

STAHL UND EISEN

ZEITSCHRIFT FÜR DAS DEUTSCHE EISENHÜTTENWESEN

Herausgegeben vom Verein Deutscher Eisenhüttenleute

Geleitet von Dr.-Ing. Dr. mont. E. h. O. Petersen

unter Mitarbeit von Dr. J. W. Reichert und Dr. W. Steinberg für den wirtschaftlichen Teil

HEFT 21

23. MAI 1940

60. JAHRGANG

Untersuchungen über Bruchbildungen an geschweißten Bauwerken aus Stahl St 52.

Von Walter Grosse in Peine.

[Bericht Nr. 499 des Werkstoffausschusses des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute*].

(Schadensfälle an den Brücken Bahnhof Zoo und Rüdersdorf. Befund der Bruchstellen. Werkstoffkundliche Untersuchungen. Durchführung der Schweißarbeit. Entstehungsursache der Brüche. Folgerungen für den Werkstoff und die Schweißausführung zur Vermeidung von Schäden in der Zukunft.)

Zum Zeitpunkt der Herstellung der ersten geschweißten Großbrücken bestand die Auffassung, daß Siemens-Martin-Flußstahl bis zu einem Kohlenstoffgehalt von 0,35% schweißbrüunempfindlich sei¹⁾. Da nach den Lieferbedingungen der Deutschen Reichsbahn der Kohlenstoffgehalt des Stahles St 52 bei Profilen mit Dicken bis zu 18 mm bis 0,20% und bei größeren Dicken höchstens 0,25% betragen durfte, haben Stahlhersteller und -verarbeiter der schweißtechnischen Verarbeitung dieses Stahles keine Bedenken entgegengebracht. Als sich der Stahl St 52 weiterhin bei der Herstellung kleinerer geschweißter Straßen- und Eisenbahnbrücken und auch beim Verstärken älterer Bauwerke durch Einschweißen von Laschen gut bewährte, folgerte man, daß im Stahl St 52 durch geeignete Abstimmung der Elemente Kohlenstoff, Silizium und Mangan die Schweißbrüunempfindlichkeit gewährleistet sei. So übernahm man ohne Bedenken den bei der Ausführung zahlreicher genieteter Bauwerke gut bewährten Stahl auch zur Herstellung von geschweißten Brücken mit größeren Spannweiten, die aus Profilen bislang im Stahlbau unbekannt gewesener Abmaße hergestellt wurden.

Die Einführung der Schweißtechnik im Brückenbau verlangte in vielen Punkten ein Abgehen von der bei genieteten Brücken in langer Erfahrung als bewährt herausgebildeten Bauweise. Die neue Bauart stellte Stahlhersteller und Brückenbauer vor Fragen, zu deren Beantwortung weder hinreichend theoretische Kenntnisse noch praktische Erfahrungen vorlagen. Es galt so zu klären, wie sich in einer geschweißten Konstruktion, die einen aus einem Guß vergleichbaren Körper darstellt, die Gesamtspannungen auf die Neigung zur Bruchbildung bei Biegewechselbeanspruchungen auswirken. Es lagen keine Erfahrungen vor über den Einfluß der mit dem Einbringen des Schweißgutes in der Schweißnahtzone örtlich entstehenden Spannungsspitzen, und zwar der Schrumpfspannungen und der mehrachsigen Spannungszustände. Es war unbekannt, ob den mit der Wärmeeinwirkung beim Einbringen der

Nähte auftretenden Längs- und Querschrumpfspannungen, z. B. in der Halsnahtzone von Balkenträgern, größere Beachtung geschenkt werden sollte als der auf Wärmeeinwirkung zurückzuführende Aenderung des Werkstoffaufbaues der verwendeten Baustähle und der damit verbundenen Aenderung der Festigkeitseigenschaften des Stahles in der Uebergangszone von Schweißbraupe zum Grundwerkstoff. Erfahrungen waren zu sammeln über die Frage, ob X-, V-, K- oder Kehlnähte die beste Anschlußart darstellen, und über die durch die Herstellung von Balkenträgern notwendig gewordene grundlegende Aenderung der Profilgestaltung der Walzprofile für die Gurtlamellen. Es mußte das Verhalten der meterlangen zur Verbindung der Einzelteile in das Bauwerk eingebrachten Schweißnähte geprüft werden, die mit ihrem stahlformgußähnlichen Aufbau einen Fremdkörper darstellen. Nicht zuletzt mußte die Frage geklärt werden, ob die zur Herstellung von Nietbauteilen bislang verwendeten Stähle sich in der Tat auch zur Herstellung geschweißter Bauwerke eignen.

Bei der Vielheit dieser mit dem Schweißen von Großbauwerken verbundenen unbekanntem Einflüsse kann es nicht wundernehmen, wenn Rückschläge durch Bruchbildung einzelner Bauteile eingetreten sind. Die Unkenntnis über die Gründe der Bruchbildung, die Ungewißheit der Frage, ob der Stahl St 52 überhaupt zur Herstellung von Schweißbauteilen geeignet ist, und die durch den Bau der Reichsautobahn notwendig gewordene Schaffung zahlreicher großer Brücken, bei denen man wegen der architektonisch erreichbaren Wirkung nur ungern auf die neue Bauweise der Schweißkonstruktion verzichtete, hat zu zahlreichen Untersuchungen und Veröffentlichungen über die Schweißbarkeit des Stahles St 52 Anlaß gegeben. Auf Arbeiten, die für folgende Untersuchungen von Wichtigkeit waren, wird im Laufe des Berichtes hingewiesen. Bevor die aus den eigenen Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse gebracht werden, soll eine kurze Beschreibung der beiden Brücken Bahnhof Zoo und Rüdersdorf gegeben werden, an denen die bekanntesten Schadensfälle eingetreten sind.

Die im Rahmen des Umbaues des Bahnhofs „Zoologischer Garten“, Berlin, zur Ueberführung der Stadtbahngleise über

*) Erstattet in der Sitzung des Unterausschusses für Schweißbarkeit am 23. Februar 1940. — Sonderabdrucke sind vom Verlag Stahleisen m. b. H., Düsseldorf, Postschließfach 664, zu beziehen.

¹⁾ Zeyen, K. L.: Stahl u. Eisen 55 (1935) S. 901/06.

die Hardenbergstraße eingebaute Zoo-Brücke²⁾ wurde bei der zur Verfügung stehenden geringen Bauhöhe und der in Frage kommenden verhältnismäßig großen Spannweite als Zweigelenkrahmen ausgebildet, und zwar als Vollwand-

weiterhin auf sechs, der 400 m lange Abschnitt auf sieben beweglichen Lagern verankert. Die Hauptträger sind als Balkenträger ausgebildet, die bei der nördlichen Brücke aus Wulstflachstahl $660 \times 39 \text{ mm}^2$ und bei der südlichen Brücke

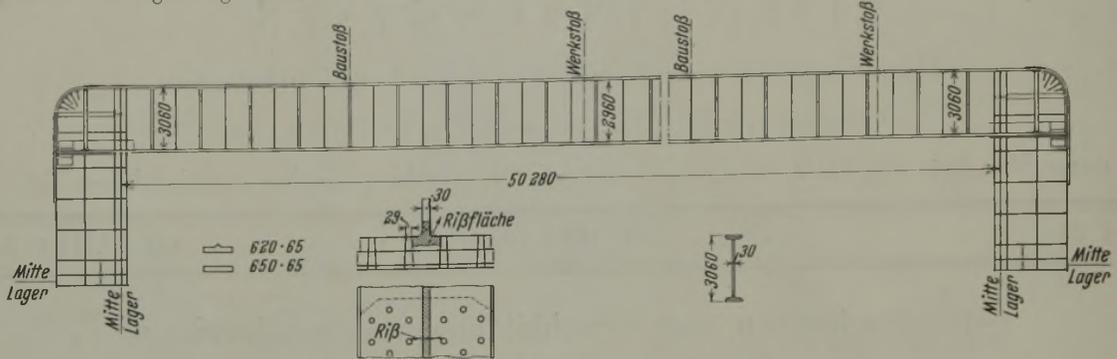


Bild 1. Zweigelenkrahmen der Zoo-Brücke.

träger (Bild 1). Der Riegel hatte eine Höhe von 3 m, die Ständer eine solche von 3,5 m. Die Stützweite betrug rd. 50 m. Der Riegel wurde mit I-förmigem Querschnitt ausgebildet und bestand aus einem $2800 \times 30 \text{ mm}^2$ großen Stegblech und aus Flanschen, die durch Kehlnahtverbindung aus je einem Wulstprofil System Dörnen $620 \times 65 \text{ mm}^2$ und einem Breitflachstahl $650 \times 65 \text{ mm}^2$ erhalten wurden.

aus Profilen $660 \times 44 \text{ mm}^2$ hergestellt sind. Ueber den Stützen sind die Lamellen durch Gurtplatten 500×76 und $520 \times 73 \text{ mm}^2$ verstärkt. Die Stegblechhöhe schwankt zwischen 2,72 und 2,91 m. Die 340 und 400 m langen Hauptträger wurden auf der Baustelle durch Zusammenschweißen

Kurz vor der Fertigstellung des geschweißten Gleisbrückenträgers fand man im Untergurt einen in Steg und Flansch verlaufenden Querriß, der durch zwei zum Bauteil gehörende Bohr-

löcher abgefangen wurde. Die Bruchfläche war stark angerostet, ein Zeichen dafür, daß die Bruchbildung schon längere Zeit vor ihrer Auffindung eingetreten war. Außerdem wurden in der Bruchfläche Anlauffarben vorgefunden. Bei der später vorgenommenen



Bild 2. Anbruchfläche aus einem Träger der Zoo-Brücke.

Röntgenuntersuchung wurden im Ober- und Untergurt zahlreiche weitere derartige Querrisse entdeckt, die stets mehr oder weniger tief in den Gurtwerkstoff, seltener in den Steg vordrangen. Bild 2 zeigt eine derartige Anbruchfläche.

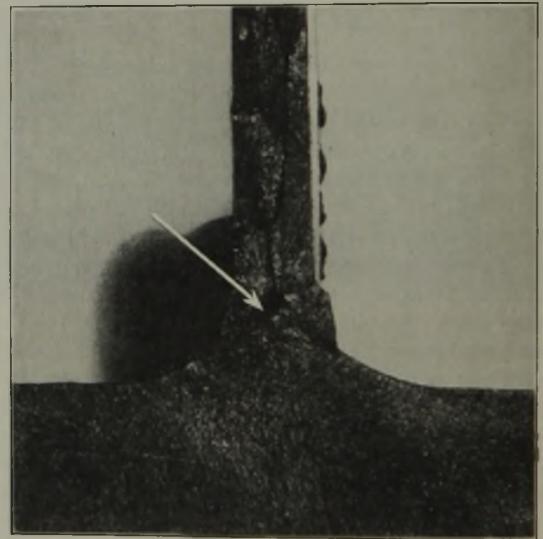


Bild 4. Bruchaussehen des gerissenen Trägers von der Rüdersdorfer Brücke.

der einzelnen Lamellen zu je einer Trägereinheit verbunden. Die Querverbände sind aus Stahl St 37 hergestellt.

Nach einem plötzlich eintretenden Temperatursturz von rd. 0 auf -12° sind mit kanonenschlagähnlichem Geräusch zwei Hauptträger des 340 m langen nördlichen Brückenteils gerissen. Die Brüche lagen jeweils im Untergurt in zwei verschiedenen Brückenfeldern, jedoch an der gleichen Beanspruchungsstelle, und zwar in der Uebergangszone von den Druck- zu den Zugspannungen, also im

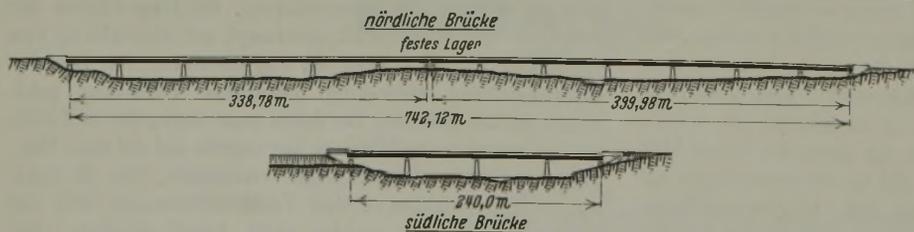


Bild 3. Brücke Rüdersdorf.

Die im Zuge des Berliner Ringes der Reichsautobahn gelegene Brücke Rüdersdorf besteht aus einem nördlichen und einem südlichen Brückenteil (Bild 3). Die nördliche 740 m lange Brücke, in der sich die Bruchstellen befinden, ist unterteilt in zwei Abschnitte von 340 und 400 m Länge. Beide Teile ruhen in der Brückenmitte auf je einem festen Lager eines Gruppenpfeilers. Der 340 m lange Teil ist

Nullpunkt der Beanspruchung, und weiterhin unterhalb einer Stoßstelle der schweren Straßendecke. Gelegentlich einer später vorgenommenen Belastungsprobe hat sich in einem Untergurt desselben Brückenteils eine weitere Bruchbildung eingestellt. Sämtliche Brüche haben gleiches Aussehen. Die Gurtplatten sind senkrecht zur Trägerflucht einschnürungslos durchgebrochen. Der Riß verlief durch das Stegblech, im einen Falle bis nahezu an den Obergurt und

²⁾ Schaper, G.: Bautechn. 16 (1938) S. 649/55.

im anderen Falle bis ungefähr ein Drittel der Stegblechhöhe vom Obergurt entfernt. An den Bruchflächen der Träger war keine Fehlerhaftigkeit der Wulststäbe erkennbar. Die Bruchflächen waren verhältnismäßig feinkörnig ausgebildet und frei von Schieferbruch. In der Schweißnahtwurzel befanden sich an sämtlichen Bruchflächen erbsengroße Fehlstellen. Bild 4 zeigt eine solche Bruchfläche.

Werkstoffkundliche Untersuchungen.

Die im folgenden wiedergegebenen Erkenntnisse wurden gesammelt bei der Prüfung von Stählen St 52, die ähnlich den Stählen der Brücken Zoo und Rüdersdorf auf der Grundlage Mangan-Silizium aufgebaut waren. Durch verschiedenartige Schmelzbehandlung wurden die Versuchsstähle teils als Grob-, teils als Feinkornstähle ausgebildet. Die Ergebnisse wurden durch eine Werkstoffuntersuchung eines nach zweijährigem Betriebe ausgebauten Trägerstückes des Bahnhofs Zoo erhärtet.

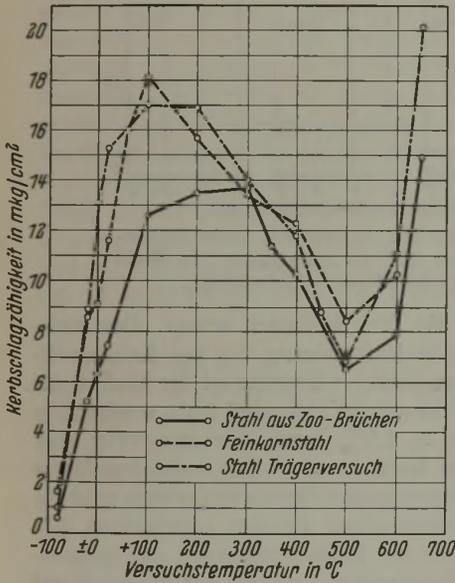


Bild 5. Aenderung der Kerbschlagzähigkeit dreier verschiedener Stähle mit der Temperatur. (Proben von 10 x 10 x 55 mm³ mit 3 mm tiefem Rundkerb von 2 mm Dmr.)

hergestellt, dessen härtende Elemente Kohlenstoff und Mangan und das die Streckgrenze besonders günstig beeinflussende Element Silizium entsprechend der damaligen Kenntnis der Herstellung derartiger dicker Gurtplatten hoch gewählt waren. Die Werte entsprachen den Lieferbedingungen der Deutschen Reichsbahn. Der Stickstoffgehalt war für Siemens-Martin-Stahl sehr hoch. Die Festigkeitseigenschaften wurden ermittelt zu 42 kg/mm² Streckgrenze, 65 kg/mm² Zugfestigkeit, 21% Dehnung (l = 10 d) und 53% Einschnürung. Entsprechend der Stahlzusammensetzung liegen die Streckgrenzen- und Zugfestigkeitswerte verhältnismäßig hoch. Die hohe Dehnung und Einschnürung sprechen dafür, daß der Stahl trotzdem ein gutes Arbeitsvermögen hat.

Das Auffinden von Anlauffarben in den Querbruchflächen führte zum Verdacht des Vorliegens von Warm-

Zahlentafel 1. Chemische Zusammensetzung der untersuchten Stähle St 52.

Nr.	Stahl	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cu %	N ₂ %
1	Gurt 5 a der Zoo-Brücke	0,25	0,84	1,20	0,025	0,020	0,50	0,012
2	Gurt der Rüdersdorfer Brücke	0,16	0,69	1,07	0,051	0,020	0,17	0,007
3	Ueblich erschmolzen	0,19	0,58	1,52	0,030	0,021	0,41	
4	Feinkornstahl	0,20	0,57	1,32	0,030	0,019	0,12	
5	Trägerversuch	0,17	0,46	1,39	0,027	0,027	0,08	0,006
6	Versuchsstahl	0,19	0,41	1,22	0,037	0,020	0,10	
7	Versuchsstahl	0,18	0,46	1,40	0,025	0,026	0,08	
8	Versuchsstahl	0,21	0,46	1,36	0,039	0,022	0,13	
9	Versuchsstahl	0,18	0,31	1,27	0,022	0,019	0,08	

rissen. Es war deswegen zu prüfen, ob der Stahl der Zoo-Brücke bei höheren Temperaturen ein Gebiet größerer Kerbsprödigkeit aufweist. Zu diesem Zwecke wurde die Kerbschlagzähigkeit des Stahles im Temperaturgebiet von -80 bis +650° ermittelt (Bild 5) und die erhaltenen Werte mit dem Prüfungsergebnis eines unter üblichen Bedingungen erschmolzenen Stahles St 52 (Stahl 5 in Zahlentafel 1) verglichen, der sich bei Ausführung von Trägerbiegeversuchen gut bewährt hatte. Ein weiterer Vergleich wurde mit dem Prüfergebnis eines Feinkornstahles (Stahl 4 in Zahlentafel 1) vorgenommen. Während sich die beim Feinkornstahl und bei dem zum Trägerversuch verwendeten Stahl gefundenen Werte nahezu vollkommen decken, hat der Stahl der Zoo-Brücke im Bereich von 0 bis 250° etwas tiefer liegende Kerbschlagzähigkeitswerte, die in der härteren Stahlzusammensetzung begründet sind. Zwischen 250 und 600°, also in dem Bereich der Bildung der gefundenen Anlauffarben, ist praktisch kein Unterschied zwischen der Kerbschlagzähigkeit der Versuchsstähle vorhanden. Ein Sprödigkeitsbereich des Stahles der Zoo-Brücke bei höheren Temperaturen liegt demnach nicht vor.

Weitere vergleichende Warmzugfestigkeitsuntersuchungen zwischen dem Stahl der Zoo-Brücke, dem Stahl des Trägerversuches und einem anderen üblich erschmolzenen Stahl St 52 (Stahl 3 in Zahlentafel 1) wurden an der Technischen Hochschule Aachen durchgeführt (Bild 6). Die Zugfestigkeit des Stahles der Zoo-Brücke liegt bei 300° mit 72 kg/mm² um 17 kg/mm² höher als die Zugfestigkeit des Stahles für den Trägerversuch. Bei 500° beträgt der Zugfestigkeitsunterschied der beiden Stähle 6 kg/mm² zugunsten des Stahles der Zoo-Brücke. Die Dehnungs- und Einschnürungswerte liegen beim Stahl der Zoo-Brücke in diesem Temperaturbereich etwas tiefer, doch sind die gefundenen Unterschiede nicht so groß, daß hierin eine Erklärung für die Bruchursache gefunden werden könnte.

Das Primärgefüge des Stahles der Zoo-Brücke zeigte eine gleichmäßige Verteilung der zur Seigerung neigenden Elemente und das Fehlen einer Gußblockseigerungszone. Es wurden weiterhin einige, wahrscheinlich aus Mangansilikaten bestehende langgestreckte nichtmetallische Einschlüsse im Stahl gefunden. Das Feingefüge wies sehr feinkörnige Kristallausbildung auf und bestand aus einem

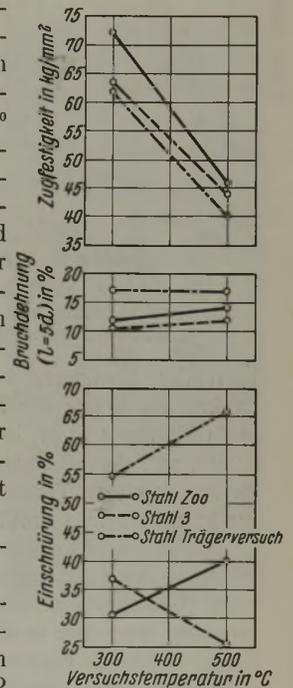
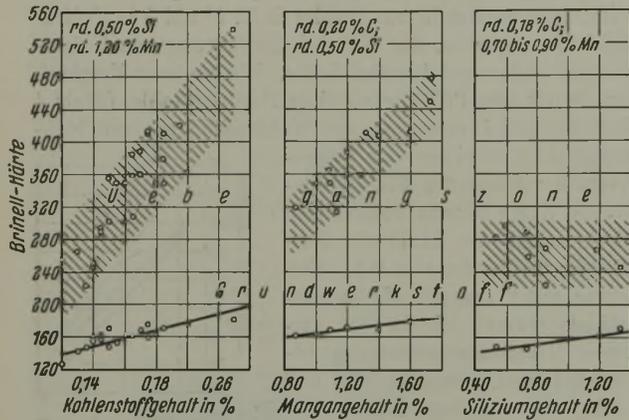


Bild 6. Ergebnisse von Zugversuchen an St 52 bei 300 und 500°.

schwach zeilenförmig angeordneten Gemisch von Ferrit und sehr fein lamellarem Perlit, der in der Randzone durch die schnellere Abkühlung bereits sorbitische Ausbildung angenommen hatte. Martensitinseln oder andere Ungleichmäßigkeiten wurden nicht gefunden. Der Stahl hatte die McQuaid-Ehn-Korngröße 3, war also ein Grobkornstahl.

Nach dem Auftreten des Schadensfalles an der Zoo-Brücke wurden die Querbrüche zunächst vielfach mit der zwar zulässigen, aber als ungünstig angesprochenen Legierungsweise des Stahles in Zusammenhang gebracht. Besondere Schuld wurde dem hohen Kohlenstoff- und Siliziumgehalt zugeschrieben. Da bei Brückenbauanstalten die Erfahrung vorlag, daß ein bestimmt legierter Stahl St 52 bei schweißtechnischer Verarbeitung zur Ribbildung neigt, wenn der Kohlenstoffgehalt die Grenze von 0,20% übersteigt, so glaubte man, die entstandenen Schwierigkeiten durch eine Begrenzung der höchstzulässigen Gehalte an den



Bilder 7 bis 9. Einfluß der chemischen Zusammensetzung auf die Aufhärtung von 50 mm dicken Stahlproben beim Aufschweißen von Raupen mit 5-mm-Elektroden.

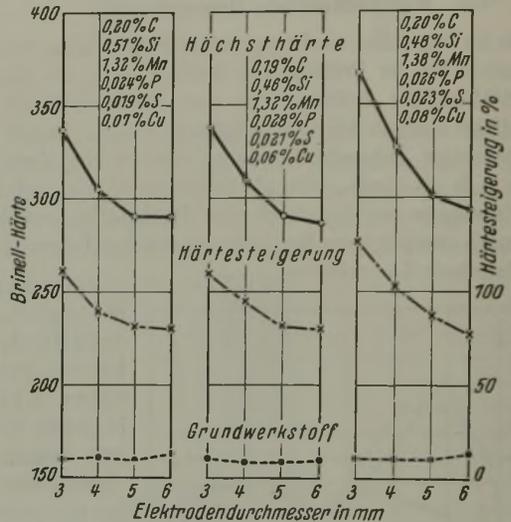
härtenden Elementen beheben zu können. Dieser Gedankengang führte zur Aufstellung neuer Lieferbedingungen³⁾ für Stahl St 52, in denen der Kohlenstoffgehalt auf 0,20% und der Siliziumgehalt auf 0,50% begrenzt sowie die Streckgrenzen T- und Dehnungswerte je nach der Dicke der herzustellenden Profile herabgemindert wurden.

Die an zwei Lamellen der Rüdersdorfer Brücke eingetretene Bruchbildung zeigte jedoch, daß mit den getroffenen Maßnahmen die Kernfrage der Bruchbildung ungelöst geblieben war. Der in dieser Brücke zu Bruch gegangene Stahl erfüllte die Forderungen der neuen Lieferbedingungen vorzüglich. Der Stahl enthielt 0,16% C, 0,69% Si, 1,07% Mn, 0,051% P, 0,020% S, 0,17% Cu und 0,007% N. Die Streckgrenze lag zwischen 36,2 und 38,9 kg/mm², die Zugfestigkeit betrug 58 kg/mm² und die Dehnung (l = 5 d) 24 bis 30%. Die Kerbschlagzähigkeit dieses Stahles wurde in der Walzrichtung mit 8 bis 12, in der Querrichtung mit 4 bis 6 mkg/cm² festgestellt. Auch die Gefügeuntersuchung ließ keine Fehlerhaftigkeit erkennen, die Aufschluß über die Bruchbildung der geprüften Lamelle gegeben hätte.

Die Untersuchung des vom Walzwerk angelieferten Stahles gab somit im Falle Zoo und Rüdersdorf keinen Anhalt für die Bruchbildung. Da die ursprünglich in dem Stahl vorhandenen Eigenschaften durch das Aufbringen von Schweißnähten in dem Einflußbereich der Schweißgeändert werden, war es naheliegend, beim St 52 die Wirkung dieser Eigenschaftsänderung zu überprüfen. Es wurde gefunden, daß in der Uebergangszone von der Schweiß-

raupe zum Grundwerkstoff eine Härtungszone gebildet wird, deren Größe abhängig ist von der Höhe der im Stahl vorhandenen zur Härtung Anlaß gebenden Legierungsbestandteile, der beim Schweißen zugeführten Wärmemenge und von einer von der Werkstoffdicke des zu verschweißenden Werkstoffes abhängenden Abschreckwirkung.

Ueber die Beeinflussung der Aufhärtungszone durch die Legierungselemente Kohlenstoff, Mangan und Silizium geben die Bilder 7 bis 9 Aufschluß. Die in der aufgehärteten Uebergangszone von der Schweißraupe zum Grundwerkstoff vorgefundenen Härtespitzenwerte liegen in einem großen Streubereich, der sich beispielsweise bei einem Stahl mit 0,20% C, 0,50% Si und 1,20% Mn



Bilder 10 bis 12. Einfluß des Schweißdrahtdurchmessers auf die Aufhärtung von Stahl St 52 bei Lichtbogenschweißung.

zwischen 280 und 380 Brinelleinheiten bewegt. Den stärksten Einfluß auf die Härteneigung übt der Kohlenstoffgehalt aus, nicht wesentlich schwächer ist der Einfluß des Mangans. Bemerkenswert ist aber, daß trotz wachsendem Siliziumgehalt bis zu 1,3% keine Härtesteigerung über 300 Brinelleinheiten bewirkt wurde. Die ermittelten Werte liegen ebenfalls in einem großen Bereich und streuen zwischen 220 und 295 Brinelleinheiten. Bei den untersuchten Siliziumstählen betragen die Kohlenstoffgehalte durchschnittlich 0,18%. Die Mangangehalte wurden mit Rücksicht auf die für St 52 bestehende obere Zugfestigkeitsbegrenzung mit 0,7 bis 0,9% nicht zu hoch gewählt. Nach diesen Untersuchungen kann die als Auswirkung der Bruchbildung Zoo-Brücke erfolgte Begrenzung des Siliziumgehaltes auf höchstens 0,50% keine Berechtigung haben, es sei denn, daß durch höhere Siliziumgehalte die Schweißbarkeit des Stahles nachteilig beeinflußt wird. Die Begrenzungen des Kohlenstoff- und Mangangehaltes hingegen bestehen zu Recht.

Ueber die Abhängigkeit der Härtespitzen von der beim Schweißen zugeführten Wärmemenge wurden die in den Bildern 10 bis 12 wiedergegebenen Gesetzmäßigkeiten gefunden. Die Aenderung der beim Schweißen zugeführten Wärmemengen wurden durch Verwendung von Elektroden mit unterschiedlichem Durchmesser erreicht. Die Schaubilder zeigen eindeutig, daß geringere Wärmezufuhr, also die Verwendung von Elektroden mit kleinem Durchmesser, eine Aufhärtungsgefahr bedeutet. Zum Zeitpunkt der Herstellung der zu Bruch gegangenen Brücken entsprach es dem Stand der Technik, der Entstehung von Schrupfspannungen durch sparsame Wärmezufuhr vorzubeugen. Es bestand sogar eine Vorschrift der Deutschen Reichs-

³⁾ Technische Lieferbedingungen der Deutschen Reichsbahn für Baustahl St 52 und Nietstahl St 44 (Drucksache 918 156, Ausgabe Januar 1937).

bahn⁴⁾, wonach bestimmte Nähte nur mit einer 3 mm dünnen Elektrode gezogen werden durften. Da — wie später gezeigt wird — Schrumpfspannungen beim Stahl St 52 keine Anbruchbildungen auslösen, wohl aber die gehärtete Uebergangszone bei der Anbruchbildung eine wichtige Rolle spielt, ist es heute klar, daß die Herstellung der zerstörten Brücken in dieser Beziehung unter ungünstigen Schweißbedingungen erfolgte.

