

Praktisches Handbuch der gesamten Schweißtechnik

Von

Dr.-Ing. P. Schimpke und **Hans A. Horn**

Akademiedirektor, Chemnitz

Oberingenieur, Berlin

Erster Band
**Gasschmelzschweiß- und
Schneidtechnik**

Zweite
verbesserte und vermehrte Auflage

Mit 229 Textabbildungen
und 14 Zahlentafeln



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1928

Alle Rechte, insbesondere das der
Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1928
Ursprünglich erschienen bei Julius Springer in Berlin 1928
Softcover reprint of the hardcover 2nd edition 1928

ISBN 978-3-662-35541-1
DOI 10.1007/978-3-662-36369-0

ISBN 978-3-662-36369-0 (eBook)

Vorwort zur ersten Auflage.

Obwohl die neueren Schweißverfahren sich bereits weite, früher kaum geahnte Anwendungsgebiete erobert haben, begegnet man häufig einer in diesem Fabrikationszweige kaum zu erwartenden Fachkenntnis. Den Schweißanlagen liefernden Firmen ist es selten möglich, dem Käufer ausreichende, persönliche Anweisungen mit auf den Weg zu geben. So bleiben der Anfänger im Schweißen und die ein Schweißverfahren neu aufnehmende Fabrik fast immer ihrem Schicksal überlassen und zahlen viel unnötiges Lehrgeld. Um so mehr macht sich der Mangel an für die Praxis geeigneter Fachliteratur geltend. Ein praktisches Handbuch der neueren Schweißverfahren muß einmal möglichst schlicht geschrieben sein. Es darf bei vielen Lesern nur geringe Vorkenntnisse voraussetzen. Andererseits wird das Buch viel zu umfangreich, wenn es alle Schweißverfahren gründlich genug behandeln will. Eine Einzeldarstellung der wichtigsten Verfahren erscheint daher heute als das Gegebene und wird auch von vielen Seiten gewünscht.

Dem im vorigen wiedergegebenen Gedankengang folgend, haben die Verfasser sich entschlossen, zwei getrennte Bücher, eins über „Das autogene Schweißen und Schneiden“ und das zweite über „Das elektrische Schweißen“ zu bringen, von denen das erste hiermit der Öffentlichkeit übergeben wird. Sie wollen weiter die unverkennbare Lücke in der an sich nicht armen Fachliteratur beseitigen helfen und dem Schweißer und Handwerksmeister einen wirklichen Berater an die Hand geben, in dem er alles Wissenswerte findet und verstehen kann. Der meist wertlose Abdruck zahlreicher Firmenkatalogbilder ist nach Möglichkeit fortgelassen. Besonderer Wert wurde darauf gelegt, alles Nebensächliche zu umgehen und nur Wichtiges aufzunehmen. Vor allem soll dem Schweißer gesagt werden: Was und wie kann ich mit Erfolg autogen schweißen und schneiden! Wie muß ich die Arbeiten vorbereiten, wie sie nach dem Schweißen behandeln! Wie sind die Geräte sachgemäß zu behandeln usw. Diesen Grundsätzen folgend, wird das Buch aber auch für den Ingenieur und Fabrikleiter ebenso wertvoll sein können, wie für den Schweißer selbst.

Möge uns die Lösung der gestellten Aufgaben befriedigend gelungen sein, und das Buch zum weiteren Ausbau der Technik autogener Metallbearbeitung beitragen.

Chemnitz, im August 1924.

Schimpke. Horn.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Die freundliche Aufnahme, die der ersten Auflage unseres ersten Bandes bei Fachleuten und Laien zuteil wurde, berechtigt uns zu der Annahme, daß der Weg, den wir bei der Bearbeitung des Themas beschritten haben, wohl der richtige war. Wenn wir trotzdem heute die zweite Auflage in zum Teil erheblich umgestellter und erweiterter Form der Öffentlichkeit übergeben, so sind wir uns natürlich bewußt, daß eine Erhöhung des Kaufpreises der weiteren Verbreitung des Buches nicht gerade günstig ist; wir entsprechen mit der Erweiterung aber insbesondere häufigen Wünschen und Anregungen aus dem Kreise der Leser und der Teilnehmer an Schweißkursen.

Wesentliche Änderungen auf dem Gebiete der Gerätekonstruktion haben entsprechende Berücksichtigung gefunden. Im Abschnitt „Azetylenentwickler“ mußten die neuerdings immer mehr eingeführten Hochdruckentwickler näher besprochen werden. Die im Abschnitt „Die Technik des Schweißens“ bezüglich der Schweißung des Gußeisens und der Nichteisenmetalle gemachten Ausführungen sind durch eine größere Anzahl Bilder von praktisch durchgeführten Schweißungen weiter vertieft worden. Eine Ergänzung erfuhren ferner die Abschnitte „Die Güte der Schweißnaht“ und „Leistungen und Kosten der Schweißverfahren“. Der Schlußabschnitt über „Förderung des Schweißens“ enthält bereits die ersten genaueren Richtlinien für Schweißkurse. So glauben wir, dem augenblicklichen Stande der Gasschmelzschweißtechnik gerecht geworden zu sein, und dürfen eine freundliche Aufnahme der neuen Auflage in der engeren und weiteren Fachwelt erhoffen.

Chemnitz-Berlin, im März 1928.

Schimpke. Horn.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Einleitung	1
A. Allgemeines über Schweißen und Gasschmelzschweißung (autogenes Schweißen)	1
Zusammenfügungsarbeiten S. 1. — Begriff des Schweißens S. 1. — Arten der Schweißverfahren S. 1. — Wesen der Gasschmelzschweißung S. 2. — Arten der Gasschmelzschweißverfahren S. 2.	
B. Die sonstigen neueren Schweißverfahren	2
Die Wassergasschweißung S. 3. — Die Thermiterschweißung S. 3. — Die elektrischen Schweißverfahren S. 4.	
C. Überblick über die Einrichtungen verschiedener Schweißanlagen	8
II. Die Einzeleinrichtungen für die Gasschmelzschweißung	10
A. Die zur Erzeugung der Schweißflammen notwendigen Gase	10
1. Sauerstoff	10
2. Brenngase	12
Wasserstoff S. 12. — Leuchtgas S. 13. — Äthylen und Methan S. 14. — Blaugas S. 14. — Benzol S. 15. — Azetylen S. 15. — Azetylen-Dissous S. 21.	
B. Azetylenanlagen, Schweißgeräte und deren Behandlung	24
1. Stahlflaschen für verdichtete Gase	24
Einrichtung der Stahlflaschen S. 24. — Behandlung der Stahlflaschen S. 28. — Berechnung des Gasinhalts der Stahlflasche S. 30. — Undichtigkeiten an Stahlflaschenventilen S. 32. — Prüfung der Gasreinheit S. 33. — Lagerung der Stahlflaschen S. 33. — Festverlegte Sauerstoffleitung S. 34. — Explosionsgefahr der Flaschen S. 35.	
2. Druckminderventile	36
Konstruktion und Arbeitsweise S. 36. — Behandlung der Ventile S. 43.	
3. Azetylerzeugungsanlagen	47
a) Allgemeines und Einteilung der Entwickler S. 47. — b) Azetylenentwickler des Systems „Karbid ins Wasser“ S. 50. — c) Azetylenentwickler des Systems „Wasser zum Karbid“ S. 55. — d) Hochdruckentwickler S. 60. — e) Allgemeine Einrichtungen und Behandlung der Entwickler S. 64. — f) Nebeneinrichtungen der Azetylerzeuger S. 71. — g) Sicherheitsvorlage S. 74.	
4. Schweißbrenner	79
a) Konstruktion und Arbeitsweise	79
Wasserstoffbrenner S. 79. — Niederdruckazetylenbrenner S. 80. — Framabrenner S. 86. — Schweißbrenner für andere Schweißgase S. 87.	
b) Die Schweißflammen	89
Die Azetylen-Sauerstoffflamme S. 90. — Die Wasserstoff-Sauerstoffflamme S. 94. — Verschiedene Brenngas-Sauerstoffflammen S. 95.	
c) Behandlung und Handhabung der Brenner	95
Behandlung S. 95. — Handhabung S. 99.	
C. Das Schweißzubehör	103
1. Schläuche	103
2. Brillen	104
3. Verschiedenes Zubehör	104
4. Zulegwerkstoff (Schweißdraht)	106
5. Schweißpulver (Flußmittel)	107
III. Die Technik der Gasschmelzschweißung	108
A. Allgemeines über die Eigenschaften der schweißbaren Metalle	108
Die schweißbaren Metalle S. 108. — Farbe S. 109. — Dichte S. 109. — Festigkeit S. 109. — Verhalten in der Wärme S. 109.	
B. Allgemeines über die Technik des Schweißens	110
Anwendungsgebiete S. 110. — Allgemeines über die Schweißung S. 110.	

	Seite
C. Die Schweißung von Schmiedeeisen und Stahl	111
1. Eigenschaften und Schweißbarkeit von Schmiedeeisen und Stahl	111
2. Vorbereitungsarbeiten bei Blechschweißungen	113
3. Schweißung von Blechgefäßen	118
4. Schweißung von Profilleisenkonstruktionen	122
5. Schweißung von Rohren und Rohrkonstruktionen	124
6. Die Schmelzschweißung als Ausbesserungsmittel	130
7. Aussehen, Bearbeitung und äußerliche Prüfung der Schweißnaht	135
8. Schweißung von Sonderstahl, Stahlformguß, Temperguß	138
D. Die Schweißung von Gußeisen	141
1. Eigenschaften und Schweißbarkeit des Gußeisens	141
2. Vorgänge beim Gußeisenschweißen	143
3. Bekämpfung der Gußspannungen	145
4. Ausführung von Gußschweißungen	146
E. Die Schweißung der Nichteisen-Metalle	153
1. Schweißung des Kupfers und seiner Legierungen	153
a) Eigenschaften von Kupfer, Messing, Bronze, Rotguß S. 153. — b) Ausführung von Kupferschweißungen S. 154. — c) Ausführung von Messingschweißungen S. 159. — d) Schweißung von Bronze und Rotguß S. 160.	
2. Schweißung des Aluminiums und seiner Legierungen	161
a) Eigenschaften des Aluminiums und seiner Legierungen S. 161. — b) Ausführung von Aluminiumschweißungen S. 162.	
3. Schweißung der übrigen Metalle	167
a) Nickel S. 167. — b) Blei S. 168. — c) Zink S. 169. — d) Silber, Gold, Platin S. 169.	
IV. Das Löten mit dem Schweißbrenner (autogenes Löten)	170
Hartlötung S. 170. — Weichlötung S. 171. — Aluminiumlötung S. 171.	
V. Die Güte der Schweiße und ihre Prüfung	172
A. Allgemeiner Überblick	172
B. Festigkeitsuntersuchungen	174
C. Metallographische Untersuchungen	179
D. Chemische Untersuchungen	185
E. Untersuchungen mittels Röntgenstrahlen	186
VI. Leistungen und Kosten der Gasschmelzschweißverfahren	187
Blechschweißungen S. 187. — Vergleich der verschiedenen Schweißverfahren S. 191. — Schweißen gegen Nietens S. 194. — Einzelkostenberechnung S. 195.	
VII. Das Brennschneiden (autogenes Schneiden)	196
A. Grundsätzliches über das Brennschneiden	196
Wesen des Schneidens S. 196. — Schneidpatente S. 196.	
B. Die Schneideinrichtungen	196
1. Die Schneidbrenner	196
2. Die Schneidmaschinen	200
C. Die Technik des Brennschneidens	204
1. Das Schneiden von Schmiedeeisen, Stahl und Stahlguß	205
2. Beeinträchtigungen des Schneidvorgangs	207
3. Gefügeveränderung der Schnittländer	208
4. Die Schneidbarkeit der Metalle	208
5. Das Schneiden von Gußeisen	208
6. Das Schneiden unter Wasser	211
D. Schnittleistungen	213
VIII. Förderung der Schweiß- und Schneidtechnik	214
Wissenschaftliche Arbeiten, Vorträge S. 215. — Schulunterricht S. 215. — Richtlinien für Schweißkurse S. 216. — Lehrlingsausbildung und Schweißhandwerk S. 218.	
Sachverzeichnis	220

Zeichen und Abkürzungen.

Abb. = Abbildung
bzw. = beziehungsweise
d. h. = das heißt
s. = siehe
sog. = sogenannt
u. dgl. = und dergleichen
usw. = und so weiter
z. B. = zum Beispiel
∴ = bis

D.R.P. = Deutsches Reichs-
patent
WE = Wärmeeinheit
at = Atmosphäre
1° = 1 Grad Celsius
1'' = 1 Zoll englisch
vH = vom Hundert
M. = Mark
NP = Normalprofil
V = Volt

A = Ampere
kWh = Kilowattstunde
s = Sekunde
min = Minute
h = Stunde
mm = Millimeter
m = Meter
m³ = Kubikmeter
l = Liter
kg = Kilogramm

I. Einleitung.

A. Allgemeines über Schweißen und Gasschmelzschweißung (autogenes Schweißen).

Zusammenfügungsarbeiten. Die Gasschmelzschweißung (autogenes Schweißen) gehört zu den Zusammenfügungsarbeiten. Unter diesen verstehen wir, soweit es die Metallbearbeitung angeht, lösbare oder unlösbare Verbindungen zweier oder mehrerer Metallstücke. Die lösbaren Verbindungen sind in der Hauptsache die Verschraubungen und die Keilverbindungen. Zu den nicht lösbaren oder starren Verbindungen sind vor allem die durch Falzen, Nieten, Löten und Schweißen entstandenen zu rechnen. In Wettbewerb stehen hier miteinander Nieten, Löten und Schweißen. Das Nieten erfordert zunächst Herstellung der Nietlöcher und Niete und dann die eigentliche Nietarbeit einer Nietkolonne von 3÷5 Mann. Beim Löten, der dem Schweißen verwandtesten Verbindungsart, wird zur Zusammenfügung der Metallstücke das Lot, ein leichter schmelzbares Metall oder eine Legierung (ein Gemisch mehrerer Metalle), benutzt. Beide Verbindungsarten werden heute auf den meisten Anwendungsgebieten mehr und mehr durch das Schweißen verdrängt.

Begriff des Schweißens. Man versteht unter Schweißen eine Zusammenfügung zweier ähnlich zusammengesetzter Stoffteile derart, daß die Verbindungsstelle mit den beiderseits benachbarten Teilen ein möglichst homogenes (gleichartiges) Ganzes bildet. Man unterscheidet in der Hauptsache zwischen Preßschweißung (Knet-schweißung), bei der die Zusammenfügung der beiden Stoffteile unter Anwendung von Druck in teigigem Zustande vor sich geht, und Schmelzschweißung, bei der sich die Vereinigung in flüssigem Zustande der Schweißstelle, im allgemeinen ohne Anwendung von Druck und mit oder ohne Hinzufügung neuen Werkstoffs, vollzieht.

Arten der Schweißverfahren. In der vorstehenden Begriffsbestimmung des Schweißens sind bereits zwei neugeprägte Ausdrücke, Preßschweißung und Schmelzschweißung, benutzt worden, von denen der letztere heute schon vielfach Anwendung findet. Unter weiterer Benutzung dieser Ausdrücke ergibt sich folgende Einteilung der Schweißverfahren:

1. Preßschweißung (Druckschweißung, teigiger Zustand des Werkstoffs):
 - a) Hammerschweißung (als Koksfeuer- oder Wassergasschweißung);
 - b) elektrische Widerstandsschweißung;
 - c) Thermitpreßschweißung;
2. Schmelzschweißung (flüssiger Zustand des Werkstoffs):
 - a) Gasschmelzschweißung (autogene Schweißung);
 - b) Elektroschmelzschweißung (elektrische Lichtbogenschweißung);
 - c) Thermitgießschweißung und Gußeisenschweißung nach dem Gießverfahren.

Wesen der Gasschmelzschweißung (autogenen Schweißung). Die Bezeichnung „autogen“ (selbsterzeugend), die für den deutschen Sprachgebrauch an und für sich unglücklich gewählt ist, soll zum Ausdruck bringen, daß diese Schweißung ohne Aufwand mechanischer Arbeit bewerkstelligt wird, was übrigens nur in beschränktem Umfang richtig ist. Besser ist, wie schon im vorigen erwähnt, der Name „Schmelzschweißung“, und zwar genauer „Gasschmelzschweißung“ zum Unterschied von der „elektrischen (oder Elektro-) Schmelzschweißung“.

Bei der Gasschmelzschweißung (es soll die neuere Bezeichnung auch hier laufend gebraucht werden) wird ein Gassauerstoffgemisch an der Spitze eines sog. Schweißbrenners entzündet, und die entstandene Stichflamme von hoher Temperatur ruft ein örtliches Schmelzen des Metalles hervor, wobei die Schweißkanten ineinander überfließen. Je nach Bedarf wird noch Zusatzwerkstoff (Schweißdraht) und ein Schutzmittel (Schweißmittel, Schweißpulver) verwendet. Das Schweißpulver soll dazu dienen, das stets an der Schweißoberfläche sich bildende Metall-oxyd (die Metallsauerstoffverbindung, aus flüssigem oder hochoberhitztem Metall und Luftsauerstoff entstanden) unschädlich zu machen. Es bildet mit dem Metall-oxyd zusammen eine glasige, leicht schmelzbare Schlacke, die die Schweißstelle gegen Einwirkung weiteren Luftsauerstoffs schützt und nach dem Schweißen leicht durch einige Hammerschläge entfernt werden kann. Bei Anwendung einer reduzierenden (d. h. Sauerstoff entziehenden) Flamme kann man in bestimmten, später genauer besprochenen Fällen das Schweißpulver fortlassen.

Arten der Gasschmelzschweißverfahren. Für die Zwecke der Gasschmelzschweißung hat man verschiedene Brenngase nutzbar gemacht, die stets mit (möglichst reinem) Sauerstoff gemischt werden und eine Stichflamme von verschieden hoher Temperatur und verschiedener chemischer und physikalischer Beschaffenheit ergeben. Die wichtigsten Verfahren sind folgende:

- a) Das Azetylen-Sauerstoffschweißverfahren, bei dem das Azetylen entweder in einem besonderen Entwickler selbst erzeugt, oder in Stahlflaschen verdichtet als gelöstes Azetylen (Dissousgas) verwendet werden kann;
- b) das Wasserstoff-Sauerstoffschweißverfahren;
- c) das Leuchtgas-Sauerstoffschweißverfahren;
- d) das Blaugas-Sauerstoffschweißverfahren;
- e) das Methan- und Äthylen-Sauerstoffschweißverfahren;
- f) das Öl-, Luft- und Vulkangas-Sauerstoffschweißverfahren;
- g) das Schweißen mit flüssigen Brennstoffen, wie Benzin- oder Benzoldampf (Oxy-Benz-Verfahren genannt, das Oxy herrührend von Oxygenium = Sauerstoff), ferner mit Petroleum- und Spiritusdämpfen. Alle diese Dämpfe flüssiger Brennstoffe werden im Brenner ebenfalls mit Sauerstoff gemischt.

Von Bedeutung ist vorwiegend das Azetylen; die übrigen Gasarten spielen eine mehr oder weniger untergeordnete Rolle, weshalb sie künftighin meist nur noch kurz gestreift werden.

B. Die sonstigen neueren Schweißverfahren¹.

Altbekannte Schweißverfahren sind die Hammerschweißung (Feuerschweißung) von Schmiedeeisen und Stahl und das Anschweißen, richtiger Angießen abgebrochener Gußstücke. Die Feuerschweißung findet noch immer Anwendung

¹ S. auch Schimpke: Die neueren Schweißverfahren. 2. Aufl. H. 13 der Werkstattbücher, Berlin: Julius Springer 1926.

bei Schmiedearbeiten und bei der Herstellung stumpf und überlappt geschweißter Rohre. In Graugießereien, in denen man ja immer flüssiges Gußeisen zur Verfügung hat, wird das Ausbessern von Gußstücken, an denen z. B. kleine oder größere Teile abgebrochen sind, meist noch durch Aufsetzen einer Form auf die Bruchstelle und Aufgießen hochohitzten Gußeisens ausgeführt. Im folgenden soll nun noch ein kurzer Überblick über die neben der Gasschmelzschweißung wichtigsten neueren Schweißverfahren gegeben werden.

Die Preßschweißung als Wassergasschweißung. Wenn man durch einen schachtartigen, mit glühenden Kohlen gefüllten Generator (Gaserzeuger) Wasserdampf hindurchbläst, so wird der Wasserdampf zerlegt, und es entsteht das sog. Wassergas, dessen brennbare Bestandteile Wasserstoff und Kohlenoxyd (zu je etwa 50 vH) sind.

Dieses Wassergas wird mit Luft in Brennern gemischt und ergibt eine Stichflamme von etwa 1800° Temperatur, mit der das Werkstück an Stelle des Koksfeuers erhitzt wird. Abb. 1 zeigt im Schema die Anordnung einer Wassergasschweißstraße, wie sie zur Schweißung größerer Rohre benutzt wird. Die durch zwei Brenner auf $100\text{--}300$ mm

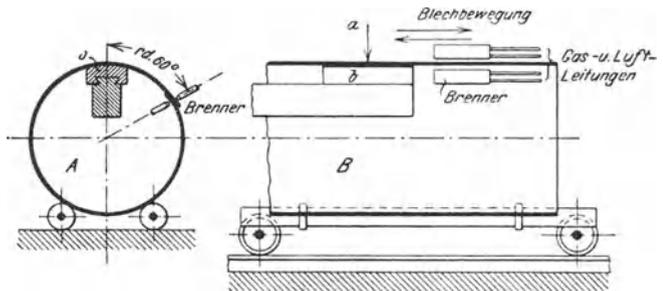


Abb. 1. Wassergasschweißstraße.

Länge erwärmte Rohrnaht wird um etwa 60° gedreht (Abb. 1 A) und bei a auf dem Amboß b durch Hand- oder Maschinenhämmer, oder auch durch große, mit Hilfe von Wasserdruck angepreßte Rollen geschweißt. Sind die Brenner rechts vom Amboß angebracht (Abb. 1 B), so muß das Rohr nach dem Erhitzen nach links auf einem Wagen verschoben werden. Das Blech wird nur teigig, wie bei der Koksfeuerschweißung. Dabei wird im allgemeinen überlappt geschweißt, d. h. die Bleche müssen auf eine bestimmte Breite, je nach der Blechstärke, übereinandergelegt werden, wie beim Nieten (siehe Abb. 2). Für große Blechstärken, insbesondere von 40 mm an aufwärts, wendet man die Keilschweißung an, wie es die Abb. 2 zeigt.



Abb. 2. Wassergasblechschweißung.

Die Wassergasschweißung kommt hauptsächlich für die Schweißung großer Rohre und Blechzylinder von $15\text{--}80$ mm Wandstärke in Frage, ist auf diesem Sondergebiet wohl bisher noch allen anderen Verfahren überlegen, kommt aber für andere Anwendungsgebiete wegen der hohen Anschaffungskosten des Wassergasgenerators und der Schweißeinrichtung kaum in Betracht.

Die Thermiterschweißung als Preß- und Gießschweißung. Thermit ist ein Gemisch von Eisenoxyd und Aluminium, beides in Pulverform, das sich bei etwa 1200° (mit Hilfe eines Entzündungsgemisches, Bariumsuperoxyd und Aluminiumpulver) entzündet und zur Zersetzung bringen läßt. Unter großer Hitzeentwicklung entsteht bei etwa 3000° Temperatur dünnflüssiges Schmiedeeisen und obenaufschwimmend flüssige Schlacke (Aluminiumoxyd, Tonerde). Thermit wird in kleinen Säckchen von 5 und 10 kg Gewicht von der Th. Goldschmidt A.-G., Essen, geliefert. 1 kg Thermit ergibt $\frac{1}{2}$ kg Eisen und $\frac{1}{2}$ kg Schlacke. Der Entzün-

dungsvorgang, der nur 10–20 s dauert, wird in sog. Spezialtiegeln (einfachen Kipptiegeln, Abb. 3 I) oder in Spitztiegeln (Abb. 3 II) ausgeführt.

Die Thermiterschweißung ist entweder eine Preß- oder Gießschweißung. Abb. 3 I zeigt die Gießschweißung zur Ausbesserung kleiner Fehler an Gußstücken unter Anwendung des Spezialtiegels, aus dem die Schlacke vorher sorgfältig abgegossen sein muß. In Abb. 3 III sehen wir die Gießschweißung, und zwar das Anschweißen eines Walzenzapfens. Thermit wird einfach aufgeschüttet und angezündet; es dient zum Aufweichen der Bruchfläche. Die aufgesetzte Form wird nach Abziehen der Thermitschlacke mit Gußeisen vollgegossen. Abb. 3 II kann sowohl als Beispiel für die Gießschweißung wie für die Preßschweißung dienen,

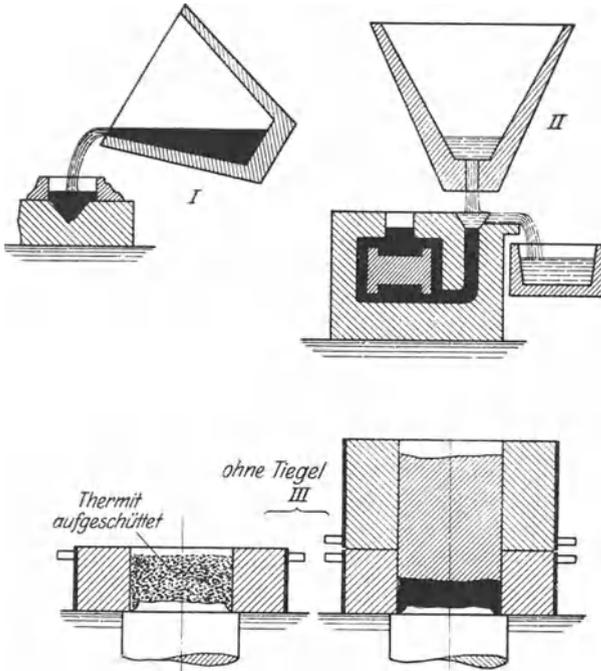


Abb. 3. Thermiterschweißung.

zugleich zeigt sie die Verwendung des Spitztiegels. Bei der Preßschweißung umgießt man zwei aneinanderstoßende Rohre oder Straßenbahnschienen mit Thermit und Schlacke, macht sie dadurch schweißwarm und drückt sie mittels besonderer Preßvorrichtungen gegeneinander. In manchen Fällen, z. B. bei Rohrstumpfschweißungen, schüttet man zuerst die Schlacke in die Form, damit erstere als Schutzschicht wirkt, und das Thermit Eisen nicht etwa das Rohr durchbrennt.

Um an Thermit zu sparen und um eine Überhitzung des Schweißstoßes zu verhüten, wärmt man häufig auch die Schweißstelle und auch die Form mit heißen Gasen (Benzoldämpfen usw.) vor, die der Schweißstelle durch einen besonders angeschlos-

senen Apparat zugeführt werden. Im unteren Teil des Spitztiegels (Abb. 3 II) wird dann etwas Eisenschrott gelagert, damit das Thermit Eisen nicht zu heiß in die Form gelangt.

Die Thermiterschweißung, die früher auch bei Ausbesserungsarbeiten an besonders schweren Guß- und Schmiedeteilen in Frage kam, beherrscht heute fast ausschließlich die Verbindung von Schienenstößen der Straßenbahn als Sondergebiet. Eine Schweißkolonne kann in 8 h etwa 10 Thermitstöße herstellen.

Die elektrischen Schweißverfahren¹. Diese Verfahren zerfallen in zwei große Gruppen. In das Gebiet der Preßschweißung gehören die elektrischen Widerstandsschweißverfahren, in das Gebiet der Schmelzschweißung fallen die Lichtbogenverfahren.

¹ Ausführliches s. Schimpke-Horn: Praktisches Handbuch der elektrischen Schweißtechnik, Bd. II. Berlin: Julius Springer 1926.

Bei den elektrischen Widerstandsschweißverfahren wird die Eigenschaft des elektrischen Stroms ausgenutzt, daß er den stromleitenden Körper an Stellen, die größeren Widerstand bieten (dies sind die Schweißstellen), stark erwärmt. Zur Erzeugung großer Wärmemengen arbeitet man zweckmäßig mit Strom von hoher Stromstärke (bis zu 100000 A) und niedriger Spannung (1–10 V), und diesen Strom kann man sehr einfach aus dem Wechselstrom eines Hauptstromnetzes mit Hilfe eines Transformators (Umformers) erhalten. Abb. 4 zeigt im Schema, wie der aus dem Hauptnetz entnommene Strom im Transformator auf niedrige Spannung umgeformt und dann durch zwei Kupferklemmen den bei *a* stumpf aneinanderstoßenden Werkstücken zugeführt wird. Er findet an der Übergangsstelle größeren Widerstand und erwärmt diese Stelle in kürzester Zeit auf Schweißglut. Unter Ausschaltung des Stroms werden nun die stoßenden maschinell zusammengepreßt. Sämtliche zum Schweißen erforderlichen Teile, einschließlich des Transformators, baut man in einer „Schweißmaschine“ zusammen.

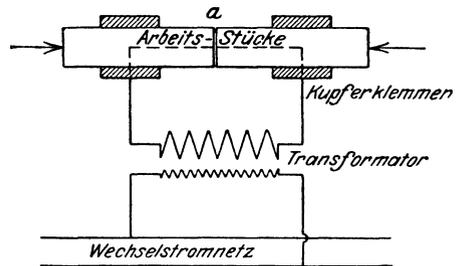


Abb. 4. Schema der elektrischen Stumpfschweißung.

Aus der im vorigen beschriebenen Stumpfschweißung entwickelte sich dann später die Punktschweißung, bei der dünne, übereinandergelegte Bleche punktweise — ähnlich der Vernietung — verschweißt werden, und weiter die Nahtschweißung, bei der die punktweise Schweißung der Bleche durch Anwendung von Rollenelektroden zur Schweißung fortlaufender Nähte weiter ausgestaltet worden ist.

Die elektrische Widerstandsschweißung hat ihre ganz besonderen Anwendungsgebiete. Es sind dies in der Hauptsache: die einfache Stumpfschweißung, einschließlich der Ketenschweißung, und die Massenherstellung dünnwandiger Blechkörper.

Bei den elektrischen Lichtbogen- od. Flambogenschweißverfahren wird der zwischen zwei Elektroden gezogene Lichtbogen zur Erzeugung der Schweißhitze benutzt. Da der Lichtbogen eine Temperatur von etwa 3500° hat, wird die Schweißstelle dünnflüssig. Den ersten brauchbaren Lichtbogenschweißapparat erfand Benardos. Abb. 5 zeigt im

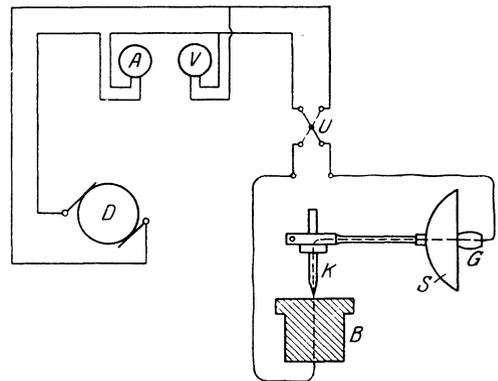


Abb. 5. Schema einer Lichtbogenschweißanlage.

Schema, daß von einer Dynamomaschine *D* aus elektrischer Strom — unter Messung durch das Amperemeter *A* und Voltmeter *V* — zum Umschalter *U*, Griff *G* mit Schutzschirm *S* und dann zur Kohlenelektrode *K* und zum Werkstück *B* geführt wird. Durch leichtes Anheben von *K* entsteht zwischen *K* und *B* der Lichtbogen. Ein Schweißdraht wird mit eingeschmolzen. Einfacher und deshalb heute fast allgemein gebräuchlich ist das Verfahren von Slavianoff, bei dem an Stelle der Kohlenelektrode *K* eine Metallelektrode von 2–6 (Gußeisen bis 15) mm Durchmesser eingesetzt wird. Das von der Elektrode abfließende Metall füllt die Schweißfuge aus. Seltener verwendet wird ein drittes Verfahren,

nach Zerener, bei dem man mit Hilfe von zwei Kohlenelektroden und einem Magnet den Lichtbogen in Form einer Stichflamme erzeugt.

Bis vor einigen Jahren benutzte man für die Lichtbogenschweißung nur Gleichstrom von etwa 15 ÷ 65 V Spannung und 40—1000 A Stromstärke. Da bei der Bildung des Lichtbogens Kurzschluß auftritt, auch aus Gründen der größeren Wirtschaftlichkeit, erwies sich der Bau von besonderen Schweißumformern als vorteilhaft, die heute wohl allgemein eingeführt sind. Neuerdings ist es auch gelungen, mit Wechselstrom erfolgreich zu schweißen, wobei man mit Hilfe eines

Tabelle 1. Übersicht über die Anwendbarkeit

Spalte	a	b	c	d	e
Art des Schweißverfahrens (bzw. Brenngas):	Azetylen und Dissousgas	Wasserstoff	Blau- und Flüssiggas	Benzol	Leuchtgas (Steinkohlengas)
Das Brenngas wird gemischt mit:	Sauerstoff	Sauerstoff	Sauerstoff	Sauerstoff	Sauerstoff (Luft)
Temperatur der Flamme oder der Schweißstelle:	etwa 3500°	etwa 2100°	etwa 2300°	etwa 2500°	etwa 2000°
Vorbereitung von Eisenblechen zur Schweißung:	nur stumpf geschweißt	wird nur stumpf geschweißt			
Zustand des Metalls beim Schweißen:	flüssig	flüssig	flüssig	flüssig	flüssig
Üblicher Anwendungsbereich bei Eisenblechschweißung:	0,2 ÷ 40 mm	0,2 ÷ 6 mm	0,2 ÷ 10 mm	0,2 ÷ 10 mm	0,2 ÷ 6 mm
Ist beim Schweißen mechanische Kraft notwendig?	nein	nein	nein	nein	nein
Ist das Verfahren zum Hartlöten verwendbar?	ja	ja	ja	ja	ja
Brenngas- und Kraftbedarf, je nach Größe d. Schweißstücke (Sauerstoff etwa $\frac{1}{3}$ mehr):	80 ÷ 4000 l/h	60 ÷ 3000 l/h	80 ÷ 2000 l/h	100 ÷ 4000 l/h (gasförmig)	50 ÷ 3000 l/h
Kommt das Verfahren für Ausbesserungen in Frage?	ja	in beschränktem Maße		ja	wenig
Welche Metalle und Legierungen sind schweißbar?	Schmiedeeisen, Stahl, Stahlguß, Gußeisen, Temperguß, Kupfer, Messing, Bronze, Aluminium (und seine Legierungen), Zink, Blei, Nickel (Gold, Platin, Silber)				
Kann autogen geschnitten werden?	ja	ja	ja	ja	ja
Anschaffungskosten für die gesamte Anlage:	teurer als die Anlagen in Spalte b ÷ e	teurer als in Spalte e	teurer als in Spalte b	teurer als in Spalte b u. e	billigste Anlage

einfachen Transformators den Strom des Hauptnetzes auf die zweckmäßige Spannung von 15 ÷ 65 V heruntertransformiert.

