

DIE BAUTECHNIK

18. Jahrgang

BERLIN, 7. Juni 1940

Heft 24

Statische Festigkeit, Kerbschlagzähigkeit und Dauerfestigkeit von geschweißtem Baustahl St 52 nach verschiedenen Wärmebehandlungen und nach Schweißung unter Vorwärmung.

Alle Rechte vorbehalten.

Von Dr.-Ing. K. L. Zeyen VDI in Essen *).

A. Zweck der Untersuchungen.

Während im Maschinenbau, im Schiffbau, im Fahrzeugbau und im Stahlhochbau bei der Schweißung von Baustahl St 52 nur günstige Erfahrungen gemacht worden sind, sind im Brückenbau die bekannten Schadensfälle an der Eisenbahnüberführung über die Hardenbergstraße am Bahnhof Zoologischer Garten in Berlin und an der Reichsautobahnbrücke am Talübergang bei Rüdersdorf an Stellen aufgetreten, wo über 30 mm dicke Gurtplatten mit den Stegblechen verschweißt wurden¹⁾²⁾³⁾. In den seit dem Jahre 1936 durchgeführten sehr zahlreichen Untersuchungen über den Baustahl St 52 und seine Schweißbarkeit wurde versucht, die Ursachen dieser Schadensfälle aufzudecken und Wege für die sichere Vermeidung weiterer zu finden. Diese Untersuchungen haben sich in erster Linie mit dem Aufschweißblegeversuch befaßt, der als Prüfverfahren für die Empfindlichkeit des Werkstoffs beim Verschweißen in dicken Profilen vorgeschlagen worden ist. E. Houdremont, K. Schönrock und H.-J. Wiester⁴⁾ wiesen in einer ausführlichen Untersuchung darauf hin, daß es zumindest stark zu bezweifeln ist, ob dieses Prüfverfahren über die Schweißempfindlichkeit des Stahles unter den praktisch vorliegenden Bedingungen Aufschluß zu geben vermag. Als zuverlässige und praktisch brauchbare Ergebnisse haben aber die zahlreichen, an verschiedenen Stellen durchgeführten Untersuchungen nachweisen können, daß der durch das Schweißen entstehende mehrachsige Spannungszustand und die Aufhärtung der beeinflussten Zone für die Sicherheit der Schweißverbindung von hervorragender Bedeutung sind. Alle Maßnahmen, die geeignet sind, den Spannungszustand zu mildern oder die Aufhärtung beim Schweißen gering zu halten, werden daher dazu beitragen können, die Sicherheit geschweißter Bauteile zu erhöhen. In dieser Beziehung hat sich das Vorwärmen beim Schweißen als eine sehr wirkungsvolle Maßnahme erwiesen²⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾. Ihr wird in Zukunft überall dort eine erhöhte Bedeutung zukommen, wo starke Profile und schwierige Verbindungen zu schweißen sind. Eine weitere, wenn auch praktisch vielfach nicht einfach durchzuführende Maßnahme besteht darin, die Schweißungen nachträglich wärmezubehandeln. Bereits durch Erwärmen auf etwa 250° C kann die Spannung etwas vermindert werden. Wirkungsvoller ist ein Spannungsireglühen bei Temperaturen zwischen 500 und 650° C, wobei die Spannungen bis auf einen geringen Rest vollständig abgebaut werden und die durch das Schweißen eingetretene Härtung gleichfalls weitgehend aufgehoben wird²⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾. Schließlich bleibt noch die Maßnahme der Normalglühung zu erwähnen, die Grundwerkstoff und Schweißnaht in eine einheitliche Gefügeform bringt und dadurch Schweißspannungen und auch Härtung der beeinflussten Zone vollständig beseitigt. Allerdings wird man bei der Normalglühung vielfach die Gefahr eines Verziehhens haben, so daß der Anwendungsbereich dieser Maßnahme wohl sehr beschränkt sein dürfte.

Zur Gewinnung zahlenmäßiger Unterlagen darüber, wie durch Vorwärmen beim Schweißen oder durch nachträgliche Wärmebehandlung die

*) Auszug aus einem Vortrag auf der Sondertagung für Schweißtechnik in Hannover am 26. April 1940; s. auch St. u. E. 1940, S. 456 bis 461; Techn. Mitt. Krupp, Forsch.-Ber. 1940, S. 87 bis 98.

¹⁾ G. Schaper, Der hochwertige Baustahl St 52 im Bauwesen. Bautechn. 1938, S. 649 bis 655.

²⁾ G. Schaper, Das Schweißen im Brückenbau und im Ingenieur-Hochbau. R.-Bahn 1939, S. 732 bis 766.

³⁾ K. Schaechterle, Betrachtungen über geschweißte Brücken, Erkenntnisse, Erfahrungen und Folgerungen. Bautechn. 1939, S. 46 bis 52.

⁴⁾ E. Houdremont, K. Schönrock und H.-J. Wiester, Der Aufschweißblegeversuch und seine Eignung zur Prüfung von Baustählen. Techn. Mitt. Krupp, Forsch.-Ber. 1939, S. 191 bis 205; St. u. E. 1939, S. 1241 bis 1248 u. 1268 bis 1273.

⁵⁾ O. Kommerell, Die neuen Lieferbedingungen für St 52 als Folge neuerer Versuche und Erfahrungen. Stahlbau 1938, S. 49 bis 51.

⁶⁾ G. Schaper, Internationale Aussprache in Zürich über die Schweißtechnik im Brückenbau. Bautechn. 1938, S. 346 u. 347.

⁷⁾ K. Schönrock, Bisher unveröffentlichte Versuchsergebnisse, die erstmalig in der Sitzung des Ausschusses zur Prüfung der Schweißempfindlichkeit von Baustahl St 52 am 10. Juni 1938 im Staatlichen Materialprüfungsamt Berlin-Dahlem vorgetragen wurden.

⁸⁾ K. L. Zeyen, Über Forschungsarbeiten zur Entwicklung von Schweißelektroden, insbesondere für den Stahlbau. Stahlbau 1938, S. 41 bis 46 u. 59 bis 65.

⁹⁾ K. L. Zeyen, Neuere Erkenntnisse über das Schweißen von Baustahl St. 52. Techn. Mitt. Krupp 1938, S. 25 bis 46.

mechanischen Güterwerte einer Schweißverbindung an Baustahl St 52 verändert werden, wurden an einem einheitlichen Probenwerkstoff, wofür Krupp-Baustahl St 52 in 12 mm Dicke im normalgeglühten Zustand gewählt wurde, elektrische Lichtbogenschweißungen durchgeführt. Es wurde

- a) ohne Vorwärmung geschweißt, nachträglich nicht wärmebehandelt,
- b) " " " " dann 2 Std. auf 250° C/Ofen erwärmt,
- c) " " " " " 2 " bei 550° C/Luft gegläht,
- d) " " " " " 1/2 " " 880° C/Luft normalgeglüht,
- e) bei 250° C geschweißt, nachträglich nicht wärmebehandelt.

Die Schweißungen wurden auf statische Festigkeit, Kerbschlagzähigkeit und Dauerfestigkeit sowie auf Gefügeausbildung untersucht.

B. Statische und Kerbschlagversuche.

Chemische Zusammensetzung und Festigkeitswerte des für die Versuche verwendeten Krupp-Baustahls St 52 sind in Zahlentafel 1 angegeben. Da der Beginn der Untersuchungen in die erste Hälfte des Jahres 1939 fällt, handelt es sich bei dem Versuchswerkstoff um gekupferten Baustahl St 52 nach damaliger Reichsbahnvorschrift. Nach den bisher darüber vorliegenden versuchsmäßigen und auch betrieblichen Unterlagen verhält sich der Baustahl St 52, der seit Kriegsausbruch nur noch ohne Zusätze von Kupfer, Chrom und Molybdän hergestellt werden darf, schweißtechnisch völlig gleichartig wie der kupferhaltige und kann auch mit denselben Schweißdrähten geschweißt werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchung dürften deshalb auf den kupferfreien Baustahl St 52 übertragbar sein. Es wurde zunächst geprüft, wie sich die Festigkeitswerte der nicht geschweißten Bleche, die, wie schon erwähnt, im normalgeglühten Zustand vorlagen, durch die verschiedenen Wärmebehandlungen, die mit den Schweißungen durchgeführt werden sollten, ändern. Dabei ergab sich, daß keine nennenswerte Änderung gegenüber dem einfach normalgeglühten Zustand eintrat.

Zahlentafel 1. Chemische Zusammensetzung und Festigkeitswerte des für die Versuche verwendeten Krupp-Baustahls St 52.

Probenentnahme zur Walzrichtung	Streckgrenze kg/mm ²	Zugfestigkeit	Chemische Zusammensetzung in %				Kerbschlagzähigkeit (DVMR-Proben) mkg/cm ²		
			C	Si	Mn	P		S	Cu
			Festigkeitswerte normalgeglühter, 12 mm dicker Bleche.						
			0,14	0,36	1,49	0,020	0,019	0,37	
			Dehnung $l =$				Einschnürung %	Biege- winkel Grad	
			5,65 \sqrt{f}	11,3 \sqrt{f}					
längs	37	53,3	32,4	25,0	61	> 180	11,8		
quer	37	53,3	31,4	23,8	60	> 180	10,5		

Für die Schweißungen wurde je eine Mantelelektrode und eine legierte Seelenelektrode, die beide für Schweißungen an Baustahl St 52 in bedeutendem Umfang verwendet werden, ausgewählt. Von diesen Elektroden hat die Mantelelektrode die reichsbahnamtlichen Zulassungen für die Güteklassen E 34 z, E 37 z und E 52 z und als Brückenelektrode zum Schweißen von Baustahl St 37 und von allen vereinheitlichten Arten von Baustahl St 52; sie wurde bei zahlreichen geschweißten Brücken aus St 37 und St 52 verschweißt. Die legierte Seelenelektrode ist neuerer Entwicklung; sie hat die reichsbahnamtliche Zulassung als Güteklasse E 52 und findet im Schiffbau und Fahrzeugbau für Schweißungen an Baustahl St 52 verbreitete Anwendung.

Bei der Prüfung von Proben aus Schweißgut, die mit beiden Elektroden hergestellt wurden, ergaben sich die in Zahlentafel 2 wiedergegebenen Werte. Die Mantelelektrode lieferte bei den an St 52 hergestellten Schweißgutproben wesentlich höhere Zähigkeitswerte (Dehnung, Einschnürung und Kerbschlagzähigkeit), aber niedrigere Werte für Streckgrenze und Zugfestigkeit als die legierte Seelenelektrode.

