

Dauerfestigkeit von Schweißverbindungen nach Überschweißung der Feuerverzinkung

Von Ch. Petersen, München

Bericht Nr. 74 des Gemeinschaftsausschusses Verzinken e. V.

Dauerfestigkeit von Schweißverbindungen nach Überschweißung der Feuerverzinkung

von Ch. Petersen, München

1. Einleitung

Beim Feuerverzinken werden die Stahlteile nach gehöriger Vorbehandlung (üblicherweise Beizen, Spülen, Fluxen und Trocknen) in ein Zinkbad getaucht. Dabei wird das Verzinkungsgut auf ca. 450 °C bis 460 °C erwärmt. Abhängig von der Stahllegierung, Bauteildicke und Tauchzeit bilden sich Eisen-Zink-Legierungsschichten (Hartzinkschichten) unterschiedlicher Zusammensetzung und Dicke. Beim Ausziehen der Teile aus dem Zinkbad wird Zinkschmelze mitgerissen, die über den Legierungsschichten zu einer Reinzinkschicht führt. Bei Bewitterung bilden sich im Laufe der Standzeit schützende Deckschichten, die — abhängig von der Aggressivität der Atmosphäre — mehr oder weniger schnell abgetragen werden. Durch das darunter befindliche Zinkangebot werden die Schutzschichten ständig neu gebildet.

Die Feuerverzinkung bietet eine langwährende Schutzdauer; sie kann durch zusätzliche Beschichtungen (Duplex-System) weiter erhöht werden [1], [2].

Es bietet sich an, Stahlbrücken mit einer Feuerverzinkung auszuführen, unterliegen doch Brücken im allgemeinen in viel stärkerem Maße Korrosionseinwirkungen als Konstruktionen des Hochbaues [14]. Dabei ist nicht nur an Fußgänger- und Straßenbrücken gedacht, sondern auch an Eisenbahnbrücken und Hofkranbahnen.

2. Feuerverzinken von fertigen Schweißkonstruktionen

Um die Feuerverzinkung bei dynamisch beanspruchten Stahlkonstruktionen einsetzen zu können, ist zunächst zu prüfen, ob die Dauerfestigkeit des Grundmaterials und der Schweißverbindungen durch das Verzinken gegenüber unverzinktem Stahl abgemindert wird. (Die statischen Festigkeitseigenschaften des Grundmaterials und der Schweißverbindungen werden bei allen Stahlgüten nicht beeinträchtigt, das gilt im wesentlichen auch für die Zähigkeit [3] bis [7].)

In dem zurückliegenden Jahrzehnt wurden von verschiedener Seite Versuche zur Dauerfestigkeitsfrage angestellt, in Deutschland vor allem durch [4]. In den Tabellen 1 und 2 sind die wichtigsten Versuchsergebnisse an Prüfkörpern aus St 37, St 52 und StE 70 zusammengestellt, wobei in allen Fällen die Wöhler-Versuche auf einheitlicher Grundlage nochmals statistisch ausgewertet wurden: Es wurde eine Regressionsanalyse der logarithmisierten Spannungswerte und Lastwechselzahlen durchgeführt und Durchläufer mit deren maximaler Lastwechselzahl in die Analyse einbezogen. Die in den Tabellen angegebenen Dauerfestigkeitswerte σ_D sind die $P_{10} = 50\%$ -Fraktilen bei $N_D = 2 \cdot 10^6$ Lastwechseln. Die in Deutschland durchgeführten Versuche [4], [8], [9] lassen keinen signifikanten Einfluß der Feuerverzinkung auf die Dauerfestigkeit des

Grundmaterials und der wichtigsten Schweißverbindungen (Kerbfall Linie B bis F — DV 848) der Stahlgüten St 37, St 52 und StE 70 erkennen. Auch 1974 bekannt gewordene ausländische Versuche an Prüfkörpern mit aufgeschweißten Querblechen zeigen keinen Abfall [10]. Dagegen zeigen amerikanische und schwedische Versuche, die 1975 veröffentlicht wurden, sowohl für das Grundmaterial (St 42-45) als auch für Stumpfnähte in V- und X-Form einen unterschiedlichen Abfall auf 90–60% [11], [12]. Die letztgenannten Versuche sind in den Übersichtstabellen 1 und 2 enthalten. Aufgrund dieser Ergebnisse ist die in [13] geäußerte optimistische Aussage zu revidieren. Weitere Dauerfestigkeitsversuche — zweckmäßig an kerbfreiem Grundmaterial — sind erforderlich.