Die elektrische Lichtbogenschweißung kommt insbesondere für Ausbesserungsschweißungen aller Eisensorten und für Blechschweißungen bei mittleren und größeren Blechstärken in Frage.

In Tabelle 1 wird zusammenfassend nochmals eine Übersicht über die Anwendbarkeit aller neueren Schweißverfahren gegeben.

der verschiedenen neueren Schweißverfahren.

f	g	h	i	Bemerkungen:
Wassergas	Thermit	Elektrische Lichtbogenschweißung	Elektrische Widerstandsschweißung	Azetylen und Wasserstoff können zu Lötzwecken auch mit Luft gemischt werden (statt mit Sauerstoff).
Luft	—	—	—	
etwa 1800°	etwa 3000°	etwa 3500°	etwa 1300 ÷ 1500° (bei Schmiedeeisen und Stahl) ¹	¹ Die Temperatur richtet sich nach dem Schmelzpunkte des jeweiligen Metalles.
überlappt geschweißt wie im Feuer	stumpf geschweißt (oder gegossen)	stumpf oder überlappt	stumpf (Nahtschweißung überlappt)	Die elektrische Widerstandsschweißung kommt entweder für Punktschweißung bis 10 mm Blech in Frage oder als Stumpfschweißung stabelförmiger Profile bis zu 50000 mm ² Querschnittsfläche. Längsnähte können nur an dünnen Blechen bis zu 3 mm Gesamtdicke geschweißt werden.
teigig	teigig (auch flüssig)	flüssig	teigig	
15 ÷ 80 mm	20 ÷ 100 mm	3 ÷ 60 mm	s. Bemerkung	
ja	ja (nein)	nein	ja	
ja	nein	ja	ja	
2000 ÷ 16000 l/h	—	15 ÷ 65 V 40 ÷ 1000 A	1 ÷ 10 V 300 ÷ 100000 A	
nein	ja (als Gießverfahren)	ja	in beschränktem Maße	Während Azetylen selbst für die größten Abmessungen der Werkstücke verwendbar ist, sind die übrigen unter b-e genannten Gasarten nur für verhältnismäßig schwache Werkstoffquerschnitte anwendbar.
schmiedbares Eisen	alle Eisensorten	alle Eisensorten	schmiedbares Eisen (die übrigen Metalle beschränkt)	
nein	nein	sehr beschränkt	nein	
weitaus teuerste Anlage	teurer als in Spalte a ÷ e	zwischen Spalte f u. i gelegen	meist teurer als Spalte h	Ende 1927 kostete z. B. eine vollständige fahrbare Azetylen-schweißanlage 300 ÷ 400 M., eine Gleichstrom-Lichtbogenschweißanlage 2000 ÷ 4000 M.

C. Überblick über die Einrichtungen verschiedener Schweißanlagen.

1. Azetylschweißanlage (Abb. 6):

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> a) 1 Azetylenentwickler (beweglich oder ortsfest, im Bilde ortsfest) mit Reiniger; b) 1 Sicherheitswasservorlage (Sicherung gegen Flammenrückschlag vom Brenner zum Entwickler [S. 74]); c) 1 Sauerstoffflasche (ist von den Gasfüllwerken, wie jede andere Flasche | <ul style="list-style-type: none"> mit verdichtetem Gas, leihweise beziehbare); d) 1 Druckminderventil für die Sauerstoffflasche; e) 1 oder mehrere Schweißbrenner; f) je 1 Schlauch (3 ÷ 5 m lang) für Sauerstoff und Azetylen (Verbindung der Gasquellen mit dem Brenner). |
|---|--|

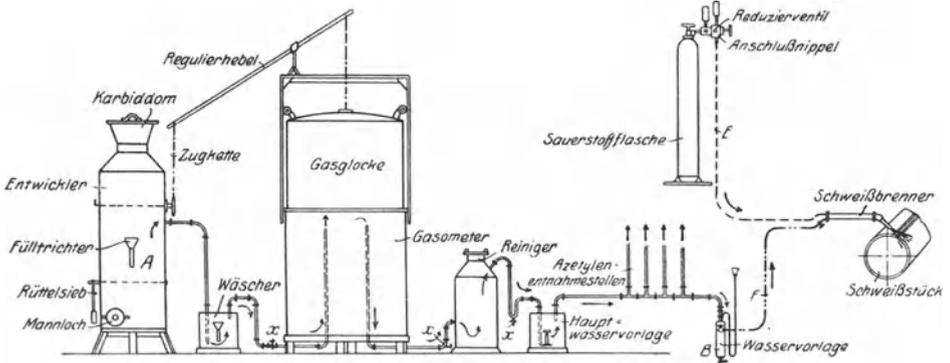


Abb. 6. Schema einer ortsfesten Azetylschweißanlage.

2. Schweißanlage für gelöstes Azetylen in Flaschen (ähnlich Abb. 7):

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> c) 1 Sauerstoffflasche; d) 1 Druckminderventil für Sauerstoff; e) 1 oder mehrere Schweißbrenner; | <ul style="list-style-type: none"> f) 2 Schläuche; g) 1 Azetylenflasche; h) 1 Druckminderventil für Azetylen. |
|--|--|

3. Wasserstoffschweißanlage (Abb. 8):

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> c) 1 Sauerstoffflasche; d) 1 Druckminderventil für Sauerstoff; e) 1 Schweißbrenner; | <ul style="list-style-type: none"> f) 2 Schläuche; g) 1 Wasserstoffflasche; h) 1 Druckminderventil für Wasserstoff. |
|---|--|

4. Äthylen- und Methanschweißanlage (ähnlich Abb. 7):

Einrichtung wie unter Absatz 2 und 3.

5. Leuchtgasschweißanlage (Abb. 9):

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> b) 1 Wasservorlage; c) 1 Sauerstoffflasche; d) 1 Druckminderventil für Sauerstoff; e) 1 Schweißbrenner mit mehreren Düsen; | <ul style="list-style-type: none"> f) 2 Schläuche; i) unter Umständen eine Vorrichtung zur Anreicherung des Gases mit Kohlenstoff (S. 14). |
|---|--|

6. Benzolschweißanlage (Abb. 10):

- | | |
|--|---|
| <p>c) 1 Sauerstoffflasche;
 d) 1 Druckminderventil für Sauerstoff;
 e) 1 Schweißbrenner;</p> | <p>f) 2 Schläuche, davon einer mit Spiralarohr umwunden;
 i) 1 Behälter für Benzol.</p> |
|--|---|

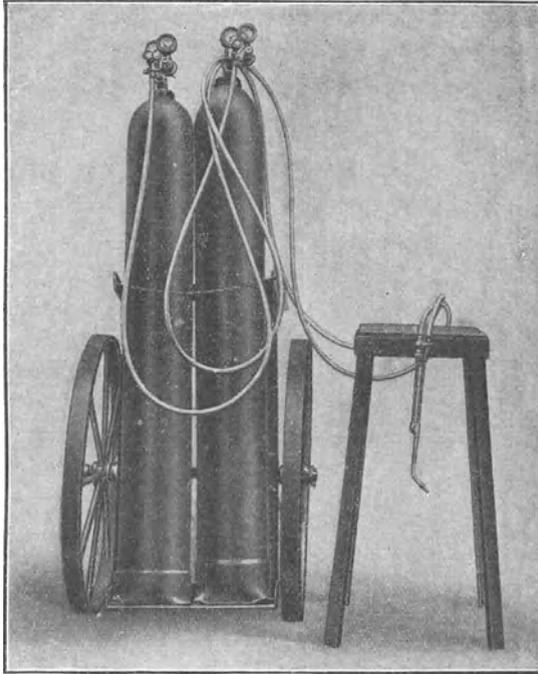


Abb. 7. Fahrbare Wasserstoffschweißanlage.

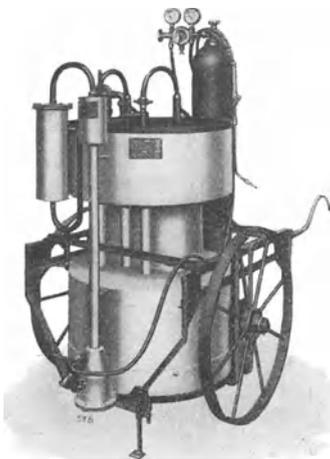


Abb. 8. Fahrbare Azetylschweißanlage.

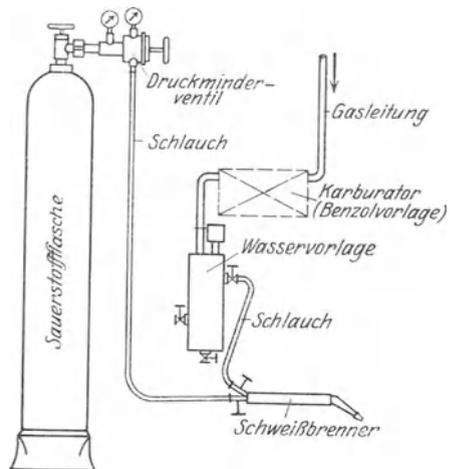


Abb. 9. Leuchtgasschweißanlage.

7. Blaugasschweißanlage (Abb. 11):

c) 1 Sauerstoffflasche;

d) 1 Druckminderventil für Sauerstoff;

e) 1 Schweißbrenner;

f) 2 Schläuche;

g) 1 Blaugasflasche;

h) 1 Druckminderventil für Blaugas;

i) 1 Entspannungsbehälter für Blaugas mit Armaturen.

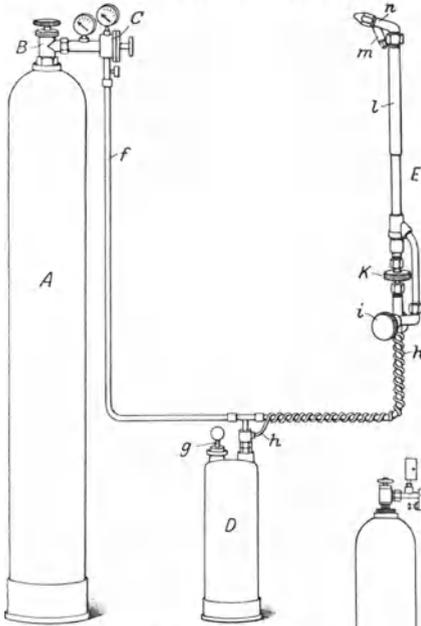


Abb. 10. Benzolschweißanlage.

Eine Brille mit dunklen Gläsern, ein Satz Brennerreinigungsnadeln, 4 Schlauchklemmen u. dgl. Die einzelnen Geräte finden in einem späteren Abschnitt besondere Beachtung.

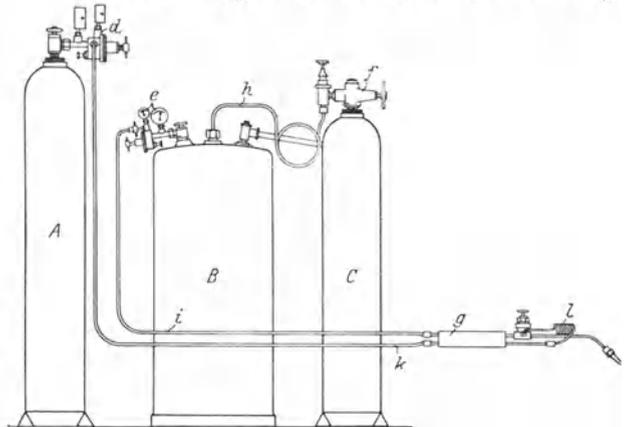


Abb. 11. Blaugasschweißanlage.

8. Allgemeine Geräte:

Alle Schweißanlagen können, um leichter beweglich zu sein, auf Wagen fahrbar eingerichtet werden, und zwar so, daß bei der Anlage 1 der Azetylenentwickler und die Sauerstoffflasche (Abb. 8), bei Anlage 2 und 3 beide Gasflaschen (Abb. 7) auf dem Wagen Platz finden. Soll auch autogen geschnitten werden, so kommt bei allen Anlagen noch ein Schneidbrenner hinzu. Ferner gehören zur Schweißausrüstung:

II. Die Einzelrichtungen für die Gasschmelzschweißung.

A. Die zur Erzeugung der Schweißflammen notwendigen Gase.

1. Der Sauerstoff.

Sauerstoff, ein ungiftiges, geruch-, geschmack- und farbloses Gas, ist selbst nicht brennbar, aber zu jeder Verbrennung erforderlich, da eine Verbrennung die Verbindung eines brennbaren Körpers mit Sauerstoff ist. Weil der Sauerstoff weitaus höhere Verbrennungstemperaturen erzeugt als die atmosphärische Luft, wird er an deren Stelle allen Schweißflammen zugeführt (Luft besteht nur zu etwa

$\frac{1}{5}$ aus Sauerstoff und zu $\frac{4}{5}$ aus dem nicht brennbaren, die Verbrennungstemperatur also stark herabsetzenden Stickstoff). Sauerstoff ist, außer in der Luft, im Wasser und in vielen anderen Stoffen enthalten, aus denen er gewonnen werden kann. Er wird jedoch für Industriezwecke in großen Mengen, von einigen nebensächlichen chemischen Verfahren abgesehen, hauptsächlich auf zweierlei Art erzeugt: durch Elektrolyse (s. Abschnitt Wasserstoff) und weitaus überwiegend durch Trennung verflüssigter Luft.

Sauerstoff ist 1,105 mal schwerer als Luft. 1 m³O (O ist das chemische Zeichen für Sauerstoff und rührt her vom lateinischen Oxygenium = Säurebildner) wiegt bei normalem Luftdruck und bei 0° Temperatur ca. 1,43 kg. Es sei an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, daß Sauerstoff niemals an Stelle von Preßluft, Kohlensäure u. dgl. zum Ausblasen, Reinigen und Anlassen von Motoren benutzt werden darf. Dies hat schon häufig zu schweren Explosionen Veranlassung gegeben. Die chemischen Verbindungen des Sauerstoffs mit den Metallen bezeichnet man als Oxyde.

Für Schweiß- und Schneidzwecke werden in Deutschland rund 40000000 m³ Sauerstoff im Jahre verbraucht, was zweifellos den besten Beweis für die außerordentlich umfangreiche Anwendung der Gasschmelzschweißung liefert. Obwohl sich der Schweißer mit der Herstellung des Sauerstoffs nie zu befassen hat, hat diese Herstellung doch meist ein großes Interesse für ihn, weshalb hierauf kurz eingegangen werden soll.

Die chemische Darstellung des Sauerstoffs hat, von der elektrochemischen (elektrolytischen) Gewinnung aus Wasser abgesehen, nur noch geschichtlichen Wert. Man hat sich vielmehr hauptsächlich das bedeutendste Sauerstofflager, die atmosphärische Luft, als Quelle der physikalischen (oder, wie man auch sagt, thermomechanischen) Gewinnung des Sauerstoffs nutzbar gemacht. Seine Herstellung auf diesem Wege kann nur fabrikmäßig geschehen (in besonderen Sauerstoffwerken), und zwar derart, daß man ihn aus dem mechanischen Gasgemisch der Luft auch mechanisch austreibt. Die Luft wird verflüssigt, indem man sie stark verdichtet (komprimiert) und dann plötzlich entspannt (expandiert), und zwar von etwa 200 at auf 1 at und weniger. Infolge dieser Entspannung wird Kälte entwickelt, die ihrerseits dazu benutzt wird, neu zuströmende Mengen verdichteter Luft in Gegenstromschlangen vorzukühlen, so daß diese stark abgekühlte Luft, wieder entspannt, noch tiefere Temperaturen erzeugt, bis schließlich die Luft bei etwa -140° (der sog. kritischen Temperatur) flüssig wird. Im Lufttrennungsapparat wird die nunmehr flüssige Luft in Sauerstoff und Stickstoff getrennt, da der Stickstoff (-196°) einen um 13° niedriger liegenden Siedepunkt hat als der Sauerstoff (-183°) und demnach zuerst gasförmig entweicht, eine sauerstoffreichere Flüssigkeit zurücklassend. Diese wird nun beim Verdampfen durch geeignete Mittel (Rektifikation) mehrmals von Stickstoff gereinigt, bis endlich ein fast chemisch reines Sauerstoffgas (mit 98 ÷ 99,5 vH Sauerstoff) gewonnen wird, das in Stahlflaschen, auf 150 at verdichtet, in den Handel gelangt.

Die Einrichtung einer Luftverflüssigungs- und Sauerstoffgewinnungsanlage ist in Abb. 12 schematisch veranschaulicht. Der Luftkompressor 2 saugt die Luft, nachdem diese im Apparat 1 von Kohlensäure befreit wurde, durch das Rohr 3 an und drückt sie in hochverdichteter Form (bei normalem Arbeitsgang mit etwa 80 at, zu Betriebsbeginn mit 150 at und mehr) durch die Flaschenbatterie 6 zum Verflüssigungsapparat 7. Die Kühlung der beim Verdichten stark erhitzten Luft erfolgt in Kühlschlangen, die im Kühler 4 untergebracht sind. Die Abscheidung von Öl erfolgt in der Abscheideflasche 5. Die Stahlflaschen 6 enthalten ein chemisches Präparat (meist Kali- oder Natronlauge), das die Aufgabe hat, die ver-

dichtete Luft zu trocknen und vornehmlich von den letzten Resten an Kohlensäure zu befreien. Der wichtigste Bestandteil der gesamten Anlage ist der Trennungsapparat 7. In ihm findet die Verflüssigung und Trennung der Luft in ihre

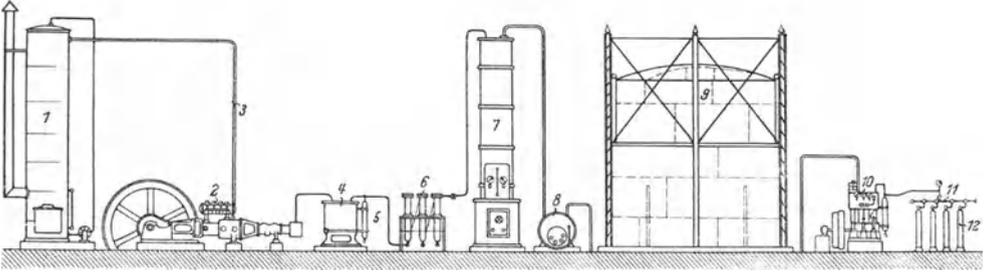


Abb. 12. Schema einer Sauerstofferzeugungsanlage.

beiden Bestandteile Sauerstoff und Stickstoff (von Nebengasen abgesehen) statt. Ersterer tritt in gasförmigem Zustand und mit normaler Temperatur rechts oben aus und fließt durch die Gasuhr 8, woselbst die erzeugte Sauerstoffmenge gemessen wird, zum Sammelbehälter (Gasometer) 9.

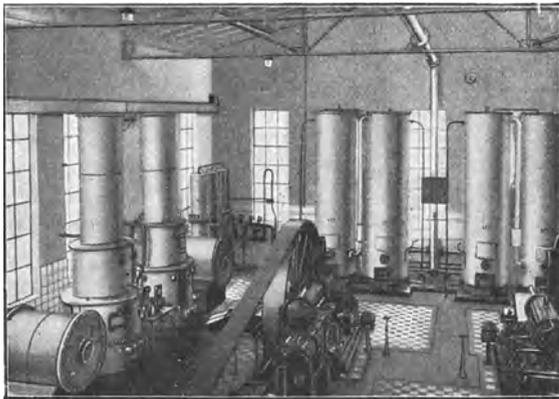


Abb. 13. Blick in eine Sauerstoffabrik.

Von hier wird der Sauerstoff durch den Sauerstoffabfüllkompressor 10 angesaugt und in die Stahlflaschen 12 hineingedrückt, die an die Verteilerleitung 11 angeschlossen sind. Von einer näheren Besprechung des Trennungsapparates muß hier Abstand genommen werden, da sich dessen Wirkungsweise nicht mit kurzen Worten verständlich machen läßt. Abb. 13 gewährt den Einblick in eine solche Sauerstoffgewinnungsanlage, die für eine stündliche Leistung von 120 m^3 Gas bestimmt ist.

Zur Zeit der Drucklegung dieses Buches sind aussichtsreiche Bestrebungen im Gange, den Sauerstoff nicht mehr gasförmig in Stahlflaschen an die Verbraucher zu liefern, sondern im flüssigen Zustand. Der flüssige Sauerstoff soll am Verbrauchsort in entsprechende Behälter umgefüllt werden. Dadurch läßt sich vornehmlich auch die Fracht für die schweren Stahlflaschen ersparen.

2. Die Brenngase.

Der Wasserstoff. Wasserstoff, ein ebenfalls ungiftiges, geschmack-, geruch- und farbloses Gas, ist im Gegensatz zum Sauerstoff brennbar; er verbrennt mit schwachbläulicher Flamme. Das chemische Zeichen für dieses Gas ist H, herrührend vom Anfangsbuchstaben seines lateinischen Namens Hydrogenium = Wasserbildner. $1 \text{ m}^3 \text{ H}$ wiegt nur 90 g ($0,09 \text{ kg}$), er ist demnach $15,9$ mal leichter als ein gleicher Raumteil O.

Wasserstoff kann zunächst durch Zersetzung des Wassers (einer chemischen Verbindung H_2O von zwei Teilen Wasserstoff [H] und einem Teil Sauerstoff [O]) gewonnen werden, und zwar unter Zuhilfenahme des elektrischen Stromes (Elektrolyse). Das in besonderen Gefäßen (Elektrolyseuren) befindliche Wasser wird dem Durchgang des elektrischen Stromes ausgesetzt, wobei sich an den —-Polplatten (den negativen Elektroden) Wasserstoff, an den +-Polplatten (den positiven Elektroden) Sauerstoff abscheidet. Beide Gase werden durch Diaphragmen (Scheidewände) getrennt aufgefangen, gereinigt, in Gasbehältern gesammelt und ebenfalls in Stahlflaschen auf 150 at verdichtet. Bei dieser Wasserzersetzung wird also als Nebenerzeugnis Sauerstoff gewonnen. Der größte Teil des in den Handel kommenden Wasserstoffs wird nicht durch Zersetzung reinen Wassers, sondern durch Zersetzung von Chlorkalium- (Steinsalz-)Lösungen mittels Elektrolyse gewonnen.

Dieser Gewinnungsart aus dem Wasser stehen neuerdings eine Reihe wirtschaftlichere, teils chemische, teils physikalische Verfahren zur Seite, die mehr oder weniger stark in Aufnahme gekommen sind und kurz gestreift werden sollen.

Das rein physikalische Linde-Frank-Caro-Verfahren beruht darauf, Wassergas (S. 3) unter Druck und Abkühlung (ähnlich der Luftverflüssigung) in seine Bestandteile zu zerlegen. Wassergas setzt sich zusammen aus rund 50 vH H_2 , 40 vH CO (Kohlenoxyd) und geringeren Mengen Kohlensäure (CO_2) und Stickstoff (N).

Das Retortenkontakt- und das Kontaktdauerverfahren sind chemischer Natur. Ersteres beruht darauf, hochehitzen Wasserdämpfen (H_2O , wie die Formel für Wasser) durch den Einfluß glühenden Eisens den Sauerstoff (O) zu entziehen, wobei neben der Bildung einer Eisen-Sauerstoffverbindung (Fe_2O_3 , Eisenoxyd) Wasserstoff (H) frei wird. Beim zweiten Verfahren wird Kohlenoxyd (CO) mit Hilfe von Wasserdampf zu Kohlensäure oxydiert, wobei der Wasserstoff des Wasserdampfs frei wird. Es verbindet sich demnach der O des H_2O mit dem CO zu CO_2 und H_2 bleibt zurück. Auf weitere Wasserstoffgewinnungsarten, wie das Dekarburations- und das Schachtverfahren kann hier nicht eingegangen werden.

Ein Gemisch von zwei Teilen Wasserstoff und einem Teil Sauerstoff heißt Knallgas, weil es entzündet unter lautem Knall explodiert. Die untere Explosionsgrenze eines Wasserstoff-Luftgemisches liegt bei 9 vH Wasserstoff und 91 vH Luft, die obere bei 68 vH Wasserstoff und 32 vH Luft.

Das Leuchtgas. Das weniger für Schweißzwecke als für Schneid- und Lötzwecke geeignete Leuchtgas wird in Gasanstalten durch Vergasung von Steinkohlen in Retorten oder Kammeröfen (Erhitzung unter Luftabschluß = trockene Destillation) erzeugt. Leuchtgas — Steinkohlengas, Stadtgas — ist ein im wesentlichen aus Wasserstoff und Kohlenwasserstoffen (CH_4 und C_2H_4 , chemische Verbindung von Wasserstoff mit Kohlenstoff) bestehendes Gas von bekanntem Geruch. Neben Teer und Ammoniak wird vor allem Koks als Nebenerzeugnis gebildet. Nach gründlicher Reinigung wird das Gas in großen Gassammlern aufgespeichert und durch Rohrleitungen den einzelnen Verwendungsstellen zugeführt. Neben anderen Mängeln besitzt Leuchtgas eine sehr verschiedene Zusammensetzung an den verschiedenen Plätzen und ist erheblichen Druckschwankungen unterworfen. Infolge seines Gehalts an Kohlenoxyd (CO) ist Leuchtgas giftig. Gas-Luftgemische sind explosiv, wenn sie mindestens 6 ÷ 8 vH Leuchtgas enthalten, und bleiben es bis zu einem Mischungsverhältnis von 22 vH Leuchtgas und 78 vH Luft.

Leuchtgas ist kohlenstoffarm, reich an Wasserdämpfen und Schwefelverbindungen, und hat demnach für Schweißzwecke ungünstige Eigenschaften. Man

hat neuerdings Hilfsmittel ersonnen, um Leuchtgas wirksam und auf einfachem Wege mit Kohlenstoff anzureichern (zu karburieren, wie man sagt). Eine solche Vorrichtung ist in Abb. 14 im Schnitt schematisch dargestellt. Dem mit abnehmbarem Deckel versehenen Blechkasten *d* wird bei *a* in Richtung des Pfeils Leuchtgas zugeführt. Bis zur Höhe der Mündung des Rohres *a* ist der Kasten mit Benzol angefüllt. Benzol (C_6H_6) hat einen großen Kohlenstoffgehalt und dient deshalb als Karburationsmittel. Um dem durchstreichenden Leuchtgas eine größere Berührungsfläche mit dem flüssigen Benzol zu geben, sind eine Anzahl am Deckel befestigte Döchte *g* eingehängt, *f* ist ein Schwimmer, *h* der Fülltrichter, *e* ein Kontrollhahn und *b* die Ausgangsrohrleitung für das kohlenstoffangereicherte Gas. Das Gefäß wird zwischen Rohrnetz und Sicherheitswasservorlage geschaltet (Abb. 9). Die Vorlage wird demnach bei *b* angeschlossen.

Das Äthylen und das Methan. Außer dem elementaren, d. h. einstoffigen Wasserstoff, sind alle für Schweißzwecke in Frage kommenden Brenngase Kohlenwasserstoffe, d. h. Verbindungen zwischen Kohlenstoff und Wasserstoff. Demnach auch Äthylen, Methan, Azetylen usw. Das zu 40 vH im Leuchtgas enthaltene Äthylen (C_2H_4 , „ölbildendes Gas“) und das zu etwa 5 vH im Leuchtgas vorhandene Methan (CH_4 , Grubengas) werden ebenfalls gasförmig, in Flaschen auf 150 at verdichtet, in den Handel gebracht; eine 40 l-Flasche enthält dann, wie bei H und O, rund 6 m^3 Gas. Äthylen und Methan werden wegen ihrer geringen Flammentemperatur (bis zu 2000°) weniger zu Schweißzwecken

als wegen ihres sparsamen Verbrauchs zu Schneidzwecken verwendet. Der Explosionsbereich liegt für Äthylen zwischen $4,0 \div 14,7$ vH (Rest Luft), für Methan zwischen $6,0 \div 13,0$ vH (Rest Luft). Um die Heizkraft des nicht gut geeigneten Methans zu steigern, wird es häufig mit Wasserstoff oder mit Äthylen, seltener mit Azetylen gemischt und kommt dann unter verschiedenen Bezeichnungen, wie Methan B, Methan L usw., in den Handel.

Das Blaugas. Gewöhnliches Leuchtgas läßt sich nicht, wie die anderen bisher genannten Gase, in Flaschen verdichten, da es sich beim Zusammenpressen zersetzt. Nach den Patenten von Blau wird jedoch eine dem Leuchtgas sehr ähnliche, indessen weniger giftige Gasart dargestellt, und zwar durch trockene Destillation von Rohpetroleum, von Abfallerzeugnissen der Stein-, Braunkohlen- und Ölindustrie. Dieses Blaugas wird in Stahlflaschen als leichtbewegliche, wasserhelle Flüssigkeit unter Druck verschickt, die bei Entspannung auf niederen Druck (durch Reduzierventile) gasförmigen Zustand annimmt. Abgesehen von der etwas umständlichen Entspannung des flüssigen Gases aus den Stahlflaschen in dauernd bereitstehende Gaskessel oder Gasflaschen (*B* in Abb. 11), ferner abgesehen von dem viel geringeren Heizwert gegenüber dem Azetylen, kommt Blaugas als ernstlicher Wettbewerber gegenüber dem Azetylen auch deshalb nicht in Frage, weil es nur in Augsburg hergestellt wird. Die hohen Hin- und Rückfrachten für die Flaschen schließen die Verwendung dieser Gasart als Schweißgas in vielen Fällen aus. Eine 40 l-Flasche enthält bei 100 at Druck rund 16 m^3 Gas. 1 kg flüssiges Blaugas entspricht 772 l luftförmigen Gases; demnach wiegt 1 l Gas etwa 1,29 g. Die untere Explosionsgrenze eines Blaugas-Luftgemisches liegt bei etwa 4 vH Blaugasgehalt.

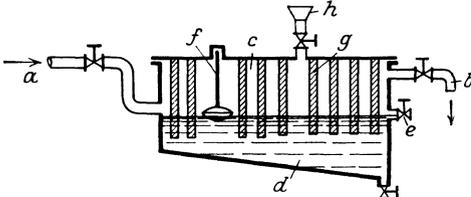


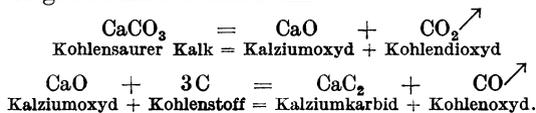
Abb. 14. Benzolvorlage (Karburator).

Das Benzol. Von den flüssigen Kohlenwasserstoffen, die für Schweißzwecke Verwendung finden, soll nur der wichtigste, das Benzol (C_6H_6), angeführt werden, obwohl auch die Schweißung mit Petroleum, Benzin u. a. Brennstoffen möglich ist. Benzol, Phenylwasserstoff, Steinkohlenbenzin — ist eine mit stark rußender Flamme verbrennende, leichtbewegliche, stark lichtbrechende Flüssigkeit von üblem Geruch. Die Einatmung des Benzoldampfes verursacht vielfach Schwindel, Brech- und Hustenreiz, Trunkenheit und ähnliche Zustände. Benzol wird in den Gasanstalten oder Zechenkokereien bei der Destillation des Steinkohlenteers gewonnen, und zwar insbesondere aus dem sog. leichten Öl (Vorlauf). Dem Benzol-schweißbrenner (Abb. 10c und S. 88) wird es unter Druck zugeführt und gelangt im Brenner selbst zur Vergasung. Die Explosionsgrenzen eines Benzoldampf-Luftgemisches liegen eng zusammen; die obere beträgt 6,7 vH, die untere 2,6 vH Benzol (Rest Luft).

Das Azetylen. Wenn man Kalziumkarbid mit Wasser in Berührung bringt, entsteht Azetylen, volkstümlich auch wohl „Karbidgas“ genannt. Da beide Rohstoffe überall zu haben sind, ist die Erzeugung des aus ihnen gebildeten Azetylens auch allerorts möglich. So stellt schon jede Fahrradlaterne in gewissem Sinn eine kleine, überhaupt die kleinste, selbständige Azetylen-Gasanlage dar. Der Verbrauch an Azetylen als Schweißgas beträgt in Deutschland jährlich 25 000 000 m³. Daraus läßt sich ermessen, welche Bedeutung dieser Gasart zukommt, wenn man zum Vergleich den Verbrauch an anderen Schweißgasen gegenüberstellt. Dieser beträgt für Wasserstoff 2 000 000 m³, für alle übrigen Gase zusammen nur 120 000 m³ im Jahr. Aus diesem Grunde, und schon auch deshalb, weil das Azetylen meist selbst erzeugt wird, müssen wir uns mit dieser Gasart eingehender befassen.

Kalziumkarbid (CaC_2 , aus einem Teil Kalzium [Ca] und 2 Teilen Kohlenstoff bestehend) entsteht, wenn man ein mechanisches Gemisch von etwa 100 Teilen Kalkstein ($CaCO_3$, kohlensaurer Kalk) und 60÷75 Teilen Kohle der hohen Temperatur des elektrischen Lichtbogens aussetzt. Die Herstellung erfolgt in besonderen elektrischen Schmelzöfen. Beim Zusammenschmelzen der beiden Rohstoffe Kalkstein und Kohle wird dann neben gasförmig abziehendem Kohlenoxyd Karbid gewonnen, das man absticht und in Blöcken erstarren läßt.

In die Form einer chemischen Gleichung gebracht, läßt sich der Vorgang im elektrischen Ofen folgendermaßen erläutern:



Entsprechend der Konstruktion der Karbidzersetzungsapparate (Azetylenentwickler) kommt das Karbid in verschiedenen Größen in den Handel. Es ist von blaugrauem bis grauschwarzem, kalksteinartigem Aussehen und ein kristallinischer, steinharter, nicht brennbarer Körper, der außer in Wasser in allen Lösungsmitteln unlöslich ist. Auch Säuren greifen Karbid nur wenig an. Der jährliche Karbidverbrauch beläuft sich in Deutschland auf etwa 100 000 t.