Mit beiden Elektroden wurden Stumpfschweißungen (V-förmige Kantenabschrägung von 60°, Fugenabstand 1/2 bis 2 mm) und Kreuzschweißungen an den Versuchsblechen zur Prüfung der statischen Festigkeit und der Kerbschlagzähigkeit und außerdem Stumpfschweißungen und Auftragschweißungen zur Prüfung der Zugschwellfestigkeit hergestellt.

Zahlentafel 2. Festigkeits- und Analysenwerte von Proben aus Schweißgut.

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

Jede Elektrode wurde von einem mit ihren Schweißigenschaften besonders vertrauten Schweißmeister unter den Schweißbedingungen verschweißt, die dieser dafür als die günstigsten ansah. Querschliffe durch die Stumpfschweißungen und die Kreuzschweißungen zeigten, daß die mit den Mantelelektroden hergestellten Schweißnähte völlig dicht waren; bei den Schweißungen mit Seelenelektroden konnten einzelne, allerdings sehr feine Poren nicht ganz vermieden werden.

Zahlentafel 3 enthält die Prüfergebnisse der mit den Mantelelektroden geschweißten statischen und Kerbschlagproben. Aus den Zahlen, die jeweils Mittelwerte aus der Prüfung von vier bis sechs Proben sind, ergibt sich, daß bei belassener Schweißraupe die sehr guten Prüfwerte durch eine nachträgliche Wärmebehandlung kalt geschweißter Proben oder durch Wärmeschweißen bei 250°C praktisch gleich geblieben sind. Bei den Proben mit abgearbeiteten Schweißraupen trat der Bruch in allen Fällen in der Schweißnaht ein, bevor der Grundwerkstoff sich nennenswert an der Verformung beteiligen konnte. Die auf 5,65 und 11,3 \sqrt{f} gemessene Dehnung und auch die Einschnürung der Zerreißproben liegen deshalb tiefer als bei den Proben mit belassener Schweißraupe, die neben der Schweißnaht brachen. Durch Wärmebehandlung kalt geschweißter Proben oder durch Wärmeschweißen bei 250°C 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

im Mittel 49,6 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 stumpf geschweißten St 52-Proben mit abgearbeiteter Schweißraupe nach einer Normalglüfung ebenfalls mindestens 52 kg/mm² Zugfestigkeit verlangt wird, dann müßten dafür Mantelelektroden mit etwas höherer Schweißgutfestigkeit im nicht wärmebehandelten Zustand verwendet werden. Solche Mantelelektroden sind vorhanden. Bei belassener Schweißraupe haben die nach dem Schweißen normalgeglühten Proben wegen des durch die Nahtüberhöhung verstärkten Querschnitts auch bei der hier verwendeten Mantelelektrode Zugfestigkeiten der stumpf geschweißten Verbindung über 52 kg/mm² ergeben.

In Zahlentafel 4 sind die Prüfwerte von Proben aus den Schweißungen mit den legierten Seelenelektroden zusammengestellt worden. Sie lassen erkennen, daß bei diesen Schweißungen durch keine der nach dem Schweißen angewendeten Wärmebehandlungen Streckgrenze, Zugfestigkeit, Dehnung und Einschnürung der Stumpfverbindung und Nahtfestigkeit der Kreuzverbindung verringert worden sind. Der Biegewinkel ist schon nach dem Erwärmen der Proben auf 250°C gegenüber den nicht wärmebehandelten Proben nennenswert erhöht und durch Glühen bei 550°C sowie durch Normalglühen auf 180°, allerdings mit Anriß, gebracht worden. Der Bruch der Zerreißproben trat außer bei den normalgeglühten Proben mit abgearbeiteter Schweißraupe stets neben der Naht ein.

Ein Vergleich der Zahlenwerte von Zahlentafeln 3 und 4 zeigt erhebliche Unterschiede in den Gütewerten der Prüfergebnisse der verwendeten Mantelelektrode und der legierten Seelenelektrode, und zwar nicht nur in der Zugfestigkeit, die bei der Seelenelektrode höher ist, sondern besonders auch bei der Schweißnaht-Kerbschlagzähigkeit und dem Biegewinkel, d. h. bei den Prüfverfahren, die zur Ermittlung der Verformungsfähigkeit von Schweißverbindungen dienen sollen.

Die Schweißnaht-Kerbschlagzähigkeit bei +20°C Prüftemperatur ist bei den legierten Seelenelektroden durch Glühen bei 550°C und durch Normalglühen etwas abgesunken. Wegen der Wichtigkeit, die der Schweißnaht-Kerbschlagzähigkeit für die Bewertung der Güte einer Schweißelektrode vielfach zugemessen wird, soll hierauf an Hand weiterer Versuchsergebnisse noch etwas näher eingegangen werden. Entsprechend den Versuchen über Prüfverfahren zur Ermittlung der Verformungsfähigkeit

Zahlentafel 3. Elektrische Lichtbogenschweißung 12 mm dicker Bleche aus Krupp-Baustahl St 52 mit Mantelelektroden.

Temperatur der Bleche beim Schweißen	Wärmebehandlung nach dem Schweißen	Schweißraupe	Stumpfschweißungen							Kreuzschweißungen	
			Streckgrenze	Zugfestigkeit	Dehnung		Einschnürung	Bruch	Kerbschlagzähigkeit (DVMR-Proben)	Biegewinkel	Nahtfestigkeit
					l = 5,65 \sqrt{f}	l = 11,3 \sqrt{f}					
°C			kg/mm ²		%	%	%	mkg/cm ²	Grad	kg/mm ²	
20	keine	belassen abgearbeitet	36 38	53,6 53,5	23,5 13,3	15,2 8,3	58 34	neben der Naht in der Naht	11,6	> 180 > 180	52,1
250	keine	belassen abgearbeitet	37 37	53,8 52,9	22,9 14,1	15,7 8,7	56 37	neben der Naht in der Naht	11,9	> 180 > 180	52,9
20	2 st auf 250°/Ofen erwärmt	belassen abgearbeitet	38 39	55,8 54,8	22,0 13,7	14,5 8,4	55 34	neben der Naht in der Naht	11,5	> 180 > 180	52,0
20	2 st 550°/Luft geglüht	belassen abgearbeitet	39 39	55,0 52,9	24,4 10,6	15,7 6,2	57 24	neben der Naht in der Naht	12,3	> 180 > 180	52,7
20	1/2 st 880°/Luft normalgeglüht	belassen abgearbeitet	36 36	55,3 49,6	28,5 13,2	20,3 8,4	56 39	neben der Naht in der Naht	13,3	> 180 > 180	52,2

Zahlentafel 4. Elektrische Lichtbogenschweißung 12 mm dicker Bleche aus Krupp-Baustahl St 52 mit legierten Seelenelektroden.

Wärmebehandlung nach dem Schweißen	Schweißraupe	Stumpfschweißungen							Kreuzschweißungen	
		Streckgrenze	Zugfestigkeit	Dehnung		Einschnürung	Bruch	Kerbschlagzähigkeit (DVMR-Proben)	Biegewinkel	Nahtfestigkeit
				l = 5,65 \sqrt{f}	l = 11,3 \sqrt{f}					
		kg/mm ²		%	%	%	mkg/cm ²	Grad	kg/mm ²	
keine	belassen abgearbeitet	37 37	56,1 55,2	21,3 20,4	16,8 15,5	57 60	neben der Naht desgl.	3,9	77 69	51,4
2 st auf 250°/Ofen erwärmt	belassen abgearbeitet	36 39	55,1 57,4	22,1 19,5	16,6 15,2	61 60	" "	3,9	105 86	54,0
2 st 550°/Luft geglüht	belassen abgearbeitet	36 37	53,7 56,1	28,1 21,4	19,1 16,2	62 60	" "	3,1	180 180	51,6
1/2 st 880°/Luft normalgeglüht	belassen abgearbeitet	36 36	55,5 55,1	27,3 13,0	18,8 10,6	61 17	" in der Naht	3,6	180 180	52,4

von Mehrlagenschweißungen an weichem Flußstahl, deren Ergebnisse Mitte des Jahres 1939 veröffentlicht wurden¹⁰⁾, wurden für die Schweißnaht-Kerbschlagzähigkeit der verschiedenen Schweißungen die Temperatur-Kerbschlagzähigkeitslinien im Prüftemperaturgebiet zwischen -70 und +400° C sowie die Schweißnaht-Kerbschlagzähigkeit gealterter Proben bei +20° C ermittelt. Jeder Prüfwert stellt das Mittel aus sechs bis acht Versuchen dar.

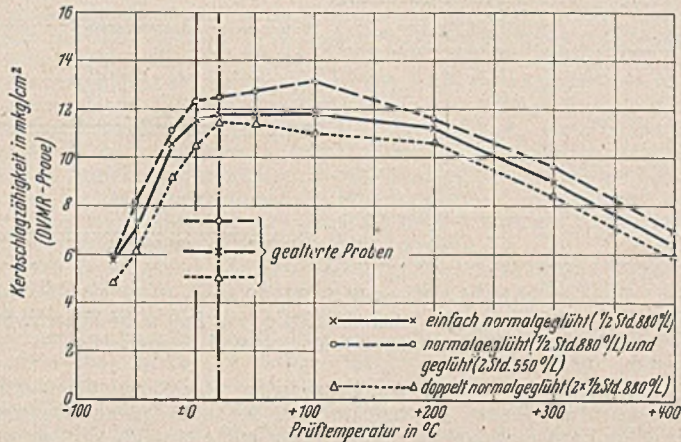


Abb. 1. Kerbschlagzähigkeit von 12 mm dicken Blechen aus Krupp-Baustahl St 52.