Tabelle 1. Gegenüberstellung der Dauerfestigkeitswerte für unverzinktes und verzinktes Grundmaterial

Prüfkörper (Maßstab unterschiedlich)	Art der Beanspruchung	Stahlgüte	Probenanzahl	Dauerfestigkeit σ_D in N/mm^2 für $N = 2 \cdot 10^6$		Bemerkungen	Quelle	
				Walzverzinzt	gebeltzt			
	Biegeversuche: $\alpha = -1$	37	7	215		MRR St 37, s = 12 mm	[4]	
			11	230				[5]
			8	209			[8]	
			8	214				
			7	218				
			11	240				
		52	18	229			s = 6,7 mm	[8]
			18	217				
			16	239			s = 12 mm	
			16	256				
			13	260			s = 6,7 mm	
			11	267				
	Zug - Schweißversuch: $\alpha = 0$	50 bis 65		gebeltzt	verzinkt	σ_g	σ_s	Konstante Unter- spannung $\sigma_g = 6 N/mm^2$; Hochfrequenzpulver 150 KHz
			11	180	150	510	378	
			9	178	153	502	372	
			10	168	145	472	284	
			8	168	145	472	284	
			9	173	145	472	284	
			12	129	129	532	340	
			14	188	142	651	568	
			16	196	142	577	437	
			8	196	142	577	437	
			12	142	142	577	437	
				Schweißversuch: $\alpha = 0.1$	= 45	18	340	
16	315					sandgestrahlt		
16	315					gebeltzt		
16	315					gebeltzt		
16	245					feuerverzinkt		
16	265					sandgestrahlt und verzinkt		

Tabelle 2. Gegenüberstellung der Dauerfestigkeitswerte für unverzinkte und verzinkte Schweißverbindungen

Prüfkörperform - Kerbfall (Maßstab unterschiedlich)	Art der Beanspruchung	Stahlgüte	Dauerfestigkeit σ_D in N/mm^2 für $N = 2 \cdot 10^6$		Bemerkungen	Quelle
			Probenanzahl	Walzhaut verzinkt		
	Zug - Druck - Wechsellastversuch: $x = -1$	37	8	68	TU St 37	σ_D bezogen auf den Grundquerschnitt 12·35
			5	94	MR St 37	
	Zug - Druck - Wechsellastversuch: $x = -1$	52	10	43		σ_D bezogen auf den Grundquerschnitt 12·60
			7	45		
	Zug - Druck - Wechsellastversuch: $x = -1$	70	8	50		
			9	50		
	Zug - Druck - Wechsellastversuch: $x = -1$	37	7	51		σ_D bezogen auf den Grundquerschnitt 12·40
			6	67		
	Wechsellastversuch: $x = -1$	37	7	72		σ_D bezogen auf den Grundquerschnitt 14·70
			3	65		
	Wechsellastversuch: $x = -1$	52	11	90		
			7	90		
	Wechsellastversuch: $x = -1$	70	6	95		
			8	98		
	Schweißversuch: $x = 0$	=52	8	127		Stahl: ASTM A 572 - 60
			9	128		
	Wechsellastversuch: $x = -1$	37	5	130		
			10	168		
	Schweißversuch: $x = 0$	=42	10	128		Stahl: NF 35-501 A 42-2
			10	121		
	Schweißversuch: $x = 0$	=45	16	245		Walzhaut sandgestrahlt feuerverzinkt
			16	260		
	Schweißversuch: $x = 0$	=45	16	300		Sondergüte
			16	280		
					Konstante Unter- spannung $\sigma_n = 30N/mm^2$	

auszuschließen: Insbesondere bei ungünstiger Schweißfolge oder/und Kaltverformung nach dem Schweißen (unsymmetrische Querschnitts- und Materialverteilung) ist mit mehr oder weniger hohen Eigenspannungen und dadurch mit einer Erhöhung des Lötrissigkeitseinflusses zu rechnen. Auch können sich beim Erkalten des Großbauteiles höhere Eigenspannungen einstellen. Vorgenannte Aspekte bedürfen noch einer wissenschaftlichen Klärung.

Andererseits wird die Dauerfestigkeit feuerverzinkter Bauteile (z. B. Brücken) dadurch positiv beeinflusst, daß — auf die Lebensdauer betrachtet — die Schutzwirkung länger anhält, wodurch der Bildung von Rostnarben, welche die Dauerfestigkeit mindern, länger vorgebeugt wird.

Bei Beachtung verzinkungsgerechter Konstruktionsgrundsätze bestehen nach Ansicht des Verfassers gegen die Ausführung feuerverzinkter Straßenbrücken keine Bedenken. Straßenbrücken wurden im Ausland bereits feuerverzinkt, z. B. im Norden Kanadas, wo eine Brückenunterhaltung schwierig ist [14].

3. Überschweißen einer Feuerverzinkung

Es ist zu vermuten, daß die Dauerfestigkeit einer Schweißverbindung, die durch Überschweißen eines bereits vorhandenen Zinküberzuges gefertigt wird, einen stärkeren Abfall erleidet. Ähnliche Probleme entstehen beim Überschweißen von Zinkstaubbesechichtungen [15], [16]. Bei einer derart gefertigten Schweißnaht addieren sich mehrere negative Einflüsse, die eine Abminderung der Dauerfestigkeit erwarten lassen. Neben der Lötrissigkeit sind dies:

- Durch die starke Rauchentwicklung wird der Schweißer bei der gleichförmigen Führung der Elektrode behindert. Schweißen unter Schutzgas läßt sich beim Überschweißen einer Feuerverzinkung nur schwer beherrschen und sollte vorerst für dynamisch beanspruchte Bauteile nicht zugelassen werden (s. u.).
- Beim Schweißen wird das Zink abgeschmolzen. Vor dem Lichtbogen bildet sich — bei *w*-Position — ein 2 mm bis 4 mm dicker Zinktropfen, der laufend verdampft und sich ständig neu bildet. Das Schweißbad ist unruhig. Unregelmäßige Schweißraupen und Nahtübergänge sind die Folge (Bild 1).

