an Verbindung von Steg und Untergurt</p>
<p>Quernaht (q)</p> 	<p>Waagerechtes Schweißen an stehender Wand, z.B. zur Herstellung von Ringnähten im Behälterbau (Silos, Flüssigkeitstanks)</p>
<p>Überkopfnah (ü)</p> 	<p>In dieser Lage sind Nähte am schwierigsten herzustellen.</p>

- Kurze Hinweise zur Ausführung

Die Herstellung von Schweißnähten verlangt große Sorgfalt in Planung, Vorbereitung und Ausführung sowie angemessene Ausstattung der Betriebe. Anspruchsvolle Schweißarbeiten dürfen nur von dafür anerkannten Betrieben ausgeführt werden. Für die Anerkennung muß die Ausrüstung bestimmten Mindestanforderungen genügen und die Aufsicht durch einen anerkannten Schweißfachingenieur gesichert sein.

- Kurze Hinweise zur Prüfung

Wichtig ist die Sicherung der Schweißnahtqualität durch Prüfungen nach der Herstellung. Dies spielt eine besondere Rolle für Schweißnähte, die aufgrund der Einstufung „Nahtgüte nachgewiesen“ höher beansprucht werden dürfen als andere.

Die Prüfungen müssen zerstörungsfrei erfolgen. Prüfungen müssen sorgfältig geplant und auf Plänen angegeben werden.

Tabelle 4.32: Prüfverfahren

Verfahren	Kurzzeichen	Nachweis von
Augenscheinnahme, ggf. mit Lupe	A	Oberflächenfehler
Magnetische Prüfung mit Pulver	M	Oberflächenrisse
Ultraschallprüfung	U	Risse Bindefehler
Röntgenprüfung (Durchstrahlung)	R	Poren Schlackeneinschlüsse
Farbeindringverfahren	F	Oberflächenrisse

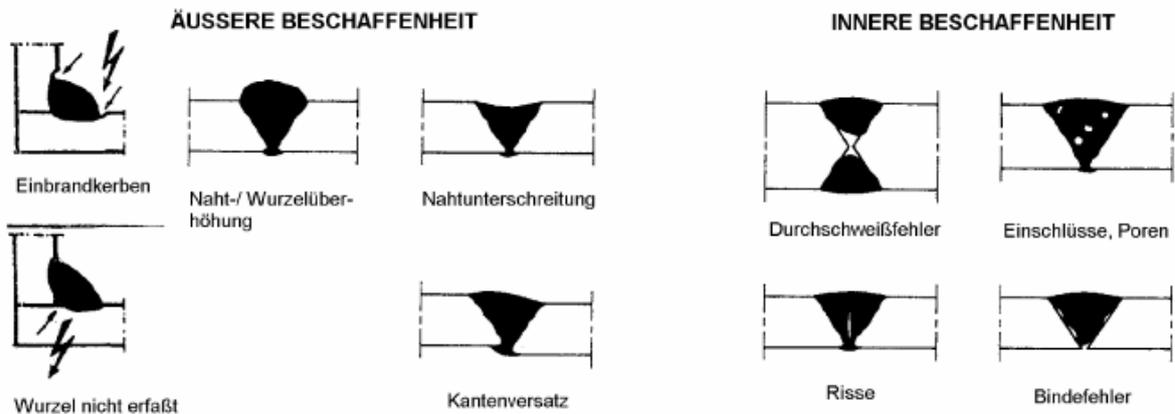


Bild 4.41: Schweißnahtimperfectionen

Die gefährlichsten Imperfectionen im Hinblick auf das Ermüdungs- und Spröbruchverhalten der Verbindung sind

- Risse
- Bindefehler
- Durchschweißfehler, Einschlüsse
- Poren.

4.3.7 Zur Werkstoffauswahl

Die Beeinflussung der Werkstoffeigenschaften und die Erzeugung von Eigenspannungen beim Schweißen erfordert eine sorgfältige, den jeweiligen Bedingungen angepasste Wahl des Werkstoffes. Da die Kosten abhängig von der Werkstoffqualität sind, gilt auch hier die Forderung: nicht mehr als nötig.

Die Auswahl betrifft bei Konstruktionen aus den allgemeinen Baustählen S235 und S355 vor allem drei Aspekte:

- Wahl der Stahlgütegruppe
- Gefahren durch Seigerung
- Sicherung gegen Terrassenbruch.