In Abb. 1 sind die Linienzüge für die Kerbschlagzähigkeit der ungeschweißten Bleche in Abhängigkeit von dem Behandlungszustand und der Prüftemperatur aufgetragen. Die Prüfwerte der Bleche im normalgeglühten Anlieferungszustand stimmten fast völlig mit den Werten überein, die an Blechen in dem Behandlungszustand normalgeglüht und danach auf 250° C erwärmt ermittelt wurden. Diese Werte wurden in

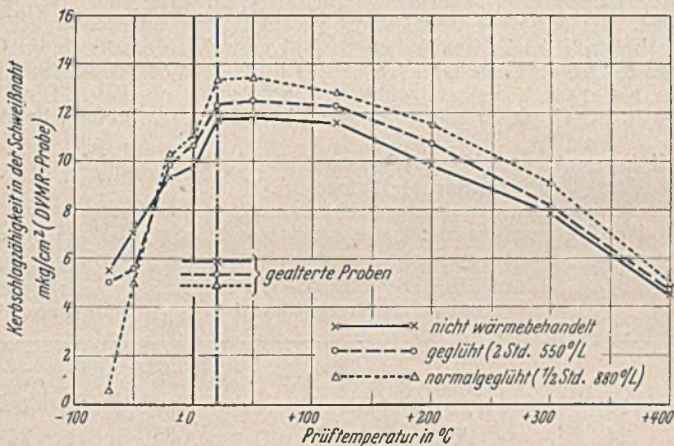


Abb. 2. Schweißnaht-Kerbschlagzähigkeit bei 12 mm dicken Blechen aus Krupp-Baustahl St 52, elektrisch stumpfgeschweißt mit Mantelelektroden.

dem voll ausgezogenen Linienzug zusammengefaßt. Die Kerbschlagzähigkeit weist in der Hochlage, d. h. zwischen -20 und +200° C Prüftemperatur, Werte von 11,3 bis 11,9 mkg/cm² auf. Die Alterungs-Kerbschlagzähigkeit bei +20° C Prüftemperatur liegt mit 6,2 mkg/cm² recht gut. Der gestrichelt ausgezogene Linienzug zeigt, daß bei Proben, die normalgeglüht und danach bei 550° C gegläht worden waren, alle Werte etwas über denen der nur normalgeglühten Bleche liegen. Dagegen wurden bei den doppelt normalgeglühten Blechen (punktierter Linienzug) in allen Fällen etwas tiefere Prüfwerte für die Kerbschlagzähigkeit als bei den nur einfach normalgeglühten Blechen gefunden. Für alle drei wiedergegebenen Behandlungszustände ist jedoch der Verlauf der Werte in Abhängigkeit von der Prüftemperatur sehr ähnlich und in der Höhe nicht sehr verschieden.

In Abb. 2 sind die Linienzüge für die Schweiß-

¹⁰⁾ K. L. Zeyen, Elektroschweißung 1939, S. 21 bis 30, 67 bis 74, 90 bis 94.— Techn. Mitt. Krupp 1939, S. 96 bis 120.

naht-Kerbschlagzähigkeit der Schweißungen mit den Mantelelektroden wiedergegeben. Hier und bei Abb. 3 sind wie bei den ungeschweißten Blechen die Prüfwerte der kalt geschweißten und nachträglich nicht wärmebehandelten und der auf 250° C erwärmten Proben sowie der bei 250° C geschweißten, nachträglich nicht wärmebehandelten Proben in dem voll ausgezogenen Linienzug zusammengefaßt worden. Die Werte stimmten in allen drei Fällen praktisch überein, was als wichtige Feststellung festgehalten werden kann.

Die nach dem Schweißen nicht wärmebehandelten Proben ergaben etwa den gleichen Linienverlauf wie die ungeschweißten Bleche im einfach normalgeglühten Ausgangszustand. Durch Glühen bei 550° C wurden die Werte der Schweißnaht-Kerbschlagzähigkeit in der Hochlage leicht verbessert und durch Normalglühen noch weiter erhöht. Bei tieferer Prüftemperatur als -20° C und bei gealterten Proben lagen dagegen die Werte der wärmebehandelten Proben tiefer als die der nicht wärmebehandelten. Diese Erscheinung wurde auch bei Schweißungen mit Mantelelektroden an Stahl St 37 beobachtet; es handelt sich dabei um Kornvergrößerungen durch Wärmebehandlung an solchen Stellen von Manteldraht-Schweißnähten, wo durch die Wärmeinwirkung beim Schweißen in mehreren Lagen bei den zuerst gelegten Lagen bereits eine Gefügeumwandlung eingetreten war¹⁰⁾.

In Abb. 3 folgen nun die Werte für die Schweißungen mit legierten Seelenelektroden. Der voll ausgezogene Linienzug für die nach dem Schweißen nicht wärmebehandelten Proben zeigt, daß in der Hochlage Werte von etwa 6 mkg/cm² Schweißnaht-Kerbschlagzähigkeit erreicht wurden und daß der Abfall schon bei Raumtemperatur einsetzte. Durch Glühen bei 550° C fielen bei allen Prüftemperaturen die Prüfwerte ab (gestrichelter Linienzug), während durch Normalglühen in der Hochlage teilweise eine Erhöhung gegenüber dem nicht wärmebehandelten Zustand festgestellt wurde (punktierter Linienzug). Die Alterungs-Kerbschlagzähigkeit lag mit Werten unter 1 mkg/cm² durchweg sehr tief.

Zusammenfassend kann über die Prüfung der Zerreiß-, Biege- und Kerbschlagproben der mit Mantelelektroden und mit legierten Seelenelektroden geschweißten St 52-Bleche gesagt werden, daß durch Wärmeschweißen bei 250° C oder durch eine der an kalt geschweißten Proben vorgenommenen Wärmebehandlungen durchweg keine Verminderung, sondern meist noch eine Steigerung der Güterwerte eintrat.

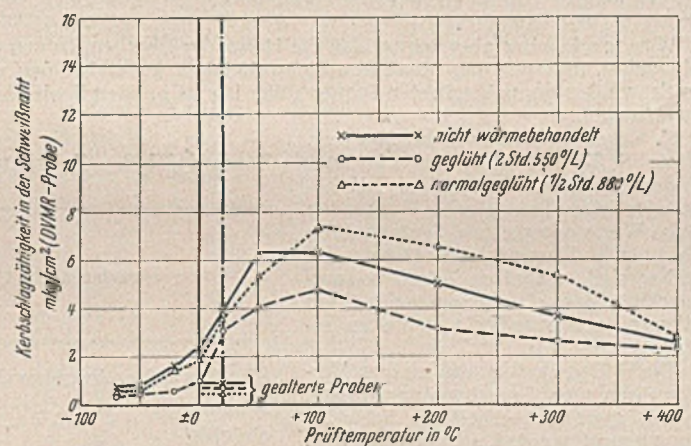


Abb. 3. Schweißnaht-Kerbschlagzähigkeit bei 12 mm dicken Blechen aus Krupp-Baustahl St 52, elektrisch stumpfgeschweißt mit legierten Seelenelektroden.

C. Dauerversuche.

Es war von besonderem Werte, zu prüfen, ob und wie sich die Güterwerte von geschweißtem Baustahl St 52 durch Wärmeschweißen bei etwa 250° C oder durch Wärmebehandlung kalt geschweißter Proben bei Dauerprüfungen ändern. Als Dauerprüfung wurde die Bestimmung der Schweißfestigkeit auf Zug gewählt, die auf einem liegenden Pulsator der Firma Schenck für 25 t Wechsellast mit einer Schwingungszahl von 25 Hertz vorgenommen wurde (untere Spannungsgrenze dabei etwa 0,1 kg/mm²).

Zahlentafel 5. Schweißfestigkeit auf Zug von Krupp-Baustahl St 52, 12 mm dick.

Art der Proben	Schweißdraht	Proben nach dem Schweißen	Schweißfestigkeit auf Zug kg/mm²
Ungeschweißte Bleche mit Walzhaut	—	—	30
Ungeschweißte Bleche, allseitig beschliffen	—	—	35,5
Bei Zimmertemperatur stumpf geschweißte Bleche	Mantelelektrode	nicht wärmebehandelt	23,5
"	"	2 st auf 250°/Ofen erwärmt	23,6
"	"	2 st 550°/Luft gegläht	24
"	"	1/2 st 880°/Luft normalgeglüht	22
"	"	nicht wärmebehandelt	23,5
Bei 250°	"	"	"
Bei Zimmertemperatur stumpf geschweißte Bleche	Legierte Seelenelektrode	nicht wärmebehandelt	25
"	"	2 st auf 250°/Ofen erwärmt	25
"	"	2 st 550°/Luft gegläht	25
"	"	1/2 st 880°/Luft normalgeglüht	23

An den stumpf geschweißten Proben wurde die Schweißnaht so beschliffen, daß alle Unebenheiten und etwaige Einbrandkerben beseitigt waren; jedoch blieb dabei der Querschnitt der Schweißnähte noch beträchtlich größer als der der Bleche.

Als Schwellfestigkeit werden die Belastungen angegeben, bei denen die Proben eine Lastwechselzahl von zwei Millionen ohne Bruch ertrugen (ermittelt aus den Wöhler-Linien), wobei als Belastung der Unterschied zwischen Oberspannung und Unterspannung eingesetzt wurde.

In Zahlentafel 5 sind die bei der Prüfung der stumpf geschweißten Proben erhaltenen Werte zusammengestellt worden. Mit Walzhaut hatten die ungeschweißten, normalgeglühten Bleche eine Schwellfestigkeit auf Zug von 30 kg/mm², die durch allseitiges Beschleifen der Proben auf 35,5 kg/mm² erhöht wurde. Die Schwellfestigkeit auf Zug der mit Mantelelektroden stumpf geschweißten Proben lag bei 23,5 kg/mm², wenn keine Wärmebehandlung der ohne Vorwärmung geschweißten Bleche vorgenommen wurde. Bei Proben, die bei 250° C geschweißt und nachträglich nicht wärmebehandelt wurden, ferner bei ohne Vorwärmung geschweißten Proben, die auf 250° C erwärmt oder bei 550° C gegläht worden waren, blieben die Werte fast unverändert. Durch Normalglühen der kalt geschweißten Proben fiel jedoch die Schwellfestigkeit auf Zug geringfügig ab (auf 22 kg/mm²).

Der Bruch der stumpf geschweißten Proben trat in allen Fällen am Querschnittsübergang von der Schweißraupe zum Grundwerkstoff ein und nicht in der Schweißnaht, womit zu rechnen war, weil die Schweißraupe trotz der Bearbeitung ja noch einen größeren Querschnitt als das Blech hatte.

Werte für die Schwellfestigkeit auf Zug in etwa gleicher Größenordnung wie bei den Schweißungen mit den Mantelelektroden wurden bei der Prüfung der mit legierten Seelenelektroden stumpf geschweißten Bleche gefunden. Auch hierbei blieben die Werte der kalt geschweißten Proben nach Erwärmung auf 250° C und Glühen bei 550° C unverändert, und durch Normalglühen trat wie bei den Manteldraht-Stumpfschweißungen ein geringfügiger Abfall (um 2 kg/mm²) ein. Es ist möglich, daß schon die etwas höheren Werte für die Streckgrenze und die Zugfestigkeit, die das Schweißgut der legierten Seelenelektroden gegenüber dem der verwendeten Mantelelektroden 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.