Normale Karbidgrößen sind:

1÷4 mm	granuliertes Karbid,
4÷7 mm	feinkörniges „
8÷15 mm	Karbid in Haselnußgröße,
15÷25 mm	„ „ Walnußgröße,
25÷35 mm	Stückkarbid,
35÷50 mm	„ mittelgroß,
50÷80 mm	„ in Faustgröße.

Es mag gleich vorweg auf die immer bessere Eignung des Stückkarbids gegenüber den anderen Größen hingewiesen sein. Je kleiner die Körnung ist, um so größer ist die Explosionsgefahr der mit ihr gefüllten Entwickler, was eine Folge der viel größeren Erhitzung kleiner Karbidstückchen gegenüber großen ist. Da außerdem die je Kilogramm Karbid erzeugte Gasmenge beim Stückkarbid größer ist, d. h. die Vergasungswertigkeit höher liegt als beim Feinkornkarbid, ist schon aus diesem Grunde ersterem der Vorzug zu geben. Übrigens ist auch der rasche Zerfall des feinkörnigen Karbids (infolge der erheblich größeren Gesamtoberfläche, die es gegenüber einer gleichen Gewichtsmenge Stückkarbid dem Einflusse der Luftfeuchtigkeit aussetzt) ein nicht zu unterschätzender Nachteil.

Der Versand des Karbids erfolgt in dünnwandigen Blechtrommeln von 50, meist jedoch 100 kg Bruttogewicht. Die Deckel dieser Trommeln sind meist gefalzt. Etwa aufgelötete Deckel (ein heute seltener Fall) dürfen keinesfalls mittels einer Flamme, sondern nur mittels Hammer und Meißel vorsichtig

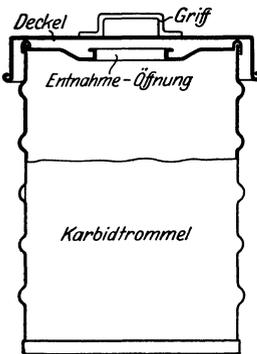


Abb. 15. Deckel für Karbiddrommeln.

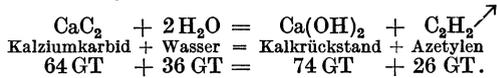
geöffnet werden, da sonst Explosionsgefahr besteht. Die Aufbewahrung des Karbids darf nicht in Kellerräumen und muß im Trocknen erfolgen, weil es sehr hygroskopisch (d. h. Feuchtigkeit anziehend) ist und sich bei Einwirkung von Feuchtigkeit sofort Azetylgas entwickelt, das, mit Luft gemischt und durch irgendeinen Zufall zur Zündung gebracht, zu heftigen Explosionen führen kann (daher eben Anwendung von brennenden oder glühenden Gegenständen beim Deckelöffnen streng verboten). Schon durch Luftfeuchtigkeit allein wird Karbid zersetzt, weshalb es empfehlenswert ist, um unnützen Zerfall des Karbids und Gefahren zu verhindern, geöffnete Karbidbüchsen mit einem kleinen Sandsack abzudecken oder, was noch besser ist, den Trommelinhalt in einen besonders zur Karbidaufbewahrung gewählten, luftdicht verschließbaren Behälter (Milchkannen ähnlich) umzufüllen. Diesem Behälter entnimmt man dann

immer nur die jeweils erforderliche Menge Karbid und verschließt ihn sofort wieder. Praktisch ist auch die Anordnung eines über den Rand der Trommel greifenden Deckels, wie dies in Abb. 15 skizziert ist. Am besten lagert man die Trommeln erhöht, auf einem hölzernen Podest, damit sie im Falle eines Wasserrohrbruchs oder sonstwie nicht dem Zutritt von Wasser ausgesetzt sind. Karbid ist nie chemisch rein, sondern enthält im Mittel etwa 0,7 vH verunreinigende chemische Bestandteile. Für die Einwurfentwickler (S. 50) ist insbesondere das metallische Ferrosilizium, das sich zu etwa 2 vH im Karbid vorfindet (mechanische Verunreinigung), insofern gefahrenbildend, als es beim Aufschlagen auf Blechwände Funken bilden und bei Anwesenheit von Luft im Entwickler zu Explosionen Veranlassung geben kann.

Karbid ist eine Verbindung zwischen Kohlenstoff und einem Metall. So gibt es neben weniger wichtigen eine große Anzahl durch Wasser zersetzbarer Karbide, wie Natrium-, Lithium-, Barium- und Strontiumkarbid, die Azetylen liefern. Technisch kommt nur das billigste aller Karbide, das Kalziumkarbid, in Frage, wengleich es eine geringere Gasausbeute (300 l je Kilogramm) besitzt als beispielsweise das Lithiumkarbid, das je Kilogramm 580 l Azetylgas liefert, aber zu teuer ist.

Azetylen (C_2H_2 , 2 Teile Kohlenstoff und 2 Teile Wasserstoff) entsteht, wie schon erwähnt wurde, indem man Wasser auf Karbid schüttet oder umgekehrt Karbid ins Wasser wirft. Durch die Umsetzung dieser beiden Stoffe — normale Temperatur vorausgesetzt — entsteht in jedem Verhältnis Azetylen, was man auch

sehr übersichtlich durch folgende einfache, chemische Gleichung ausdrücken kann:



Gesetzmäßig müssen auf beiden Seiten dieser Gleichung dieselben Gewichtsmengen auftreten, und wir ersehen aus ihr, daß 64 GT (Gewichtsteile) Karbid mit 36 GT Wasser zusammengebracht, außer 26 GT Azetylen 74 GT Kalkrückstand (Kalkhydrat, Ätzkalk, Kalziumoxydhydrat) (in Schlammform) ergeben. Nach dieser Gleichung läßt sich ferner bestimmen, daß 1 kg Karbid: $\frac{36}{64} = 0,562 \text{ kg} = \text{r\ddot{u}nd } 0,5 \text{ l}$ Wasser zersetzt, wobei sich $\frac{74}{64} = 1,15 \text{ kg}$ Schlamm und $0,406 \text{ kg} = 340 \text{ l}$ Azetylen entwickeln (855 l Azetylen = 1 kg; $1 \text{ m}^3 = 1,17 \text{ kg}$). 1 kg Karbid soll demnach 340 l Gas ergeben. In der Praxis kann jedoch nur mit einer Ausbeute von 250 l Azetylen auf 1 kg Karbid gerechnet werden, da einmal die Güte (Qualität) des Karbids starken Schwankungen unterworfen ist, zweitens durch unvergast gebliebene Stücke und durch Undichtheit in den Apparaten und Leitungen Gasverluste entstehen, und endlich, weil eine bestimmte Menge Gas (s. später) mit dem Entwicklerwasser abgeleitet wird. Man muß also rechnen: Es werden für $1000 \text{ l} = 1 \text{ m}^3$ Azetylen: $\frac{1000}{250} = 4 \text{ kg}$ Karbid benötigt. Mit dieser Berechnung (Kalkulation) reicht man, wie die Praxis gezeigt hat, aus 100 cm^3 Azetylen enthalten 100 cm^3 Wasserstoff außer $0,108 \text{ g}$ Kohlenstoff, und wiegen $0,117 \text{ g}$. Der Heizwert des Azetylen beträgt etwa 13500 WE je Liter.

Azetylen hat das spezifische Gewicht (Einheitsgewicht) 0,906 und ist demnach ein wenig leichter als die atmosphärische Luft (1,00). Daher entleeren sich mit Azetylen gefüllte Gefäße nicht von selbst und müssen vor Inangriffnahme von Schweiß- oder Lötarbeiten mit Wasser oder Kohlensäure ausgespült werden. Azetylen zeichnet sich unter allen Gasen durch seinen knoblauchartigen, starken Geruch aus (der vor allem von der Anwesenheit von Phosphorwasserstoff herührt), ist jedoch wegen Fehlens von Kohlenoxydgas viel weniger giftig als Leuchtgas und in mäßigen Mengen eingeatmet im allgemeinen unschädlich.

Wir haben gesehen, daß zur Zersetzung von 1 kg Karbid $\frac{1}{2} \text{ l}$ Wasser nötig ist; diese Wassermenge reicht allerdings nicht aus, um die beim Zersetzen des Karbids entstehende große Wärmemenge, die unter Umständen zu Explosionsgefahren Veranlassung geben kann, unschädlich zu machen. Diese Wärmemenge, die beim Umsetzen zwischen Wasser und Karbid (zu Azetylen) frei wird, wie man sich technisch auszudrücken pflegt, beträgt rund 400 WE¹ je Gramm vergastem Karbid. Bei Besprechung der Azetylenentwickler haben wir auf diesen Umstand noch näher einzugehen.

Alles aus handelsüblichem Karbid erzeugte Azetylen ist nie chemisch rein, sondern stets durch verschiedene Stoffe chemisch und mechanisch verunreinigt. Diese Verunreinigungen rühren zum Teil von den Ausgangsstoffen der Karbidfabrikation (Kalkstein und Kohle) her, können jedoch auch beim Zersetzen des Karbids selbst, je nach Güte der Azetylenentwickler, in mehr oder weniger großen Mengen gebildet werden. Solche Verunreinigungen sind, an Menge schwankend unter sich, in der Hauptsache: Schwefelwasserstoff (0,02 ÷ 0,08 vH), Phosphorwasserstoff (0,03 ÷ 0,11 vH), Ammoniak (etwa 0,1 vH), Silizium-

¹ Unter WE = Wärmeeinheit oder Cal (Calorie) versteht man diejenige Wärmemenge, die notwendig ist, um die Temperatur von 1 l Wasser um 1° zu erhöhen. Angenommen, 1 l Wasser habe eine Temperatur von 18° und später, nach Erwärmung, eine solche von 68°, dann sind zu dieser Temperaturerhöhung $68 - 18 = 50 \text{ Cal}$ erforderlich gewesen.

wasserstoff (etwa 0,7 vH) und Wasserdampf (etwa 2 vH) (auch Kohlenoxyd, Kohlensäure, Methan und Luft). Im allgemeinen kommen nur jene Verunreinigungen in Betracht, die sich später im Gas vorfinden; die im Kalkschlamm verbliebenen Bestandteile sind für uns belanglos.

Die chemischen Verunreinigungen des Azetylen sind in allen Fällen unerwünscht, teilweise weil sie giftig sind (Schwefelwasserstoff und Phosphorwasserstoff), teilweise infolge ihrer zerstörenden Wirkungen auf Armaturen und Leitungen der Anlage (Phosphorwasserstoff), ferner wegen ihres sehr schädlichen Einflusses auf die mit der Azetylenflamme bearbeiteten Metalle und schließlich, weil das diese Verunreinigungen enthaltende Gas gesteigerte Explosionsmöglichkeiten bietet. Verschiedene Verunreinigungen des Karbids bilden mit dem immer vorhandenen Kalkschlamm seifenähnliche Erzeugnisse, die mitunter in Form starrer Häutchen an der Oberfläche des Entwicklerwassers abgeschieden werden. Mit dem Finger zerstört, machen sie den Eindruck kleiner zersplitterter Eischollen. Eine unmittelbare Gefahr für den Entwickler bilden diese Häutchen nicht; sie sind im allgemeinen belanglos. In der Literatur hin und wieder anzutreffende Ansichten, ein Überschuß von Phosphorwasserstoff oder überhaupt dessen Anwesenheit in der Schweißflamme sei erwünscht, sind unrichtig; praktisch ist dieser Überschuß auch gar nicht ohne weiteres herstellbar. Selbst der bei flüchtiger Überlegung scheinbar unschädliche Wasserdampf, den das Azetylen mit sich führt und der sich infolge der Zersetzungswärme im Entwicklerwasser in mehr oder weniger großen Mengen bildet, ist wirtschaftlich nachteilig, da er die Wärmebilanz der Flamme insofern ungünstig beeinflußt, als er unter Wärmeverbrauch mit verbrannt werden muß, wodurch die Flammentemperatur herabgesetzt wird. Wiß hat bei besonders ungünstigen Entwicklern (mit hoher Entwicklerwassertemperatur) bis zu 6 vH Wassergehalt im Azetylen festgestellt. Auch beim Durchgang des Azetylen durch die Wasservorlage steigt der Wassergehalt des Gases mit zunehmender Temperatur des Sperrwassers in der Vorlage (bei 6° um 0,8 vH, bei 18° um 2 vH, bei 25° um 3,2 vH, bei 30° um 4,5vH usw.). Der hohe Gehalt des Azetylen an Wasserdampf macht sich schweißtechnisch insofern unangenehm bemerkbar, als er die Arbeitsgeschwindigkeit herabdrückt. Im Mittel vermindert je 1 vH Wasserdampf die Schweißleistung um etwa 3,6 vH, so daß ein Gehalt von 3 vH Wasserdampf im Azetylen eine Minderleistung von 10,8 vH ausmachen würde. Eins der einfachsten und billigsten Mittel, dem Azetylen seinen Feuchtigkeitsgehalt restlos zu entziehen, ist Karbid, über das man das Gas hinwegleitet.

Wasser wirkt sowohl als Flüssigkeit wie als Dampf (Wasserdampf von sehr hoher Temperatur und Eis wirken wenig oder gar nicht) auf das Karbid ein. Aus diesem Grunde muß auf möglichst niedrige Zersetzungstemperatur im Entwickler geachtet werden, um den Gehalt des Gases an Wasserdampf möglichst gering zu halten. Bei Abstellung der Gasentwicklung kühlt sich der Vergaser des Entwicklers ab, was eine Kondensation des gebildeten Wasserdampfs zur Folge hat. Abgesehen von der Gefahr der Bildung eines Unterdrucks im Entwickler, kann das Kondenswasser größere Mengen von Azetylen in der Nachtentwicklungsperiode erzeugen und zu starkem Übergasen des Entwicklers Veranlassung geben. Jedes Gramm Wasser kann bis zu 1,4 g oder 1,25 l Azetylen entwickeln.

Der Verlauf der Azetylenentwicklung, d. h. der Karbidzersetzung, ist sehr ungleichmäßig. Kurze Zeit nach dem Entwicklungsbeginn setzen Unregelmäßigkeiten ein, die um so ausgeprägter sind, je weiter die Zersetzung des Karbids fortschreitet. Eine der Hauptursachen dieser Erscheinung ist die Schwerlöslichkeit des Kalkschlammes, der das von Wasser angegriffene Karbid einhüllt und den

Angriff frischer Wassermengen sehr behindert, wodurch eine Abnahme der Vergasung bedingt ist. Sobald eine solche Schlammsschicht (durch Bewegung des Wassers, durch Rutschen des Karbids usw.) vom Karbid abfällt, wird dem Wasser Gelegenheit gegeben, das plötzlich freigelegte Karbid anzugreifen und eine beschleunigte Zersetzung zu verursachen. Das gilt insbesondere für Wasserzulaufentwickler.

Man hat nun versucht, diesen Schwankungen in der Zersetzung des Karbids dadurch zu begegnen, daß man das Karbid mit indifferenten Stoffen behandelt (imprägniert) und präpariert. Derartiges Karbid wird als „Karbidad“ und „Beagid“¹ in den Handel gebracht. Bekanntgeworden ist wohl nur das Beagid. Es wird in Form kleiner Walzen (Patronen) von etwa 80 mm Durchmesser und 100 mm Höhe geliefert und entsteht durch Behandlung mit zuckerhaltigen Stoffen und durch Tränkung feinkörnigen Karbids mit indifferenten, wasserunlöslichen Stoffen, wie: Öl, Petroleum, Teeröl, Schwefel, Asphalt, Fett, Stearin, Wachs, Harz usw., die die Oberfläche des Karbids gegen die Einwirkungen des Wasserdampfes schützen und damit die Nachvergasung stark verringern. Durch die Anwesenheit solcher Stoffe wird aber die Entwicklungsgeschwindigkeit ganz allgemein herabgesetzt, weshalb derartige Karbidpräparate meist nur für kleinere Azetylerzeugungsanlagen (bis zu 4 kg Füllung; Montageentwickler) in Frage kommen, um so mehr als die Imprägnierung das Präparat verteuert. Beagid kostet zur Zeit etwa 39 M. je 100 kg, während gewöhnliches Karbid nur 28 M. kostet. Die Beagidapparate haben sich vorwiegend als kleinere Werkstatt- und Montageentwickler gut eingeführt.

Nachweis der Verunreinigungen des Azetylens. Dieser ist einfach und mit billigen Mitteln zu erbringen. Mit Hilfe von Reagenzpapieren² kann festgestellt werden die Anwesenheit von:

Schwefelwasserstoff, indem man das Azetylen gegen ein mit Quecksilberchlorid imprägniertes (schwarz aussehendes) Fließpapier ausströmen läßt; das Papier wird weiß gefärbt.

Phosphorwasserstoff, indem man dasselbe Papier verwendet oder eine 5 prozentige Höllensteinlösung (von weißem Aussehen) der Einwirkung des Azetylens aussetzt; die Lösung wird, je nach dem Grade der Azetylenverunreinigung, gelb bis schwarz gefärbt.

Siliziumwasserstoff und Ammoniak mittels gewöhnlichen, leicht erhältlichen roten Lackmuspapiers, das bei Vorhandensein dieser Verunreinigungen blaue Färbung annimmt.

Befreiung des Azetylens von seinen Verunreinigungen. Um Schwefelwasserstoff, Siliziumwasserstoff und Ammoniak zu entfernen, genügt ein gründliches Waschen des Gases in reinem Wasser, an welches die Verunreinigungen gebunden werden; allerdings nimmt das Lösungsvermögen des Wassers für Schwefelwasserstoff mit sinkender Temperatur ab (Wintermonate). Dagegen ist der schlimmste Begleiter, der Phosphorwasserstoff, ein ziemlich hartnäckiger Geselle, dem man mit besonderen Mitteln zu Leibe gehen muß. Das geschieht in besonderen, mit chemischen Präparaten angefüllten Reinigern (s. später). Die Reinigungsmassen stellen vorwiegend ein Gemenge von teils Chlor-, teils Chrompräparaten dar, die entweder pulver- oder stückförmig in die Reiniger eingebracht

¹ Beagid wird in Deutschland nur von der Dr. Alex. Wacker Ges. in Lechbruck (Bayern) hergestellt. Die Bezeichnung „Beagid“ rührt her von den Anfangsbuchstaben der Bosnischen Elektr. A. G., die ursprünglich Herstellerin dieses Karbidpräparates war.

² Ähnlich dem in der Elektrotechnik gebräuchlichen Polreagenzpapier, unter dessen Zuhilfenahme man + und - Pol unterscheiden kann.

werden. Es kommen hauptsächlich folgende Reinigungsmassen in Frage: Puratylen, eine stückförmige, weiße, stark poröse Masse, die gleichzeitig Feuchtigkeit entziehend wirkt; Euflamol, eine sowohl stückförmig als pulverisiert erhaltliche, weniger hygroskopische (also Feuchtigkeit aufsaugende) Masse von brauner Farbe, und das ihm ähnliche, pulverförmige Heratol und Klingerit. Ferner sind noch auf dem Markte: Acagen, Karburylen, Radikal, Griesogen, Katalysol usw. Die Reinigungsmassen sind zum Teil stark ätzend und greifen Eisenblech an, so daß die entsprechenden Reinigergefäße mit säurebeständiger Farbe ausgestrichen sein müssen (Reiniger, S. 73).

Die Explosionsgefahr des Azetylens. Hierüber bestehen in weitesten Kreisen die verschiedensten, oft widersinnigsten Ansichten. Manche Explosion hätte bei einigermaßen vernünftiger Behandlung der Azetylenanlage verhütet werden können. Da in Deutschland nur behördlich geprüfte und von sachverständiger Stelle abgenommene Azetylenentwickler Verwendung finden dürfen, hat die Explosion solcher Anlagen, soweit sie auf Konstruktionsfehler zurückzuführen war, glücklicherweise beträchtlich abgenommen. Wir möchten daher auch an dieser Stelle vor Selbstanfertigung irgendwelcher Azetylenanlagen dringend warnen.

In vorschriftsmäßig konstruierten Entwicklern hergestelltes Azetylen ist unter gewöhnlichem Druck und bei normaler Temperatur nicht explosibel. Welche Umstände können nun die Ursache von Azetylenexplosionen sein? Obwohl die Anwesenheit der im Gase vorhandenen Verunreinigungen, z. B. der Silizium- und Phosphorverbindungen, die Explosion des Azetylens nicht unmittelbar beeinflußt, erhöhen diese Stoffe doch die Explosionsgefahr bei Gegenwart von Luft und können dann zu einer plötzlichen Zündung des Gasgemisches führen. Ein Teil des gasförmigen Phosphorwasserstoffs kann in flüssigen (P_2H_4) umgewandelt werden, der die üble Eigenschaft hat, sich zu entzünden, sobald er mit Licht in Berührung kommt. Außer für gute Reinigung des Azetylens von diesen verunreinigenden Begleitern muß deshalb auch für Erneuerung der chemischen Reinigungsmasse gesorgt werden, und zwar in gewissen Zeitabständen, wie sie von den die Apparate liefernden Firmen vorgeschrieben werden. Weitaus wichtiger ist jedoch die Fernhaltung der Luft aus den Entwicklern, da deren Vorhandensein nicht allein eine erhöhte Explosionsgefahr an und für sich bedeutet, sondern auch die Explosionstemperatur des Gases ganz erheblich herabsetzt, d. h. Explosionen können, wenn Luft eindringt, unter bestimmten Voraussetzungen schon bei verhältnismäßig tiefen, ganz normalen Entwicklungstemperaturen eintreten. Demnach muß größter Dichtheit aller Gasentwickler und Gassammler besonderes Augenmerk zugewendet werden. Die Explosionsgrenzen von Azetylen-Luftgemischen liegen zwischen rund 3–65 vH Azetylen, d. h. eine Mischung von 3 Teilen Azetylen und 97 Teilen Luft ist explosiv und bleibt es bis zu einem Mengeverhältnis von 65 Teilen Azetylen zu 35 Teilen Luft. Azetylen ist somit außerordentlich explosionsempfindlich; sein Explosionsgebiet ist 13,5mal größer als das des am wenigsten empfindlichen Methans, während Leuchtgas nur 4,21 und Wasserstoff 12,7 mal so große Explosionsgebiete haben als Methan.

Druck, Trockenheit und zunehmende Temperatur steigern die Explosionsgefahr bedeutend. Schon bei weniger als 2 at Druck explodiert angezündetes Azetylen ohne Gegenwart von Luft; Azetylen darf deshalb keinesfalls unter höheren Druck gebracht werden (s. gelöstes Azetylen). Zur Verhütung unzulässig hoher Temperaturen im Azetylenentwickler ist für gute Ableitung der beim Zersetzen des Karbids entwickelten Wärme zu sorgen. Über 70° sollte die Temperatur des Entwicklerwassers nie steigen, schon nicht mit Rücksicht auf die Sättigung des Azetylens mit Wasserdämpfen, die sich bis zu dieser Temperatur

in weniger schädlichen Grenzen bewegt. Bei Arbeitsüberlastung, d. h. bei Entnahme ungewöhnlich großer Gasmengen aus dazu vielleicht noch ungenügend leistungsfähigen Apparaten, kann die höchste gesetzlich zugelassene Entwicklungswärme von 100° weit über dieses Maß hinaus gesteigert und das zur Zersetzung des Karbids bestimmte Wasser zum Sieden gebracht werden. Die Kühlung der Azetylenentwickler ist also mit eine der wichtigsten sicherheitstechnischen Aufgaben des Schweißers.

Die Entzündungstemperatur des Azetylenluftgemisches liegt bei etwa 480° , einer Temperatur, die normalerweise im Entwickler nicht erzeugt wird, aber durch Zufälligkeiten entstehen kann. So ist ja bekannt, daß sich Karbidstaub und gelegentlich auch kleinere Karbidstückchen im Entwickler auf Rotglut erhitzen können. Bei ausgeprägtem Mangel an Entwicklungs- und Kühlwasser oder, was gleichbedeutend damit ist, bei ungenügender Ableitung der Zersetzungswärme, können sehr wohl Temperaturen von 480° und noch viel mehr entstehen, so daß bei Anwesenheit von Luft (Öffnen des Entwicklers) große Explosionsgefahren vorhanden sind. Mies und Rimarski haben an glühendem Karbid Temperaturen von bis zu 1050° errechnet und auch praktisch festgestellt. Der Zerfall des Azetylens tritt um so eher ein, je trockener und wärmer es ist. Der Feuchtigkeitsgehalt des Azetylens setzt dessen Zerfallgrenze herab, so daß der technisch unerwünschte Wassergehalt des Gases in sicherheitstechnischer Hinsicht vorteilhaft erscheint.

Offenes Licht und Feuer, brennender Tabak, elektrische Kontakte und Schalter, glühende Körper u. dgl. sind Azetylenanlagen auf wenigstens 3 m Abstand fernzuhalten. Bei ortsfesten Anlagen bestehen besondere Vorschriften. Azetylenentwickler, welcher Konstruktion sie auch sein mögen, dürfen für Schweißzwecke ohne Zwischenschaltung einer amtlich geprüften Sicherheitswasservorlage (s. diese) unter keinen Umständen verwendet werden! Kupferne Teile (Armaturen usw.) dürfen an Azetylenanlagen nicht angebracht werden, da Kupfer mit Azetylgas eine äußerst explosive Verbindung ($C_2Cu_2 + H_2O$, Azetylenkupfer) eingeht.

Weitere Schutzmaßnahmen sind in dem Abschnitt „Die Behandlung der Azetylenentwickler“ angegeben.

Azetylen-Dissous (gelöstes Flaschengas). Die hervorragenden Eigenschaften des Azetylens als Schweißgas ließen bald den Gedanken aufkommen, es ähnlich dem Wasserstoff, Blaugas und anderen Brenngasen in Stahlflaschen verdichtet aufzuspeichern und somit gebrauchsfertiges Azetylen auf den Markt zu bringen. Die großen Schwierigkeiten, die sich der Verdichtung des Gases entgegenstellten, infolge seines großen Explosionsvermögens schon bei 2 at Druck, wurden durch äußerst sinnreiche Anwendung verhältnismäßig einfacher Mittel behoben. Um lohnende Mengen Gas in Gastransportflaschen normaler Größe unterbringen zu können, machte man sich zunächst das große Lösungsvermögen des Azetons für Azetylen nutzbar. Auch andere Flüssigkeiten vermögen Azetylen zu lösen, z. B. Wasser (1:1,1), Kalkmilch (1:0,75), Benzol (1:4) usw. Wir kommen auf die Wichtigkeit der Lösung von Azetylen in Wasser noch zu sprechen (S. 69). Azeton (C_3H_6O), Essiggeist, ist ein Bestandteil, der durch trockene Destillation des Holzes entstehenden, flüssigen Erzeugnisse, die mit Kalkmilch neutralisiert (d. h. neutral, unwirksam gemacht) werden und nach geeigneter chemischer Reinigung das starkkriechende (mit einem dem Essigäther ähnlichen Geruch) flüssige und wasserhelle Azeton bilden. Neuerdings wird Azetylen als Ausgangsprodukt für die synthetische Azetongewinnung verwendet (d. h. für die Gewinnung aus den Urstoffen). 1 l Azeton löst bei atmosphärischem Druck bis 24 l Azetylen. Die

Lösungsfähigkeit wächst entsprechend der Drucksteigerung, so daß bei 15 at Druck 1 l Azeton etwa $24 \cdot 15 = 360$ l Azetylen gelöst aufnehmen kann. Bei der Aufnahme von 24 l Azetylen je Liter Azeton dehnt sich letzteres um nur rund 5 vH = 0,05 l aus, so daß bei einem Drucke von 15 at (360 l Gas) die Ausdehnung jedes Liters Azeton etwa 80 vH ausmacht, d. h. 1 l Azeton nimmt dann einen Raum von 1,8 l ein. Mit steigender Temperatur sinkt das Lösungsvermögen des Azetons ziemlich rasch. Bei Druckentlastung, also beim Öffnen des Flaschenventils, wird das von dem flüssigen Azeton aufgesaugte Azetylen je nach Temperatur in schwankenden Mengen freigegeben, ohne daß dabei, wie bei Blaugas und flüssigem Methan, die Zwischenschaltung eines Ausdehnungsbehälters notwendig ist. Man kann sich den Vorgang am einfachsten klarmachen, wenn man dabei an eine geöffnete Selterswasserflasche denkt. Die Flaschenöffnung bedingt Druckabnahme im Flascheninnern und stürmisches Austreten der vom Wasser verschluckten Kohlensäure.

Die unter 1 at absolutem Druck erstmalig eingefüllte Gasmenge kann der Flasche nicht mehr entnommen werden, da sonst ein Vakuum (ein luftleerer Raum) gebildet werden müßte. Es müssen demnach stets mindestens $16 \cdot 24 = 384$ l Azetylen in der Flüssigkeit gelöst verbleiben.

Als besonders nachteilige Verunreinigung des Azetons ist Wasser anzusehen. Es setzt das Lösungsvermögen des Azetons für Azetylen stark herab, und zwar genügt schon ein Wassergehalt von 2,5 vH, um das Aufnahmevermögen des Azetons für Azetylen von 24 auf 2 l herabzudrücken.

Die Lösung (Aufsaugung) des Azetylens in Azeton ist auch bei hohem Druck (in Deutschland zugelassener Höchstdruck 15 at) nicht explosiv, wohl aber der über der Flüssigkeit befindliche Dampf von verdichtetem Azetylen. Aus diesem Grunde müssen wirksame Zwischenträger die Ausscheidung bzw. Ansammlung solcher verdichteter Dämpfe zuverlässig verhindern, und das geschieht, indem man die Azetylenflasche mit einer meist zu Brei angerührten, hauptsächlich aus Kieselgur und Holzkohle bestehenden, 1894 von Ing. Claude und Heß erfundenen Masse¹ von großer Porosität (Durchlässigkeit) völlig anfüllt, eintrocknet und dann die zementartig gewordene Füllung mit Azeton sättigt. Die Menge des in der Flasche enthaltenen Azetons macht etwa $\frac{4}{10}$ (40 vH) des Flascheninhalts aus. Eine 40 l-Flasche enthält demnach 16 l Azeton. Die Porosität der Masse beträgt bis zu 80 vH, d. h. das mit ihnen ausgefüllte Flascheninnere bleibt bis zu $\frac{4}{5}$ seines Raumes hohl und für Azeton und Gas aufnahmefähig. Dabei sind die kleinen Hohlräume sowohl auf die Stoffe der Masse (Kieselgur, Asbest, Seide, Holzkohle, Kork, Zellstoff u. dgl.) selbst, als auf die Zwischenräume zwischen diesen zurückzuführen; letztere entstehen, wenn aus der Füllmasse beim Trocknen im Ofen die Feuchtigkeit ausgetrieben wird. Etwa $6 \div 7$ vH der Flasche bleiben mit Masse ungefüllt; es ist dies der sog. Sicherheitsraum (für Raumzunahme bei Temperatursteigerung). Die Masse als solche hat vornehmlich die Aufgabe, in ihren Poren das Azetylen in möglichst fein verteiltem Zustande aufzunehmen und dadurch eine Trennung der Azetylenmoleküle zu verursachen, wodurch die Weiterleitung eines örtlich einsetzenden Zerfalls des Gases wesentlich behindert oder völlig unterbunden wird. Nach der Sättigung der Masse mit Azeton wird peinlich gereinigtes, trockenes Azetylgas unter $12 \div 15$ at Druck in die Gasflaschen hineingepreßt. Flaschen von $10 \div 50$ l Wasserinhalt fassen dann $1000 \div 6600$ l Gas, eine Normalflasche von 40 l Wasserinhalt bei 15 at Druck rund 6000 l. Die Gasent-

¹ Am bekanntesten unter den in Deutschland zugelassenen Massen sind die schwedische (Aga-) und die Piwamasse, welche letztere zum großen Teil aus Korkstückchen besteht.

nahme geschieht, wie beim Sauerstoff, mittels eines Druckminderventils. Eine Sicherheitswasservorlage ist beim Schweißen mit Flaschenazetylen nicht erforderlich. Allerdings macht sich hier ein anderer unangenehmer Umstand geltend, der besonders bei Entnahme größerer Gasmengen beachtet werden muß. Das Azeton wird in kleineren oder größeren Mengen, je nach Gasentnahme, vom Azetylen mitgerissen, weshalb es bei starker Gasentnahme notwendig ist, mehrere Gasflaschen zusammenzuschließen. Hierfür kann folgende Regel gelten. Einer Azetylenflasche sollen minutlich höchstens 20 l Gas entnommen werden, was einem stündlichen Verbrauch von 1200 l entspricht; doch sollte dieses Höchstmaß nicht erreicht werden. In der Praxis ist es empfehlenswert, derart zu verfahren, daß man beim Schweißen von mehr als 10 mm starken Blechen mehrere Flaschen zusammenschließt, und zwar bei 10 ÷ 20 mm Blech 2 Flaschen, darüber hinaus 3 Flaschen, so daß jeder Flasche stündlich nicht mehr als 1000 l entnommen werden. Auf diese Weise ist es möglich, dem Azeton genügende Mengen Gas zu entziehen, ohne Teile von ihm selbst mit in die Schlauchleitung zu reißen, woselbst es später zum Verschmieren und zur Verstopfung der Brennerbohrungen führen würde. Ähnlich dem Feuchtigkeitsgehalt des Gases wirkt auch ein Gehalt an Azeton verzögernd auf den Schweißvorgang. Nach den Wißschen Versuchen enthielt das entspannte Flaschenazetylen bei nur 100 l stündlicher Entnahme bei 20 at Flaschendruck 1,25 vH Azetondampf, bei 10 at 3 vH, bei 5 at 4,5 vH und bei 1 at Flaschendruck sogar 7,8 vH Azetondampf. Demnach nimmt der Azetongehalt des entspannten Azetylens mit fallendem Flaschendruck erheblich zu. Die Temperatur für obige Zahlen beträgt 20°, bei höheren Temperaturen und bei höherer Entnahmegeschwindigkeit sind die Azetonmengen im entnommenen Gase noch wesentlich größer. Aus diesem Grunde müssen die Flaschen möglichst kühl gehalten werden, und es dürfen ihnen über das oben angegebene Maß hinausgehende Mengen nicht entnommen werden. Die Schweißminderleistung beträgt etwa 1,8 vH für je 1 vH Azetongehalt im Gase.