- Wahl der Stahlgütegruppe

Hilfen bei der Wahl der richtigen Stahlgütegruppe gibt die DAST-Richtlinie 009 „Empfehlungen zur Auswahl der Stahlgütegruppen für geschweißte Stahlbauten“. Aufgrund von Erfahrungen, insbesondere der Auswertung von Schadensfallanalysen, steuert die Richtlinie über ein Punktsystem die Ansprüche an den Stahl nach folgenden Merkmalen:

- plötzlicher Bruch ohne jede Vorankündigung
- Bruch oft bei geringen Lastspannungen
- Blechdicken über 20 mm
- Bruch bei Kälte
- Brüche sind verformungslos – Spröbruch.

Einzelheiten können der Richtlinie entnommen werden. Dort gehen in die Beurteilung ein:

- Temperaturbedingungen für das Bauwerk: mit abnehmender Temperatur nimmt die Kerbschlagzähigkeit ab und damit die Spröbruchneigung zu
- Spannungszustand: im mehrachsigen Spannungszustand nimmt die Spröbruchneigung zu
- Bedeutung des Bauteils
- Werkstoffdicke: mit zunehmender Dicke tritt eine größere Aufhärtung und damit größere Spröbruchneigung ein

- Gefahren durch Seigerung

Blockvergossener Stahl neigt zur Seigerung. Das heißt, aus den zuerst erstarrenden Teilen an der Oberfläche diffundieren nicht gebundene Gase in das Innere und konzentrieren sich hier. Beim Walzen bleiben die von den Begleitern angereicherten Zonen im Innern. Dies kann zu Spröbrüchen führen, wenn nicht beruhigt vergossener Stahl verwendet wird.

Durch das Stranggießen haben sich die Verhältnisse gegenüber dem Blockgießen verschoben, da es wegen des kontinuierlichen Vorganges keine ruhende Situation mit der Möglichkeit einer lokalen Konzentration von Ausscheidungen gibt. Alles wird gleichmäßiger verteilt. Beim Strangguß spricht man von Mittenseigerung.

- Sicherung gegen Terrassenbruch

Bei einem T-Stoß mit beidseitigen Kehlnähten besteht die Gefahr eines Terrassenbruchs, der sich rechtwinklig zur Dicke des auf zugbeanspruchten Blechs entwickeln kann. Diese Gefahr ist bei dicken Blechen aus hochfestem Stahl noch größer, weil der Terrassenbruch in diesem Fall schon beim Abkühlen der Schweißnaht entstehen kann. Bei T-Stößen mit hohen Zugbeanspruchungen und großen Blechdicken sind daher Doppel-HV-Nähte vorzuziehen.

Terrassenbruch kann nicht zerstörungsfrei aufgedeckt werden.

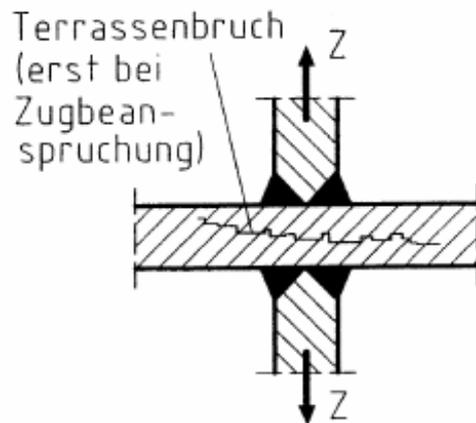


Bild 4.42: Terrassenbruch

Terrassenbrüche lassen sich vermeiden. Es ist die DASt-Richtlinie 014 anzuwenden.

- Schweißen in kaltverformten Bereichen

Durch Kaltverformung versprödet der Werkstoff. Dies muss beim Schweißen beachtet werden. Da der Grad der Versprödung vom Kaltreckgrad abhängig ist, können bei kalt gekrümmten Bauteilen Regeln in Abhängigkeit vom Krümmungshalbmesser r und der Blechdicke t formuliert werden.

Tabelle 4.33: Grenzwerte $\min(r/t)$ für das Schweißen

	1	2	3
	max t mm	$\min(r/t)$	
1	50	10	
2	24	3	
3	12	2	
4	8	1,5	
5	4 ^{*)}	1	
6	< 4 ^{*)}	1	

^{*)} Für Bauteile aus St 37-3 darf dieser Wert auf 6 mm erhöht werden.