Wahrscheinlicher aber ist es, daß die Härte der Übergangszonen eine Rolle spielt, die bei den Manteldrahtschweißungen außer bei den nach dem Schweißen normalgeglühten Proben tiefer lag als bei den Seelendrahtschweißungen.

C. Stieler¹¹⁾ stellte übrigens fest, daß an St 37 und St 52 bei einwandfrei 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 Prüfergebnisse von einigen Versuchsreihen stumpf geschweißter Proben, die mit ganz unbearbeiteten Schweißraupen geprüft wurden, schwankten stark, so daß keine einwandfreien Wöhler-Linien aufgestellt werden konnten. Obwohl die Querschnittsübergänge auch ohne Bearbeitung der Schweißraupen verhältnismäßig weich und frei von größeren Einbrandkerben waren, streuten die Werte für die Schwellfestigkeit auf Zug ganz unregelmäßig. Stumpf geschweißte Proben aus Baustahl St 52 sprechen bei der Dauerprüfung augenscheinlich auch auf kleine Ungleichmäßigkeiten im Übergang von Schweißraupe zum Grundwerkstoff sehr stark an. Ähnliche Beobachtungen machten Weiß und Hoevel¹²⁾. Während diese bei mit Mantelelektroden geschweißten St 52-Blechen an Proben mit ganz abgearbeiteten Schweißraupen und bis an die Einspannköpfe geschliffenen Blechen sehr gute Zugschwellfestigkeitswerte fanden, lagen die an unbearbeiteten Proben mit belassenen Schweißraupen ermittelten Werte nur etwa halb so hoch. Soweit man aus den bei der vorliegenden Untersuchung gefundenen stark streuenden Ergebnissen der stumpf geschweißten Proben mit nicht bearbeiteten Schweißraupen überhaupt Schlüsse ziehen kann, trat hierbei keine Veränderung der Werte kalt geschweißter Proben durch nachträgliche Wärmebehandlung ein. Sowohl bei den Schweißungen mit Mantelelektroden als auch mit legierten Seelenelektroden kann man sagen, wenn die bei der Prüfung gefundenen, auf die Ausbildung des Schweißnahtübergangs zurückzuführenden Ausreißerwerte vernachlässigt werden, daß die Schwellfestigkeit auf Zug bei den nicht bearbeiteten Proben etwa 6 bis 7 kg/mm² niedriger lag als bei den Proben mit leicht bearbeiteten Schweißraupen.

¹¹⁾ Schweißtechnik im Stahlbau, herausgegeben von K. Klöppel und C. Stieler, S. 97 u. 98. Berlin 1939.

¹²⁾ E. Weiß u. Th. Hoevel, Ursprungsfestigkeiten von Schweißungen verschieden legierten St 52. Bautechn. 1937, S. 549 bis 552.

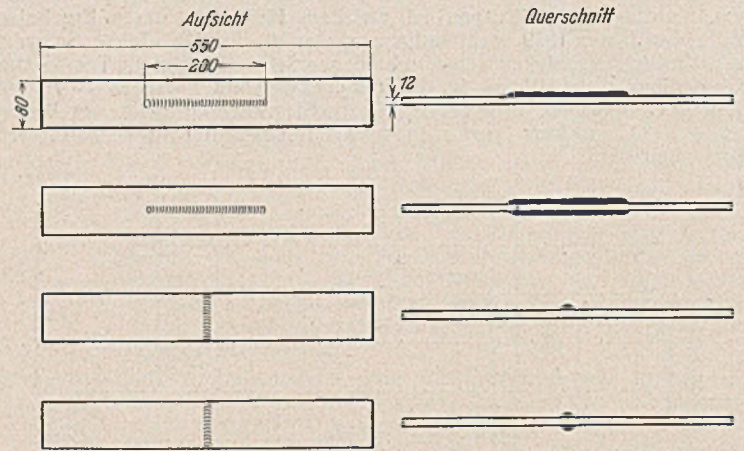


Abb. 4. Baustahl St 52, 12 mm dick. Proben zur Bestimmung der Schwellfestigkeit auf Zug mit aufgeschweißten Längs- und Querruppen (einseitig und doppelseitig).

Weitere Versuchsreihen zur Bestimmung der Schwellfestigkeit auf Zug wurden mit Proben durchgeführt, bei denen Längs- und Querruppen in je einer Lage einseitig und doppelseitig aufgeschweißt worden waren. Abb. 4 zeigt die verschiedenen Probenarten in Aufsicht und im Längs- und Querschnitt. Diese Versuchsreihen mit aufgeschweißten Querruppen wurden außer einigen Tastversuchen mit legierten Seelenelektroden (die etwa gleiche Prüfwerte ergaben) nur mit Mantelelektroden von 4 mm Durchmesser geschweißt. Die aufgeschweißten Querruppen erforderten keine Bearbeitung. Bei den Proben mit aufgeschweißten Längsraupen mußten jedoch die Enden der Raupen durch Anschleifen bearbeitet werden (auf etwa 20 mm Länge), weil Vorversuche gezeigt hatten, daß bei nicht bearbeiteten Endstellen der aufgeschweißten Längsraupen der Bruch beim Dauerversuch stets hier bei verhältnismäßig niedrigen Werten eintrat (Kerbwirkung!).

In Zahlentafel 6 sind die gefundenen Prüfwerte zusammengestellt worden. Bei den ohne Vorwärmung geschweißten und nachträglich nicht wärmebehandelten Proben haben diejenigen mit aufgeschweißten Querruppen mit 16 bis 17 kg/mm² wesentlich niedrigere Zugschwellfestigkeitswerte als die mit aufgeschweißten Längsraupen ergeben. Die Werte liegen in der Größenordnung von stumpf geschweißten Proben, bei denen

Zahlentafel 6. Zugschwellfestigkeit kg/mm² von Krupp-Baustahl St 52, 12 mm dick, mit aufgeschweißten Raupen (Mantelelektroden).

Proben mit	Probenzustand: kalt geschweißt und				bei 250° geschweißt und nicht wärmebehandelt
	nicht wärmebehandelt	2 st auf 250°/Ofen erwärmt	2 st 550°/L gegläht	1/2 st 880°/L normalgeglüht	
einseitig aufgeschweißter Querraupe	16	19	20,5	18	18
doppelseitig " "	17	22	22	21	18
einseitig " Längsraupe	24	26	27	25	24
doppelseitig " "	25	26	25	23	—

Zahlentafel 7. Firth-Härte in Querschliffen von Schweißungen an 12 mm dicken Blechen aus Krupp-Baustahl St 52.

Blechwerkstoff, durch die Schweißhitze nicht mehr beeinflusst	normalgeglüht 1/2 st 880°/L	normalgeglüht u. 2 st auf 250°/Ofen erwärmt	normalgeglüht u. 2 st 550°/L gegläht	doppelt normalgeglüht
		160	160	160
nach dem Schweißen				
	nicht wärmebehandelt	2 st auf 250°/Ofen erwärmt	2 st 550°/L gegläht	normalgeglüht
Schweißung mit Mantelelektroden: Schweißnaht	160	165	151	147
Übergangszone: a) 1 mm unter Blechrand	181	176	176	156
b) in der Mittellinie des Bleches	170	170	165	156
Schweißung mit Seelenelektroden: Schweißnaht	206	193	213	176
Übergangszone: a) 1 mm unter Blechrand	206	200	181	156
b) in der Mittellinie des Bleches	200	193	176	156

die Schweißstellen nicht bearbeitet waren. Die Werte der Proben mit aufgeschweißten Längsraupen liegen jedoch ebenso hoch und höher wie die der stumpf geschweißten Proben mit auf die angegebene Art bearbeiteten Schweißraupen. Es bestätigte sich hier wieder die bekannte Beobachtung, daß die Richtung, in der Kerbe zu der Prüflast verlaufen, bei Baustahl St 52, ebenso wie bei anderen Stählen oder Metallen, von großem Einfluß auf die Höhe der erreichten Dauerfestigkeitswerte ist.

Proben mit doppelseitig aufgeschweißten Raupen lieferten ohne Wärmebehandlung nach dem Schweißen, einerlei ob es sich um Längs- oder Querraupen handelte, etwas höhere Zugschweißfestigkeitswerte als Proben mit einseitig aufgeschweißten Raupen, was wohl auf die symmetrische Lage der Unstetigkeiten im Kraftlinienfluß der Proben zurückzuführen ist.

Durch nachträgliche Wärmebehandlung der kalt geschweißten Proben oder durch Wärmeschweißen bei 250° C trat durchweg eine Erhöhung der Zugschweißfestigkeitswerte gegenüber nicht wärmebehandelten Proben ein. Dabei ist bemerkenswert, daß durch die normalglühende Wärmebehandlung 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 Wärmeschweißen bei etwa 250° C erhöht nach den Versuchsergebnissen die Zugschweißfestigkeit stumpf geschweißter 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 Stumpfschweißungen⁴⁾ und daß diese Spannungen schon durch ein Erwärmen auf etwa 250° C oder durch ein Wärmeschweißen bei dieser Temperatur etwas abgebaut werden.

D. Metallographische und Härte-Untersuchungen.

Gefügeuntersuchungen zeigten, daß das Gefüge des Blechwerkstoffs durch keine der nachträglich angewendeten Wärmebehandlungen eine wesentliche Änderung erfahren hatte.

Die Schweißnähte zeigten Gußzustand in den obersten Schweißnähtlagen, der nur bei den nach dem Schweißen normalgeglühten Proben feinkörnig umgewandelt wurde.

Zahlentafel 7 enthält die Ergebnisse der Härtebestimmung an den Querschliffen. Um möglichst viele Bestimmungen durchführen zu können, wurde die Firth-Härte bestimmt, die in diesem Härtebereich etwa der Brinell-Härte entspricht. Die angegebenen Härtewerte sind bei dem durch die Schweißhitze nicht mehr beeinflussten Blechwerkstoff Durch-

schnittswerte, die in den Mittellinien der Querschliffe ermittelt wurden. Für die Schweißnähte selbst und die Übergangszonen werden die höchsten der ermittelten Härtewerte angegeben, und zwar einmal etwa 1 mm unter der Blechoberfläche und einmal in den Mittellinien der Querschliffe gemessen.

Die Durchschnitts-Firth-Härte des durch die Schweißhitze nicht mehr wärmebeeinflussten Blechwerkstoffs ist praktisch in allen Fällen gleich geblieben und hat nur durch das zweite Normalglühen geringfügig abgenommen.

