

Schweißgerechtes Konstruieren **an ausgewählten Beispielen**

Dr.-Ing. Peter Knödel, SFI/IWE
ö.b.u.v. Sachverständiger für
„Schweißtechnik – Sonderbauten in Metall“

Vortrag am 27.10.2006

Schweißtechnische Lehranstalt Eslohe
der Handwerkskammer Arnsberg
Böttenbergstraße 17, D-59889 Eslohe

13. Erfahrungsaustausch für Schweißaufsichtspersonen
27.-28.10.2006

0. Inhalt

0.	Inhalt	2
1.	Einleitung	3
2.	Bedeutung der Konstruktion	4
3.	Kriterien	5
3.1	Allgemeines	5
3.2	Nahtquerschnitt	5
3.3	Zugänglichkeit	6
3.4	Prüfbarkeit	7
3.5	Kerben	8
3.6	Eigenspannungen	10
3.7	Wirtschaftlichkeit	12
3.8	Fertigungsmöglichkeit	13
3.9	Klassifizierbarkeit	14
3.10	Prozesssicherheit	15
3.11	Sonstige	15
4.	Zusammenfassung	17
5.	Literaturhinweise und Quellen	18
5.1	Normen und Regelwerke	18
5.2	Fachliteratur	18

1. Einleitung

Unter „Konstruieren“ wird im folgenden die Detailausbildung an Stahlbauteilen verstanden.

Konstruieren wird selten in den üblichen Ausbildungsstätten gelehrt.

- An der Universität z.B. kaum, auch in der Vorlesung „Schweißtechnik“ von Prof. Saal (Universität Karlsruhe) oder an der FH Karlsruhe bei Prof. Baumann kann aufgrund vieler wichtiger anderer Schwerpunkte nur verhältnismäßig wenig davon vermittelt werden.
- Stahlbauhandbuch, Kapitel Schweißtechnik [13]:
„Empfehlungen zur konstruktiven Gestaltung müssen sich auf die notwendigsten Hinweise beschränken“
- Auch in den Meister und Technikerschulen geht man offensichtlich davon aus, daß die Leute das aus der betrieblichen Erfahrung mitbringen.

Der Grund liegt wahrscheinlich darin, daß gutes Konstruieren nur schwer in Regeln zu fassen ist.

Typische Konstrukteurskarrieren sind: Lehre als technischer Zeichner, dann lange im Betrieb, dann Technikerschule ...

2. Bedeutung der Konstruktion

Die Konstruktion entscheidet über die Festigkeit und die Steifigkeit eines Bauteils, aber ebenso über Eigenspannungen und Kerben, somit über die Tragsicherheit des Bauteils.

Die Konstruktion entscheidet über die Fertigungsmöglichkeiten, d.h. z.B. Art und Anzahl der Fertigungsschritte, somit über die Wirtschaftlichkeit eines Bauteils.

Die beste Schweißnaht ist die Schweißnaht, die vermieden wurde.

Wer hat die Verantwortung?

- der Leiter des Technischen Büros?
- nach DIN EN 719 (neu DIN EN ISO 14731) hängt die Schweißaufsicht immer mit drin – ob diese Verantwortung aber bei den heutigen Personalstrukturen in den Betrieben und bei den terminlichen Auftragsabläufen realistisch wahrgenommen werden kann, ist eine andere Frage

