

Schadensfälle aus der Sicht eines Sachverständigen

Peter Gerster

GERSTER ENGINEERING CONSULTING Kapellenstraße 173 D-89584 Ehingen/Do.
Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Schweißtechnik und -schäden
Telefon: 07391/757621 Telefax: 07391/757617 E-Mail: gersterp@aol.com

1 Einleitung

Schadensfälle stellen einen erheblichen Verlust für die Wirtschaft dar. Die Ursachenfindung beziehungsweise –erforschung und die Mängelbeseitigung sind daher von großer Bedeutung.

Bereits in vielen Untersuchungen wurde festgestellt, dass die meisten Schadensfälle trotz Qualitätssicherungsmaßnahmen auf grobe Fehler bei der Planung, der Herstellung oder beim Betrieb von Maschinen und Anlagen zurückzuführen sind, wobei sowohl auf das konstruktive als auch fertigungstechnische Gebiet gleiche Fehleranteile entfallen. Auswertungen von Schadensfällen zeigen, dass Schäden häufig durch eine Überlagerung gleichzeitig vorhandener Mängel, bei der schweißgerechten Gestaltung, der fach- und qualitätsgerechten Fertigung, durch Abweichungen von planmäßigem Betrieb, durch Überlastungen und/oder durch menschliches Versagen ausgelöst werden.

Obwohl das technische Wissen über die von vielen Einflüssen geprägte Eigenschaft „*Tragfähigkeit*“ von geschweißten Metallkonstruktionen heute im wesentlichen als gesichert gilt, nehmen Schäden an geschweißten Konstruktionen in fast allen Anwendungsbereichen leider nicht ab. Die Ursachen dafür sind vielfältig.

Es nehmen Schäden zu, die vor allem durch ungenügende schweißtechnische Vorgaben der Konstruktion entstanden sind. Solche unzureichenden Vorgaben ziehen häufig eine mangelhafte Ausführung nach sich und grobe Missachtung technischer Regeln

An Beispielen aus der Praxis wird gezeigt, dass viele Schäden an Schweißkonstruktionen auf banale Ursachen zurückzuführen sind.

2 Schadensfälle

Aus einer Anzahl von mir untersuchten Schadensfällen möchte ich jedoch nur einige typische und wiederkehrende Fehler aufgreifen. Eine Analyse zeigt die häufigsten Fehler:

- Bindefehler (Flanken-, Lagen- und Wurzelbindefehler)
- schlechte Schweißnahtvorbereitung
- ungenügende Durchschweißung
- Ermüdungsrisse
- Konstruktive Fehler

Die häufigsten Ursachen waren:

- Handfertigkeitsfehler der Schweißer
- ungenügende Zeichnungsangaben
- konstruktive Ausführungsfehler

2.1 Schlechte Durchschweißung und Bindefehler an einem Fahrzeugrahmen

Vor allem bei einseitig zugänglichen geschweißten HV-Nähten stellt man immer wieder fest, dass an der Steifflanke aufgrund unsachgemäßer Brennerführung sehr gerne Flankenbindefehler auftreten. Außerdem kann man häufig feststellen, dass auch ungenügend durchgeschweißt wird.



Bild 1: fehlerhafte Schweißnaht

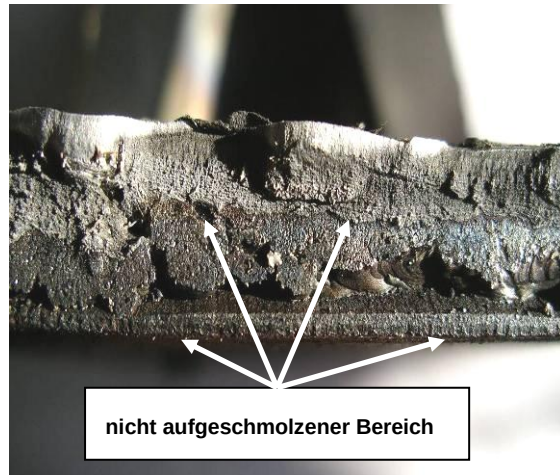
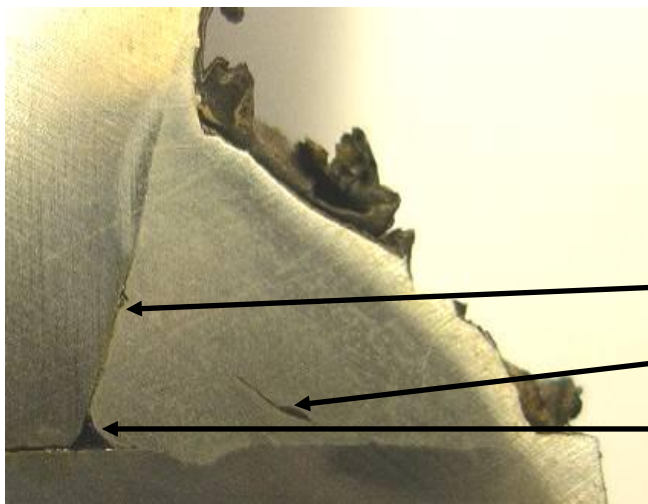