Bei den Stumpfschweißungen hat die Mantelelektrode in allen Behandlungszuständen etwa gleiche Höchstschweißnäht Härte ergeben, die mit der Durchschnittshärte der ungeschweißten Bleche recht gut übereinstimmt. Bei der legierten Seelenelektrode liegen die Schweißnäht höchststärten erheblich höher und werden erst durch das Normalglühen herabgesetzt. Die Höchststärte der Übergangszone 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 Höchststärte der Übergangszone bei den Manteldrahtschweißungen stets etwas tiefer als die bei den Seelendrahtschweißungen. Die Härtesteigerung der Übergangszone bleibt jedoch in allen Fällen gering.

E. Zusammenfassung.

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 in dickeren Profilen wichtig sind, nämlich ein Wärmeschweißen bei etwa 250° C oder ein Erwärmen von ohne Vorwärmung hergestellten Schweißungen auf diese Temperatur oder Glühen bei 550° C, unbedenklich angewendet werden können. Statische Festigkeit, Kerbschlagzähigkeit und Dauerfestigkeitswerte der Schweißverbindungen werden dadurch durchweg günstig beeinflusst. Nach Normalglühung tritt je nach der verwendeten Elektrode eine kleine Verminderung der statischen Zugfestigkeit ein, und auch die Zugschweißfestigkeit stumpf geschweißter Proben mit bearbeiteter Schweißraupe erfährt eine geringe Verminderung, während bei Proben mit aufgeschweißten Raupen sogar eine Verbesserung der Zugschweißfestigkeit durch Normalglühen eintritt. Ein nachträgliches Normalglühen von Schweißungen an St 52 wird aber schon aus wirtschaftlichen Gründen und wegen der Gefahr des Verziehlens wohl sowieso nur in Ausnahmefällen in Frage kommen.

Alle Rechte vorbehalten.

Brücke über einen Bahnhof.

Von Magistratsbaur a. D. Walther Proschwitzky.
(Schluß aus Heft 22/23.)

In gleicher Weise ist das Ostwiderlager aufgebaut, es erhält jedoch geringere Lasten und hat in jedem Pfahlbündel nur 12 Pfähle (Abb. 33 u. 34).

Die Stützen II (Abb. 32 u. 35 bis 37) sind ebenfalls auf zwei Pfahlbündeln gegründet — je eins unter jeder Stütze —, von denen jedes aus 16 etwa 10 m langen Eisenbetonrammpfählen besteht. Die Köpfe der Pfahlbündel sind durch einen Eisenbetonbalken verbunden. Die Gründung erhält wie alle Grundwerke der Zwischenstützen aus den Pendelstützen im wesentlichen nur lotrechte Lasten, da die waagerechten Lasten aus Reibung und Stemmdruck hier zu vernachlässigen sind. Nach Fertigstellung des eigentlichen Grundwerkes wurde um dieses herum der nachträglich geforderte durchgehende Entgleisungsschutz so angebaut, daß er die Pfahlbündel und den Verbindungsbalken nicht belastet. Auf den Köpfen der Pfahlbündel ruhen stark bewehrte Auflagerquader aus Eisenbeton mit Altschienen-Rosten zur Aufnahme und Weiterleitung der etwa 600 t betragenden Stützenlast.

Die durch die Pfahlgründung erzielte Kostenersparnis ist beachtlich. Das Zwischenstützenbauwerk II hat im Jahre 1934 einschließ-

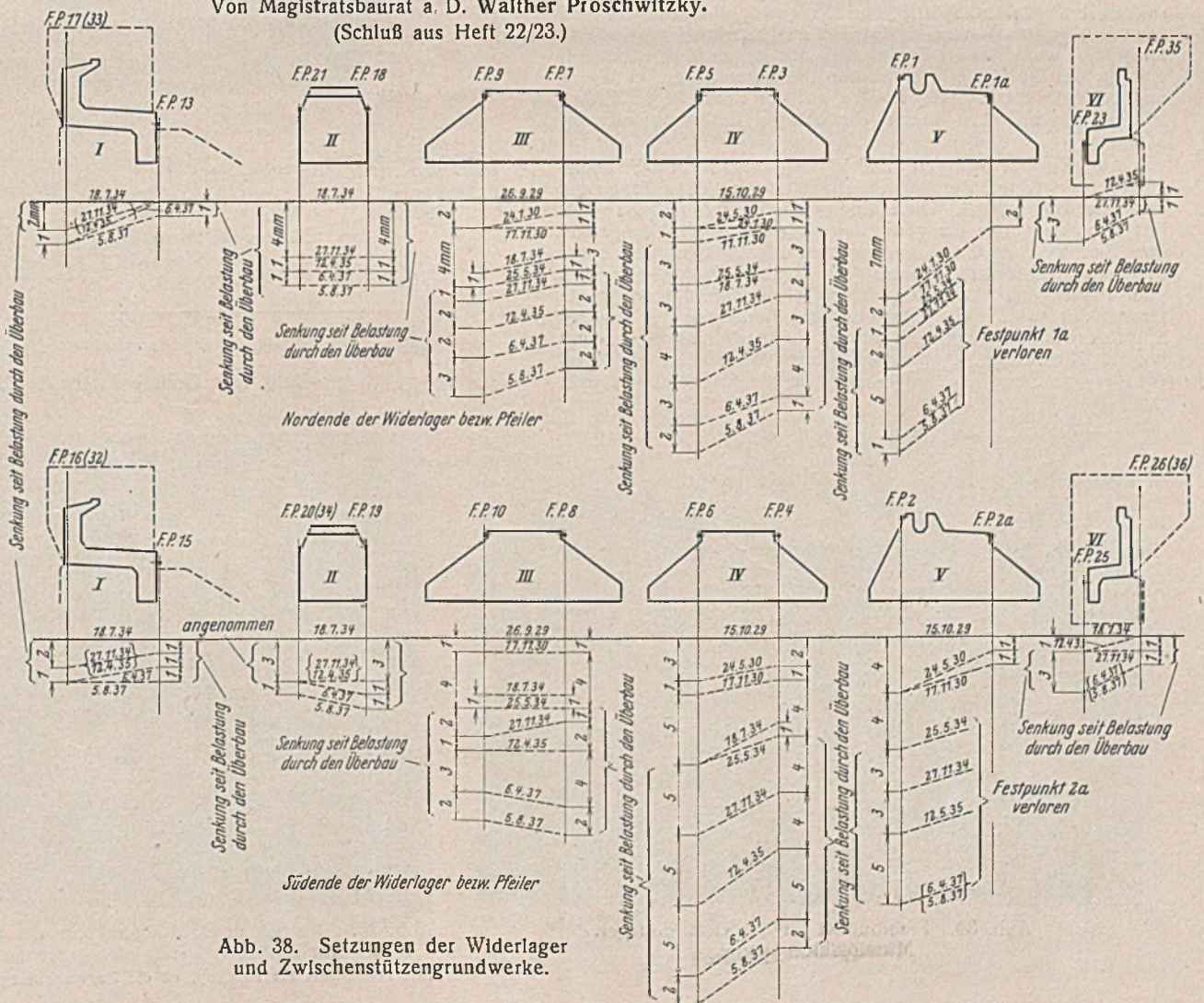


Abb. 38. Setzungen der Widerlager und Zwischenstützengrundwerke.

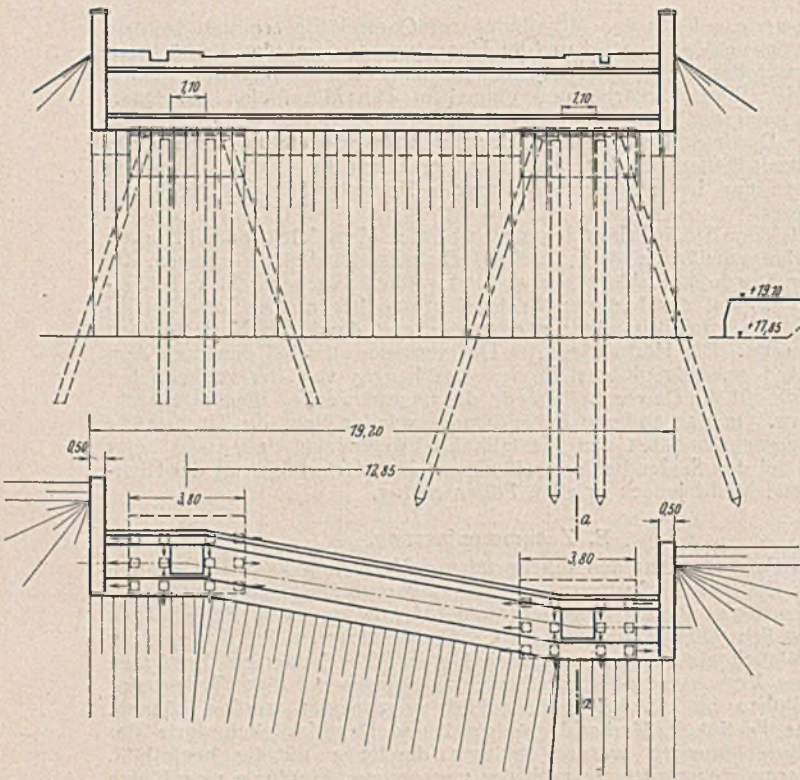
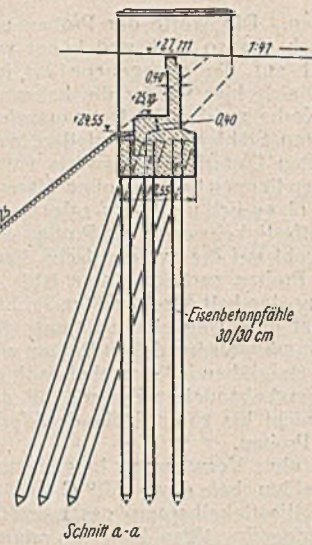


Abb. 33. Östliches Widerlager.

lich des Entgleisungsschutzes 18 000 RM. gekostet, während die Grundplatten der Zwischenstützen III bis V im Jahre 1929 einen Aufwand von je 40 000 RM. erfordert haben. Trotzdem haben nach Fertigstellung der Bauten angestellte Feinmessungen ergeben, daß die drei auf Pfählen stehenden Unterbauten wesentlich geringere Setzungen durchzumachen hatten als die flachgegründeten, und daß insbesondere die Widerlager keine Bewegungen in Brückenlängsrichtung zeigen (Abb. 38).

Der erste Spatenstich für die Gründung der Zwischenstützen II wurde im Spätherbst 1933 getan, die Arbeiten sind dann den ganzen Winter hindurch ohne Unterbrechung laufend fortgeführt worden. Die Rammfähle für die Zwischenstützen II und für das Westwiderlager wurden im wesentlichen im Januar und Februar trotz starken Frostes auf der Baustelle im Freien hergestellt und nach meist einwöchiger Erhärtungszeit verrammt.