Schon bei ordnungsmäßiger Gasentnahme werden jeder Azetylenflasche während ihrer völligen Entleerung im Mittel etwa 350 cm³ Azeton entzogen, die vom Füllwerk zwecks Herstellung des normalen Ladungsvermögens ersetzt werden müssen. Neben anderen ist dies auch ein Hauptgrund, weshalb, um weitere Azetonverluste zu vermeiden, ein guter Verschluß des Flaschenventils nach Arbeitsbeendigung und vor Versand der entleerten Flasche zu beachten ist. Ungewöhnliche Verluste an Azeton werden dem Verbraucher vom Füllwerk in Rechnung gestellt.

Die Flaschen sind vorsichtig zu behandeln und dürfen weder geworfen noch gestoßen werden, da sich sonst in der Flasche größere Hohlräume bilden können, die sich mit explosiblem verdichteten Azetylen anfüllen. Inwieweit diese Annahme (Hypothese) den Tatsachen entspricht, ist noch nicht vollkommen einwandfrei festgestellt. Auch im Druckminderventil befinden sich bis zum Hartgummikegel, der den Gaskanal verschließt, mehrere Kubikzentimeter freien Azetylens unter anfänglich 15 at Druck, ohne daß hierdurch Explosionserscheinungen nachzuweisen gewesen sind. Doch haben Flaschen ohne große Hohlräume den bedeutenden Vorteil, daß ihre Füllmassen Flammenrückschläge glatt zum Stillstand bringen und einen Zerfall des Gases in der Flasche verhindern, was sonst nicht der Fall wäre.

Es sei betont, daß flüssiges Azetylen (bei 22 at Druck und der kritischen Temperatur von $\pm 0^\circ$ wird Azetylen flüssig) in der Technik nicht verwendbar ist; es ist außerordentlich explosiv und gilt laut Gesetz als Sprengstoff. In den Dissousflaschen ist es gasförmig gelöst enthalten. Der Verbrauch an gelöstem Azetylen beträgt in Deutschland rund 1 000 000 m³ im Jahr.

Weiteres bezüglich der Behandlung und Beschaffenheit der Gasflaschen folgt im nächsten Abschnitt.

Eine übersichtliche Darstellung einer Erzeugungsanlage für gelöstes Azetylen gibt Abb. 16. Im Vordergrund links befinden sich die beiden Azetylenentwick-

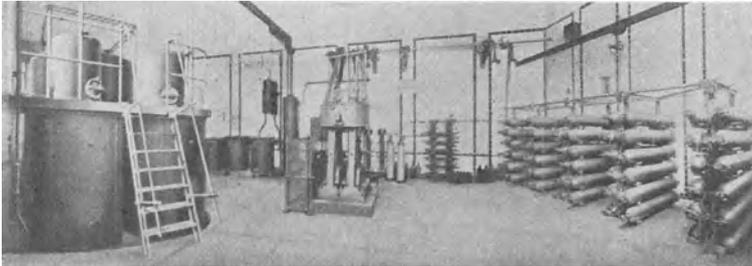


Abb. 16. Erzeugungsanlage für gelöstes Azetylen.

ler, dahinter hat der Gassammler Aufstellung gefunden. Hinten links an der Rückwand befinden sich die chemischen Reiniger und die Trockner, daneben eine Trockenflaschenbatterie und davor der Azetylenabfüllkompressor. Entlang der rechten Seitenwand sieht man die Abfüllrampe mit den nebeneinandergeschalteten Flaschenbatterien für gelöstes Azetylen. Die Flaschen werden liegend gefüllt.

B. Azetylenanlagen, Schweißgeräte und deren Behandlung.

1. Stahlflaschen für verdichtete Gase.

Einrichtung der Stahlflaschen. Da die wirtschaftliche Selbsterzeugung der zum Schweißen und Schneiden erforderlichen Gase nur sehr selten möglich und vor allem an bedeutenden Verbrauch gebunden ist, sind die weitaus meisten selbst größere Schweißereien für den Bezug von Sauerstoff, Wasserstoff usw. auf

besondere Werke angewiesen. Mit Rücksicht auf den hohen Füllungsdruck, den die in diesen Gaswerken gefüllten Gastransportflaschen auszuhalten haben, wird für solche Stahlflaschen nur hochwertiger Baustoff, meistens Mannesmann-Stahlrohr, verwendet. Der Inhalt der Flaschen wird nach ihrem Wasserfassungsvermögen bestimmt.

Zahlentafel 1.

Rauminhalt der Flasche in l Wasser	Abmessungen der Flasche		Inhalt an Gas (O) in l bei 150 at	Gewicht der Leerflasche in kg
	Höhe	Durchmesser in mm		
1,2	410	85	180	3
2,2	570	90	330	5
5,5	650	140	825	14
10,5	1000	140	1600	21
33	1550	200	5000	60
40	1800	200	6000	73
50	2130	200	7500	85

Je nach ihren Abmessungen fassen die Flaschen 1 ÷ 50 l Wasser. Im Schweißereibetriebe finden ziemlich ausschließlich die Normalflaschen mit 40 l Wasserinhalt Verwendung, die bei einem Durchmesser von etwa 200 mm eine Höhe von etwa 1800 mm haben. Solch eine Flasche nimmt bei 150 at Füllungsdruck 600 l = 6 m³ verdichtetes Gas auf (gasförmig, nicht flüssig wie Kohlensäure oder Blaugas); Gewicht der Flasche leer: ca. 73 kg, mit Sauerstoff gefüllt ca. 81 kg. 1 m³ Sauerstoff wiegt 1,43 kg, 6 m³

wiegen demnach 8,58 kg; das genaue Gewicht wäre mithin $73 + 8,58 = 81,58$ kg. Da Wasserstoff nur 90 g je Kubikmeter wiegt, ergibt sich bei der Vollflasche ein Gewicht von $73 + 0,540 = 73,54$ kg Inhalt. Annähernde Abmessungen und Gewichte verschiedener gangbarer Flaschengrößen sind in Zahlentafel 1 zusammengestellt.

Das Aussehen der Flasche zeigt Abb. 17 im Schnitt, zur Platzersparnis in der Höhe unterbrochen. Ein Stahlrohr *a* von $5 \div 8$ mm Wandstärke ist unten flachbogenförmig geschlossen und oben bei *b* halsförmig eingezogen. Der meist durch einen warm aufgezogenen Sprengring *h* verstärkte Flaschenhals *b* besitzt außen ein zylindrisches Rohrgewinde *e*, das im Gegensatz zur Abbildung meist am Sprengring angebracht ist und zum Aufschrauben der Schutzkappe *f* (die das Flaschenventil *d* während des Transports der Flasche zu schützen hat) dient. Um die senkrechte Stellung der Flasche zu ermöglichen, ist am unteren Flaschenende ein Fuß *i* warm aufgezogen, der durch die quadratische Form seiner Grundfläche auch das Fortrollen der liegenden Flasche verhindert. Bei *k*, unterhalb des Flaschenhalses, sind eingeschlagen: der Name des Eigentümers, die Flaschennummer, die Gasart (Sauerstoff, Wasserstoff usw.), das Flaschengewicht, der Probedruck (225 at) und der zulässige Füllungsdruck sowie der Wasserinhalt der Flasche. Der Probedruck für Azetylen-Dissous-Flaschen beträgt 40 at (in England 60 at), liegt mithin um 166 vH höher als der Füllungsdruck. Änderungen an den Inschriften der Flasche dürfen nur an entleerten Flaschen und nur mit ausdrücklicher Genehmigung der amtlichen Prüfstelle vorgenommen werden.

In Anbetracht der hohen Füllungsdrucke und der damit verbundenen Gefahren, unterliegt nicht allein die Herstellung der Flaschen einer gewissenhaften Prüfung amtlicher Organe nach gesetzlichen Vorschriften, sondern die Flaschen werden auch alle fünf Jahre einer behördlichen Nachprüfung unterzogen. Die Gasfüllwerke sind angewiesen, diese Nachprüfung der Stahlzylinder auf Kosten des Flascheneigentümers zu veranlassen (Polizeiverordnung betreffend den Verkehr mit verflüssigten und verdichteten Gasen vom 1. Juli 1922, § 7). Widersetzt sich der Eigentümer der Flasche der amtlichen Prüfung, so hat das Gasfüllwerk die Füllung der Flasche abzulehnen. Der meist sehr mangelhafte Flaschenanstrich (dessen Farbe infolge des häufigen Transports der Flaschen selten deutlich zu erkennen ist) soll ein äußeres Kennzeichen für die in der Flasche befindliche Gasart sein. Allgemein gilt blau für Sauerstoff, rot für Wasserstoff, weiß für Flaschenazetylen als Anstrichfarbe. Stickstoffflaschen sind grün und Flaschen für Preßluft und andere Gase grau zu streichen.

Die Füllwerke unterscheiden zwischen Leih- und Eigentumsflaschen. Unter Leihflaschen versteht man die vom Werk auf bestimmte Zeit kostenlos beigestellten Flaschen; die Eigentumsflaschen sind Besitz des Verbrauchers. Nach Ablauf von vier Wochen, während welcher die Flaschen normalerweise vom Werk kostenlos gestellt werden, wird je Tag und Flasche eine Leihgebühr von 5 Pf.,

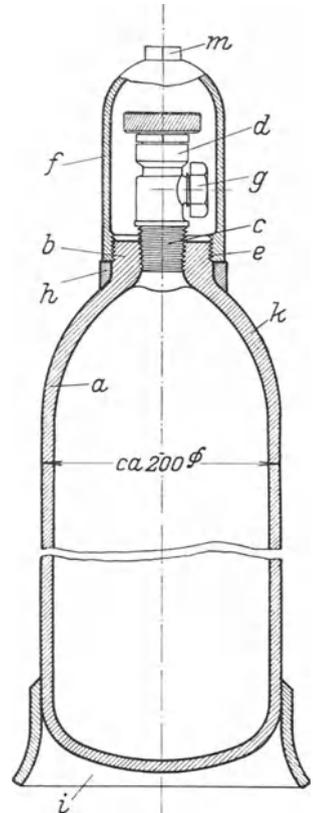


Abb. 17. Schnitt durch die Stahlflasche.

nach Ablauf von acht Wochen 10 Pf. je Tag und Flasche berechnet. Eine Benutzungsgebühr für Eigenflaschen kommt natürlich nicht in Frage; im Gegenteil tritt beim Bezuge von Gasen eine Preisermäßigung von meist 10 Pf. je Kubikmeter Gas ein, so daß sich bei großem Verbrauch ein entsprechender Park an Eigenflaschen sehr wohl lohnt.

Das am Flaschenkopf in das innere, konische Gewinde *c* (Gasgewinde nach Dinorm 477) eingeschraubte Flaschenventil *d* hat den Hauptzweck, die gefüllte Flasche zu verschließen und das zur Gasentnahme unter beliebig hohem Druck notwendige Druckminderventil (siehe dieses) möglichst einfach anzuschließen. Das Ventil *d* darf vom Verbraucher niemals entfernt werden. Der Gewindekonus hat den Zweck, das Ventil fest in die Flasche einschrauben zu können, damit es ohne fremde Dichtungsmittel gegen den hohen Druck abdichtet (deshalb auch der Sprengring *h* am Flaschenhals).

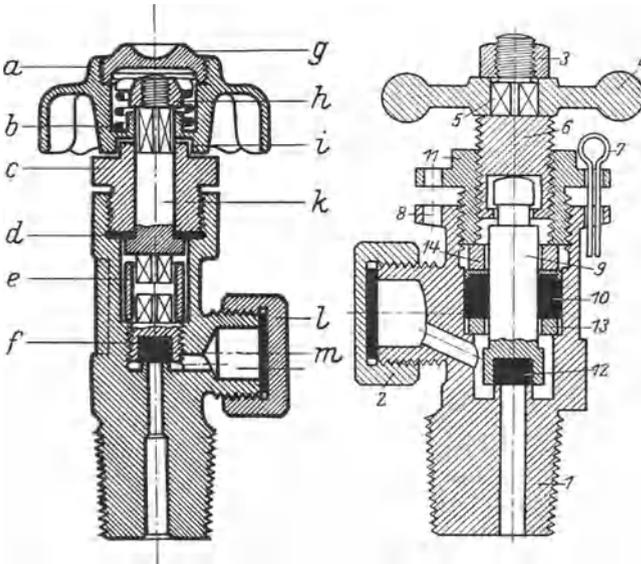


Abb. 18. Flaschenventile im Schnitt. Abb. 18a.

Abb. 18 zeigt ein solches Flaschenventil im Schnitt, das sich auf Grund seiner zweckmäßigen Konstruktion sehr gut eingeführt hat. Das Handrad *a* wirkt durch Vierkant auf die Oberspindel *k*, die durch eine lose Messingmuffe *e* mit der den Abdichtungsstößel *f* tragenden Unterspindel verbunden ist. Die Feder *b* preßt die Oberspindel *k* an die Dichtung *d* an; sie sitzt geschützt in einer Ausdehnung des Handrads unter einem verschraubbaren Deckel *g*. (Die neueren Ventile dieser Bauart haben gegenüber der in Abb. 18 gezeigten,

eine geringe Änderung des Handrades *a* und des Deckels *g* erfahren, was aber die Arbeitsweise des Ventils nicht berührt). Die abdichtende Mutter *c* ist oben mit einem Ansatz *i* versehen, um das früher so häufige Verbiegen der Oberspindel durch das Handrad zu verhindern. Bei *m* ist der Anschluß für das Druckminderventil, der während des Transports und bei Nichtbenutzung durch eine Verschlußmutter *l* verschlossen ist. Über Behebung von Undichtigkeiten am Flaschenventil wird später noch das Erforderliche ausgeführt. Die verschiedenen auf dem Markt befindlichen Ventilkonstruktionen unterscheiden sich vorwiegend in der Art ihrer Abdichtung *d* und der Kupplung *e*. Ein Flaschenventil mit Stopfbüchsendichtung zeigt Abb. 18a. Der Fiberring der Abb. 18 ist durch einen Gummizylinder 10 ersetzt, der gegen die Metallringe 13 und 14 gepreßt wird. Die Oberspindel 6 trägt oben einen Vierkant 5 zur Aufnahme des Handrädchens 4. An ihrem unteren Ende befindet sich ein Schlitz, der beim Drehen des Handrädchens die Unterspindel 9 zwangsläufig mitnimmt. 12 ist der in die Unterspindel eingesetzte Hartgummipfropfen, 11 ist die Stopfbüchse mit Feststellsplint 7. Die Teile 1 und 2 entsprechen der Abb. 18.

Das Anschlußgewinde der Flaschenventile für das Druckminderventil ist nach gesetzlichen Bestimmungen bemessen und, um Verwechslungen beim Füllen der Flaschen und damit Explosionsgefahren vorzubeugen, für die verschiedenen Gasarten verschieden. Alle Sauerstoffflaschen tragen Rechtsgewinde, alle Wasserstoffflaschen Linksgewinde. Bis vor kurzem waren Durchmesser und Gangzahl für beide Gewinde, ob links- oder rechtsgängig, gleich. Nach der neuen „Polizeiverordnung für den Verkehr mit verflüssigten und verdichteten Gasen“, gültig ab 1. Juli 1922, haben die Wasserstoffflaschen das alte, früher auch für Sauerstoff übliche Kohlensäureflaschengewinde behalten (21,8 mm Gewindedurchmesser, 14 Gang auf 1", linksgängiges Außengewinde). Die Sauerstoffflaschenventile dagegen haben an Stelle dieses $1/2$ " Gasgewinde einen $3/4$ " Gasgewindeanschluß erhalten (26,174 mm Gewindedurchmesser, 14 Gang auf 1", rechtsgängiges Außengewinde). Näheres ist aus dem vom deutschen Normenausschuß (Berlin NW 7, Ingenieurhaus) herausgegebenen Normenblatt Dinorm 477 zu ersehen¹. Das neue Gewinde ist nunmehr an allen Sauerstoffflaschen angebracht worden. Maßgebend für die Änderung war auch der Umstand, daß es während des Krieges vielen Schweißern gelang, die linksgängigen Gewinde der eisernen Anschlußmuttern (es gab ja nur wenig Messing) auf rechtsgängiges Gewinde der Flaschenventile aufzuschrauben, und umgekehrt. Dadurch wurden die Flaschenanschlußgewinde (Messing) gänzlich unbrauchbar, was eine dauernde Gefahrenquelle bildete. Stickstoffventile haben 24,3 mm rechtsgängiges Außengewinde und Preßluftflaschen 22,9 mm rechtsgängiges Innengewinde.

Die Flaschenventile für gelöstes Azetylen weichen von den übrigen Ventilen insofern ab, als sie keinen Gewindeanschluß, sondern einen Zapfenanschluß tragen (s. Abb. 21). Ein mittels Fiberring *c* abgedichteter, in eine entsprechende Bohrung *b* passender Zapfen *a*, wird durch einen Bügel *d*, den Flaschenbügel (der über das Flaschenventil hinüberreicht), mit Hilfe einer Schraube *k* fest angepreßt. An Stelle des Handrades in Abb. 18 tritt bei diesem Ventil ein Vierkant bei *i*. Am oberen Ende der Schutzkappe dieser Flaschen ist ein steckschlüsselähnlicher Vierkantansatz angebracht, der zum Öffnen des Flaschenventils dient. Diese Art des Druckminderventilanschlusses ist nur bei Azetylenflaschen gebräuchlich und erfüllt ihren Zweck ausreichend. Neuerdings gelangen auch Azetylenflaschen in den Verkehr, bei denen der Vierkant *i* durch ein kleines Handrad ersetzt ist. Auf den übrigen Teil der Abb. 21, der das gleich angeschraubte Druckminderventil darstellt, wird noch im Abschnitt „Druckminderventile“ kurz Bezug genommen.

Fast sämtliche Flaschenventile werden aus Druckmessung, seltener aus Bronze hergestellt; eine Ausnahme macht lediglich das schmiedeeiserne Flaschenventil für gelöstes Azetylen. Die Verwendung von Kupfer und Messing ist hierfür verboten (S. 21).

Auf die fünfjährige amtliche Prüfung der Stahlflaschen war bereits hingewiesen worden. Der Prüfungsdruck liegt um 50 vH höher als der Betriebsdruck, mithin bei $150 + 75 = 225$ at. Während der Prüfung wird das Flaschenventil ausgebaut und ein Prüfungsgewindestück aufgeschraubt. Die Druckprüfung erfolgt durch Wasser, wobei sich der Durchmesser des Stahlzylinders nicht vergrößern darf. Nach erfolgter Prüfung wird die Flasche abgestempelt und eine besondere Prüfungsbescheinigung ausgestellt.

Die wiederkehrende Prüfung der Flaschen ist von großer Wichtigkeit und erfolgt auch im Interesse aller beteiligten Kreise sowie der öffentlichen Sicherheit. Wenngleich im Hinblick auf die Güte des verwendeten Stahls Mängel an den

¹ S. auch „Die Schmelzschweißung“, 1922. S. 200.

Stahlzylindern außerordentlich selten sind, können unsichtbare Baustofffehler vorhanden sein, wie dies z. B. bei der in Abb. 19 und 20 gezeigten Flasche der Fall gewesen ist. Sie platzte bei 225 at Wasserdruck. Die Bruchstelle ist in Abb. 20 in vergrößertem Maßstabe zu sehen. Die Untersuchung des Baustoffes ergab, daß beim Walzen zwei Blechschichten kalt aufeinander gearbeitet worden waren, die lange Zeit zwar dem wiederholten Füllungsdruck standzuhalten vermochten, infolge häufiger Erschütterungen durch den Transport und aus anderen Ursachen schließlich aber doch beim Prüfen zu Bruche gingen.



Abb. 19. Zerplatzte Sauerstoffflasche.

Behandlung der Stahlflaschen. Bei Eingang des kurz mit Flasche bezeichneten Stahlbehälters (Benennungen wie: Bombe, Rezipient usw. sind seltener und unpassend) hat man sich zunächst von seinem Inhalt zu überzeugen. Dies ist nur durch Ermittlung des Gasdrucks und entsprechende Umrechnung möglich und im ureigensten Interesse des Verbrauchers gelegen, weil im Füllwerk durch Unachtsamkeit und schlechte Kontrolle, ungenügende Auffüllung oder auch durch Undichtheiten am Flaschenventil während des Transportes Gasverluste eintreten können, die unter Umständen den größeren Teil des eigentlichen, in Rechnung gestellten Inhalts ausmachen. Die Prüfung geschieht, falls sich nennenswerte Unterschiede ergeben, am besten in Gegenwart eines glaubwürdigen Zeugen, um bei etwaigen Weiterungen beweislich gedeckt zu sein.

Zur Flaschen - Inhaltsprüfung wird zunächst die Schutzkappe *f* Abb. 17 abgeschraubt (immer durch Linksdrehung). Mitunter kommt es vor, daß diese Schutzkappe festgerostet oder festgeklemmt

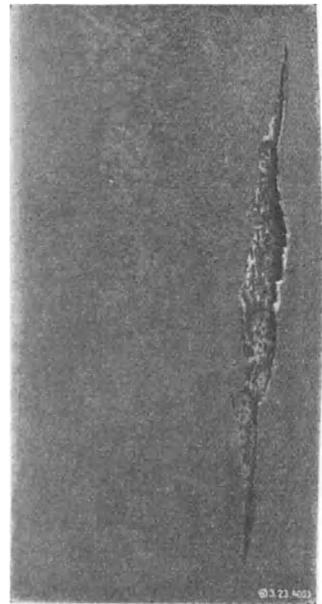


Abb. 20. Rißstelle von Abb. 19.

ist und nicht ohne weiteres durch Drehung des am Sechskant *m* angesetzten Schlüssels gelöst werden kann. Leichtes Anschlagen mit dem Flaschenschlüssel wird die festsitzende Kappe *f* immer lockern. Nach Entfernung der Kappe überzeugt man sich zunächst davon, ob das Handrad *a* am Flaschenventil richtig geschlossen ist (nach rechts fest andrehen!), da mit im gegenteiligen Falle die Gewindeschutzmutter *g* nicht durch den hohen Gasdruck fortgeschleudert werden kann, wenn nur noch einige Gänge eingeschraubt sind. In geräuschvollen Betrieben (z. B. Kesselschmieden) wird das Ausblasen von Gasen meist überhört, deshalb ist doppelte Vorsicht am Platze. Nunmehr wird die Mutter *g* (bei Sauerstoff durch Links-, bei Wasserstoff durch Rechtsdrehung) abgeschraubt, indem man, wie bei allen Handgriffen an der Gasflasche, links oder rechts, niemals aber vor dem Gasausströmungskanal des Ventils Stellung nimmt. Diese Vorsicht dient

zur persönlichen Sicherheit; man schützt sich so gegen das Abfliegen vielleicht locker gewordener Teile des Druckminderventils. Jetzt öffnet man vorsichtig und langsam das Flaschenventil durch etwa $\frac{1}{4}$ Drehung (90°) und läßt eine halbe Sekunde lang das Gas ausströmen, damit etwa vorhandene Rost- und Schmutzteilchen abgeblasen und nicht in das anzuschraubende Ventil hinübergedrückt werden und dort Verstopfungen hervorrufen. Nun kann das Druckminderventil oder — falls ein solches vorhanden — besonderes Prüfmanometer aufgeschraubt und der in der Flasche herrschende Gasdruck abgelesen werden. Die Abdichtung zwischen Druckminder- und Flaschenventil erfolgt durch Zwischenlage eines Fiberringes (23 in Abb. 26), der stets mit den Ventilen geliefert wird.

Natürlich ist Voraussetzung, daß das Inhaltsmanometer des Druckminderventils (über letzteres und dessen Behandlung siehe nächsten Abschnitt) in Ordnung ist und möglichst fehlerfrei anzeigt.

Unter normalen Verhältnissen sind Druckunterschiede, die sich beim Nachprüfen des Flascheninhalts gegenüber dem in Anrechnung gebrachten Druck ergeben, bis zu 5 vH als zulässig anzusehen, da die Manometerwerte trotz geeichter Skalen oft voneinander abweichen und auch der Temperaturunterschied zwischen Fabrikations- und Verbrauchsort der Gase zu berücksichtigen ist. Ergeben sich größere Druckunterschiede als 5 vH, so sind Reklamationen (Beanstandungen) beim Gasfüllwerk im allgemeinen berechtigt. Sind also z. B. 150 at

Sauerstoff berechnet, so muß der Mindestdruck 5 vH unter 150, demnach $150 - 7,5 \sim 142$ at betragen. Man wird normalerweise bei mehr als 140 at Druck nicht reklamieren. Allgemein wird von den Gaswerken der Inhalt der Flasche nach Liter oder Kubikmeter berechnet und nicht nach Atmosphärendruck. Gelöstes Azetylen wird häufig auch nach Gewicht berechnet. Die entsprechende Ausrechnung ergibt sich aus dem nächsten Absatz. Bei der Inhaltsbestimmung sind Raumtemperaturen unter 15° nicht normal und hierbei ablesbare Druckunterschiede nicht ohne weiteres reklamierbar; bei Temperaturabnahme tritt Druckabfall, bei Temperatursteigerung Druckzunahme ein.

Normalerweise sollen einer Sauerstoff- bzw. Wasserstoffflasche minutlich nicht mehr als 200 l Gas (1200 l stündlich) entnommen werden; das ist gleichbedeutend mit der Entleerung einer 6 m^3 -Flasche in 30 min. Andernfalls kuppelt man mehrere Flaschen gleicher Gasart zusammen (Abb. 32 und 33).

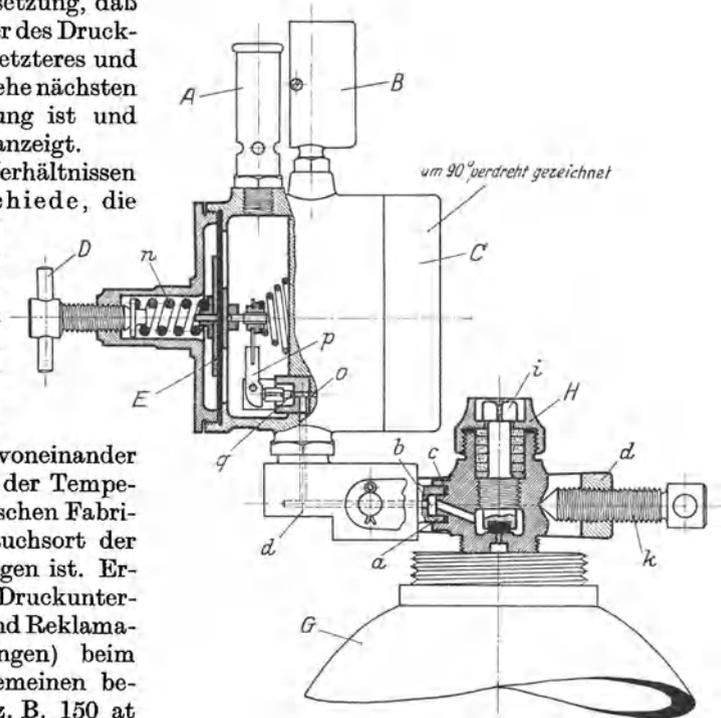


Abb. 21. Flaschen- und Druckminderventil für gelöstes Azetylen.

Die Berechnung des Gasinhalts der Stahlflasche. Sie geschieht, indem man den Wasserinhalt der Flasche mit der Anzahl Atmosphären, die am Inhaltsmanometer des Druckminderventils ablesbar sind, multipliziert. Beispiel: die Flasche habe 40 l Wasserinhalt (Normalflasche), und am Inhaltsmesser werden 150 at abgelesen, so enthält die Flasche $40 \times 150 = 6000 \text{ l} = 6 \text{ m}^3$ Gas von normalem Druck (1 at). Man kann demnach auch sagen, daß bei dieser Flaschengröße 1 m^3 Gas 25 at entspricht. Hat eine Flasche nur 30 l Wasserinhalt und zeigt der Inhaltsmesser 80 at an, so sind in dieser Flasche $30 \times 80 = 2400 \text{ l} = 2,4 \text{ m}^3$ Gas enthalten. Man rechnet also stets die kleine Menge hochgespannten Gases in der Flasche um in eine große Menge niedriggespannten Gases von atmosphärischem Druck (1 at). Mit diesem niedrigen Druck wird das Gas ja auch tatsächlich verbraucht. Im letzten Beispiel haben wir also, genau genommen, umgeformt $30 \text{ l} \times 80 \text{ at}$ in $2400 \text{ l} \times 1 \text{ at}$.

Den Verbrauch an Sauerstoff oder Wasserstoff für eine bestimmte Schweiß- oder Schneidarbeit kann man nach vorigem feststellen, indem man den Flascheninhalt bei Arbeitsschluß vom Flascheninhalt bei Arbeitsbeginn abzieht. Beispiel: Wasserinhalt der Flasche = 40 l. Der Inhaltsmesser zeige bei Arbeitsbeginn 128 at, bei Arbeitsschluß 71 at. Wir haben also in der Flasche bei Arbeitsbeginn: $128 \times 40 = 5120 \text{ l}$, bei Arbeitsschluß $71 \times 40 = 2840 \text{ l}$; der Unterschied $5120 - 2840 = 2280 \text{ l}$ ist der Gasverbrauch. Einfacher ist es, den Druck bei Arbeitsschluß von dem Druck bei Arbeitsbeginn abzuziehen und diesen Unterschied mit dem Wasserinhalt der Flasche zu multiplizieren. Im Beispiel also: $128 - 71 = 57$ at Druckunterschied und daraus: $57 \times 40 = 2280 \text{ l}$ Gasverbrauch.

Diese Rechnungsweise ergibt für die Praxis ausreichend genaue Werte, wenngleich dieselben nur angenähert richtig sind, da in die Rechnung noch die jeweilige Temperatur einzusetzen ist. Eine genaue Berechnung unter Berücksichtigung des Einflusses der Temperatur erfolgt nach folgender Formel:

Inhaltsdruck (150 at) \times Wasserinhalt der Flasche (40 l) \times Temperaturkoeffizient.

Bezeichnet man die Temperatur mit t und den entsprechenden Koeffizienten mit k , dann erhält man folgende Übersicht über die Größe des Temperaturkoeffizienten:

bei $t = + 30^\circ$	$k = 0,950$	bei $t = \pm 0^\circ$	$k = 1,054$
„ $t = + 25^\circ$	$k = 0,966$	„ $t = - 5^\circ$	$k = 1,074$
„ $t = + 20^\circ$	$k = 0,983$	„ $t = - 10^\circ$	$k = 1,095$
„ $t = + 15^\circ$	$k = 1$	„ $t = - 15^\circ$	$k = 1,116$
„ $t = + 10^\circ$	$k = 1,017$	„ $t = - 20^\circ$	$k = 1,137$
„ $t = + 5^\circ$	$k = 1,035$	„ $t = - 25^\circ$	$k = 1,156$

Aus der Übersicht geht hervor, daß ohne Berücksichtigung der Temperatur errechnete Daten bei 15° stimmen, da k bei $15^\circ = 1$ ist. Zum Unterschied sei aber ein Fall angenommen, in welchem eine Gasflasche im Winter bei einer Außentemperatur von $- 15^\circ$ im Freien benutzt wird. Der Gasdruck betrage 110 at bei 40 l Inhalt der Flasche. Demnach würde die Flasche ohne Berücksichtigung des Temperaturunterschieds $110 \times 40 = 4400 \text{ l}$ enthalten; den Temperaturkoeffizienten k eingesetzt erhalten wir indessen $110 \times 40 \times 1,116 = 4910 \text{ l}$, woraus folgt, daß $4910 - 4400 = 510 \text{ l}$ zu wenig ermittelt wurden.

Umgekehrt liegen die Verhältnisse, wenn die Temperatur oberhalb 15° gelegen ist. Es herrsche z. B. eine Temperatur von $+ 25^\circ$, dann ist nach der Tabelle $k = 0,966$. Dies in unser Beispiel eingesetzt ergibt: $110 \times 40 \times 0,966 = 4250 \text{ l}$, während bei oberflächlicher Berechnung 4400, also $4400 - 4250 = 150 \text{ l}$ zuviel festgestellt worden sind. Daher ist zu beachten, daß der ohne Berücksichtigung der Temperatur ermittelte Gasvorrat bei Temperaturen über $+ 15^\circ$ zu groß, bei

unter $+15^{\circ}$ zu gering wird, da ja auch nach der Übersicht oberhalb $+15^{\circ}$ die Werte für k unter 1, unterhalb $+15^{\circ}$ über 1 gelegen sind. Der Einfachheit halber kann man annehmen, daß die Korrektur für je 10° Temperaturunterschied, bezogen auf $+15^{\circ}$, im Mittel etwa 4 vH ausmacht.

1. Beispiel:

$$110 \times 40 = 4400 \text{ l bei } +15^{\circ}, 110 \times 40 = 4400 - 6 \text{ vH, bei } +30^{\circ} = 4000 \\ - 264 = 4136 \text{ l in Wirklichkeit.}$$

2. Beispiel:

$$110 \times 40 = 4400 \text{ l bei } +15^{\circ}, \\ 110 \times 40 = 4400 + 8 \text{ vH bei } -5^{\circ} = 4400 + 352 = 4572 \text{ l in Wirklichkeit.}$$

(Von einer Berechnung des Gasinhalts der Flasche unter Zugrundelegung der absoluten Temperatur [-273°] ist abgesehen worden, obwohl die Rechnungsweise an sich einfacher ist. Die Verfasser konnten gelegentlich der Abhaltung von Schweißkursen feststellen, daß die Rechnung mit dieser Zahl bei den meisten Schweißern auf Schwierigkeiten stieß.)