Bild 2: Bruchfläche der Schweißnaht

Bild 1 zeigt eine solche Schweißnaht an einem Fahrzeugrahmen mit ungenügender Durchschweißung und einem Flankenbindefehler an der Steifflanke. An der Bruchfläche im Bild 2 sieht man deutlich, dass nur ca. ein Drittel der Fläche aufgeschmolzen wurde. An dem Bruchstück ist sogar die Schweißkantenvorbereitung mit Steg von ca. 1 mm ist deutlich sichtbar.



Ein ähnlicher Fall ist im Bild 3 zu erkennen, wobei hier neben einer ungenügenden Aufschmelzung der Flanken auch ein großer Lagenbindefehler zum Versagen des Bauteiles innerhalb kurzer Betriebszeit führte.

Flankenbindefehler

Lagenbindefehler

Wurzelbindefehler

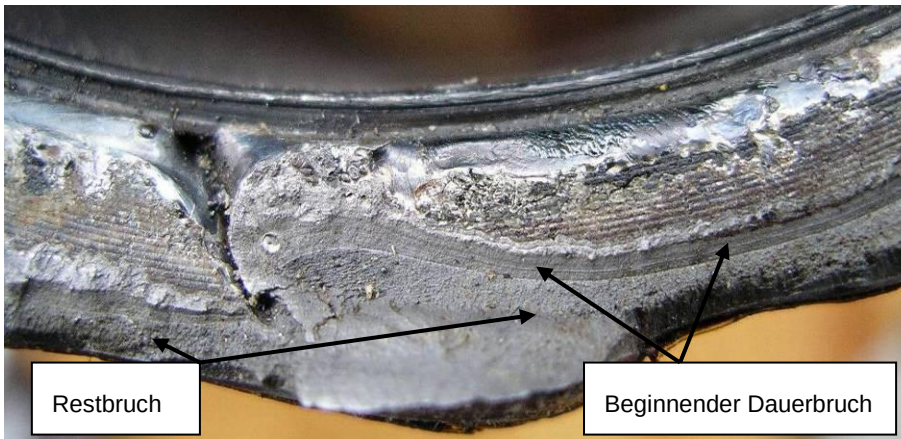
Bild 3: verschiedene Bindefehler

2.2 Versagen des Hydraulikzylinders an einem Kran

An einem Turmdrehkran ist der Ausleger aufgrund des Schweißnahtbruches eines Hydraulikzylinders abgeknickt. Die Bilder 4 und 5 zeigen den abgeknickten Ausleger mit dem abgerissenen Zylinderauge. Bild 8 zeigt die Drehriefen der Schweißnahtvorbereitung