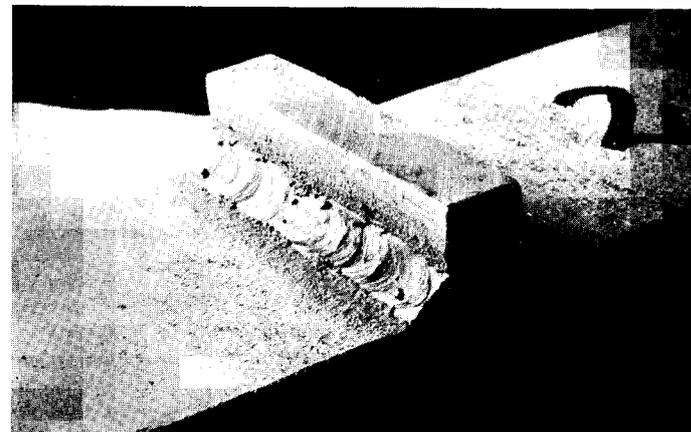
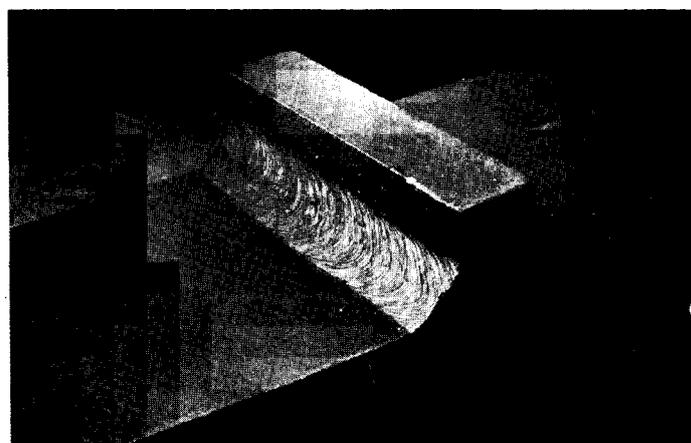


Bild 1. Einlagige Kehlnähte
oben: unverzinkt unten: Feuerverzinkung überschweißt

Eine Abminderung der Dauerfestigkeit kann zwei Ursachen haben:

- Die unmittelbar auf dem Stahl haftende Hartzinkschicht ist spröde und wird unter Belastung rissig. Es ist denkbar, daß sich die Risse aus der Eisen-Zink-Legierung in die Stahllegierung fortpflanzen und dadurch vorzeitige Ermüdungsrisse auslösen.
- Beim Verzinken dringt flüssiges Zink in die Oberfläche des Stahles entlang der Korngrenzen ein. Hiermit ist eine Schwächung des Werkstoffzusammenhangs verbunden. Diese Erscheinung tritt bevorzugt in Eigenspannungsbereichen auf und ist als Lötrissigkeit bekannt.

Bei Schweißverbindungen ist der Kerbeinfluß an den Schweißnahtübergängen a priori so dominant, daß ein abmindernder Einfluß der Feuerverzinkung bei Schweißverbindungen aus vorgenannten Gründen kaum zu erwarten ist.

Gegenüber Großausführungen sind Abweichungen der an Kleinproben ermittelten Versuchswerte für die Dauerfestigkeit nicht

Tabelle 3. Zusammenstellung der Versuchsparameter der Teilprojekte T1 bis T4

Teilprojekt:	T1	T2	T3	T4
Prüfkörper:				
Nahtaufbau:				
Elektrodotentyp: Ti VIII bs; Wurzellage: 4 φ; 210 A, 32 V Folgelagen: 5 φ; 290 A, 35 V	Schweißung: Fa. Mannesmann, Olching alle Lagen: 4 φ, 205 A, 32 V	Schweißung: SLV München Serie 1: MAG unter CO 2 Serie 2: MAG unter Argon 18; 1,2 φ	Serie 3/4: Wurzellage: Kb IX s, 2,5 φ Folgelagen: Ti VIII bs, 4/5 φ	Wurzellage: Kb IX s, 3,25 φ Folgelagen: Ti VIII bs, 5 φ
Stahl: SM St 37-2, normalgeglüht (Herstelljahr 1961) $\sigma_s = 243 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_B = 412 \text{ N/mm}^2$, $\delta_5 = 34,3 \%$ (quer zur Walzrichtung = Längsachse der Prüfkörper) Schmetzanalyse: C = 0,15; Mn = 0,38; Si = 0,23; P = 0,011; S = 0,023 %		Stahl: St 52-3, normalgeglüht (Herstelljahr 1974) $\sigma_s = 387 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_B = 562 \text{ N/mm}^2$, $\delta_5 = 29,6 \%$ (längs zur Walzrichtung = Längsachse der Prüfkörper) Stückanalyse: C = 0,18; Mn = 1,36; Si = 0,42; Al = 0,021; P = 0,018; S = 0,020; N = 0,006 %		Stahl: St 52-3, normalgeglüht (1974) $\sigma_s = 405 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_B = 573 \text{ N/mm}^2$ $\delta_5 = 31 \%$; Stückanalyse: C = 0,18; Mn = 1,44; Si = 0,35; Al = 0,033; P = 0,012; S = 0,022; N = 0,007 %
Verzinkung: 451°C, Tauchdauer 10 min; Fa. Schörg, Fürstfeldbruck Glatte Seite: 180 μm raue Seite: 220 μm		Tauchdauer 10 min 200 bis 270 μm		Tauchdauer 6 min 100 μm Zinkschicht an den Flanken vor dem Schweißen entfernt

