

# Untersuchungen über das Verhalten feuerverzinkter Stähle und Bauteile

Von Heinrich Wiegand und Franz Nieth in Darmstadt

Mitteilung aus dem Institut für Werkstoffkunde der Technischen Hochschule Darmstadt

[Bericht Nr. 1398 des Werkstoffausschusses des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute\*)  
und Bericht Nr. 47 des Gemeinschaftsausschusses Verzinken\*\*)]

Gruppe E

Nr. 2456

und

Gruppe C

Nr. 605

*Wirtschaftliche Bedeutung verzinkter Konstruktionen. An unterschiedlich erschmolzenen und vergossenen Stählen der Stahlorte St 37 nach DIN 17 100 im unverzinkten und im verzinkten Zustand Durchführung von zügigen Versuchen an glatten Zugstäben und an gelochten L-Profilen, Wechselbiegeversuchen an glatten Flachstäben und Schweißproben verschiedener Form, Schlagbiegeversuchen an verschieden scharf gekerbten Proben und Schlagzugversuchen an unterschiedlich gelochten und verzinkten Proben.*

*Investigations on the performance of hot-dip galvanized steels and steel structures. Economic importance of zinc-coated steel structures. Types and characteristics of hot-dip galvanizing and its effect on the mechanical properties of the base metal, Tensile tests on plain test bars and on perforated L-sections, taken from steels, type St 37 (DIN 17 100) in the plain and zinc-coated condition, made by different melting and casting processes. Reversed plane bending fatigue tests on plain flat bars and on welded test bars of different shapes. Impact bending tests on notched bars with grooves of different sharpness. Impact tensile tests on differently perforated and galvanized test bars.*

*Etudes sur le comportement d'aciers et d'éléments de construction galvanisés à chaud. Intérêt économique d'éléments de construction galvanisés. Types et caractéristiques du zingage à chaud et son influence sur les propriétés mécaniques du métal de base. Essais de traction sur des éprouvettes lisses et sur des profilés L perforés prélevés d'aciers, type St 37 (DIN 17 100), en état galvanisé et non galvanisé, élaborés et coulés à l'aide de différents procédés de fusion et de coulée. Essais de flexion alternée sur des éprouvettes plates et sur des éprouvettes soudées de forme différente. Essais de flexion par choc sur des éprouvettes entaillées à angles différentes. Essais de traction par choc sur différentes éprouvettes perforées et sur des éprouvettes galvanisées.*

Wegen seines gegenüber Eisen kleineren Potentials und der passivierenden Wirkung der unter dem Einfluß der Atmosphäre sich auf der Oberfläche bildenden wasserunlöslichen Zinkkarbonate bietet der Zinküberzug auf Stahl einen wirksamen Korrosionsschutz. Im allgemeinen entspricht die Schutzwirkung der Dicke der Zinkauflage, die beim Feuerverzinken rd. 40 bis 100  $\mu\text{m}$ , bei galvanischem Verzinken dagegen nur rd. 3 bis 10  $\mu\text{m}$  beträgt.

Ein durch Eintauchen in eine Zinkschmelze aufgebracht Überzug haftet an der Oberfläche durch Bildung von Eisen-Zink-Legierungen. Für den Ablauf dieser Legierungsbildung ist das Zustandsschaubild Eisen-Zink maßgebend (Bild 1). Der Aufbau der Phasen der Zinkschicht ist in Bild 1 (rechts) schematisch wiedergegeben; einen entsprechenden Schliff zeigt Bild 2.

Seit einigen Jahren werden Bauteile, die im Betrieb höheren mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt sind, feuerverzinkt. Ein wesentlicher Grund, Freileitungsmaste, Krananlagen, Brücken, Fahrzeugrahmen, Schiffe usw. im Tauchverfahren zu verzinken, besteht im hervorragenden Schutz gegenüber Korrosionsangriffen<sup>1) bis 5)</sup>. Jedoch sind Angaben im Schrifttum über die Wirkung des Verzinkens auf die mechanischen Eigenschaften verhältnismäßig spärlich und beziehen sich auf Proben unterschiedlichen Ausgangszustandes bei Dicken bis zu 7 mm.

Eine planmäßige Untersuchung der mechanischen Eigenschaften feuerverzinkter Stähle in Anlehnung an die im Betrieb auftretenden Bedingungen erscheint deshalb als notwendige Voraussetzung für die Anwendung des Feuerverzinkens bei tragenden Bauteilen.

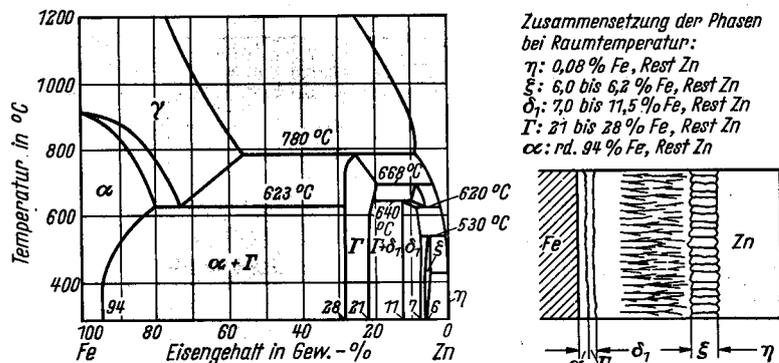


Bild 1. Das Zustandsschaubild Eisen-Zink und eine schematische Darstellung des Aufbaues der Eisen-Zink-Legierungsschicht zwischen dem Grundwerkstoff und der Zinkschicht

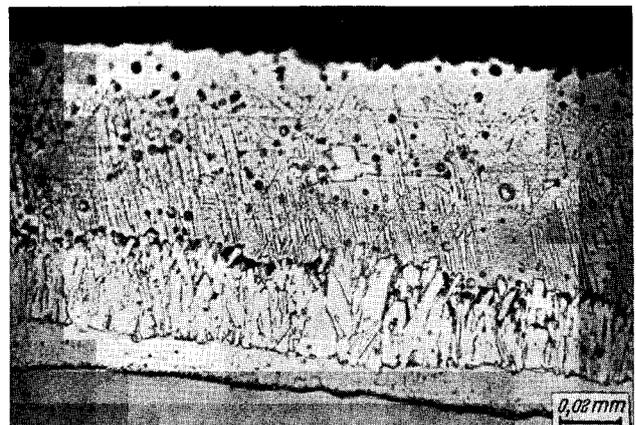


Bild 2. Eisen-Zink-Legierungsschicht zwischen Grundwerkstoff und Zinkschicht (rd. 400:1, Original 500:1)

\*) Erstattet in einer Sitzung des Unterausschusses für unlegierte Baustähle am 3. Mai 1963 in Düsseldorf.