4.3.8 Nachweis der Tragsicherheit von Schweißnähten

4.3.8.1 Allgemeines

Die Anforderungen für das Schweißen von Bauteilen, welche durch „vorwiegend ruhende Lasten“ beansprucht werden, sind im Eurocode 3 im Abschnitt 6.6 enthalten. Bei „nicht vorwiegend ruhender Beanspruchung“ ist Eurocode 3 Kapitel 9 anzuwenden.

Als Werkstoffe dürfen die Stähle nach DIN EN 10025 mit den Stahlgüten Fe 260 (S235), Fe 430 (S275) oder Fe 510 (S355) verwendet werden. Die Güte des Schweißgutes soll den Werkstoffgüten weitgehend entsprechen.

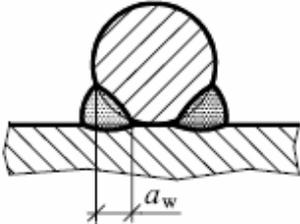
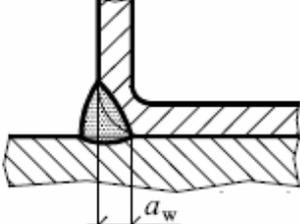
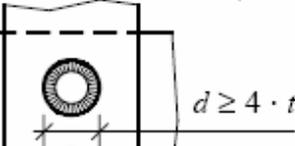
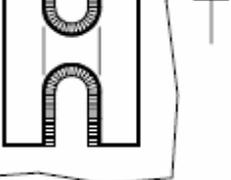
4.3.8.2 Geometrie und Abmessungen

a) Schweißnahtdicke

Die Nahtdicke einer Kehlnaht darf nicht weniger als 3 mm betragen.

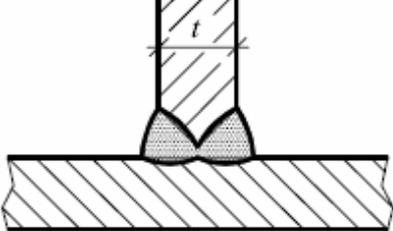
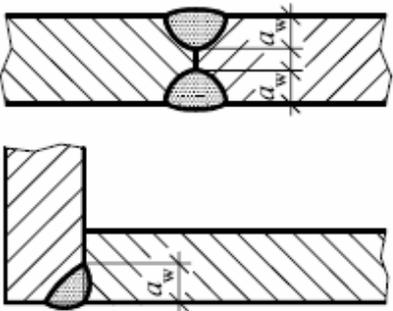
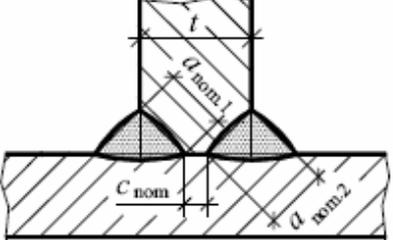
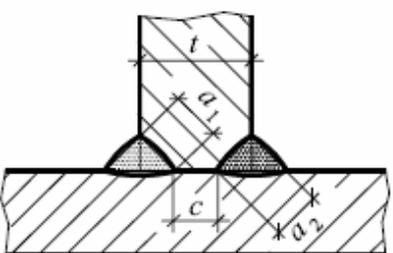
Tabelle 4.34: Nahtart und Schweißnahtdicke nach EC 3-1-1

Nahtart	Bild	Nahtdicke a_w
Kehlnaht $\alpha < 60^\circ$ → nicht durchgeschweißte Naht $\alpha > 120^\circ$ → nicht tragende Naht		Die Schweißnahtdicke a_w ist gleich der bis zum theoretischen Wurzelpunkt gemessenen Höhe des einschreibbaren gleichschenkligen Dreiecks. Die Mindestkehlnahtdicke soll 3 mm betragen.
Kehlnaht mit tiefem Einbrand		Der über den theoretischen Wurzelpunkt hinausgehende Einbrand ist durch eine Verfahrensprüfung sicherzustellen. ¹⁾