Weitere Erkenntnisse über die Auswirkung der durch das Aufbringen von Schweißraupen bedingten Eigenschaftsänderungen im Stahl St 52 brachten Untersuchungen mit der Aufschweißbiegeprobe⁵⁾. Die Biegefähigkeit der dicken Profile wird durch Aufbringen einer einzigen Schweißraupe erheblich herabgesetzt. Während beispielsweise 50 mm dicke Stahlplatten aus St 52 um einen Winkel von 180° gebogen werden können, ohne daß sich Anrisse einstellen, betragen die erreichbaren Winkel bei der Aufschweißbiegeprobe nur mehr 2 bis 30°. Vor der Endbruchbildung stellen sich dabei stets nach Ueberschreiten einer bestimmten Durchbiegung einige quer durch die Schweißraupe mehr oder weniger tief in den Mutterwerkstoff verlaufende Anrisse ein. Die von diesen Anrissen ausgehenden Endbruchbildungen erfolgen dabei grundsätzlich in zwei verschiedenen Arten, und zwar genügen in einem Falle die kleinen quer zur Beanspruchungsrichtung verlaufenden Anrißbildungen, um eine schlagartig eintretende Bruchbildung auszulösen, wogegen im zweiten Falle die Endbruchbildung in zwei Zeitabständen erfolgt. Bei der letzten Art der Bruchbildung entsteht zunächst eine größere nierenförmig aussehende Anbruchfläche, die erst bei weiterer Biegebeanspruchung zum Durchschlagen der Gurtplatte führt. Die plötzlich strahlenförmig von einem Anriß der Schweißraupenzone ausgehende Bruchbildung ähnelt den Brüchen der Brücke Rüdersdorf, wogegen die nierenförmige Anbruchbildung Ähnlichkeit mit den im Stahl der Zoo-Brücke vorgefundenen Bruchbildungen hat.

Es galt zu klären, ob die verformungslosen Brüche im Stahl St 52 als Auswirkung der geringen plastischen Verformbarkeit der Schweißraupe eintreten, ob der Ribbildung in der Schweißraupe eine Anrißbildung in der gehärteten Uebergangszone vorausgeht, oder ob bereits vor der Beanspruchung irgendwelche Mikrorisse in der Schweißraupe oder Uebergangszone vorliegen.

Breitflachstähle mit 50 mm Dicke aus verschiedenen Schmelzen, von denen einige in *Zahlentafel 1* (Versuchstähle 6 bis 9) aufgeführt sind, wurden mit einer Schweißraupe versehen und nach dem Erkalten Schliffproben und Zerreißstäbe herausgearbeitet. Alle Proben wurden mit einer zur Schweißung von Stahl St 52 von der Reichsbahn zugelassenen Elektrode von ein und demselben Schweißer hergestellt. Ein Teil der Proben wurde im Anlieferungszustand geprüft, ein zweiter Teil gereckt, bis der Stahl eine bleibende Dehnung von 1, 2, 3 und 4% behielt. Alsdann wurden durch die Schweißraupe und den Grundwerkstoff von Millimeter zu Millimeter Schnitte parallel zur Längsachse gelegt und jede Schnittfläche makroskopisch und mikroskopisch auf das Vorhandensein von Anrissen geprüft. An den nicht verformten Proben konnten weder in der Schweißraupe noch in der gehärteten Uebergangszone Anrisse nachgewiesen werden. Bei den von 1 bis 4% bleibender Dehnung gereckten Proben fand sich hingegen eine nahezu gesetzmäßiges Auftreten von Rissen,

teils in der Uebergangszone, teils in der Schweißraupe und teils in beiden Zonen. In den *Bildern 13 bis 15* sind einige derartige in der aufgehärteten Uebergangszone befindliche Anrisse erkennbar.

Diese und zahlreiche andere Versuche führten zu der Erkenntnis, daß Aufhärtungen keine Anrißbildungen bewirken, wenn die Schweißverbindung nicht über die elastische Verformbarkeit der gehärteten Uebergangszone hinaus beansprucht wird. Stähle mit Aufhärtungen von mehr als 300 bis 310 Brinelleinheiten neigen schon bei geringen bleibenden Verformungen zum Aufreißen in der Härtezone, wogegen Stähle, bei denen die Härte der Uebergangszone unterhalb dieses Grenzwertes liegt, auch bei bleibenden Verformungen bis zu 4% keine Ribbildung aufweisen.



Bilder 13 bis 15. Anrisse in geschweißten Proben nach Reckung um 3%.

In dem untersuchten Trägerabschnitt der Zoo-Brücke wurden vier Bruchflächen freigelegt, von denen die nach *Bild 16 und 17* bemerkenswert ist, weil sie in ihrer Größenordnung den Querbrüchen gleichkommt, wie sie bei den Reckversuchen und bei einigen zur Nachahmung der Ribbildung unter bestimmten Bedingungen hergestellten Schweißproben vorgefunden wurden. Die linsenförmig aussehende Anbruchfläche ist nur ungefähr 4 mm² groß und liegt, wie *Bild 17* zeigt, in der gehärteten Uebergangszone. Von der Anbruchfläche ist kreisförmig ein Dauerbruch ausgegangen, dessen weiteres Fortschreiten verhindert wurde durch eine an dieser Trägerstelle im Laufe der Betriebsbeanspruchung erfolgten Trennung des Steges von der Gurtplatte.

Die übrigen wesentlich größeren Anbruchflächen (*Bild 2*) sind nierenförmig ausgebildet und haben das als Zeichen eines Dauerbruches zu wertende kreisförmige Fortschreiten der Bruchbildung. In diesen Querbrüchen befand sich jeweils in der Schweißnahtwurzel eine verhältnismäßig große Fehlstelle, die zerklüftet aussah und teilweise mit

⁴⁾ Siehe Bautechn. 10 (1932) S. 454.

⁵⁾ Kommerell, O.: Stahl u. Eisen 57 (1937) S. 421. Erörterung zu F. Bollenrath: Stahl u. Eisen 57 (1937) S. 389/98 u. 419/22 (Werkstoffaussch. 372). Stahlbau 11 (1938) S. 49/54.

Schlacke gefüllt war. Die Fehlstelle hat nicht das Aussehen einer nicht durchgeschweißten Verbindungsstelle. Auch die in einer Veröffentlichung von O. Kommerell⁶⁾ wiedergegebene Anbruchfläche läßt die Fehlstelle in der Schweißnahtwurzel erkennen.

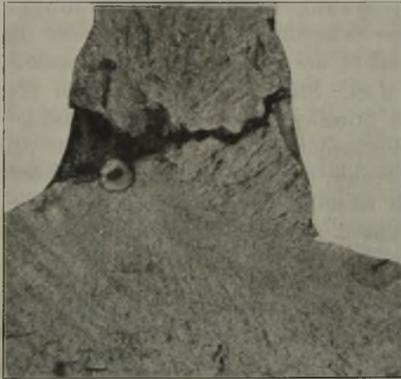


Bild 16.

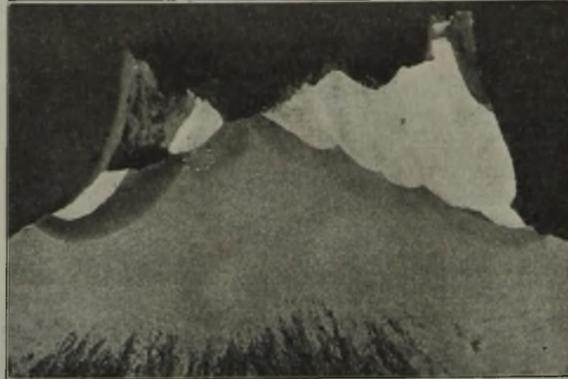


Bild 17.

Bild 16 und 17. Bruchstelle im Träger der Zoo-Brücke.

Außerdem waren die Anbruchflächen ausgezeichnet durch gelbe, braune, violette, dunkel- und hellblaue Anlauf-farben, die sich bei den vorgefundenen Brüchen in der gehärteten Uebergangszone und in der Schweißraupe befanden. Die in der Schweißraupe durch Anlauf-farben ausgezeichneten Zonen sind flächenmäßig meist nicht sehr groß und liegen zerstreut teils näher zur Stegblechseite, teils mehr zur Gurtseite hin. Diese Beobachtung deckte sich mit dem Aussehen einer Anbruchfläche, die in einem dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Eisenforschung überlassenen Trägerstück gefunden wurde. Obwohl der Stahl der Zoo-Brücke in dem Temperaturgebiet, auf das die Anlauf-farben verweisen, keine verminderte Zähigkeit hatte, mußte geprüft werden, ob die in dem Einflußbereich der Halsnaht vorhandenen Spannungszustände genügten, um während des Abkühlungsvorganges einen Warmbruch auszulösen. Durch folgende Versuche sollte diese Frage geklärt werden:

1. $50 \times 30 \text{ mm}^2$ große mit Nut versehene Proben wurden in einer Zerreißmaschine mit einer Kraft beansprucht, die jeweils unterhalb der Streckgrenze des betreffenden Stahles lag (zwischen 25 und 30 kg/mm^2) und alsdann unter der gewählten Vorlast eine Schweißraupe aufgebracht. Während des Schweißens ging die Maschinenspannung zurück und stieg wieder durch das Schrumpfen der Schweißnaht während des Abkühlungsvorganges an.
2. Während des Schweißvorganges befand sich zunächst die Probe unter geringer Vorspannung (rd. 5 kg/mm^2). Die Spannung wurde während des Abkühlungsvorganges allmählich auf 30 kg/mm^2 gesteigert.
3. Während des Aufbringens der Schweißraupe wurde die Spannung stets auf gleicher Höhe gehalten (30 kg/mm^2). Es wurde dann dafür gesorgt, daß sich die im Laufe der Abkühlungsvorgänge einstellenden Schrumpfspannungen zusätzlich auf die Schweißraupe und Uebergangszone auswirken konnten. Hierdurch stieg die Spannung auf $33,6 \text{ kg/mm}^2$.

Bei diesen Versuchen erfolgte in allen Fällen die Beanspruchung des Stahles im elastischen Bereich. Alle Nähte wurden mit einer 4 mm dicken blanken Elektrode geschweißt. Zur Erzielung hinreichender Aufhärtungen wurden die Proben vor dem Einspannen in die Zerreißmaschine und während des Schweißens auf Temperaturen unter 0° gekühlt. Zur Untersuchung der Proben auf Anrisse wurden von

⁶⁾ Bautechn. 17 (1939) S. 161/63 u. 218/21.

Millimeter zu Millimeter Schnittflächen parallel zur Beanspruchungsrichtung, also durch die Schweißraupe gelegt. Die Untersuchung dieser Schnittflächen zeigte, daß bei den gewählten Beanspruchungen keine Bruchbildungen in der gehärteten Uebergangszone eingetreten sind; es wurden lediglich Anrisse in der Schweißraupe gefunden, mit deren Entstehung bei der hohen Beanspruchung und der Wahl der blanken Elektrode gerechnet werden mußte. Das Versuchsergebnis besagt, daß unter dem Vorliegen eines beträchtlichen einachsigen Spannungszustandes

keine Warmrißbildung in der aufgehärteten Zone des Stahles St 52 eintritt.

Bei Untersuchung des in den Brücken Zoo und Rüdersdorf durch den Schweißzustand hervorgerufenen Spannungszustandes fand man, daß in der Halsnahtzone beider Bau-

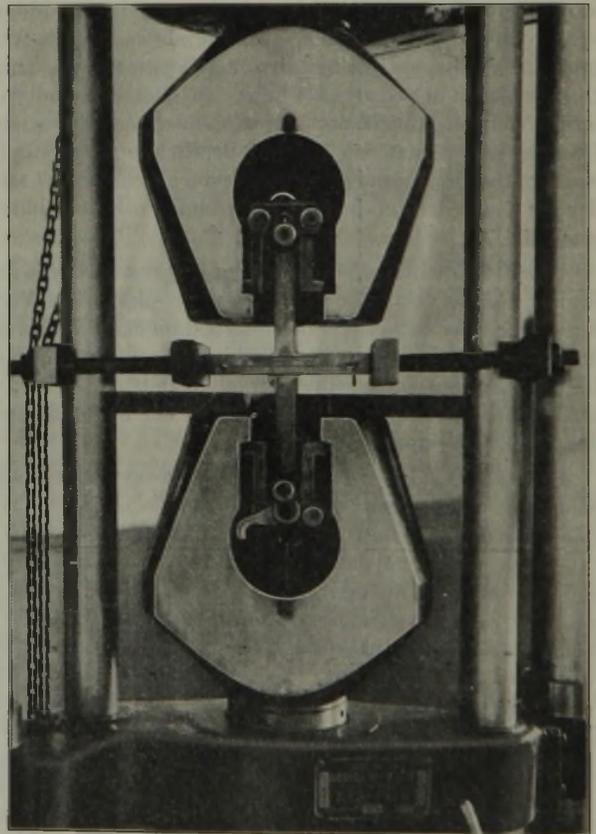


Bild 18. Zweiachsige Beanspruchung einer Aufschweißprobe.

werke ein räumliches Spannungsfeld vorhanden war. Es mußte deswegen geprüft werden, ob der Stahl St 52 unter dem Vorliegen eines mehrachsigen Spannungszustandes zur Bildung von Warmrissen neigt. Hierzu wurde eine kreuzförmig ausgebildete Probe in der Querrichtung mit einer Schweißraupe versehen und mit der in Bild 18 wiedergegebenen Versuchsanordnung parallel und senkrecht zur Schweißraupe im mittleren Bereich der Probe sofort nach

der Schweißung ein zweiachsiger Spannungszustand hervorgerufen. Zunächst wurden die Längsschrumpfspannungen in Nachahmung der Verhältnisse der Rüdersdorfer Brücke zu 16 kg/mm^2 und die Querspannungen zu 48 kg/mm^2 gewählt. Bei weiteren Prüfungen wurden Längs- und Querspannungen von Versuch zu Versuch gesteigert, bis schließlich 34 kg/mm^2 Spannungen in beiden Beanspruchungsrichtungen erreicht waren. Zur Erzielung hinreichender Aufhärtung wurden die Proben vor dem Schweißen auf Temperaturen unter 0° abgekühlt und während des Schweißens auf die Rückseite der Proben Wasser gespritzt. Die schichtweise Untersuchung der Schweißraupe und der gehärteten Uebergangszone ergab, daß auch beim Vorliegen eines zweiachsigen Spannungszustandes bis zu den angewendeten Spannungen keine Ribbildung in der gehärteten Uebergangszone hervorgerufen wird.

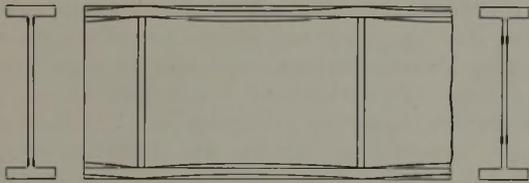


Bild 19. Verformung der Trägerflansche durch zu scharf eingebaute Stegblechanschlüsse.

Diese an kleinen Proben erhaltenen Ergebnisse stehen im Einklang mit einer im Auftrage des Deutschen Ausschusses für Stahlbau durch O. Graf⁷⁾ erfolgten Prüfung eines 4700 mm langen und 700 mm hohen Balkenträgers aus Stahl St 52, bei dem durch absichtlich unsachgemäß eingebrachte Stegblechanschlüsse Querspannungen erzeugt wurden, die zu einer wellenförmig aussehenden Verformung der 50 mm dicken Gurtplatte führten (Bild 19). An den durch Steifen abgestützten Stellen wurden Querspannungen bis 20 kg/mm^2 gemessen.

Zur Schaffung besonders großer Aufhärtungen wurden die Gurtplatten vor dem Einbringen der Halsnaht in einer Kältemischung gekühlt und während des Schweißens auf die Gurtplattenseite, die der Schweißstelle gegenüberlag, Wasser aufgespritzt. Die hierdurch bewirkten Aufhärtungen in der Uebergangszone betragen ungefähr 400 Brinelleinheiten. Obwohl durch diese Vorbehandlung die Vorbedingung zur Ribbildung gegeben sein sollte, wurden bei der Röntgenprüfung in der Halsnahtzone keine dem Träger Zoo-Brücke ähnlichen Querrisse gefunden. Bei schichtweiser Ueberprüfung fand man jedoch in der gehärteten Uebergangszone sehr viele kleine Querrisse, die nach ihrer Lage und Größe den bei den Reckversuchen erhaltenen Ribbildungen ähnelten. Die durch den Schrumpfvorgang der Halsnahtzone hervorgerufenen Verformungen der Trägerflansche genügten somit zur Auslösung der Risse.

Bei einem zweiten Versuch wurde die Halsnaht durch Verwendung T-förmig ausgebildeter Flanschenstähle mit 100 mm hohem Stegansatz von der Innenfläche des Zuggurtes nach der neutralen Faser des Trägers hin verlegt. Auch diese Träger wurden unter den gleichen Bedingungen geschweißt. Die Verformungen des Flansches konnten sich in diesem Falle nicht mehr auf die Schweißnahtzone auswirken. Während die Wulstprofile schon vor einer zusätzlich erfolgten Biegebeanspruchung Risse enthielten, waren die Stegprofile nach dem Schweißen ribfrei. Die auch bei

den Stegprofilen in der Schweißnahtzone vorliegenden hohen Spannungen haben demnach nicht zum Auslösen von Ribbildungen im Stahl St 52 geführt.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, daß zur Ausbildung von Querbrüchen in der Aufhärtungszone und Schweißraupe erstens das Vorhandensein einer hinreichend großen Aufhärtungszone gehört und zweitens eine Beanspruchung, bei der diese Zone örtlich über das Maß ihrer plastischen Dehnfähigkeit hinaus verformt wird. Hohe einachsige Spannungszustände genügen ebensowenig wie das Vorliegen eines zweiachsigen Spannungszustandes, um eine Querribbildung in einem geschweißten Bauteil auszulösen.

Nachdem die bisher behandelten Werkstoffuntersuchungen des Stahles der Zoo-Brücke keinen Aufschluß über die zur Querbruchbildung führenden Ursachen ergeben hatten, wurde geprüft, ob der Stahl im Sinne der Focke-Wulf-Probe überhaupt schweißempfindlich war. Der Stahl der Zoo-Brücke wurde deshalb auf ein 3 mm dünnes Blech ausgewalzt und in der Focke-Wulf-Einspannvorrichtung sowohl autogen als auch elektrisch geschweißt. Die durch Hin- und Herbiegen in der Schweißnahtzone entstandenen Bruchflächen waren frei von Anlauffarben, ein Zeichen dafür, daß der Stahl nach dieser Probe schweißunempfindlich ist.

Durchführung der Schweißarbeit.

Das Fehlen einer Erklärung der Querribbildung in der Zoo-Brücke aus den werkstoffkundlichen Untersuchungen, die Tatsache, daß die Querrisse bereits vor der Betriebsbeanspruchung der Brücke vorlagen und die an den nicht betriebsbeanspruchten Versuchsträgern gesammelten Erkennt-

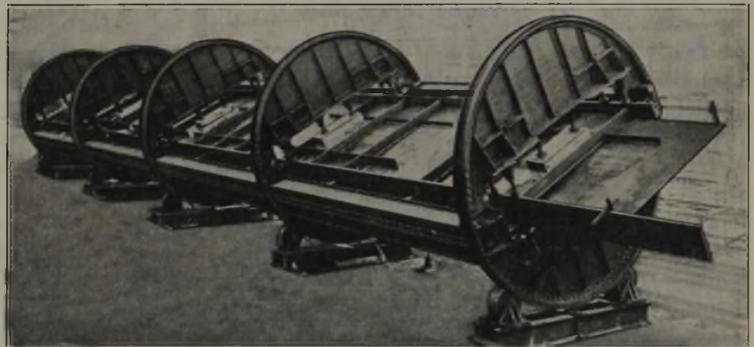


Bild 20. In Drehvorrichtung eingespannter Balkenträger.

nisse über die Möglichkeit des Auslösen von Querrissen in der gehärteten Uebergangszone durch kleine im Laufe des Herstellungsvorganges sich einstellende Verformungen, legten die Vermutung nahe, daß auch bei den zerstörten Brücken ein Zusammenhang zwischen Ribbildung und dem Werdegang der Bauwerke besteht. Zu prüfen war, ob schon während des Herstellungsvorganges der zerstörten Brücken Querrisse in der Halsnahtzone entstanden sein konnten.

Kappler⁸⁾ teilte über die an der Zoo-Brücke durchgeführten Schweißarbeiten mit, daß es mit Rücksicht auf die Abmessung und Gewichte der einzelnen Trägerteile (Gewicht des Hauptgleisträgers 54 t) nicht möglich war, die Schweißarbeiten in den Werkstätten des Betriebes auszuführen. Der Träger wurde deshalb im Freien geschweißt. Kappler berichtete, daß die in den Wintermonaten durchgeführten Schweißarbeiten teilweise unter ungünstigen Witterungsverhältnissen erfolgen mußten, weswegen es nicht von der Hand zu weisen ist, daß die Schweißung allgemein

⁷⁾ Vortrag vor dem Deutschen Ausschuss für Stahlbau. November 1939. (Stahlbau demnächst.)

⁸⁾ Vortrag vor dem Deutschen Ausschuss für Stahlbau. April 1936. (Nicht veröffentlicht.)

ungünstig beeinflusst wurde. Die Schweißarbeit wurde zur Zeitersparnis in drei Schichten ausgeführt. Bei der Herstellung von X-Nahtverbindungen müssen die zu verschweißenden Teile zum mindesten einmal, meist aber mehrfach gewendet werden. Wegen der Schwierigkeit des Kantens von so schweren Bauteilen entschloß sich die bauausführende Firma, die Schweißung der Träger in einer Drehvorrichtung vorzunehmen (Bild 20). Diese bestand aus fünf in Abständen von 6,25 m voneinander entfernten Scheibenrädern mit einem Durchmesser von 4,25 m. Zur Herstellung der Halsnaht wurde eine Elektrode benutzt, die durch ihre verhältnismäßig hohe Abschmelzgeschwindigkeit neben Verringerung der örtlichen Erwärmung auch eine Steigerung der Schmelzleistung gestattete. Die Wurzelnah wurde mit einer 4-mm-Elektrode, die Zwischenlage mit einer 5-mm- und die Endlage mit einer 6-mm-Elektrode gezogen.

Nach den heutigen Erkenntnissen ist die Gefahr der Aufhärtung besonders groß bei Verwendung dicker Profile und beim Schweißen mit Elektroden, die einen kleinen Durchmesser haben. Wenn dazu noch die Schweißung durch Witterungseinflüsse ungünstig beeinflusst wird, so muß jede eingebrachte Schweißraupe in der Uebergangszone eine große Aufhärtung bewirken. Hiermit war im Träger der Zoo-Brücke die erste zur Querbruchbildung notwendige Forderung, nämlich große Aufhärtung, erfüllt. Neben der durch Abschreckwirkung in der Uebergangszone hervorgerufenen Härtung tritt nun noch durch das Auskreuzen der Nahtwurzel eine Kaltverformung des Stahles und damit eine zusätzliche Härtung in der Nahtwurzelzone ein. Diese beiden Aufhärtungen sind ungefährlich, wenn ihre Wirkung durch die mit dem nachträglichen Einbringen von neuem Schweißgut verbundene Erwärmung wieder aufgehoben wird. Sie sind aber höchst gefährlich, wenn vor ihrer Beseitigung eine Beanspruchung der durch Härtung spröde gewordenen Zone durch Zug-, Biege- oder Verdrehkräfte stattfindet.

Ueber den Schweißvorgang selbst wird folgendes berichtet. Zunächst wurden auf die 30 mm dicken Stegbleche die Aussteifungen angeschweißt, die Stegblechstöße hergestellt und dann die im Hauptträger aus zwei mit Kehlnähten verbundenen Lamellen bestehenden Gurte in die Drehvorrichtung eingefahren. Stegblechkante und Lamellenase wurden dann unter Vorgabe eines bestimmten Spielraumes angeheftet und nach diesem Arbeitsvorgang Ausgleichsplättchen zwischen Steifen und Lamellen eingeschweißt, um so der Winkelschrumpfung der Gurtplatten vorzubeugen. Es sollte außerdem durch das Schrumpfen der Halsnaht ein sattes Einpassen der Steifen zwischen Plättchen und Lamelle bewirkt werden. Nach diesem Arbeitsvorgang wurden zunächst auf den in waagerechter Stellung liegenden Träger in den Halsnahtzonen des Ober- und Untergurtes nur je zwei Schweißraupen eingebracht. Der Träger wurde dann um 180° in der Vorrichtung gewendet, um nach Auskreuzen der Wurzelnah auch in der zweiten Nahthälfte zunächst zwei Schweißlagen einlegen zu können.

Das Drehen der in besonderen Rollenböcken gelagerten Scheibenräder erfolgte mit einem oder zwei Kranen. Technisch dürfte es möglich sein, nach Anbringen eines gemeinsamen Antriebes an jedem Scheibenrad die ganze Wendevorrichtung gleichmäßig zu drehen. Wenn aber, wie im vorliegenden Falle, eine solche Antriebsvorrichtung nicht vorhanden ist, und man zum Drehen eines 54 t schweren Bauteiles zwei oder gar nur einen Kran zu Hilfe nimmt, dann muß während des Drehvorganges der eingespannte Bauteil in der Längsrichtung eine Verwindung

erfahren. Sind anderseits die Auflager der Drehscheiben nicht genau auf gleiche Höhe gebracht, hat ein Lagerbock im Laufe der Beanspruchung etwas nachgegeben, oder wälzt man die Scheibenräder auf einer aus Balken- oder Stahlschienen bestehenden Unterlage ab, so wird der Balkenträger beim Drehen in der Lotrichtung ungewollt beansprucht. Diese Längsverwindungen und gegebenenfalls Querverformungen stellen unweigerlich örtlich vorkommende übergroße Beanspruchungen der zunächst nur mit zwei dünnen Schweißraupen verbundenen Halsnahtzone von Stegblech zur Gurtplatte dar. Je länger der Träger, je größer das Trägergewicht und je unvollkommener die Drehvorrichtung, desto größer ist die Gefahr der Bruchbildung.

Durch Versuche wurde festgestellt, daß Querrisse in der Uebergangszone und in der Schweißnaht um so eher ausgelöst werden, je weniger Schweißraupen in der Halsnahtzone eingebracht sind. Die in der Drehvorrichtung vorkommenden Beanspruchungen können sowohl von der aufgehärteten Uebergangszone als auch von der Schweißraupe nicht ohne Querrißbildungen ertragen werden. Die zweite zum Auslösen von Querrissen im Stahl St 52 notwendige Vorbedingung, nämlich das Auftreten von Beanspruchungen, die in ihrer Größenordnung über die Dehnfähigkeit der gehärteten Uebergangszone und der Schweißraupe hinausgehen, ist somit durch die beim Kanten des Balkenträgers in der Wendevorrichtung erfolgenden Beanspruchungen gegeben.

Beim Einbringen des Schweißwerkstoffes in die zweite X-Naithälfte werden die gebildeten Rißflächen so weit erwärmt, daß in den mit der Außenluft in Verbindung stehenden Anrißflächen die bereits erwähnten Anlauffarben entstehen können. Hierfür ist bezeichnend, daß in der Wurzel der Schweißnaht stets die Anlauffarben vorgefunden wurden, die einer Erwärmung der Anbruchflächen auf hohe Temperaturen entsprachen. In den am Außenrande der Schweißraupe liegenden Anbruchstellen hingegen sind die Anlauffarben vorhanden, die auf eine niedrigere Temperatur hindeuten.

Nach dem Wenden und Auskreuzen wurden in die zweite X-Naithälfte der Gurtplatten ebenfalls zwei Lagen eingebracht und die Drehvorrichtung zum Fertigschweißen der Nähte in eine Schrägstellung gebracht. Die Art des Schweißvorganges bringt eine oftmalige Ueberbeanspruchung von Schweißraupe und gehärteter Uebergangszone mit sich und damit die Möglichkeit zahlreicher Anrißbildungen an den am stärksten beanspruchten Stellen der Halsnahtzone. Die beim ersten Wenden eingetretenen Rißbildungen werden beim zweiten Kanten aufgeweitet. Je öfter die Träger während der Herstellung gewendet werden, um so größer sind die entstehenden Anbruchflächen.