Der Flascheninhalt und Verbrauch bei Flaschenazetylen (gelöstem Azetylen) läßt sich nicht ohne weiteres durch eine solche Rechnung feststellen, weil das Azetylen in der Flasche in flüssigem Azeton gelöst ist und letzteres sehr große Azetylenmengen in sich aufnehmen kann, und zwar um so mehr, je höher der Druck in der Flasche ist. Man kann aber annehmen, daß 1 l Azeton bei einer Druckzunahme von 1 at etwa 24 l¹ Azetylen von atmosphärischem Druck aufnimmt. Da die Flasche etwa zu 40 vH mit Azeton gefüllt ist, so enthält eine Flasche von 40 l Wasserinhalt bei 1 at Druck: $\frac{40}{100} \cdot 40 \cdot 24 = 384 \text{ l Azetylen}$ und bei 15 at Druck: $\frac{40}{100} \cdot 40 \cdot 24 \cdot 15 = 5760 \text{ l Azetylen}$ (von atmosphärischem Druck)

In dieser Rechnung kommt, wie wir sehen, wieder der Wasserinhalt der Flasche (40 l) und der Flaschendruck (15 at) vor, und wir können annähernd auch den Flascheninhalt durch Multiplikation von: Wasserinhalt \times Flaschendruck \times 10 feststellen. Beim letzten Beispiel ergäbe das: $40 \cdot 15 \cdot 10 = 6000 \text{ l Azetylen}$. Entsprechend läßt sich dann auch der Verbrauch an Azetylen ausrechnen. Eine genauere Bestimmung der Azetylenmenge kann man nur durch Abwiegen der Flasche vor und nach der Schweißarbeit vornehmen. Beispiel: Eine Flasche wiege vor der Arbeit 79,9 kg und nach der Arbeit 78,3 kg. Dann wiegt das verbrauchte Azetylen $79,9 - 78,3 = 1,6 \text{ kg}$. Nun nimmt 1 kg Azetylen bei atmosphärischem Druck einen Raum von 855 l ein. Also beträgt der Azetylenverbrauch in unserem Fall: $855 \times 1,6 = 1368 \text{ l}$. Roh angenähert kann man schließlich den Azetylenverbrauch, auch für Niederdruckazetylen (also im Apparat an Ort und Stelle erzeugt), aus dem Sauerstoffverbrauch feststellen, indem man auf 1 m³ Sauerstoff rund 1 m³ Azetylen rechnet. Oder man stellt den Gewichtsverlust der Flasche nach Vollendung der Arbeit fest und teilt den ermittelten Gewichtsunterschied durch die Zahl 1,17 (Gewicht von 1 m³ Azetylen). Im obigen Beispiele wäre dann

zu rechnen: $\frac{1,6}{1,17} = 1,361 \text{ m}^3 = 1361 \text{ l}$.

Im Gegensatz zu anderen verdichteten Gasen herrscht in einer Azetylenflasche während der Gasentnahme ein ungleich hoher Druck, was darauf zurückzuführen ist, daß aus dem oberen Teile der Flasche mehr Gas entweicht als aus dem unteren. Es ist dies die Folge der Widerstände, die das ausströmende Gas innerhalb der porösen Masse zu überwinden hat, außerdem wohl auch die Folge ungleich rascher

¹ Praktisch rechnet man mit $22 \div 23 \text{ l je Liter Azeton}$.

Abgabe des Gases aus dem Azeton. Dies ist einerseits der Grund dafür, daß der Gasverbrauch nicht am Druckmesser ablesbar ist, andererseits aber auch dafür, daß sich der Druck nach einiger Zeit erholt. Wird nach einer beliebigen Gasentnahme ein bestimmter Druck am Druckmesser abgelesen und die Ablesung nach einigen Stunden, während welchen der Flascheninhalt zur Ruhe gekommen ist, wiederholt, so wird man infolge des Druckausgleiches innerhalb der Flasche einen nennenswert höheren Druck feststellen können, als dies unmittelbar nach Arbeitsvollendung der Fall war. Erst dieser Wert würde die Unterlage für eine rechnerische Ermittlung des Gasverbrauchs geben.

Undichtigkeiten an Stahlflaschenventilen. Diese kann man an Ventilen neuerer Konstruktion meist selbst beheben; Voraussetzung ist allerdings, daß man auch bei gelockertem Handrad den Verschuß des Ventilsitzes ermöglichen kann. Eine solche Konstruktion haben wir in Abb. 18 vor uns. Ursache der Undichtheit ist mit geringen Ausnahmen in der Abnutzung oder Beschädigung des Dichtungsringes *d* zu suchen, welcher zeitweise erneuert werden muß. Wenn ein Nachziehen der Stopfbuchsenmutter *c* nicht mehr genügt, erfolgt die Erneuerung des Dichtungsringes dadurch, daß man nach festem Andrehen (Rechtsdrehung) des Handrades der Reihe nach folgende Teile abmontiert: *g*, *h*, *b*, *a* und *c*. Darauf wird ein neuer Dichtungsring *d* (Ersatz soll immer zur Hand sein), der die Abdichtung des Ventils gegen die Atmosphäre zu besorgen hat, eingelegt und der Einbau der vorhin genannten Teile in umgekehrter Reihenfolge vorgenommen. Während der Entfernung der einzelnen Teile bürgt der in Gewinde geführte Ventilstöpsel *f* für guten Verschuß des Gasausgangskanals. Fehler am Hartgummistöpsel *f* sind nur bei entleerter Flasche im Gasfüllwerk zu beheben, wie auch sonstige Hantierungen an den Flaschenventilen ganz unzulässig sind. Flaschenventile, die keine im Gewinde geführte Unterspindel besitzen oder keine ähnliche Einrichtung tragen, dürfen unter Flaschendruck nicht zerlegt werden, da sonst alle eingebauten Teile durch den Gasdruck herausgeschleudert werden. Um jedem etwaigen Vorkommnis vorzubeugen, wird die Mutter *l* während des Ausbaus der Oberspindel *k* abgeschraubt.

Die Ursache des Undichtwerdens liegt meist darin, daß der beim Füllen der Flasche Feuchtigkeit aufnehmende Dichtungsring *d* während des Lagerns der Flasche trocknet und einschrumpft. Häufig genügt deshalb auch ein völliges Öffnen des Ventils, d. h. das Handrad *a* wird ohne Anwendung von Gewalt solange nach links gedreht als es sich bewegen läßt, wodurch der unter *d* gelegene Dichtungswulst der Oberspindel gegen den Ring *d* gedrückt wird und die Abdichtung herstellt. Im allgemeinen soll man die Oberspindel nur dann in der vorhin beschriebenen Weise ausbauen, wenn kein anderes Mittel mehr die Abdichtung ermöglicht. Allerdings hat auch ein völliges Öffnen des Ventils die auf Seite 35 angeführten Nachteile.

Undichtheiten am Ventil 18a werden entweder ebenfalls durch völliges Öffnen und Andrücken des unteren Ansatzrandes von 9 gegen 13 behoben oder dadurch, daß man bei geschlossenem Ventil die Mutter 3 abschraubt, das Handrad 4 abstreift, den Splint 7 entfernt und darauf die Stopfbuchse 11 nach rechts anzieht. Ist das Ventil dann dicht, so wird der Splint 7 in die entsprechenden Löcher 8 eingesetzt und damit die Büchse gegen Verstellen geschützt.

Vor allem ist zu beachten: Öl oder fetthaltige Stoffe, wie Mennige, Hahnfett, mit fetthaltigen Stoffen getränkte Pappe oder Wollpackung, auch Klingerit oder Leder (wenn auch trocken) usw. dürfen weder mit dem Flaschen- noch mit dem Druckminderventil in Berührung gebracht werden, da hierdurch häufig schwere Explosionen entstanden sind. Diese Warnung bezieht sich hauptsächlich auf Sauerstoff, der unter hohem Druck (über 60 at) befindlich mit Fett

in Verbindung gebracht zu Explosionen führt. Doch ist es sehr zu empfehlen, Fett und Öl auch allen Ventilen der übrigen Schweißgase fernzuhalten, da etwaige, durch Reibung entstehende Selbstzündung durch solche Stoffe weitere Nahrung erhält. Schwergängige und verrostete Kappengewinde werden mit einer Drahtbürste gereinigt oder mit einem Glycerin-Wassergemisch eingeschmiert.

Die Prüfung des Flaschenventils auf Dichtheit kann bei Sauerstoffflaschen durch Ableuchten mit einem glimmenden Holzspan geschehen, wobei sich undichte Stellen durch Aufflammen des glimmenden Spanes deutlich bemerkbar machen. Auch verfährt man wohl bei Sauerstoffflaschen ebenso wie bei Azetylen- und Wasserstoff- (überhaupt Brenngas enthaltenden) Flaschen so, daß man das Ventil entweder mit Seifenwasser einpinselt oder den Flaschenkopf in ein Becken mit Wasser taucht und auf etwaige Blasenbildung achtet.

Prüfung der chemischen Reinheit des Gases. Für eine genauere Prüfung empfiehlt es sich, Analysen durch einen Chemiker vornehmen zu lassen, da die Prüfung außer einiger Erfahrung auch zweckmäßige Analysenapparate erfordert, die in kleinen und mittleren Betrieben selten zur Hand sein werden, obwohl es neuerdings einige sehr brauchbare und handliche Analysenapparatesysteme auf dem Markte gibt. Ein zur Bestimmung des Reinheitsgrades des Gases anwendbares, einfaches Mittel besteht darin, daß man beispielsweise bei Wasserstoff durch einen an das Druckminderventil angeschlossenen Schlauch wenig Gas in ein offenes Gefäß mit Seifenwasser eintreten läßt. Ist der Wasserstoff rein, so brennt er, an den Seifenblasen durch ein Zündholz entzündet, mit ruhiger, blauer Flamme ab. Enthält er hingegen mehr Verunreinigungen (Sauerstoff) als zulässig, so explodieren die Seifenblasen unter Knallen; das in der betreffenden Flasche befindliche Gas darf nicht verwendet werden. Derselbe Versuch kann beim Sauerstoff zum Ziele führen, sofern dieser auf elektrolytischem Wege, d. h. durch Zersetzung des Wassers, gewonnen wurde (aus flüssiger Luft hergestellter Sauerstoff läßt sich auf diese Weise nicht prüfen). Das in den Seifenblasen enthaltene Gas darf dann nicht brennen, auch nicht zerknallen, da es andernfalls Wasserstoff in unzulässig großen Mengen enthält. Eine genauere Feststellung der Verunreinigungen in Prozenten ist natürlich bei diesen beiden Proben ausgeschlossen.

Lagerung der Stahlflaschen. Sie soll am besten liegend erfolgen, um die Flaschen vor Umfallen zu schützen. Auch an Arbeitsstellen im Freien, besonders an Baustellen, ist die liegende Anordnung vorzuziehen, sofern die Flasche nicht durch Rohrschellen an festen Körpern oder durch ähnliche Sicherheitsvorrichtungen wie Flaschenständer, Transportkarren u. dgl. gegen Umstürzen gesichert ist. Es sei jedoch gleich hier darauf hingewiesen, daß Azetylenflaschen nur stehend in Gebrauch genommen werden dürfen. Innerhalb der Werkstätte ist aufrechte Stellung der Flasche vorteilhafter; vor Umfallen ist sie am besten durch Anbringen von Rohrschellen zu bewahren. Ferner sind gefüllte Flaschen vor Sonnen- und Wärmestrahlen zu schützen und dürfen demnach auch nicht in unmittelbarer Nähe von Feuer oder vor großen in Rotglut befindlichen oder vorgewärmten Arbeitsstücken Aufstellung finden. Gase dehnen sich, wie alle Körper, bei Wärme einwirkung aus. Die Erwärmung fällt bei Gasen unter Druck (Flaschengasen) um so mehr ins Gewicht, als sie keine Ausdehnungsmöglichkeit haben, was notwendigerweise Drucksteigerung im Flascheninnern zur Folge haben muß, und diese soll man vorsichtshalber stets verhindern (s. auch S. 30). Starke Kälte, also Frost, ist für die Flaschen ebenfalls schädlich, da der Stahl durch Kälte leicht spröde und brüchig wird. Man wird deshalb die Flaschen im Winter nicht grimiger Kälte aussetzen.

Weder die Leer- noch die Vollflaschen dürfen, wegen der damit verbundenen Gefahr, während des Transports geworfen werden. Die Gasflaschen sind vor Stößen und anderen Erschütterungen zu bewahren. Der Transport der Flaschen an Magnetkränen ist verboten. Da die Leihflaschen nur bis zu 30 Tagen mietfrei sind, darüber hinaus aber eine tägliche Leihgebühr berechnet wird, ist für sofortige Rücksendung nach Entleerung Sorge zu tragen. Bei Rücksendung der Flaschen darf das Aufschrauben von Schutzmutter *g* (Abb. 17) und Schutzkappe *f* nicht vergessen werden, da der Verbraucher sowohl hierfür als auch für etwaige Schäden, die infolgedessen den Flaschen auf dem Transport zustoßen, haftet. Auf dem Frachtbrief sind die Flaschennummern anzuführen.

Festverlegte Sauerstoffleitung. In Betrieben, wo mehrere Schweißstellen in Tätigkeit sind, empfiehlt es sich, neben der von der Azetylenzentrale kommenden Gasleitung auch eine solche für Sauerstoff zu schaffen, indem man eine Anzahl Sauerstoffflaschen zu einer Batterie zusammenschließt. Zweckmäßig wird man diese Flaschenbatterie außerhalb der Werkstätte in einem kleinen besonderen Raum, eventuell in einem durch Brandmauer getrennten Nebenraum des Azetylenhäuschens aufstellen, jedenfalls aber an einem Orte, der ein bequemes Hantieren mit den Flaschen gestattet. Dadurch entfällt der umständliche Transport der Stahlflaschen zu und von den Schweißstellen. Der die Azetylenanlage bedienende Arbeiter versorgt auch die Sauerstoffflaschenbatterie, so daß durch Auswechseln der Flaschen und der Druckminderventile entstehende Arbeitsstörungen für den Schweißer fortfallen und Gefahren, verursacht durch den Transport und die Aufstellung der Flaschen innerhalb der Arbeitsräume, abgewendet werden.

Von der Sauerstoffzentrale (die Anzahl der zusammenschließenden Flaschen richtet sich natürlich nach der Anzahl der Schweißstellen und nach dem stündlichen Gasverbrauch) führt eine Rohrleitung nach den einzelnen Schweißstellen, woselbst die Druckminderventile angeschlossen werden und dauernd befestigt bleiben (am besten gleich neben der Azetylen-Sicherheitswasservorlage). Die Rohrleitungen sind mit dem üblichen Gefälle zu verlegen, an den tiefsten Stellen sind Wasserablaßventile und in jedem Werkstättenhauptstrang Manometer anzu-

Zahlentafel 2.

Länge des Rohrstrangs in m:	Lichter Durchmesser in mm bei einer Durchflußmenge an Sauerstoff je Stunde in m ³					
	1	2	4	6	8	10
10	3	4	5	6	7	8
20	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
30	4	5	6	7	8	9
50	4,5	5,5	7	8	9	10
100	5	6	7,5	9	10	11
200	6	7	9	10	11	12
500	7	9	11	12	13	15

bringen. Als Werkstoff dient auf längere Strecken nahtloses Stahlrohr, auf kürzere Strecken vorteilhaft Kupferrohr. In kleineren Betrieben kann auch eine kleinere Batterie in einer Ecke der Werkstatt Aufstellung finden und mit den Ventilen durch eine Kupferrohrleitung verbunden werden. Die Wandstärke der Stahlrohre muß betragen bei 10 mm l. W.: 4 mm, bei 20 mm l. W.: 5 mm, bei 30 mm l. W.:

6 mm und bei 50 mm l. W.: 8 mm. Der hohe Druck erfordert eine gewissenhafte Verlegung der Rohrleitung entsprechend den Bestimmungen für Hochdruckrohrleitungen. Die Wahl ausreichender Rohrquerschnitte ermöglicht weitgehende Gasentnahme und Ausnutzung des Flascheninhalts bis auf geringe Drucke. In Zahlentafel 2 sind die Rohrweiten bei verschiedener Stranglänge der Hauptleitung, bei 1 at Druckabfall und Ausnutzung des Gasdrucks der Sammelbatterie bis auf 5 at, zusammengestellt. Für die Anschlußrohre vom Hauptrohr zum Druckminderer genügt eine lichte Weite von 4 ÷ 5 mm.

Abb. 22 veranschaulicht das Schema einer Gasflaschenbatterie mit 5 Flaschen und 5 Reserveflaschen. Häufig verbindet man die Batterie mit einem Hauptdruckminderventil und schickt das Gas unter einem Drucke von $10 \div 20$ at in die Gebrauchsleitung bzw. zu den Einzeldruckminderventilen. Im Bedarfsfalle kann auch Wasserstoff auf diese Weise in Rohrleitungen fortgeleitet werden, nicht aber gelöstes Azetylen (s. S. 21), da dieses in den Leitungen explodieren würde, worauf ausdrücklich hingewiesen sei.

Explosionsgefahr der Flaschen. Soweit durch starke, chemische oder auch ungewöhnlich große, mechanische Verunreinigung der Gase selbst Gefahrenquellen bestehen, kann der Verbraucher sich leider kaum schützen, doch sind solche Fälle, trotz der außerordentlich hohen Anzahl im Verkehr befindlicher Stahlflaschen, glücklicherweise selten geworden. Im übrigen können wir auf all die mannigfaltigen, überhaupt möglichen Explosionsursachen nicht eingehen; für uns ist allein wichtig, wie bei Behandlung der Flaschen Gefahren abgewendet werden können. Einige Punkte haben bereits Erwähnung gefunden:

Flaschen nicht werfen; keine fetthaltigen Stoffe an die Ventile bringen; Flaschen vor Wärmestrahlen schützen usw. Selbst bei stärkster Erwärmung der Flasche dürfen Gesamtdrucke von 200 at für Sauerstoff und Wasserstoff und von 40 at für gelöstes Azetylen nicht erreicht werden. Hinzugefügt sei noch: das Flaschenventil ist immer langsam, nicht ruckweise zu öffnen und nicht durch endloses Drehen des Handrades, sondern durch nur eine volle Drehung von 360° (nach links). Erst wenn der Flascheninhalt stark zur Neige geht, oder bei besonders starker Gasentnahme ist eine weitere ganze Umdrehung des Handrädchens am Flaschenventil erforderlich. Durch diese Vorsicht ist man in die Lage versetzt, im Falle einer Gefahr das Ventil rasch zu schließen. Undichtigkeiten am Flaschenventil sind sofort abzustellen; erforderlichenfalls ist die Flasche unentleert mit entsprechendem Vermerk bezüglich des Mangels ans Werk zurückzusenden.

Zusammenfassung der Flaschenbehandlung.

1. Schutzkappe abnehmen.
2. Nachsehen, ob Handrad am Flaschenventil (nach rechts) gut geschlossen ist.
3. Seitlich von der Flasche, nie vor dem Ventilauslaß, Aufstellung nehmen!
4. Schutz- (Verschluß-) Mutter lösen.
5. Gas kurz abblasen lassen.
6. Druckminderventil (mit zwischengelegtem Fiberring) anschrauben.
7. Flaschenventil langsam öffnen (eine volle Drehung am Handrad nach links). Nur bei starker Gasentnahme (großer Brenner, Schneiden) darf eine zweite Drehung der Ventilschraube erfolgen.
8. Dichtheit des Ventils prüfen; vorhandene Undichtigkeiten durch Anziehen der Stopfbuchse oder Einlegen eines Fiberrings beheben.
9. Nach Arbeitsbeendigung Flaschenventil schließen.

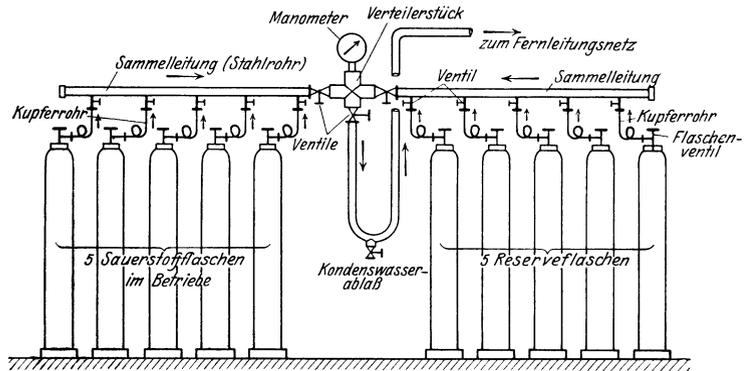


Abb. 22. Festverlegte Sauerstoffleitung mit Flaschenbatterie.

10. Fett und ölhaltige Stoffe und Dichtungen den Ventilen aller Art, bei Sauerstoff unter allen Umständen fernhalten!
11. Die Flaschen nicht werfen!
12. Die Flaschen vor Fall schützen!
13. Die Flaschen vor Wärme- und Sonnenstrahlen schützen!
14. Bei Rücksendung der Flaschen Mutter und Kappe aufschrauben.

2. Druckminderventile.

Zur Entnahme des Gases aus den Stahlflaschen bedient man sich der Druckreduzier- oder Druckminderventile, denen, wie ihr Name sagt, vor allem die Aufgabe zukommt, das Gas von hohem Flaschendruck (150 at) auf den zur Schweiß- bzw. Schneidarbeit erforderlichen niedrigen Druck (meistens: 0,2–6 at) zu bringen.

Konstruktion und Arbeitsweise. Gute Ventile müssen ganz aus Messing, Druckmessing oder Bronze hergestellt sein; aus Gußeisen oder anderen Metallegierungen hergestellte Ventile sind minderwertig. Gußeisen ist nach den Verordnungen der Eisen- und Stahlberufsgenossenschaft als Werkstoff für Druckminderer verboten. Aussehen und innere Konstruktion des Ventils richten sich nach Leistung und Zweck, denen das Ventil zu dienen hat. Zur besseren Unterscheidung sind die Ventile je nach Gasart durch einen Anstrich gekennzeichnet, und zwar tragen Ventile für Sauerstoff blaue, solche für Wasserstoff rote und jene für Flaschenazetylen weiße Farbe, gemäß den zugehörigen Flaschenfarben. Diese Farben sind behördlich vorgeschrieben und daher einheitlich. Entsprechend den Flaschenanschlußgewinden (am Flaschenventil) haben alle Sauerstoffventile Rechts-, alle Wasserstoffventile Linksgewinde. Die übrige Konstruktion kann bei beiden Ventilarten ganz dieselbe sein. Ventile für Azetylen haben, wie wir bereits wissen, einen Flaschenanschlußzapfen statt des Gewindes und sind nur für 15 at Höchstdruck bestimmt.

Jedes zur autogenen Metallbearbeitung bestimmte Druckminderventil muß 2 Manometer (Röhrenfeder-Druckmesser) tragen, einen Inhaltsdruckmesser und einen Arbeitsdruckmesser. Die Stellung der beiden Druckmesser zueinander, ob über-, neben- oder hintereinander, sowie die Anzahl der im Ventillinnern befindlichen Hebel ist im wesentlichen mehr für die Form und Bauart des Ventils als für dessen Arbeitsweise ausschlaggebend. Die Manometereinteilungen sollen nicht verdeckt, sondern leicht übersichtlich sein. Es ist auch eine Ventilkonstruktion (Fernholz) auf dem Markt, die an Stelle der 2 Manometer ein Doppelmanometer trägt, auf dem 2 Zeiger und 2 Skalen im gleichen Gehäuse exzentrisch zueinander angeordnet sind. Je nach der Konstruktion kann die Flaschenanschluß-Überwurfmutter links oder rechts, oben oder unten am Ventil angeordnet sein, desgleichen auch die Druckeinstellschraube. Am Grundgedanken der Arbeitsweise ändert dies alles so gut wie nichts, und nach den folgenden Erläuterungen wird sich der Leser bei allen Ventilen ohne weiteres zurechtfinden, auch wenn ihm Beschreibungen nicht zur Verfügung stehen, was im Einzelfalle aber immer zutreffen sollte.

Wir müssen uns nun vorerst über das Prinzip der Druckverminderung und über die Arbeitsweise der Ventile klar werden. Da Schnittzeichnungen durch Ventilkonstruktionen immer etwas verwickelt erscheinen und ihr Verständnis dem Schweißer Schwierigkeiten verursacht, soll zur Erleichterung unserer Betrachtungen ein einfaches Schema, Abb. 23, herangezogen werden.

Mit der Größe des Schweißbrenners wechselt auch die Höhe des erforderlichen Gasdrucks (verdichteter Gase), weshalb man in der Lage sein muß, den hohen Druck des in der Flasche verdichteten Gases auf den jeweils erforderlichen viel niedrigeren Arbeitsdruck zu bringen, der etwa zwischen 0,2 und 3 at (beim Schweißen) liegt. Hierzu würde schon ein ganz gewöhnliches Nadelventil ausreichen, das

an die Flasche angeschlossen würde. Nun kommt aber ein weiteres, sehr wichtiges Erfordernis hinzu: Der Arbeitsdruck muß beliebig lange Zeit unverändert bleiben, d. h. er darf nicht abfallen, was infolge des bei anhaltender Gasentnahme fortschreitenden Druckabfalls in der Flasche unbedingt eintreten würde. Mit anderen Worten, dem Druckminderventil fallen folgende Aufgaben zu: Bequeme Gasentnahme, Druckverminderung, Gleichhaltung des Arbeitsdrucks während beliebig langer Arbeitsdauer.

In Abb. 23 ist *A* das Druckminderventil, das mit der Flasche durch ein Rohr 2 in Verbindung steht. Beim Öffnen des Flaschenventils tritt das Gas unter vollem Flaschendruck in das Rohr 2 ein, und zwar bis zur durch 3 verschlossenen Rohrmündung. Gleichzeitig tritt das Gas in den Inhaltsmesser 4 ein und gibt den in der Flasche vorhandenen Gasdruck an. Im Gehäuse *A* des Ventils ist ein in 6 drehbar gelagerter, doppelarmiger Hebel 8 eingebaut, dessen eines Ende mit einer Stange 7 in Verbindung steht, während der andere obere Arm einen Hartgummi-kegel 3 trägt, der die Bohrung des Gasaustrittskanals (2) verschlossen hält. Die Schließfeder (Spiralfeder) 13 drückt den Hebel 8 und mit ihm den Hartgummi 3 fest gegen die Bohrung von 2. Zwecks Gasentnahme ist es erforderlich, durch Rechtsdrehung der Schraube 1 die Feder 10 zusammenzudrücken, die ihrerseits die Metallscheibe 9 und die Stange 7 nach links drückt. Dadurch wird auch der schwächere Gegendruck der Feder 13 überwunden, und da ferner eine Bewegung des Hebels 8 oberhalb des Drehpunktes 6 nach rechts erfolgt, wird der Gummikegel 3 vom Sitz abgehoben, und dem Gas ist nun der Zugang zum Innern des Gehäuses *A* freigegeben. Je nachdem die Schraube 1 mehr oder weniger tief hineingeschraubt wird, steigert oder verringert sich der Druck innerhalb von *A*, was am

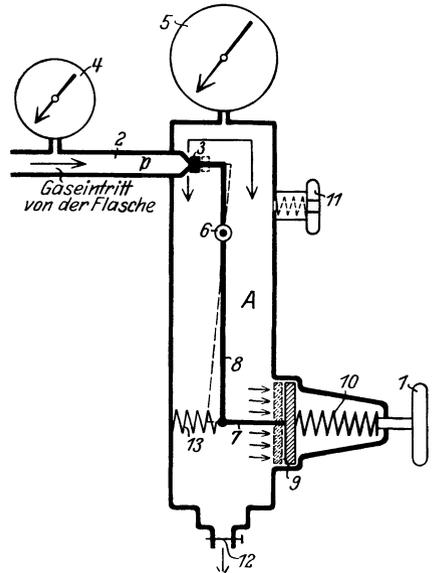


Abb. 23. Schema eines Druckminderventils.

Arbeitsdruckmesser 5 ununterbrochen ablesbar ist. Die Fortführung des Gases erfolgt bei 12 (Pfeilrichtung) durch ein Ventil. Die immer wiederkehrende Frage ist nun die: Warum steigert sich der Druck nicht im Gehäuse *A*, wenn 12 geschlossen wird? Es ist doch anzunehmen, daß solange Gas aus der Flasche nach *A* überströmt, bis in beiden Gefäßen Druckgleichheit herrscht. Gerade aber diesen Umstand soll ja durch das Ventil beseitigt werden. Wodurch geschieht das?

Sobald bei 3 Gas ausströmt nach *A*, so drückt dies gleichmäßig auf alle Wände des Raumes *A*, mithin auch auf den beweglichen Teil 9, auf den kolbenartigen Metallteller (Pfeilrichtung), ganz gleich, ob 12 geöffnet oder geschlossen ist. Da nun die Fläche von 9, auf welche das Gas drückt, sehr viel größer ist als bei 3, wo das Gas nur durch eine kleine Bohrung austritt, so besteht ein großes Übersetzungsverhältnis, und der viel geringere Druck in *A* kann deshalb dem hohen Druck in 2 die Wage halten. Wird z. B. bei 12 mehr Gas entnommen, so nimmt der Druck in *A* ab und wird demnach auch auf 9 geringer werden. Die Folge davon ist, daß die Feder 10 den Teller 9 nach links drückt und damit den Gasdurchgang bei 3 mehr öffnet. Umgekehrt wird bei fallender Entnahme bei 12

der Druck innerhalb *A* höher, 9 nach rechts gedrückt und 3 mehr geschlossen. Auf diese einfache Weise wird durch das Spiel der Kräfte zwischen Gasdruck in *A* auf 9 und Federdruck 10 auf 9, der Metallteller 9 als Druckregler verwendet. Die Regelung erfolgt nur bei 1, und ein einmal hier eingestellter Druck bleibt annähernd gleichmäßig während der ganzen Dauer der Gasentnahme. Vollständige Genauigkeit ist mit Rücksicht auf die Verschiedenheit zwischen Änderung der Federkraft und Abnahme des Gasdrucks nicht zu erwarten, doch reicht die Arbeitsgenauigkeit gut konstruierter Ventile für die Praxis vollkommen aus. 11 ist das Sicherheitsventil.

Übertragen wir unsere Betrachtungen auf die Schnittzeichnung der Abb. 24, so können wir zusammenfassend folgendes sagen:

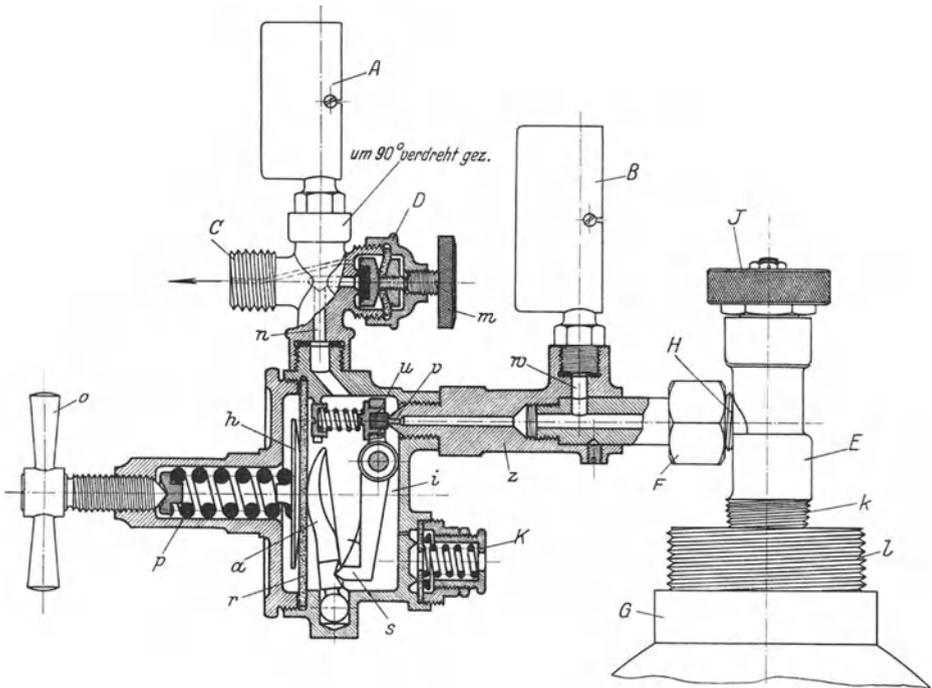


Abb. 24. Druckminderventil für Wasserstoff oder Sauerstoff.

An dem im Bilde rechts gezeichneten Flaschenkopf *G* ist das in Ansicht gezeichnete Flaschenventil *E* angebaut. An dieses ist mittels Überwurfmutter *F* das Druckminderventil angeschraubt. Wird durch Linksdrehung des Handrädchens *J* der Hartgummistöpsel (*f* Abb. 18) gehoben, so tritt das Gas in den Anschlußteil *z* des Druckventils bis zur Entspannungsbohrung *v* ein und zeigt, gleichzeitig durch Kanal *w* strömend, am Manometer *B* den in der Flasche herrschenden Druck an. Durch Drehung der Stellschraube *o*, im Sinne des Uhrzeigers, wird die Feder *p* zusammengedrückt, welche ihrerseits über einen Metallteller *h* und eine Gummimembran *r* das Hebelwerk *as* betätigt. Hierdurch hebt sich der Hartgummistöpsel *u* von der Ausströmungsdüse *v*. Erst jetzt kann das Gas in das Ventilgehäuse *i* einströmen. Der an der Schraube *o* eingestellte, herabgeminderte Arbeitsdruck, wie er innerhalb des Gehäuses *i* besteht, kann am Arbeitsdruckmesser *A* abgelesen werden, welchem das Gas durch den Kanal *n* zufließt.

Um ein Platzen der Feder im Manometer *A* und eine Überlastung des Gehäuses *i* zu verhüten, ist bei *K* ein Sicherheitsventil vorgesehen, das bei einem bestimmten, zulässigen Höchstdruck (der meist am Ziffernblatt, an der Einteilung des Arbeitsmanometers durch einen roten Strich angemerkt ist) den Gasüberdruck selbsttätig ins Freie austreten läßt. An Stelle des einen Hebels (8 in Abb. 23) sind zwei solche (*a* und *s*) angeordnet, wodurch sich der Arbeitsdruck noch genauer einstellen lassen soll. Der Teller (9) *h* wird bei allen Ventilen gegen eine Gummischeibe gedrückt (*r* in Abb. 24). Hierzu ist zu bemerken, daß die in der Abb. 24 bei *k* und in der Abb. 26 bei 22 gezeichneten Sicherheitsventile nach neueren Vorschriften nicht mehr in Richtung der Flasche ausblasen dürfen, vielmehr muß der Gasaustritt nach unten oder oben erfolgen, so daß die Flasche vom Gasstrom nicht getroffen werden kann. Das Sicherheitsventil ist so einreguliert, daß nur ein bestimmter Höchstdruck im Ventilgehäuse auftreten kann, da letzteres nicht für die Aufnahme des vollen Flaschendrucks gebaut ist. *D* ist die Gasentnahmedrosselvorrichtung mit Handrädchen *m* und *C* der Gewindeanschluß für die Schlauchverschraubung. Letzterer trägt rechtsgängiges Gewinde bei Sauerstoff und allen nicht brennbaren Gasen, und linksgängiges Gewinde bei allen Brenngasen (Wasserstoff, Azetylen usw.).

Weitere Konstruktionselemente neuester Art, wie sie z. B. in der Sicherung gegen die mit Inflammation (Ausbrennen) bezeichnete Erscheinung und gegen Flammenrückschläge bestehen, sind für das Verständnis der Arbeitsvorgänge im Ventil belanglos, haben jedoch mancherlei praktischen Wert, der ihr Vorhandensein erwünscht macht.