\*\*) Gemeinschaftsausschuß des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute, der Forschungsgesellschaft Blechverarbeitung e. V., der Fachvereinigung Draht e. V. und der Fachabteilung Lohverzinkereien.

<sup>1)</sup> Matting, A., u. H. Wolf: Arch. Eisenhüttenwes. 33 (1962) S. 217/21 (Gemeinschaftsaussch. Verzinken 41).

<sup>2)</sup> Rädcker, W., u. R. Haarmann: Stahl u. Eisen 59 (1939) S. 1217/27 (Werkstoffaussch. 493).

<sup>3)</sup> Rädcker, W.: Stahl u. Eisen 73 (1953) S. 654/58 (Gemeinschaftsaussch. Verzinken 1).

<sup>4)</sup> Wiegand, H., u. F. Nieth: Metalloberfläche 13 (1959) S. 346/50.

<sup>5)</sup> Schöttky, H., K. Schichtl u. R. Stoile: Arch. Eisenhüttenwes. 4 (1930) S. 541/47.

### Einfluß des Verzinkens auf die mechanischen Eigenschaften von Stählen und Bauteilen

Die mechanischen Untersuchungen wurden an unterschiedlich erschmolzenen Stählen der Stahlsorte St 37, also an St 37 verschiedener Gütegruppen nach DIN 17100, unter zügiger und wechselnder Beanspruchung durchgeführt.

Für die Untersuchungen wurden Winkelstähle  $70 \times 70 \times 7 \text{ mm}^3$  aus dem unberuhigten Thomasstahl TUST 37 (Stahl 5 nach *Tafel 1*) benutzt, wobei je Art der Behandlung und Lochherstellung fünf Proben geprüft wurden.

Die erzielten Dehnungswerte in der Meßstrecke  $L$  sind in *Bild 3* (unten) aufgetragen.

Tafel 1. Chemische Zusammensetzung der untersuchten Stähle

Lfd. Nr.	Stahlsorte	% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Almet	% Cu	% N
1	MR St 37-2	0,13	0,26	0,53	0,018	0,020	0,008	0,10	0,008
2	MR St 37-2	0,14	Spur	0,85	0,023	0,024	0,01	0,11	0,005
3	WR St 37-2	0,08	0,07	0,64	0,033	0,020	0,007	0,04	0,008
4	WRR St 37-3	0,15	0,27	0,61	0,018	0,043	0,05	0,14	0,010
5	TUST 37	0,08	Spur	0,32	0,054	0,022	0,008	0,07	0,012

Die chemische Zusammensetzung der Stähle, die zu Blechen von 6 und 12 mm Dicke und zu L-Profilen  $70 \times 70 \times 7 \text{ mm}^3$  ausgewalzt waren, ist in *Tafel 1* wiedergegeben.

Folgende Untersuchungen wurden durchgeführt:

1. Zugversuche an glatten Probestäben in unterschiedlichem Oberflächenzustand,
2. Biegeversuche an gelochten L-Profilen,
3. Biegeversuche an glatten Flachstäben von 6 und 12 mm Dicke,
4. Zug-Druck-Wechselversuche an geschweißten Proben,
5. Kerbschlagversuche an DVM- und DVMF-Proben,
6. Schlagzugversuche an unterschiedlich gelochten Proben.

#### Verhalten im Zugversuch

Obwohl zu erwarten war, daß sich das Verzinken auf die Zugfestigkeit nicht oder nur unwesentlich auswirkt, wurden Zugversuche an 12 mm dicken Probestäben aus unberuhigtem Thomasstahl TUST 37 (Stahl 5 nach *Tafel 1*) im verzinkten und unverzinkten Zustand durchgeführt (*Tafel 2*). Die

Tafel 2. Mechanische Eigenschaften von unverzinkten und verzinkten Proben aus Stahl TUST 37

Behandlungs-zustand	Zugfestigkeit kg/mm <sup>2</sup>	Streckgrenze kg/mm <sup>2</sup>	Bruchdehnung ( $L_0 = 5 d_0$ ) %	Brucheinschnürung %
unverzinkt (mit Walzhaut)	34,8	22,2	29,0	59,8
verzinkt	36,0	22,9	34,0	61,0

jeweils an verzinkten Proben sich ergebende geringfügige Erhöhung der Bruchdehnung kann auf die Anlaßwirkung des Zinkbades zurückgeführt werden.

#### Verhalten im Biegeversuch an gelochten L-Profilen

Die Norm A 143-46 der American Society for Testing and Materials (ASTM) schreibt einen Biegeversuch zur Ermittlung der Versprödungsneigung durch das Feuerverzinken vor, bei dem an der äußersten Zugfaser unterhalb einer Bohrung in der Probe auf einer Meßlänge von 1" (25,4 mm) eine Mindestdehnung von 5% an der verzinkten Probe verlangt wird (*Bild 3*, oben).

In Erweiterung dieser ASTM-Vorschrift wurde auch der Einfluß von drei unterschiedlichen Herstellungsarten des Loches auf die Versprödungsneigung untersucht:

1. Das Loch von 20 mm Dmr. wurde gebohrt,
2. das Loch von 20 mm Dmr. wurde mit normalem Schnittspalt (0,88 mm) gestanzt,
3. ein Loch von 19 mm Dmr. wurde gestanzt und dann auf 20 mm Dmr. aufgebohrt.

Auch die Zahl der untersuchten Behandlungszustände [Anlieferungszustand, verzinkt (450 °C, 2 min Tauchdauer), im neutralen Salzbad behandelt (450 °C, 2 min Tauchdauer)] wurde gegenüber der ASTM-Vorschrift erweitert, um den Einfluß des Feuerverzinkens besser zu ermitteln.