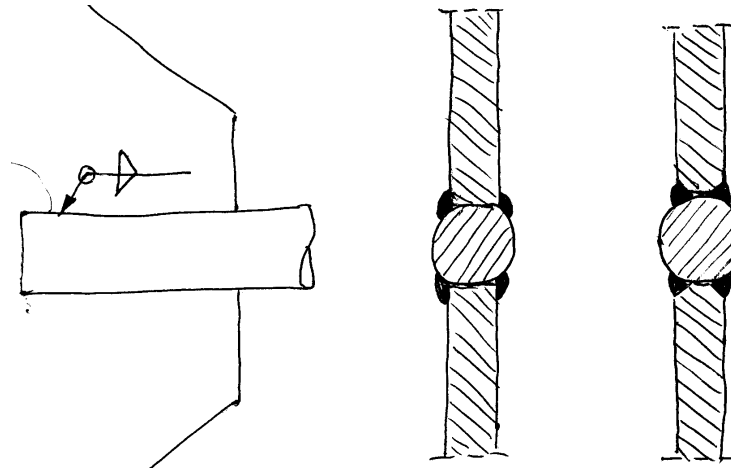
3. Kriterien

3.1 Allgemeines

Kriterien für schweißgerechtes Konstruieren werden nachfolgend in willkürlicher Reihenfolge aufgelistet und erläutert. Konflikte mit anderen Kriterien werden dabei nicht bewertet.

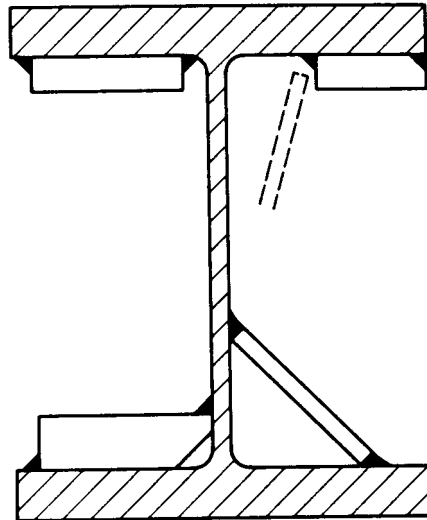
3.2 Nahtquerschnitt

Der Statiker schreibt z.B. am Anschluß einer Rund-Diagonale an einem Knotenblech „umlaufende Doppelkehlnaht a = 4“ vor. Seine Skizze ist links wiedergegeben.



Der zulässige Spalt unter Kehlnähten beträgt nach DIN EN ISO 5817: 2 mm.

3.3 Zugänglichkeit

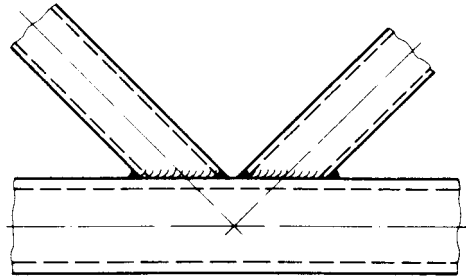


Grundsätzlich gilt:

- Ausreichend Raum lassen für Brenner- bzw. Elektrodenführung
- Kehlnähte müssen im richtigen Winkel bearbeitet werden können
- Ausreichend Raum lassen für den Schweißer

Daraus lassen sich Forderungen (oder Erfahrungswerte) ableiten für günstige konstruktive Details:

- Lasche an U-Profil: außen statt innen
- Eingestecktes Knotenblech in geschlitztes Rohr: HV-Naht einseitig statt hingefummelter Kehlnaht
- Diagonalen an Rohrstößen ggfs. auseinander rücken
(muß aber mit der Statik abgestimmt sein)



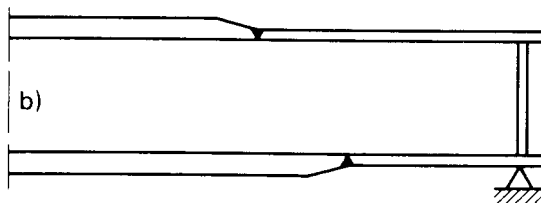
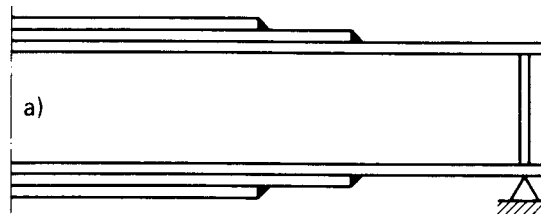
3.4 Prüfbarkeit