<p>Hohlkehlnaht an Vollquerschnitten</p>		<p>Ermittlung der wirksamen Nahtdicke a_w durch Bildung des Mittelwertes der Schweißnähte an Bauteilproben für jeden Satz der Verfahrensbedingungen.</p>
<p>Hohlkehlnaht an Rechteck- hohlprofilen ²⁾</p>		
<p>Schlitznaht</p> <p>Verbindungen mit $d < 4 \cdot t$ sind nach EC 3 als Lochschweißung ²⁾ einzustufen. Diese darf nicht in zugbeanspruchten Bauteilen verwendet werden.</p>	<p>Schnitt</p>  <p>Variante:</p> <p>a)  $d \geq 4 \cdot t$</p> <p>b) </p> <p>c) </p>	<p>Bestimmung von a_w siehe Kehl-naht.</p> <p>Verwendung zur Schubübertragung, und um das Ausbeulen und Trennen überlappender Teile zu vermeiden.</p>

¹⁾ Wenn die Naht durch ein automatisches Unter-Pulver-Schweißverfahren hergestellt wird, darf die Nahtdicke um 20 % oder 2 mm (der kleinere Wert ist maßgebend) über den theoretischen Wurzelpunkt hinaus vergrößert werden, ohne daß eine Verfahrensprüfung durchgeführt wird.

²⁾ Nach DASt-Ri 103 ist bei Anwendung an tragenden Bauteilen eine bauaufsichtliche Zulassung erforderlich.

Nahtart	Bild	Nahtdicke a_w
Durchgeschweißte Stumpfnah		$a_w = t$
		$a_w = t_1$
		$a_w = t$
Nicht durchgeschweißte Stumpfnah		<p>Der über den theoretischen Wurzelpunkt hinausgehende Einbrand ist durch eine Verfahrensprüfung sicherzustellen. Wenn keine Verfahrensprüfung durchgeführt wird, soll</p> $a_w = a_{\text{nom}} - 2 \text{ mm}$ <p>angenommen werden.</p>
Durchgeschweißte Stumpfnah mit Kehlnah		<p>Bedingungen:</p> $a_{\text{nom.1}} + a_{\text{nom.2}} \geq t$ $c_{\text{nom}} \leq t/5 \text{ oder } c_{\text{nom}} \leq 3 \text{ mm}$ <p>(der kleinere Wert ist maßgebend)</p> $a_w = t$
Nicht durchgeschweißte Stumpfnah mit Kehlnah		<p>Der über den theoretischen Wurzelpunkt hinausgehende Einbrand ist durch eine Verfahrensprüfung sicherzustellen. Wenn keine Verfahrensprüfung durchgeführt wird, soll</p> $a_1 = a_{\text{nom.1}} - 2 \text{ mm und}$ $a_2 = a_{\text{nom.2}} - 2 \text{ mm}$ <p>angenommen werden.</p>

b) Schweißnahtlänge

Die wirksame Länge ist gleich der Gesamtlänge der voll ausgeführten Schweißnaht, wobei eine Mindestlänge eingehalten werden muss, um diese Schweißnaht rechnerisch zu berücksichtigen.

$$\min L_w = \min \begin{cases} 40\text{mm} \\ 6 \cdot a_w \end{cases}$$

4.3.8.3 Grenzkraft einer Kehlnaht (Beanspruchbarkeit)

Der Nachweis einer Kehlnaht wird über Grenzkraften geführt. Die Grenzkraft einer Kehlnaht ist ausreichend, wenn in jedem Punkt der Kehlnaht über ihre Länge die Resultierende aller einwirkenden Kräfte die Grenzkraft $F_{w,Rd}$ nicht überschreitet. Die Ausrichtung der Schweißnaht ist dabei nicht von Bedeutung.

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot \sum a_w$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{Mw}}$$

Nachweis:

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$$

$F_{E,Rd}$ Beanspruchung der Schweißnaht pro Längeneinheit

$F_{w,Rd}$ Grenzkraft pro Längeneinheit

$f_{vw,d}$ Grenzscherfestigkeit der Schweißnaht

f_u Zugfestigkeit des schwächeren der miteinander verbundenen Teile

β_w Korrelationsfaktor in Abhängigkeit von der Stahlfestigkeit

a_w Schweißnahtdicke

γ_{Mw} Teilsicherheitsbeiwert

Tabelle 4.35: Korrelationsfaktor

Stahl	S 235	S 275	S 355
Zugfestigkeit f_u	360	430	510
Korrelationsfaktor β_w	0,80	0,85	0,90

Alternativ kann die Kehlnaht nach EC 3, Anhang M nachgewiesen werden.