Bild 4 und 5: abgeknickter Ausleger mit abgerissenem Zylinderauge



Bilder 6 und 7: Blick auf die rohrseitige Schweißnaht

Bild 8: Drehriefen

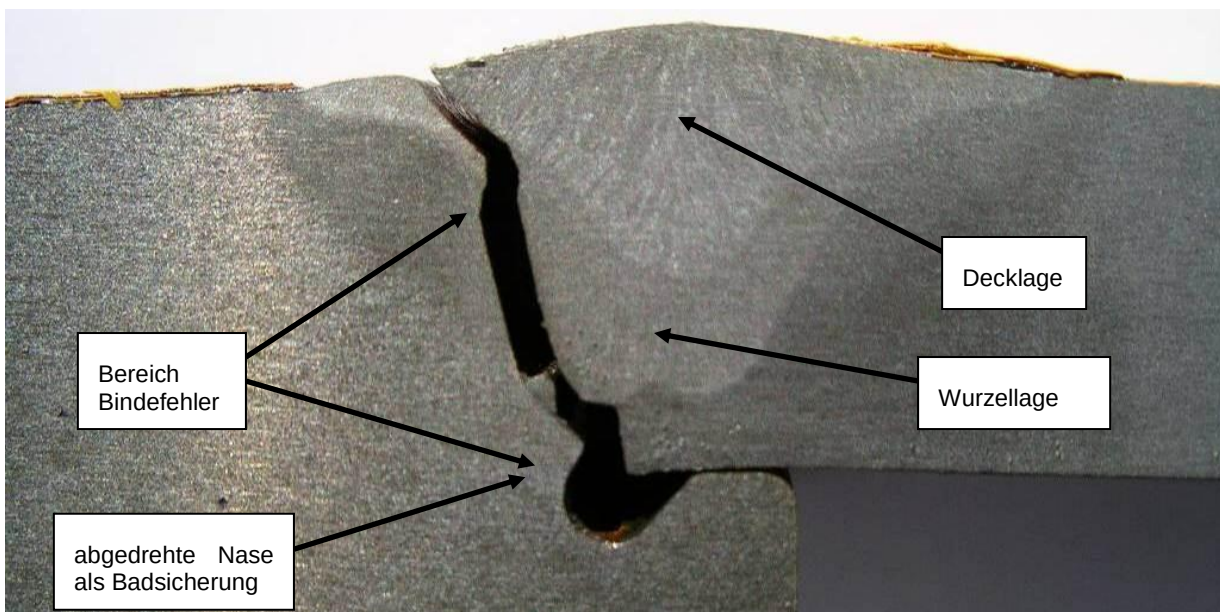


Bild 9: Schliffbild durch die Schweißverbindung (max. 20% der Flanke aufgeschmolzen)

am Zylinderauge. Diese Drehriefen sind auf der verbliebenen Schweißnaht rohrseitig deutlich zu erkennen (siehe auch Bilder 6 und 7). Im Bild 7 ist außerdem noch ein gravierender Ansatzfehler zu erkennen, da die Flanke ja größtenteils nicht angebunden ist, ist von innen ausgehend (am Ende des Bindefehlers) ein beginnender Dauerbruch festzustellen, ab dem dann der Restbruch nach außen hin zu erkennen ist.

2.3 Riss in einem Warmwasserboiler verursacht großen Wasserschaden

Ein Warmwasserboiler in einem Neubau wurde nach kurzer Zeit undicht und verursachte einen großen Wasserschaden im Haus. Bei näherer Überprüfung nach Entfernen der Isolierung zeigte sich ein ca. 100 mm langer Riss in der Längsschweißnaht des Behälters (siehe Bilder 10 und 11).

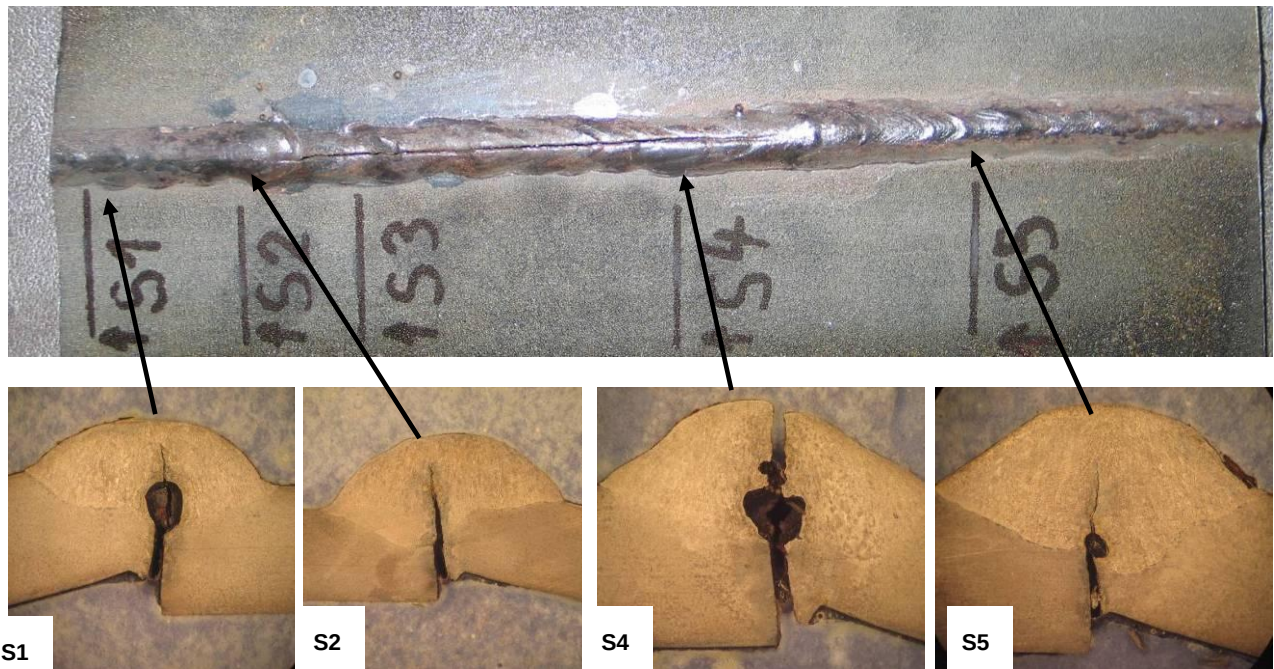


Bild 10: Längsschweißnaht mit Riss und den dazugehörigen Schliffbildern



Bild 11: Längsschweißnaht im Bereich S 3 auseinandergefallen

Im Bild 10 sind die Schliffbilder, die aus der Schweißnaht entnommen wurden hinsichtlich der Lage zugeordnet. Wie Sie aus den Bildern zu erkennen ist, war es unschwer eine Pore zu finden. Die Schweißnaht war fast auf der ganzen Länge porös und außerdem stark überhöht, die Blechdicke von 4 mm war nicht angefasst und somit die Naht nur obendrauf gesetzt. Die Blechdicke wurde nur bis maximal zur Hälfte erfasst und war auch noch versetzt. Durch die Betriebsbeanspruchung wurde der Behälter nach kurzer Einsatzdauer undicht.