AD-HP1 „Auslegung und Gestaltung“ Abs. 2.9:

„Drucktragende Schweißnähte müssen wenigstens einmal im Zuge der Fertigung mit dem jeweils vorgesehenen zerstörungsfreien Prüfverfahren geprüft werden können. Bei der Gestaltung ist zu berücksichtigen, daß einseitig geschweißte Nähte schwierig zu beurteilen sein können.“

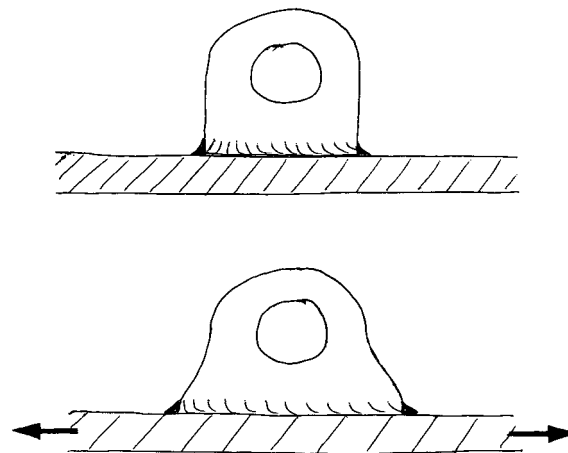
Daraus läßt sich eine Forderung für günstige Nahtanordnungen ableiten:

- Stumpfnähte statt Kehlnähte



- bei einspringenden Ecken und Ausklinkungen möglichst große Ausrundungsradien vorsehen
In DIN 18800-7:2002 ist für den bauaufsichtlich geregelten Bereich ein Ausrundungsradius von 8 mm verpflichtend vorgeschrieben. Bei vorwiegend ruhender Beanspruchung genügen 5 mm.

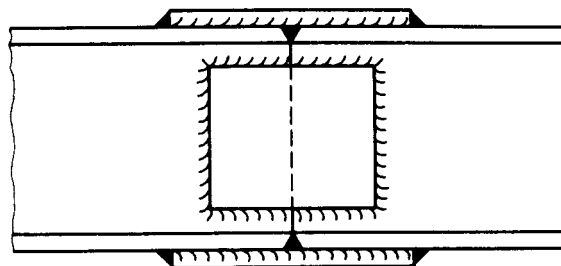
Vorsicht vor „nichttragenden“ Lasche oder sonstigen Anbauteilen:



Kerbfall K4 an „nichttragender Lasche“
(oben unverformter, unten verformter Zustand)

Diese müssen entweder in der Berechnung berücksichtigt sein, oder sorgfältig und geplant wieder entfernt werden, z.B. nach einem Schweißplan.

Keine Stumpfstoße an Walzprofilen mit „Angstlaschen“ – außer zusätzlichen Kerben gibt das auch noch unnötige Eigenspannungen.



3.6 Eigenspannungen

Als Eigenspannungen bezeichnet man Spannungen, die im Inneren eines Körpers vorhanden sind, ohne daß von außen eine Kraft einwirkt.

Karottenbeispiel:

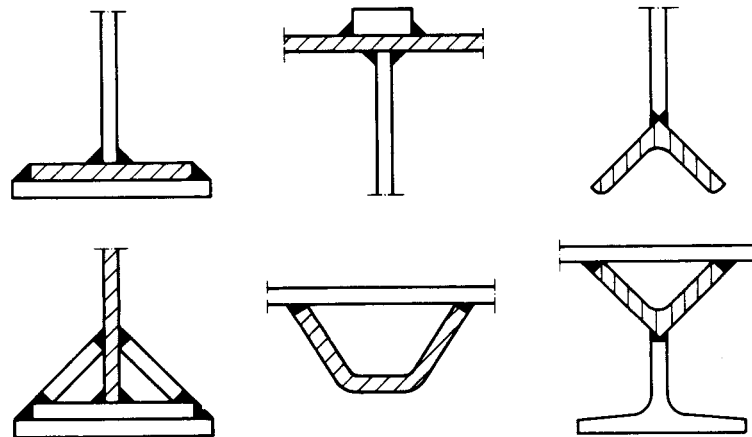
Die beiden Hälften einer frischen, längsgespaltenen Karotte biegen sich bananenförmig vom Schnitt weg nach außen. In der Karotte waren Eigenspannungen „eingefangen“, die durch das Trennen „befreit“ wurden.