Als Zement wurden 350 kg/m³ Rolandshütte-Schmelzement verwendet; die Würfelstärke nach sieben Tagen lag meist bei 500 kg/cm². Die Pfähle gelangten, wie Abb. 34 zeigt, fast durchweg ohne die geringsten äußeren Beschädigungen in ihre Endlage. Aus den abgekappten Pfahlköpfen nach sechs Monaten hergestellte Probewürfel ergaben Festigkeiten bis über 1000 kg/cm². Als Zuschlagstoffe zum Pfahlbeton wurde Grubenkies aus der Umgegend und aus Findlingen geschlagener Splitt verwendet, wobei auf günstige Kornverteilung Wert gelegt wurde. Kies, Splitt, Zement und Wasser wurden mittels Koksöfen erwärmt und die Schalung sowie die Eiseneinlagen kurz



Schnitt a-a

vor dem Schütten durch Abspritzen mit dem Dampfstrahl der Ramme gründlich erwärmt. Abb. 38 u. 39 zeigen eine stichprobenweise durchgeführte Messung der Abbindewärme eines Eisenbetonpfahls und zweier zugehöriger Probekörper, bei denen die zufällig stark ansteigende Außentemperatur während der Versuchsdauer — 5,4° C nicht unterschritt. Die erfolgreiche Durchführung der schwierigen winterlichen Eisenbetonarbeiten ist mit der laufenden Überwachung durch die seit 1925 bestehende städtische Baustoffprüfstelle (jetzt: Werkstoffprüfstelle beim Oberpräsidenten) zu danken, die ebenso wie die Brückenbaustelle der Leitung des Verfassers unterstand. Die genannte Dienststelle hat auch an den Rammfählen der Stützen II zwei Probelastungen durchgeführt und sowohl von den Rammfählen wie von dem übrigen Bauwerksbeton Probewürfel unter den Abbinde- und Erhärtungsbedingungen des Bauwerksbetons hergestellt und bauwerksmäßig gelagert, um sie nach Zeiträumen von mehreren Jahren abzudrücken.

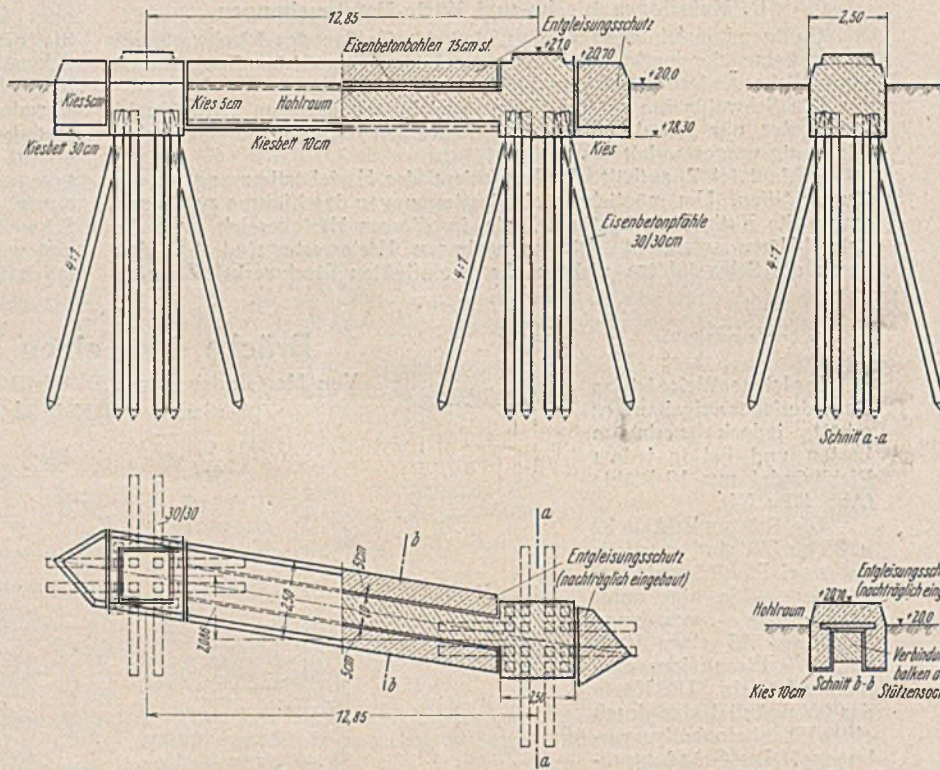


Abb. 35. Grundbauwerk für die Stützen II.

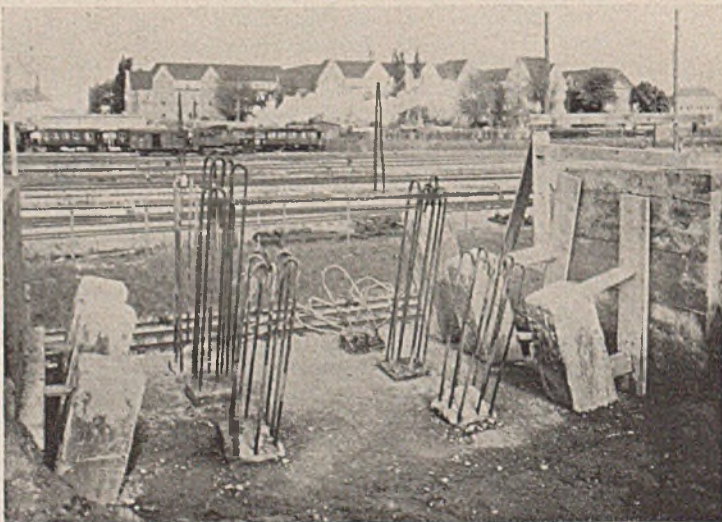


Abb. 34. Pfahlbündel für das Ostwiderlager. Mittelpfähle gekappt.

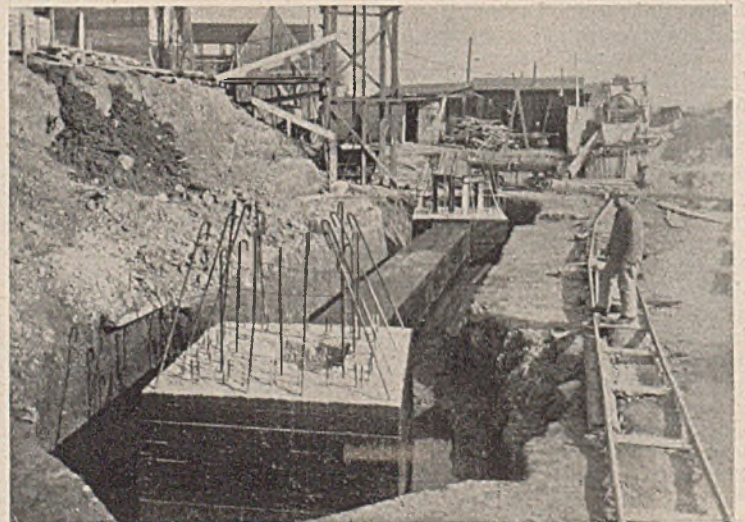


Abb. 36. Die beiden Pfahlbündelköpfe der Stützen II mit Verbindungsbalken vor Einbau des Entgleisungsschutzes und der Auflagerquader. Das Eisengerüst am Nordkopf ist die Zugvorrichtung für den Pfahlbelastungsversuch.

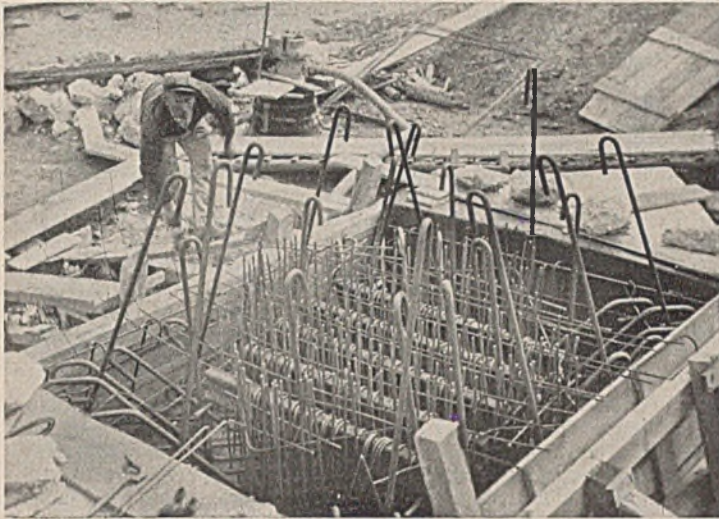


Abb. 37. Bewehrung eines Auflagerquaders der Stützen II. Eine zweite Lage Altschienen kommt kreuzweise darüber.



Abb. 39. Thermometeranordnung zur Messung der Abbinde-
wärme eines Eisenbetonpfahles.
Im Vordergrund die Probekörper 20 · 20 · 20 und 20 · 20 · 10 cm
in Säcke gehüllt.

VII. Zahlenangaben. Bauausführung.

Nach der vierjährigen Arbeitspause vom Herbst 1929 bis Herbst 1933, die der Herstellung der Grundmauern der Zwischenstützen III, IV und V folgte, wurden die Arbeiten mit der Gründung der Stütze II und der beiden Widerlager am 20. September 1933 fortgesetzt. Am 15. Dezember 1934 konnte das bis auf kleinere Restarbeiten fertige Bauwerk dem Verkehr übergeben werden.

Die Stahlüberbauten enthalten einschließlich des Geländers 980 t Baustahl, dazu 26 t Guß- und Schmiedestücke der Lagerkörper. An Beton wurden 2400 m³ mit 135 t Bewehrungsseisen und 20 t Altschienen und Schrott verbaut. Die Kosten des gesamten Bauvorhabens betragen abgesehen von einer Entschädigung von 100 000 RM. für die Einschüttung der Grundstücke durch die Rampen:

Stahlbau	510 000 RM.
Straßenbefestigung des Überbaues	73 000 "
Grundmauern der Zwischenstützen III, IV und V (erbaut 1929)	120 000 "
Westwiderlager	31 000 "
Ostwiderlager	20 000 "
Gründung der Zwischenstützen II	18 000 "
Rampen, einschl. Pflasterung, Stützmauern, Ver- sorgungsleitungen	281 000 "
Bauleitungskosten (3% der Baukosten)	33 000 "
Summe	1 086 000 RM.