Das gestanzte und dann folgend das vorgestanzte und aufgebohrte Loch erbringt in jedem Behandlungszustand die geringsten Dehnungswerte. Diese liegen aber in jedem Fall mit ihrem niedrigsten Wert von 25% weit über der von der amerikanischen Norm geforderten Mindestdehnung von 5%. In keinem der drei Behandlungszustände (Anlieferungszustand, verzinkt, im Salzbad angelassen) ist bei Proben mit gebohrten Löchern eine Änderung der Dehnung festzustellen. Auch gestanzte und aufgebohrte Löcher zeigen keine größeren Unterschiede. Nur bei Proben mit nicht nachgearbeiteten gestanzten Löchern werden die Dehnungswerte

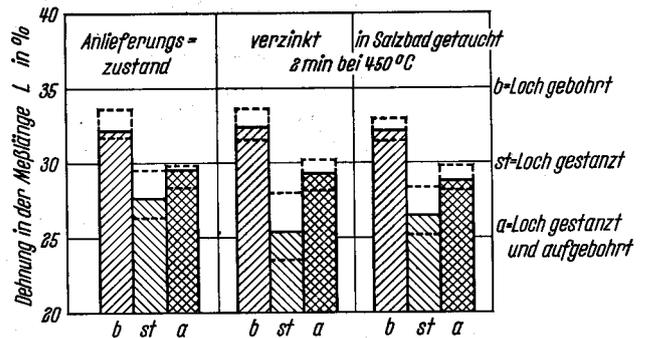
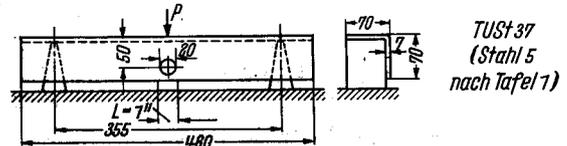


Bild 3. Biegeversuche nach der Norm A 143-46 der American Society for Testing and Materials (ASTM) an unterschiedlich gelochten L-Profil-Proben aus dem Stahl TUST 37 (Stahl 5 nach *Tafel 1*); die gestrichelten Linien geben den Streubereich aus fünf Einzelversuchen an

werte der verzinkten und der angelassenen Proben um rd. 7% kleiner als im Anlieferungszustand. Da die Dehnung bei verzinkten und bei angelassenen Proben nahezu gleich ist, kann der Abfall gegenüber dem Anlieferungszustand im wesentlichen auf den Einfluß der Temperatur und die damit verbundene Alterung der verformten Zone zurückgeführt werden.

Bei diesen Ergebnissen an unberuhigtem Thomasstahl ist anzunehmen, daß sich die anders erschmolzenen Stähle 1 bis 4 nach *Tafel 1* bei gleicher Behandlung nicht ungünstiger verhalten.

#### Biegeversuche an glatten Flachstäben

Die Beschaffenheit der Werkstoffoberfläche hat einen großen Einfluß auf die Biegeversuchfestigkeit; die meisten Dauerbrüche nehmen ihren Ausgang von der Oberfläche.

Zur Ermittlung eines Einflusses der Verzinkung auf die Biegeversuchfestigkeit wurden Flachbiegeproben von 6 und 12 mm Dicke nach *Bild 4* aus den Stählen nach *Tafel 1* benutzt, die im Anlieferungszustand mit Walzhaut, im verzinkten sowie im verzinkten und entzinkten Zustand geprüft wurden. Das Verzinken erfolgte, wie bei allen anderen in diesen Untersuchungen benutzten Proben, durch Tauchen von 2 min in eine Zinkschmelze von

450 °C mit einem Aluminiumgehalt von 0,02%, nachdem die Proben 30 min in 7prozentiger Salzsäure bei Raumtemperatur entzundert worden waren. Die Dicke der Zinkauflage betrug rd. 100 µm.

Zum Entzinken wurde eine 2prozentige Schwefelsäure mit Zusatz von 2 g/l arseniger Säure als Inhibitor benutzt.

Die Versuchsergebnisse sind in *Tafel 3* enthalten.

Bei den Stählen 1 bis 4 nach *Tafel 1* wurde im Vergleich zum Anlieferungszustand in keinem Fall eine Erniedrigung der Biege-wechselfestigkeit durch Verzinken oder nachträgliches Entzinken festgestellt. Bei den untersuchten Proben aus dem unberuhigten Thomasstahl TUST 37 (Stahl 5) ist ein geringer Abfall festzustellen, der jedoch innerhalb der Meßgenauigkeit liegt.

Veränderungen der Biege-wechselfestigkeit gegenüber dem Anlieferungszustand könnten so gedeutet werden, daß die Nachbehandlung eine Einebnung der Oberfläche bewirkt,

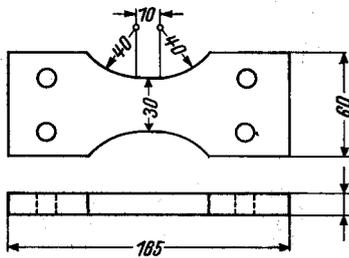


Bild 4  
Abmessungen der für die Biege-wechselversuche benutzten Flachbiegeproben

Veränderungen der Biege-wechselfestigkeit gegenüber dem Anlieferungszustand könnten so gedeutet werden, daß die Nachbehandlung eine Einebnung der Oberfläche bewirkt,

Tafel 3. Biege-wechselfestigkeit ( $\sigma_{bw}$ ) von Stählen St 37 unterschiedlicher Erschmelzungs- und Vergießungsart in Abhängigkeit vom Behandlungszustand (Probenform siehe Bild 4)

Stahl Nr. <sup>1)</sup>	Stahlsorte	Blechedicke mm	Behandlungszustand	$\sigma_{bw}$ kg/mm <sup>2</sup>
1	MR St 37-2	12	Anlieferung	19,1
			verzinkt	21,4
			verzinkt und entzinkt	21,4
1	MR St 37-2	6	Anlieferung	19,5
			verzinkt	22,2
			verzinkt und entzinkt	22,4
2	MR St 37-2	12	Anlieferung	18,4
			verzinkt und entzinkt	20,0
3	WR St 37-2	12	Anlieferung	16,0
			verzinkt	20,5
			verzinkt und entzinkt	20,4
4	WRR St 37-2	12	Anlieferung	20,6
			verzinkt	23,2
			verzinkt und entzinkt	22,4
5	TUST 37	12	Anlieferung	18,1
			verzinkt	16,5
			verzinkt und entzinkt	17,0

<sup>1)</sup> Vgl. *Tafel 1*.

so daß die Kerbwirkung der Zundernarben des Anlieferungszustandes gemildert wird. Ein mittragender Einfluß der Zinkauflage ist wegen der geringen Festigkeit des Zinks<sup>6)</sup>

Tafel 4. Biege-wechselfestigkeit ( $\sigma_{bw}$ ) des Stahles TUST 37 (Stahl 5 nach *Tafel 1*) in Abhängigkeit vom Behandlungszustand (Probendicke 12 mm, normalgeglüht)

Nr.	Probenzustand Art	Biege-wechselfestigkeit		
		kg/mm <sup>2</sup>	Zunahme gegen	
			1	4
1	mit Walzhaut	14,8	-	-22,8
2	1 + verzinkt und luftgekühlt	15,2	+ 2,8	-
3	2 + Zink abgebeizt	14,9	+ 0,6	-
4	geschliffen	19,2	+29,8	-
5	4 + verzinkt und luftgekühlt	19,7	-	+ 2,7
6	5 + Zink abgebeizt	16,8	-	-12,5
7	4 + luftgekühlt und im Salzbad bei 450 °C angelassen	20,8	-	+ 8,5

auszuschließen. Die Werte der Biege-wechselfestigkeit sind sämtlich auf den Ausgangsquerschnitt bezogen.