Eigenspannungen entstehen z.B. beim

- Umformen (kalt Abkanten)
- Umwandeln von Austenit in Ferrit oder Martensit (z.B. beim Meißel-Härten)
- ungleichmäßigen Temperaturänderungen

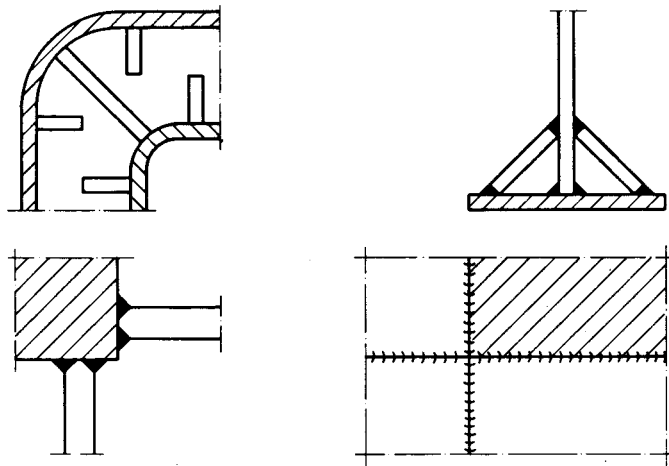
Beim Schweißen entstehen Eigenspannungen, wenn sich die erhitzten Bereiche des Werkstoffes beim Abkühlen nicht ungehindert verformen können. Je mehr ich an einem Bauteil „herumschweiße“, desto mehr Eigenspannungen erzeuge ich.

Spannungszustand: mittel



Auszug aus DAST-Ri 009 (1973)

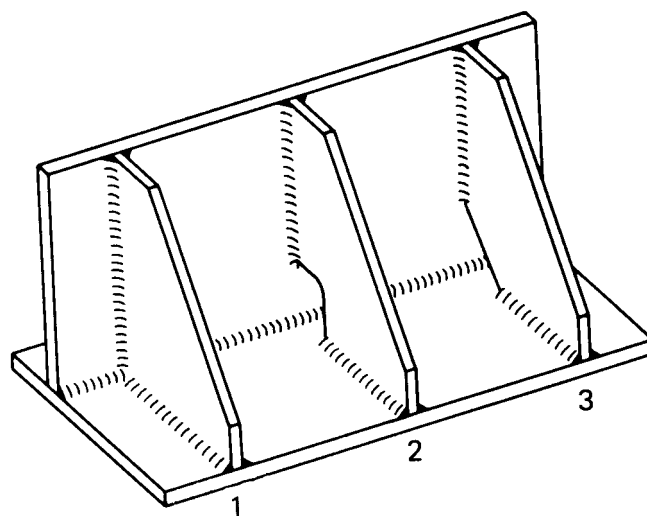
Spannungszustand: hoch



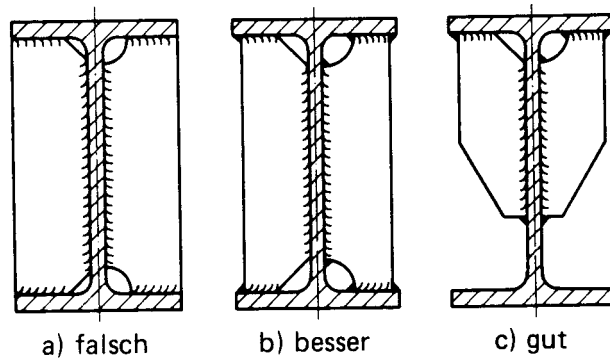
Auszug aus DAST-Ri 009 (1973)