2.5 Undichte Kühlergehäuse durch mangelhafte Zeichnungsangaben

Einen Gerichtstreit verursachten undichte Kühlergehäuse für Lokomotiven. Der Hersteller bezahlte die von einem Unterlieferanten gelieferten Kühlergehäuse wegen Qualitätsmängeln nicht. Bild 12 zeigt die betroffenen Kühlergehäuse und Bild 13 die Innenansicht der Vierkantrohre aus dem Werkstoff 1.4301. Im Bild 14 sind die verschiedenen Nahtausführungen aus den verschiedenen Positionen des Kühlers. Hierbei ist ersichtlich, dass keine Nahtvorbereitung durchgeführt wurde.



Bild 12: undichte Kühlergehäuse

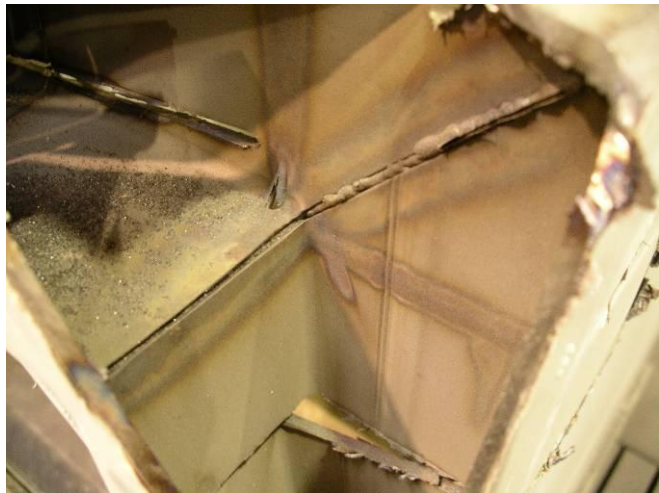


Bild 13: nicht durchgeschweißte Nähte

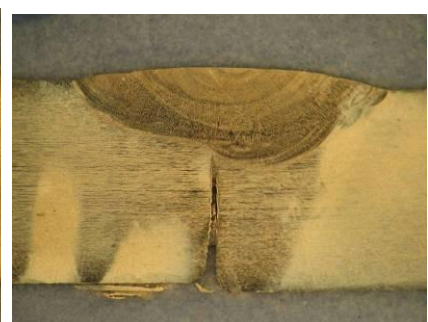
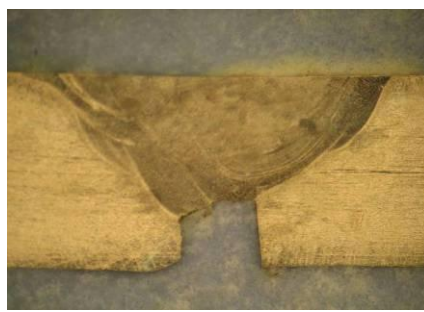