Der Vorgang des selbsttätigen Ausbrennens von Sauerstoffventilen ist kurz folgender: Die Praxis hat gelehrt und Versuche haben bewiesen, daß bei schnellem Öffnen des Flaschenventils *E* (Abb. 24) die von diesem Ventil bis nach *v* hin vorhandene Luft oder den Sauerstoff (aus einem früheren Arbeitszeitabschnitt) so stark verdichtet wird, daß Temperatursteigerungen bis zu 300, auch 400° vorkommen können; sie genügen, eine Entflammung des Hartgummistöpsels *u* (Entzündungstemperatur 300÷400°) hervorzurufen. Die Verdichtungswärme ist natürlich bei *v* zunächst besonders groß. Der Hartgummistöpsel (Kegel) *u* ist aber durch das häufige An- und Abdrücken an die scharfen Kanten der Bohrung *v* meist an der Sitzfläche etwas angeraut und enthält dann mikroskopisch feine, gelockerte Fäserchen, die sich in Anwesenheit des reinen, verdichteten Sauerstoffs und bei der erhöhten Temperatur entzünden. Die Verbrennung greift außerordentlich rasch auf den Hartgummikegel selbst und von hier auf das ganze Ventil über, das dadurch in wenigen Augenblicken gänzlich zerstört wird. Um sich gegen diese Erscheinung zu schützen, hat man einen sog. Ausbrennschutz gebaut, der heute in fast allen Ventilkonstruktionen vorgesehen ist.

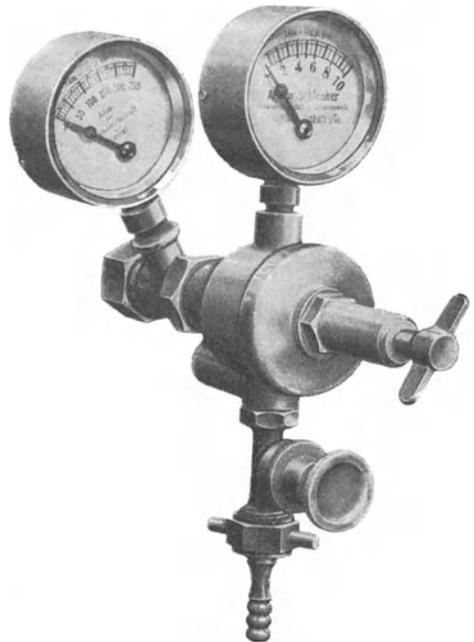


Abb. 25. Druckminderventil für Wasserstoff oder Sauerstoff.

Von vielen diesbezüglichen Konstruktionen mag hier nur die älteste und einfachste herausgegriffen sein. Abb. 26 zeigt den Schnitt durch ein Ventil und links vergrößert herausgezeichnet den Ausbrennschutz, der auch im Ventil selbst, oben bei 8, angeordnet ist. Er besteht aus einem kleinen, links mittels Flansch eingespannten Kupferröhrchen, also aus einem gut wärmeleitenden Metall. Beim Öffnen des Flaschenventils tritt der Sauerstoff durch das Kupferröhrchen aus und verdrängt das schon vorhandene Gas aus dem Röhrchen 8 heraus in den ringförmigen Kanal, der durch das Zwischenstück 3 und das Rohr 8 gebildet wird. Die Wärme, welche bei plötzlichem Einschießen des Gases entwickelt wird, wird dann von dem Kupferröhrchen aufgenommen und unschädlich gemacht. Dieser Ausbrennschutz hat demnach die Aufgabe, die Gefahr abzuwenden, die dem Ventil von seiten der Flasche selbst droht.

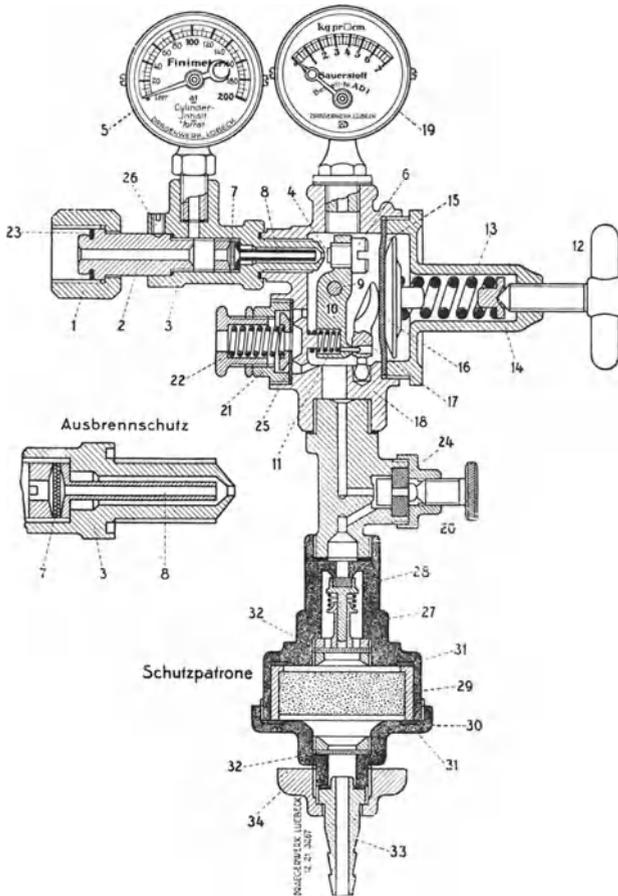


Abb. 26. Druckminderventil mit Schutzvorrichtungen.

Eine andere Vorrichtung bezweckt den Schutz des Ventils gegen Gefahren, die ihm von seiten des Brenners erwachsen können. Diese mit Rückschlagpatrone bezeichnete Vorrichtung ist ebenfalls in Abb. 26 im Schnitt, in Abb. 27 im auseinandergenommenen Zustande in der Ansicht zu sehen. Die Schutzpatrone ist zwischen das Gasdrosselventil 20 und den Schlauchanschlusnippel 33 geschaltet. Beim Durchgang des Gases durch 24 wird der Bolzen 28 des Rückschlagventils abgedrückt, und das Gas strömt durch die Patrone hindurch zum Brenner. Im Falle eines Flammenrücktritts vom Brenner her, erlischt die Flamme in der feuerfesten, zementartigen Masse der Patrone, während die durchschlagende Explosionsdruckwelle, unterstützt durch den Druck der Spiralfeder, das Rückschlagventil 28 schließt und somit den Zutritt zum Ventilinnern absperrt. Da die Patronenmasse dem Gasdurchgang einen gewissen Widerstand entgegengesetzt, sind die normalen Gasdrucke bei Verwendung einer solchen Schutzvorrichtung um 10 vH höher einzustellen. Beim Flammenrückschlag zerstörte Platten sind leicht auszuwechseln.

In der bereits früher benutzten Abb. 21 (Flaschen- und Druckminderventil für gelöstes Azetylen) geht das Azetylen von der Flasche *G* bei geöffnetem Verschluss-

stößel des Flaschenventils durch den Kanal bei *b* nach *o* und wird dann im Druckminderventil bei *g* mit Hilfe der Schraube *D*, Feder *n*, Membran *E* und Hebelwerk *p* reguliert. Ein Manometer bei *C* zeigt den Flaschendruck, ein zweites bei *B* den Arbeitsdruck an. *A* ist wieder ein Sicherheitsventil.

Abb. 25 veranschaulicht ein Sauerstoff- oder Wasserstoffdruckminderventil einer etwas anderen, bewährten Konstruktion in der Ansicht. Hier ist das, wie

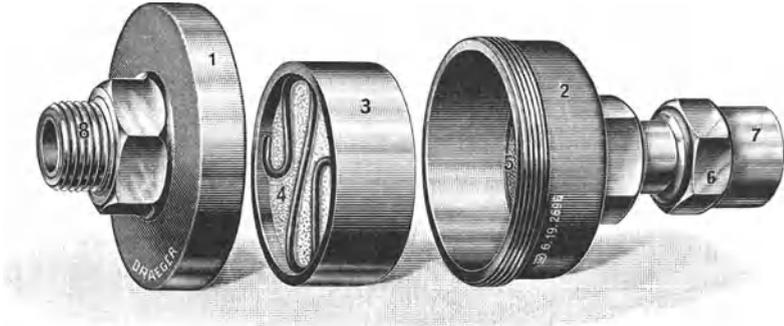


Abb. 27. Schutzpatrone.

immer der Flasche zunächstliegende, bis 250 at reichende Inhalts- (Hochdruck-) Manometer gegen das vorn höherstehende, bis 10 at reichende Arbeitsmanometer der besseren Übersicht halber um 45° versetzt. Rechts oben ist die Druckregulier-, darunter die Durchgangsdrosselschraube zu erkennen. Ganz unten befindet sich der Schlauchnippel und hinten, unter dem zylindrischen Gehäuse, das Abblasventil. Ein Dissousgas (Flaschenazetylen-) Ventil derselben Konstruktion, mit links erkennbarem Flaschenanschlußbügel, stellt Abb. 28 dar.

Die Strichteilung der Manometer (Manometerskala) ist meist nach dem Dekadensystem (Zehnzahlordnung) eingerichtet und zeigt den Druck in $\text{kg/cm}^2 = \text{at}$ (Atmosphären) an. Beim Arbeitsdruckmanometer, dem Niederdruckmanometer, findet man hin und wieder eine den Schweißbrenner-Düsengrößen (Nummern) angepaßte Druckteilung vor; diese Teilung ist jedoch weniger üblich und hat auch mancherlei Nachteile. Im Innern sind die Manometer so eingerichtet, daß durch den in eine Röhrenfeder eintretenden Gasdruck diese sich streckende, rundgebogene Metallröhrenfeder ihre Streckbewegung mittels einer kleinen Zahnradübersetzung auf den Zeiger überträgt. Eine bestimmte Größe der Streckbewegung entspricht einem bestimmten, an der Skala ablesbaren Druck.

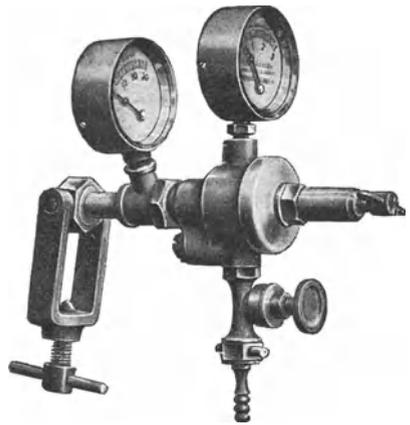


Abb. 28. Druckminderventil für gelöstes Azetylen.

Man kann sich die Arbeitsweise der Druckmesser am einfachsten verständlich machen, wenn man deren Feder mit einem Gummischlauch vergleicht, dessen eines Ende an die Wasserleitung angeschlossen ist und dessen anderes Ende zugebunden ist, aber freiliegt. Rollt man in den Schlauch eine Schlinge (Spirale) und öffnet den Wasserhahn, dann wird durch den Druck, den das Wasser auf die

Innenwand des Widerstand entgegengesetzten Schlauches ausübt, der Schlauch geradegestreckt, weil er in dieser Lage dem durchfließenden Wasser den geringsten Widerstand bietet und die Reibung an den Schlauchwänden am kleinsten ist. Für unser Manometer tritt an die Stelle des Wassers Gas, und an die Stelle des Schlauchs

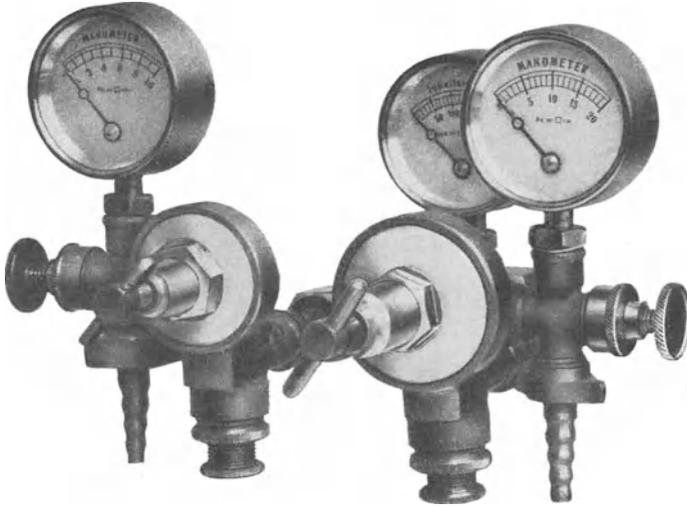


Abb. 29. Doppeldruckminderventil.

eine schwachwandige Metallröhrenfeder (Abb. 30 *h* zeigt die Röhre im Schnitt), was an dem eben geschilderten Vorgange nichts ändert. Bei *a* Abb. 30 tritt das Gas in die Feder *b* ein und versucht diese in einem dem Gasdruck entsprechenden Maße geradezustrecken. Nimmt z. B. Rohr *b* die im Schema punktiert gezeichnete Lage an, dann folgt Hebel *g* dieser Bewegung zwangsläufig, den Zeiger *f*, der sich um *e* dreht, in der Pfeilrichtung mitnehmend. *C* ist ein über den Mechanismus gelegtes Glas (Blech oder Pappe) mit einer dem Ausmaße der jeweiligen Streckbewegung bei bestimmten Gasdrucken angepaßten Skala (Einteilung) *d*, an welcher der augenblickliche Gasdruck unmittelbar in Atmosphären ablesbar ist. Zur Erweiterung des Zeigerausschlags und Erhöhung der Deutlichkeit ist meist zwischen Zeiger *f* und Federrohr *b* noch eine kleine Zahnradübersetzung eingebaut.

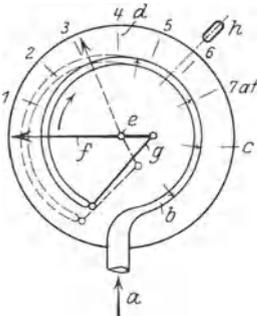


Abb. 30. Schema eines Druckmessers.

Obwohl es sich bei diesen Druckminderventilen ja ausschließlich um Hochdruckventile handelt, unterscheidet man trotzdem noch zwischen diesen und Niederdruckventilen, wobei allerdings nur die Höhe des Arbeitsdrucks bestimmend ist. Man sagt, ein für Schweiß- und normale Schneidarbeiten (bis 100 mm Schnittstärke) ge-

bautes Ventil mit einer Arbeitsmanometerskala bis etwa 10 at sei ein Niederdruckventil, während die bis 30 und noch mehr Atmosphären reichende Arbeitsdruckskala (Ventile für schwere Schneidarbeiten) die Bezeichnung Hochdruckventil begründet. Im allgemeinen reicht das sog. Niederdruckventil für alle Durchschnittsarbeiten aus, wo minutliche Gasdurchgangsleistungen von über 150 l nicht in Frage kommen. Das Hochdruckventil ist schwerer und größer gebaut

und gestattet bei größeren Bohrungen eine Höchstgasentnahme von normal 1200 l in der Minute (Flaschenbatterie). In manchen Fällen ist allerdings eine Vereinigung beider Ventile erwünscht; wir haben dann ein sog. Doppeldruckminder-ventil (Abb. 29) vor uns, wie es nur für Schneidarbeiten bei sehr großen Werkstoffstärken oder bei besonderen Schneidbrennerarten benötigt wird. Das Ventil ist für Sauerstoff bestimmt und hat im Hintergrund in der Mitte das Inhaltsmanometer, vorn rechts ein Arbeitsmanometer für 20 at, darunter den Schlauchanschluß, und vorn links ein zweites Arbeitsmanometer für 10 at mit darunterliegendem, zweitem Sauerstoff-Schlauchanschluß.

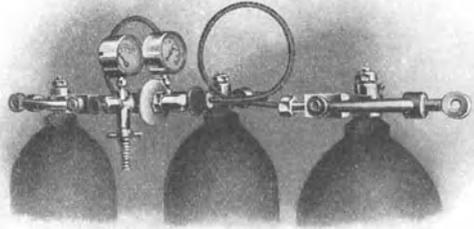


Abb. 31. Parallel geschaltete Azetylenflaschen.

Bedingt die Ausführung einer großen Arbeit auch den Verbrauch großer Gasmengen (beim Schweißen z. B. große Mengen von Sauerstoff und Flaschenazetylen, beim Schneiden starker Bleche große Mengen von Sauerstoff), die über die auf Seite 29 angegebenen Mengen je Zeiteinheit hinausgehen, dann ist die Zusammenkupplung mehrerer Flaschen (gleicher Gasart) sehr zu empfehlen, damit die durch wiederholten Leer- und Vollflaschenwechsel hervorgerufene, lästige und häufige Arbeitsunterbrechung vermieden wird. Man kann ohne weiteres 2, 3 oder beliebig viel Flaschen mittels kupferner oder messingner Trompeten- oder Spiralrohre parallelschalten, wie dies z. B. in Abb. 31 bei 3 Azetylenflaschen vermittels Stahlrohr geschehen ist. Abb. 32 zeigt ein mit 3 Sauerstoffflaschen in Verbindung stehendes Hochdruckventil, während Abb. 33 den Zusammenschluß einer Batterie von 6 Flaschen verbildlicht. Die Deutlichkeit der Bilder erübrigt weitere Erläuterungen.

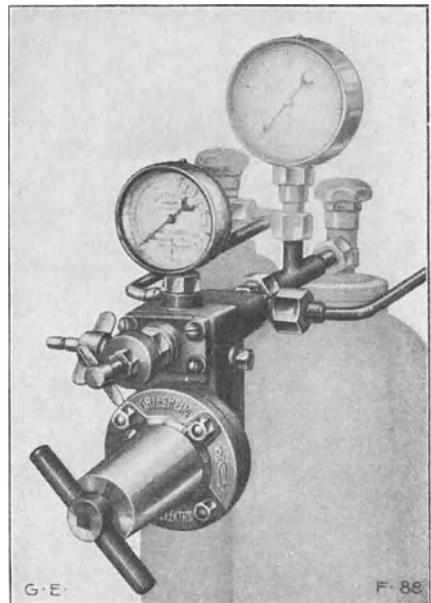


Abb. 32. Zusammenschluß dreier Gasflaschen.

Behandlung der Ventile. Vom Druckminderventil, einem in allen seinen Teilen sehr empfindlichen Präzisionsinstrument, ist das Schweißzeugnis sowohl in der Güte wie in der Menge in hohem Maße abhängig, weshalb diesem Gerät eine besonders sorgfältige Behandlung zuteil werden muß. Die nachfolgenden Anleitungen können stets sinngemäß Anwendung finden.

Außerdem empfiehlt es sich, den besonderen Anweisungen der das Ventil liefernden Firma nachzukommen.

Das Ventil darf, was selbstverständlich sein sollte, weder gestoßen noch geworfen werden, andernfalls die einwandfreie Arbeitsweise der Manometer sofort versagt. Es darf beim Transport der Flasche nicht als Handgriff dienen, da hierbei

Teile des Ventils abbrechen können und durch Fall der Flasche Gefahren entstehen. Wenn die beiden Manometer geschont werden und ihren Dienst lange und ohne Mucken verrichten sollen, darf vor allem das Handrad *J* am Flaschenventil (Abb. 24) — zum wiederholten Male gesagt — nicht plötzlich und ruckweise, sondern nur allmählich gedreht werden (wegen unmittelbarer Druckwirkung auf den Inhaltsanzeiger und wegen der Ausbrenngefahr). Um sich bei alten Ventilen, die den früher erwähnten Ausbrennschutz nicht besitzen, gegen etwaige Gefahren des Ausbrennens zu schützen, kann man auch so zu Werke gehen, daß man vorsichtig die Stellschraube *o* ein klein wenig anzieht, bis sich der Gegendruck der Feder *p* bemerkbar macht, und dann die Flasche öffnet. Dadurch gibt der Verschlußstöpsel *u* den Gasaustritt bei *v* etwas frei, so daß ein wenig Gas nach *i* gelangen und sich eine Erhitzung von *u* durch Gasstauung nicht einstellen kann. Im allgemeinen soll das Flaschenventil *E* nur dann geöffnet werden, wenn die Feder *p* durch Zurückdrehen der Stellschraube *o* (Stellung wie in Abb. 24 gezeichnet) entlastet ist. Erst bei geöffnetem Flaschenventil stellt man durch Hineinschrauben der Stellschraube den für die jeweilige Arbeit erforderlichen

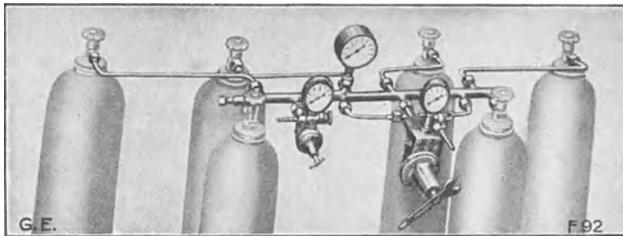


Abb. 33. Zusammengeschlossene Flaschenbatterie.

Druck ein. Die Feder drückt auf das Hebelwerk *s a*, öffnet den Düsenkanal *v* und läßt Gas ins Gehäuse eintreten. Die Druckregulierung erfolgt bei geöffnetem Drosselventil *D*, das bei kurzen Arbeitspausen geschlossen wird, ohne daß sonst Hantierungen am Ventil notwendig sind. Bei längerer Arbeitsunterbrechung wird die Druckschraube *o* herausgedreht und das Flaschenventil *E* ganz geschlossen. Bei Wiederbeginn der Arbeit wiederholt sich das Spiel von neuem. Regulierungen am Abblasventil *K* sind unbedingt zu unterlassen.

Infolge der Gasentspannung von hohem auf niederen Druck entsteht Kälte (s. Sauerstofferzeugung), die während der Wintermonate, und bei großer Gasentnahme auch zu anderer Jahreszeit, zum Einfrieren des Ventilgehäuses führen kann; die Feuchtigkeit der Luft schlägt sich in Eisform am Ventil nieder. Noch unangenehmer wirken Wasser- und Kohlensäuregehalt des Sauerstoffs, die durch die entstehende Kälte (beim Entspannen) ausgeschieden werden und sich als Eis in den Durchgangskanälen der Ventile festsetzen. Dadurch tritt ein Drucknachlaß ein, der sich äußerlich am ruckweisen Fallen und Steigen des Druckmesserzeigers bemerkbar macht. Das Schwanken der Gasdurchflußmengen hat übrigens auch häufiges Knallen des Brenners zur Folge. Auftaumittel in solchem Falle sind heiße Sandsäckchen, Dampf oder warmes Wasser, welches in gewissen Zeitzwischenräumen über das Ventilgehäuse (nicht über die Manometer) geschüttet wird. Oder es wird ein zeitweise mit warmem Wasser getränkter Lappen über das Ansatzstück am Ventil gehängt. Das Auftauen der Ventile durch Bestreichen mit der Brennerflamme oder mittels glühenden Eisens ist verboten, da es neben Gefahrenquellen verschiedener Art auch eine Zerstörung der Druckmesser zur Folge hat.

Sind mehrere Flaschen zusammengeschlossen, dann ist auch die Anordnungsweise der Abb. 34 empfehlenswert, wobei allerdings die Flaschen nicht wagerecht lagern sollten, sondern etwas schräg, mit dem Flaschenhals erhöht, damit etwa in der Flasche befindliches Wasser nicht zum Ventil fließt. Das den 3 Flaschen entnommene Gas wird durch 6 kupferne Schraubenrohre (Spiralen) geleitet, die in einem Blechkasten angeordnet sind und in ein links im Kasten sichtbares Verbindungsstück münden. Das Druckminderventil liegt außerhalb des Blech-

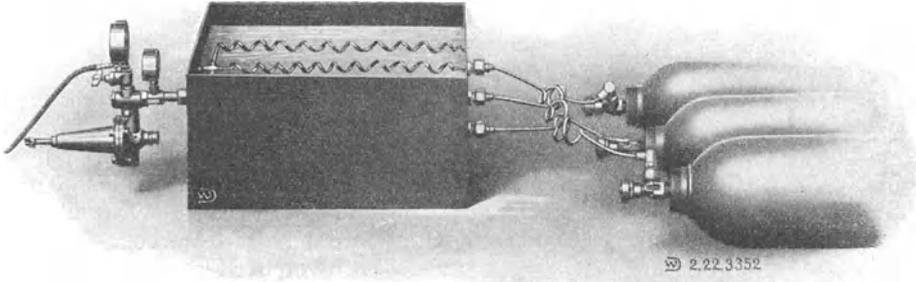


Abb. 34. Vorrichtung gegen Einfrieren des Ventils.

gefäßes. Der Kasten wird mit Wasser von 30° – 40° angefüllt und die Temperatur durch öfteres Zuschütten heißen Wassers oder durch zeitweiliges Einwerfen heißer Schlacke u. dgl. auf etwa $+5^{\circ}$ gehalten.

Neuerdings ist eine Ventilkonstruktion auf den Markt gekommen, die infolge ihrer Eigenart frostsicher sein soll und keiner Hilfsmittel zum Auftauen bedarf. Das Einfrieren des patentierten, leider nur bei Arbeitsdrucken von mehr als 6 at

wirksamen Ventils wird dabei durch Ausnutzung der dem hochgespannten Sauerstoff innewohnenden relativen Wärme verhindert. Abb. 35 soll den Grundgedanken des frostsicheren Ventils verständlich machen. *a* ist das Verbindungsstück zwischen Flaschen- und Druckminderventil, durch dessen Kanal *b* der Sauerstoff in der Pfeilrichtung eintritt. Das Gas

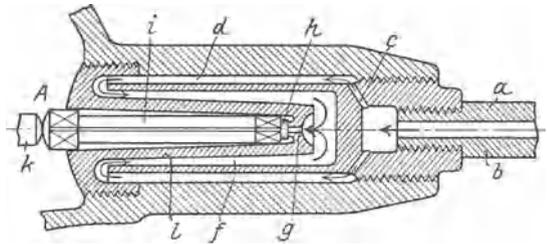


Abb. 35. Schema eines Ventils mit Einfrierschutz.

trifft indessen nicht auf den Gummistöpsel, sondern macht vorerst einige Umwege, durch die Bohrungen *c* und den Ringkanal *d*, wird in Pfeilrichtung umgelenkt in den Kanal *f* und gelangt erst jetzt, am Ende des letzteren, in die Entspannungsbohrung *g*, die durch den Hartgummistöpsel *h* verschlossen gehalten wird. *i* ist der Verschlußbolzen und *A* das eigentliche Ventilgehäuse, in der Skizze aber fortgelassen. Da nun das verdichtete Gas schon auf die Raumeinheit bezogen (infolge seiner größeren Dichte) verhältnismäßig erheblich wärmer ist als das entspannte, benutzt man es zur Vorwärmung des ganzen in der Skizze gezeichneten Ventils. Das verdichtete Gas gibt also an die Wandungen, an denen es vorbeistreicht, eine gewisse Wärmemenge ab, die dem in *l* gelegenen Kanal, in welchem sich das bereits entspannte Gas vorfindet, zugeführt wird. Der Wärmeaustausch zwischen verdichtetem und entspanntem Gas ist deshalb sehr lebhaft, weil die Wärmedurchgangszahl bei hochgespanntem Gase groß ist. Übrigens ist diese Einrichtung gleichzeitig ein guter

Ausbrennschutz. Abb. 36 zeigt ein mit Frostschutz ausgerüstetes Ventil in der Ansicht. Erwähnenswert ist auch das frostsichere Ventil mit elektrischer Heizung, das vor kurzem in den Handel kam. Naturgemäß ist es an das Vorhandensein eines elektrischen Stromnetzes gebunden.

Zeitweilig Prüfung der Ventile auf Dichtheit ist zweckdienlich, da nicht selten durch Unachtsamkeit oder durch Überhören im geräuschvollen Betriebe bedeutende Gasverluste eintreten. Eine einfache Prüfung auf Dichtheit beruht darauf, bei geöffnetem Flaschenventil *E* (Abb. 24) und einem beliebig eingestellten Arbeitsdruck die Drosselschraube *D* abzusperren und darauf das Flaschenventil bei *J* zu schließen. Das Inhaltsmanometer darf dann nicht abfallen, d. h. dessen Zeiger muß stehenbleiben auf dem jeweiligen Flaschendruck. Wird sodann die Stellschraube *o* ganz zurückgedreht und das Ventil von der Flasche abgenommen, so darf, nach anfänglich geringem Zurückgehen des Zeigers am Arbeitsmanometer, nach einer Stunde und länger ein Abfallen des Niederdruckmanometers nicht eintreten, andernfalls ist das Ventil nicht mehr dicht. Undicht werden leicht: der

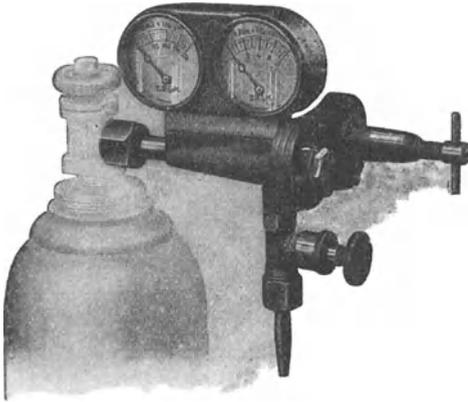


Abb. 36. Frostsicheres Ventil.

Anschluß an der Überwurfmutter *F* in Abb. 24 (Einlegen eines neuen Fiberringes), bei längerem Gebrauch die Gummimembran *r* (durch Brüchigwerden) und jene im Ventil *D*. Die Auswechslung kann man bei einiger Sachkenntnis selbst ausführen, wobei jedoch immer für festes Anziehen aller Gewindeteile zu sorgen ist. Blasen der Manometergewindestutzen wird durch Einlegen von Fiberringen behoben.

Ausbesserungen am Ventil dürfen, mit Rücksicht auf Gefahrenbildung (infolge der hohen Betriebsdrücke, denen das Ventil ausgesetzt ist), nur Spezialfirmen überlassen werden; jedenfalls ist anzuraten, nur bei sicherer Fachkenntnis Ausbesserungen selbst auszuführen. Versagen der Manometer (möglicherweise geplatzte Röhrenfedern) und abgenutzte oder ausgebrannte Hartgummistöpsel machen etwa 80 vH aller Ventilreparaturen aus. Hart, brüchig und undicht gewordene Gummiteile müssen von Zeit zu Zeit gegen neue ausgewechselt werden. Erfolgt trotz völlig herausgedrehter Flügelschraube (12 in Abb. 26) Gasaustritt, was auch bei geschlossenem Ventil 24 am steigenden Zeiger des Druckmessers 19 beobachtet werden kann, dann ist die Sitzfläche des Hartgummikegels 4 beschädigt und muß sorgfältig geglättet bzw. erneuert werden.

Zusammenfassung der Ventilbehandlung.

1. Bevor Flaschenventil geöffnet wird, Schraube für Einstellung des Arbeitsdruckes zurückschrauben, bis die Feder entlastet ist.
2. Flaschenventil langsam öffnen!
3. Drosselventil öffnen.
4. Arbeitsdruck einstellen durch Rechtsdrehung der Regulierschraube.
5. Bei kürzerer Arbeitspause Drosselventil schließen.
6. Bei längerer Arbeitsunterbrechung Flaschenventil schließen und Druckregulierschraube zurückdrehen.

7. Öl- und fetthaltige Stoffe vom Ventil fernhalten!
8. Eingefrorene Ventile durch warmes Wasser auftauen!
9. Ventile nicht stoßen oder werfen!
10. Am Sicherheits- (Überdruckabblas-) Ventil nichts verstellen!
11. Ventil zeitweise auf Dichtheit prüfen.

3. Azetylenherzeugungsanlagen.

a) Allgemeines und Einteilung der Entwickler.

Wir haben gesehen, daß alle bisher genannten Schweißgase in Flaschen verdichtet von Spezialgaswerken bezogen werden müssen, außer dem aus dem Rohrnetz der Gasanstalten entnehmbaren Leuchtgas, welches für unsere Zwecke aber eine untergeordnete Rolle spielt. Unter allen Schweißgasen steht Azetylen an erster und wichtigster Stelle. Dem glücklichen Umstände seiner einfachen Darstellungsweise ist es zu verdanken, daß gerade dieses Schweißgas als wertvollstes, zugleich auch einziges für die Selbstherstellung, und zwar sogar im kleinsten Umfang, in Frage kommt.

Allgemeine Genehmigungsvorschriften. Alle für Schweißzwecke bestimmten Azetylenherzeuger sind der Konzession (Genehmigung) einer technischen Behörde oder der hierzu behördlicherseits berufenen Stelle unterworfen. Bis zum 1. Januar 1924 galten folgende Bestimmungen (alte Azetylenverordnung): Für ortsfeste, mithin nicht bewegliche Azetylenherzeuger, die in besonderen Räumen (Gashäuschen) untergebracht werden müssen, genügte für Deutschland die Zulassungsbescheinigung der Untersuchungs- und Prüfstelle des Deutschen Azetylenvereins in Berlin. Hingegen bedurften alle beweglichen Entwickler, sofern sie entweder dauernd oder auch vorübergehend in Innenräumen (Werkstätten) benutzt und aufgestellt werden sollten, außer der durch obige Stelle erfolgten Prüfung noch der Genehmigung des Ministeriums für Handel und Gewerbe. Die Entwickler erhielten dann entweder eine „J-Typen“-Nummer (Entwickler mit bis zu 4 kg Karbidbeschickung, zugelassen zur dauernden Aufstellung in Innenräumen [daher J-Type]), oder eine „A-Typen“-Nummer (bis zu 10 kg Karbidbeschickung, zugelassen zur vorübergehenden Aufstellung in Innenräumen und unbeschränkter Verwendung in Außenräumen [daher A-Type]).

Mit dem 1. Januar 1924 ist eine neue Azetylenverordnung in Kraft getreten; sie weist folgende wesentlichen Änderungen auf: die Bescheinigung und Zulassung der Entwickler erfolgt durch den Deutschen Azetylenausschuß, Berlin. Dieser setzt sich zusammen aus fachmännischen Vertretern der Reichs- und Landesregierungen und Sachverständigen technischer Verbände (Deutscher Azetylenverein, Deutsche Berufsgenossenschaft, Arbeitsverband der Deutschen Autogenindustrie, Verband für autogene Metallbearbeitung und Feuerversicherungsverbände). Alle Entwickler bis 10 kg Karbidfüllung und bis zu einer Stundenleistung von 6000 l Azetylen unterliegen einer Bauart- (Typen-) Prüfung und können in Arbeitsräumen benutzt werden. Der Unterschied zwischen J- und A-Type ist demnach fortgefallen. Entwickler mit mehr als 10 kg Karbidfüllung können (freiwillig) geprüft werden; solche ohne ausdehnungsfähigen Gassammler sind in jeder Größe der Bauartprüfung unterworfen. Während der Drucklegung dieses Buches erfuhr die Azetylenverordnung insofern eine Erweiterung, als für Montagezwecke Entwickler mit bis zu 25 kg Karbidfüllung (fahrbare Anlagen) zugelassen werden.