Konstruktive Regel:

- „weich“ konstruieren, d.h. geringe Bauteildicken wählen, sparsam mit Rippen und Aussteifungen umgehen
- von innen nach außen fertigen
- Häufung von Schweißnähten vermeiden
- mehrlagige Nähte vermeiden



Rippe 1 hat die meisten Eigenspannungen aber die geringsten Kerben

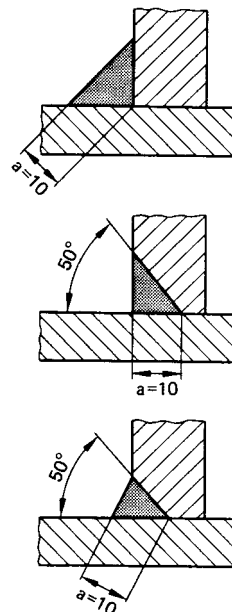


c) ist auch aus Gründen der Paßgenauigkeit besser, falls statisch möglich

3.7 Wirtschaftlichkeit

So verringert der Konstrukteur unmittelbar Fertigungskosten:

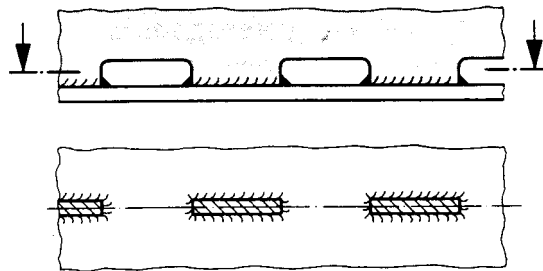
- Prozeßgerecht konstruieren (z.B. für UP-Schweißen)
- Zwangslagen bei der Fertigung vermeiden
- Kehlnähte statt Stumpfnähte (vermeiden von Fugenvorbereitung)
aber: versenkte, d.h. HV-Nähte sparen Schweißgut



Nahtvolumen von oben nach unten: 100 %, 60 %; 47 %,

bei jeweils gleicher rechnerischer Tragfähigkeit

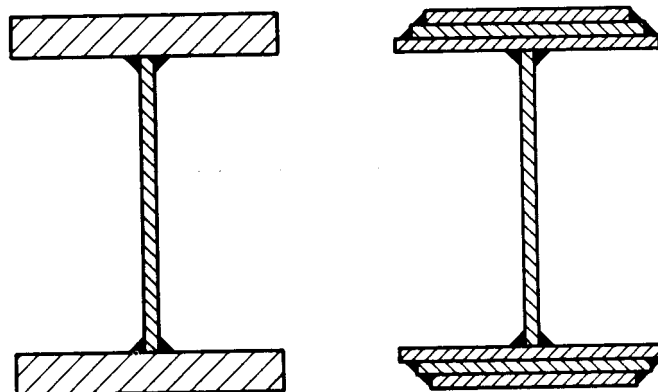
- X-Nähte statt V-Nähte bei Stumpfstoßen sparen ebenfalls Schweißgut
- Durchlaufende, vom Halbautomaten geschweißte Kehlnähte statt unterbrochene Kehlnähte



3.8 Fertigungsmöglichkeit

- Verfügbarkeit der Einrichtungen
(Wendemöglichkeit, Schweißverfahren)
- Fugenform abhängig vom Schweißverfahren
- Edelstahlverarbeitung:
ist Formieren möglich ?