Bild 14: Schliffbilder aus verschiedenen Positionen

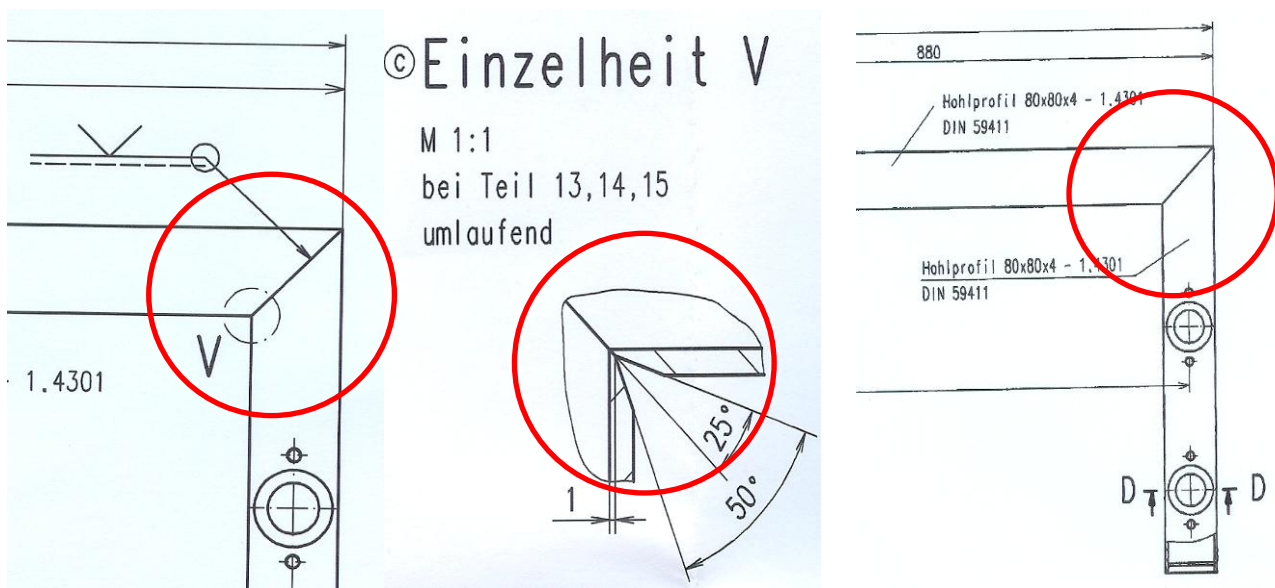


Bild 15: Zeichnung linke Seite mit exakten Vorgaben - rechte Seite ohne Angaben

chnitt E-E

M1:2

Trennwand direkt eingeschwefelt

10

4

18

3,2

0,1

↑ F

Ø80

Bild 16: Zeichnung mit exakten Vorgaben - rechte Seite ohne schweißtechnische Angaben

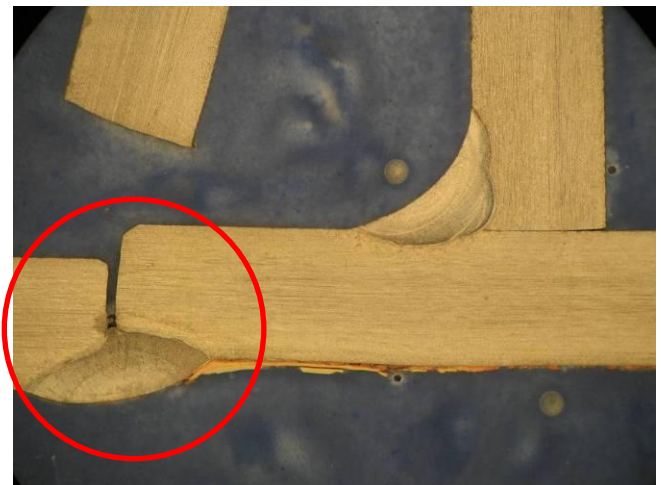


Bild 17: Ausgeführte Schweißung Vierkantrrohr – rechte Seite dazugehöriges Schliffbild

gen bezüglich der erforderlichen Schweißnahtangaben ergänzt. Die beanstandeten Kühlergehäuse konnten nicht eingesetzt werden.

2.6 Schaden an einer seitlichen Ladebordwand eines Getränkeaufbaues.



Bild 18: Aufgebrochene Ladebordwand



Bild 19: abgebrochenes Zylinderauge



Bild 20: Schweißnaht am Zylinderauge

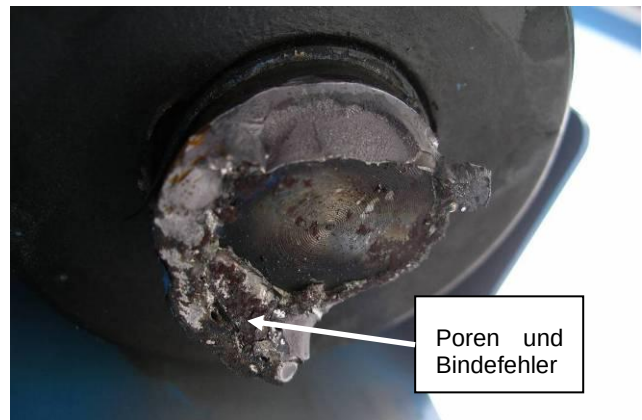


Bild 21: Schweißnaht an der Kolbenstange

Bei der Fahrt in eine Kurve wurde die Ladebordwand durch die starke Belastung der Getränkekisten aufgedrückt und der LKW somit unfreiwillig entladen (Bild 18). In diesem Fall kamen auch mehrere Mängel zusammen die zu diesem Schadensfall an drei Fahrzeugen führte. Bild 20 zeigt die mangelhafte Schweißnaht, die auf Rost und Zunder mit starken Bindefehlern und Poren ausgeführt war. Diese seitliche Ladebordwand war für eine Tonne Belastung mit Getränkekisten inkl. Bedienungsmann ausgelegt. Laut Hersteller war die Haltekraft der beiden Verstell- und Haltezyylinder der Bordwand auch bei guter Schweißung nicht so ausgelegt, dass diese die Bordwand bei Straßenfahrt alleine halten, deshalb wurde für den Fahrbetrieb auch noch zusätzliche Verriegelungen angebracht (siehe Bilder 18 und 19). Diese Konstruktion war jedoch nicht durchdacht, die Verriegelungsbleche waren viel zu schmal. Durch die Durchbiegung der Ladebordwand bei seitlicher Belastung (Kurvenfahrt) war die Überdeckung der Laschen zu gering, bzw. gar nicht mehr vorhanden. Somit war die Verriegelung praktisch wirkungslos. An allen Fahrzeugen wurde nach

der konstruktiven Verbesserung aus Sicherheitsgründen noch eine zusätzliche 2. Verriegelung eingebaut.