Die Übereinstimmung der Entwicklerabmessungen und Konstruktionen mit den tatsächlich getypten wird bei jedem einzelnen Entwickler vor dessen Lieferung

nochmals amtlich festgestellt (durch die Gewerbeinspektion oder den Dampfkesselüberwachungsverein) und durch Abstempelung des Entwicklerschildes bestätigt. Entwickler, denen die Stempelzeichen (Adler oder das jeweilige Hoheitszeichen des betreffenden Bundesstaates) auf den Kupfernieten oder Zinntropfen der Firmenschilder fehlen, sind nicht genehmigt und dürfen in Innenräumen nicht verwendet werden. Es liegt daher im Interesse des Käufers, auf diese Vorschrift besonders zu achten. Der Besitzer eines Azetylenenerzeugers, ob mit oder ohne Zulassungsnummer, ist verpflichtet, die Inbetriebsetzung der Anlage der zuständigen Polizeibehörde anzumelden.

Einteilung der Azetylenentwickler. Zunächst ist zu unterscheiden zwischen

- a) ortsfesten Entwicklern (stationären Anlagen) und
- b) beweglichen Entwicklern (transportablen oder freizügigen Entwicklern, die auch fahrbar sein können).

Wir haben absichtlich die Bezeichnung „Apparate“ vermieden und sprechen ganz allgemein bei ortsfesten Entwicklern von einer Azetylenanlage, bei beweglichen Azetylenenerzeugern kurz von Entwicklern. Für die Grenze, ob ortsfest oder beweglich, ist weder die Bauart noch der Gasdruck maßgebend. Auch die Abmessungen des Entwicklers sind dabei nicht ausschlaggebend, sondern lediglich sein Fassungsvermögen an Karbid. Alle Entwickler mit bis zu 10 kg Karbidfüllung (Höchststundenleistung 6000 l) sind beweglich, Entwickler mit über 10 kg Karbidfüllung sind, mit Ausnahme der weiter oben angeführten 25 kg-Montageentwickler, nur als ortsfeste Anlagen (Aufstellung in einem besonderen Azetylenanlagenraum) zugelassen. Außerdem gibt es noch freizügige Kleinentwickler „M“ mit bis zu 2 kg Karbidfüllung, die nur für Montagezwecke und nicht für die Aufstellung in Werkstätten zugelassen sind. Eine Anmeldung dieser Entwickler bei der Polizei ist nicht erforderlich.

Ferner können die Entwickler unterteilt werden nach ihrem höchstzulässigen Betriebsgasdruck in:

- a) Niederdruckentwickler, mit Gasdrücken bis zu 300 mm W.S. (Wassersäule), $\frac{1}{30}$ at,
- b) Mitteldruckentwickler, mit Gasdrücken von über 300 ÷ 2000 mm W.S. ($\frac{1}{5}$ at),
- c) Hochdruckentwickler, mit Gasdrücken von über 2000 ÷ 15000 mm W.S. (1,5 at).

Des weiteren kann man, unabhängig von Druckhöhe, System und Größe, unterscheiden zwischen:

- a) Entwicklern für Karbidstaubfüllung,
- b) Entwicklern für Feinkornkarbid,
- c) Entwicklern für Stückkarbid,
- d) Entwicklern für Beagidpatronen.

Der Konstruktion nach ließe sich noch ein Unterschied machen zwischen:

- a) Entwicklern mit beweglicher, schwimmender Gasglocke (bei fast allen Niederdruckentwicklern),
 - b) Entwicklern mit feststehender Gasglocke (bei fast allen Mittel- und Hochdruckentwicklern),
- oder, der Beschickungseinrichtung gemäß, zwischen:
- a) Entwicklern für selbsttätigen (automatischen) Betrieb und
 - b) Entwicklern für Handbetrieb.

Letztere sind außerordentlich selten geworden und kommen für den Schweißereibetrieb wohl überhaupt nicht mehr in Frage.

Endlich ist noch zu unterscheiden nach der Art, in der Karbid und Wasser im Entwickler (im Vergaser) miteinander in Berührung gebracht werden. So spricht man von einem

System „Karbid ins Wasser“: Gaserzeuger, bei denen das Karbid ins Wasser fällt; die sich bewegende Masse ist das Karbid, das Wasser steht still. Entwickler dieses Systems nennt man: Einwurf- oder Einfallentwickler.

System „Wasser zum Karbid“: Gaserzeuger, bei welchen das Wasser zum Karbid fließt; die bewegliche Masse ist hier das Wasser, das Karbid liegt still. Man nennt Entwickler dieses Systems: Tropf- oder Wasserzuflußentwickler.

Diese beiden grundlegenden Konstruktionen, aus denen alle anderen in größter Mannigfaltigkeit hervorgehen, sind noch in folgende Untergruppen zu unterteilen: Untergruppen des Systems „Karbid ins Wasser“:

- a) Karbideinwurfentwickler,
- b) Tauchentwickler.

Untergruppen des Systems „Wasser zum Karbid“:

- a) Entwickler mit zufließendem Wasser,
- b) Wasserverdrängungs- und Überschwemmungsentwickler.

Aus Vorstehendem ergibt sich, daß auch für ortsfeste Azetylenanlagen der Entwickler als solcher den Hauptbestandteil ausmacht; alle anderen Teile der Anlage (Wäscher, Reiniger, Gassammler usw.) sind nur von untergeordneter Bedeutung.

Die selbsttätige Beschickung der meisten Systeme verursacht bei ortsfester Bauart wenig Schwierigkeiten, um so mehr jedoch bei beweglichen Entwicklern nach dem System „Karbid ins Wasser“ mit Stückkarbidfüllung. Da bei ortsfesten Anlagen eine Gewichtsersparnis keine unmittelbar ausschlaggebende Konstruktionsbedingung ist, finden wir hier fast immer Entwickler, Gassammler, Reiniger und Wäscher, schon mit Rücksicht auf ihre Abmessungen, getrennt vor (als Einzelteile), seltener Erzeuger und Gassammler vereinigt. Hingegen bedingt die leichte Transportfähigkeit tragbarer Entwickler möglichst geringes Gewicht bei ebenfalls geringsten Abmessungen; daher sind bei diesen Entwicklern in den weitaus meisten Fällen Entwickler und Gassammler (Glocke) in einem Körper zusammengebaut.

Wegen ihrer wesentlich höheren Wirtschaftlichkeit ist, wo nur eben angängig, eine ortsfeste Anlage jeder beweglichen vorzuziehen. Die in einem den gesetzlichen Bestimmungen entsprechenden, beson-

deren Raum untergebrachte, größere ortsfeste Anlage wird durch festverlegte, genügend weitbemessene Rohrleitungen beliebiger Länge mit den einzelnen Schweißstellen eines Betriebes verbunden, wobei jedem Schweißbrenner eine Wasservorlage vorzuschalten ist.

Rohrleitung. Selbstverständlich steht der lichte Durchmesser

der Rohrleitung zu ihrer Länge und zur stündlichen Höchstmenge des Gasdurchgangs in bestimmtem Verhältnis. Zu klein bemessene Rohrleitungsquerschnitte würden zu wenig Gas durchlassen und Störungen in der Arbeit der Brenner zur Folge haben.

Die für bestimmte Rohrstranglängen und Durchflussmengen erforderlichen mittleren Rohrweiten (bei mittlerem Druckabfall) sind in Zahlentafel 3 zusammengestellt. Die Zahlen sind natürlich nur für Niederdruckazetylen gültig. Für Hochdruckazetylen (s. S. 61) sind die Rohrweiten wesentlich geringer.

Zahlentafel 3.

Länge der Rohrleitung in m:	Rohrweite in Zoll bei einer stündlichen Gasdurchgangsmenge von m ³ (Azetylen)					
	1 m ³	2 m ³	4 m ³	6 m ³	8 m ³	10 m ³
10	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	$1\frac{3}{4}$
20	$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	$1\frac{3}{4}$	2
30	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	2	$2\frac{1}{2}$
50	1	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	2	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$
100	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	3
150	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{4}$	2	$2\frac{1}{2}$	3	3
200	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{2}$	3	3	$3\frac{1}{2}$

Außerdem ist auch ein dem Druckabfall der Leitungslänge entsprechender Gasdruck notwendig. Bei einem Druckverlust von 3 mm W. S. beträgt z. B. die Gasausflußmenge aus einem 200 m langen Rohre von 1" l. W. 0,563 m³ je Stunde. Unter gleichen Voraussetzungen aber bei 10 mm W. S. Druckverlust beträgt die Ausflußmenge indessen 1,028 m³, mithin fast das Doppelte. Auch bei beweglichen Entwicklern muß die Verbindung der Einzelteile, wie Entwickler, Gassammler, Reiniger und Wasservorlage, durch Rohrleitungen erfolgen (Gummischlauchverbindung ist untersagt).

Für jedes Entwicklersystem gibt es eine bestimmte einfache Grundform, aus welcher sich die verschiedensten Konstruktionen entwickeln lassen. Darum können wir uns bei der Betrachtung der verschiedenen, sehr vielseitigen Konstruktionsmöglichkeiten von Entwicklern auf diese Grundformen beschränken. Interessiert sich der eine oder andere Leser für das Aussehen und die Einrichtung einer ganz bestimmten Entwicklertypen, so werden ihm von den Fachfirmen im allgemeinen beherrschende Unterlagen und Abbildungen gern zugestellt.

b) Azetylenentwickler des Systems: „Karbide in Wasser“.

Karbideinwurfentwickler. Als Urbild kann die Grundform Abb. 37 dienen. An einem bis zur bestimmten Höhe mit Wasser gefüllten, geschlossenen Gefäß *B* ist seitlich eine halsförmige Erweiterung *A* angebracht, durch welche in gewissen Zeitabständen Karbid ins Wasser geworfen wird (von Hand). Das Karbid rutscht an der schrägen Wand (rechts) herab auf den Boden von *B*, wird dort vergast, und das entwickelte Gas wird, indem es den Wasserstand aus *B* nach *A* verdrängt, in *B* aufgefangen und bei *C* entnommen.

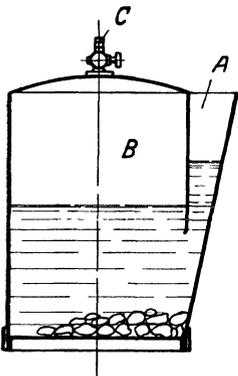


Abb. 37. Grundform eines Azetylenentwicklers, System „Karbide in Wasser“.

In entwickelter Form zeigt uns Abb. 38 einen Vertreter dieses Systems. Die Karbidbeschickung erfolgt hier wiederum bei *A* von Hand. Das Karbid fällt durch *B* auf den durchlöcherichten Blechboden *K* des Entwickler-raumes *E*. Das über dem Wasserstand von *E* sich ansammelnde Gas hebt die Glocke *F*, die sich in einem mit Abschluß-

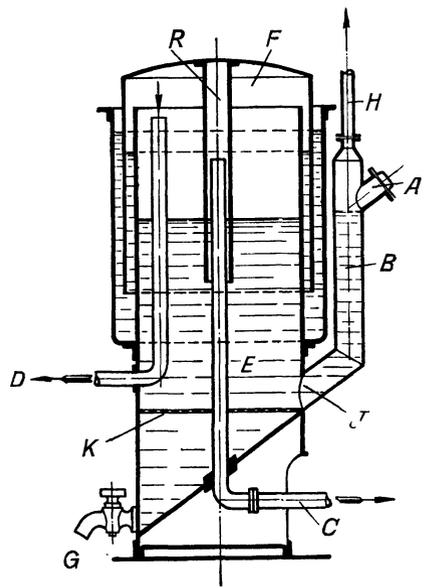


Abb. 38. Azetylenentwickler, System „Karbide in Wasser“.

wasser gefüllten, ringförmigen Mantelschwimmend bewegt. Die Gasentnahme erfolgt bei *D*, der Schlammablaß bei *G*. Gasmangel macht sich durch Sinken der Glocke bemerkbar und erfordert wieder Nachfüllung mit Karbid bei *A*. *H* ist ein Umleitungsrohr für in *B* entwickelte Azetylenmengen, die unter die Glocke *F* geleitet werden. *RC* ist eine (für bewegliche Entwickler verbotene) Übergasungsvorrichtung (s. später).

Einen beweglichen Entwickler nach diesem System zeigt Abb. 39. Der seitlich angebrachte Einwurf bei *B* (Abb. 38) ist bei diesem Entwickler selbsttätig wirkend

gemacht, indem der Karbidvorrat ($2 \div 6$ kg Feinkornkarbid) in einer am oberen Ende des Rohres *B* drehbar gelagerten Trommel eingebracht und bei niedergehender Glocke, also bei Gasmangel in bestimmten Mengen in den Entwickler geschüttet wird. Wie bei fast allen Entwicklern wird auch bei diesem die Karbidbeschickung durch die Bewegung der Gasglocke (Hebelübertragung) reguliert. Die Konstruktion Abb. 39 ist in Deutschland nur in dieser Form gebräuchlich.

Viel mehr verbreitet sind nach Grundform Abb. 40 konstruierte Entwickler, bei denen das Karbid in einem meist domförmigen Vorratsbehälter *B* in der Mitte über dem Entwicklerraum *A* untergebracht ist, was nach neueren Erfahrungen allerdings sicherheitstechnisch nachteilig ist. Die sinkende Glocke öffnet mittels einer Hebelvorrichtung das Ventil *D*, Karbid einwerfend, bis die Glocke über eine Mindesthöhe gestiegen ist. Die Gasentnahme erfolgt bei *C*.

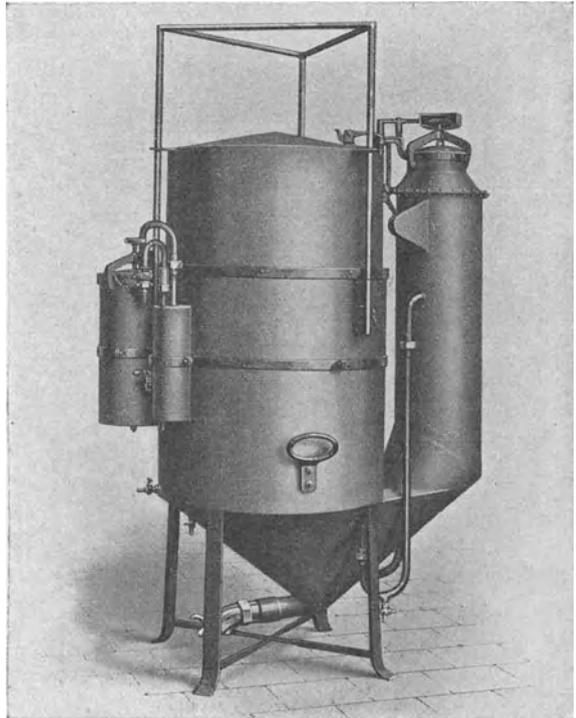


Abb. 39. Azetylenentwickler, System „Karbid ins Wasser“.

Dieses Arbeitsverfahren hat bei einem in Abb. 41 schematisch dargestellten Entwickler Anwendung gefunden, der hier, seiner anschaulichen Wirkungsweise halber, erwähnt sein mag. Obwohl der Entwickler längst nicht mehr gebaut wird, bringen wir dieses Bild gern, um damit zu zeigen, wie einfach man sich früher die Konstruktion eines solchen Entwicklers vorstellte. Im Trichter *A* wird Feinkornkarbid gelagert. Der an Flacheisen befestigte Trichter steht durch einen Gummischlauch *B* von genügend großem Durchmesser mit der Decke der Gasglocke *D* in Verbindung. Sinkt die Glocke, dann streckt sich der Schlauch und Karbid fällt ins Entwicklerwasser *E*; steigt die Glocke, so wird der Schlauch *B* (wie in der Abbildung gezeichnet) abgelenkt, geknickt, und die Karbidfüllung aufgehoben. Bei *C* erfolgt wieder die Gasentnahme. Die recht bedeutenden Mängel dieses an sich sehr einfachen Entwicklers sind durch entsprechend verbesserte Konstruktion behoben worden. An Stelle des Schlauchs sind ein oder zwei untereinander angebrachte Behälter vorgesehen, wie Abb. 42 zeigt, die die aus dem eben beschriebenen Entwickler abgeleitete Neukonstruktion wiedergibt.

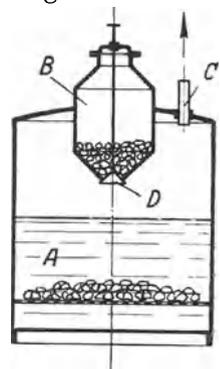


Abb. 40. Zweite Grundform des Systems „Karbid ins Wasser“.

Ein gleicher Konstruktionsgedanke lag auch dem Entwickler Abb. 43, einer kleinen ortsfesten Anlage, zugrunde. Hier sehen wir die einzelnen Anlagenteile

getrennt, von links nach rechts in Reihenfolge: Entwickler, Wäscher, Gassammler und Reiniger. Die Karbidbeschickung erfolgt in bereits bekannter Weise durch den oben am Führungsgerüst der Gasglocke sichtbaren Hebel, der mittels Drahtseil einerseits mit der Glocke, andererseits mit dem am Vorratsbehälter des Entwicklers angebrachten Hebel in Verbindung steht.

Aus Gründen technischer und wirtschaftlicher Natur ist das Einwurfsystem bei ortsfesten Anlagen häufig vorzuziehen. Es ist daher nicht erstaunlich, wenn wir diese Bauart bei solchen Anlagen am häufigsten vorfinden. Verbessert wird die Anlage noch durch Verwendung großen Stückkarbids, wie dies bei der in Abb. 44 im Schnitt schematisch dargestellten Anlage für hohe Leistungen zutrifft. Das im Vorratsdom *a* dieses Entwicklers aufgestapelte Stückkarbid wird nach Schließung

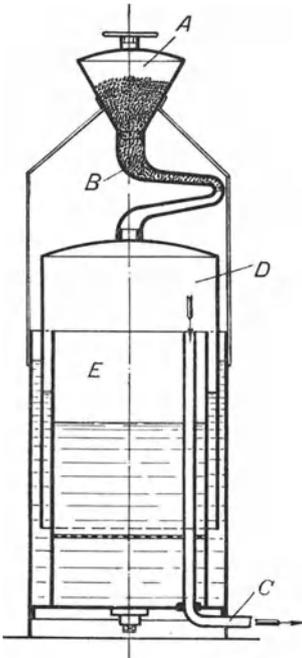


Abb. 41. Azetylenentwickler, System „Karbid ins Wasser“.

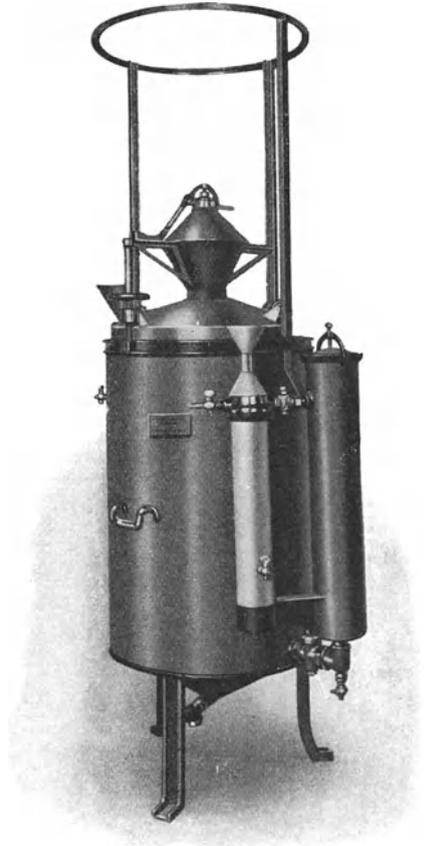


Abb. 42. Beweglicher Azetylenentwickler, System „Karbid ins Wasser“.

des Deckels *b* durch Drehen des Handrads *c* auf eine Rutsche *d* herabgelassen, darauf der Kegel *e* wieder verschlossen und Raum *a* mit einer neuen Reservefüllung versehen. Die in beliebiger Entfernung aufgestellte Glocke *D* steht durch ein über Rollen geführtes Drahtseil *f* mit dem Hebel *g* der Transporttrommel *h* in Verbindung, so den Einwurf von Karbid bei erschöpftem Gasvorrat regelnd. Bei allen Azetylenentwicklern mit beweglicher Glocke wird die Gasentwicklung durch den jeweiligen Stand der Gasglocke geregelt. Das erzeugte Gas geht durch den Wäscher *B* in die Glocke *D*, dann in die Reiniger *E* und zur Hauptwasservorlage *H*. Bei *G* sind drei Gasdruckmesser (einfach gebogene Glasrohre) angebracht.



Abb. 43. Kleine ortsfeste Azetylenanlage.

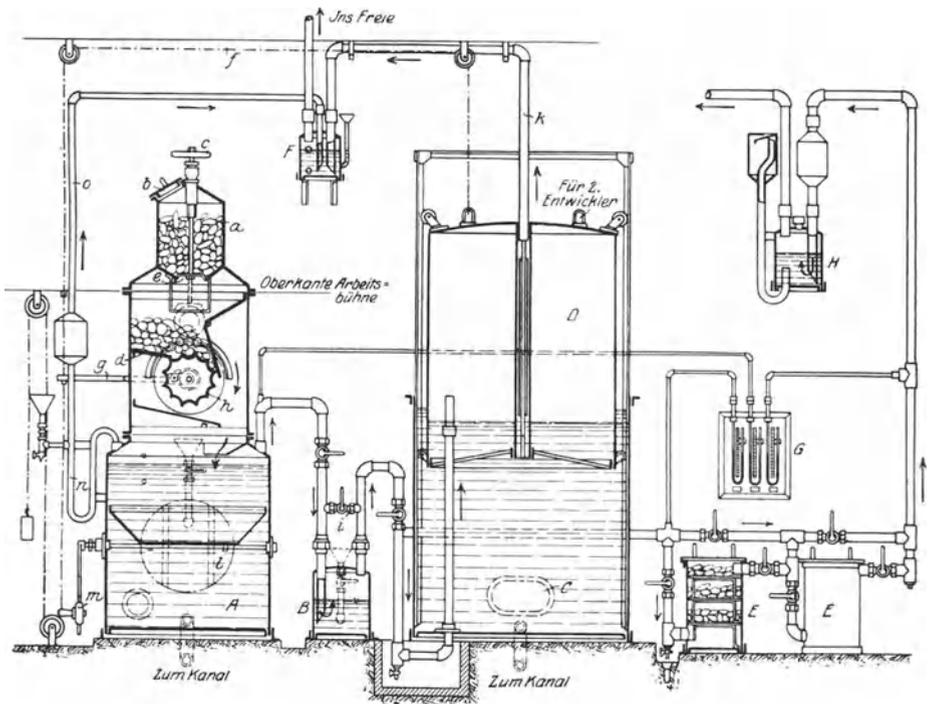


Abb. 44. Große ortsfeste Azetylenanlage.

Tauchentwickler. Die in Abb. 45 veranschaulichte Grundform der Untergruppe *b* des Systems „Karbide ins Wasser“ ist von ganz untergeordneter Bedeutung.

Die technischen, vor allem sicherheitstechnischen Mängel der im übrigen denkbar einfachsten Tauchentwickler sind so mannigfach, daß von der Beschaffung nach diesem System gebauter, zumindest größerer Entwickler im allgemeinen abzuraten ist. Entwickler dieser Art sind heute so gut wie gar nicht mehr auf dem Markte und auch dann nur für geringe Füllungen. An Hand der Abb. 45 läßt sich die Arbeitsweise dieser Entwickler wie folgt erläutern: An der Glockendecke hängt ein mit Karbid angefüllter, gelochter (oder Drahtgeflecht-) Korb *A*, welcher bei fallender Glocke *B* in den Wasserraum *C* taucht und beim Steigen dieser wieder mit hochgezogen wird. *D* = Gasentnahme, *E* = Schlammablaß. Gerade dieser Umstand, daß der Karbidkorb wieder aus dem Wasser gezogen wird und das erhitzte Karbid im Gasraum belassen wird, macht das Tauchsystem ungeeignet. Wie alle Gase hat auch das Azetylen ein sehr schlechtes Wärmeleitungsvermögen. Aber auch Karbid selbst

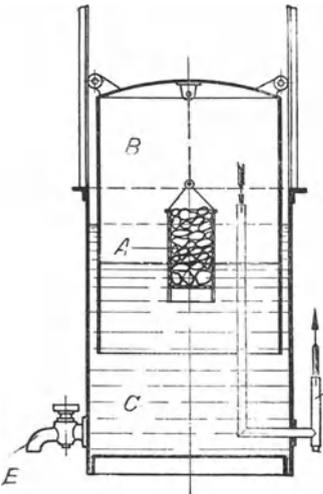


Abb. 45. Grundform der Tauchentwickler.

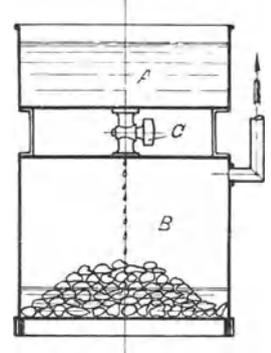


Abb. 46. Grundform des Systems „Wasser zum Karbid“.

Wie alle Gase hat auch das Azetylen ein sehr schlechtes Wärmeleitungsvermögen. Aber auch Karbid selbst

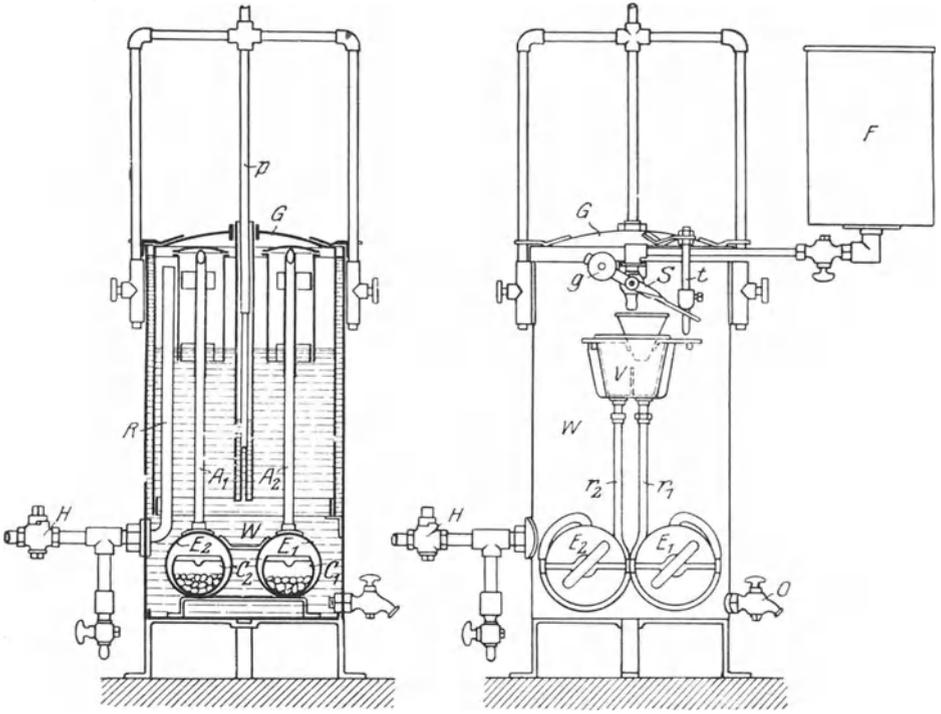


Abb. 47. Retortentwickler.

ist ein außerordentlich schlechter Wärmeleiter, so daß starke Überhitzungen, die Zersetzungerscheinungen des Gases im Gefolge haben (S. 70), nicht zu vermeiden sind. Tritt nun beim Neufüllen des Entwicklers mit Karbid, also beim Öffnen der Glocke, Luft in das Entwicklerinnere ein, dann sind die Gefahren unverkennbar.

c) Azetylenentwickler des Systems: „Wasser zum Karbid“.

Entwickler mit zufließendem Wasser. Dieses System hat nur die in Abb. 46 wiedergegebene Grundform. Auf eine im Behälter *B* gelagerte, größere Menge Karbid tropft aus dem Vorratsbehälter *A* durch einen meist von der Glocke aus selbsttätig regulierten Hahn *C* zeitweise eine bestimmte, geringe Menge Wasser, entsprechend der jeweils erforderlichen Gasmenge. Die Gasentnahme erfolgt bei *D*. Den einfachsten, in weitesten Kreisen bekannten Vertreter dieses Systems zeigt uns jede Fahrrad-Azetylenlampe.

Fast ausnahmslos finden sich nach dem Tropf- oder Wasserzuflußsystem gebaute, für Schweißzwecke bestimmte Entwickler als sog. Schubladen- oder Retortenentwickler vor, wie in Abb. 47 dargestellt. Die Kammern eines mehrfach unterteilten, schubladenähnlichen Gefäßes (C_1C_2) werden mit Karbid halb angefüllt und in zylindrische Retorten E_1E_2 hineingeschoben. Die bei Gasmangel sinkende Glocke *G* öffnet vermittlems eines Hebelwerks *tg* den Hahn *S*, so daß aus dem Gefäß *F* Wasser in den Verteilerbecher *V* und von hier durch die Rohre r_1 und r_2 zu den Kammern der Entwicklerretorten gelangen kann. Die Gasentnahme erfolgt bei *H* durch Rohr *R*, nachdem das Gas aus den Retorten durch die Rohre A_1A_2 der Glocke *G* zugeströmt war. Die Ausführungen beweglicher und ortsfester Anlagen weichen wenig voneinander ab. In beiden Fällen sind Entwickler, Glocke und Wäscher in einem Gefäß zusammengebaut. Ortsfeste Anlagen dieses Systems mit über 100 kg Karbidfüllung sind unbequem zu bedienen und daher seltener anzutreffen. Die Retortenverschlüsse der zur Aufstellung in Innenräumen bestimmten Entwickler dieser Art sind vielfach zwangsläufig gesteuert, um eine beliebig wechselweise Herausnahme der Retorten während des Betriebes zu verhindern.

Wasserverdrängungs- und Überschwemmungsentwickler. Als Grundform kann die Kippsche Flasche, Abb. 48, angesehen werden. Ist ihr Gasvorrat erschöpft, so wird das im Trichter *B* befindliche Wasser durch das Rohr *A* im Raume *D* hochsteigen, bis es mit dem in *C* gelagerten Karbid in Berührung kommt. Das jetzt sich bildende Gas verdrängt das Wasser wieder in das Rohr *A*, wodurch gleichzeitig dem Gas ein von der jeweiligen Wassersäule abhängiger, schwankender Druck verliehen wird. Bei niedrigem Wasserstand (im Raume *D*) ist also der Gasdruck hoch, bei hohem Wasserstand ist er gering, da die Größe des Gasdrucks ein von der Höhe der Wassersäule in *A* abhängiger Faktor ist. Sinken und Steigen des Wasserspiegels wiederholt sich, solange noch Karbid in *C* vorhanden ist. Gleicher Gasdruck, d. h. verharrender Wasserstand, tritt nur dann ein, wenn Gasentwicklung und Gasverbrauch gleich groß sind.

Diese Grundform findet sich, wie ihre Einfachheit erwarten läßt, sehr häufig vor, besonders bei beweglichen Azetylenentwicklern. Wie alle anderen Entwickler sind auch die nach diesem System gebauten meist mit beweglicher Gasglocke

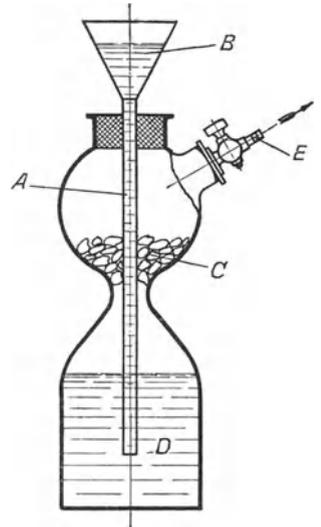


Abb. 48. Grundform des Wasserverdrängungssystems.

ausgerüstet. Der schwankende Gasdruck ist vom jeweiligen Glockenstand abhängig. Um erhöhten Gasdruck zu erhalten (Mitteldruck), gibt man den Entwicklern nach dem Verdrängungssystem heute vielfach auch feststehende Gasglocken. Abb. 49 zeigt uns den Schnitt durch einen solchen für Stückkarbidbeschickung eingerichteten Entwickler mit fester Gasglocke. Bei seiner Konstruktion war die sicherlich richtige Auffassung maßgebend, daß alle beweglichen Teile wie Hebel, Räder, Ventile, aber auch die meist im Gestänge geführte Glocke des ständig mit Wasser und Schlamm in Berührung kommenden Entwicklers zu

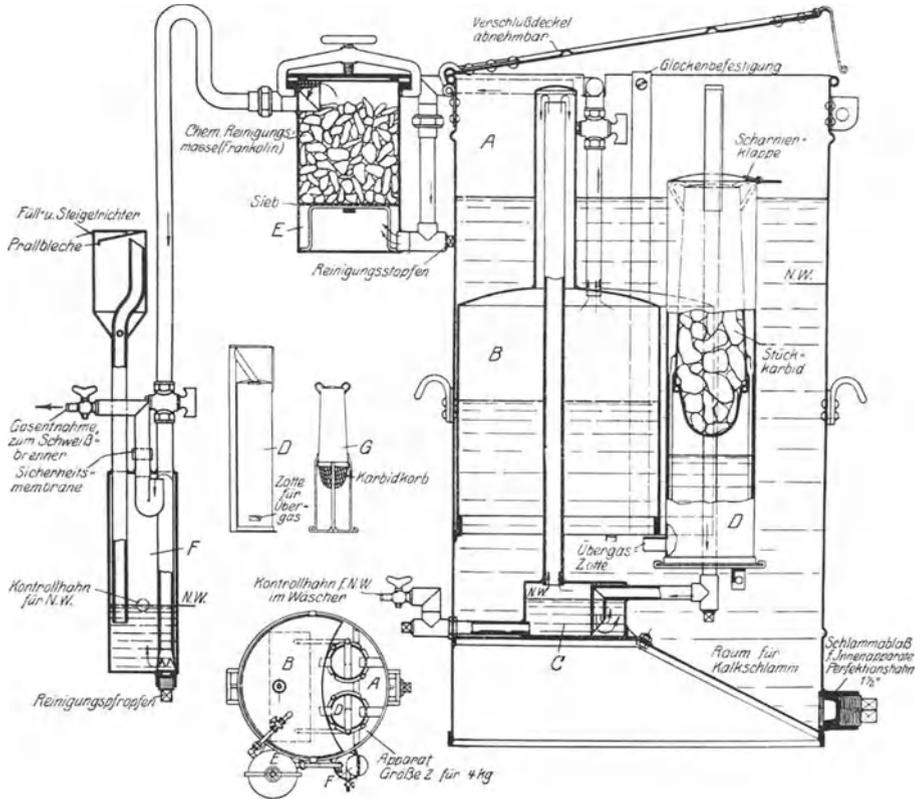


Abb. 49. Mitteldruckentwickler mit feststehender Glocke.

zeitweiligem Klemmen und infolgedessen zu Betriebsstörungen führen müssen. Dem Entwickler fehlt außerdem jede zwangsläufige Betätigung seiner einfachen Konstruktionsteile; das bewegliche Medium (Vermittlungsglied) ist Wasser allein. Das im Einsatz *D* hochsteigende Wasser bespült das in einem Korb (links bei *G* herausgezeichnet) gelagerte Karbid und entwickelt Gas, welches durch ein Winkelrohr in einen Wäscher und Wasserverschluß *C* geleitet wird und von hier durch ein Steigerrohr unter die feststehende Glocke *B* gelangt, aus dieser das Wasser in den Entwicklerraum *A* verdrängend. Das Gas geht dann weiter durch Reiner *E* zur Wasservorlage *F*. Der höchste Gasdruck entspricht einer Wassersäule, gemessen vom unteren Wasserspiegel in *B* bis zum Wasserspiegel in *A*. Wenn man vom Wäscher *C* absieht, findet man sofort eine Ähnlichkeit mit der in Abb. 48 gezeigten Grundform. Tritt bei dieser (bei *E*) eine gleichmäßige Gasentnahme

ein, so bleibt der Wasserstand in *D*, also auch der Gasdruck, ziemlich gleichmäßig. Das gilt auch für Entwickler dieses Systems. Druckschwankungen treten nur ein bei Entwicklungsbeginn und bei Arbeits-, d. h. Gasentnahmebeendigung. Während der Arbeit – und darauf kommt es an – bleibt der Gasdruck annähernd der gleiche.