Auflösen eines dicken Querschnittes in dünnere Einzellamellen, wenn man z.B. nur eine Herstellerqualifikation C hat (früher „kleiner Eignungsnachweis“)



Das hat aber noch andere Vorteile:

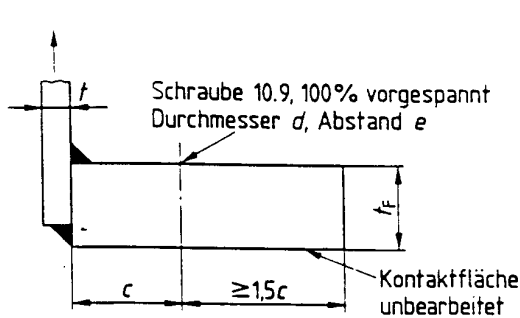
- Wegen der geringeren Bauteildicke ist die Sprödbruchgefahr geringer
- Kein Vorwärmen erforderlich
- Ein eventueller Dauerriß geht nur durch eine Lamelle, das Bauteil verliert dadurch nur wenig an Tragfähigkeit

3.9 Klassifizierbarkeit

Problemstellung aus dem Stahlschornsteinbau:

Anschluß des Tragmantels an den Fußflansch

Seite 22 DIN 4133



$$c \leq 2d$$

$$\frac{e}{d} \leq 2 \frac{d}{t} \leq 10$$

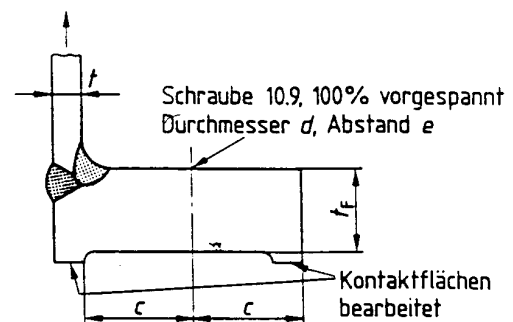
$$t_F \geq 1,5d \text{ jedoch } \min t_F = 4t \text{ für } r/t \leq 50$$

$$\min t_F = 3t \text{ für } r/t = 100$$

$$\min t_F = 2t \text{ für } r/t \geq 200$$

Zwischenwerte dürfen interpoliert werden.

Fall a) $\Delta\sigma_A = 45 \text{ N/mm}^2$



$$c \leq 2d$$

$$\frac{e}{d} \leq 2 \frac{d}{t} \leq 10$$

$$t_F \geq 1,25d \text{ für St 37}$$

$$t_F \geq 1,0d \text{ für St 52}$$

Fall b) $\Delta\sigma_A = 90 \text{ N/mm}^2$

Nach DIN 4133 sind nur zwei Formen einseitiger Fußflansche klassifiziert – beide werden in der Praxis selten gebaut.

Problemstellung aus dem Fahrzeugbau

Aussteifungsschott im Hohlkasten-Ausleger einer Betonpumpe. Der Hohlkasten besteht aus Gurtblechen 270x6 und Stegblechen 438x6, jeweils S690.



Aus DAST-Ri 011 Tabelle 3 – Kerbfall K3

Das Schott ist nur von einer Seite zugänglich, eine Doppelkehlnaht ist daher nicht möglich. Es wird eine HV-Naht geschweißt. Was ist das für ein Kerbfall?

3.10 Prozesssicherheit

Die Fehleranfälligkeit steigt bei Zwangspositionen oder schwer zugänglichen Nähten.

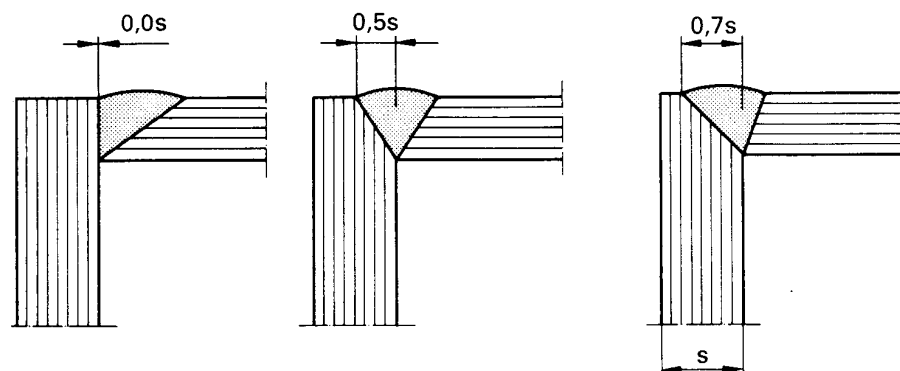
Die freudige Arbeitsmotivation des Schweißers nimmt deutlich ab bei Überkopffpositionen.