- c) Die Verbrennungs- und Verdampfungreaktion ist lokal heftig eruptiv. Poren und Gaseinschlüsse, insbesondere Zinkrückstände, sind als metallurgische Verunreinigungen durch Einschwemmen oder Einblasen zu erwarten.
- d) Es entstehen gehäuft Schweißgutspritzer im Umfeld der Schweißnaht; von jedem Spritzer geht ein Kerbeinfluß aus, sofern er sich mit dem Stahl verbindet.

Die bislang vorliegenden Versuchsergebnisse lassen trotz der aufgelisteten ungünstigen Umstände keine nennenswerte Verschlechterung der statischen Festigkeitseigenschaften bei Schweißverbindungen erkennen [17] bis [19], dagegen bestätigt sich die Vermutung, daß die dynamischen Festigkeiten nachteilig beeinflusst werden (siehe Abschnitt 5). Es ist daher grundsätzlich angezeigt, Schweißverbindungen bei dynamisch beanspruchten feuerverzinkten Stahlkonstruktionen zu vermeiden. Bei Baustellenstößen ist entweder die Zinkauflage im Schweißnahtbereich vorab mechanisch abzarbeiten oder abzubrennen oder eine SL- oder GV-Schraubenverbindung vorzuziehen, wobei zur Erreichung eines Reibbeiwertes $\mu = 0,5$ die Zinkauflage verbleiben kann [28]. Diese Empfehlung ist das Resultat der nachfolgend dargelegten Versuche, die vom Dezernat 15 des Bundesbahn-Zentralamtes München und vom Gemeinschaftsausschuß Verzinken e. V. Düsseldorf angeregt und am Institut für Stahlbau der Technischen Universität München in den Jahren 1973 bis 1975 durchgeführt wurden, wobei die ursprüngliche Konzeption [20] im Zuge der Versuche wesentlich modifiziert wurde. Gefördert wurde das Vorhaben aus Mitteln der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e. V. (AIF).

4. Versuchsprogramm

Es wurden vier Teilprojekte T1 bis T4 durchgeführt:

- T1: Versuche an Kreuzstößen mit dreilagigen Kehlnähten,
 $a_{\text{soll}} = 10 \text{ mm}$, $a_{\text{ist}} = 11,5 \text{ mm}$
- T2: Versuche an Kreuzstößen mit einlagigen Kehlnähten,
 $a_{\text{soll}} = 4 \text{ mm}$, $a_{\text{ist}} = 5,2 \text{ mm}$
- T3: Versuche an Stumpfstoßen (V-Naht), Überschweißung der Zinkauflage mittels Schutzgas- und Elektrodenschweißung
- T4: Versuche an Stumpfstoßen (V-Naht) nach vorangegangener Entfernung der Zinkauflage auf den angefasten Nahtflanken

In Tabelle 3 sind die wichtigsten Merkmale der Projekte T1 bis T4 zusammengefaßt.

Die Versuche wurden für $\kappa = -1$ (Wechselbeanspruchung) auf einer Schenk-Hydropulsanlage PCW 50 durchgeführt. Die Prüffrequenz betrug 8 Hz. Proben, die $N = 2,3 \cdot 10^6$ (T1 und T2) oder $N = 3 \cdot 10^6$ (T3 und T4) erreichten, galten als Durchläufer. Da die statische Bruchfestigkeit ($\kappa = +1$) beim Vergleich mit unverzinkten Schweißverbindungen der hier untersuchten Kerbfälle signifikant nicht abfällt, kann davon ausgegangen werden, daß die Festigkeitsminderung für Zwischenwerte von κ ($-1 < \kappa < +1$) nicht niedriger liegt, als die für $\kappa = -1$ ermittelte.