Bei der Rüdersdorfer Brücke haben ebenfalls die beiden zur Auslösung von Querrissen notwendigen Einflüsse, nämlich große Härte in der Uebergangszone und eine über die Dehnfähigkeit der durch das Schweißen beeinträchtigten Zone hinausgehende Verformung, ihre verhängnisvolle Rolle gespielt. Die große Aufhärtungsmöglichkeit in der Uebergangszone ist in den von vier verschiedenen Firmen hergestellten Brückenteilen dadurch gegeben, daß diese die Halsnaht mit 3 und 4 mm dicken Elektroden hergestellt haben. Alle Firmen haben weiterhin zum Wenden des Trägers eine Wälzvorrichtung benutzt.

Ueber die Ausführung des Schweißvorganges bei Herstellung eines in der Brücke Rüdersdorf eingebauten Balkenträgers ist folgendes bekannt. Zur günstigen Beeinflussung des Schweißvorganges und um die Schrumpfung

senkrecht zur Stegblechachse zu zwingen, wurden zuerst auf der einen Seite des Dörnenprofils zwei Lagen geschweißt, dann der Träger mit der Drehvorrichtung auf die andere Seite gedreht, die Gegenseite der ersten Naht ausgekreuzt, darauf auf der zweiten Seite die ersten drei Lagen eingebracht, dann wieder auf der ersten Seite die dritte und vierte Lage geschweißt und darauf wieder umgedreht und auf der zweiten Seite die vierte und damit die letzte Lage geschweißt.

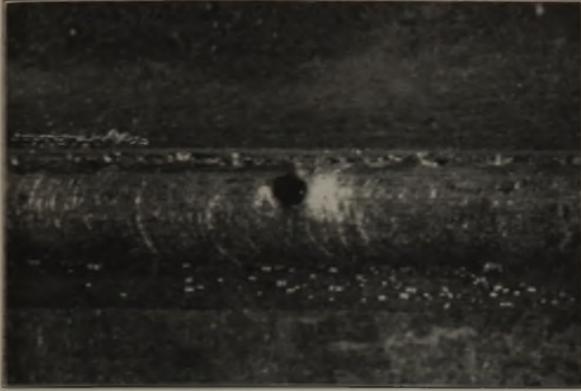


Bild 21. Durch einen Querriß hervorgerufene Fehlstelle in einer X-Naht.

Bemerkenswert ist, daß die fünfte am Bau beteiligte Firma die Herstellung der Halsnähte auf eine andere Art vorgenommen hat. Die Halsnaht des Hauptträgers wurde zunächst nach dem Anheften auf der einen Seite mit

besser in der Lage war, auftretende Beanspruchungen ohne größere Verformungen aufzunehmen.

Entstehung [der Brüche.

Die bisherigen Feststellungen machen erklärlich, warum alle bisher angestellten Versuche, die im Stahl der Zoo-Brücke vorgefundenen Querbrüche künstlich herzustellen, scheitern mußten. Bei den in verschiedenen Brückenbauanstalten zur Nachahmung der Bruchbildungen an den Brücken Zoo und Rüdersdorf hergestellten Versuchsträgern wurde wohl dafür gesorgt, daß hohe Härnungen und hohe Eigenspannungen in der Uebergangszone vom Flansch zum Steg auftraten, es wurde aber verabsäumt, die Träger zum Auslösen der Querrisse zu beanspruchen. Um die Richtigkeit dieser Behauptung zu überprüfen, wurde ein 5 m langer und 700 mm hoher Träger unter folgenden Bedingungen geschweißt. Die eine Gurtlamelle wurde zur Erreichung einer hohen Aufhärtungszone während des Schweißvorganges in einem Kältegemisch unter 0° gehalten. Der zweite Flansch wurde üblich geschweißt. Nach Anbringen einiger Schweißraupen in nur einer X-Nahthälfte wurde der Träger in einer Richtmaschine leicht beansprucht. Hierdurch wurden in der Halsnahtzone des gekühlten Flansches viele Anrißbildungen ausgelöst. Im nicht gekühlten Flansch stellten sich Anbruchbildungen weniger zahlreich ein. Bei äußerlicher Untersuchung des Trägers nach der Beanspruchung wurden auch einige Risse gefunden, die eine vollständige Quertrennung der eingebrachten Schweißraupe bewirkt hatten. Es war bemerkenswert, daß durch diese Querrisse Fehlstellen beim Legen der Gegenschweiß-

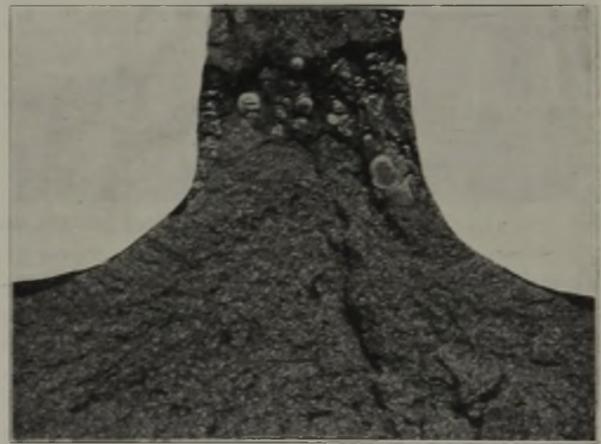


Bild 22 und 23. Anbruchflächen in gehärteter Uebergangszone.

einer 4-mm-Elektrode vorgeschweißt, um die Fuge zu schließen. Dann wurde mit dem Automaten mit einer 6-mm-Elektrode auf derselben Seite in einer Lage fertiggeschweißt. Jetzt erst wurde der Träger in der Drehvorrichtung um 180° gedreht, die Wurzel ausgekreuzt und die Gegennaht ebenfalls mit dem Automaten, jedoch ohne Vorschweißen, mit einer 6-mm-Elektrode in einem Zug fertiggeschweißt. Durch die Verwendung der 6-mm-Elektrode und das Ausfüllen der X-Nahthälfte in einem Zuge mußten große Wärmemengen in die Halsnahtzone eingebracht werden. Hierdurch wurde die Abschreckwirkung der Gurtplatten wesentlich verringert und dadurch Aufhärtungen — wie sie zur Bruchbildung notwendig sind — vermieden. Die Tatsache, daß bei röntgenographischer Prüfung dieses Brückenträgers keine Anrißbildungen festgestellt wurden, mag mit der Art dieses Schweißvorganges in Zusammenhang stehen. Außerdem trug es sicherlich zur Vermeidung der Querrißbildung bei, daß die einseitig vollgeschweißte X-Nahthälfte

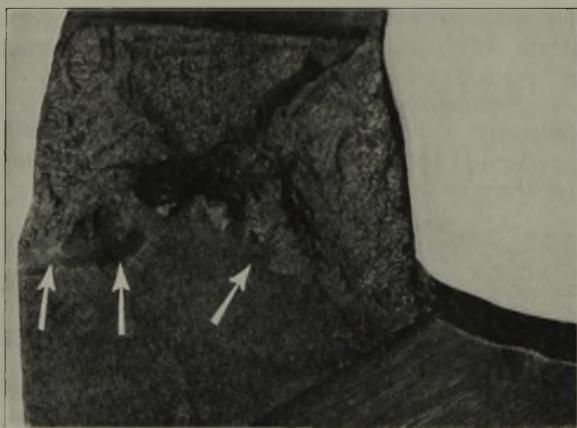
raupe hervorgerufen wurden (Bild 21). Das Zuschweißen dieser Fehlstelle gelang meist erst nach dem Aufbringen von mehreren Schweißraupen.

Die Entstehung der Fehlstelle kann folgendermaßen erklärt werden. Beim Lichtbogenschweißen ist an der Schweißstelle stets ein magnetisches Kraftfeld vorhanden. In jedem magnetischen Feld werden nun durch Vorliegen von Querrissen Störungen hervorgerufen, die sich beim Schweißen durch eine Blaswirkung des Lichtbogens kenntlich machen. Der Elektrodenwerkstoff wird zur Seite geblasen, die Schlacke hingegen tropft in die Fehlstelle hinein. So entsteht als Folge eines in der Nahtwurzel und Schweißraupe befindlichen Anrisses eine mehr oder weniger große zerklüftet aussehende Fehlstelle.

Nach dem Fertigschweißen wurde der Versuchsträger auf vorhandene Querrisse und Längsrisse geprüft. Durch die Beanspruchung in der Richtmaschine wurden nur Quer- und keine Längsrisse ausgelöst. Bilder 22 und 23

zeigen das Aussehen einiger gefundener Querbruchstellen. Es sind deutlich in der gehärteten Uebergangszone liegende Anrißflächen erkenntlich. Auch waren in der Schweißbraupe mehrere verstreut liegende linsenförmig aussehende Anbruchstellen vorhanden. Anrisse, die während des Schweißvorganges mit der Außenluft in Berührung standen, zeigten Anlauffarben.

Auf Grund dieser Beobachtung wurden die im Trägerabschnitt der Zoo-Brücke vorgefundenen Anbruchstellen erneut untersucht und nach Abbeizen der Rostschicht gefunden, daß auch in der gehärteten Uebergangszone dieser Bruchflächen Anrisse vorhanden waren, die nach ihrem Aussehen vollkommen mit den beim Trägerversuch künstlich erzeugten Anbruchflächen übereinstimmen. *Bilder 24 und 25* lassen diese ersten Anrißbildungen deutlich erkennen. Im Träger der Zoo-Brücke bildeten die durch den Herstellungsvorgang aufgeweiteten Anbruchflächen den Ausgangspunkt für die nierenförmig aussehenden Dauerbruchflächen, die nach einer bestimmten Beanspruchungsdauer unweigerlich zu einer Zerstörung der Gurtplatten und damit des ganzen Bauwerkes geführt hätten.



daß solche Fehler durch Blaswirkung des Lichtbogens beim Ueberschweißen von Querrissen entstehen. So kann auch umgekehrt beim Vorfinden von derartigen Fehlstellen auf das Vorliegen einer Querrißstelle geschlossen werden. In der Tat wurden in dem zur Verfügung stehenden Bruchstück der Brücke Rüdersdorf solche Querrißflächen gefunden.

Wird berücksichtigt, daß die in der gehärteten Uebergangszone an den Bruchstellen bereits vorliegenden Anrisse durch ihren kerbwirkenden Einfluß die Ausbildung eines schwer zu übersehenden räumlichen Spannungsfeldes mit großen örtlichen Spannungsspitzen zur Folge haben, so wird es erklärlich, daß eine durch einen Temperatursturz bewirkte zusätzliche Beanspruchung des Stahles die Bruchbildung auslösen konnte. Dies um so mehr, als an der Ausgangsstelle des Bruches ein mehrachsiger Spannungszustand vorlag und als die Kerbschlagzähigkeit des Stahles schon durch die bei -12° wahrscheinlich vorliegenden niedrigeren Werte herabgemindert war.

Wenn die berichtete Feststellung über die Entstehung der Risse beim Wenden der Träger richtig ist, dann können Querbrüche nicht nur im Zuggurt von Schweißverbin-

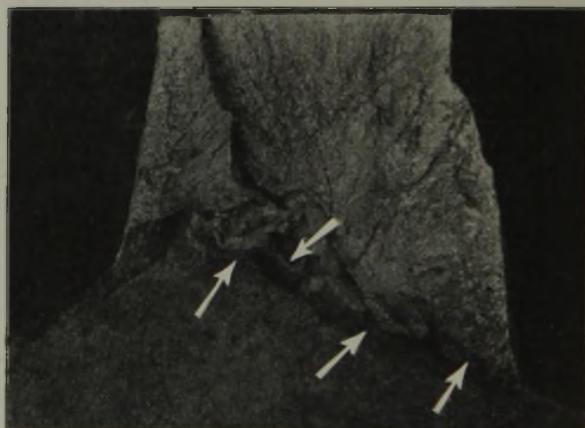


Bild 24 und 25. Anbruchflächen und Fehlstellen im Träger der Zoo-Brücke.

Zur Frage der Bruchbildung bei der Rüdersdorfer Brücke hat O. Kommerell⁶⁾ festgestellt, daß in der Brücke zum Zeitpunkt der Bruchbildung in der Halsnahtzone durch Eigengewicht und durch plötzlichen Temperaturabfall von etwa 10° Zugspannungen in Höhe von 1600 kg/cm^2 vorhanden waren. Die durch das ungünstige Einschweißen der Stegblechanschlüssen hervorgerufenen Querspannungen wurden zu 1800 kg/cm^2 ermittelt. In der Halsnahtzone haben somit in beiden Richtungen der Größenordnung nach ungefähr gleich große Zugspannungen geherrscht. Da bei zweiachsigem Spannungszustand das Formänderungsvermögen des Stahles am stärksten absinkt, wenn die in beiden Richtungen vorhandenen Spannungen ungefähr gleiche Größe haben, war die Voraussetzung für einen Trennbruch gegeben. Trotzdem hält es Kommerell für unwahrscheinlich, die Bruchursache allein in dem mehrachsigen Spannungszustand suchen zu können. Er glaubt vielmehr, daß mehrere ungünstige Einflüsse den Bruch herbeigeführt haben und vermutet, daß eine zusätzliche Rolle bei der Bruchbildung die eigenartigen inneren Spannungen gespielt haben, die beim Verschweißen der dicken Gurtplatten entstanden sind. In der Schweißnahtwurzel der drei Bruchflächen Rüdersdorf waren Fehlstellen enthalten, die nach ihrem Aussehen den in den Querbruchflächen der Zoo-Brücke und den bei den Trägerversuchen erhaltenen Fehlstellen ähneln. Es wurde gezeigt,

dungen vorgefunden werden, es müssen solche auch im Obergurt vorliegen. In der Tat erinnert sich der Verfasser, im Obergurt der Rüdersdorfer Brücke Anbohr- und Auskreuzstellen gesehen zu haben, die nach Erklärung eines Schweißingenieurs zur Beseitigung der bei der Röntgenuntersuchung festgestellten Querbrüche angebracht waren. Auch im Träger der Zoo-Brücke befinden sich zahlreiche Querbruchflächen in der Halsnahtzone des Druckgurt.

Folgerungen zur Vermeidung von Schäden in der Zukunft.

Im Schrifttum^{2) 6) 8a)} fehlt es weder an Vorschlägen über die chemische Zusammensetzung und die Gefügeausbildung des zukünftig auszubildenden Stahles St 52, noch an Verhaltensmaßregeln für die Schweißausführung zur Behebung weiterer Schadensfälle. Alle Verfasser sind sich darüber einig, daß an den Stahl die Forderung eines gleichmäßigen Gefügebauens, großen Formänderungsvermögens, geringer Kerbempfindlichkeit und geringer Neigung zum Aufhärten gestellt werden muß. Die Aufhärtungsgefahr soll unter Umständen durch Erwärmung der Platten vor dem Schweißen oder durch nachträgliche Wärmebehandlung der Schweißnähte eine Milderung erfahren. Die Schweißnähte sollen hinreichende Dehnbarkeit haben, um auftretende Beanspruchungen ohne Bruchbildung ertragen zu können. Die Dicke der Elektrode soll den zu verschweißenden

^{8a)} Bierett, G.: Elektroschweißg. 9 (1938) S. 147/49.

Teilen angepaßt werden, und schließlich soll die Dicke der Gurtlamellen ein bestimmtes Maß nicht überschreiten.

Die im Brückenbau beim Verarbeiten dicker Stahlplatten aus Stahl St 52 durch die geschilderten Rißbildungen aufgetretenen Schwierigkeiten hatten sich auch im Flugzeugbau beim Schweißen dünner Bleche aus Chrom-Molybdän-Stahl eingestellt. Die Untersuchung der Chrom-Molybdän-Stähle auf Schweißempfindlichkeit mit Hilfe der Focke-Wulf-Probe hatte ergeben, daß zu bestimmten Schmelzen gehörende Bleche eine besonders große Neigung zur Schweißrißbildung haben, wogegen sich der Stahl anderer Schmelzen praktisch ohne Rißbildung verarbeiten ließ. Aus diesem Grunde lag nahe, die Schweißempfindlichkeit mit der Stahlbeschaffenheit und somit dem metallurgischen Werdegang des Stahles in Zusammenhang zu bringen. W. Eilender und R. Pribyl⁹⁾ fanden, daß Feinkornstähle, die durch besondere metallurgische Schmelzbehandlung und durch Zulegieren eines bestimmten Aluminiumgehaltes hergestellt wurden, weniger schweißempfindlich waren als Bleche, die nach üblichen Schmelzverfahren erschmolzen wurden. W. Eilender¹⁰⁾ regte auf Grund dieser Feststellung an, die im Flugzeugbau an dünnen Blechen gesammelten Erfahrungen auch auf die dicken Profile des Stahles St 52 zu übertragen und zur Behebung der bestehenden Schwierigkeiten die Stähle St 52 in Zukunft als Feinkornstähle auszubilden.

Bei der Untersuchung einiger Feinkornstähle wurde jedoch gefunden, daß diese bezüglich der Rißbildung sich nicht wesentlich anders verhalten als die üblich hergestellten Stähle St 52. Auch beim Feinkornstahl treten bei bleibenden Verformungen zunächst Anrisse in der gehärteten Uebergangszone und dann in der Schweißraupe ein. Die Einführung des Feinkornstahles würde die beim Stahl St 52 auftretenden Schwierigkeiten restlos beheben, wenn dieser Stahl nicht auch zu der gefährlichen Anrißbildung neigte. H. Hauttmann¹¹⁾ hat darauf hingewiesen, daß auch bei besonders behandelten Stählen dem Bruch der Biegeprobe Anrisse vorausgehen, die schon bei wesentlich niedrigerem Biegewinkel zu beobachten sind. Die feinkörnigen Stähle sollen jedoch besser befähigt sein, die Spannungsspitzen an den Anrissen in Verformungen zu verwandeln.

Für den Brückenbau gilt die Forderung einer vollkommen rißfreien Herstellungsmöglichkeit des Bauwerkes. Auch dürfen örtlich vorkommende Ueberbeanspruchungen keine Rißbildungen auslösen. Da der Feinkornstahl ähnlich wie der üblich erschmolzene Stahl St 52 in der gehärteten Uebergangszone zur Anrißbildung neigt, kann die Einführung des Feinkornstahles nicht die Lösung der Frage der rißfreien Schweißbarkeit des Stahles St 52 darstellen.

Die Rißbildung ist keine Frage des metallurgischen Zustandes des Stahles St 52, sondern einzig und allein eine Frage seiner durch die geforderten Streckgrenzenwerte bedingten chemischen Zusammensetzung. Dies wird bewiesen durch Untersuchung von Stählen St 37, die nach Aufbringen von Schweißraupen bis zu 24% gedehnt werden können, ohne daß Rißbildungen eintreten. Ähnlich verhielten sich Stähle, die 0,15% C, 0,60% Si und 0,90% Mn enthielten. Auch diese Stähle neigen bei ähnlich hoch liegenden Dehnungen nicht zur Rißbildung, selbst wenn das Aufbringen der Schweißraupe zur Erzeugung hinreichender Aufhärtung bei — 20° vorgenommen wurde.

⁹⁾ Arch. Eisenhüttenw. 11 (1937/38) S. 443/48 (Werkstoffaussch. 403).

¹⁰⁾ Vortrag vor dem Deutschen Ausschuss für Stahlbau. Februar 1939. (Nicht veröffentlicht.)

¹¹⁾ Stahlbau 12 (1939) S. 115/17.

Nach R. Wasmuht¹²⁾ neigen normalgeglühte Feinkornstähle bei der Aufschweißbiegeprüfung nicht zur plötzlichen Trennbruchbildung. Sollte das Ergebnis der Aufschweißbiegeprüfung bestimmte Aussagen über das Verhalten eines Stahles beim Einschweißen in ein Bauwerk und über sein Verhalten bei der Betriebsbeanspruchung zulassen, so müßten diese gewonnenen Erkenntnisse einen Fortschritt in der Entwicklung des Stahles St 52 darstellen. Die bisher vorliegenden Erfahrungen über das praktische Verhalten des Stahles sprechen jedoch nicht für einen Zusammenhang zwischen Aufschweißbiegeprüfung und Stahlbewährung. Aufschweißbiegeproben aus dem Trägerwerkstoff der Zoo-Brücke sind stets bei einem Biegewinkel von 2 bis 6° einschnürungslos zu Bruch gegangen. In der geschweißten Brücke wurde aber keine einzige Lamelle durch Trennbruch zerstört. Die zahlreich gebildeten Anrisse wurden vielmehr alle, ähnlich wie bei einem Feinkornstahl, vom Mutterwerkstoff beim Weiterreißen aufgefangen. Umgekehrt ist das Verhalten der Lamelle der Rüdersdorfer Brücke, die in der eingebauten Brücke einschnürungslos durchgeschlagen ist, bei der Aufschweißbiegeprüfung aber einen zähen Bruch mit großem Biegewinkel hatte. Hiernach vermittelt die Aufschweißbiegeprüfung keinen Kennwert für die Eignung eines Stahles für geschweißte Bauwerke. Der Wert der Prüfung ist weiterhin zweifelhaft, weil sie nichts aussagt über Lage und Größe der zuerst gebildeten Anrisse und über die Beanspruchung, die zu ihrer Auslösung notwendig ist.

Ob bei einem mit Anrissen durchsetzten Stahl die Restbruchbildung zäh oder verformungslos erfolgt, wird von den Betriebsverhältnissen bestimmt, und zwar von der Art des an der Anrißstelle vorliegenden räumlichen Spannungsfeldes und von der Größe der Wechselbeanspruchung, der das Bauwerk ausgesetzt ist. Auch ein bei der Aufschweißbiegeprobe zäh zu Bruch gegangener Werkstoff kann in dem Bauwerk spröde brechen.

Die im Rahmen eines Sonderausschusses des Deutschen Ausschusses für Stahlbau ausgeführten Prüfungen von Trägern, deren Flansche einmal aus Wulstprofilen System Dörnen und ein anderes Mal aus Stegprofilen bestanden, führten zu der Erkenntnis, daß auch zwischen der Neigung zur Querrißbildung und Profilform der Flanschenstähle ein Zusammenhang bestehen muß. O. Graf⁷⁾ berichtete, daß Träger aus Wulstprofilen schon vor ihrer Belastung Querrisse enthielten, wogegen Träger aus Stegprofilen erst mit steigender Belastung über die zulässigen Anstrengungen hinaus rissig wurden.

Bisher wurden Bruchbildungen nur an einem aus Nasenprofilen hergestellten Versuchsträger¹³⁾ und an dem von Dörnen entwickelten Wulstprofil beobachtet. Die Tatsache, daß sämtliche zu Bruch gegangenen Großbauwerke aus Wulstprofil St 52 hergestellt waren, rief manche Zweifel¹⁴⁾ über die Eignung dieses Profils zur Herstellung von geschweißten Bauwerken hervor und gab Anlaß zu der vermutungsweise aufgestellten Behauptung, daß die Werkstoffeigenschaften des Wulstes ungünstiger seien als die Eigenschaften des übrigen Flanschenstahles. Diese Behauptung wurde immer wieder aufgestellt, obwohl ihre Unrichtigkeit durch Nachprüfung der Festigkeitseigenschaften des Wulstwerkstoffes erwiesen war.

Das Wulstprofil eignet sich durch seine Schweißnahtform besonders zur Verarbeitung in der Drehvorrichtung. Da es ein erstes Erfordernis bei der Herstellung eines geschweißten Bauteiles ist, Schweißgut und Härtungszone

¹²⁾ Bautechn. 17 (1939) S. 85/90.

¹³⁾ Schreiner, K.: Stahlbau 11 (1938) S. 156/60.

¹⁴⁾ Schaechterle, K.: Bautechn. 17 (1939) S. 46/52.

vor Verformungen zu bewahren, die über die Dehnfähigkeit dieser Zone hinausgehen, so muß die X-Nahtverbindung, die stets ein mehr oder weniger oftmaliges Wenden des zu schweißenden Trägers erfordert, als ungünstig angesprochen werden. Zur Herstellung von Vollwandträgern ist demnach am besten die V-Nahtverbindung geeignet, da diese beim waagrecht liegenden Träger gezogen werden kann.

Beim Wulstprofil ist die Schweißnaht zwar aus der Uebergangszone vom Flansch zum Steg verlegt, doch ist sie nicht hinreichend weit genug aus dem Einflußbereich der abschreckend wirkenden dicken Gurtplatte herausgebracht. Es kommt hinzu, daß das Wulstprofil eine X-Naht hat, in die zur Schaffung eines einwandfreien Ueberganges vom Steg zum Flanschwerkstoff praktisch wesentlich mehr Schweißgut eingebracht werden muß, als es der theoretischen X-Naht entspricht. Hierdurch wird auf dem Wulst

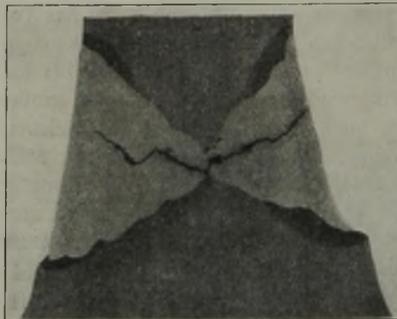
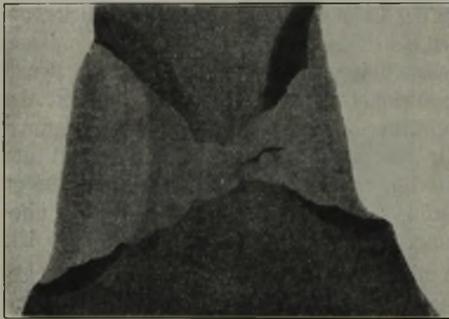


Bild 26 und 27. Durch die Schweißnaht verlaufende Längsrisse im Träger der Zoo-Brücke.

der Lamelle ein besonders lang ausgedehnter durch Härtungserscheinungen ausgezeichneter Einflußbereich mit den geschilderten nachteiligen Werkstoffeigenschaften geschaffen. Aus all diesen Gründen muß das Wulstprofil als ungünstig bezeichnet werden.

Das geeignetste Schweißprofil muß eine Form haben, die dem geteilten P-Träger nachgebildet ist. Das \perp -förmige Schweißprofil¹⁵⁾ schaltet weitgehend die Nachteile aus, die zum Versagen der geschweißten Bauteile geführt haben und bringt noch dazu den Vorteil mit sich, daß durch die zugängliche Lage der zu schweißenden Verbindungsstelle einerseits die Schweißarbeit erleichtert wird, und andererseits es leicht möglich ist, den Zustand der Schweißraupe röntgenographisch auf seine einwandfreie Beschaffenheit nachzuprüfen. Ein solches Profil gestattet die Verlegung der Halsnaht in eine Zone geringerer Beanspruchung aus den Betriebslasten und vermeidet das Auftreten senkrecht zur Schweißrichtung verlaufender Spannungen und damit einer Querverkrümmung der Gurtplatten. Dies ist besonders wichtig, weil hierdurch der Entstehung eines größeren räumlichen Spannungsfeldes in der Schweißnahtzone vorgebeugt wird. Beim \perp -Profil ist weiterhin die Schweißnaht aus dem Einflußbereich der Abschreckwirkung ausübenden dicken Gurtlamellen verlegt, wodurch zu große Aufhärtungen in der Uebergangszone vermieden werden. Die Halsnaht kann beim \perp -förmigen Profil so gewählt werden, daß die Schweißung nur ein einmaliges Wenden des Trägers notwendig macht. Die die unfertige Naht gefährdenden Verdrehungsspannungen können so ausgeschaltet werden.

Für die Schweißausführung ergeben sich zur Vermeidung von Schadensfällen besondere Vorsichtsmaßnahmen. So verbietet die Forderung nach Vermeidung von Aufhärtungen das Schweißen von Stahllamellen bei niedriger

Außentemperatur und verlangt eine Nachprüfung, inwieweit es möglich ist, die stets gefährdete gehärtete Uebergangszone durch eine nachträgliche Erwärmung zu beseitigen. Vor diesem Arbeitsvorgang ist der Träger unter allen Umständen vor jeglicher Beanspruchung zu bewahren.

Im Schrifttum¹⁶⁾ finden sich Hinweise, daß beim Schweißen durch Schrumpfvorgänge verzogene Bauteile entweder durch entsprechendes Anwärmen, oder auf mechanischem Wege gerichtet werden müssen. Eine mechanische Verformung bringt stets die Gefahr der Anrißbildung mit sich; sie muß deswegen auf alle Fälle vermieden werden. Auch die Ausführung von Probelastungen sollte man erst vornehmen, nachdem durch nachträgliches Anwärmen die in der Schweißnahtzone vorhandenen Härtespitzen abgebaut sind. Da das Einbringen von Schweißraupen eine Erwärmung der Halsnahtzone zur Folge hat und mit Vergrößerung der zugeführten Wärmemenge die Abschreckwirkung der Gurtplatten und des Stegbleches vermindert wird, muß diese Erwärmung beim Legen mehrerer Nähte zur Verringerung der Aufhärtungsgefahr ausgenutzt werden. Es sollte deshalb mit dem Einbringen der zweiten Schweißlage nicht erst begonnen werden, wenn die zuerst geschweißte Stelle bereits erkaltet ist. Besonders stark werden die zur Heftung von Gurt und Steg angebrachten Heftnähte und auch die zuerst eingebrachte Raupe in der Nahtwurzel beansprucht. Heftnähte und Nahtwurzelraupe neigen gern zur Längsrißbildung. Zur Herstellung der ersten Raupe sollte deshalb ein Schweißdraht verwendet werden, der besonders weich ist und eine Schweißraupe mit guter Dehnbarkeit ergibt.