<sup>6)</sup> Hempel, M., u. D. Horstmann: Stahl u. Eisen 82 (1962) S. 1769/81 (Kaltwalzaussch. 86 u. Gemeinschaftsaussch. Verzinken 43).

Um die Wirkung von Eigenspannungen aus dem Walzvorgang sowie den Einfluß der Oberfläche auf die Versuchsergebnisse auszuschließen, wurden zusätzlich Biege-wechselversuche an normalgeglühten Proben mit Walzhaut und längsgeschliffener Oberfläche aus dem unberuhigten Thomasstahl TUST 37 durchgeführt (*Tafel 4*).

Diese Versuche lassen erkennen, daß die Biege-wechselfestigkeit sehr stark von der Oberfläche abhängt. Im Gegensatz zu den nicht normalgeglühten Proben ergeben hier die Proben mit Walzhaut im verzinkten Zustand einen leichten Anstieg der Biege-wechselfestigkeit, so daß zu vermuten ist, daß bei den nicht normalgeglühten Proben Druckeigenspannungen aus dem Walzzustand durch die Badtemperatur abgebaut wurden.

### Verhalten bei Zug-Druck-Wechselversuchen an geschweißten Probestäben

Für die Sicherheit eines geschweißten Bauteiles ist es wesentlich, daß die Zähigkeit des Werkstoffs erhalten bleibt, so daß Wärmespannungen und örtliche Überbelastungen ohne Schaden aufgenommen werden können. Hiermit gewinnt die Frage an Bedeutung, ob durch die Feuerverzinkung die Dauerschwingfestigkeit von Schweißverbindungen verringert wird. Um den Umfang der Untersuchungen nicht zu sehr auszuweiten, wurden aus der großen Zahl der möglichen Schweißverbindungen nur der Stumpfstoß, der Kreuzstoß und die Laschenverbindung ausgewählt (*Bild 5*).

Die Ergebnisse der Zug-Druck-Wechselversuche sind in *Tafel 5* wiedergegeben. Der Stab mit der Stumpfschweißnaht kommt wegen seiner geringen Kerbwirkung dem glatten Probestab des Biege-wechselversuches am nächsten. Proben aus dem unberuhigten Thomasstahl (Stahl 5 nach *Tafel 1*) zeigen die gleiche Abhängigkeit wie die in *Tafel 3* wieder-

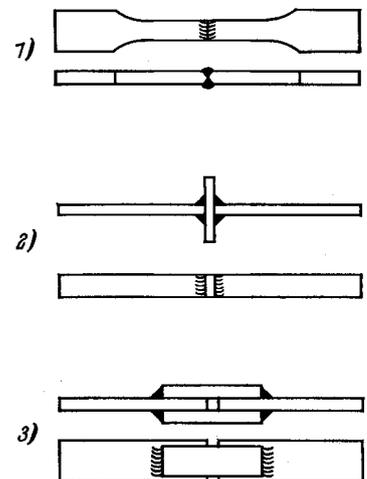


Bild 5. In Zug-Druck-Wechselversuchen geprüfte Schweißverbindungen.  
1. Stumpfstoß, 2. Kreuzstoß, 3. Laschenverbindung

Tafel 5. Ergebnisse von Zug-Druck-Wechselversuchen an unterschiedlichen Schweißverbindungen

Probenform nach Bild 5	Stahl Nr.	Behandlungszustand	Dauernd ertragene Wechselbelastung in t
1	5	Anlieferungszustand (Walzhaut)	± 3,5
		verzinkt	± 4,5
		verzinkt und dann entzinkt	± 4,0
2	5	Anlieferungszustand (Walzhaut)	± 2,5
		verzinkt	± 2,0
3	5	Anlieferungszustand (Walzhaut)	± 2,5
		verzinkt	± 2,0
3	5	Anlieferungszustand (Walzhaut)	± 2,0
		verzinkt	± 2,75

gegebenen Werte der Biege-wechselversuche mit glatten Stäben. Dieses Ergebnis wird etwas verändert, sobald — wie beim Kreuzstoß — eine Kerbe den Spannungsverlauf stört, so daß die Dauerschwingfestigkeit der verzinkten Kreuzstöße aus dem beruhigten Siemens-Martin-Stahl (Stahl 2 nach *Tafel 1*) und dem unberuhigten Thomasstahl (Stahl 5 nach *Tafel 1*) etwas abfällt. Berücksichtigt

man die Spannung in der Naht, so ist durch das Verzinken ein Abfall von 12,0 auf 9,5 kg/mm<sup>2</sup> festzustellen. Das Handbuch der gesamten Schweißtechnik<sup>7)</sup> gibt für Kreuzstöße eine Dauerschwingfestigkeit von 8 kg/mm<sup>2</sup> als Rechenwert an.

Laschenstöße zeigen im verzinkten Zustand eine erhöhte Dauerschwingfestigkeit.

Beim Abkühlen von Schweißverbindungen treten starke Schrumpfspannungen sowohl in Nahtichtung als auch senkrecht dazu auf, die als Zugeigenspannungen die Dauerfestigkeit verschlechtern. Die Versuchsergebnisse an den Laschen- und Stumpfstoßen zeigen, daß bei unbehinderter Ausdehnungsmöglichkeit derartige Eigenspannungen im Zinkbad weitgehend vermindert werden, so daß die Dauerfestigkeit der Verbindung steigt.

Der geringe Abfall der Dauerfestigkeit der vorher verzinkten und dann durch Beizen entzinkten gegenüber den verzinkten Proben kann dem glättenden Einfluß der Zinkschicht auf Einbrandkerben sowie der Beizbehandlung zugeschrieben werden.

#### Ergebnisse der Kerbschlagbiegeversuche (DVM- und DVMF-Proben)

Sämtliche für die Kerbschlagbiegeversuche benutzten Stähle wurden normalgeglüht. Als Oberflächenzustände wurden verglichen:

1. Anlieferungszustand,
2. feuerverzinkt (450 °C, 30 s Tauchzeit),
3. im neutralen Salzbad behandelt (450 °C, 30 s Tauchzeit),
4. feuerverzinkt und Zinkschicht abgebeizt.