Alternativverfahren

Dieses alternative Verfahren beinhaltet einen Vergleichsspannungsnachweis. Die Spannungen sind hierbei auf eine Bezugsfläche zu beziehen, welche in der Winkelhalbierenden der Naht liegt. Die Kräfte werden in Komponenten aufgeteilt, welche parallel und rechtwinklig zur Längsachse sowie längs und rechtwinklig zum Nahtquerschnitt wirken.

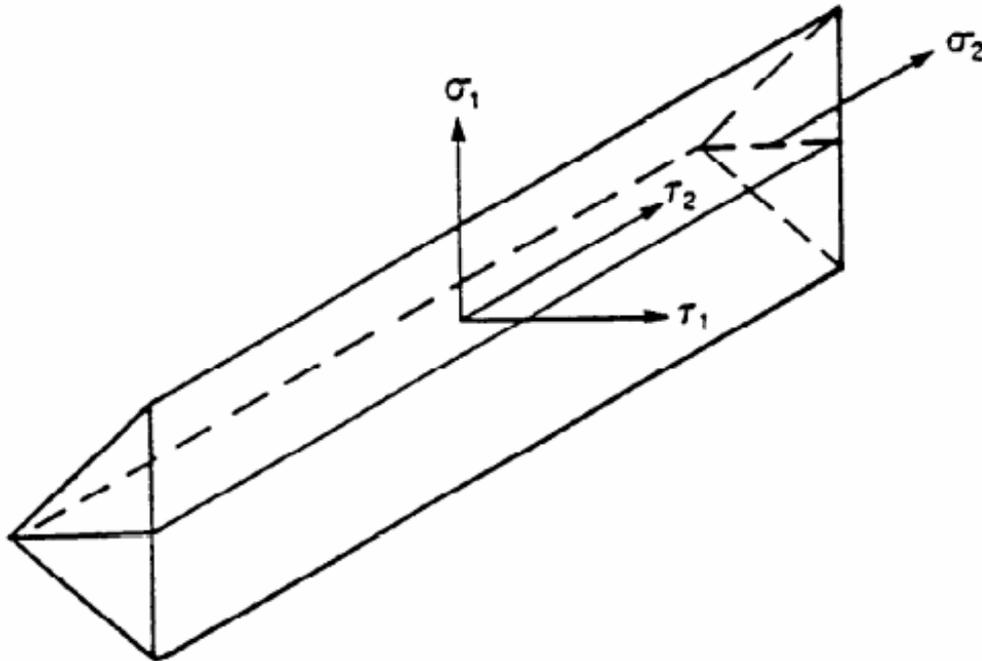


Bild 4.43: Spannungen im Nahtquerschnitt einer Kehlnaht

Tabelle 4.36: Spannungskomponenten

σ_1	σ_{\perp}	Normalspannung senkrecht zur Bezugsfläche und senkrecht zur Längsachse der Naht
σ_2	σ_{\parallel}	Normalspannung senkrecht zur Bezugsfläche und parallel zur Längsachse der Naht (bleibt unberücksichtigt)
τ_1	τ_{\perp}	Schubspannung in der Ebene der Bezugsfläche und senkrecht zur Längsachse der Naht
τ_2	τ_{\parallel}	Schubspannung in der Ebene der Bezugsfläche und parallel zur Längsachse der Naht

Die Grenzkraft der Kehlnaht gilt als ausreichend, wenn die folgenden Bedingungen nachgewiesen werden.

1.
$$\sqrt{\left(\sigma_1^2 + 3 \cdot (\tau_1^2 + \tau_2^2)\right)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}}$$
2.
$$\sigma_1 \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw}}$$