5. Versuchsergebnisse

5.1 Teilprojekt T1

Die dreilagigen Kehlnähte des Kreuzstoßes waren mit $a \approx 11,5 \text{ mm}$ sehr dick ausgefallen. Auch war die mittlere Dicke des Zinküberzuges mit $200 \mu\text{m}$ sehr groß, so daß sich der zu prüfende Einfluß markant auswirken konnte. Bild 2 zeigt das Ergebnis der Versuche. Die Spannungen beziehen sich auf den Grundquerschnitt von 15 mm wie in [21]. Werden die Spannungen auf die Kehlnahtdicke bezogen ($2a = 2 \cdot 11,5 = 23 \text{ mm}$), sind die Werte im Verhältnis $15/23 = 0,65$ abzumindern. Bezüglich der Problematik des Referenzquerschnittes bei Kreuzstößen wird auf [22], [23] verwiesen. Mittels einer linearen Regressionsrechnung der logarithmierten σ - und N -Werte ließ sich der Mittelwert der Dauerfestigkeit ($P_D = 50 \%$, $N_D = 2,0 \cdot 10^6$) abschätzen:

- Unverzinkt mit einem planmäßigen 1 mm breiten Spalt oder feuerverzinkt nach dem Schweißen: $\sigma_D = 69 \text{ N/mm}^2$ (45 N/mm²)
- Feuerverzinkung überschweißt: $\sigma_D = 57 \text{ N/mm}^2$ (37 N/mm²)

Die Klammerwerte sind die auf 65% reduzierten (auf den Nahtquerschnitt bezogenen) Dauerfestigkeitswerte.

In die Auswertung sind nur solche Prüfkörper aufgenommen, die im Grundquerschnitt entlang der Einbrandkerbe gebrochen sind. In einer Nebenserie wurden unverzinkte Prüfkörper ohne Spalt geprüft [22]. Hierbei traten die meisten Brüche in der Schweißnaht — ausgehend von der Wurzel — auf. Für diese Erscheinung dürfte die höhere Kerbwirkung und die Verhinderung der Schrumpfung in Verbindung mit dem Aufbau hoher Eigenspan-

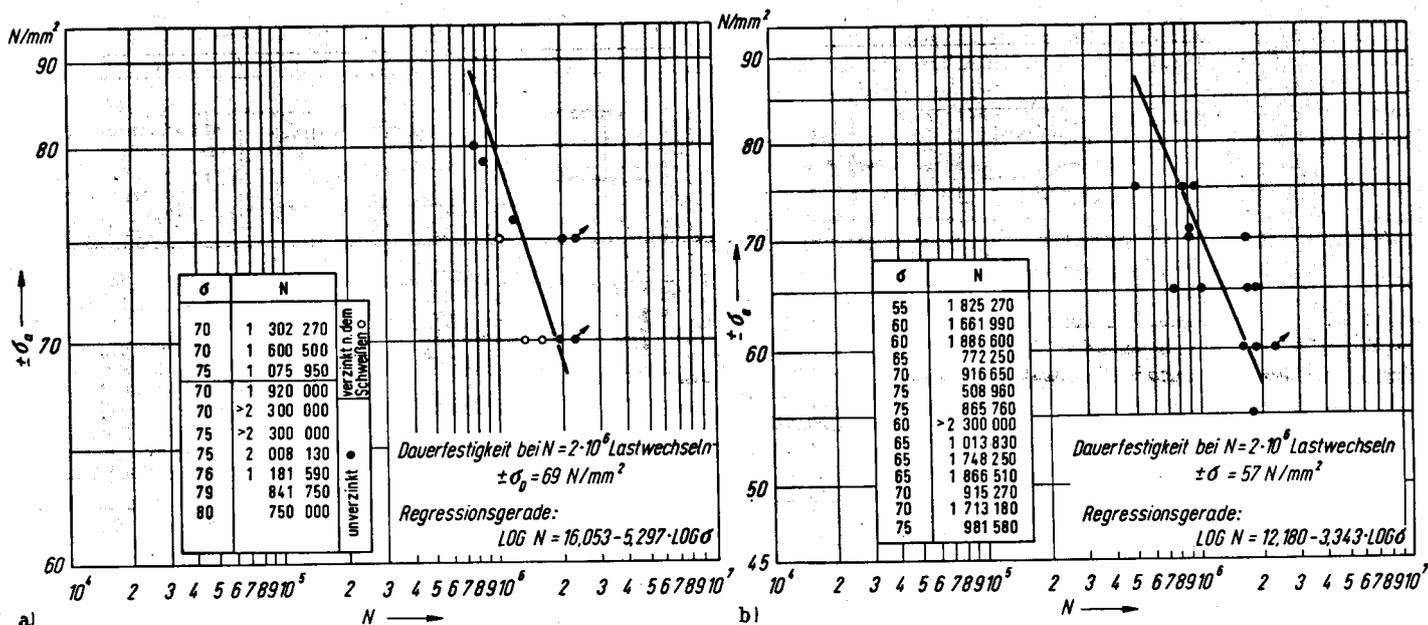


Bild 2. Wöhler-Diagramme, Teilprojekt T 1:
 Kreuzstoß mit dreilagiger Kehlnaht, RSt 37-2, $\alpha = -1$
 a) unverzinkt und verzinkt nach dem Schweißen
 b) Feuerverzinkung überschweißt
 Nur Brüche im Grundwerkstoff erfaßt. Spannungen beziehen sich auf den Grundquerschnitt