Die Kosten für 1 m² überbaute Fläche, d. h. die Kosten für den Überbau, die Widerlager und die Pfeiler geteilt durch die Länge des Überbaues mal der Breite zwischen den Geländern betragen 304 RM.

Entwurf und Bauleitung oblagen innerhalb des städtischen Tiefbauamtes dem Verfasser. Die Stahlüberbauten führte eine aus zwei Brückenbauanstalten gebildete Arbeitsgemeinschaft durch, während die übrigen Bauwerksteile an mehr als 20 mittlere und kleinere Unternehmer vergeben wurden.

Vermischtes.

Sondertagung des Fachausschusses für Schweißtechnik über „Metallurgie des Schweißens“ in Hannover am 26. April 1940. Alljährlich im Spätherbst versammelt der Fachausschuß für Schweißtechnik die Sachverständigen zu einer Tagung in der Technischen Hochschule Hannover. Diesmal mußte mit Rücksicht auf den Krieg die Tagung auf den April verlegt werden. Wie üblich, stand sie unter Leitung des Professors Dr. Matting, der aus dem Felde beurlaubt war, um die Rektoratsgeschäfte zu übernehmen.

Die Tagesordnung enthielt sieben Vorträge. Zwei von ihnen befaßten sich ganz allgemein mit den metallurgischen Vorgängen bei der Schweißung von Stahl und Leichtmetall. Dr.-Ing. K. Tewes behandelte in seinem Vortrage „Metallurgische Vorgänge beim Schweißen und ihre Beobachtung unter dem Mikroskop“ die Grundlagen der Elektroschweißung, in erster Linie das Verhalten blanker und umhüllter Drähte beim Abschmelzen unter dem Lichtbogen. Der verschieden starke Einfluß von Stickstoff und Sauerstoff auf die Güte des Schweißgutes, das mit blanken oder umhüllten Drähten erzeugt war, wurde an Untersuchungsergebnissen und Schliffbildern nachgewiesen. Sehr inter-

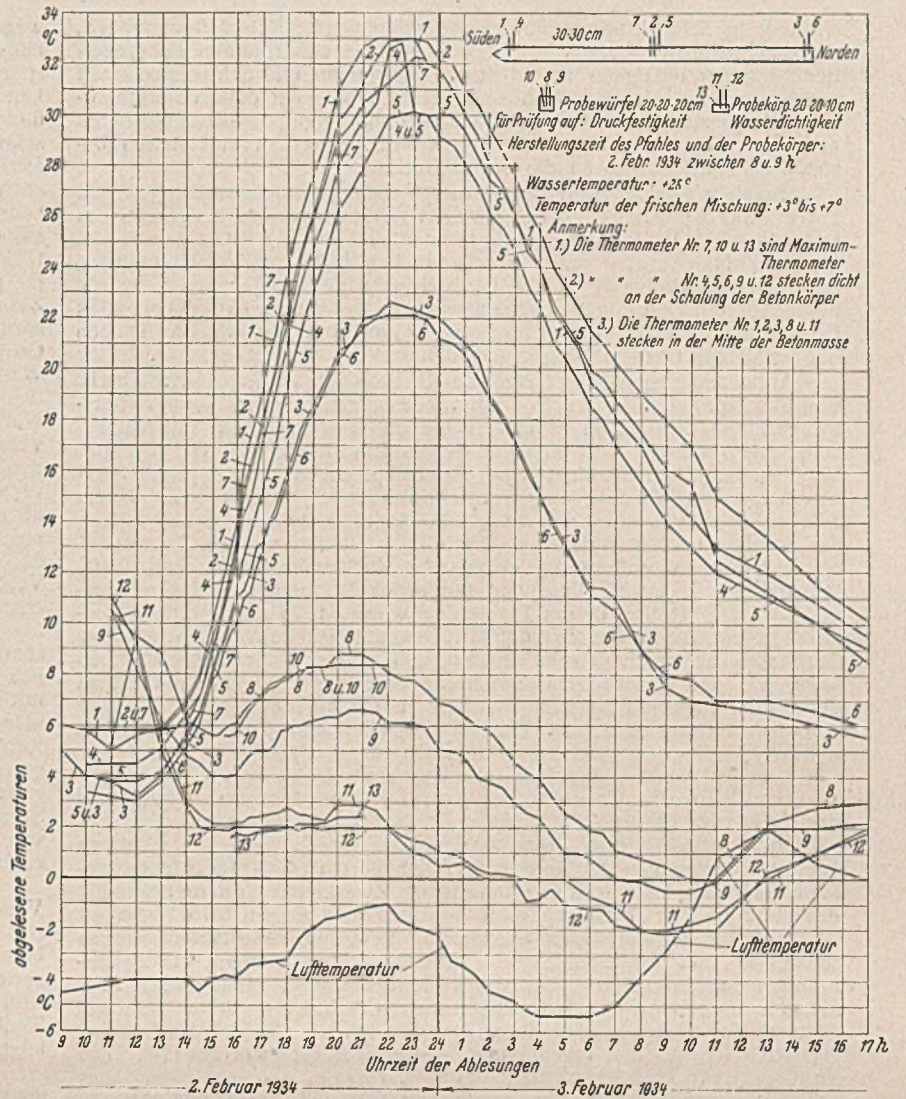


Abb. 40. Abbinde-temperaturen eines Eisenbetonpfahles und der zugehörigen Probekörper im Winter.

essant waren die Abbildungen von Tropfenaufschlägen nackter und umhüllter Schweißdrähte. Durch eine besondere Versuchstechnik war hier jeder im Lichtbogen überschmelzende Tropfen zum Einzelaufschlag auf den Stahl gebracht. Die Verschiedenartigkeit der Ausbildung der Tropfen gestattet wertvolle Rückschlüsse auf die Eignung des Schweißdrahtes für den jeweiligen Verwendungszweck. Der Einfluß der einzelnen Bestandteile im Schweißdraht und im Werkstoff und der Einfluß der Umhüllung des Schweißdrahtes wurde an dem Verhalten der Schweißung nachgewiesen. Man kann sich dem Wunsch des Versammlungsleiters nur anschließen, daß dieser Vortrag baldmöglichst veröffentlicht werden sollte.

Das Schweißen von Aluminium und seinen Legierungen behandelte Dr.-Ing. P. Brenner in dem Vortrag „Metallurgische Fragen der Leichtmetallschweißung“. Der wesentlich niedrigere Schmelzpunkt dieser Werkstoffe schafft gegenüber dem Stahl ganz andere Voraussetzungen für die Schweißtechnik, wenn die Schweiße nicht verdorben werden soll. Die Gasschweißung steht hier mehr im Vordergrund. Soweit elektrisches Schweißen doch angewendet wird, insbesondere das Punktschweißen, sind besondere Vorsichtsmaßnahmen nötig. Die Ein-

wirkung der Schweißwärme darf besonders bei den Leichtmetalllegierungen, die kalt verfestigt oder vergütet oder beides sind, keinen zu großen Rückgang der Festigkeit hervorrufen. Schweißgut und Schweißwerkstoff müssen aufeinander abgestellt sein, damit später bei etwa unterschiedlicher Rostbeständigkeit keine Rostschäden an den geschweißten Bauteilen entstehen. Plattierte Werkstoffe werden oft verwendet und stellen besondere Anforderungen an die Schweißtechnik.

Über ein Sondergebiet der Werkstoffprüfung von Schweißungen, die „Mikrohärteprüfung von Schweißverbindungen“, berichteten im Doppelvortrag Oberingenieur W. Hoffmann und Dr.-Ing. E. O. Bernhardt. Der nach Hanemann und Bernhardt bei Zeiß gebaute Härteprüfer, bei dem das Prüfgerät in die Beobachtungsoptik eingebaut ist, wurde beschrieben und die mögliche Auswirkung der noch zu gewinnenden Erkenntnisse von Bernhardt allgemein und von Hoffmann für den Sonderfall der Untersuchung geschweißter Werkstoffe angedeutet.

Auf dem gleichen Gebiet waren bereits Professor Dr.-Ing. E. H. Schulz und Dr.-Ing. habil. W. Bischof tätig. Sie untersuchten mit dem Vickers-Prüfgerät an zahlreichen in einer Linie durch Schweißgut, Aufhärtungszone und Werkstoff verlaufenden kleinen Eindrücken den Härteverlauf. Dr.-Ing. habil. W. Bischof trug dementsprechend „Über die Aufhärtung von niedrig legierten hochfesten Baustählen beim Schweißen“ vor und wies nach, wie insbesondere die Vorbehandlung des Stahls auch die Aufhärtung beeinflusst. Weiter wurden Zusammenhänge zwischen Aufhärtung, chemischer Zusammensetzung und Kerbschlagzähigkeit sowie Höhe des Biegewinkels beim Aufschweißbiegeversuch festgestellt. In der Erörterung wies man darauf hin, daß derartige Ergebnisse für die wissenschaftlich-metallurgische Weiterentwicklung des Stahls sehr wertvoll sein könnten, daß man sich aber zunächst hüten solle, aus der örtlichen Härteerhöhung einzelner Gefügebestandteile in der Aufhärtungszone zu weitgehende Schlüsse auf das Gesamtverhalten einer Schweißnaht zu ziehen. Ein Teil dieses Berichts ist von E. H. Schulz und W. Bischof inzwischen veröffentlicht worden¹⁾.

Der Vortrag des Berichters „Schweißbarkeit von Stahl, Betrachtungen und Versuchsergebnisse“²⁾ brachte einen Querschnitt der Erkenntnis über die Schweißbarkeit, insbesondere der Schwerschweißbarkeit von Stahl. Eine große Anzahl von Untersuchungen war hierzu gemeinschaftlich von der Reichsbahn, dem Verein Deutscher Eisenhüttenleute und von Materialprüfungsämtern zum Zwecke der Weiterentwicklung des St 52 und St 37 durchgeführt worden. Der Begriff Schweißbarkeit ist sehr vielseitig und setzt gleichzeitig gewisse Mindestanforderungen sowohl an den Schweißdraht wie an den Werkstoff voraus. Diese Anforderungen verschärfen sich, wenn die bei der Abkühlung nach dem Schweißen entstehenden Spannungen nicht durch Wärmebehandlung, sei es durch Vorwärmen oder nachträgliches Glühen, abgebaut werden können. Das ist bei Hoch- und Ingenieurbauten in der Regel nicht der Fall. Der Schweißdraht muß vor allem in der Lage sein, als abgeschmolzenes Schweißgut auftretende Spannungen während der Abkühlung in noch rotwarmem Zustande so weit aufzunehmen, daß Längsrisse nicht auftreten. Die Verhinderung dieser Schweißnahtsprügeligkeit durch Einführung eines entsprechenden Prüfverfahrens und Abänderung der Schweißdrahtherstellung wurde zunächst beschrieben. Aber auch an den Werkstoff müssen besondere Anforderungen gestellt werden, wenn das gegenüber der Nietung viel steifere und starrere Schweißbauwerk die Schweißspannungen noch aufnehmen soll, ohne Querrisse zu erhalten. Die Normung hat sich, wie an Beispielen gezeigt wurde, noch verhältnismäßig wenig der Frage einer besonderen Schweißgüte des Stahls angenommen. Zum erheblichen Teil beziehen sich Angaben darüber nur auf die Feuererschweißbarkeit. Seltener finden sich Angaben über die Eignung zur elektrischen oder Gasschweißung, und diese Angaben sind je nach dem in Aussicht genommenen Verwendungszweck sehr verschiedenartig.