MAG-Nähte in Wannenlage zeigen relativ häufig Bindefehler durch Badvorlauf.

Fertigungsregel: Bauteile mit Wannenlage leicht bergauf legen.

3.11 Sonstige

- Vermeidung von Terrassenbruch (DAST-Ri 014)
Konstruktionsregel: Möglichst alle Fasern anschließen



Nachteil Bild rechts: falsche (senkrechte) Brennerführung führt zu Bindefehlern

- Vermeidung von Sprödbruch (DAST-Ri 009)
(siehe oben bei Eigenspannungen)

- Auswahl geeigneter schweißgeeigneter Werkstoffe

- Robotergerecht konstruieren
(die Teile müssen so konstruiert sein, daß an Spannvorrichtungen mit eindeutiger Lage der Teile verwenden kann)

- ...

4. Zusammenfassung

Bei den meisten Konstruktionsaufgaben stehen mindestens zwei der oben genannten Kriterien im Widerspruch. Daher geht es beim Konstruieren immer um Kompromisse. Beim heutigen Wettbewerbsdruck der Unternehmen und immer krasser werdenden Terminvorstellungen der Kunden wird das Ausbalancieren dieser Kompromisse zu einer ständigen Gratwanderung.

Ein guter Konstrukteur muß daher die oben genannten Kriterien und Regeln nicht nur ungefähr kennen, sondern er muß präzise abschätzen können, welche Folgen zu erwarten sind, wenn er diese Regeln verletzt.

Damit läßt sich ein Anforderungsprofil für einen Konstrukteur formulieren:

- gutes Verständnis für mechanische Zusammenhänge
- gutes Verständnis für das „Fließen“ der Kräfte im Bauteil
- gute Kenntnis der Fertigungsverfahren auch um die Schweißtechnik herum
- ein sicheres Gefühl für den erforderlichen Zeitaufwand bei den einzelnen Fertigungsschritten
- Verhandlungsgeschick, weil man dauernd mit dem Statiker auf der einen Seite und dem Fertigungsleiter auf der anderen Seite verhandeln muß, ob man das, was man sich so vorgestellt hat, auch so machen darf
- ...

5. Literaturhinweise und Quellen

5.1 Normen und Regelwerke

- [1] DIN EN 719: Schweißaufsicht – Aufgaben und Verantwortung. Deutsche Fassung EN 719:1994 August 1994. (siehe auch DIN EN ISO 14731)
- [2] DIN EN ISO 5817: 2003-12 Schweißen – Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) – Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten (ISO 5817:2003). Deutsche Fassung EN ISO 5817:2003.
- [3] E DIN EN ISO 14731: Schweißaufsicht – Aufgaben und Verantwortung. Mai 2005. (siehe auch DIN EN 719)
- [4] DIN 18800: Stahlbauten.
Teil 1: Bemessung und Konstruktion. November 1990.
Teil 7: Ausführung und Herstellerqualifikation. September 2002.
- [5] DASt Richtlinie 009: Stahlsortenauswahl für geschweißte Stahlbauten. Januar 2005.
- [6] DASt Richtlinie 009: Empfehlungen zur Wahl der Stahlgütegruppe für geschweißte Stahlbauten. April 1973.
- [7] DASt Richtlinie 011: Hochfeste schweißgeeignete Feinkornbaustähle mit Mindeststreckgrenzenwerten von 460 und 690 N/mm² – Anwendung für Stahlbauten (02/88)
- [8] DASt Richtlinie 014: Empfehlungen zum Vermeiden von Terrassenbrüchen in geschweißten Konstruktionen aus Baustahl. (01/81)
- [9] VdTÜV Verband der Technischen Überwachungs-Vereine e.V. (Hrsg):
AD-Merkblätter, Taschenbuch-Ausgabe 2002. Stand Mai 2002. Heymanns Verlag, Köln / Beuth Verlag, Berlin.
- [10] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6: Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, 05.12.03. Geltungsdauer bis 31.12.2008.