Das Auskreuzen der Halsnahtwurzel geschieht meist mit Preßluftwerkzeugen. Die Bearbeitung mit diesen Werkzeugen hat Kaltverformungen zur Folge, die sich unter Umständen ungünstig auswirken können. Es muß deshalb geprüft werden, ob das Ausräumen der Halsnaht nicht mit einer Fräsmaschine vorgenommen werden kann. Das Ausräumen von Längsrissen in der Halsnahtzone ist wichtig, da in einem wechselbeanspruchten Bauwerk solche Risse beim Vorliegen eines mehrachsigen Spannungszustandes den Ausgangspunkt von Rissen darstellen, durch die eine vollkommene Trennung des Stegwerkstoffes von den Gurtplatten herbeigeführt werden kann. Die Bilder 26 und 27 zeigen ein solches Fortschreiten eines im Träger der Zoo-Brücke gefundenen Längsrisses.

Beim Benutzen einer Drehvorrichtung müssen alle Scheibenräder gleichmäßig gedreht werden, damit die Schweißnähte nicht durch Verdrehkräfte beansprucht werden. Die Drehvorrichtung wird leicht eine Gefahrenquelle bei der Herstellung von Brückenträgern darstellen. Deshalb ist anzuraten, nur solche Schweißverbindungen zu wählen, die ohne Anwendung von Wälzringen hergestellt werden können.

Zusammenfassung.

Untersuchungen gaben darüber Aufschluß, welcher Anteil an der Bruchbildung von dicken Gurtlamellen aus Stahl St 52 beim Einschweißen in Balkenträger dem Stahl, dem Profil und der Schweißausführung zuzuschreiben ist. Stahl St 52 erfährt beim Aufbringen von Schweißraupen Eigen-

¹⁵⁾ Klöppel, K.: In: Stahlbaukalender 1940, 6. Jg., Berlin 1940. S. 407.

¹⁶⁾ Schneider, W. I.: Elektroschweißg. 8 (1937) S. 221/26.

schaftsänderungen, die ihn in dem Einflußbereich der Schweißnaht außergewöhnlich empfindlich gegen Beanspruchungen machen, bei denen die Dehnbarkeit der aufgehärteten Zone überschritten wird. Es mag eine Beruhigung sein, daß die Bildung der gefährlichen Querrisse von zwei Umständen abhängig ist, die weitgehendst von dem Stahlverarbeiter beeinflußt werden können. Durch geeignete Maßnahmen bei der Herstellung von Schweißverbindungen dürfte es möglich sein, der Entstehung von größeren Aufhärtungszonen vorzubeugen und die zur Auslösung der Querrisse erforderlichen Verformungen zu vermeiden. Ein- und zweiachsige Spannungszustände allein genügen nicht, um Anrißbildungen auszulösen. Besondere metallurgische Maßnahmen, beispielsweise das Erschmelzen der Stähle St 52 als Feinkornstähle, ermöglichen es nicht, die mit der Aufhärtungsneigung in Verbindung stehende Anrißgefahr zu beseitigen. Die bisherigen Erfahrungen sprechen nicht für einen Zusammenhang zwischen der Stahlbewährung beim

Einschweißen in ein Bauwerk und der Aufschweißbiegeprüfung.

Die Gefahr der Ribbildung im hochwertigen Baustahl kann erst durch eine weitere Herabsetzung der härtenden Elemente Kohlenstoff und Mangan ausgeschaltet werden. Eine solche Aenderung der chemischen Zusammensetzung ist aber mit einer erneuten Herabminderung der Streckgrenze und der Zugfestigkeit des Stahles verknüpft. Inwieweit eine solche Herabsetzung der Streckgrenzwerte tragbar ist, bleibt weiteren Untersuchungen vorbehalten. Der Stahlverarbeiter muß in allen Fällen, in denen aus irgendeinem Grunde die ribfreie Herstellung eines geschweißten Bauwerkes aus Stahl St 52 in Frage gestellt ist, entweder auf einen weicheren, unempfindlicheren Stahl zurückgreifen oder zur genieteten Bauweise zurückkehren.

* * *

Die Erörterung zu diesem Bericht wird später in „Stahl und Eisen“ veröffentlicht werden.

Vergleichende Aufschweißbiege- und Kerbschlagversuche an Stahl St 52.

Von Roland Wasmuht und Clemens Salzmann in Dortmund.

[Mitteilung des Dortmund-Hoerder Hüttenvereins, A.-G., Dortmund.]

(Prüfung fein- und grobkörniger Stähle im Anlieferungs- und normalgeglühten Zustande auf Verhalten beim Aufschweißbiegeversuch, auf Kerbschlagzähigkeit (DVMR-, DVMS- und Grafsche Probe), McQuaid-Ehn-Korngröße, Härte in der Uebergangszone von der Schweißraupe zum Grundwerkstoff und Härteempfindlichkeit. Kerbschlagprüfung an Proben mit scharfem Kerb läßt ähnliche Schlüsse wie Aufschweißbiegeversuch zu.)

Seit die Fachwelt sich mit dem Aufschweißbiegeversuch beschäftigt, besteht auch der Wunsch, diese in der Durchführung zeitraubende und kostspielige Prüfung durch einen einfacheren und billigeren Versuch zu ersetzen. Von diesem muß naturgemäß gefordert werden, daß er in gleicher Weise wie der Aufschweißbiegeversuch eindeutige und wiederholbare Aussagen über die Eigenschaft der zu schweißenden Stähle zuläßt. Bekanntlich konnten mit dem Aufschweißbiegeversuch kennzeichnende Unterschiede im Schweißverhalten der verschiedensten Stähle nachgewiesen werden¹⁾. Für den Austausch kommen verschiedene Prüfungen in Betracht. W. H. Bruckner²⁾ regte an, mit einer bestimmten Abschreckprobe die Härtungsneigung der Stähle beim Schweißen festzustellen, während O. Werner³⁾ aus der Bestimmung der Hysterisis des A,-Punktes nach bestimmter Abkühlungsgeschwindigkeit Schlüsse auf das Verhalten der Stahlsorten beim Schweißen ziehen will. Auch ist vorgeschlagen worden, Kerbschlagprüfungen nach W. Kuntze⁴⁾ oder den Zementationsversuch nach H. W. McQuaid und E. W. Ehn⁵⁾ heranzuziehen. Bisher ist es jedoch nicht gelungen, auf Grund dieser Vorschläge eine den Aufschweißbiegeversuch eindeutig ersetzende Probe zu schaffen, da sich bisher ausgesprochene Übereinstimmungen in den Ergebnissen nicht haben ermitteln lassen.

Neuerdings schlägt O. Graf⁶⁾ die Kerbschlagprüfung mit einer Sonderprobe von 50×10×10 mm³ mit schlitzförmigem Scharfkerb von 0,3 mm Breite und 3 mm Tiefe vor. Von dieser Probe ließ sich deshalb eine besondere Bedeutung

erwarten, da bei dem Aufschweißbiegeversuch die Bedeutung kleiner scharfer Kerbe besonders in Erscheinung getreten war. Bei dem Aufschweißbiegeversuch entstehen zuweilen schon während des Aufschweißens der Raupe oder aber nach ganz geringer Biegebeanspruchung feinste Haarrisse in der Uebergangszone quer zur Schweißrichtung, die sich beim Weiterbiegen der Probe dann wie feine Scharfkerben auswirken. Der Aufschweißbiegeversuch weist nun nach, wie sich der Werkstoff gegenüber diesen feinsten Anrissen bei stärkerer Verformung verhält, und gibt ein Maß für die Fähigkeit des Werkstoffes, eintretende Risse aufzufangen und mit plastischer Verformung abzubauen. Ähnliche Aussagen konnten deshalb von einer Probe erwartet werden, die ebenfalls Scharfkerben ähnlich den Erstanrissen der Aufschweißbiegeprobe hat. Allerdings stehen der Probe nach Graf gewisse Schwierigkeiten entgegen, da der geforderte Schlitzkerb sich nur schwer herstellen läßt, jedenfalls eine feinmechanische Fräsbank mit Spezialfräsern erfordert.

In der vorliegenden Arbeit sind die Ergebnisse von Aufschweißbiege- und Scharfkerbschlagversuchen verglichen. Außer der erwähnten Probe von Graf wurde wegen der einfacheren Herstellungsmöglichkeit auch die DVMS-Probe einbezogen, von der erwartet werden durfte, daß sie wegen des Vorhandenseins eines Scharfkerbes ein ähnliches Verhalten wie die Probe von Graf zeigen würde. Die vergleichenden Untersuchungen wurden an verschiedenen Stählen St 52 (*Zahlentafel 1*), die als Grobkorn- und Feinkornstähle erschmolzen waren, durchgeführt. Die Proben wurden aus 55 mm dicken Breitflachstählen oder Naseneisenprofilen hergestellt. Außerdem wurde der Vergleich im Walzzustand und im normalgeglühten Zustande des Werkstoffes durchgeführt. Aus der Zusammenstellung über die Festigkeitseigenschaften dieser Stähle (*Zahlentafel 1*) geht hervor, daß es sich um Stähle der mittleren und oberen Festigkeitsstufe handelt. Aus jeder Schmelze wurden hergestellt:

¹⁾ Wasmuht, R.: Bautechn. 18 (1940) S. 77/80.

²⁾ Proc. Amer. Soc. Test. Mater. 38 (1938) II, S. 71/97; vgl. Stahl u. Eisen 58 (1938) S. 1118.

³⁾ Elektroschweißg. 10 (1939) S. 61/67 u. 145/52; vgl. Stahl u. Eisen 59 (1939) S. 1344/46.

⁴⁾ Mitt. dtsch. Mat.-Prüf.-Anst. 1932, Sonderheft 20, S. 34 ff.

⁵⁾ Trans. Amer. Inst. min. metallurg. Engrs. 67 (1922) S. 341/91; vgl. Stahl u. Eisen 56 (1936) S. 1114.

⁶⁾ Vortrag vor dem Deutschen Ausschluß für Stahlbau. November 1939. (Nicht veröffentlicht.)

1. Aufschweißbiegeproben. Aus jeder Probe wiederum:
2. DVMR-Kerbschlagproben (55×10×10 mm³, Kerbdmr. 2 mm, Kerbtiefe 3 mm).
3. Kerbschlagprobe nach Graf.
4. DVMS-Kerbschlagproben (55×10×10 mm³, Spitzkerb 45°, Kerbtiefe 3 mm).
5. Proben zur Ermittlung der McQuaid-Ehn-Korngröße.
6. Proben für Härtebestimmungen in der Uebergangszone von der Schweißraupe zum Grundwerkstoff.
7. Oel- und Wasserhärteproben zur Prüfung der Härteempfindlichkeit.

Die Ergebnisse der Vergleichsversuche sind in *Zahlentafel 2 und 3* sowie in *Bild 1* zusammengestellt. Der Aufschweißbiegeversuch zeigte deutliche Unterschiede im Ergebnis, je nachdem, ob es sich um Grobkorn- oder Feinkornstahl handelte, bzw. ob die Stähle im Walzzustand oder normalgeglüht vorlagen. Bedingungsgemäßer Ausfall des Aufschweißbiegeversuches lag nur dann vor, wenn als Werkstoff ein feinkörnig erschmolzener und normalgeglühter Stahl zur Untersuchung gelangte, wie dies bereits früher festgestellt worden war⁷⁾.

Die Kerbschlagversuche mit DVMR-Proben zeigten für beide Stahlarten und Behandlungszustände verhältnismäßig gleichmäßige Werte, wenn auch ein gewisser Einfluß der Erschmelzungsart und des Warmbehandlungszustandes nicht zu verkennen ist. Die angezeigten Unterschiede sind aber nicht groß genug, um eine Werkstoffauslese zu ermöglichen. Der Kerbschlagversuch nach Graf

⁷⁾ Wasmuht, R.: Stahl u. Eisen 59 (1939) S. 209/12 (Werkstoffaussch. 456).

scheint dagegen in ähnlichem Sinne eine Unterscheidungs-möglichkeit zu bieten, wie es bisher nur der Aufschweißbiegeversuch getan hat. Es ergaben sich stärkere Unterschiede zwischen Stahlart und Behandlungszuständen, die

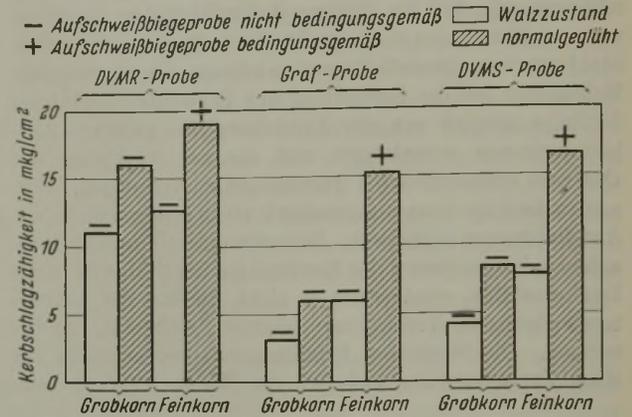


Bild 1. Vergleich der Ergebnisse von Aufschweißbiege- und Kerbschlagproben aus den Stählen St 52 der Zahlentafel 1.

in derselben Richtung lagen, wie sie durch die Aufschweißbiegeprobe aufgedeckt wurden. Grobkornstahl im Walz- und normalgeglühten Zustande und Feinkornstahl im Walz- und normalgeglühten Zustande wiesen Kerbschlagzähigkeiten von rd. 5 mkg/cm² auf, während der normalgeglühte Feinkornstahl eine fast dreimal so hohe Kerbschlagzähigkeit (15 mkg/cm²) hatte. Mit Steigerung der Kerbempfindlichkeit werden also diese Gegensätze, die bei dem Kerbschlagversuch mit der DVMR-Probe nur im Ansatz zu erkennen waren, stark herausgearbeitet. Der Kerbschlagversuch mit der DVMS-Probe

Zahlentafel 1. Chemische Zusammensetzung und Festigkeitseigenschaften der untersuchten Schmelzen St 52.

Schmelze	O %	Si %	Mn %	P %	S %	Or %	Cu %	McQuaid-Ehn-Korngröße	Behandlung ¹⁾	Streckgrenze kg/mm ²	Zugfestigkeit kg/mm ²	Dehnung (l = 5 d) %	Einschnürung %
1	0,19	0,25	1,07	0,021	0,018	0,33	0,47	7 + 8	W N	35,7 40,9	56,8 55,3	22,2 24,9	65 70
2	0,19	0,26	1,10	0,027	0,018	0,33	0,52	7 + 8	W N	38,4 42,3	61,0 57,3	21,5 24,6	63 67
3	0,18	0,27	1,07	0,023	0,029	0,36	0,46	7 + 8	W N	33,8 39,5	57,8 57,6	22,7 25,5	66 69
4	0,18	0,27	1,10	0,026	0,020	0,33	0,58	1 + 2	W N	33,5 36,8	57,0 55,7	23,5 28,2	45 62
5	0,20	0,31	1,14	0,024	0,026	0,33	0,56	1 + 2	W N	34,3 37,1	56,6 53,0	21,8 23,2	60 59
6	0,18	0,26	1,04	0,030	0,024	0,34	0,50	1 + 2	W N	34,0 35,5	56,1 61,7	26,6 20,0	68 59

¹⁾ W = Walzzustand, N = normalgeglüht.

Zahlentafel 2. Ergebnis der vergleichenden Untersuchungen mit den Grobkornstählen St 52 der Zahlentafel 1.

Aufschweißbiegeprobe ¹⁾	Walzzustand						Normalgeglüht						
	Brinell-Härte		Kerbschlagzähigkeit			McQuaid-Ehn-Korngröße	Brinell-Härte		Kerbschlagzähigkeit			McQuaid-Ehn-Korngröße	
	Uebergang	Grund	DVMR-Probe mkg/cm ²	Graf-Probe mkg/cm ²	DVMS-Probe mkg/cm ²		Uebergang	Grund	DVMR-Probe mkg/cm ²	Graf-Probe mkg/cm ²	DVMS-Probe mkg/cm ²		
—	292	161	11,7	3,7	4,0	1 + 2	—	272	158	14,6	4,6	7,1	1 + 2
—	272	156	11,4	3,7	3,4	1 + 2	—	269	164	17,4	4,9	7,4	1 + 2
—	292	167	11,0	3,4	3,1	1 + 2	—	292	161	16,6	4,1	7,9	1 + 2
—	269	161	9,6	2,6	3,4	1 + 2	—	281	164	19,1	6,0	9,3	1 + 2
—	292	161	10,1	2,3	3,9	1 + 2	—	272	169	18,4	4,3	7,7	1 + 2
—	281	169	11,9	2,3	3,9	1 + 2	—	272	161	14,4	6,0	8,6	1 + 2
—	275	164	10,9	2,4	3,4	1 + 2	—	278	158	12,6	7,4	8,1	1 + 2
—	286	164	10,9	2,3	3,7	1 + 2	—	272	167	14,4	4,3	8,0	1 + 2
—	281	169	9,9	2,6	2,7	1 + 2	—	275	164	13,3	5,4	7,3	1 + 2
—	286	158	9,0	3,6	2,6	1 + 2	—	272	158	12,6	6,0	9,0	1 + 2
Mittel	281	161	10,6	2,8	3,4	1 + 2	Mittel	275	161	15,3	5,3	8,0	1 + 2

¹⁾ — nicht bedingungsgemäß, + bedingungsgemäß.

Zahlentafel 3. Ergebnis der vergleichenden Untersuchungen mit den Feinkornstählen St 52 der Zahlentafel 1.

Aufschweißbiegeprobe ¹⁾	Walzzustand						Normalgeglüht						
	Brinell-Härte		Kerbschlagzähigkeit			McQuaid-Ehn-Korngröße	Brinell-Härte		Kerbschlagzähigkeit			McQuaid-Ehn-Korngröße	
	Uebergang	Grund	DVMR-Probe mkg/cm ²	Graf-Probe mkg/cm ²	DVMS-Probe mkg/cm ²		Uebergang	Grund	DVMR-Probe mkg/cm ²	Graf-Probe mkg/cm ²	DVMS-Probe mkg/cm ²		
—	300	169	12,1	5,4	9,1	7 + 8	+	264	161	20,6	13,4	15,7	7 + 8
—	275	167	13,3	3,6	7,9	7 + 8	+	281	167	19,0	13,6	15,9	7 + 8
—	275	164	11,7	5,0	7,6	7 + 8	+	272	142	19,3	13,9	17,0	7 + 8
—	278	164	13,4	4,1	8,6	7 + 8	+	278	161	19,3	15,1	15,6	7 + 8
—	283	161	12,6	4,7	6,1	7 + 8	+	275	161	20,1	15,7	16,9	7 + 8
—	286	181	10,3	4,7	10,3	7 + 8	+	283	164	16,3	15,9	17,6	7 + 8
—	292	172	11,9	5,1	8,6	7 + 8	+	272	167	19,6	15,6	17,1	7 + 8
—	322	169	13,4	5,4	6,9	7 + 8	+	305	158	17,9	13,6	16,3	7 + 8
—	289	161	14,0	6,9	6,3	7 + 8	+	286	169	19,4	16,6	15,7	7 + 8
—	292	167	12,6	5,3	6,3	7 + 8	+	275	161	16,7	16,3	15,9	7 + 8
Mittel	289	167	12,5	4,9	7,8	7 + 8	Mittel	278	161	18,8	15,0	16,4	7 + 8

1) — nicht bedingungsgemäß, + bedingungsgemäß.

bestätigte die bisher gezogenen Schlüsse vollauf. Diese Probe spricht ähnlich wie die Probe von Graf an und steht in ihrer Empfindlichkeit zwischen der Probe von Graf und der DVMR-Probe. Während bei dem Kerbschlagversuch nach Graf die guten Aufschweißbiegeproben etwa dreimal so hohe Kerbschlagzähigkeiten ergeben wie die schlechten, ist die Kerbschlagzähigkeit bei dem Kerbschlagversuch mit der DVMS-Probe nur etwa doppelt so hoch. Trotzdem würde es vielleicht genügen, zu weiteren Untersuchungen vorwiegend die DVMS-Probe heranzuziehen, da sie eine wesentlich einfachere Herstellung bedingt.

Die Härteprüfung im Uebergang der Schweißraupe stellt keine Unterscheidungsmöglichkeit dar, da die erreichten Höchst härten sowohl bei der verschiedenen Er schmelzungsweise als auch bei dem verschiedenen Wärmebehandlungszustand in der gleichen Größenordnung von etwa 280 bis 305 Brinelleinheiten ermittelt wurden. Auch konnten zuweilen Spitzenwerte der Härte in bedingungs-gemäßen Aufschweißbiegeproben ermittelt werden, während umgekehrt auch ausgesprochene Tiefstwerte in nicht bedingungs-gemäßen Proben festgestellt werden konnten. Hiernach kann die Härte in der Uebergangszone der Schweißnaht kein Maßstab für den Ausfall der Aufschweißbiegeprobe sein.

Die Brinell-Härte des Grundwerkstoffes ist ohne ausschlaggebenden Einfluß auf das Ergebnis des Aufschweiß-biege- und des Scharfkerbschlagversuches. Normalgeglühte Feinkornstähle, auch wenn sie an der oberen Festigkeits-grenze lagen, zeigten gute und bedingungsgemäße Werte beim Aufschweißbiege- und Scharfkerbschlagversuch.

Auch die McQuaid-Ehn-Korngröße vermittelte keine Aussage, die dem Ergebnis des Aufschweißbiegeversuches entsprach. Der Aufschweißbiegeversuch lieferte nur dann mit Sicherheit ein positives Ergebnis, wenn der Feinkornstahl einer bestimmten Wärmebehandlung unterworfen wurde. Durch die Ermittlung der McQuaid-Ehn-Korngröße ist es nicht möglich, eine Feststellung über den Wärmebehandlungszustand des Stahles zu treffen.

Die Ergebnisse der Wasser- und Oelabschreckung (Zahlentafel 4) stehen im Gegensatz zu den Ergebnissen, die bei der Ermittlung der Härtungsneigung im Uebergang erhalten wurden. Während die mit der Diamantspitze fest-gestellten Höchst härten in der Schweißnaht sich nicht nennens-wert unterschieden, je nachdem, ob es sich um Grobkorn-, Feinkorn- oder um normalgeglühten und nicht normal-geglühten Stahl handelte, so zeigten die Oel- und Wasser-abschreckproben deutlich, daß der Feinkornstahl eine geringere Härtungsfähigkeit als der Grobkornstahl auf-weist. Offensichtlich besteht also zwischen Abschreckhärte und Härteannahme im Uebergang der Schweißnaht kein

Zahlentafel 4. Festigkeitseigenschaften der unter-suchten Stähle St 52 nach Oel- und Wasser-abschreckung (Mittelwerte).

Stahlart	Ab-schrecken nach ½ h bei 900° in	Streck-grenze kg/mm ²	Zugfestig-keit kg/mm ²	Dehnung (l = 5 d) %	Ein-schnürung %
Grobkorn	Oel	55,8	75,2	23,8	61
	Wasser	—	104,6	11,8	39
Feinkorn	Oel	35,6	63,9	24,5	61
	Wasser	—	90,2	15,0	39

Zusammenhang, wie es W. Bischof⁶⁾ bereits nachgewiesen hat.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß Scharfkerbschlagversuche ähnliche Schlüsse zulassen, wie sie mit dem Aufschweißbiegeversuch ermittelt wurden. Ein endgültiger Austausch des Aufschweißbiegeversuches durch den Kerbschlagversuch nach Graf oder durch den Kerbschlagversuch mit der DVMS-Probe scheint indessen zu-nächst nicht ratsam zu sein, da die Kerbschlagversuche über den Einfluß der Dicke des untersuchten Werkstoffes nichts aussagen, während man beim Aufschweißbiegeversuch stets den Ursprungsquerschnitt prüfen kann und hierbei auch entsprechende Gesetzmäßigkeiten feststellen konnte. Weiterhin ist der Scharfkerbschlagversuch nicht im gleichen Maße dazu geeignet, das Verhalten des Werkstoffes unter dem Einfluß dreiachsiger Spannungszustände festzustellen, wie es beim Aufschweißbiegeversuch durch die geschweißte Ausführung möglich ist. Es empfiehlt sich deshalb zunächst, den Kerbschlagversuch nach Graf oder mit der DVMS-Probe zur Unterrichtung zusammen mit dem Aufschweiß-biegeversuch — die Kerbschlagproben werden am zweck-mäßigsten aus den Aufschweißbiegeproben herausgearbeitet — durchzuführen, um zunächst Erfahrungen zu sammeln. Erst durch eine Großzahl von Untersuchungen kann fest-gelegt werden, welche Scharfkerbschlagzähigkeiten gefordert werden müßten, um mit Gewißheit die gleiche Werkstoff-auswahl wie mit dem Aufschweißbiegeversuch treffen zu können.

Zusammenfassung.

Im Rahmen der Prüfung der Möglichkeit, den zeit-raubenden und kostspieligen Aufschweißbiegeversuch durch ein anderes Prüfverfahren zu ersetzen, das in gleicher Weise wie der Aufschweißbiegeversuch Aussagen über die Eigen-schaften der zu schweißenden Stähle zuläßt, wurden aus Aufschweißbiegeproben von feinkörnigen und grobkörnigen Stählen St 52 im Walz- und normalgeglühten Zustande DVMR- und DVMS-Kerbschlagproben, Kerbschlagproben

⁶⁾ Veröffentlichung demnächst.

nach Graf mit Schlitzkerb, Proben zur McQuaid-Ehn-Korngrößermittlung, für Härtebestimmungen in der Uebergangszone von der Schweißraupe zum Grundwerkstoff und Abschreckproben zur Prüfung der Härteempfindlichkeit herausgearbeitet und untersucht. Die Prüfung mit Scharfkerbschlagproben läßt ähnliche Schlüsse wie der Aufschweißbiegeversuch zu, jedoch scheint ein Austausch des Aufschweißbiegeversuches durch den Kerbschlagversuch mit der DVMS- oder Grafischen Probe zunächst nicht

geeignet, vielmehr die Sammlung umfangreicher Vergleichsunterlagen zweckmäßig. Die Empfindlichkeit der Kerbschlagproben nimmt in der Reihenfolge DVMR, DVMS, Probe nach Graf zu. Die Härte des Grundwerkstoffes und der Uebergangszone der Schweißnaht sowie die McQuaid-Ehn-Korngröße ist kein Maßstab für den Ausfall des Aufschweißbiegeversuchs. Zwischen Abschreckhärte und Härteannahme im Uebergang der Schweißnaht wurde kein Zusammenhang gefunden.

Einfluß der Wärmebehandlung auf die Festigkeitseigenschaften von Schweißungen an Baustahl St 52.

Von Karl Ludwig Zeyen in Essen*).

(Untersuchungen an V-Naht- und Kreuznahtschweißungen, die im Lichtbogen an 12 mm dicken Blechen aus Stahl mit 0,14% C, 0,36% Si, 1,49% Mn und 0,37% Cu mit Mantel- und Seelendrähten hergestellt worden waren. Einfluß des Vorwärmens auf 250° beim Schweißen, des nachträglichen Wärmens auf 250, 550 und 880° auf Zugfestigkeit, Streckgrenze, Dehnung, Einschnürung, Biegewinkel beim Fallversuch, Kerbschlagzähigkeit und Zugschwellfestigkeit. Einwirkung von aufgeschweißten Längs- und Querrauhen auf die Zugschwellfestigkeit.)

Im Zusammenhang mit den Schwierigkeiten an geschweißten Bauwerken aus Stahl St 52 ist deren Vorwärmung beim Schweißen oder eine nachträgliche Wärmebehandlung — entweder Spannungsfreilühen oder Normalglühen — vorgeschlagen worden¹⁾. Es erschien deshalb von Wert, den Einfluß derartiger Behandlungen auf die Festigkeitseigenschaften von Lichtbogenschweißungen aus St 52 zu untersuchen, worüber zahlenmäßige Unterlagen bisher noch nicht veröffentlicht worden sind. Nebenbei wurden die Unterschiede bei Schweißungen mit Mantelelektroden gegenüber denen mit Seelendrähten nochmals nachgeprüft²⁾.

Für die Versuche standen 12 mm dicke normalgeglühte

eine V-förmige Kantenabschrägung von 60°; es wurde ein Fugenabstand von 1,5 bis 2 mm gelassen und rückseitig nachgeschweißt. Bei den Proben für die Zugschwellversuche wurde vor Legung der Rücklage die Wurzel metallisch blank

Zahlentafel 1. Festigkeitswerte des geprüften Grundwerkstoffes in den untersuchten Wärmebehandlungszuständen.