Jeder Kurvenpunkt in den Bildern 6 bis 13 stellt den Mittelwert aus fünf Einzelversuchen dar.

In Bild 6 sind Kerbschlagzähigkeit-Temperatur-Kurven des beruhigten Siemens-Martin-Stahles 2 nach Tafel 1 und

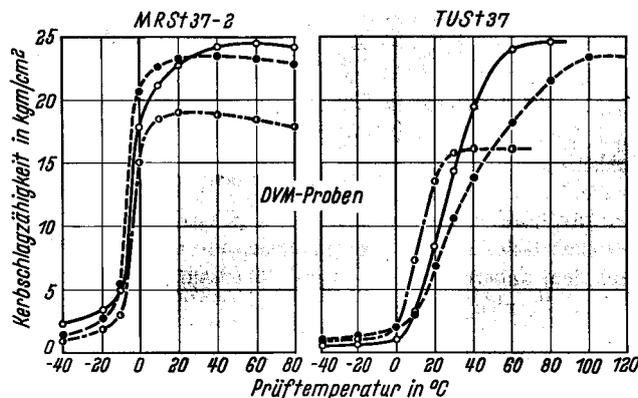


Bild 6. Mit DVM-Proben erhaltene Kerbschlagzähigkeit-Temperatur-Kurven von MR St 37-2 und TUST 37 (Stahl 2 und Stahl 5 nach Tafel 1) in verschiedenen Behandlungszuständen

- normalgeglüht
- - - normalgeglüht und im Salzbad angelassen (30 s bei 450 °C)
- · · normalgeglüht und in Zinkschmelze getaucht (30 s bei 450 °C)

des unberuhigten Thomasstahles 5 nach Tafel 1 bei verschiedenen Behandlungszuständen dargestellt. Der Steilabfall liegt bei jedem Stahl unabhängig von der Oberflächenbehandlung bei etwa gleichen Temperaturen. Lediglich die verzinkten Proben aus dem unberuhigten Thomasstahl zeigen einen um rd. 10 °C niedriger liegenden Steilabfall. Der Steilabfall des unberuhigten Thomasstahles liegt erwartungsgemäß um etwa 20 °C höher als bei dem Siemens-Martin-Stahl, was auf eine größere Versprödungsneigung hinweist. Bei der mildereren Kerbwirkung der DVMF-Proben (Bild 7) liegt der Steilabfall bei wesent-

lich tieferen Temperaturen. Der Steilabfall des unberuhigten Thomasstahles liegt jedoch auch hier wiederum bei höheren Temperaturen.

Zur Untersuchung des Alterungseinflusses wurden Proben unterschiedlich gestaucht und anschließend verzinkt

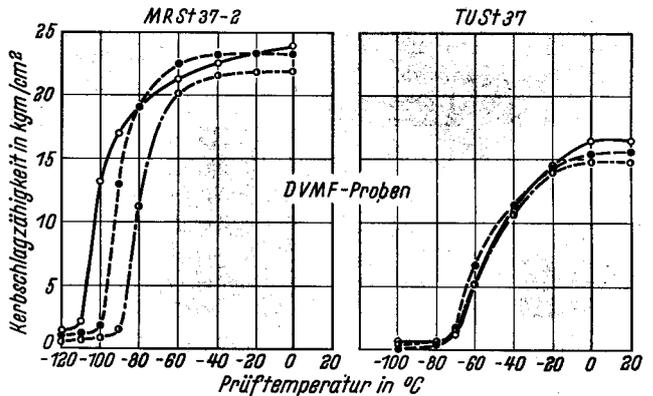


Bild 7. Mit DVMF-Proben erhaltene Kerbschlagzähigkeit-Temperatur-Kurven von MR St 37-2 und TUST 37 (Stahl 2 und Stahl 5 nach Tafel 1) in verschiedenen Behandlungszuständen

- normalgeglüht
- - - normalgeglüht und im Salzbad angelassen (30 s bei 450 °C)
- · · normalgeglüht und in Zinkschmelze getaucht (30 s bei 450 °C)

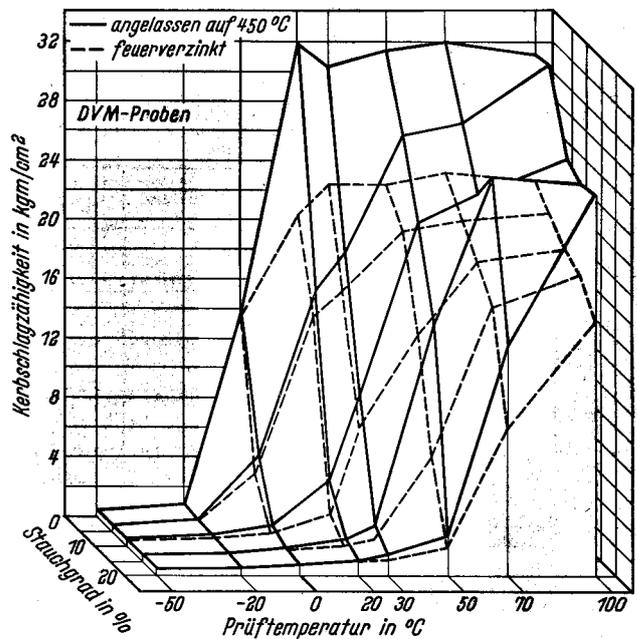


Bild 8. Einfluß des Verformungsgrades vor dem Verzinken oder vor dem Anlassen (450 °C) auf die mit DVM-Proben erhaltenen Kerbschlagzähigkeit-Temperatur-Kurven des Stahles WR St 37-2 (Stahl 3 nach Tafel 1)

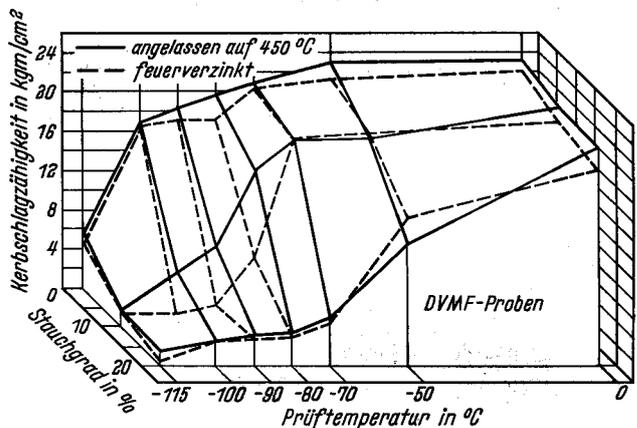


Bild 9. Einfluß des Verformungsgrades vor dem Verzinken oder dem Anlassen (450 °C) auf die mit DVMF-Proben erhaltenen Kerbschlagzähigkeit-Temperatur-Kurven des Stahles WR St 37-2 (Stahl 3 nach Tafel 1)