2.7 Bruch eines Teleskopauslegers (Ermüdungsschaden)

Einen anderen Schadensfall zeigen die nachfolgenden Bilder. Hierbei handelt es sich um den Bruch eines Teleskopauslegers, der aufgrund von Überlastungen und hohen Lastspielzahlen entstanden ist. Bild 22 zeigt einen Teleskopausleger, der aufgrund zu hoher Lastspiele durch falschen Einsatz abgebrochen ist.



Bild 22: abgebr. Ausleger mit Dauerbrüchen an den Enden der Versteifungsbleche

Ausgehend von den Quernähten an aufgeschweißten Verstärkungsblechen bildeten sich dort im Übergangsbereich Anrisse, die nach einer gewissen Zeit die gesamte Blechdicke erfassten.



Bild 23: Anrisse an Quernähten der aufgeschweißten Verstärkungslaschen

**Bild 24:** Schliff S 1 aus Bild 23**Bild 25:** Schliff S 2 aus Bild 23**Bild 26:** Typischer Dauerbruch im Auslauf der Quer-Schweißnaht

An allen auf dem Auslegerobergurt aufgeschweißten Versteifungsblechen sind die quer zur Belastungsrichtung ausgeführten Schweißnähte mehr oder weniger stark eingerissen, bzw. bereits bis in das Grundmaterial durchgerissen (siehe Bilder 23-26). Im Bild 26 sind deutlich die Rastlinien des Dauerbruches zu erkennen. Es war also nur eine Frage der Zeit bis der Ausleger aufgrund des geringeren Restquerschnittes auch bei einer zulässigen Last abgerissen ist.

Auch bei diesem Schadensfall kommen mehrere ungünstige Faktoren zusammen:

1. Konstruktiv sollte man Quernähte ohne Nachbehandlung im hochbeanspruchten Zugbereich vermeiden
2. Der Autokran wurde im Hafenbereich als Umschlagkran eingesetzt, für dieses Lastkollektiv ist dieser Krantyp nicht ausgelegt.

2.8 Ausbrechen eines Haltewinkels an einem Stepper (Ermüdungsschaden)

**Bild 27:** ausgerissener Haltewinkel**Bild 28:** fast ausgerissener Haltewinkel



Bild 29: Zugzone keine Naht **Bild 30:** mittige Anordnung **Bild 31:** Dauerbruch

Wie aus den Bildern 27 und 28 ersichtlich, ist an einem Sportgerät (Stepper) auf einer Seite der Befestigungswinkel bereits ausgerissen, an der anderen Seite fast ausgerissen. Bei diesem Schaden ist eine Person durch unglücklichen Sturz verletzt worden.

Auch bei diesem Fall handelt sich es um einen Ermüdungsschaden, der auf ungünstige Schweißnahtanordnung und falscher Position des Winkels auf dem Vierkantrohr zurückzuführen ist.

Im Bild 29 ist erkennbar, dass im Zugbereich keine Schweißnaht vorhanden ist und es dadurch an den beiden Ecken zu sehr hohen Spannungsspitzen (Pfeile) kommt. An diesen Ecken (Schweißnahtausläufe) begann auch der Dauerbruch. Beschleunigt wurde der Dauerbruch auch durch die mittige Anordnung des Haltewinkels aufgrund der Membranwirkung auf dem Vierkantrohr (Wanddicke 1,25 mm).