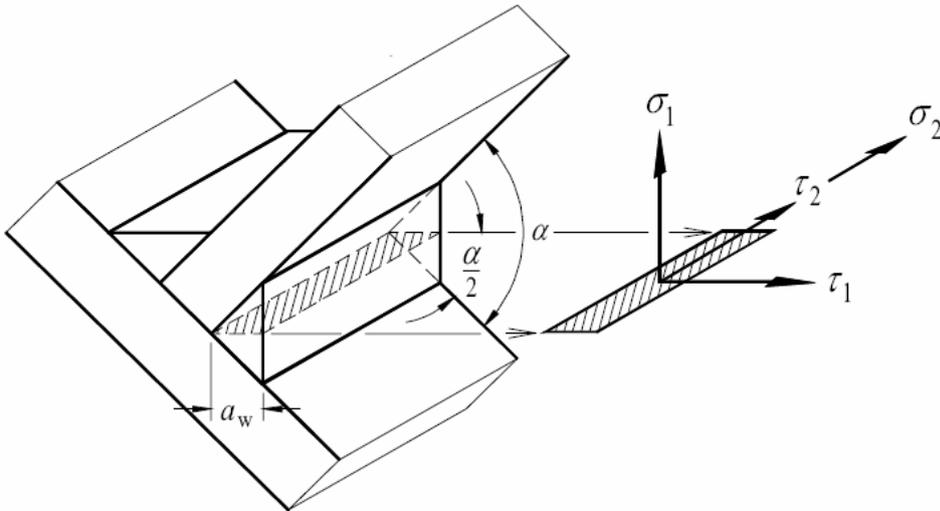


Bild 4.44: Kehlnaht und Spannungskomponenten

Durch eine Kraftkomponente parallel zur Längsachse der Schweißnaht wird die Schubspannung τ_2 unabhängig vom Winkel α erzeugt.

$$\tau_2 = \frac{F_{\parallel}}{a_w \cdot L_w}$$

$$F_{\parallel, Rd} = \frac{f_u \cdot a_w \cdot L_w}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{Mw}}$$

Durch eine Kraftkomponente rechtwinklig zur Längsachse und parallel zur Nahtflanke wird die Normalspannung σ_1 und die Schubspannung τ_1 erzeugt.

$$\tau_1 = \frac{F_{\perp} \cdot \cos(\alpha/2)}{a_w \cdot L_w}$$

$$\sigma_1 = \frac{F_{\perp} \cdot \sin(\alpha/2)}{a_w \cdot L_w}$$

für $\alpha = 90^\circ$:

$$\tau_1 = \sigma_1 = \frac{F_{\perp} \cdot \sqrt{2}/2}{a_w \cdot L_w}$$

$$F_{\perp, Rd} = \frac{f_u \cdot a_w \cdot L_w}{\sqrt{2} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{Mw}}$$

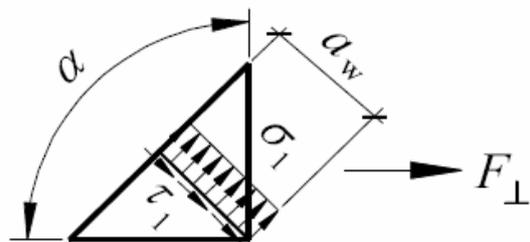


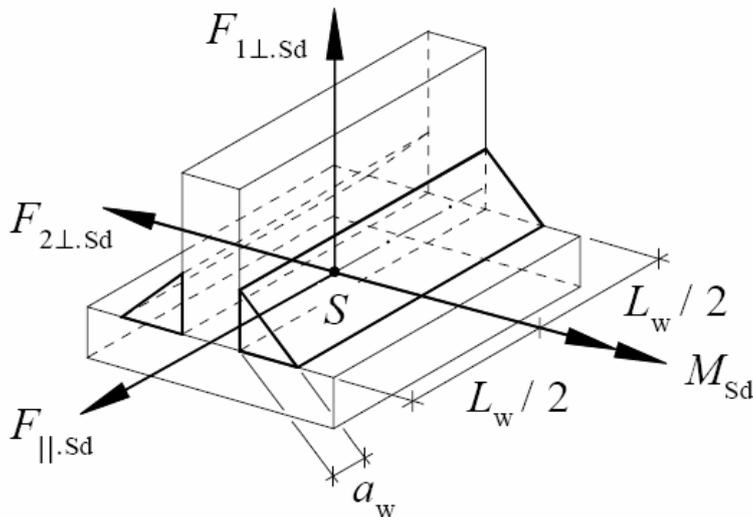
Bild 4.45: Kraftkomponente rechtwinklig zur Längsachse und resultierende Spannungskomponenten

4.3.8.4 Berechnung der Beanspruchung einer Kehlnaht (und nicht durchgeschweißten Stumpfnähten)

Im nachfolgenden Bild sind die möglichen Schnittgrößen, die auf eine Doppelkehlnaht einwirken können, sowie die Beanspruchungen dargestellt.