<sup>7)</sup> Schimpke, B., u. H. A. Horn: Praktisches Handbuch der gesamten Schweißtechnik. Berlin 1959.

sowie im Salzbad bei 450 °C angelassen (Bilder 8 bis 11). Durch das Verzinken wird die Kerbschlagzähigkeit in der Hochlage etwas, die Lage des Steilabfalls jedoch

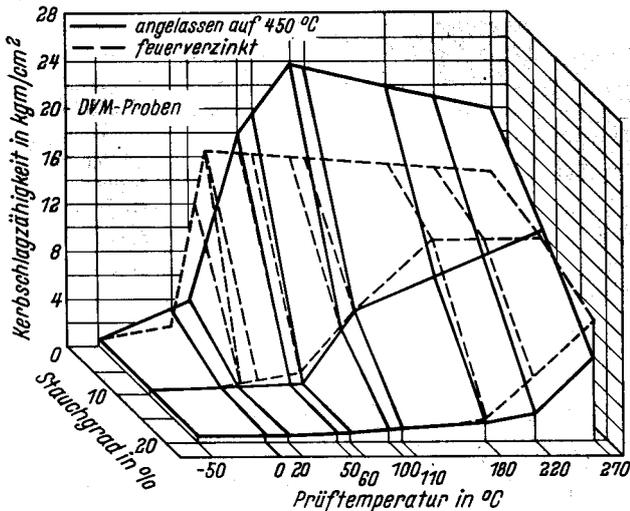


Bild 10. Einfluß des Verformungsgrades vor dem Verzinken oder dem Anlassen (450 °C) auf die mit DVM-Proben erhaltenen Kerbschlagzähigkeit-Temperatur-Kurven des Stahles TUST 37 (Stahl 5 nach Tafel 1).

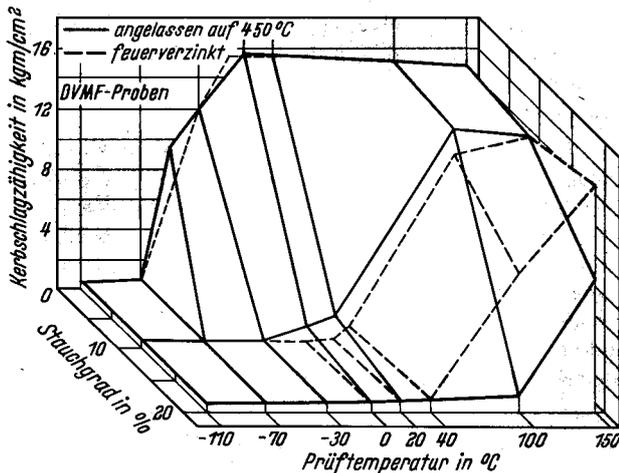


Bild 11. Einfluß des Verformungsgrades vor dem Verzinken oder dem Anlassen (450 °C) auf die mit DVMF-Proben erhaltenen Kerbschlagzähigkeit-Temperatur-Kurven des Stahles TUST 37 (Stahl 5 nach Tafel 1).

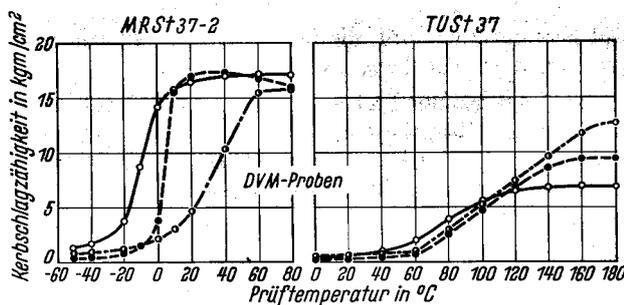


Bild 12. Mit DVM-Proben erhaltene Kerbschlagzähigkeit-Temperatur-Kurven von MR St 37-2 und TUST 37 (Stahl 2 und 5 nach Tafel 1) in verschiedenen Behandlungszuständen

- normalgeglüht und 10% gestaucht
- - - normalgeglüht, 10% gestaucht und im Salzbad angelassen (30 s bei 450 °C)
- · - normalgeglüht, 10% gestaucht und in Zinkschmelze getaucht (30 s bei 450 °C)

kaum beeinflusst. Wenn der Grundwerkstoff bereits stark versprödet ist, kann die Zinkschicht die Versprödung mildern, so daß die Kerbschlagzähigkeit-Temperatur-Kurve der verzinkten Proben oberhalb der Kurve der angelassenen Proben verläuft.

Die um 10% gestauchten Proben zeigen im Vergleich mit den unverformten DVM-Proben (Bilder 6 und 12) für den beruhigten Siemens-Martin-Stahl (Stahl 2 nach Tafel 1) eine geringe Verschiebung des Steilabfalls zu höheren Temperaturen. Bei dem unberuhigten Thomasstahl beträgt diese Verschiebung im Mittel bereits etwa 60 °C. Während der Streubereich des Steilabfalls für den beruhigten Siemens-Martin-Stahl verhältnismäßig groß ist, liegt er für den unberuhigten Thomasstahl in engen Grenzen. Letzter ist bei diesem Kaltverformungsgrad bereits so versprödet, daß ein Unterschied zwischen den einzelnen Behandlungszuständen nicht mehr festzustellen ist. Bei dem beruhigten Siemens-Martin-Stahl ist jedoch durch die 10prozentige Kaltverformung und das dadurch gestörte Gitter eine verstärkte Diffusion bei der Reaktion Eisen-Zink möglich, so daß anteilmäßig mehr Eisen-Zink-Legierungsschichten aufwachsen, die infolge ihres heterogenen Aufbaues eine bei diesem Stahl wahrnehmbare zusätzliche Verschiebung des Steilabfalls zu höheren Temperaturen bewirken (Bild 12).