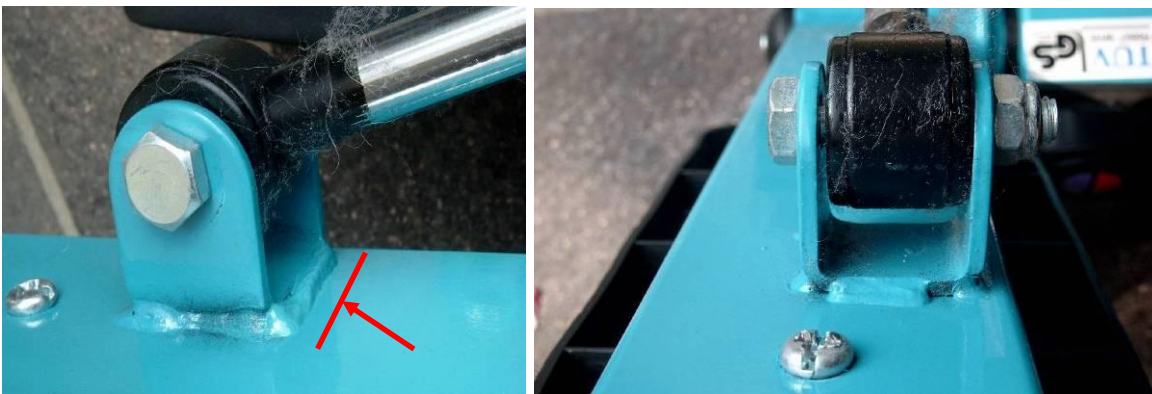


Bild 32: Zugzone mit Schweißnaht **Bild 33:** außermittige Anordnung

Bei einem Wettbewerbsfabrikat wurde durch die zusätzliche Schweißnaht im Zugbereich die Spannung herabgesetzt (Bild 32) und durch die seitliche Anordnung des Winkels konnte die Kraft direkt in den Steg eingeleitet werden.

2.9 Abgestürzter Teleskopausleger eines Mobilkranes (Ermüdungsschaden)

Beim Einsatz des Kranes ist der Ausleger eines Mobilkranes auf das Hausdach gestürzt und hat einen auf dem Dach befindlichen Mann tödlich verletzt (Bild 34). Eine nähere Untersuchung ergab, dass als Hauptursache der Bruch des Bolzens für die Lagerung des Wippzylinders den Schaden auslöste. Genau in der Mitte des Bolzens (höchstes Biegemoment) befindet sich die Schmierbohrung, die auch noch unsachgemäß eingebracht wurde (Bild 38). An den starken Bohrriefen begann dann auch der Dauerbruch.



Bild 34: auf Hausdach gestürzter Ausleger



Bild 35: Anlenkung Wippzylinder



Bild 36: Bolzenlagerung



Bild 37: abgerissener Bolzen

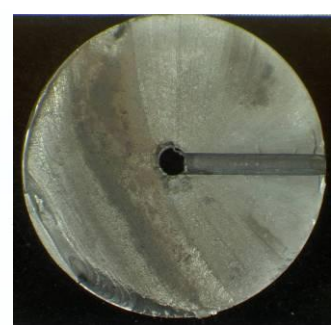


Bild 38: Dauerbruch



Bild 39: gerissene Konsole

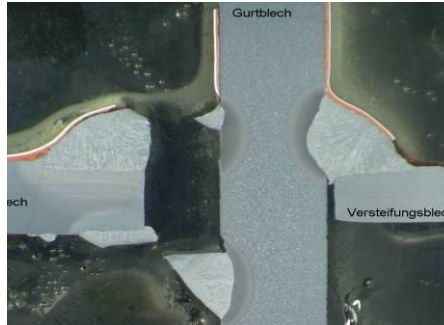


Bild 40: Schliffbild S 2

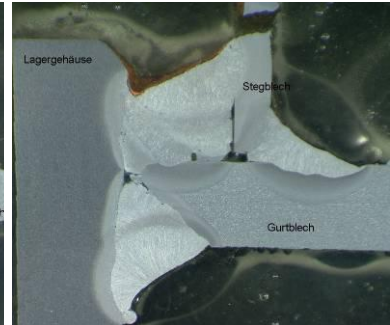


Bild 41: Schliffbild S 3

Bei Belastung ist dann der bereits abgebrochene Bolzen herausgedrückt worden. Als Folge davon wurde auch die Konsole (Bild 39) aufgerissen. Dabei zeigten sich auch mangelhafte Schweißnähte (Bild 41), die aber nicht den Schaden ausgelöst haben.

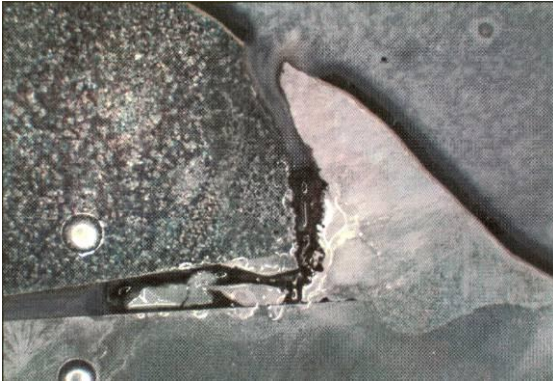
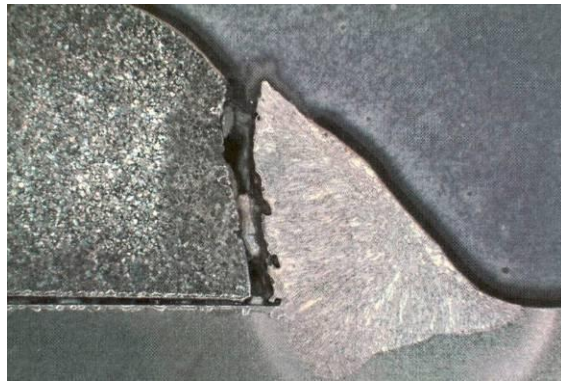
2.10 Schaden an einem Raupenfahrzeug durch unsachgemäßen Werkstoffeinsatz