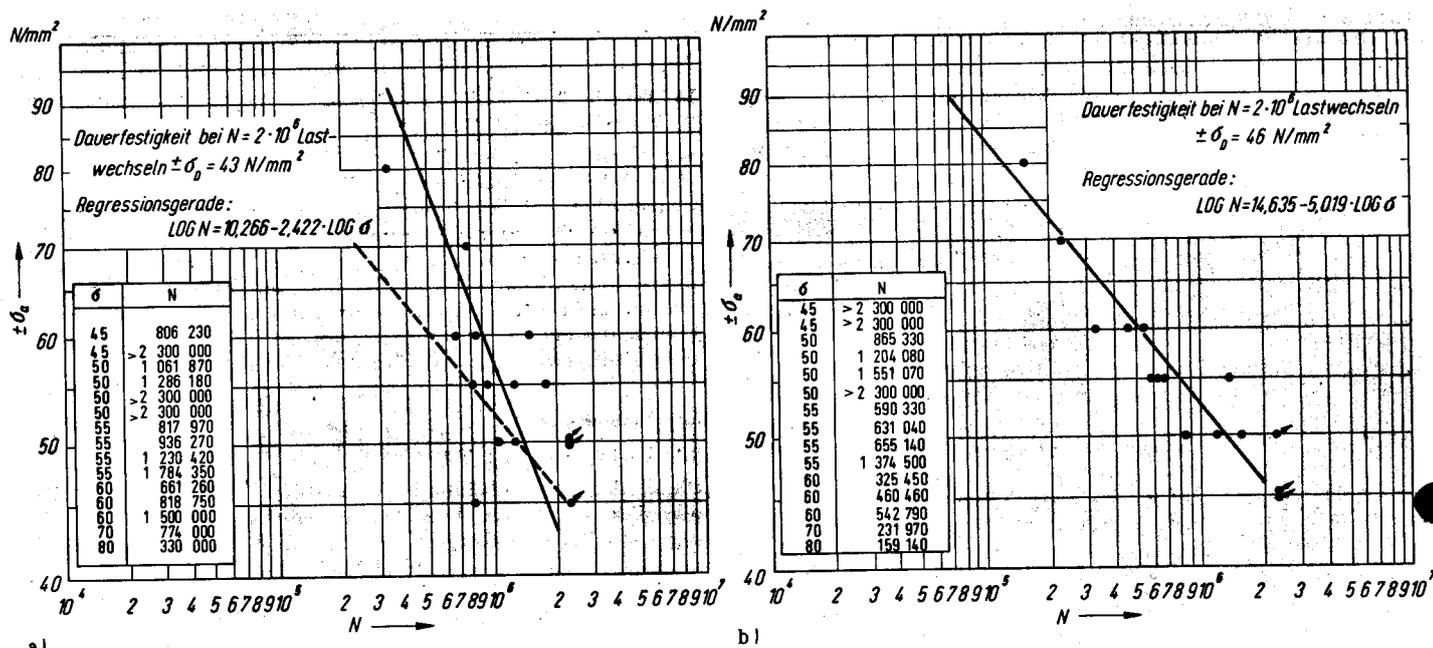


Bild 3. Wöhler-Diagramme, Teilprojekt T 2:
 Kreuzstoß mit einlagiger Kehlnaht, RSt 37-2, $\alpha = -1$
 a) unverzinkt
 b) Feuerverzinkung überschweißt
 Alle Brüche in der Naht, Spannungen beziehen sich auf den Nahtquerschnitt

nungen verantwortlich sein [24], [25]. Werden die Teile feuerverzinkt, stellt sich beim Aneinanderlegen von selbst ein Spalt ein. Aus diesem Grund wurden nur Versuchswerte mit planmäßigem Spalt verglichen.

5.2 Teilprojekt T 2

Beim Aufbau mehrlagiger Kehlnähte wird beim Legen der ersten Naht die Zinkschicht im Umfeld von 5 mm bis 10 mm abgeschmolzen. Die folgenden Lagen finden eine mehr oder weniger von Zink freie Stahloberfläche vor. Der Einfluß aus der Zinküberschweißung wirkt sich daher vorrangig nur in der Wurzellage aus. Es ist bemerkenswert, daß sich beim Teilprojekt T 1 dennoch ein abmindernder Einfluß abgezeichnet hat, zumal die Brüche — mit einer

Ausnahme bei 15 Prüfkörpern — durch den Grundwerkstoff verliefen. Der Grund ist in der — wenn auch nur geringen — höheren Unregelmäßigkeit der Einbrandkerblinie und der erhöhten Wärmebringung zu sehen. Es war zu vermuten, daß sich die Abminderung bei einlagigen Kehlnähten noch stärker ausprägen würde. Der Klärung dieser Frage diente das Projekt T 2. Bild 3 zeigt das Ergebnis. In allen Fällen verlief der Bruch durch die Nähte, ausgehend von der Wurzel. Die Spannungen im Wöhlerdiagramm beziehen sich auf den gemessenen Nahtquerschnitt. Für $P_U = 50 \%$ ergibt sich:

- Unverzinkt mit einem planmäßigem Spalt von 1 mm: $\sigma_D = 43 \text{ N/mm}^2$
- Feuerverzinkung überschweißt: $\sigma_D = 46 \text{ N/mm}^2$

körpern mit einem Azetylenbrenner abgebrannt. Die Schweißung war problemlos. Die Gegenüberstellung der Dauerfestigkeitswerte mit den unverzinkten Vergleichsproben zeigte keinen signifikanten Einfluß, wenn man von vier Versuchskörpern absieht, deren Bruchflächen deutlich auf Wasserstoffeinschlüsse schließen ließen.