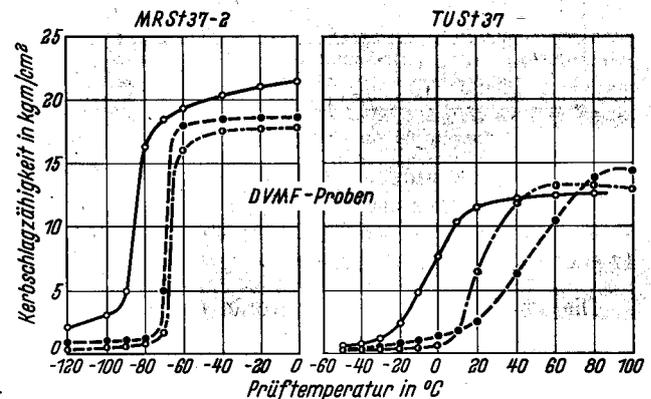


Bild 13. Mit DVMF-Proben erhaltene Kerbschlagzähigkeit-Temperatur-Kurven von MR St 37-2 und TUST 37 (Stahl 2 und Stahl 5 nach Tafel 1) in verschiedenen Behandlungszuständen

- normalgeglüht und 10% gestaucht
- - - normalgeglüht, 10% gestaucht und im Salzbad angelassen (30 s bei 450 °C)
- · - normalgeglüht, 10% gestaucht und in Zinkschmelze getaucht (30 s bei 450 °C)

Bild 13 zeigt wiederum die starke Verschiebung des Steilabfalls zu tieferen Temperaturen, sobald die Kerbwirkung geringer ist. Im übrigen liegt der Steilabfall für den unberuhigten Thomasstahl (Stahl 5 nach Tafel 1) hierbei um rd. 70 °C höheren Temperaturen als bei dem alterungsunempfindlichen Siemens-Martin-Stahl (Stahl 2 nach Tafel 1). Bei einer weniger scharfen Kerbe scheint sich die Verzinkung im Vergleich mit der Kerbschlagzähigkeit nur angelassener Proben günstig auf die Verschiebung des Steilabfalls auszuwirken.

Bei der Beurteilung der wiedergegebenen Versuchsergebnisse an Kerbschlagproben ist wesentlich, daß die verschiedenen Behandlungsarten an normalgeglühten unverformten Proben nahezu keine Verschiebung des Steilabfalls bewirken. Jede Kaltverformung verursacht eine Verschiebung des Steilabfalls zu höheren Temperaturen. Ein Teil dieser Verschiebung ist also auf die Kaltverformung selbst zurückzuführen, so daß nur der Rest der Verschiebung von der Temperaturerhöhung oder der Temperaturerhöhung und der Zinkschicht verursacht wird.

Die Temperaturerhöhung gehört zum Feuerverzinken und bewirkt eine beschleunigte Ausscheidung des in jedem Stahl in gelöster Form mehr oder weniger vorhandenen Stickstoffs. Diese „künstliche Alterung“ ist lediglich die Vorwegnahme eines mit der Zeit ohnehin ablaufenden Vorgangs. Damit wird bei scharfen Kerben und

alterungsanfälligen Stählen die Kerbschlagzähigkeit feuerverzinkter Proben unabhängig vom Verzinken und ein reines Alterungsproblem.

### Ergebnisse der Schlagzugversuche an gelochten Proben

Das häufig beobachtete spröde Verhalten gestanzter Lochränder gab Veranlassung, auch den Einfluß der Badtemperatur und der Zinkschicht auf die kalt verformte Zone der gestanzten Teile zu untersuchen.

Auch bei diesen Versuchen gibt ähnlich wie bei den Kerbschlagversuchen die Temperatur des Übergangs vom Verformungs- zum Trennbruch einen Anhaltswert für die Versprödungsneigung. An unterschiedlich gelochten und unterschiedlich behandelten Proben wurde deshalb die Übergangstemperatur im Schlagzugversuch ermittelt.

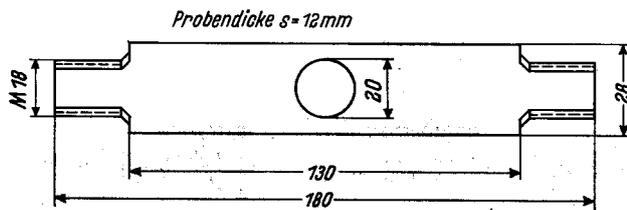


Bild 14. Abmessungen der Proben für den Schlagzugversuch

Die Versuche wurden an dem unberuhigten Siemens-Martin-Stahl (Stahl 2 nach *Tafel 1*) und dem unberuhigten Thomasstahl (Stahl 5 nach *Tafel 1*) bei einer Blechdicke von 12 mm durchgeführt.

Die Probenform (*Bild 14*) wurde durch einige Versuche so abgestimmt, daß auch bei sehr tiefen Temperaturen der Bruch stets an der Bohrung und nicht im Einspanngewinde erfolgte. Der Kerbfaktor dieser Probenform beträgt 1,87. Die ursprüngliche Probenbreite von 50 mm wurde nach dem Lochen auf 28 mm verringert.

Gelocht wurde auf folgende Arten:

1. Stanzen des Loches von 20 mm Dmr. mit engem Schnittspalt (0,2 mm),
2. Stanzen des Loches von 20 mm Dmr. mit normalem Schnittspalt (0,88 mm),
3. Stanzen eines Loches von 19 mm Dmr. mit nachfolgendem Aufbohren auf 20 mm Dmr.,
4. Bohren des Loches auf 20 mm Dmr.

Tafel 6. Im Schlagzugversuch ermittelte Übergangstemperaturen der Stähle 2 und 5 in Abhängigkeit von der Art der Lochung und der Oberflächenbehandlung

Stahl	Lochart	Übergangstemperatur in °C			
		Anlieferungszustand	verzinkt	verzinkt und entzinkt	Salzbad 450 °C
2	gestanzt eng	+4	+34	+6	+55
	gestanzt normal	+3	+23	+15	+44
	gestanzt aufgebohrt	-131	-94	-100	-93
	gebohrt	-146	-140	-118	-137
5	gestanzt eng	+63	+64	+116	+97
	gestanzt normal	+64	+63	+115	+103
	gestanzt aufgebohrt	-18	-21	+36	+49
	gebohrt	-50	-45	-35	-24

Die ermittelten Übergangstemperaturen sind in *Tafel 6* zusammengestellt. *Bild 15* gibt die an Stahl 1 (*Tafel 1*) ermittelten Kurven wieder.

Aus der Gegenüberstellung der Übergangstemperaturen in *Tafel 6* geht hervor, daß kalt verformte Zonen die Übergangstemperatur für alle Oberflächenbehandlungen bei beiden Werkstoffen zu erheblich höheren Temperaturen verschieben. Dabei liegen die Übergangstemperaturen für den unberuhigten Thomasstahl am höchsten. Zwischen den mit engem Schnittspalt gestanzten und den mit normalem Schnittspalt gefertigten Proben ist bei sämtlichen Oberflächenbehandlungen kaum ein Unterschied in der Übergangstemperatur festzustellen.