Behandlungszustand	Probenentnahme zur Walzrichtung	Streckgrenze kg/mm ²	Zugfestigkeit kg/mm ²	Dehnung ($l = 5,65 \sqrt{l}$) %	Einschnürung %	Biegewinkel Grad	Kerbschlagzähigkeit ¹⁾ mkg/cm ²
normalgeglüht, 1/2 h 880°, Luftabkühlung	längs	37	53,3	32,4	61	> 180	11,8
	quer	37	53,3	31,4	60	> 180	10,5
normalgeglüht, danach 2 h auf 250° erwärmt, Ofenabkühlung	längs	37	55,5	25,1	57	> 180	11,9
	quer					> 180	10,3
normalgeglüht und danach 2 h bei 550° geglüht, Ofenabkühlung	längs	37	53,8	30,4	62	> 180	12,5
	quer					> 180	10,4
normalgeglüht und danach nochmals normalgeglüht, 1/2 h 880°, Luftabkühlung	längs	36	55,6	29,2	61	> 180	11,5
	quer					> 180	9,7

¹⁾ Probe von 10×10×55 mm³ mit 3 mm tiefem Kerb von 2 mm Dmr.

Zahlentafel 2. Zusammensetzung und Festigkeitseigenschaften des niedergeschmolzenen Schweißgutes.

	Streckgrenze	Zugfestigkeit	Dehnung (l=5 d)	Einschnürung	Kerbschlagzähigkeit ¹⁾	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ti	Al	N ₂	O ₂	H ₂
	kg/mm ²	kg/mm ²	%	%	mkg cm ²	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Mantelelektrode	45,7	52,7	27,5	63	11,7	0,07	0,04	0,52	0,029	0,025	0,15	—	—	0,026	0,105	0,0010
Seelenelektrode	46,8	56,7	12,0	23	4,2	0,04	0,02	1,08	0,030	0,021	0,10	0,05	0,02	0,110	0,093	0,0005

¹⁾ Probe von 10×10×55 mm³ mit 3 mm tiefem Kerb von 2 mm Dmr.

Bleche aus Stahl mit 0,14% C, 0,36% Si, 1,49% Mn, 0,020% P, 0,019% S und 0,37% Cu zur Verfügung, deren Festigkeitseigenschaften in den verschiedenen Wärmebehandlungszuständen *Zahlentafel 1* wiedergibt. Werte über die verwendeten Schweißzusatzwerkstoffe sind in *Zahlentafel 2* enthalten. Für die Stumpfschweißungen erhielten die Bleche

*) Nach einem Vortrag auf der Sondertagung für Schweißen in Hannover am 26. April 1940.

¹⁾ Schaper, G.: Reichsbahn 15 (1939) S. 732/66. Kommerell, O.: Stahlbau 11 (1938) S. 49/51. Houdremont, E., K. Schönrock und H. J. Wiester: Stahl u. Eisen 59 (1939) S. 1241/48. Schaper, G.: Bautechn. 16 (1938) S. 346/47; vgl. Stahl u. Eisen 58 (1938) S. 807/09, 980 u. 1094. Schönrock, K.: Unveröffentlichte Versuchsergebnisse, vorgetragen im Ausschuß zur Prüfung der Schweißempfindlichkeit von Baustahl St 52 am 10. Juni 1938 im Staatl. Mat.-Prüf.-Amt. Zeyen, K. L.: Stahlbau 11 (1938) S. 41/46 u. 59/64. Zeyen, K. L.: Techn. Mitt. Krupp 6 (1938) S. 25/46.

²⁾ Hackert, R., und K. L. Zeyen: Techn. Mitt. Krupp 5 (1937) S. 22/31; vergl. Stahl u. Eisen 67 (1937) S. 526/27.

ausgeschliffen. Die Mantelelektroden, die einen Durchmesser von 4 mm hatten, wurden mit etwa 150 A verschweißt, und zwar bei den Stumpfnähten in sechs Lagen (fünf Lagen von oben und eine Rücklage), bei den Kehlnähten in zwei Lagen. Bei den Seelenelektroden, die 5 mm Dmr. hatten, führte man die Stumpfschweißungen in vier Lagen (drei Lagen von oben und eine Rücklage) aus, wobei die zwei ersten Lagen mit einer Stromstärke von etwa 200 bis 210 A, die beiden letzten mit etwa 160 bis 170 A geschweißt wurden; die Kehlnähte der Kreuzproben wurden in einer Lage mit einer Stromstärke von 180 bis 190 A hergestellt.

Ergebnisse der Zugversuche.

Aus *Zahlentafel 3* ergibt sich, daß für die Schweißungen mit Mantelelektroden bei belassener Schweißraupe die sehr guten Werte für die Streckgrenze, die Zugfestigkeit, die Dehnung, die Einschnürung, die Schweißnaht-Kerbschlagzähigkeit und den Biegewinkel stumpfgeschweißter Proben

Zahlentafel 3. Festigkeitseigenschaften der Versuchsschweißungen (jeweils Mittelwerte aus 4 bis 6 Proben).

Temperatur der Bleche beim Schweißen ° C	Wärmebehandlung nach dem Schweißen	Schweißraupe	Stumpfschweißungen							Kreuzschweißungen Nahtfestigkeit kg/mm ²
			Streckgrenze kg/mm ²	Zugfestigkeit kg/mm ²	Dehnung (1 = 5,65 V f) %	Einschnürung %	Lage des Bruchs zur Naht	Kerbschlagzähigkeit mkg/cm ²	Biege- winkel Grad	
Schweißungen mit Mantelelektroden										
20	keine	belassen abgearbeitet	36	53,6	23,5	58	neben in	11,6	> 180 > 180	52,1
			38	53,5	13,3	34				
250	keine	belassen abgearbeitet	37	53,8	22,9	56	neben in	11,9	> 180 > 180	52,9
			37	52,9	14,1	37				
20	2 h auf 250° erwärmt, Ofenabkühlung	belassen abgearbeitet	38 39	55,8 54,8	22,0 13,7	55 34	neben in	11,5	> 180 > 180	52,0
20	2 h bei 550° geglüht, Luftabkühlung	belassen abgearbeitet	39 39	55,0 52,9	24,4 10,6	57 24	neben in	12,3	> 180 > 180	52,7
20	normalgeglüht, 1/2 h 880°, Luftabkühlung	belassen abgearbeitet	36	55,3	28,5	56	neben in	13,3	> 180 > 180	52,2
			36	49,6	13,2	39				
Schweißungen mit Seelenelektroden										
20	keine	belassen abgearbeitet	37	56,1	21,3	57	neben neben	3,9	77 69	51,4
			37	55,2	20,4	60				
20	2 h auf 250° erwärmt, Ofenabkühlung	belassen abgearbeitet	36	55,1	22,1	61	neben neben	3,9	105 86	54,0
			39	57,4	19,5	60				
20	2 h bei 550° geglüht, Luftabkühlung	belassen abgearbeitet	36	53,7	28,1	62	neben neben	3,1	180 180	51,6
			37	56,1	21,4	60				
20	normalgeglüht, 1/2 h 880°, Luftabkühlung	belassen abgearbeitet	36	55,5	27,3	61	neben in	3,6	180 180	52,4
			36	55,1	13,0	17				

sowie für die Nahtfestigkeit von Kreuzschweißungen durch eine nachträgliche Wärmebehandlung kaltgeschweißter Proben oder durch Warmschweißen bei 250° praktisch gleich bleiben. Bei den Proben mit abgearbeiteten Schweißraupen ist der Bruch in allen Fällen in der Schweißnaht erfolgt, bevor der Grundwerkstoff sich nennenswert an der Verformung beteiligen konnte; die Dehnung und auch die Einschnürung liegen deshalb tiefer als bei den Proben mit belassener Schweißraupe, die neben der Schweißnaht brachen. Durch Wärmebehandlung kalt geschweißter Proben oder durch ein Warmschweißen bei 250° sind die Prüfwerte auch bei den Proben mit abgearbeiteter Schweißraupe nicht verringert worden bis auf die Zugfestigkeit der nach dem Kaltschweißen normalgeglühten Proben, die auf rd. 50 kg/mm² heruntergegangen ist. Dies erklärt sich daraus, daß die verwendete Mantelelektrode im nicht wärmebehandelten Schweißgut eine Zugfestigkeit von nur etwas über 52 kg/mm² hat, die durch Normalglühen auf etwa 50 kg/mm² zurückgeht. Wenn bei stumpfgeschweißten St-52-Proben mit abgearbeiteter Schweißraupe nach einer Normalglühung ebenfalls mindestens 52 kg/mm² Zugfestigkeit verlangt wird, dann müßten dafür Mantelelektroden mit etwas höherer Schweißgutfestigkeit im nicht wärmebehandelten Zustand verwendet werden, die vorhanden sind. Bei belassener Schweißraupe haben die nach dem Schweißen normalgeglühten Proben wegen des durch die Nahtüberhöhung verstärkten Querschnitts auch bei dem hier verwendeten Manteldraht Zugfestigkeiten der stumpfgeschweißten Verbindung über 52 kg/mm² ergeben.

Auch bei den Schweißungen mit legierten Seelendrähten werden durch keine der nach dem Schweißen angewendeten Wärmebehandlungen Streckgrenze, Zugfestigkeit, Dehnung und Einschnürung der Stumpfverbindung verringert, ebenso nicht die Nahtfestigkeit der Kreuzverbindung. Die Proben brachen alle bis auf die normalgeglühten Proben mit abgearbeiteter Schweißraupe stets neben der Naht.

Verformungsfähigkeit der Schweißproben.

Ein Vergleich der Werte in *Zahlentafel 3* zeigt, daß zwischen den Schweißungen mit Mantel- und

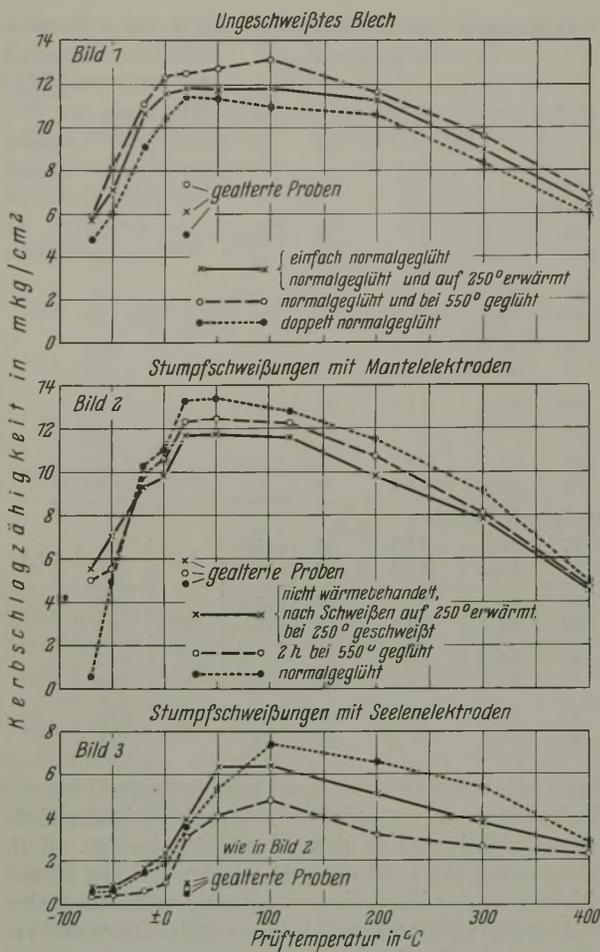
Seelenelektroden außer in der beim Seelendraht höheren Zugfestigkeit ein wesentlicher Unterschied in der Kerbschlagzähigkeit und in dem Biegewinkel besteht. Kerbschlagzähigkeit von nicht unter 11 mkg/cm² bei den Mantelelektroden stehen Werte bis zu etwa 4 mkg/cm² bei den Seelendrähten gegenüber; während bei jenen stets Biegewinkel von 180° ohne Anriß gefunden wurden, wurden bei diesen ohne nachträgliche Wärmebehandlung Biegewinkel unter 100°, dann aber nach Glühen bei 550° oder nach Normalglühen solche von 180°, jedoch mit Anriß, erhalten. Die Kerbschlagzähigkeit bei + 20° Prüftemperatur sinkt bei den Seelenelektroden durch Glühen bei 550° und durch Normalglühen etwas ab.

Entsprechend Versuchen über Prüfverfahren zur Ermittlung der Verformungsfähigkeit von Mehrlagenerschweißungen an weichem Flußstahl³⁾ wurden zur weiteren Klärung Temperatur-Kerbschlagzähigkeits-Kurven im Bereich zwischen - 70 und + 400° aufgenommen und die Kerbschlagzähigkeit der Schweißungen im gealterten Zustand bei + 20° ermittelt; für die letzte Versuchsreihe wurden 13 mm breite Streifen aus den Stumpfschweißungen herausgesägt, durch Druck auf die Schnittflächen um 10% gestaucht und dann 1/2 h auf 250° erwärmt.

Nach *Bild 1* stimmten die Kerbschlagwerte der ungeschweißten Bleche im normalgeglühten Anlieferungszustand fast völlig mit den Werten überein, die an ihnen nach Normalglühung und Erwärmung auf 250° ermittelt wurden; in der Hochlage, d. h. zwischen - 20 und + 200° Prüftemperatur, ergaben sich Werte von 11,3 bis 11,9 mkg je cm². Die Alterungskerbschlagzähigkeit bei + 20° Prüftemperatur liegt mit 6,2 mkg/cm² recht gut. Durch Glühen bei 550° nach dem Normalglühen wird die Kerbschlagzähigkeit bei allen Temperaturen etwas besser, durch zweimaliges Normalglühen sinkt sie dagegen etwas.

Bei den Schweißungen mit Mantelelektroden stimmten die Prüfwerte der kaltgeschweißten und nachträglich nicht wärmebehandelten Proben, der kaltgeschweißten und dann auf 250° erwärmten Proben sowie der bei 250°

³⁾ Zeyen, K. L.: Elektroschweißg. 10 (1939) S. 21/30, 67/74 u. 90/94; Techn. Mitt. Krupp, B: Techn. Ber., 7 (1939) S. 96/120.



Bilder 1 bis 3. Kerbschlagzähigkeit des Versuchsstahles und der Stumpfschweißungen bei verschiedenen Temperaturen.

geschweißten, nachträglich nicht wärmebehandelten Proben in allen drei Fällen praktisch überein, was als wichtige Feststellung festgehalten werden kann (Bild 2). Die nach dem Schweißen nicht wärmebehandelten Proben ergaben etwa den gleichen Kurvenverlauf wie die ungeschweißten Bleche im einfach normalgeglühten Ausgangszustand. Durch Glühen bei 550° wurden die Werte der Kerbschlagzähigkeit in der Hochlage leicht verbessert und durch Normalglühen noch weiter erhöht. Bei tieferer Prüftemperatur als -20° und bei gealterten Proben lagen dagegen die Werte der wärmebehandelten Proben tiefer als die der nicht wärmebehandelten. Diese Erscheinung wurde auch bei Schweißungen mit Manteldrähten an Stahl St 37 beobachtet; es handelt sich dabei um Kornvergrößerungen durch Wärmebehandlung an solchen Stellen von Manteldrahtschweißnähten, an denen durch die Wärmeinwirkung beim Schweißen in mehreren Lagen bei den zuerst gelegten Lagen bereits eine Gefügeumwandlung erfolgt war³⁾. Man kann aus Bild 2 folgern, daß die Temperatur-Kerbschlagzähigkeits-Kurven für die Schweißungen mit Mantelelektroden sowohl ohne als auch mit Wärmebehandlung sehr günstig sind.

Die Schweißungen mit legierten Seelendrähten (Bild 3) erreichen ohne Wärmebehandlung in der Hochlage Werte von etwa 6 mkg/cm²; der Abfall setzte schon bei Raumtemperatur ein. Durch Glühen bei 550° fielen bei allen Prüftemperaturen die Prüfwerte ab, während durch Normalglühen in der Hochlage teilweise eine Erhöhung gegenüber dem nicht wärmebehandelten Zustand festgestellt wurde. Die Kerbschlagzähigkeit der gealterten Proben lag mit Werten unter 1 mkg/cm² durchweg sehr tief.

Zahlentafel 4. Zugschwellfestigkeit der ungeschweißten und geschweißten Proben.

Art der Proben	Zugschwellfestigkeit ¹⁾ kg/mm ²
Ungeschweißt, mit Walzhaut, normalgeglüht	30
Ungeschweißt, allseitig geschliffen, normalgeglüht	35,5
Mantelelektrode	
Bei 20° geschweißt, nicht wärmebehandelt	23,5
Bei 20° geschweißt, 2 h auf 250° erwärmt, Ofenabkühlung	23,6
Bei 20° geschweißt, 2 h bei 550° geglüht, Luftabkühlung	24
Bei 20° geschweißt, 1/2 h bei 800° geglüht, Luftabkühlung	22
Bei 250° geschweißt, nicht wärmebehandelt	23,5
Seelenelektrode	
Bei 20° geschweißt, nicht wärmebehandelt	25
Bei 20° geschweißt, 2 h auf 250° erwärmt, Ofenabkühlung	25
Bei 20° geschweißt, 2 h bei 550° geglüht, Luftabkühlung	25
Bei 20° geschweißt, 1/2 h bei 880° geglüht, Luftabkühlung	23

1) Spannung für einen Bruch nach 2 · 10⁶ Lastspielen.

Wechsselfestigkeitsversuche.

Für Zugschwellversuche auf einem liegenden Schwingender Firma C. Schenck (25 t Wechsellast, 25 Hertz, untere Spannungsgrenze 0,1 kg/mm²) wurden Proben von 12 mm Dicke und 550 mm Länge verwendet; die Proben aus den nichtgeschweißten Blechen waren an den Einspannköpfen 80 mm breit und dazwischen mit 200 mm Abrundungsradius auf 50 mm verjüngt, während bei den einzeln geschweißten Proben die Breite auf der ganzen Länge 80 mm betrug. An den stumpfgeschweißten Proben wurde die Schweißnaht so geschliffen, daß alle Unebenheiten und etwaige Einbranderkerben beseitigt waren; jedoch blieb dabei der Querschnitt der Schweißnähte noch beträchtlich größer als der der Bleche (vgl. Bilder 4 bis 7).

Nach Zahlentafel 4 lag die Zugschwellfestigkeit aller geschweißten Proben beträchtlich unter der der ungeschweißten Bleche. Die Proben brachen in allen Fällen am Querschnittsübergang von der Schweißbraupe zum Grundwerkstoff und nicht in der Schweißnaht, womit zu rechnen war, weil die Schweißbraupe trotz der Bearbeitung ja noch einen größeren Querschnitt als das Blech hatte. Bei den mit Mantelelektroden geschweißten Proben waren die Werte für alle geprüften Behandlungszustände ziemlich gleich; nur nach Normalglühen der kaltgeschweißten Proben fiel die Zugschwellfestigkeit geringfügig ab (auf 22 kg/mm²). Ähnliches fand R. C. Boehm⁴⁾ für die Biegewechsselfestigkeit von 19 mm dicken Proben aus Stahl mit 0,21 % C, 0,17 % Si, 0,8 % Mn, 1,8 % Ni und 0,9 % Cu, die mit Mantelelektroden verschweißt worden waren; ohne Wärmebehandlung nach dem Schweißen und nach Glühen bei 675° betrug die Biegewechsselfestigkeit 21,1 kg/mm², nach Normalglühung 19,7 kg/mm². E. Weiß und Th. Hövel⁵⁾ haben dagegen bei Schweißungen an verschiedenen Sorten St 52 mit Mantelelektroden Zugschwellfestigkeitswerte von 27 bis 23 kg/mm² gefunden, und bei einem Vergleichsversuch in dem Staatlichen Materialprüfungsamt Berlin-Dahlem wurde sogar ein Wert von 29,7 kg/mm² ermittelt. Dazu ist zu bemerken, daß bei den Proben von Weiß und Hövel nicht nur die Schweißbraupen bis auf Blechdicke abgearbeitet,

⁴⁾ J. Amer. Weld. Soc. 17 (1938) Nr. 9 Anh., S. 34/36; nach Chem. Zbl. 110 (1939) I, S. 4385/86.

⁵⁾ Bautechnik 15 (1937) S. 549/52.

Sondern auch die Prüfbleche selbst bis zu den Einspannköpfen geschlichtet worden waren. Daß hierdurch bei Baustahl St 52 eine höhere Zugschwellfestigkeit erhalten wird als bei zwar bearbeiteter, aber noch überhöhter Schweißraupe und nicht bearbeiteten Blechen, ist erklärlich und wird auch durch die Ergebnisse einer weiteren eigenen Versuchsreihe bestätigt, bei der die Proben so bearbeitet wurden, wie es bei den Versuchen von Weiß und Hövel geschehen war. Dabei wurde eine Zugschwellfestigkeit von 24 kg/mm² gefunden, während der Wert bei den Proben, die auf die vorher angegebene Art bearbeitet waren, 22 kg/mm² betrug. Unterschiede in den Prüferten können auch auf verschiedene Prüfbedingungen bei verschiedenen Prüfmaschinen (Vorlast und Frequenz) zurückgeführt werden.

wandfrei geschweißten Dauerproben mit bearbeiteter Schweißraupe unter Umständen gleiche Werte mit nackten, Seelen-, dünn umhüllten und ummantelten Drähten erreichbar sind, wobei es jedoch wesentlich schwieriger sei, mit nackten Drähten vollkommen einwandfreie Nähte zu erzielen.

Die Ergebnisse einiger Versuchsreihen mit stumpfgeschweißten Proben, die mit ganz unbearbeiteten Schweißraupen geprüft wurden, schwankten stark, so daß keine einwandfreien Wöhler-Kurven aufgestellt werden konnten. Obwohl die Querschnittsübergänge, wie die wiedergegebenen Schlißbilder zeigten, auch ohne Bearbeitung der Schweißraupen verhältnismäßig weich und frei von größeren Einbrandkerben waren, streuten die Werte für die Zugschwellfestigkeit ganz ungerne. Die Proben sprachen bei

Geschweißt mit Mantelelektroden.

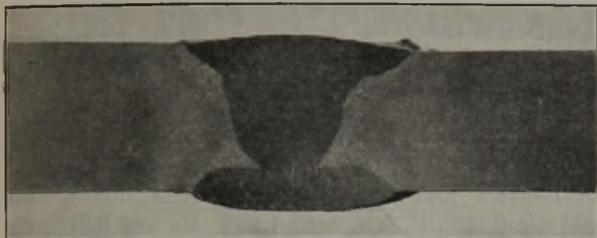


Bild 4.

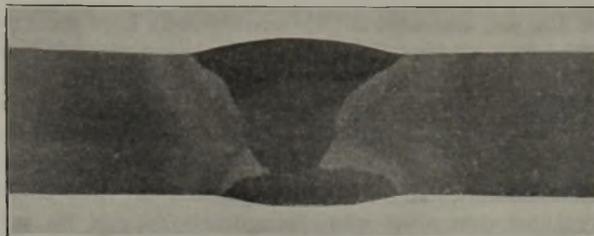


Bild 5.

Geschweißt mit Seelenelektroden.

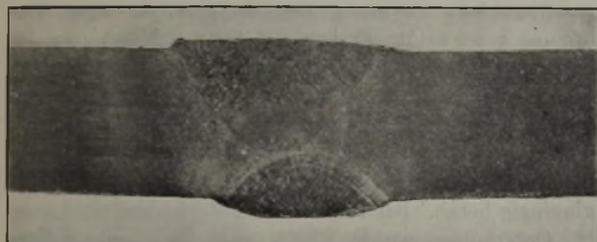


Bild 6.

Proben mit nichtbearbeiteter Schweißstelle.



Bild 7.

Proben mit bearbeiteter Schweißstelle.

Bilder 4 bis 7. Querschnitte von geschweißten Zugschwellfestigkeits-Proben. (× 1,5.)

Bei den Schweißungen mit Seelenelektroden lag die Zugschwellfestigkeit etwa in gleicher Größenordnung wie bei den Schweißungen mit den Mantelelektroden. Auch bei ihnen blieben die Werte der kalt geschweißten Proben nach Erwärmung auf 250° und Glühen bei 550° unverändert, und durch Normalglühen trat wie bei den Manteldrahtstumpfschweißungen ein geringfügiger Abfall (um 2 kg/mm²) ein. Es ist möglich, daß die etwas höheren Werte für die Streckgrenze und die Zugfestigkeit, die das Schweißgut der legierten Seelenelektroden gegenüber dem der verwendeten Manteldrähte hat, die gefundenen etwas höheren Zugschwellfestigkeitswerte bedingen, so daß bei Mantelelektroden mit entsprechend höheren Schweißgutwerten (die, wie schon einmal erwähnt, auch vorhanden sind) auch etwas höhere Zugschwellfestigkeitswerte erwartet werden könnten. Vielleicht spielt aber auch die Härte der Uebergangszonen, die bei den Manteldrahtschweißungen außer bei den nach dem Schweißen normalgeglühten Proben tiefer lag als bei den Seelendrahtschweißungen, eine Rolle. C. Stieler⁶⁾ stellte übrigens fest, daß an St 37 und St 52 bei ein-

der Dauerprüfung augenscheinlich auch auf kleine Ungleichmäßigkeiten im Uebergang von Schweißraupe zum Grundwerkstoff sehr stark an; ähnliche Beobachtungen machten Weiß und Hövel bei ihrer schon erwähnten Untersuchung. Wenn man die bei der Prüfung gefundenen, auf die Ausbildung des Schweißnahtübergangs zurückzuführenden Ausreißer vernachlässigt, so läßt sich etwa sagen, daß die Zugschwellfestigkeit bei den nicht bearbeiteten Proben um etwa 6 bis 7 kg/mm² niedriger lag als bei den Proben mit bearbeiteten Schweißraupen.

Zahlentafel 5. Zugschwellfestigkeit von Proben mit aufgelegten Schweißraupen.

Proben mit	Zugschwellfestigkeit in kg mm ²				
	Proben bei 20° geschweißt und				Proben bei 250° geschweißt, nicht wärmebehandelt
	nicht wärmebehandelt	2 h auf 250° erwärmt, Ofenabkühlung	2 h bei 550° geglüht, Luftabkühlung	1/2 h bei 880° geglüht, Luftabkühlung	
einseitig aufgeschweißter Querraupe	16	19	20,5	18	18
doppelseitig aufgeschweißter Querraupe	17	22	22	21	18
einseitig aufgeschweißter Längsraupe	24	26	27	25	24
doppelseitig aufgeschweißter Längsraupe	25	26	25	23	—

Weitere Versuchsreihen wurden mit 80 mm breiten und 550 mm langen Proben durchgeführt, bei denen Längs- und Querraupe in je einer Lage mit Mantelelektroden einseitig und doppelseitig aufgeschweißt worden waren. Nach Zahlentafel 5 ergaben bei den ohne Vorwärmung geschweißten und nachträglich nicht wärmebehandelten

⁶⁾ Schweißtechnik im Stahlbau, hrsg. von K. Klöppel und C. Stieler, Bd. 4. Berlin 1939. S. 97/98.

Proben diejenigen mit aufgeschweißten Querraupen mit 16 bis 17 kg/mm² wesentlich niedrigere Zugschwellfestigkeitswerte als die mit aufgeschweißten Längsraupen; sie liegen in der Größenordnung von stumpfgeschweißten Proben, bei denen keine Bearbeitung der Schweißstellen erfolgt war. Die Werte der Proben mit aufgeschweißten Längsraupen sind jedoch ebenso hoch und höher als die der stumpfgeschweißten Proben mit bearbeiteten Schweißraupen. Es ergibt sich hier wieder die bekannte Beobachtung, daß die Richtung, in der Kerbe zu der Prüflast verlaufen, bei Baustahl St 52, ebenso wie bei anderen Sählen oder Metallen, von großem Einfluß auf die Dauerfestigkeit ist⁷⁾. Proben mit doppelseitig aufgeschweißten Raupen lieferten ohne Wärmebehandlung nach dem Schweißen, einerlei ob es sich um Längs- oder Querraupen handelte, etwas höhere Zugschwellfestigkeitswerte als Proben mit einseitig aufgeschweißten Raupen, was wohl auf die symmetrische Lage der Unstetigkeiten im Kraftlinienfluß der Proben zurückzuführen ist. Durch nachträgliche Wärmebehandlung der kaltgeschweißten Proben oder durch Warmschweißen bei 250° trat durchweg eine Erhöhung der Zugschwellfestigkeitswerte gegenüber nicht wärmebehandelten Proben ein. Dabei ist bemerkenswert, daß durch Normalglühung die Werte zwar gegenüber dem nicht wärmebehandelten Zustand bis auf einen Fall auch verbessert wurden, aber nicht bis zu der Höhe der Werte der bei tieferen Temperaturen geblühten Proben.

Eine nachträgliche Wärmebehandlung ohne Vorwärmung hergestellter St-52-Schweißungen oder ein Warmschweißen bei etwa 250° erhöht nach den Versuchsergebnissen die Zugschwellfestigkeit stumpfgeschweißter Proben nicht, während bei Proben mit aufgeschweißten Raupen dadurch teilweise noch erhebliche Verbesserungen gefunden wurden. Dies kann wohl darauf zurückgeführt werden, daß bei Aufschweißungen erheblich höhere Spannungen entstehen als bei Stumpfschweißungen, und daß diese Spannungen schon durch ein Erwärmen auf etwa 250° oder durch ein Warmschweißen bei dieser Temperatur abgebaut werden.

Härteuntersuchungen an den Stumpfschweißungen.

In *Zahlentafel 6* sind die Ergebnisse von Firth-Härtebestimmungen zusammengestellt. Die Angaben sind bei dem

Zahlentafel 6.
Firth-Härte in Querschliffen der Versuche.