Bild 42: Führungsbuchse - weißer Temperguss



Bild 43: gerissene Schweißverbindung

**Bild 44:** Makroschliff Stelle 4.1**Bild 45:** Makroschliff Stelle 4.2

Bei diesem Schadensfall handelt es sich um das Fahrwerk eines Raupenfahrzeuges. Die Achsträger am Rahmen bestehen aus den eingeschweißten Führungsbuchsen in denen wiederum das Achsrohr aus dem Werkstoff S 500 eingeschweißt wurde. Die Führungsbuchse bestand aus dem Weißen Temperguss EN-GJMW-360-12 (GTW S 38-12). Bei diesem handelt es sich um einen gut schweißbaren Temperguss, er wird normalerweise besonders stark entkohlend geglüht. Durch diesen Glühprozess erhält das Werkstück je nach Glühdauer eine sogenannte Speckschicht von ca. 1-2 mm in der Randzone. Dieses ferritische Gefüge lässt sich dann auch gut schweißen.

In unserem Fall wurde die Führungsbuchse aber noch mechanisch bearbeitet (siehe Bild 42), so dass gerade im Schweißbereich die Speckschicht vollkommen abgedreht war. Die Makroschliffe in den Bildern 44 und 45 zeigen, dass in der Schmelzlinie sich bereits freie Temperkohle befindet und das Grundgefüge fast ausschließlich perlitisch war. Dadurch wurden Aufhärtungen bis fast 600 HV erreicht und im Bereich der Temperkohle kam keine Verbindung zustande.

3. Wie lässt sich die gegenwärtige Situation beschreiben?

Noch nie war das Wissen zur Berechnung, Gestaltung und Schweißbarkeit der Werkstoffe so umfassend verfügbar wie heute. Dennoch ist die Anzahl der an den Forschungs- und Bildungseinrichtungen und anderen Institutionen jährlich zu beurteilenden Schadensfälle erschreckend hoch. Der Wirtschaft entstehen erhebliche Kosten für die Schadensbehebung und Schadensregulierung. Damit drängen sich die Fragen auf:

- Sind Schadensfälle überhaupt vermeidbar?
- Wo werden die meisten Fehler begangen, die zu Schäden führen?
- Wer sind die Hauptverursacher?
- Was kann man dagegen tun?
- Wer könnte und sollte etwas dagegen tun

Wie die ausgewählten Schadensfälle zeigen, sind aus meiner Sicht neben den Handfertigkeitsfehler der Schweißer häufig die unzureichenden Vorgaben in den Konstruktionszeichnungen die Ursache. In vielen meiner untersuchten Schadensfälle findet man in den Stahlbauzeichnungen keinerlei Angabe über Schweißnahtvorbereitung, Schweißnahtausführung, Kehlnahtdicke, Toleranzangaben, usw.

Daher ist es umso wichtiger je mehr man Stahlbauarbeiten, vor allem ins Ausland an Unterlieferanten vergibt, exakte Vorgaben zu machen.

Um zukünftig solche Schadensfälle möglichst zu vermeiden, sollten aufgrund meiner gemachten Erfahrungen, folgende Mindestangaben auf jeder Stahlbauzeichnung festgeschrieben sein:

- Schweißnahtausführung, -länge, Kehlnahtdicke, Schweißnahtvorbereitung
- Schweißen gemäß innerbetrieblicher Schweißrichtlinie Betriebsnorm
- Schweißnahtqualität DIN EN ISO 5817 C, sofern nichts anderes angegeben
- Brennschnittgüte nach DIN EN ISO 9013 – 332
- Freimaßtoleranzen für Schweißkonstruktionen DIN EN ISO 13920 BF
- Zerstörungsfreie Prüfung nach Betriebsnorm

4. Zusammenfassung

Schadensfälle können zur technischen Weiterentwicklung beitragen. Viele Schäden an Schweißkonstruktionen sind jedoch meistens auf banale Ursachen zurückzuführen, wie an Beispielen gezeigt wurde und wären vermeidbar gewesen. Es nehmen Schäden zu, die vor allem durch ungenügende schweißtechnische Vorgaben der Konstruktionszeichnung entstanden sind. Solche unzureichende Vorgaben ziehen häufig eine mangelhafte Ausführung nach sich. Die Handfertigkeitsfehler (vorwiegend Bindefehler und ungenügende Durchschweißung) der Schweißer sind durch weitergehende Qualifizierungsmaßnahmen und Schulungen zu minimieren. Fast die Hälfte der untersuchten Schadensfälle waren Ermüdungsschäden, die durch konstruktive Maßnahmen und/oder Nachbehandlungen von Schweißnähten minimiert werden können.