6. Metallographische Untersuchungen

In einer ergänzenden metallographischen Untersuchung wurden aus dem Schweißgut im Bruchbereich aller Teilprojekte Proben entnommen und auf Zinkeinschlüsse und gegebenenfalls vorhandene verfahrensbedingte, unterschiedliche Häufigkeit der Einschlüsse analysiert [27]. Mit Ausnahme einer Probe des Teilprojektes T 3 (MAG-Schweißung) konnten keine Zinkeinschlüsse festgestellt werden (Klemmsche Ätzung), wohl wurden bei Proben dieses Projektes kugelige Oxideinschlüsse gefunden, die auf das Vorhandensein von eingeschlossenem Zink oder Zinkoxid hindeuteten. Eine chemische und rasterelektronische Untersuchung beim Teilprojekt T 1 war ebenfalls negativ.

Der Schmelzpunkt von Zink liegt bei 419,5 °C und der Verdampfungspunkt bei 906 °C. Die Temperaturen im Lichtbogen betragen ein Mehrfaches. Aus diesem Grunde und nach den Beobachtungen beim Schweißen ist ein Einschmelzen von Zink unwahrscheinlich, ein Einblasen von Verdampfungsrückständen ist eher möglich.

7. Zusammenfassung

Die bislang bekannt gewordenen Versuche lassen eine Verschlechterung der statischen Festigkeitswerte des Grundmaterials und der Schweißverbindung durch eine Feuerverzinkung nicht erkennen. Diese Aussage galt bislang auch für die Dauerfestigkeit des Grundmaterials. Neuere ausländische Versuche [11], [12] zeigen eine Abminderung der Dauerfestigkeit. Ergänzende Untersuchungen sind aufgrund dieser Ergebnisse wohl unvermeidlich.

Gegenstand der vorliegenden Untersuchungen war die Frage: Wie wird die Dauerfestigkeit einer Schweißverbindung beeinflusst,

- a) wenn eine fertige Schweißverbindung anschließend feuerverzinkt wird und
- b) wenn verzinkte Bauteile miteinander verschweißt werden?

Im Falle a) ist keine Minderung der Dauerfestigkeit festzustellen, weil der Kerbeinfluß der Schweißverbindung weit überwiegt. Ob diese Aussage für Großbauteile in vollem Umfang aufrecht erhalten werden kann, ist durch Versuche zu klären. Im Falle b) ist die Minderung eklatant und bedingt durch die ungünstigen Schweißbedingungen. Wenn möglich, sind derartige Schweißungen zu vermeiden. Anderenfalls wird bei Kehlnähten ein 15 %iger und bei Stumpfnähten ein 25 %iger Abminderungsfaktor empfohlen. Bei Stumpfnähten ist grundsätzlich eine Entfernung der Zinkschicht vor dem Schweißen durch Abbrennen oder Abschleifen anzuraten oder aber von vornherein ein geschraubter Stoß vorzusehen. Zur Erzielung eines ausreichenden Reibbeiwertes findet man in [28] die erforderlichen Hinweise.

Herrn Dipl.-Ing. Qu e l sei für die Unterstützung bei der Durchführung und Auswertung der Versuche, der Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt (SLV) München für die Schweißungen und metallographischen Untersuchungen und der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen (AIF) für die finanzielle Unterstützung dieser Untersuchungen gedankt.

Schrifttum

- [1] Kleingarn, J.-P.: Verzinkungsgerechtes Konstruieren. Stahlbau 44 (1975), H. 4, S. 104—111; vgl. auch: N. N.: Feuerverzinken im Stahlbau, in: Stahlbau-Taschenkalender 1976, S. 220—232. Köln: Stahlbau-Verlags GmbH. 1976, (dasselbst ausführliche Hinweise auf Veröffentlichungen und Vorschriften).