	Nicht wärme- behand- elt	2 h auf 250° erwärmt, Ofenab- kühlung	2 h bei 550° geglüht, Luftab- kühlung	½ h bei 880° geglüht, Luftab- kühlung
Grundwerkstoff ¹⁾				
	160	160	160	156
Schweißung mit Mantelelektrode				
Schweißnaht	160	165	151	147
Uebergangszone:				
1 mm unter Blechrand .	181	176	176	156
in Mittellinie des Bleches	170	170	165	156
Schweißung mit Seelenelektrode				
Schweißnaht	206	193	213	176
Uebergangszone:				
1 mm unter Blechrand .	206	200	181	156
in Mittellinie des Bleches	200	193	176	156

¹⁾ Ausgangszustand normalgeglüht.

durch die Schweißhitze nicht mehr beeinflussten Blechwerkstoff Durchschnittswerte, die in den Mittellinien der Querschliffe ermittelt wurden; für die Schweißnähte selbst und die Uebergangszonen wurden die höchsten Härtewerte mitgeteilt.

⁷⁾ Siehe Hövel, Th.: Elektroschweißg. 9 (1938) S. 144/46.

Die durchschnittliche Härte des durch die Schweißhitze nicht mehr beeinflussten Blechwerkstoffs ist praktisch in allen Fällen gleichgeblieben und hat nur durch das zweite Normalglühen geringfügig abgenommen.

Bei den Stumpfschweißungen ergab die Mantelelektrode in allen Behandlungszuständen etwa gleiche Höchst Härte in der Schweißnaht, die mit der Durchschnittshärte der ungeschweißten Bleche recht gut übereinstimmt. Bei der Seelenelektrode liegen die Schweißnaht-Höchst Härten erheblich höher und werden erst durch das Normalglühen herabgesetzt. Die Höchst Härte der Uebergangszone ist bei den nach dem Schweißen normalgeglühten Proben unabhängig von der verwendeten Elektrode auf die Durchschnittswerte des ungeschweißten Bleches zurückgegangen. In den anderen Behandlungszuständen liegt die Höchst Härte der Uebergangszone bei den Manteldrahtschweißungen stets etwas tiefer als die bei den Seelendrahtschweißungen. Die Härtesteigerung der Uebergangszone bleibt jedoch in allen Fällen gering.

Zusammenfassung.

Bei Stumpfschweißungen mit Mantelelektroden und mit legierten Seelenelektroden an normalgeglühtem Baustahl mit 0,14% C, 0,36% Si, 1,49% Mn und 0,37% Cu in 12 mm Dicke werden weder die Ergebnisse des Zugversuchs und die Kerbschlagzähigkeit, noch die Zugschwellfestigkeit ungünstig beeinflusst, wenn ohne Vorwärmung geschweißte Proben auf 250° erwärmt oder bei 550° geblüht werden. Dasselbe gilt für Schweißungen, die bei einer Vorwärmtemperatur von etwa 250° hergestellt werden. Ein Normalglühen ergibt Verbesserungen der statischen Prüfwerte, setzt aber die Zugschwellfestigkeit von Stumpfschweißungen mit bearbeiteten Schweißraupen geringfügig herab. Bei Proben mit aufgeschweißten Längs- und Querraupen wurde durch jede der angewendeten Wärmebehandlungen oder durch Warmschweißen meist eine beträchtliche Erhöhung der Schwellfestigkeit gefunden.

Manteldrähte ergaben in allen Fällen höhere Werte für den Biegewinkel und die Kerbschlagzähigkeit in der Schweißnaht, die im Bereich von -70 bis +400° geprüft wurde, als die verwendeten Seelendrähte. Die Zugschwellfestigkeit von Stumpfschweißungen mit bearbeiteten Schweißraupen lag jedoch bei den mit Mantelelektroden und mit Seelendrähten geschweißten Proben etwa gleich hoch. Rückschlüsse aus der Höhe des Biegewinkels und der Schweißnaht-Kerbschlagzähigkeit auf die Dauerfestigkeit einer Schweißverbindung an St 52 können deshalb nicht gezogen werden.

Bei den Stumpfschweißungen ergaben die Dauerproben, an denen die Schweißraupen geglättet und die Einbrandkerben beschliffen worden waren, recht gute Prüfwerte, während bei unbearbeiteten Proben die Prüfwerte erheblich tiefer lagen und stark streuten. Von Proben mit aufgeschweißten Raupen lieferten solche mit Querraupen wesentlich niedrigere Zugschwellfestigkeitswerte als Proben mit Längsraupen. Ihre Werte lagen bei oder über denen, die an Stumpfschweißungen mit bearbeiteter Schweißnaht gefunden worden waren. Für die Höhe der bei Dauerprüfung an St 52 gefundenen Werte ist es von erheblicher Wichtigkeit, ob der Verlauf von als Kerbe wirkenden Ungleichmäßigkeiten (Einbrandkerben, Oberflächenfehler, Schweißnahtüberhöhungen) in oder quer zur Richtung der Prüflast liegt.

Als Folgerung aus den durchgeführten Versuchen kann festgehalten werden, daß die Maßnahmen, die nach laboratoriumsmäßigen und auch betriebsmäßigen Feststellungen

für eine Vermeidung von Fehlschlägen bei der Schweißung von Baustahl St 52 wichtig sind, nämlich ein Warmschweißen bei etwa 250° oder ein Erwärmen von ohne Vorwärmen hergestellten Schweißungen auf diese Temperatur oder ein Glühen bei 550°, unbedenklich angewendet werden können. Statische Festigkeit, Kerbschlagzähigkeit und Dauerfestigkeitswerte der Schweißverbindungen werden dadurch nur

günstig beeinflusst. Auch das festgestellte geringfügige Abfallen der Zugschwellfestigkeitswerte stumpfgeschweißter Proben durch eine Normalglühung dürfte als unbedeutend anzusehen sein. Ein nachträgliches Normalglühen von Schweißungen an St 52 wird aber schon aus wirtschaftlichen Gründen und wegen der Gefahr des Verziehhens wohl nur in Ausnahmefällen in Frage kommen.

Umschau.

Fortschritte im ausländischen Walzwerksbetrieb¹⁾.

Neuere Ausführungen von Block- und Brammenwalzwerken.

M. P. Sieger berichtet²⁾ über den Fortschritt im Bau neuerzeitlicher Block- und Brammenwalzwerke, von denen er zwei der neuesten Brammenwalzwerke beschreibt.

1. Universal-Brammenwalzwerk der Edgar-Thomson-Werke bei Pittsburgh (Bild 1).

Obwohl Walzwerke dieser Art keine Kantvorrichtungen benötigen, da ja die Stehwalzen das Walzgut an den Seitenkanten stauchen, so wurde dennoch vor und hinter dem Gerüst je eine Kantvorrichtung vorgesehen, weil sie eine zusätzliche Bequemlichkeit für den Betrieb bedeutet, indem man sie außer zum üblichen Kanten auch noch zum Hochkantstellen der Rohbrammen bei den ersten Stichen, d. h. zum Entzundern der Blockseiten vor dem Weiterwalzen benutzen kann.

wurde durch Anwenden einer Steuerung für Schnellerregung der Feldspannungen verwirklicht.

Die Stehwalzen sind hinter den Liegewalzen angeordnet und werden durch Stirn- und Kegelräder von einem Umkehrmotor von 3000 PS und 0/180 U/min für Gleichstrom von 700 V angetrieben. Die Walzgeschwindigkeit beträgt 0/4,2 m/s und kann mit der Walzgeschwindigkeit der Liegewalzen gleichgeschaltet werden. Die Stehwalzen haben 914 mm Dmr., 2032 mm Ballenlänge mit Zapfen von 558 mm Dmr. und 812 mm Länge an beiden Enden, so daß die Walzen beiderseits verwendet werden können. Sie sind in einem besonderen Gerüst angeordnet worden, das mit dem Liegewalzengerüst verbunden ist. Man wählte diese Art der Ausführung, um die Stehwalzen ohne teilweisen Abbau ihres Antriebes leichter ausbauen zu können und gleichzeitig kürzere Liegewalzen zu erhalten. Die Schraubenstellmotoren haben je 75 PS und 500 U/min. Der Walzenabstand beträgt 460 bis 2083 mm.

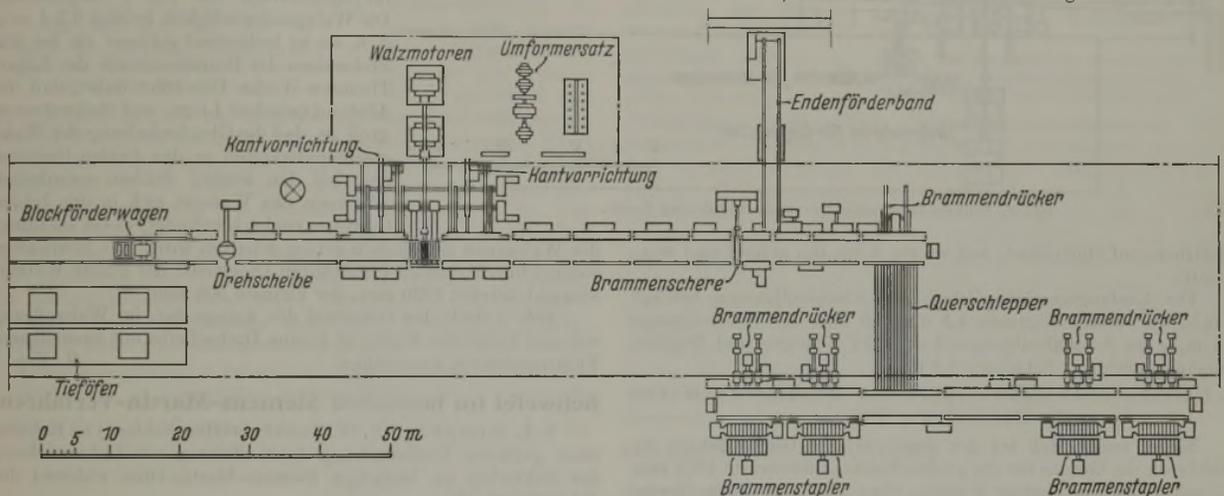


Bild 1. Universal-Brammenwalzwerk der Edgar-Thomson-Werke.

Das Walzwerk verarbeitet Blöcke von 533 bis 838 mm Dicke, 635 bis 1676 mm Breite und bis zu 2286 mm Länge, die 4,6 bis 20,4 t wiegen, zu Brammen von 63 mm Dicke, 457 mm Breite und 1524 mm Länge bis 203 mm Dicke, 1524 mm Breite und 6,1 m Länge³⁾.

Das Gerüst für die Liegewalzen wurde für einen Höchstdruck zwischen den Walzen von 1814 t entworfen. Die Walzen haben 1143 mm Dmr., 2032 mm Ballenlänge, 714 mm Zapfendurchmesser und 863 mm Zapfenlänge. Jede Walze wird einzeln durch einen Umkehrmotor von 5000 PS und 0/80 U/min für Gleichstrom von 700 V angetrieben. Die Walzgeschwindigkeit beträgt 0/4,83 m/s, der größte Walzenabstand 1676 mm.

Die Walzenzapfenlager haben Weißmetallfutter mit Bronzeinlagen, Fettschmierung und Wasserkühlung; der Höchstdruck je cm² beträgt 180 kg. Die Ständer sind aus Stahlguß und haben einen Säulenquerschnitt von je 4516 cm². Ober- und Unterwalze können gleichzeitig aus- oder eingebaut werden. Das Oberwalzengewicht wird durch Gegengewichte ausgeglichen, die unter dem Gerüst angeordnet sind.

Die Walzenstellvorrichtung hat zwei 200-PS-Gleichstrommotoren, die die Schrauben von 457 mm Dmr. über Stirnrad- und Schneckenvorgelege antreiben und ihnen bei 615 U/min der Motoren eine Hubgeschwindigkeit von 132 mm/s geben. Diese hohe Geschwindigkeit, besonders beim Hochkantstellen der Brammen, sowie die Forderung, die Oberwalze bei vergleichsweise niedriger Geschwindigkeit genau einstellen zu können,

Bemerkenswert sind die sonstigen Hilfsvorrichtungen. Von den Tieföfen bringt ein durch zwei 50-PS-Motoren angetriebener Wagen den Block mit 2,5 m/s Geschwindigkeit zum Ablegerollgang, wo der Kippstuhl des Wagens bei der Annäherung des Wagens an den Anfang des Ablegerollganges durch Eingreifen in Nocken selbsttätig umgelegt wird. Zwischen Ablege- und Zufuhrrollgang ist eine Drehscheibe eingebaut, um den Block mit dem Kopf- oder Fußende nach den Walzen zu richten zu können; sie ist auf einer Waage angeordnet, die den Block selbsttätig wiegt und das Gewicht anzeigt und aufschreibt, sobald der Block über die Scheibe geht.

Die durch zwei 350-PS-Nebenschlußmotoren über ein doppeltes Vorgelege angetriebene Brammenschere mit verstellbarem Maßvorstoß setzt das Obermesser auf die Bramme, das demnach als Niederhalter wirkt, und das Untermesser vollzieht von unten herauf den Schnitt, wobei die Bramme nur um ihre Dicke gehoben wird und kein senkbarer Rollgang erforderlich ist. Bei jedem Schnitt werden die Motoren in Tätigkeit und nach dem Schnitt stillgesetzt. Die Schere kann warme Brammen bis zu 200 mm Dicke und 1520 mm Breite schneiden bei einer Maulweite von 340 mm. Hinter der Schere ist ein beweglicher Rollgang angeordnet, der zurückfährt, um das vordere abgeschnittene Schopfende auf das Endenförderband fallen zu lassen. Dieser Rollgang hat auch einstellbare seitliche Führungsleisten, um den übrigen Teil der Bramme zur Mitte der Scherenmesser auszurichten und einen rechtwinkligen Schnitt zu erhalten. Das hintere Brammenende wird durch einen vor der Schere angeordneten Drücker in das durch Zurückfahren des Rollganges hinter der Schere gebildete Loch befördert, so daß das Springen der Scherenmesser und -halter durch die von den Schopfenden ausgestrahlte Hitze vermieden wird.

¹⁾ Vgl. Stahl u. Eisen 60 (1940) S. 227 u. 270.

²⁾ Iron Steel Engr. 16 (1939) Nr. 11, S. 20/27.

³⁾ Stahl u. Eisen 60 (1940) S. 227.

Die geschnittenen Brammen werden durch Drücker vom Scherenauslaufrollgang auf Querschlepper geschoben, die sie zu einem seitlich angeordneten Rollgang schaffen; dieser verteilt sie auf zwei Gruppen von Staplern, auf die sie durch Drücker vom Rollgang weggeschoben werden. Jeder Stapler besteht aus einer Plattform, deren Stempel von einem Motor aus über Vorgelege hochgeschraubt oder gesenkt werden kann. Sind die Brammen aufgestapelt, so schiebt ein zweiter Drücker den Stapel von der

Das Gerüst für die Liegewalzen wurde für einen größten Walzdruck von 1360 t entworfen. Die Walzen haben 1143 mm Dmr., 3048 mm Ballenlänge und Zapfen von 685 mm Dmr. und 850 mm Länge. Die Zapfenlager haben mit Wasser geschmierte und gekühlte Kunstharzlager mit Faserstoffeinlage, die beim stärksten Walzdruck mit 184 kg/cm² belastet werden. Jede Walze wird einzeln durch einen Umkehrmotor von 5000 PS und 0/80 U/min für Gleichstrom von 700 V angetrieben. Die Walzgeschwindigkeit beträgt 0/4,8 m/s. Die Ständer sind aus Stahlguß und haben einen Säulenquerschnitt von je 3870 cm². Beide Walzen können gleichzeitig ein- oder ausgebaut werden. Das Oberwalzengericht wird durch einen auf dem Gerüst angeordneten Zylinder für Druckflüssigkeit ausgeglichen. Die Walzenanstellvorrichtung hat zwei 100-PS-Motoren, die die Druckschrauben von 355 mm Dmr. durch Stirnrad- und Schnecken vorgelege antreiben und ihnen eine Hubgeschwindigkeit von 17 mm/s erteilen, wenn die Motoren 500 U/min machen.

Das Stehwalzengerüst steht hinter dem Liegewalzengerüst in einem Abstand von etwa 9,14 m. Die Walzen haben Ballen von 1016 mm Dmr., 610 mm Länge und 508 mm Zapfendurchmesser. Sie werden durch Stirn- und Kegelräder von einem Umkehrmotor von 2000 PS und 0/200 U/min für Gleichstrom von 700 V angetrieben. Die Walzgeschwindigkeit beträgt 0/3,1 m/s, d. h. sie ist bedeutend geringer als bei den Stehwalzen der Brammenstraße der Edgar-Thomson-Werke. Dies rührt daher, daß der Abstand zwischen Liege- und Stehwalzen so groß ist, daß die Gleichschaltung der Walzgeschwindigkeiten in den beiden Gerüsten erst bei den letzten Stichen erforderlich ist, wenn das Walzgut sich in den beiden Gerüsten zugleich befindet, wobei allerdings

der Walzdruck gewöhnlich gering gehalten wird. Die Stehwalzen werden durch zwei 75-PS-Motoren angestellt; der größte Walzenabstand beträgt 1930 mm, der kleinste 508 mm.

Bild 2 stellt den Grundriß der Anlage dar, im Walzrollgang vor und hinter der Walze ist je eine Drehscheibe mit einstellbaren Führungsleisten angeordnet.

H. Fey.

Schwefel im basischen Siemens-Martin-Verfahren.

T. L. Joseph und F. W. Scott veröffentlichten¹⁾ im Rahmen einer größeren Untersuchung einen Beitrag zur Ueberwachung des Schwefels im basischen Siemens-Martin-Ofen während des Schmelzverlaufs.

Durch eine statistische Auswertung von Betriebsangaben einer Anzahl von Bandstahlschmelzen, die im Laufe von fünf Monaten in einem mit einer Oel-Teer-Mischung und Koksofengas beheizten basischen 50-t-Ofen aus einem Einsatz von gleichmäßigem Schienenschrott und flüssigem Roheisen hergestellt wurden, versuchten sie zunächst einen wertmäßigen Ueberblick über die für die Entschwefelung maßgebenden Größen zu erhalten. In Bild 1 mit den Ergebnissen dieser Untersuchung gibt die gestrichelte Kurve den Grad der Entschwefelung wieder, d. h. den Unterschied zwischen dem Schwefelgehalt des Stahles beim Abstieg gegenüber dem Schwefelgehalt des Roheisens, prozentual auf den Schwefelgehalt des Roheisens bezogen. Zwischen der Menge des Koksofengases und dem der Entschwefelung bestand offenbar eine gewisse gegenläufige Beziehung. Leider sind keine Angaben über den Schwefelgehalt des Gases gemacht worden, so daß eine allgemeine Beurteilung der damit angedeuteten Gesetzmäßigkeit etwa in bezug auf schon im Schrifttum vorliegende eingehende Untersuchungen²⁾ über den Einfluß der Gasphase nicht möglich ist. Zwischen dem Mangangehalt, dem Kalk-Kieselsäure-Verhältnis und dem Schwefelgehalt der Schlacke scheint eine Parallele bestanden zu haben, die auch nach den bisherigen Erkenntnissen³⁾ zu erwarten war. Entgegen der An-

¹⁾ Iron Age 144 (1939) Nr. 23, S. 49/53.

²⁾ Eisenstecken, F., E. H. Schulz und L. Bierner: Mitt. Forsch.-Anst. Ver. Stahlwerke, Dortmund, 3 (1932/33). S. 19/40; vgl. Stahl u. Eisen 52 (1932) S. 677/86 (Stahlw.-Aussch. Nr. 233).

³⁾ Diehl, A. N.: Yearb. Amer. Iron Steel Inst. 1926, S. 54/116 u. 404/53; vgl. Stahl u. Eisen 46 (1926) S. 1441/42; 47 (1927) S. 925/27. Bardenheuer, P., und W. Geller: Mitt. K.-Wilh.-Inst. Eisenforsch. 16 (1934) S. 77/91; vgl. Stahl u. Eisen 54 (1934) S. 318. Maurer, E., und W. Bischof: J. Iron Steel Inst. 133 (1936) S. 183/99; vgl. Stahl u. Eisen 56 (1936) S. 823/24.

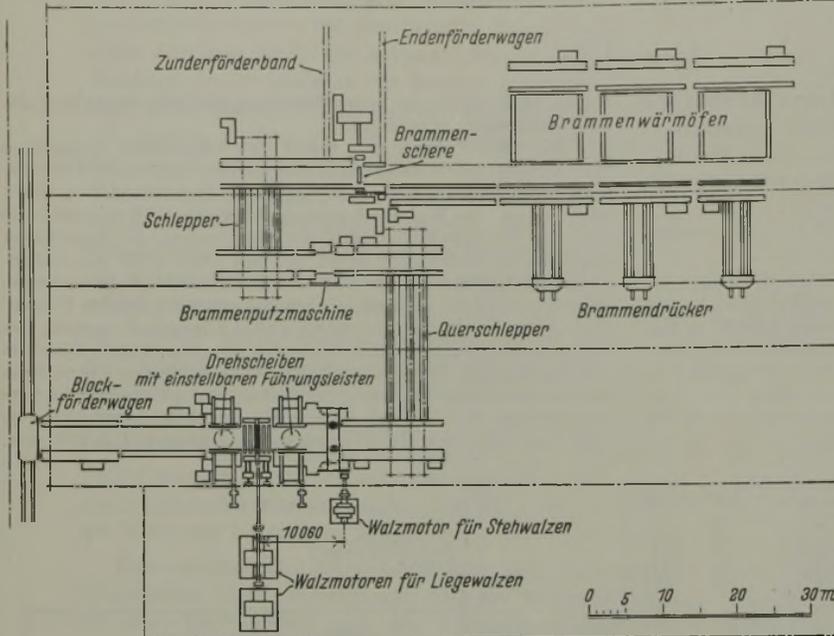


Bild 2. Umkehr-Brammenwalzwerk der Middletown-Werke.

Plattform auf einen Rost, von wo ein Kran ihn abhebt und wegschafft.

Die Umfangsgeschwindigkeit des Ablegerollganges beträgt 1 m/s, des Zufuhrrollganges 1,5 und 2,0 m/s, der Walzrollgänge 2,1 m/s, des Auslaufrollganges 2 m/s, der Scheren- und Staplerrollgänge sowie der Schlepper 1,5 m/s.

2. Umkehr-Brammenwalzwerk der Middletown-Werke in Middletown, Ohio.

Sieger meint, daß bei den gegenwärtigen Gießverfahren im Stahlwerk die Grenze für die größte Rohbrammenbreite 1676 mm sei und folglich die fertige Bramme etwa 1520 mm größte Breite hätte. Will man nun Bandbleche größerer Breite als 1676 mm, z. B. für den Kraftwagenbau, herstellen, so müssen die Brammen auf einem Querwalzgerüst bis auf die gewünschte Bandblechbreite gestreckt werden. Dieser Vorgang begrenzt die Brammenlänge aber nach der Länge der Walzen des Querwalzgerüsts. Die Walzenlänge des bisher größten Querwalzgerüsts beträgt 3300 mm, und deshalb kann die Länge der darauf verwalzbaren Bramme nicht größer als 3047 mm sein.

Da die Einrichtungen der Bandblechstraßen, z. B. die Oefen, für die Verarbeitung von 5,5 m langen Brammen vorgesehen sind, so wäre es sicherlich ein Vorteil, breitere Brammen als solche von 1520 mm bei 5,5 m Länge zu haben, um ein volles Rollengewicht über den gesamten Bereich der Bandblechbreiten zu erhalten, wobei noch das Aneinanderschweißen von Bandblechen für wirtschaftliches Kaltwalzen vermindert würde.

Das Brammenwalzwerk in Middletown ist mit Hilfe von Drehscheiben zum Querwalzen von 1600 mm breiten Rohbrammen auf jede Bandblechbreite entworfen worden; nach dem Querwalzen wird das Walzgut um 90° gedreht und in Längsrichtung zur fertigen Bramme ausgewalzt. Durch dieses Verfahren wird das Querwalzgerüst und die Brammenpresse an der Bandblechstraße vermieden.

Außerdem hat das Brammenwalzwerk in Middletown noch den Vorteil, daß sowohl Rohbrammen als auch vorgewalzte Brammen nur im Stehwalzengerüst gestauchet werden, der Hub der oberen Liegewalze also nur der größten Dicke der Rohbramme zu entsprechen braucht, wodurch sich auch die Geschwindigkeit der Anstellschrauben und die Kosten ihrer elektrischen Antriebseinrichtung vermindern.

Das Walzwerk liefert Brammen von 102 bis 165 mm Dicke, 610 bis 1930 mm Breite und 4,9 m Länge für eine Bandblechstraße mit Walzen von 2032 mm Länge; die Rohbrammen haben 482 bis 508 mm Dicke, 1600 mm Breite, 1650 bis 1778 mm Länge und wiegen 8,6 bis 11,3 t.

nahme der Verfasser scheint die Aufnahmefähigkeit der Schlacke für Schwefel aber allein durch ihre Zusammensetzung bestimmt zu werden; es wäre sonst nicht verständlich, weshalb gerade bei der geringsten Koksofengasmenge, also den günstigsten Bedingungen für die Entschwefelung der höchste Schwefelgehalt in der Schlacke zu finden ist. Der Eisenoxydulgehalt zeigte nach Ansicht des Berichterstatters keinen Zusammenhang mit dem Verhalten des Schwefels, da keine Veranlassung besteht, bei einem Durchschnitt von 40 Schmelzen für Juli einen Ausnahmefall für Eisenoxydul anzunehmen, wie die Verfasser es tun.

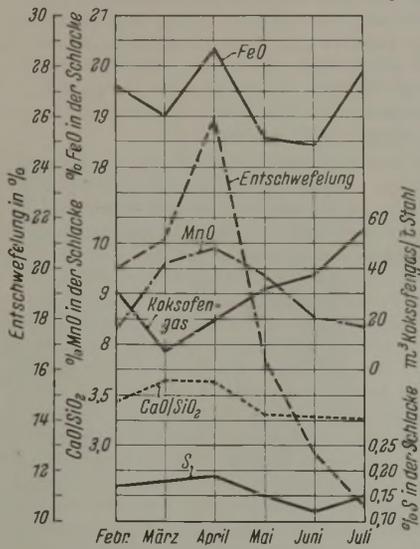


Bild 1. Entschwefelung, Brennstoff- und Schlackenzusammensetzung. (Mittelwerte aus 40 Schmelzen je Monat.)

136 t gehabt haben. Die Aenderungen der Schwefelmenge in Schlacke und Metall sowie des Gesamtschwefels wurden an Hand von drei bis fünf Metall- und Schlackenproben, die nach dem Einschmelzen bis vor dem Spiegeleisenzusatz kurz vor dem Abstich in Abständen von 1 h entnommen wurden, verfolgt. Für die Beurteilung des Umfangs der Schwefelaufnahme aus dem Bad sind die damit erhaltenen Gewichtsmengen sehr aufschlußreich, lassen sich aber mangels näherer Angaben über die Metall- und Schlackenzusammensetzungen keineswegs verallgemeinern. So ist es dem Berichterstatter nicht recht verständlich, welche Bedeutung etwa dem besonders angeführten Verhältnis der gewichtsmäßig angegebenen Schwefelmengen in Metall und Schlacke zukommen soll. In *Zahlentafel 1* sind die Mittelwerte der Schwefel-

Zahlentafel 1. Aenderung der Schwefelmenge in kg im Verlauf der 23 118- bis 157-t-Schmelzungen.

		Schwefel in der Schlacke kg	Schwefel im Metall kg	Gesamtschwefel kg
Roheisen		—	17,9	17,9
rd. 4 Stunden	Probe 1 ¹⁾	10,8	48,0	58,8
	Probe 2	17,3	45,1	62,4
	Probe 3	20,1	40,4	60,5
	Probe 4	24,5	39,1	63,6
	Probe 5 ²⁾	25,6	37,0	62,6

¹⁾ Nach dem Einlaufen.
²⁾ Vor dem Spiegeleisenzusatz kurz vor Abstich.

mengen im Metall und in der Schlacke für die ersten bis fünften Proben der 23 Schmelzen zusammengestellt. Daß die Schwefelmenge der Schlacke während des Schmelzverlaufs gewichtsmäßig durchweg und teils sehr stark zunahm, ist wohl zum größten Teil auf die Zunahme der Schlackenmenge zurückzuführen. Die Schwefelmenge des Metalls oder wegen der verhältnismäßig geringen Aenderung des Stahlgewichts auch der Schwefelgehalt selbst nahm während des Schmelzverlaufs durchweg ab, während die Gesamtschwefelmenge nur eine verhältnismäßig geringe Aenderung erfuhr. Da der Schwefel des Einsatzes in der Hauptsache aus dem flüssigen Roheisen stammen soll und die so durch das Roheisen eingebrachte Menge aber schon kurz nach dem Einlaufen der Schmelze nur mehr 30% der gesamten Schwefelmenge ausmachte, mußte die stärkste Schwefelaufnahme während des Einschmelzens erfolgt sein. Dagegen kann die weitere Aufnahme in den 5 h bis zum Abstich nur gering gewesen sein, da vor dem Abstich der prozentuale Anteil des durch das Roheisen eingebrachten Schwefels im Mittel nicht viel weiter, und zwar nur auf rd. 28% gefallen war.