5.2 Fachliteratur

- [11] Hofmann, H.-G., Mortell, J.-W., Sahmel, P., Veit, H.-J.: Grundlagen der Gestaltung geschweißter Stahlkonstruktionen. Fachbuchreihe Schweißtechnik Band 12, DVS-Verlag, Düsseldorf, 10. Auflage 2005.
- [12] Malisius, R.: Schrumpfungen, Spannungen und Risse beim Schweißen. Reprint der 4., überarbeiteten und erweiterten Auflage von 1977 aus der Fachbuchreihe Schweißtechnik Band 10. DVS-Verlag, Düsseldorf, 2002.
- [13] Mang, F., Knödel, P.: Schweißen und Schweißverbindungen. Abschnitt 10.3 in: Stahlbau Handbuch - Für Studium und Praxis. 3. Auflage, Band 1 Teil A, Stahlbau-Verlags-GmbH, Köln 1993. S. 577-612.

- [14] Mang, F., Knödel, P.: Neuere Erkenntnisse zum Entwurf und zur Qualitätssicherung bei Stahlschornsteinen. Tagungsbericht 20, Freudenstadt 1993, Landesvereinigung der Prüfingenieure für Baustatik Baden-Württemberg e.V., S. 65-97.
- [15] Neumann, A. (Hrsg.): Schweißtechnisches Handbuch für Konstrukteure. Teil 1: Grundlagen, Tragfähigkeit, Gestaltung. Fachbuchreihe Schweißtechnik Band 80/I, 7. Auflage, DVS-Verlag, Düsseldorf 1996.
- [16] Neumann, A.: Schweißtechnisches Handbuch für Konstrukteure. Teil 2: Stahl-, Kessel- und Rohrleitungsbau. Fachbuchreihe Schweißtechnik Band 80/II, DVS-Verlag, Düsseldorf 1987.
- [17] Neumann, A.: Schweißtechnisches Handbuch für Konstrukteure. Teil 3: Maschinen- und Fahrzeugbau. Fachbuchreihe Schweißtechnik Band 80/III, 5. Auflage, DVS-Verlag, Düsseldorf 1998.
- [18] Neumann, A., Hobbacher, A.: Schweißtechnisches Handbuch für Konstrukteure. Teil 4: Geschweißte Aluminiumkonstruktionen. Fachbuchreihe Schweißtechnik Band 80/IV, DVS-Verlag, Düsseldorf 1993.
- [19] Neumann, A., Neuhoff, R.: Kompendium der Schweißtechnik Band 4: Berechnung und Gestaltung von Schweißkonstruktionen. Fachbuchreihe Schweißtechnik Band 128/4, 2. Auflage, DVS-Verlag, Düsseldorf 2002.
- [20] Petersen, Chr.: Stahlbau, 3. überarbeitete und erweiterte Auflage, 2. durchgesehener Nachdruck. Vieweg, Braunschweig 1997.
- [21] Radaj, D.: Ermüdungsfestigkeit. Grundlagen für Leichtbau, Maschinen- und Stahlbau. 2. Auflage. Springer Verlag Berlin 2003.
- [22] Steidl, G.: Guss im konstruktiven Ingenieurbau. DVS-Verlag, Düsseldorf 2006.