Tabelle 4.37: Ermittlung der Beanspruchungen pro Längeneinheit

mittiger Kraftangriff ($M_{Sd} = 0$) bezogen auf eine beliebige Stelle der Naht	außermittiger Kraftangriff ($M_{Sd} \neq 0$) bezogen auf Anfangs- bzw. Endpunkt der Naht
$N_{\perp.Ed} = \frac{F_{1\perp.Sd}}{L_w}$	$N_{\perp.Ed} = \frac{F_{1\perp.Sd}}{L_w} \pm \frac{M_{Sd}}{L_w^2/6}$
$V_{\perp.Ed} = \frac{F_{2\perp.Sd}}{L_w}$	$V_{\perp.Ed} = \frac{F_{2\perp.Sd}}{L_w}$
$V_{\parallel.Ed} = \frac{F_{\parallel.Sd}}{L_w}$	$V_{\parallel.Ed} = \frac{F_{\parallel.Sd}}{L_w}$
$F_{w.Ed} = \sqrt{N_{\perp.Ed}^2 + V_{\perp.Ed}^2 + V_{\parallel.Ed}^2}$	



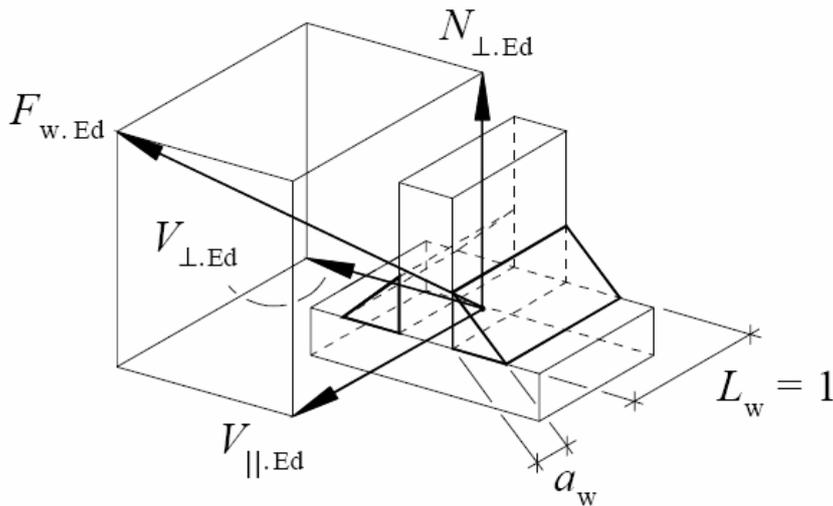


Bild 4.46: Schnittgrößen und Beanspruchungen einer Kehlnaht

4.3.8.5 Grenzkraft einer Stumpfnah (Beanspruchbarkeit)

Bei durchgeschweißten Stumpfnähten ist die Grenzkraft der Stumpfnah gleich der Grenzkraft des schwächeren der miteinander verbundenen Bauteile.

Bei nicht durchgeschweißten Stumpfnähten ist die Grenzkraft analog zu Kehlnähten zu berechnen und nachzuweisen.

4.3.8.6 Reduktion der Grenzkraft in langen Anschlüssen

Bei langen Anschlüssen mit nicht kontinuierlicher Krafteinleitung muss die Grenzkraft durch einen Reduktionsfaktor abgemindert werden, da die Spannungsverteilungen über die Länge des Anschlusses ungleichmäßig sind.

Halskehlnähte sind von dieser Regelung ausgenommen (da kontinuierliche Lasteinleitung).

überlappte Stöße

$$L_w > 150 \cdot a_w$$

$$\beta_{Lw.1} = 1,2 - \frac{0,2 \cdot L_j}{150 \cdot a_w} \leq 1,0$$

L_j Länge der Überlappung in Kraftrichtung

$\beta_{Lw.1}$ Reduktionsfaktor für überlappte Stöße

Quersteifen von Blechträgern

$$L_w > 1,70m$$

$\beta_{Lw.2}$ Reduktionsfaktor für Quersteifen

L_w Schweißnahtlänge in m

$$\beta_{Lw.2} = 1,1 - \frac{L_w}{17} \geq 0,6$$

Quellen/Literatur

- /1/ DIN V ENV „Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten“, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau, Ausgabe 04/1993
- /2/ Schneider, Bautabellen, 15. Auflage
- /3/ DIN EN ISO 898-1, 11/99
- /4/ ISO 857-1, 11/02, Schweißen und verwandte Prozesse