Diese aus den leider nur spärlich mitgeteilten Unterlagen gezogenen Folgerungen lassen schon erwarten, daß der Einfluß des Schwefelgehaltes im flüssigen Roheiseinsatz auf den Gesamtschwefelgehalt gar nicht deutlich in Erscheinung treten kann. Durch eine zeichnerische Darstellung wird dann auch nur

kurz nach dem Einschmelzen, allerdings bei außerordentlich starker Streuung der Versuchspunkte, eine Zunahme des Gesamtschwefels mit der Schwefelmenge des Roheisensatzes festgestellt, während beim Abstich gar kein Zusammenhang mehr zu erkennen ist. Diese Feststellungen stehen zwar in Übereinstimmung mit einigen von Diehl angegebenen Zahlen, dürften aber nach Ansicht des Berichterstatters auch keine allgemeine Gültigkeit haben.

Bei den weiteren Darstellungen kann sich der Berichterstatter des Eindrucks nicht erwehren, als seien die Verfasser bestrebt, Zusammenhänge rein betrieblicher Art als physikalisch-chemische Gesetzmäßigkeiten zu deuten, zumal da sie es unterlassen, die für den Sonderfall des für die Untersuchung herangezogenen Betriebes zur Beurteilung der Zusammenhänge doch unbedingt notwendigen genaueren Angaben über Einsatz-

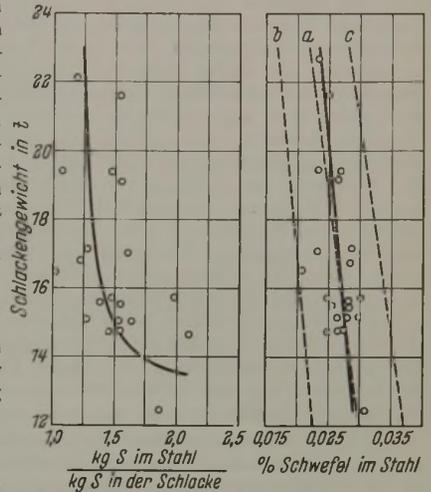


Bild 2. Abhängigkeit der gewichtsmäßig angegebenen Schwefelverteilung zwischen Stahl und Schlacke von der Schlackenmenge.

verhältnisse, Stahlgewicht, Schlackenzusammensetzung usw. zu machen. So wird eine kurvenmäßige Abhängigkeit zwischen dem Gewichtsverhältnis des Metall- und Schlackenschwefels und der Schlackenmenge trotz großer Streuung der Versuchspunkte festgestellt (*Bild 2*). Tatsächlich ist aber die gesuchte Beziehung praktisch nur von Betriebseinflüssen und kaum von physikalisch-chemischen Vorgängen abhängig. Die Kurve besagt lediglich, daß eine größere Schlackenmenge infolge ihrer größeren Dicke in stärkerem Maße die Eindiffusion von Schwefel in das Metall verhindert als eine kleine Schlackenmenge. *Bild 2* gibt weiter einen Zusammenhang zwischen dem prozentualen Schwefelgehalt des Stahles und der Schlackenmenge. Auch dieser Zusammenhang ist nicht auf andere Betriebe zu übertragen. Eine einfache bilanzmäßige Rechnung würde nämlich folgenden Zusammenhang ergeben: $[S] = \frac{100 \Sigma S}{B \cdot V_s + A}$, wobei $[S]$

den Schwefelgehalt des Stahles, ΣS die gesamte Schwefelmenge in kg, B die Schlackenmenge in kg, V_s das durch Schlacken- und Temperatur gegebene Verteilungsverhältnis für Schwefel zwischen Schlacke und Metall und A das Stahlgewicht in kg bedeutet. Die beispielsweise nach dieser Formel mit dem Mittelwert der von den Verfassern für die Proben vor dem Abstich angegebenen Gesamtschwefelmengen mit einem Verteilungsverhältnis von 6,0 (vom Berichterstatter aus den Angaben über die Schwefelgehalte in der Schlacke nach *Bild 1* und den sonstigen Zahlenunterlagen abgeschätzt) und mit dem mittleren Gewicht A des Metalls errechnete Kurve a ist gestrichelt eingezeichnet. Diese Kurve muß natürlich weitgehend mit der ausgezogenen Kurve der Verfasser übereinstimmen. Nimmt man statt des Mittelwertes für die Gesamtschwefelmenge den Höchst- und Tiefstwert, so erhält man die gestrichelten Kurven b und c, die in etwa den Streubereich der praktischen Versuche eingrenzen. Für eine allgemeine Anwendung wären aber unter Umständen ganz andere Bereiche für den Gesamtschwefelgehalt einzusetzen und auch noch das Verteilungsverhältnis V_s und das Metallgewicht A zu ändern.

Schließlich wurde noch der Versuch gemacht, die Temperaturabhängigkeit des Verteilungsverhältnisses für Schwefel zwischen Schlacke und Metall an Hand der Umsetzung $FeS + CaO \rightleftharpoons CaS + FeO$ festzulegen. Hierbei wird der Eisenoxydul- und der freie Kalkgehalt nach den von C. H. Herty jr.¹⁾ angegebenen Verfahren und die Temperatur aus der Hertyschen Gleichgewichtskonstante für das Mangangleichgewicht und ihrer Temperaturabhängigkeit, was anscheinend hier und da in Amerika, nicht jedoch in Deutschland Anklang gefunden hat, errechnet.

¹⁾ Herty jr., C. H., J. M. Gaines jr., B. M. Larsen, W. A. Simkins, R. L. Geruso und S. P. Watkins: Min. metallurg. Invest., Pittsburgh, Bull. Nr. 34, 1927, 69 S.; vgl. Stahl u. Eisen 48 (1928) S. 831/34. Herty jr., C. H.: Trans. Amer. Inst. min. metallurg. Engrs. 73 (1926) S. 1079; vgl. Stahl u. Eisen 46 (1926) S. 1597/1601.

Da die hierfür verwendeten Unterlagen auch nicht angeführt sind, ist eine einwandfreie Beurteilung der Ergebnisse nicht möglich.

Wilhelm Bischof.

Hochofenschlacken als Glasrohstoff.

In seinem Aufsatz gibt Z. Schaefer¹⁾ eine Uebersicht über die neuesten Prüfungen und Erfahrungen beim Erschmelzen von Glas mit Zusätzen von Hochofenschlacke. Nach einer kurzen Uebersicht über die Eigenschaften der Schlacken, die in ihrem Verhalten an Glas erinnern, hebt er den Einfluß des Schwefels in basischen und sauren Schlacken hervor. Besonders die letztgenannten sind schwefelarm, da der Schwefel durch den geringen Kalkgehalt nicht abgedungen werden kann. Auf das Aussehen, ob glasig, kristallin, durchsichtig oder undurchsichtig, hat die Abkühlungsgeschwindigkeit einen großen Einfluß. Die Farbe der Schlacke ist abhängig von der Zusammensetzung, z. B. ergeben Silikate und Alkalien helle Tönungen, Eisenoxyd grüne bis schwarze, Manganoxyd gelbe, Mangansulfid schwarze, Kalksilikate mit geringen Eisenoxyd- und Manganoxydgehalten graue, Eisenoxyd in Monosilikatschlacken gelbgrüne bis braune, in Bisilikatschlacken rote Färbungen. Dunkelgefärbte Schlacken mit geringen Eisengehalten lassen auf Schwefelgehalt schließen. Auch hier spielt die Abkühlungsgeschwindigkeit sowie Anwesenheit anderer färbender Oxyde eine Rolle. Die Zusammensetzung der Schlacken schwankt in weiten Grenzen, und man beschränkt sich darauf, diese in basische und saure einzuteilen.

Bei der Verhüttung eisenarmer, kieselsäurereicher Erze ist es notwendig, mit saurer Schlacke zu arbeiten, wobei Kalk nur so weit zugesetzt wird, daß die Schlacke genügend dünnflüssig ist. Das Roheisen wird in diesem Fall außerhalb des Hochofens entschweifelt, wobei man Soda und Kalk oder nur Soda zusetzt. Derartige Sodaschlacken haben oft Alkaliegehalte von 24 bis 35 % Na₂O. Betrachtet man die Schlacke vom Standpunkt des Glasrohstoffes, so sind Kieselsäure, Tonerde, Kalzium- und Magnesiumoxyd die wesentlichen Bestandteile der Schlacke, die Teile des Glassatzes ersetzen können. Der hohe Gehalt an Kalzium- und Magnesiumoxyd in den basischen Schlacken vermindert die Möglichkeit der Verwendung der Schlacken im Gemenge. Für dunkle Gläser erwünscht sind färbende Bestandteile, wie Eisenoxyd, Manganoxydul und Schwefel, bei hellen Gläsern verwendet man entweder diese Schlacken in geringen Mengen oder aber solche, die arm sind an färbenden Bestandteilen. Schaefer teilt aus diesem Grunde die Schlacken ein in solche, die arm, wie die Mehrzahl der basischen Hochofenschlacken, und solche, die reich an färbenden Bestandteilen sind, wie saure, Siemens-Martin- und alle anderen Schlacken der Eisenindustrie.

Die Verwendung von Schlacken in der Glasindustrie, hauptsächlich für gefärbte Gläser, ist schon vor über vierzig Jahren angeregt und versucht worden²⁾, jedoch erst in neuerer Zeit wurden umfangreiche Versuche unternommen, die Eignung von Schlacken als Glasrohstoff zu klären. In einer russischen Arbeit³⁾ werden Schmelzversuche bekanntgegeben mit einer Siemens-Martin-Schlacke sowie einer Hochofenschlacke mit etwa 32 % SiO₂, 12 % Al₂O₃, 1 % Fe₂O₃, 49 % CaO, 0,2 % SO₃ und 4,2 % CaS unter Zugabe von Sand, Soda, Natriumsulfat und Salpeter. Siemens-Martin-Schlacken ergaben schwarze bis dunkel-farbige Gläser, Hochofenschlacken mit Soda dunkle bis schwarze, mit Natriumsulfat dagegen hellgrüne Gläser. Damit wird auf die Möglichkeit der Entfernung der Schwefelfärbung mit Sulfahingewiesen. Die besten Ergebnisse zeigten Gemenge mit höchstens 30 % Schlacke, da bei größeren Schlackenanteilen das Glas die Neigung zur Entglasung hatte. In Amerika machte C. A. Basore⁴⁾ Versuche zur Erschmelzung farbiger und halbweißer Gläser mit Hochofenschlacke, die den üblich erschmolzenen in ihren Eigenschaften nicht nachstanden. Den Farbeinfluß durch Schwefel verminderte er durch Arsenik. Trotz des hohen Eisengehaltes der Schlacke (1 %) konnten Gläser verschiedener Schattierung von hell- bis dunkelgrün oder braun bis schwarz erhalten

werden. In Deutschland¹⁾ wurde mit Hochofenschlacke ein Glas von dunkler Ambrafarbe erschmolzen, welches bei fast gleicher Zusammensetzung wie die früher hergestellten, durch Ersparung an färbenden Zusätzen und Alkalien um etwa 34 % billiger war. Allerdings erhöhte sich der Preis bei hellen Gläsern dadurch, daß der Schwefel der Schlacke durch Arsenik entfernt werden mußte. Bemerkenswerte Versuche zeigte A. E. Badger²⁾, welcher die gelbbraune Färbung des Schwefels in Schlackengläsern neben Arsenik und Sulfat auch durch Zink-, Kadmium-, Antimonoxyd und auch Salpeter entfernte. Dabei muß allerdings der Eisengehalt der Schlacke beachtet werden, der eine hellere Farbung als die durch den Eisengehalt bedingte nicht gestattet.

Schlackengläser sind leicht schmelzbar und vertragen keine hohen Schmelztemperaturen. Daher kann man die Schlackengläser mit geringeren Mengen an Alkalien erschmelzen. Man kann nicht nur einen Teil der Rohstoffe durch billigere Stoffe ersetzen, sondern erspart auch färbende und Schmelzmittel, hauptsächlich aber Alkalien. Die Aussichten gefärbter Gläser aus basischen Hochofenschlacken liegen in der leichten Erreichung von gelben, topas bis schwarzen Farben, wie auch in der Billigkeit gegenüber gleichartig gefärbten, aber auf andere Weise erschmolzenen. Bei grünen Gläsern muß man den färbenden Einfluß des Schwefels entfernen, wozu vor allem Arsenik verwendet wird, was aber die Wirtschaftlichkeit der Schlackengläserzeugung könnte erhöht werden, wenn man die Herstellung unmittelbar neben den Hochofen verlegen würde⁴⁾. Leider sind die Sodaschlacken, die Alkalimetalle enthalten, bis jetzt noch nicht untersucht worden⁵⁾, obgleich einige von ihnen einen nicht geringen Gehalt an Alkalien hatten. Siemens-Martin- und ähnliche Schlacken sind vom Standpunkt der Glasindustrie zu unrein, da sie nicht nur große Mengen an Eisen und Mangan, sondern auch Phosphor und andere ähnliche Bestandteile enthalten, die ihre Verwendung beschränken, wogegen basische Hochofenschlacken besser geeignet sind.

Vinzenz Spüller.

Metallographischer Ferienkursus an der Bergakademie Clausthal.

Vom 15. bis 21. Juli 1940 findet im Institut für Metallkunde der Bergakademie Clausthal unter Leitung von Professor Dr. rer. techn. A. Merz wiederum ein Metallographischer Ferienkursus statt. Anfragen sind an das Institut zu richten.

Aus Fachvereinen.

American Society for Metals.

(Fortsetzung von Seite 437.)

Bei der Ermittlung der Austenitkorngröße eines Stahles sind bestimmte Versuchsbedingungen zu beachten, die von der chemischen Zusammensetzung und den Eigenschaften des Stahles abhängen. Dies hat zur Ausarbeitung verschiedener Verfahren für die Korngrößenbestimmung geführt, die zumeist auf der Beurteilung eines durch Aufkohlung erhaltenen Zementitnetzwerkes oder eines Härtinggefüges beruhen. Diesen bekannten Verfahren gegenüber suchten M. J. Day und J. B. Austin in einer Arbeit über die

Heißätzung zur Entwicklung der Austenitkorngrößen

nach einem Weg zur Korngrößenbestimmung, der auf Stähle jeder Zusammensetzung und grundsätzlich auch auf Nichteisenmetalle anwendbar ist, ohne daß, wie etwa bei der Aufkohlung, die chemische Zusammensetzung der Probe wesentlich geändert wird.

Zu diesem Zweck wurde von einer Erscheinung Gebrauch gemacht, die unter anderem schon P. Oberhoffer⁶⁾ zur Gefügebetrachtung bei hohen Temperaturen ausnutzte und die nach Day und Austin auf der im Vergleich zum Kornbestandteil stärkeren Verdampfung des Korngrenzenbestandteiles beruhen soll. Durch Erhitzung der polierten Proben im Vakuum oder in neutraler Atmosphäre gelingt es, ohne zusätzliche Ätzung die Korngrenzen als durch Verdampfung entstandene Gräben und Furchen der mikroskopischen Beobachtung zugänglich zu machen.

¹⁾ Althoff, F.: Glashütte 63 (1933) S. 604/06; vgl. Stahl u. Eisen 54 (1934) S. 15.

²⁾ Glass Ind. 20 (1939) S. 231/33; nach Chem. Zbl. 110 (1939) II, S. 1736.

³⁾ Sklářské Rozhledy 16 (1939) S. 72 u. 88.

⁴⁾ Basore, C. A.: Alabama Polytechn. Inst. Eng. Exp. Stat., Bull. 3, 24 (1931) S. 5/35; nach Chem. Abstr. 26 (1932) S. 571.

⁵⁾ Johannsen, O.: Glastechn. Ber. 16 (1938) S. 147.

⁶⁾ Metallurgie 6 (1909) S. 554.

¹⁾ Sklářské Rozhledy 16 (1939) S. 171/75.

²⁾ Bisor, B. J.: Glass and Pottery Publishing Co., 1899. Glass Ind. 16 (1935) S. 84. Pjetuchow, S. P.: Stjeklodjelije (1898) S. 153. Le Chatelier, H.: La Silice et les Silicates. Paris 1914.

³⁾ Kitaigorodski, I. I., und I. P. Karew: Trans. Inst. Testing Building Mat. Glass, Nr. 30, 1936, S. 1—36; nach Chem. Zbl. 101 (1930) II, S. 1423. Keramika i Stěklo 6 (1930) S. 282/84 u. 465/66; nach Glastechn. Ber. 9 (1931) S. 440.

⁴⁾ Alabama Polytechn. Inst., Eng. Exp. Stat., Bull. 3, 24 (1931) S. 5/35; nach Chem. Abstr. 26 (1932) S. 571. Chem. metallurg. Engng. 38 (1931) S. 701; vgl. Stahl u. Eisen 52 (1932) S. 588. National Glass Budget 47 (1931/32) Nr. 5, S. 18. Rock prod. 34 (1931) S. 107.

Zur praktischen Ausführung bedienten sich Day und Austin sorgfältig gereinigten und getrockneten Wasserstoffs als neutralen Gases, da Wasserstoff leichter zu reinigen ist als Stickstoff und die Anwendung von Vakuum verwickeltere Vorrichtungen notwendig macht. Außer bei sehr hohen Temperaturen und langen Erhitzungszeiten soll die desoxydierende und entkohlende Wirkung von trockenem Wasserstoff so gering sein, daß sie vernachlässigt werden kann. Gereinigt wird der Wasserstoff mit den üblichen Adsorptionsmitteln für Wasser und Kohlen-säure und durch Entfernung des Sauerstoffs über Platinasbest. Der gereinigte Wasserstoff wird durch einen senkrecht stehenden platingewickelten Röhrenofen geleitet, in den die Probe eingehängt ist. Unter dem Ofen ist eine Quecksilberwanne aufgestellt, in die nach der Heißätzung die Probe zur Abschreckung fällt. Temperatur und Dauer der Heißätzung kann nach Belieben gewählt werden. Unter Umständen genügen schon 10 min, wobei zu berücksichtigen ist, daß bei längerer Dauer in vielen Fällen noch ein erhebliches Kornwachstum stattfindet. Das Abschrecken der Probe ist im allgemeinen zu empfehlen, weil die langsam abgekühlte Probe durch die Umwandlungsvorgänge in der Regel mehrere sich überdeckende Korngrenzennetze aufweist,

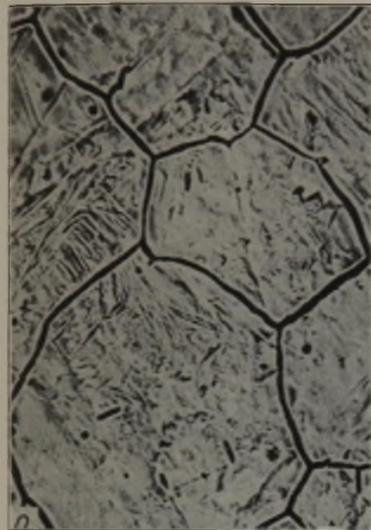


Bild 1. Austenitkorngröße von Stahl mit 0,07 % C für 1000 min Erhitzungszeit bei 1040° nach der Abschreckung in Quecksilber. (x 150.)

die eine Deutung erschweren. Die abgeschreckte Probe zeigt die Austenitkorngrenzen in einer durch Martensitbildung nadelartig aufgerauten Oberfläche (Bild 1).

Das Ergebnis des Verfahrens stimmt mit dem anderer in den Vereinigten Staaten gebräuchlicher Korngrößenbestimmungsverfahren gut überein. Untersuchungen an einem unlegierten mit Aluminium beruhigten Stahl mit 0,07 % C bei 930 bis 1370° bestätigten, daß bei höheren Temperaturen die Korngröße stark von der Erhitzungszeit abhängt, daß also bei derartigen Stählen von einer bestimmten Temperatur des beginnenden Kornwachstums nicht gesprochen werden kann.

Grundsätzlich wurde dieses Verfahren schon von P. Oberhoffer¹⁾ empfohlen, allerdings ohne das der Erhitzung folgende Abschrecken der Probe. Auch das von H. Esser²⁾ entwickelte Verfahren zur Beobachtung des Gefüges bei höheren Temperaturen im Heitzisch beruht teilweise auf ähnlichen Erscheinungen. Zweifellos haben sich Day und Austin das Verdienst erworben, zum ersten Male planmäßig die Anwendung der Heißätzung zur Bestimmung der Austenitkorngröße untersucht zu haben. Es darf aber nicht vergessen werden, daß sich das Verfahren, worauf schon H. Hanemann³⁾ und P. Goerens⁴⁾ hingewiesen haben, in einem Punkt wesentlich von der üblichen Art der Gefügebeobachtung unterscheidet. Während nämlich üblicherweise ein Schnitt quer durch die Probe oder die Körner gelegt wird, gelangt bei der Heißätzung nur die äußerste Oberfläche der Probe oder der Körner zur Beobachtung. Dieser Umstand darf bei der Beurteilung der Ergebnisse nicht übersehen werden.

Richard Pusch.

M. Gensamer, E. B. Pearsall und G. V. Smith ermittelten die Festigkeitseigenschaften von Stahl in Abhängigkeit von der Perlitbildung.

Festigkeitseigenschaften von Stahl in Abhängigkeit von der Perlitbildung.

Untereutektoidischer Stahl mit 0,78 % C, 0,18 % Si und 0,63 % Mn wurde in einem Querschnitt von 7 mm Dmr. von 825° im Bleibad abgeschreckt und die Haltdauer bei der Zerfallstemperatur von 20 h bei 705° auf 1 min bei 540° und auf 45 min bei 370° verändert, anschließend in etwa einer Stunde auf Raumtemperatur abgekühlt. Durch diese Behandlung wurde im Gefüge der Abstand der Perlitlamellen von einer sehr groben Aus-

bildung bis zu einer feinen, mikroskopisch nicht auflösbaren Form abgestuft. Der Abstand der Perlitlamellen stand zu der Zerfallstemperatur in einer geradlinigen Beziehung, wenn der Logarithmus des Abstandes in Abhängigkeit von der absoluten Temperatur aufgetragen wurde (Bild 1).

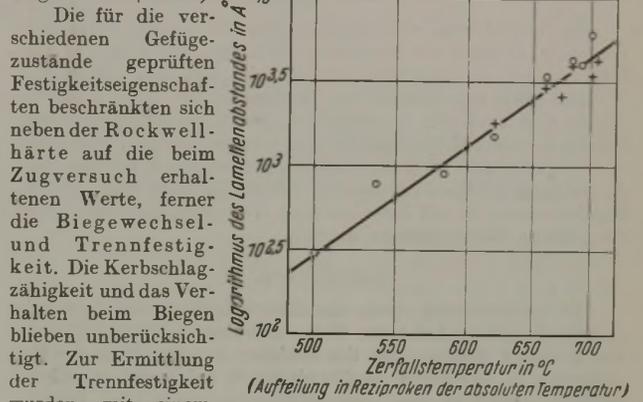


Bild 1. Verhältnis des Perlitlamellenabstandes zur Zerfallstemperatur. — (Kreuze beziehen sich auf den geringsten Lamellenabstand, Kreise auf den mittleren Lamellenabstand der Proben.)

Die für die verschiedenen Gefügestände geprüften Festigkeitseigenschaften beschränkten sich neben der Rockwellhärte auf die beim Zugversuch erhaltenen Werte, ferner die Biegewechsel- und Trennfestigkeit. Die Kerbschlagzähigkeit und das Verhalten beim Biegen blieben unberücksichtigt. Zur Ermittlung der Trennfestigkeit wurden mit einem Scharferb von 60° und 1,2 mm Tiefe versehene Proben einer Wechselbeanspruchung bis zum Beginn eines Anrisses ausgesetzt und dann die Belastung bis zum Gewaltbruch gesteigert; die Trennfestigkeit war dann durch die Bruchlast und die Fläche des Restbruches gegeben. Zugfestigkeit, Streckgrenze, 0,2-%-Grenze, Wechsel-

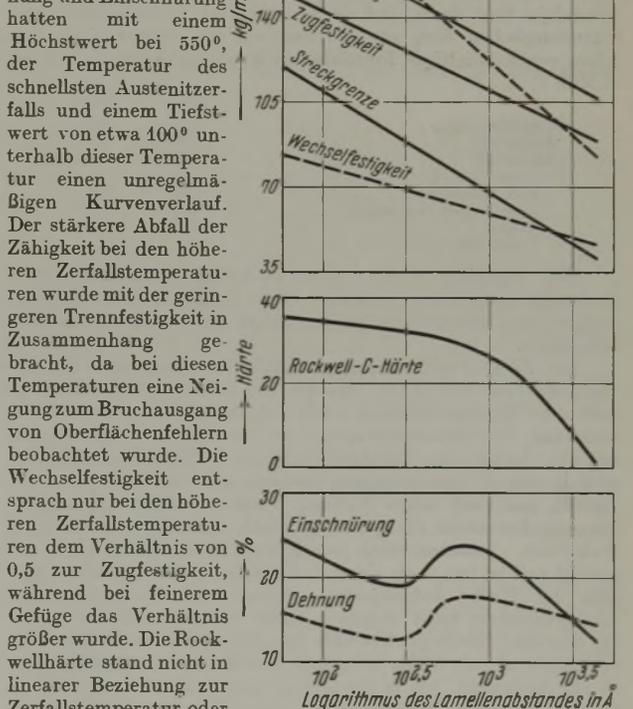


Bild 2. Festigkeitseigenschaften von unlegiertem Stahl mit 0,78 % C in Abhängigkeit vom Abstand der Perlitlamellen.

festigkeit wurde mit der geringeren Trennfestigkeit in Zusammenhang gebracht, da bei diesen Temperaturen eine Neigung zum Bruchausgang von Oberflächenfehlern beobachtet wurde. Die Wechselfestigkeit entsprach nur bei den höheren Zerfallstemperaturen dem Verhältnis von 0,5 zur Zugfestigkeit, während bei feinerem Gefüge das Verhältnis größer wurde. Die Rockwellhärte stand nicht in linearer Beziehung zur Zerfallstemperatur oder dem Lamellenabstand. Bei den höchsten Zerfallstemperaturen gegen 700° wurde eine Abweichung aus dem geradlinigen Kurvenverlauf erhalten, die durch eine beginnende Zusammenballung zu erklären war. Wird diese vermieden, so lassen sich zur rechnerischen Ermittlung von Streckgrenze, Zugfestigkeit, Wechsel- und Trennfestigkeit (in kg/mm²) aus der geradlinigen Abhängigkeit zur Zerfallstemperatur T (in °C) oder dem log X des Lamellenabstandes (in Angström) die folgenden Beziehungen aufstellen:

Streckgrenze = 213 - 0,25 T = 195 - 0,43 log X
 Zugfestigkeit = 223 - 0,19 T = 209 - 0,33 log X
 Biegewechselfestigkeit = 124 - 0,11 T = 118 - 0,19 log X
 Trennfestigkeit = 334 - 0,36 T = 302 - 0,60 log X.

Hans Schrader.

¹⁾ Oberhoffer, P., und A. Heger: Stahl u. Eisen 43 (1923) S. 1322/23.
²⁾ Esser, H., und H. Cornelius: Stahl u. Eisen 53 (1938) S. 532/35.
³⁾ Int. Z. Metallogr. 3 (1913) S. 176/78.
⁴⁾ Goerens, P.: Einführung in die Metallographie, 6. Aufl. Halle a. d. S. 1932, S. 229/30.

Wirtschaftliche Rundschau.

Die Eisenindustrie Luxemburgs, Belgiens und Hollands.

In unerhörtem, atemberaubendem Siegeslauf haben die deutschen Truppen die feindlichen Stellungen im Westen durchbrochen und in beispiellos kurzer Zeit ganz Luxemburg und Holland sowie den größten Teil Belgiens in ihre Hand gebracht. Damit sind auch die so kriegswichtigen Eisenindustrien dieser Länder dem feindlichen Machtbereich entzogen worden. Das dürfte Grund genug sein, sich die Bedeutung namentlich Belgiens und Luxemburgs als Eisen erzeugender Gebiete ins Gedächtnis zurückzurufen, zumal da mit ihnen auf dem Weltmarkt der letzte große europäische Eisenausführer wegfällt.

Luxemburg.

In Luxemburg spielt die Eisenindustrie eine Rolle wie in keinem andern Land der Welt. Bei einer Leistungsfähigkeit von 3 Mill. t Rohstahl jährlich entfallen auf den Kopf der Bevölkerung rd. 10 t gegen nur 200 bis 300 kg bei den großen Eisendländern. Damit ist aber auch gleichzeitig gesagt, daß Luxemburgs Eisenindustrie fast völlig auf die Ausfuhr ihrer Erzeugnisse angewiesen ist.