- [2] Horstmann, D.: Fehlererscheinungen beim Feuerverzinken, Düsseldorf: Verlag Stahl Eisen m. b. H. 1975.
- [3] Räd e c k e r, W.: Einfluß der Feuerverzinkung auf die Zähigkeit von unlegierten Baustählen. Stahl und Eisen 82 (1962), No. 22, S. 1520—1527.
- [4] Wiegand, H., u. Nieth, F.: Untersuchungen über das Verhalten feuerverzinkter Stähle und Bauteile. Stahl und Eisen 84 (1964), No. 2, S. 82—88.
- [5] Nieth, F.: Festigkeitsfragen im Zusammenhang mit der Feuerverzinkung. Dissertation TH Darmstadt 1965.
- [6] Helms, R., Kühn, H.-D., u. Martin, E.: Einfluß des Feuerverzinkens auf die mechanischen Eigenschaften von Baustahl und das Spröbruchverhalten gestanzter Teile. Arch. Eisenhüttenwesen 45 (1974), No. 2, S. 117—125.
- [7] Horstmann, D.: Das Verhalten mikrolegierter Baustähle mit höherer Festigkeit beim Feuerverzinken. Arch. Eisenhüttenwesen 46 (1975), No. 2, S. 137—141.
- [8] Nieth, F., u. Wiegand, H.: Das Verhalten von Baustählen höherer Festigkeit nach dem Feuerverzinken bei dynamischer Beanspruchung. Arch. Eisenhüttenwesen 46 (1975), No. 9, S. 589—593.
- [9] Versuchsberichte über die Teilprojekte T 1 bis T 4 des AIF-Forschungsvorhabens Nr. 2538: Untersuchungen über das Dauerfestigkeitsverhalten feuerverzinkter Schweißverbindungen. Institut für Stahlbau der TU München 1973—1975 (unveröffentlicht).
- [10] Gregory, E. N.: Galvanizing Characteristics of Steels and their Weldments, Appendix B. Sixth Progress Report. New York: Int. Lead Zinc Research Organization, 1974.
- [11] Gregory, E. N., a. Weld, F.: Fatigue Tests on Butt Welds, in: Galvanizing Characteristics of Steels and their Weldments. Seventh Progress Report. New York: Int. Lead Zinc Research Organization, 1975.
- [12] Larsson, B., and Westerlund, R.: Fatigue Tests on Welded Steel after Hot Dip Galvanizing. Metal Construction and British Welding Journal (1975), No. 2, S. 92—97.
- [13] Petersen, Ch.: Dauerfestigkeit von Schweißverbindungen an feuerverzinktem Stahl. In: Vortrags- und Diskussionsveranstaltung 1974 des Gemeinschaftsausschusses Verzinken e. V. Düsseldorf: Selbstverlag 1975.
- [14] Idelberger, K.: Wartungsfreie Brücken. Straße Brücke Tunnel 27 (1975), S. 291—294.
- [15] Gönne l, F.: Dauerfestigkeitsversuche an Schweißverbindungen aus St 37 mit und ohne Anstrich. Stahlbau 36 (1967), H. 7, S. 199—202.
- [16] Becken, O.: Untersuchungen zur Ermittlung des Einflusses von Zweikomponenten-Zinkstaubfarbe auf die Schweißzugfestigkeit von Querkehlnähten. Untersuchung im Auftrag des DAST, Jan. 1968 (unveröffentlicht).
- [17] Schmidt, P., u. Schulten, D.: Probleme beim Lichtbogenschweißen feuerverzinkter Stähle. In: Schweißen, Neue Erkenntnisse — Neue Anwendungen. Fachbudreihe Schweißtechnik Bd. 27, S. 59—68. Düsseldorf: Deutscher Verlag für Schweißtechnik, 1962.
- [18] Kiebling, L.: Überschweißbarkeit feuerverzinkter Bleche. Der Praktiker 24 (1972), H. 6, S. 113—114.
- [19] N. N.: Schweißen von feuerverzinktem Stahl. Merkblatt 367 der Beratungsstelle für Stahlverwendung, 2. Aufl., Düsseldorf: Selbstverlag 1968.
- [20] Seils, A.: Aktuelles aus dem Korrosionsschutz der Stahlbauwerke. Der Eisenbahningenieur 22 (1971), H. 5, S. 125—132.
- [21] Wintergerst, S., u. Ruckerl, E.: Untersuchungen der Dauerfestigkeit von Schweißverbindungen mit St 37. Stahlbau 26 (1957), H. 5, S. 121—124.
- [22] Latzin, K., u. Petersen, Ch.: Untersuchungsergebnisse für die Stahlbaupraxis. In: Schweißgerechte Gestaltung, DVS-Bericht 31, S. 19—25. Düsseldorf: Deutscher Verlag für Schweißtechnik, 1974.
- [23] Klee, S.: Einige Dauerfestigkeitsversuche mit kraftübertragenden Stirnkehlnähten. Stahlbau 36 (1967), H. 2, S. 60—63.
- [24] Latzin, K., u. Klassen, G.: Untersuchungen über den Einfluß der Spaltbreite auf die Dauerfestigkeit von Kreuzstößen. IX. Schweißtechnisches Hochschulkolloquium 1975, S. 11—19.
- [25] Radaj, D.: Kerbspannungsanalyse nach der Finite-Element-Methode an Kehlnähten. Schweißen und Schneiden 27 (1975), H. 3, S. 86—89.
- [26] Bericht B 208/75 der SLV München: Verschweißen von verzinkten Stahlblechen, München 1975 (unveröffentlicht).
- [27] Bericht 2149/75 der SLV München: Metallographische Untersuchung an verzinkten Dauerschwingproben, München 1976 (unveröffentlicht).
- [28] Zimmermann, W., u. Rostásy, F. S.: Der Reibbeiwert feuerverzinkter HV-Verbindungen in Abhängigkeit von der Nachbehandlung der Zinkschicht. Stahlbau 44 (1975), H. 3, S. 82—84.