Im Anschluß an die bekannten Quer- und Durchrisse der Gurte der Brücken am Bahnhof Zoologischer Garten und in Rüdersdorf wurden nun nach verschiedenen Richtungen Maßnahmen und Versuche angesetzt, um das Wesen der Schwerschweißbarkeit näher zu ergründen. Zur Untersuchung des Einflusses der chemischen Zusammensetzung auf die Aufhärtung wurde die Höhe des Gehalts des St 52 an Kohlenstoff, Mangan und an Silizium begrenzt. Es zeigte sich, daß Silizium fast gar nicht aufhärtet, wenn der Kohlenstoffgehalt auf 0,2% und der Mangangehalt auf 0,8% begrenzt bleiben kann. Das ist aber bei dickeren Querschnitten nicht möglich, wenn die vorgesehenen mechanischen Eigenschaften erreicht werden sollen. Daher ließ sich auch nach Begrenzung dieser Bestandteile eine erhebliche Aufhärtung bei dickeren Querschnitten nicht verhindern. Die Begrenzung der chemischen Zusammensetzung führte aber dazu, daß die verschiedenen Arten des St 52 miteinander mit dem gleichen Schweißdraht ohne Schwierigkeit verschweißt werden konnten, was früher nicht immer der Fall war. Untersuchungen des Werkstoffs der genannten Brücken ergaben, daß die mechanischen Eigenschaften und der Aufbau dieser Stähle sich nur wenig von ähnlichen Stählen, die für den Maschinenbau allgemein erzeugt werden, unterscheiden. Während man bis dahin aber die Verformung von Schweißungen mit solchen Stählen nur an Querschnitten bis zu etwa 12 mm aus wirtschaftlichen Gründen untersucht hatte, wobei sich auch schon eine recht erhebliche Einbuße an Verformungsfähigkeit der an sich genügend zähen Stähle ergab, stieg sich diese Einbuße noch ganz wesentlich, als man Längsaufschweißbiegeproben an dickeren Querschnitten bis zu 50 mm durchführte. Die Proben schlugen mit geringen Biegewinkeln bis zu 10° fast verformungslos durch, und Risse und Anbrüche in gleicher Art wie bei der Brücke am Bahnhof Zoologischer Garten konnten auf dem Versuchs-

wege erzielt werden. Auch beim St 37 war die Einbuße an Verformungsfähigkeit erheblich, bedenklich allerdings erst bei manchen Thomasstählen. Es ergab sich weiter, daß die Grenze der Schweißempfindlichkeit oder Schwerschweißbarkeit, die man bislang nach der Erfahrung zu 60 kg/mm² angesetzt hatte und die den St 52 in einen leicht und einen schwer schweißbaren Festigkeitsbereich teilt, nicht nur durch die Zugfestigkeit und die sie bedingende chemische Zusammensetzung, sondern auch durch den Schweißquerschnitt erheblich mitbeeinflusst wurde. Bei Längsaufschweißbiegeproben mit dicken Querschnitten war die Spannungsaufladung so groß, daß auch der Einfluß des Schweißdrahtes, der bei Dicken unter 30 mm deutlich nachzuweisen war, völlig überdeckt wurde. Es genügte ein Anschweißen des Werkstoffs mit Kohlelektrode ohne Zusatz eines Schweißdrahtes, um die gefährlichen Spannungen hervorzurufen. Die gewählte Art der Schweißverbindung und die Dicke des Gurtes bestimmte also das Verhalten des Werkstoffs so nachteilig, daß ein Werkstoff üblicher Zähigkeit in Grenzen von 8 bis 12 mkg/cm² nicht mehr ausreichte, um die auftretende Schweißverspannung zu verarbeiten. Werkstoff und Schweißverbindung mußten also abgeändert werden. Die Versuche ergaben weiter, daß eine Schmelzvorbehandlung des Werkstoffs und insbesondere ein Normalglühen dem Stahl eine so hohe Zähigkeit vermittelten, daß nunmehr trotz hoher Aufhärtung bei Biegewinkeln über 90° zwar die Aufhärtungszone einriß, aber niemals die Probe einbrach oder durchbrach. Es ist bekannt, daß für die erwähnten Brücken der Wulsträger gewählt war. Dieser Träger schafft eine besonders steife Verbindung zwischen Steg und Gurt, er ist also schweißtechnisch als schwierig zu bezeichnen. Bei richtiger Behandlung des Schweißvorgangs hat man trotzdem zahlreiche, insbesondere kleinere Brücken ohne Anstand geschweißt. Bei längeren Tragwerken ergaben sich aber offensichtlich Schwierigkeiten. Andererseits zeigten sich bei allen Schweißungen mit dem Nasenträger, der einer Kehlnahtverbindung entspricht, bisher keine Einrisse. Die Längsaufschweißbiegeprobe wurde daher auch auf Kehlnahtverbindungen ausgedehnt, und dabei ergaben sich für Kehlnähte günstigere Spannungsverhältnisse. Die Lage der Aufhärtungszone ist hier ganz anders, auch erlaubt der Stegspalt einen Abbau entstehender Spannungen. Wenn ferner der Querschnitt des Gurtes es ermöglicht, von vornherein die Schweißung ganz in den Steg zu verlagern, so werden ebenfalls günstige Spannungsverhältnisse geschaffen.

Kann man nun, wie das im Maschinenbau meist möglich ist, ein Vorwärmen oder Nachglühen mit der Schweißung verbinden, so lassen sich die entstehenden Spannungen weitgehend vermindern. Das ist besonders wichtig bei Instandsetzungsschweißungen. Dr.-Ing. K. Jurczyk berichtete in dem Vortrag „Das elektrische Lichtbogenschweißen dicker Wandungen“ über Ergebnisse von Versuchsreihen an Dickblechschweißungen mit dick ummantelten Schweißdrähten. Er kam zu folgender Auswertung:

1. Je weniger Schweißquerschnitt aufzufüllen ist, um so geringer sind Verformungen, Schrumpfungen und Spannungen.

2. Insbesondere die Querschrumpfung kann durch Wahl geeigneter Nahtformen von etwa 4 auf fast 0,5 mm herabgedrückt werden. Die schmale, parallelwandige Fuge ist die günstigste Form, dann kommt die schlanke X-Form, die der Doppeltulpenform gleichzuechten ist, dann die schlanke V-Form und schließlich die übrigen Nahtformen, die einen größeren Schweißquerschnitt erfordern. In der Spannungsverteilung sind die X- und Doppeltulpenformen am ungünstigsten.

3. Die dicken Wandstärken sind keinesfalls so starr, daß an allen Stellen des Querschnitts eine gleichmäßige Winkelverformung auftreten müßte. Die festgestellten Unterschiede dieser Winkelverformungen in der Nähe der beiden Wandungsflächen deuten auf ein verwickeltes inneres Spannungsbild hin.

4. Gleichmäßiges Vorwärmen und in manchen Fällen auch richtiges Stemmen sowie auch beide Maßnahmen zusammen angewendet, ermöglichen einen wesentlichen Abbau der Schweißspannungen.

5. Zur Erzielung geringer Schrumpfung ist eine möglichst geringe Wärmezufuhr in der Zeiteinheit an einer Schweißstelle anzustreben. Dies kann durch absatzweises, verteiltes Schweißen und durch Verwendung dünner Elektroden und schwacher Stromstärken erreicht werden. Bei den letztgenannten Maßnahmen ergeben sich aber, besonders bei dicken Wandungen, metallurgische Schwierigkeiten (Aufhärtungen), daher darf hiermit nicht zu weit gegangen werden. Einen zu großen Temperatursturz kann man außerdem durch Anwärmen vermeiden. Die Forderung der geringen Wärmezufuhr an der Schweißstelle in der Zeiteinheit läßt sich auch durch große Schweißgeschwindigkeit, die z. B. das „Ellira“-Verfahren gewährleistet, erfüllen. Wenn die Schweißgeschwindigkeit wesentlich größer als die Wärmeableitgeschwindigkeit im Blech ist, so hat die Wandung zum Verformen keine Zeit. Jedoch bilden sich in dem niedergeschweißten Werkstoff hohe Schrumpfspannungen, die meist deshalb nicht zum Bruch führen, weil sofort ein großer Querschnitt mit Schweißgut aufgefüllt wird. Sicher ist, daß durch Vorwärmen der Bleche auch hier ein beträchtlicher Abbau der Spannungen erzielt wird.

In ähnlichem Rahmen liegt der in diesem Heft wiedergegebene Vortrag von Dr.-Ing. K. L. Zeyen, der am Schluß der Tagung gehalten wurde.

Am Tage nach den Vorträgen vereinigten sich noch die Beiräte des Instituts für Werkstoffkunde und für Betriebswirtschaftslehre zu je einer Beiratstagung in der Technischen Hochschule. Dr. Kühnel.

INHALT: Statische Festigkeit, Kerbschlagzähigkeit und Dauerfestigkeit von geschweißtem Baustahl St 52 nach verschiedenen Wärmebehandlungen und nach Schweißung unter Vorwärmung. — Brücke über einen Bahnhof. (Schluß.) — Vermischtes: Sondertagung des Fachausschusses für Schweißtechnik über „Metallurgie des Schweißens“ in Hannover am 26. April 1940.

Verantwortlich für den Inhalt: Dr.-Ing. Erich Lohmeyer, Oberbaudirektor a. D., Berlin.
Verlag: Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin W 9.
Druck: Buchdruckerei Gebrüder Ernst, Berlin SW 68.

¹⁾ Z. d. VdI 1940, Heft 14, S. 229.

²⁾ Veröffentlicht in St. u. E. 1940, Heft 18.