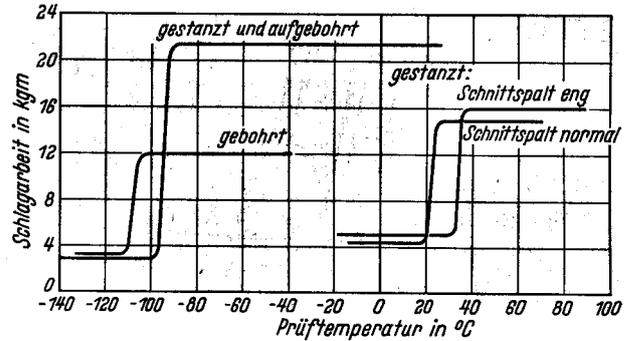


Bild 15. Mit unterschiedlich gelochten und anschließend feuerverzinkten Proben bei Schlagzugversuchen erhaltene Übergangstemperaturen des Stahles MR St 37-2 (Stahl 1 nach *Tafel 1*)

Besonders beim unberuhigten Thomasstahl ist deutlich zu erkennen, daß mit dem Aufbohren des gestanzten Loches um 1 mm keineswegs die kalt verformte Einflußzone restlos beseitigt werden konnte.

Die Übergangstemperatur der gestanzten Proben aus dem beruhigten Siemens-Martin-Stahl 2 im verzinkten Zustand wird durch das Verzinken um 30 °C erhöht, während gleichbehandelte Proben aus dem unberuhigten Thomasstahl gleiche Werte wie im Anlieferungszustand zeigen. Ähnlich verhalten sich auch die gestanzten und aufgebohrten Proben im verzinkten Zustand. Die gebohrten und verzinkten Proben erreichen nahezu die gleichen Werte wie die Proben im Anlieferungszustand.

Sehr bemerkenswert ist, daß die Übergangstemperaturen der im Salzbad behandelten Proben sowohl beim beruhigten Siemens-Martin-Stahl als auch beim unberuhigten Thomasstahl höher liegen als die der verzinkten Proben. Das bedeutet, daß durch Beizen und anschließendes Verzinken ein kernmildernder Einfluß wirksam wird, während die Verschiebung des Steilabfalls durch die Erwärmung im Zinkbad hervorgerufen wird, die in Verbindung mit der Kaltverformung wie eine künstliche Alterung wirkt.

Bei den verzinkten Proben aus dem unberuhigten Thomasstahl wird die Übergangstemperatur durch das Erwärmen im Zinkbad erhöht. Der Einfluß der Zinkschicht wirkt jedoch entgegengesetzt, so daß die Übergangstemperatur gegenüber dem Anlieferungszustand kaum verändert erscheint.

\* \* \*

Wir danken der Gesellschaft zur Förderung der Eisenhüttentechnik mbH, Düsseldorf, der Forschungsgesellschaft Blechverarbeitung E. V., Düsseldorf, und dem Gemeinschaftsausschuß Verzinken, Düsseldorf, für die Förderung dieser Arbeit; für die Bereitstellung von Geldmitteln danken wir dem Bundesministerium für Wirtschaft und der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen E. V., dem Wirtschaftsministerium des Landes Hessen sowie der Industrie. Für die kostenlose Überlassung von Versuchswerkstoffen sei den Firmen Hüttenwerk Oberhausen AG, Oberhausen, Dortmund-Hörder Hüttenunion AG, Dortmund, und Ilseder Hütte, Peine, gedankt.

### Zusammenfassung

Die für eine erweiterte Anwendung der Feuerverzinkung als Korrosionsschutzverfahren für Stahl sehr wesentliche Frage nach dem Einfluß der Verzinkung auf die mechanischen Eigenschaften wurde für den Baustahl St 37 nach DIN 17 100 in verschiedenen Erschmelzungs- und Vergießarten untersucht. Dabei wurden Bleche im Walzzustand sowie Schweißverbindungen ruhender, wechselnder und schlagartiger Beanspruchung ausgesetzt, um damit den wesentlichen Teil der im Stahlhochbau, Fahrzeugbau und Schiffsbau vorkommenden Beanspruchungsarten zu erfassen.

Die Ergebnisse der Zugversuche lassen erkennen, daß Zugfestigkeit, Streckgrenze und Bruchdehnung durch das Feuerverzinken bei den untersuchten Blechdicken nahezu unverändert bleiben. Der Biegeversuch an gelochten Proben nach der ASTM-Norm A 143 - 46 zeigt zwar, daß bei gestanzten Löchern unter Biegebeanspruchung die Dehnung der verzinkten Proben gegenüber dem Anlieferungszustand etwas abnimmt, daß jedoch die gemessenen Werte immer noch weit über den von der American Society for Testing and Materials als Mindestwerte bezeichneten liegen.

Die Dauerfestigkeit der 6 und 12 mm dicken Bleche wurde durch das Verzinken geringfügig verbessert. Ein

Einfluß der Blechdicke oder der Vergießungsart war nicht zu erkennen.

Bei den Schweißverbindungen zeigten die Kreuzstöße nach dem Verzinken einen leichten Abfall der Zug-Druck-Wechselfestigkeit, während die Dauerschwingfestigkeit der Stumpfstoße und der Laschenverbindungen leicht verbessert wurde. Die im „Schweißtechnischen Handbuch für Konstrukteure“ angegebenen Werte der Dauerschwingfestigkeit wurden jedoch von den verzinkten Kreuzstößen nicht unterschritten.

Die Kerbschlagzähigkeit der untersuchten Stähle im verzinkten Zustand ergab nahezu die gleichen Werte wie unter entsprechenden Bedingungen (2 min 450 °C) gealterte unverzinkte Proben. Weniger scharf gekerbte Proben (DVMF-Proben) ergeben auch im gealterten Zustand noch sehr tiefe Übergangstemperaturen. Aus den Versuchsergebnissen kann geschlossen werden, daß das Verzinken eine Alterung vorwegnimmt, die sich bei entsprechend langer Gebrauchsdauer ohnehin durch natürliche Alterung einstellen würde.

Die hier vorgenommenen Gegenüberstellungen der mechanischen Eigenschaften im unverzinkten und im verzinkten Zustand sollen zeigen, daß nachteilige Auswirkungen des Feuerverzinkens kaum bestehen und daß es auch in größerem Umfang für tragende Bauteile herangezogen werden kann.