Die Eisenwirtschaft Luxemburgs baut sich auf ihrem Besitz an Eisenerzen auf, während sie in der Brennstoffversorgung auf ausländischen Kohlen- und Koksbezug angewiesen ist. Die Erzvorräte werden auf 242 Mill. t geschätzt mit 79 Mill. t Eisengehalt und stellen eine Fortsetzung der lothringischen Minette, also phosphorreicher Erze, dar; 200 Mill. t befinden sich im Besitz der inländischen Industrie, der Rest gehört belgischen Gesellschaften. Die Förderung erreichte im Jahre 1937 mit 7 776 000 t ihren bisher höchsten Stand und genügt mengenmäßig für die Selbstversorgung des Landes durchaus. Trotzdem findet eine beträchtliche Erzeinfuhr aus Frankreich statt, der eine — berechnet auf den Eisengehalt — fast gleich große Ausfuhr nach Deutschland und Belgien gegenübersteht. Der Grund für die Erzeinfuhr liegt darin, daß die überwiegend kieselsäurehaltigen luxemburgischen Erze zur Aufbesserung des Möllers eines Zusatzes von kalkhaltigen französischen Erzen bedürfen. Es betrug in Mill. t:

	1937	1938
Erzförderung	7,7	5,1
Erzeinfuhr	4,69	3,7
Erzausfuhr	3,6	2,5
davon nach		
dem Saargebiet	0,6	0,5
dem übrigen Deutschland	1,0	1,0
Belgien	1,6	0,9
Frankreich	0,4	0,1

Der benötigte Koks stammte früher vornehmlich aus Deutschland, doch wird jetzt auch Koks aus Holland und Belgien bezogen, aus letztgenanntem Lande im Austausch gegen Erzielieferungen.

Die Roheisenerzeugung entfällt fast ganz auf Thomasroheisen. Dem entspricht, daß die Stahlerzeugung zu 98 % nach dem Thomasverfahren erfolgt, doch wird in neuester Zeit auch der Elektrostahlerzeugung erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt. Infolge des Uebergewichtes der Thomasstahlerzeugung wird in den Walzwerken hauptsächlich schwere Walzware hergestellt, und zwar neben Halbzeug vornehmlich Eisenbahnoberbauzeug, Formstahl (Träger), Stabstahl, Bandstahl, Bleche und Walzdraht. Daneben wird jedoch auch Panzerstahl aller Art erzeugt und ist ferner die Geschützherstellung in den Erzeugungsplan der Werke aufgenommen worden. Die luxemburgische Schwerindustrie stellt demnach einen wertvollen Zuwachs für die deutsche Rüstungswirtschaft dar, der sie um so leichter einzuliefern ist, als früher sehr enge Beziehungen zum Deutschen Reich bestanden, wie ja die heutige neuzeitliche Eisenindustrie Luxemburgs ihre Bedeutung größtenteils der Zuwanderung deutscher Werke verdankt. So hatte die Gelsenkirchener Bergwerks-A.-G. in Esch-Belval große Anlagen (die Adolf-Emil-Hütte) errichtet, die Deutsch-Luxemburgische Hütten- und Bergwerks-A.-G. verfügte über Werke in Differdingen und Rümelingen sowie Felten & Guillaume hatte Hochofen und Stahlbetriebe in Steinfort. Unter dem Einfluß des Versailler Diktats ging dieser deutsche Besitz wieder verloren. Gegenwärtig sind die Werke in zwei große Konzerne zusammengefaßt. Die Adolf-Emil-Hütte der Gelsenkirchener Bergwerks-A.-G. in Esch wurde von einer französisch-luxemburgischen Gruppe übernommen unter Führung der Arbed (Aciéries réunies de Burbach-Eich-Dudelange). Eine französisch-belgische Gruppe übernahm die Werke von Deutsch-Luxemburg in Differdingen und Rümelingen. Die neu gebildete Gesellschaft Hadir (Hauts-Fourneaux et Aciéries de Differdinge

— St.-Ingbert-Rumelange) pachtete außerdem die in Lothringen gelegenen Werke der Rombacher Hütte. Der Besitz von Felten & Guillaume in Steinfort ging an die belgische Gesellschaft Athus-Grivegnée über.

Die Arbed verfügt über 17 Hochofen, die Hadir über 13. Von andern Werken hat Rodingen 5 Hochofen und Steinfort 3, die jedoch seit einer Reihe von Jahren außer Betrieb sind.

Belgien.

Die Schwereisenindustrie hat in Belgien, diesem seit alters hochentwickelten Industrieland, nicht die überragende Stellung inne wie die in Luxemburg, doch ist sie neben der Buntmetall-, der Glas-, Textil- und Maschinenindustrie von entscheidender Bedeutung. Da es Belgien fast gänzlich an Eisenerzen fehlt — es werden jährlich 150 000 bis 250 000 t gefördert —, ist die Kohle die Grundlage der Eisen- und Stahlerzeugung, die in zwei großen Bezirken gefördert wird, dem Südbecken (bei Lüttich, Charleroi und Mons) und dem nördlichen Campinebecken. Das letztgenannte ist seit einigen Jahren auf Kosten des Südbeckens stärker in den Vordergrund getreten, denn es führt in seinen Flözen Fett- und vor allem Koks- und an denen Belgien erheblichen Mangel leidet. Die Kohlenförderung beträgt etwa 30 Mill. t jährlich (davon 6 Mill. t im Campinebecken), die Koksgewinnung 5 bis 6 Mill. t. An Koks besteht ein gewisser, allerdings nicht großer Einfuhrbedarf, zumal da die Koks- und an denen Belgien hauptsächlich in Deutschland, daneben in Holland gedeckt.

Die benötigten Eisenerze stammen zu rund 90 % aus Frankreich und zu 10 % aus Luxemburg. Der Bezug der französischen Erze erfolgt auf Grund eines Abkommens zwischen Frankreich und Belgien, wonach jährlich 6,6 Mill. t Briey- und Normandiererze gegen 2,5 Mill. t belgischer Koks- oder entsprechender Koksmengen, die Frankreich dringend benötigt, geliefert werden. Da mithin, wie in Luxemburg, fast ausschließlich phosphorreiche Erze verarbeitet werden, besteht auch in Belgien die Roheisenerzeugung in der Hauptsache aus Thomasroheisen, und zwar bis zu 97 % der Gesamterzeugung. Flußstahl wird überwiegend nach dem Thomasverfahren erzeugt (88 %), während daneben die Siemens-Martin-Stahlerzeugung im wesentlichen zur Aufarbeitung der im Lande entfallenden Schrottmengen dient und das Duplexverfahren (Thomasbirne und Elektroofen) für besonders hochwertige Erzeugnisse Anwendung findet. Im übrigen werden vor allem schwere Walzzeugnisse hergestellt wie Stabstahl, Formstahl, Walzdraht, Bleche und Bandstahl. Die erzeugten Mengen überschreiten weit, wenn auch nicht in gleichem Maße wie in Luxemburg, den heimischen Bedarf und müssen zu 75 % ausgeführt werden. Die belgischen Eisenhüttenwerke sind nach dem Weltkriege größtenteils neu aufgebaut worden und verfügen daher über neuzeitliche Einrichtungen. Um auf dem Weltmarkte wettbewerbsfähig zu sein, haben sie der Wärmewirtschaft besondere Aufmerksamkeit geschenkt und erzielen große Einnahmen aus der Lieferung von Gas und Strom an die Allgemeinheit. Neben einer Reihe kleinerer Stahl- und Walzwerke gibt es etwa zwölf bis sechzehn gemischte Unternehmungen, deren größte eine Leistungsfähigkeit von 1 Mill. t haben. Unter den gegenwärtigen Verhältnissen ist die Standortlage besonders bemerkenswert. Da die Eisenindustrie auf der Kohle aufgebaut ist, liegen die meisten Werke in den Provinzen Lüttich, Namur und Luxemburg; von den 14 Hochofenwerken befinden sich z. B. 8 im Bezirk Charleroi und je 3 im Bezirk Lüttich und im Süden. Der Vormarsch in Belgien hat alle diese Werke in die Hände des Reiches gebracht.

Wie bereits erwähnt, sind Belgien und Luxemburg ausgesprochene Ausfuhrländer. Die Verteilung der Ausfuhr im einzelnen auf beide Staaten läßt sich nicht feststellen, da seit dem Zollbündnis vom Mai 1922 die Außenhandelsstatistik nur noch gemeinsame Angaben enthält. Ausgeführt wurden von der belgisch-luxemburgischen Zollunion:

	Roheisen	Walzzeug	Gußstücke	Weiterverarbeitete Erzeugnisse	Eisen und Eisenwaren insgesamt
	t	t	t	t	t
1929	121 010	4 166 445	46 678	396 772	5 040 942
1938	184 312	2 158 052	21 481	221 057	3 041 642
1939	128 258	2 762 880	23 765	233 873	3 600 095

Die Hauptabnehmer sind in den letzten Jahren England, Deutschland, Schweden, Holland und Argentinien gewesen. Auf Grund des deutsch-luxemburgischen Kontingentsabkommens hat

Deutschland nur Mengen eingeführt, die etwas über 2 % des deutschen Inlandsabsatzes ausmachten. England hat dagegen zur Durchführung seines Walzprogramms erhebliche Mengen Halbzeug und Walzzeug bezogen, und ebenso ist Holland für seine weiterverarbeitende Industrie ein guter Kunde gewesen. Von der gesamten Ausfuhr an Eisen und Eisenwaren erhielten 1937 England 14,96 %, Deutschland 11,55 %, Holland 9,75 %, Schweden 5,24 % und Argentinien 9,29 %. Frankreichs Anteil belief sich demgegenüber nur auf 1,42 %. Es ist im Augenblick müßig, Erwägungen anzustellen, wie sich in Zukunft die Absatzmöglichkeiten gestalten und welche Wege die Ausfuhr im einzelnen einschlagen wird; denn das hängt von Umständen ab, die hier nicht zur Erörterung stehen.

Zahlentafel 1. Roheisen- und Stahlerzeugung sowie Herstellung von Walzwerkserzeugnissen in Belgien und Luxemburg 1929, 1938 und 1939.

		Belgien	Luxemburg	zusammen
		(in 1000 t)		
Roheisenerzeugung	1929 ..	4041	2906	6947
	1938 ..	2465	1551	4016
	1939 ..	3068	1778	4846
Rohstahlerzeugung	1929 ..	4109	2702	6811
	1938 ..	2213	1437	3650
	1939 ..	3036	1829	4865
Walzwerkserzeugung	1929 ..	3268	1910	5178
	1938 ..	1764	1026	2790
	1939 ..	2241	1300 ¹⁾	2541 ¹⁾

¹⁾ Geschätzt.

Holland.

Kohlenbergbau und Eisenindustrie Hollands sind noch recht jung. Die Steinkohlenförderung — bei den holländischen Vorkommen handelt es sich um Fortsetzungen der Kohlenflöze des Aachener Bezirks in die Provinz Limburg — betrug 1913 erst rd. 2 Mill. t; sie wurde seit dem Weltkriege zielbewußt ausgebaut und belief sich in den letzten Jahren auf 13 bis 14 Mill. t, eine Menge, die den Bedarf des Landes völlig deckt. Das gleiche

gilt von der Koksgewinnung in Höhe von rd. 3 Mill. t, wovon noch der größte Teil ausgeführt werden kann. Steinkohlenein- und -ausfuhr halten sich mit etwa 5 Mill. t jährlich die Waage, was auf der verkehrsgeographischen Lage des Limburger Beckens beruht, die den Bezug von rheinischer und englischer Kohle als vorteilhafter erweist und die Absatzmöglichkeiten nach Belgien und Luxemburg begünstigt.

Die Gründung einer eisenschaffenden Industrie fällt in das Jahr 1917 mit dem Bau der „Koninklijke Nederlandsche Hoogovens en Staalfabrieken“ in IJmuiden; das Werk verfügt über 3 Hochofen. Die Errichtung von Stahl- und Walzwerken ist geplant und zum Teil auch schon in die Tat umgesetzt worden; so befindet sich seit März 1939 ein Stahlwerk mit einem Siemens-Martin-Ofen in Betrieb.

Die Roheisenerzeugung betrug 1937/38 232 407 t und 1938/39 223 046 t. Der Inlandsabsatz an Roheisen machte in den letzten Jahren nur 15 bis 20 % der Gesamterzeugung aus, so daß große Roheisenmengen ausgeführt werden mußten, hauptsächlich nach Schweden, Belgien/Luxemburg und den Vereinigten Staaten; auch Deutschland nahm regelmäßig beträchtliche Mengen ab. Um sich von der Ausfuhr unabhängiger zu machen, wurde eine Röhrengießerei gebaut, die 1937/38 ihre Tätigkeit aufgenommen hat und die etwa 30 000 t jährlich herstellt. Das bereits erwähnte Siemens-Martin-Stahlwerk soll auf eine mittlere Erzeugung von 100 000 t gebracht werden und weitere 50 000 t Roheisen verarbeiten. An sonstigen Werken der eisenschaffenden Industrie sind noch zu nennen die Nederlandsche Staalfabriek voorm. I. M. de Muinck-Keizer in Zullen bei Utrecht mit Siemens-Martin-Ofen und einigen Walzenstraßen, die Nederlandsche Kabel-fabrik in Delft mit einem Siemens-Martin-Stahlwerk und einem Walzwerk für Draht und Bandstahl, die N. V. van Leer's Vereenigde Fabrieken in Amsterdam mit einem Feinblechwalzwerk und die Konstruktie Werkplaatsen en Werktuigfabrieken der Nederlandsche Staalindustrie. Außerdem gibt es noch zahlreiche Eisengießereien und Maschinenfabriken.

Der französische Eisenmarkt im April 1940.

Im Verlauf des Berichtsmonats konnten die ungünstigen Verhältnisse, die bereits im März den Markt beeinflusst hatten, nicht durchgreifend gebessert werden. Die mangelhafte Versorgung des privaten Bedarfes hielt daher an. Es war völlig unmöglich, irgendeine genaue Zusicherung über die Lieferfristen zu erhalten, und die Werke nahmen Bestellungen nur unter Vorbehalt an. Alle Verbraucherindustrien klagten über diese Lage, die die Tätigkeit in großem Umfange lahmlegte. Die Unordnung traf auch den Handel sehr. Infolge der starken Lieferbeschränkungen der Walzwerke an die Händler bildeten sich große Unzulänglichkeiten in der Versorgung der weiterverarbeitenden Betriebe heraus, zumal da die Bestimmungen über die Mengen, die Spezifikationen und die Lieferfristen fühlbar eingeengt worden sind; eine Neuregelung ist in Aussicht genommen.

Während die Gießereien alle Maßnahmen zur Erhöhung ihrer Erzeugung in dem Umfange, wie sie Arbeiter fanden, zu steigern versuchten, wurden sie andererseits von schweren Sorgen bedrückt. Die Aufmerksamkeit des Gießereiverbandes (Syndicat Général des Fondateurs de France) war seit Anfang April auf die Schwierigkeiten der Versorgung mit Gießereikoks gerichtet. Besonders drohend war die Lage für die Stahlgießereien, die für den Kriegsbedarf und namentlich für die Geschossherstellung arbeiteten. Es wurde immer deutlicher, daß die zu Kriegsbeginn gebildeten Vorräte völlig unzureichend waren.

Der Rüstungsminister hat dem Präsidenten des Verbandes zugesagt, sich persönlich um die Frage der Koksversorgung zu kümmern, die in der Tat von außergewöhnlicher Bedeutung ist; denn allem Anschein nach können die Stahlgießereien wegen des fehlenden Kokses nicht die gewünschten Munitionsmengen herstellen. Bis Monatsende waren jedoch noch keine Sondermaßnahmen getroffen worden. Es fehlt in Frankreich aber nicht nur an Gießereikoks, sondern auch an den notwendigen Fettkohlen zur Herstellung von Hochofenkoks. So macht sich denn trotz den englischen und belgischen Zufuhren der Koksbedarf immer stärker fühlbar, was auch aus einem auf Anregung der Behörden gefaßten Beschluß der Grubenbesitzer hervorgeht, die Förderung von Magerkohlen zu vermehren und diese den Werken an Stelle von Fettkohlen oder Flammkohlen zu liefern. Darüber hinaus sollen verschiedene Industriezweige aufgefordert werden, ihre Erzeugung einzuschränken oder ganz einzustellen. Dadurch will

man einerseits Rohstoffe sparen und andererseits Arbeiter für die kriegswichtige Erzeugung sichern.

Man begreift, daß diese Maßnahmen die industriellen Kreise lebhaft beunruhigt haben, und daß die vorgesehene Lösung nur als ein ziemlich unzulängliches Heilmittel betrachtet wird. Die Folgen werden sich in der Tat wieder einmal für verschiedene Industriezweige ungünstig auswirken, die immer noch versuchen, einen gewissen Hundertsatz ihrer früheren Tätigkeit auf dem In- und Auslandsmarkte zu behaupten. Die Werke machten die größten Anstrengungen, um die Zahl der Facharbeiter zu erhöhen, denn diese Frage ist nach wie vor lebenswichtig, die Lösung jedoch keineswegs einfach. In zahlreichen Bezirken sind Arbeitsämter für die Metallindustrie geschaffen worden. Der Mangel an Facharbeitern ist so groß, daß verschiedene wichtige Unternehmen wie die „Chantiers navals du Nord“ ihren Erzeugungsplan nicht durchführen können.

Die französische Regierung soll die Absicht haben, bei den Walliser Weißblechherstellern einen Auftrag von ungefähr 6000 t zur Lieferung bis Ende Juni unterzubringen. Der Preis soll ungefähr dem englischen Inlandspreis von 24/9 sh entsprechen, zuzüglich der Kosten für Verpackung und Fracht.

Die Inlandspreise sind für alle Eisenerzeugnisse unverändert geblieben, außer den Staffelpreisen für Roheisen und Schrott, die seit dem 1. November 1939 in Kraft waren, mit Wirkung vom 1. April 1940 an aber erheblich heraufgesetzt worden sind. Während sie früher ja nach Bezirken schwankten, sind sie jetzt für das ganze Gebiet einheitlich festgesetzt worden, wobei die bisher höchsten Preise des Bezirks Norden zugrunde gelegt wurden. Die Staffelpreise stellen Mindestpreise dar und lauten ab Wagen Werk, einschließlich Rüstungsabgabe, für Mengen von mindestens 500 t und einmonatiger Lieferfrist.

Der belgische Eisenmarkt im April 1940.

Zu Monatsbeginn herrschte fortgesetzt fiebrhafte Tätigkeit. Die Konstruktionswerkstätten verfügten über umfangreiche Aufträge und bemühten sich, ihren Bedarf möglichst kurzfristig zu decken. Das gleiche gilt für die Maschinenindustrie. Am Ausfuhrgeschäft beteiligten sich die belgischen Werke nicht. „Cosibel“ hatte bis zum 16. April Aufträge in Höhe von 150 000 t hereingenommen. Die Preise zogen an. Die Amerikaner, die die

hauptsächlichsten Ueberseemärkte beherrschen, haben erhebliche Preissteigerungen vorgenommen; die Erhöhungen betragen in einigen Fällen etwa 8 \$ je t.

Im Inlande beruhte das Geschäft hauptsächlich auf Aufträgen für die nationale Verteidigung. Die Konstruktionswerkstätten bemühten sich lebhaft um die Beschaffung von Walzzeug und Brückenbauteilen. Die Ereignisse in Skandinavien ließen die Befürchtung aufkommen, daß die belgischen Werke aus Mangel an Schwedenerz ihren Verpflichtungen nicht nachkommen können. Im Geschäft mit Dänemark erklärten die dortigen Vertreter, daß die vor den neuesten Ereignissen erteilten Bestellungen aufrechterhalten würden; die belgischen Werke sagten ihrerseits zu, die Aufträge zur festgesetzten Zeit auszuführen.

Im Verlaufe des Monats waren alle Betriebe voll beschäftigt, und greifbare Mengen standen nicht zur Verfügung. Auf dem Inlandsmarkt sicherten die Arbeiten für die nationale Verteidigung, die großen Lieferungen an die Kohlenbergwerke und neue Ausführungsgeschäfte den weiterverarbeitenden Werken Beschäftigung für viele Monate. Die Frage der Preiserhöhungen wurde eifrig erörtert. 46 Hochöfen standen unter Feuer; weitere warten darauf, in Betrieb genommen zu werden, sobald genügend Erze und Brennstoffe vorhanden sind.

Ende April waren Halbzeug, Stabstahl, Grobbleche und Walzdraht besonders gefragt. Bei den Konstruktionswerkstätten sprach man von neuen und umfangreichen baldigen Verdingungen. Infolgedessen konnte es nicht erstaunen, daß der Rohstoffmarkt nach wie vor sehr fest lag. Im Ausfuhrgeschäft entsprachen die Werke der Nachfrage nur so weit, als verfügbare Mengen vorhanden waren. Die Gemeinschaft der französischen Eisenbahngesellschaften bestätigte den Konstruktionswerkstätten einen Auftrag auf 6800 Kessel- und Behälterwagen, die auf bereits vorhandene französische Untergestelle aufgebaut werden sollen. Am 2. Mai war ein Zuschlag erfolgt auf 2600 Kleinbahnflachwagen für Frankreich. Ein neutrales Land erteilte gleichfalls eine Bestellung auf 300 Eisenbahnwagen. Verschiedene Werften waren stark mit Aufträgen aus dem Auslande besetzt. Während sich der Versand nach Norwegen und Dänemark äußerst schwierig gestaltete, forderten Schweden und Finnland, daß ihnen die gekauften Waren im Durchgangsverkehr über Deutschland zugesandt würden.

Im Inlande kostete Gießereirohisen 950, phosphorarmes Roheisen 1075, Hämatit 1300 und Thomasrohisen 900 Fr je t. Die Nachfrage nach allen Roheisensorten nahm zu. Die Werke lehnten Preisangaben ab, da sie mit einer baldigen Erhöhung der Preise rechneten. Im Verlaufe des Monats verschärfte sich die Lage in Gießereirohisen. Bei den Werken waren keine Vorräte vorhanden. Die Erzeugung konnte kaum der Nachfrage folgen; die Lieferfristen nahmen um so mehr zu, als die Einfuhr aus Frankreich völlig eingestellt war, da keine Lieferungen bewilligt wurden. Auch in den anderen Roheisensorten waren die greifbaren Mengen sehr begrenzt. Mit Wirkung vom 20. April an zogen die Hämatitpreise um 100 Fr je t an infolge des verringerten Hereinkommens von Sondererzen und der Preiserhöhungen, denen diese unterlagen. Die Preise für die übrigen Sorten blieben unverändert. Ende April waren die zur Verfügung stehenden Mengen knapp; man rechnete damit, daß sich eine Preiserhöhung nicht länger würde herauschieben lassen.

Auf dem Halbzeugmarkt herrschte eine außerordentliche Tätigkeit. Die Weiterverarbeiter erhielten nur mit großer Mühe die Mengen, die sie unbedingt zur Erledigung ihrer Aufträge benötigten. Vorgewalzte Blöcke kosteten im Inlande unverändert 1415 bis 1240 Fr, Platinen 1175 bis 1300 Fr. Die Werke sind für mehrere Monate voll eingedeckt.

In Fertigerzeugnissen war die Beschäftigung gleichfalls sehr groß. Der größte Teil der Werke hielt sich den Auslandsmärkten fern. Handelstabstahl und Formstahl wurden stark gefragt. Die benachbarten Länder zeigten für alle Erzeugnisse ständig wachsende Aufmerksamkeit. Die Mehrzahl der Werke hatte für mehrere Monate Arbeit. Im Verlauf des April verstärkte sich die Nachfrage noch, soweit dies möglich war. Die Lieferfristen verlängerten sich weiter. Die Preise entsprachen in keiner Weise mehr den offiziellen Grundpreisen, die für die Ausfuhr auf 1600 bis 1700 Fr für Handelstabstahl, 1575 bis 1650 Fr für Träger und 1900 bis 2000 Fr für Grobbleche lauteten. Die Inlandsmindestpreise blieben gleichfalls unverändert.

Die Nachfrage nach Blechen war während des ganzen Berichtsmonats sehr groß. Vor allem gilt dies für Grobbleche; hier zogen sich die Werke vom Markt zurück. Es war tatsächlich unmöglich, irgendwelche brauchbaren Lieferfristen anzugeben.

Auch glaubten sich die Werke nicht in einem Augenblick auf Geschäfte einlassen zu können, wo die Rohstoffe, wie Kohlen, knapper zu werden begannen. Zudem drohte die Lohnfrage brennend zu werden. Man begriff, daß unter diesen Verhältnissen die Uebernahme fester Aufträge nur ausnahmsweise erfolgte. Die Mindestgrundpreise für die Ausfuhr betragen unverändert 1900 bis 2000 Fr für Grobbleche und 2000 bis 2100 Fr für Feinbleche. Kastengeglühte und gerichtete Thomasbleche kosteten 1950 bis 2450 Fr frei Verbraucherwerk. Verzinkte Bleche mit reichem Zinküberzug stellten sich auf 4200 Fr für Dicken von 0,5 mm und auf 3030 Fr für Dicken von 8 bis 10 mm, bei Aufträgen von mindestens 3 t frei Verbraucherwerk, alle Abgaben einbezogen.

Der Schrottmarkt war während des ganzen Monats sehr fest. Besonders gilt dies für Sondersorten, wo sich die Preise im Verlaufe des April weiter versteiften. Es kosteten Ende April in belgischen Franken je t:

Lange Drehspäne aus Eisen und Stahl	500
Kurze Drehspäne aus Eisen und Stahl	560
Leichter Hochofenschrott	550
Schwerer Hochofenschrott	700
Siemens-Martin-Schrott	680
Brandguß	700
Maschinengußbruch 1. Wahl	900
Maschinengußbruch 2. Wahl	860

Beschlagnahme von Eisen und Stahl. — Bei Beginn des Krieges waren Industrie und Handwerk in nicht unbeträchtlichem Umfange mit der Ausführung von Aufträgen beschäftigt, die infolge der Umstellung auf die Kriegsfertigung den ursprünglich vorgesehenen Verwendungszwecken nicht mehr zugeführt werden können oder dürfen.

Für diese Aufträge hatten die Betriebe die erforderlichen Halb- und Fertigerzeugnisse zum Teil bereits beschafft. Soweit diese Werkstoffe für die Kriegsfertigung eingesetzt werden konnten, ist dies geschehen, doch lagern bei den Betrieben nicht unerhebliche Mengen an un bearbeitetem und angearbeitetem Eisen und Stahl, der für kriegs- und lebenswichtige Zwecke in absehbarer Zeit nicht benötigt wird.

Um diese brachliegenden Eisenmengen der Kriegswirtschaft zuzuführen, hat der Generalbevollmächtigte für die Eisen- und Stahlbewirtschaftung eine Anordnung 1 „Beschlagnahme von Eisen und Stahl“ erlassen¹⁾, durch die ein Teil der bei den Industrie- und Handwerksbetrieben lagernden Eisenmengen beschlagnahmt wird. Durch die Beschlagnahme werden bei den in § 1 der erwähnten Anordnung genannten Unternehmungen sämtliche am 27. Mai 1940 in ihrem Besitz befindlichen Bestände an Eisen und Stahl sowie an Halb- und Fertigwaren, die ganz oder teilweise aus Eisen und Stahl bestehen, sowie die Bestände an Nutzeseisen erfaßt. Die Beschlagnahme, die eine weitere Be- und Verarbeitung der Bestände nicht untersagt, erlischt, wenn 10 % der beschlagnahmten Mengen abgesondert sind. Ueber die Verwendung der abgesonderten Erzeugnisse aus Eisen und Stahl wird der Generalbevollmächtigte für die Eisen- und Stahlbewirtschaftung weitere Anordnungen erlassen. Die zur Ergänzung und Durchführung dieser Anordnungen erforderlichen Bestimmungen trifft die Reichsstelle für Eisen und Stahl²⁾.

Die Ermittlung der beschlagnahmten oder abzusehenden Mengen Eisen und Stahl und Nutzeseisen kann von Unternehmungen, die in der Zeit vom 31. Dezember 1939 bis 27. Mai 1940 ihren Bestand durch eine ordnungsgemäße Inventur aufgenommen haben, an Hand dieser Unterlagen vorgenommen werden, während Halb- und Fertigwaren, wenn buchmäßige Unterlagen fehlen, oder ihre Aufarbeitung im Sinne der Anordnung mit dem vorhandenen Personal nur in längerer Frist möglich wäre, nach bestem Wissen und Gewissen geschätzt werden dürfen. Diese Schätzungen sind mit besonderer Sorgfalt vorzunehmen, da bei fahrlässiger Handhabung die Strafbestimmungen des § 9 Anwendung finden. Um eine schnelle und vollständige Verwertung der durch die Anordnung erfaßten Bestände durchführen zu können, ist es nationale Pflicht, die Bestimmungen der Anordnung sorgfältig und gewissenhaft durchzuführen.

Verstöße werden unnachsichtlich nach den Strafbestimmungen der 2. Verordnung zur Durchführung des Vierjahresplans von den ordentlichen Gerichten verfolgt, soweit nicht schärfere Strafbestimmungen, insbesondere die Strafbestimmungen der Kriegswirtschaftsverordnung vom 4. September 1939, Anwendung finden.

¹⁾ Reichsanzeiger Nr. 109 vom 11. Mai 1940.

²⁾ Eine 1. Durchführungsverordnung hierzu ist im Reichsanzeiger Nr. 112 vom 16. Mai 1940 erschienen.