Dieser Konstruktion des unmittelbaren Verdrängungssystems mit feststehender Glocke ähnelt der Entwickler, Abb. 50, welcher sich von dem der Abb. 49 im wesentlichen in zwei Punkten unterscheidet. Einmal ist es ein Wasserzufluß-, und zwar ein Retortentwickler; zum anderen wird hier nicht das eigentliche Entwicklerwasser vom Karbid verdrängt, sondern nur das Wasser der festen Glocke *c*, um dem Gas einen höheren Druck zu verleihen. Demnach handelt es sich um einen mittelbaren Verdrängungsentwickler, bei dem Zufluß- und Verdrängungssystem vereinigt sind. Aus dem Raume *b* fließt durch das Rohr *i* Wasser

zur Karbidschublade *w*. Das sich entwickelnde Gas strömt durch die Rohre *f* und *n* nach *b* und verdrängt aus diesem Wasser, welches durch das Rohr *d* in den Raum *c* gelangt. *b* dient als Gassammelraum (Glocke); die Gasentnahme erfolgt durch Rohr *g*. Neuerdings ist eine kleine, sehr zweckmäßige Änderung an diesem Entwickler vorgenommen worden, die ein vordem starkes Übergasen verhütet. In Abb. 50 ist diese Änderung nicht vermerkt, jedoch aus Abb. 60 bei *h* ersichtlich.

Der Mitteldruckentwickler Abb. 51 ist auch dem Abb. 49 gezeigten ähnlich. Das in dem Einsatz *C* in mehreren getrennten Schichten übereinander gelagerte Karbid ist stückförmig. Das entwickelte Gas strömt durch das Rohr *i* zum Wasserabscheider *b* und von hier in den unteren Raum *A*, aus welchem es das Wasser nach *B* verdrängt. Das unter dem Druck der Wassersäule stehende Gas wird durch das Rohr *d* über *c* dem Reiniger *D*, und von hier über die Wasservorlage *E* und Hahn *f* dem Brenner zugeführt. Bei Abstellung der Gasentnahme geht das nachentwickelte Gas durch das Rohr *b* zur Glocke *A*.

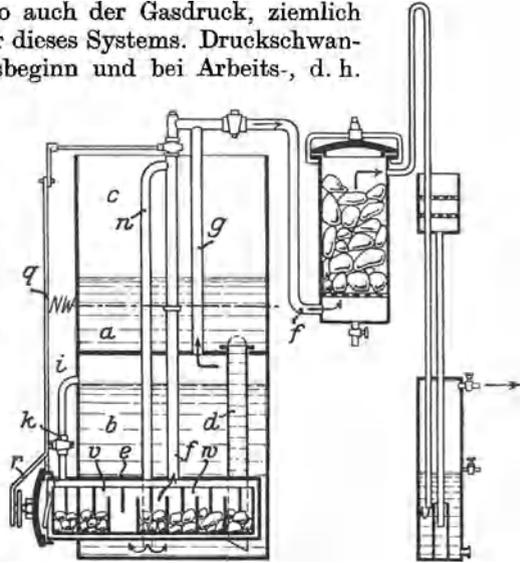


Abb. 50. Mitteldruckentwickler (Retortensystem).

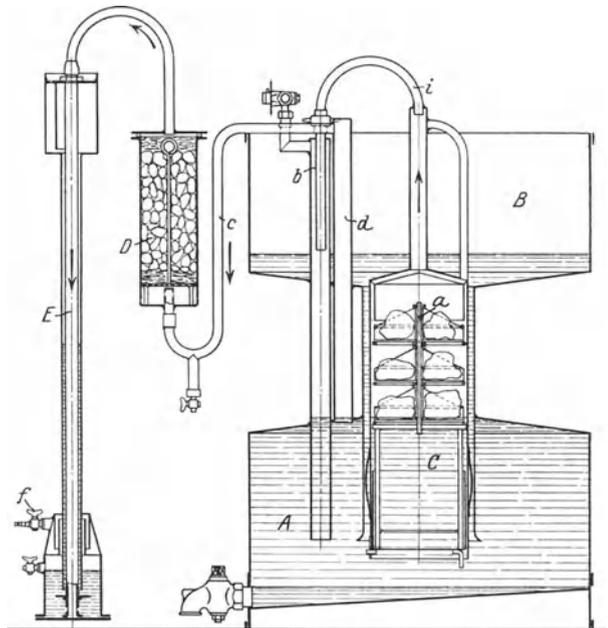


Abb. 51. Mitteldruckverdrängungsentwickler.

Bei Abstellung der Gasentnahme geht das nachentwickelte Gas durch das Rohr *b* zur Glocke *A*.

Eine der neuesten Niederdruck-Azetylenentwickler-Konstruktionen nach dem Verdrängungssystem ist in Abb. 52 im Schnitt dargestellt. Er unterscheidet sich von dem der Abb. 49 außer anderem dadurch, daß der Schlamm (wie bei Abb. 50) bei jedesmaliger Neufüllung mit Karbid in dem Entwicklereimer mit herausgenommen wird. Trotz seiner kleinen Abmessungen hat der Entwickler eine hohe Leistung und arbeitet vorzüglich. Stückkarbid wird im Korb 1 der Entwicklerpatrone *B* untergebracht. Das Gas strömt in der Pfeilrichtung durch die Rohre 2 und 3 zum Wäscher *E* und von hier durch eine Verschlussvorrichtung zur beweglichen Glocke *F*, von dort durch Rohr 5 zum Reiniger *C* und durch 7 zur Vorlage *D*. Die Konstruktionseinzelheiten sind durch Patente geschützt. Das Karbid wird restlos vergast und eine Nachvergasung auch nach großem Gasverbrauch durch die sinnreiche Einrichtung des Momentverschlusses 4 ausgeschaltet. Sobald sich mehr Gas bildet, als am Hahn 8 entnommen wird, hebt sich die Glocke *F* und mit ihr Ring 9. Durch das Gewicht des Führungsrohres 10 wird das

Abb. 52. Niederdruckentwickler mit feststehender Glocke.

Abschlußorgan 11 auf die Öffnung des Rohres 12 gedrückt. Das Gas ist nun gezwungen, durch die Löcher 13 des Rohres 12, durch das Rohr 15 und durch die Wassersäule *s* in den Glockenraum zu treten. Im selben Augenblick wird der

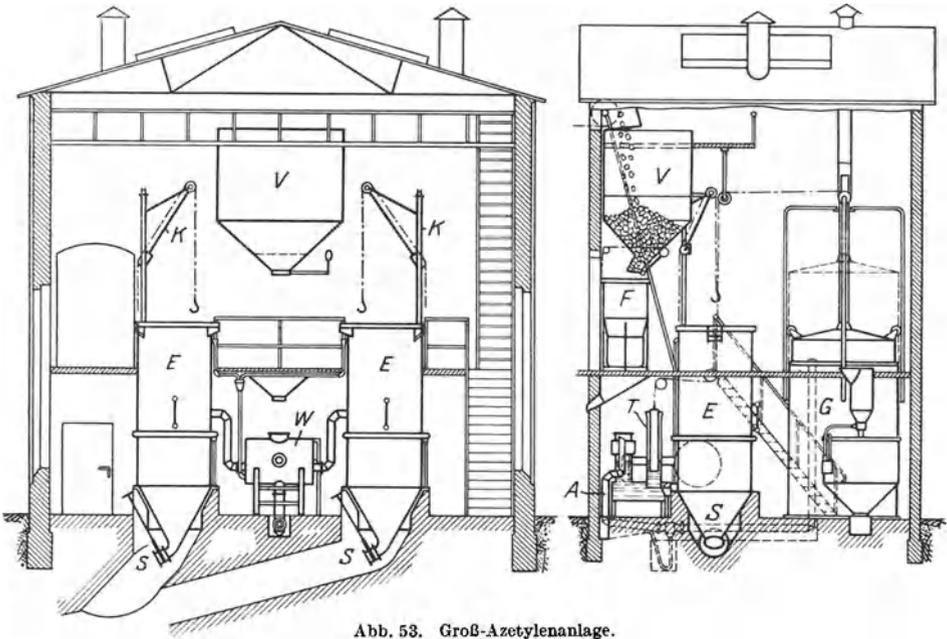


Abb. 53. Groß-Azetylanlage.

Abschlußorgan 11 auf die Öffnung des Rohres 12 gedrückt. Das Gas ist nun gezwungen, durch die Löcher 13 des Rohres 12, durch das Rohr 15 und durch die Wassersäule *s* in den Glockenraum zu treten. Im selben Augenblick wird der

Gegendruck im Entwicklerinnern *B* um diesen Betrag vergrößert und das Wasser vollkommen vom Karbid abgedrängt. Bei erneuter Gasentnahme wiederholt sich das oben beschriebene Spiel. Einige begrüßenswerte Neuerungen an diesem Entwickler verdienen noch kurze Erwähnung, und zwar sind dies eine Karbidmeßeinrichtung und eine Vorrichtung zur Verhütung von Lufteintritt ins Entwicklerinnere. Letztere besteht aus einem Rückschlagventil, das auf die obere Mündung des Rohres 6 aufmontiert wird. Das Ventil schließt sich, sobald der Einsatz *B* aus dem Vergaser-raum herausgezogen wird. Dadurch wird der Eintritt von Luft durch Rohr 6 ver-

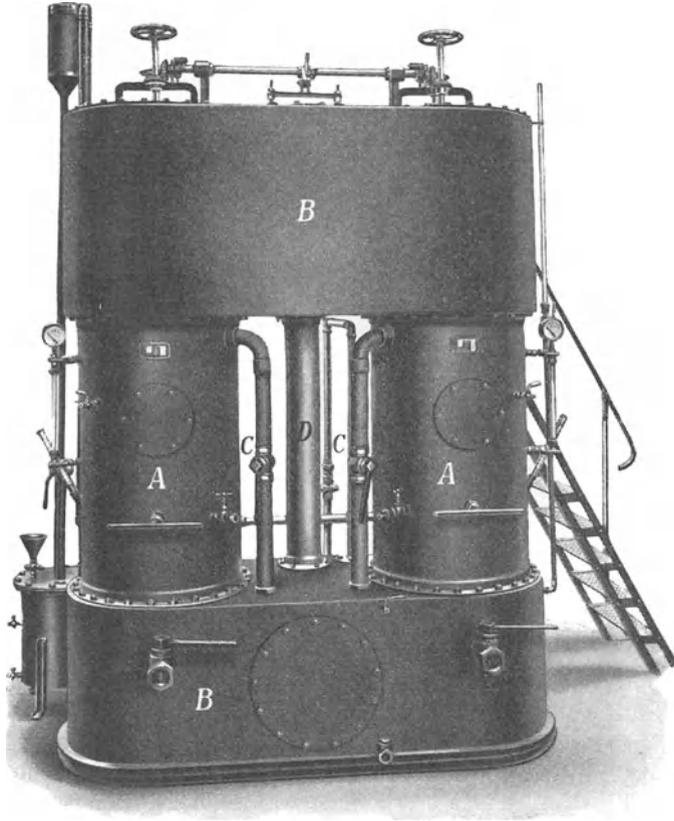


Abb. 54. Ortsfester Mitteldruckentwickler nach dem Einwurfsystem.

hütet. Die Karbidmeßvorrichtung ist bei 2 angebracht und besteht aus einem Manometer, das den jeweiligen Karbidvorrat in kg abzulesen gestattet. Der durch das in *B* befindliche Gas bedingte Auftrieb des Einsatzes bildet die Grundlage der Karbidbestimmung.

Die Einrichtung einer ortsfesten Oberflur-Groß-Azetylenanlage nach dem Verdrängungssystem, ebenfalls neuester Konstruktion, zeigt Abb. 53. Die Anlage besteht aus zwei Entwicklern *E*, einem Gasbehälter *G*, einem Wäscher *W* und sonstigen Nebeneinrichtungen, und ist in einem den behördlichen Bestimmungen entsprechenden Gebäude untergebracht. Die beiden Entwickler, die sowohl wechselweise (einzeln) als auch gleichzeitig (gemeinsam) arbeiten können, haben eine Karbidfüllung von je 1500 kg (Stückkarbid 50/80 mm), und eine Gesamt-

leistung von 500000 l Gas je Stunde, was einer täglichen Vergasung von etwa 40000 kg Karbid (in 24 h) entspricht. Die Glocke G faßt 15000 l.

Die Entwickler E sind als Doppelschacht ausgebildete, unten durch einen Trichter abgeschlossene stehende Zylinder. Am Ende des Trichters ist ein Schlamm-schieber S angebracht, der mit dem Schlammkanal in Verbindung steht. Der untere Teil des Entwicklers ist Wasserraum, der obere Gasraum; letzterer ist zwecks rascher Ableitung der Zersetzungswärme von einem Kühlmantel für fließendes Wasser umgeben. Über dem Wasserraum liegt ein Rost, der als Traggerüst für den Karbidbehälter dient. Nach oben erfolgt der Entwicklerabschluß durch Wasserverschluß mit Hilfe einer in den Kühlmantel eintauchenden Glocke. Das Karbid wird aus dem Lagerbecken V in das Gefäß F über eine Rutsche entnommen und das Gefäß mit Hilfe des Schwenkkrans K in den Entwickler eingeführt. Der Entwickler arbeitet mit ständig durchfließendem Wasser, welches durch einen Frischwasseranschluß von genügend hohem Druck eintritt und durch einen Überlauf und ein Abfallrohr in den Schlammkanal abläuft. Der Wasserstand im Entwickler selbst wird durch einen von der Gasometerglocke mittels Kettenzug gesteuerten Tauchkolbenregler (bewegliche Überlaufleitung) T geregelt und stellt sich selbsttätig nach dem jeweiligen Gasverbrauch ein. Das Klärwasser wird zurückgewonnen, wodurch der Wirkungsgrad der Vergasung etwa 95 vH erreicht. Vom Entwickler strömt das Gas zum Wäscher W , der ebenfalls mit ständig fließendem Wasser gespeist wird. Das Gasabzugsrohr A im Wäscher W führt das Gas über den erwähnten Regler T zum Gasometer G und von hier über zwei Reiniger zur Verbrauchsleitung.

Einen ortsfesten Mitteldruckentwickler (1000÷2500 mm W.S.) nach dem Einwurfsystem veranschaulicht Abb. 54. Die Anlage faßt je nach Größe 10÷1000 kg Karbid von 15/25÷50/80 mm Körnung. Sie besteht aus zwei Entwicklern A , die mit je einem unteren und oberen Wasserbehälter B in Verbindung stehen. Der Gasdruck wird durch ein kommunizierendes Rohr D , die Karbidbeschickung durch einen im Behälter B (oben) angeordneten Schwimmer geregelt. Von einer weiteren Beschreibung dieses Entwicklers kann mit Rücksicht auf die vorausgegangenen Besprechungen betreffend ähnliche Konstruktionen und in Anbetracht des Raummangels abgesehen werden.

d) Hochdruckentwickler.

Allgemeines. Nach dem Vorausgegangenen (S. 48) werden Entwickler mit über $\frac{1}{5}$ at Gasdruck als Hochdruckentwickler bezeichnet. Solche Entwickler haben durchweg feststehende Gassammler ohne Glocke. Zur Erzielung des höheren Gasdruckes dient meist Wasserdruck oder der Druck des Entwickler- oder Kühlwassers gegen ein Luftkissen.

Über den Wert und Unwert unter höherem Druck stehenden Azetylens für Schweißzwecke wird augenblicklich noch viel gestritten. Die Überlegenheit des höheren Gasdrucks in technischer Hinsicht scheint einwandfrei festgestellt zu sein; inwieweit auch wirtschaftliche Vorzüge erkennbar sind, möge hier dahingestellt bleiben. Jedenfalls ist erhöhter Druck für die Beschaffenheit der Schweißflamme vorteilhaft, und er hat sich für Lötwerkzeuge mit Luftzuführung ganz besonders bewährt. Ob es allerdings notwendig ist, mit dem Gasdruck bis an die Grenze des Möglichen heranzugehen, scheint doch fraglich, und ob es sicherheitstechnisch unbedenklich ist, muß die Zeit lehren. Allerdings neigt man neuerdings verschiedentlich zu der Annahme, ein Druck von 2 at bilde noch nicht die Gefahrengrenze für den Zerfall luftfreien Azetylens, während die kürzlich angestellten Versuche Dr. Rimarskis das Gegenteil beweisen.

Der ursprünglich zugelassene Höchstdruck von 1,5 at ist nach den letzten Bestimmungen der Azetylenverordnung auf 1 at herabgesetzt worden. Nur die bis zum Inkrafttreten des neuen Gesetzes bereits im Betriebe gewesenen Entwickler dürfen auch fernerhin mit 1,5 at Druck arbeiten.

Neben der geringen erforderlichen Bemessung der Rohrleitungsquerschnitte ist ein Vorteil des Hochdruckentwicklers auch der, daß selbst an den entfernt liegenden Zapfstellen einer ortsfesten Anlage immer genügend Gas entnommen werden kann. Nachteilig ist indessen die meist bedeutende Druckschwankung, die sich durch den Einbau zweckmäßiger Druckregler verhüten läßt.

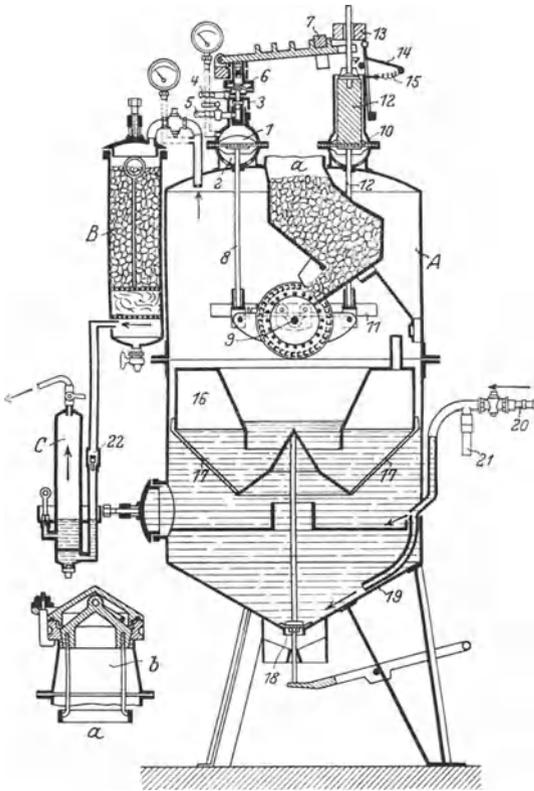


Abb. 55. Hochdruckentwickler (Einwurfssystem).

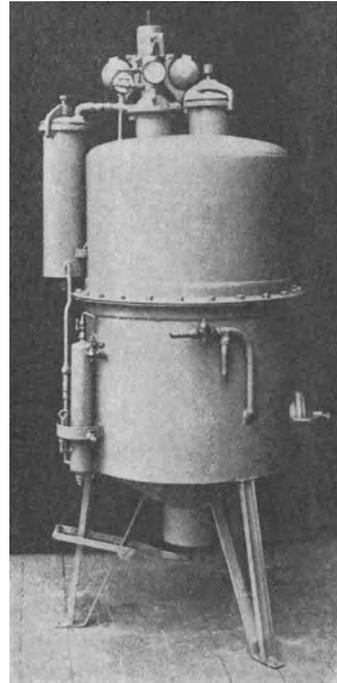


Abb. 56. Hochdruckentwickler (Einwurfssystem).

Entwicklertypen. Ein nach dem Einwurfsystem arbeitender Hochdruckentwickler für $\frac{1}{2}$ at Druck und für Beschickung mit Karbid von $\frac{15}{25}$ Körnung, ist in Abb. 55 im Schnitt, in Abb. 56 in der Ansicht dargestellt. Der Deutlichkeit halber ist der Deckelverschluß *b* besonders herausgezeichnet; man hat ihn sich auf *a* angesetzt zu denken. *A* ist der Entwickler, *B* der Reiniger und *C* die Sicherheitsvorlage mit Rückschlagventil 22. Die Karbidzuführungsvorrichtung 9 wird durch eine von Druckwasser beeinflusste Membran 1 gesteuert, welche im Hohlkörper 2 gasdicht angebracht ist und die Karbidbeschickung in bestimmten Zeitabschnitten regelt. Zu- und Abfluß des Druckwassers (bei 4 und 5) wird durch das Ventil 3 geregelt, das mit der Membran 6 in Verbindung steht, auf welche letztere als äußerer Gegendruck das verstellbare Gewicht 7 wirkt. Bei Betriebsbeginn ist

der Wasserabfluß aus 5 durch Ventil 3 in Tiefstellung geschlossen. Das Wasser gelangt über die Membran 1 und drückt mittels dieser die Treibstange 8 nieder, wodurch die Vorrichtung 9 Karbid einwirft. Die niedergedrückte Stange 8 hebt vermittels des Hebels 11 und des Stabes 12 die Membran 10 an, wodurch auch die Gewichte 13 und 14 gehoben werden. Bei einem gewissen Wasserdruck, welcher zu dem Gewichtsdruck 7 in Beziehung steht, wird die Membran 6 gehoben und mit dieser Ventil 3, welches jetzt den Wasserzufluß (4) verschließt und den Abfluß (5) öffnet, so daß das Gewicht 12 fällt und die Membran 10 wieder nach unten, Membran 1 wieder nach oben gedrückt wird und das Wasser durch 5 abfließt. Das Gewicht *h* fällt erst, wenn das Gewicht 12 eine gewisse Tiefstellung erreicht hat. Das spätere Fallen veranlaßt der Hebel 14 und die Feder 15. Dieser Vorgang wiederholt sich so oft, bis der Gasdruck in *A* größer ist als der Druck der Gewichte 12 und 13.

Im Entwicklerinnern ist ein Ringschwimmer 16 angeordnet, der durch die Stäbe 17 mit dem Entschlammungsventil 18 in Verbindung steht. Der Schwimmer 16 verhindert, daß ein vorgesehener Wasserstand überschritten wird, wenn der Druck des Frischwassers, das bei 20 zugeführt wird, sehr groß ist. Die Ausflußöffnung 19 des Rohres für das Frischwasser ist bis in die Nähe des Schlammventils 18 geleitet, zwecks leichterer Reinigung des Ventils durch Wasserbespülung. 21 ist ein Sicherheitsventil, 22 ein Rückschlagventil.

Ob es richtig ist, einen so verwickelten, in der Arbeitsweise und Betriebssicherheit von den verschiedensten Nebenumständen abhängigen, dazu noch beweglichen Entwickler zu verwenden, erscheint doch wohl sehr zweifelhaft. Zwar ist die Konstruktion, was anerkannt werden muß, recht sinnreich, doch ist die gute Arbeitsweise des Entwicklers insbesondere eine Frage der muckenfreien Wirkung dreier Membrane, einer Anzahl Ventile, Federn, Hebel, Stangen und Gewichte. Zudem ist sein Betrieb an das Vorhandensein einer Druckwasserleitung gebunden. Der Entwickler ist im Verhältnis zu seiner Leistung als beweglicher Entwickler außerdem zu schwer.

Während die Gasdruckerzeugung bei dem eben besprochenen Entwickler durch Druckwasser als Vermittlungsglied erfolgte, geschieht sie bei der folgenden Konstruktion durch Sauerstoff. Das Schema des Entwicklers (für 0,5 at) ist in der Schnittzeichnung, Abb. 57, dargestellt. *A* ist die Sauerstoffflasche mit einem Ventil 1 von besonderer Konstruktion. Der Sauerstoff strömt in der Pfeilrichtung zu einem Reglerventil 2 und von hier in den Druckbehälter *B*, dessen Ventil 2 seinerseits durch die Rohrleitung 8 mit dem Hochdruckentwickler *C* in Verbindung steht. Der Apparat arbeitet nach dem Verdrängungssystem (Prinzip der kommunizierenden Röhren). Sobald der Sauerstoff bei 11 in *B* eintritt und auf das Wasser drückt, wird letzteres über die Verbindungsrohre 12 und 13, zwischen die ein Ausgleichgefäß 3 mit Schwimmer 4 eingebaut ist, nach *C* gepreßt. Dort steigt es in die Höhe und bespült den Karbidkorb 6, wodurch Azetylen erzeugt wird. Der Karbidbehälter 5 selbst ist als Tauchglocke ausgebildet, so daß immer nur soviel Karbid vergast werden kann, als der Karbidkorb 6 freigibt. Der im Entwickler *C* erzeugte Gasdruck wirkt über das Rohr 8 auf das Ventil 2; gleichzeitig wird der Wasserspiegel in *C* verdrängt, wobei der Schwimmer 4 im Ausgleichgefäß 3 als Vermittler dient. Dadurch wird fortlaufend ein Druckausgleich zwischen *B* und *C* geschaffen, wobei dem Regliersystem 2 die Hauptaufgabe zufällt. *D* ist der Brenner, dem das Gas über den Reiniger 7 und das mechanische Rückschlagventil *E* zufließt. Der Sauerstoff tritt von *B* kommend durch 2 in das Rohr 9 ein und von hier in der Pfeilrichtung zum Brenner *D*. Die Gasdruckschwankung ist infolge der guten Durchbildung der Reglerkonstruktion sehr gering; sie beträgt

im Mittel nur etwa 100 mm W.S. Weniger zu begrüßen ist die mechanische Rückschlagvorrichtung *E*, die nach den Erfahrungen der Verfasser niemals die Sicherheit einer Wasservorlage zu ersetzen vermag (S. 74). Neuerdings ist diese Konstruktion dahingehend geändert worden, daß nicht mehr Sauerstoff, sondern auch hier Wasser das Mittel zur Gasdruckerhöhung bildet.

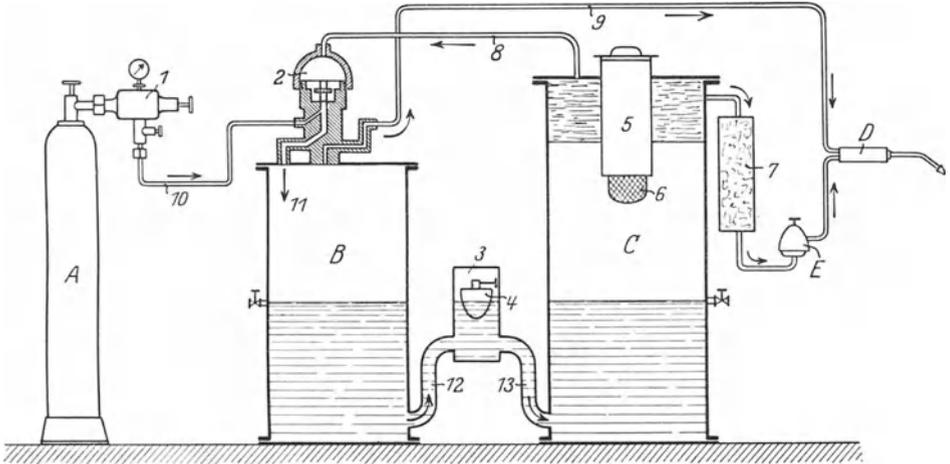


Abb. 57. Hochdruckazetylenentwickler (Verdrängungssystem).

Zum Schluß zeigt Abb. 58 eine sowohl bewegliche als auch ortsfest im Handel befindliche Hochdruckanlage nach dem Retortensystem. Sie besteht aus dem Entwickler *A*, dem Druckbehälter *B*, der Pumpe *C*, dem Reiniger *D* und der Wasservorlage *E*. Im Entwickler *A* befinden sich die beiden Retorten *b* (hintereinanderliegend im Bilde) mit den in Klammern geteilten Schubladen.

Der Entwickler *A* ist oben mit einem durch aufgebaute Reiniger *D* geschlossenen gehaltenen Füllschacht bzw. Gassammler *c* versehen. Ein auf das Rohr *e* aufgesetztes Rückschlagventil *e*₁ verhindert den Gasrücktritt beim Öffnen der Retorte, und durch die Schutzhaube *e*₂ wird vermieden, daß beim erstmaligen Füllen durch das Rohr *e* Wasser in die Retorte gelangt. Das Schwimmerventil *l* wird geschlossen, sobald der Wasserspiegel eine bestimmte Höhe erreicht hat. Hierdurch wird vermieden, daß beim Verbrauch der ganzen Gasmenge etwa Wasser aus dem Entwickler in die Gasleitung getrieben wird. Der Wasserzufluß zur Retorte *b* wird durch ein im oberen Teil des Behälters *A* angeschlossenes Rohr *d* bewirkt, und dieses Rohr *d* kann durch einen Hahn *d*₁ abgesperrt werden. Der oberen Mündung des Rohres *d* ist im Innern des Behälters *A* eine kleine Kammer *h* vorgelagert, die durch ein Rohr *i* mit der Gashaube *c* in Verbindung steht. Hierdurch wird erreicht, daß bei einem den Arbeitsdruck

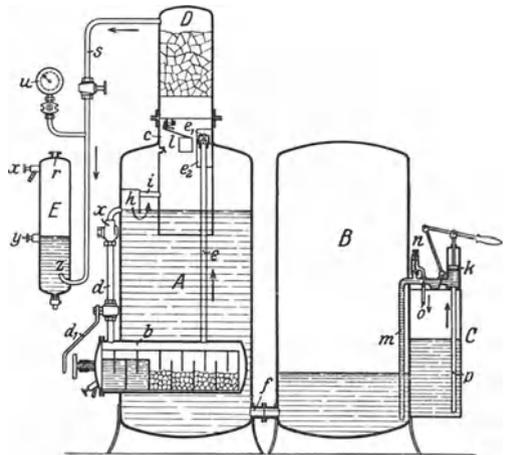


Abb. 58. Retortenentwickler für Hochdruckazetylen.

überschreitenden Gasdruck sofort der kleine in der Kammer *c* vorhandene Wasserspiegel gesenkt wird, um die Wasserzufuhr in das Rohr *d* zu unterbrechen, während darauf nach und nach erst der übrige Wasserspiegel des Behälters *A* gesenkt wird. Unten ist der Behälter *A* durch ein kurzes Rohr *f* mit dem Ausgleichbehälter *B* verbunden, der ebenfalls vollkommen geschlossen ist und zur Aufnahme des aus dem Behälter *A* verdrängten Wassers dient. Dabei ist die Einrichtung so getroffen, daß bei vollständig geschlossenem Behälter *B* schon beim Einfüllen des Wassers durch den Füllschacht *c* die im oberen Teil des Behälters *B* befindliche Luft zusammengedrückt wird, und durch dieses Luftpolster wird der Gasdruck erzielt.

Der Behälter *B* ist mit einem Sicherheitsventil *n* versehen, welches aber nicht an den Gasraum, sondern vermittels eines Tauchrohres *m* an den Wasserraum angeschlossen ist. Bei einem Überdruck, der übrigens auch durch das Manometer *u* angezeigt wird, kann also nur Druckwasser entweichen, bis der Ausgleich wiederhergestellt ist. Die Wasserfüllung erfolgt bei der ersten Inbetriebnahme durch den zu diesem Zweck geöffneten Füllschacht *e*, während dieser im laufenden Betrieb geschlossen bleibt. Die weitere Nachfüllung erfolgt darauf durch eine anmontierte Pumpe *k*, die aus einem offenen Behälter *C* durch das Saugrohr *p* Wasser ansaugt. Diesem Behälter *C* wird auch das durch das Sicherheitsventil *n* entweichende Wasser durch das Ablaufrohr *o* zugeleitet. Diese Maßnahme gewährleistet Sicherheit gegen Gasverluste. Damit das Azetylen nicht durch das Rohr *d* in die Kammer *h* tritt, ist eine Rückschlagkappe *x* angeordnet.

e) Allgemeine Einrichtungen und Behandlung der Azetylenentwickler.

Für Konstruktion und Einrichtung der Azetylenentwickler bestehen umfangreiche, behördliche Vorschriften, auf die wir hier nicht näher eingehen können. Sie beziehen sich, außer auf die Art des Baustoffs und allgemeine Abmessungen, vor allem auf sicherheitstechnische Fragen. Z. B. muß einer bestimmten Karbidmenge eine bestimmte Menge an Entwicklerwasser entsprechen (zur Vermeidung hoher Temperaturen), der nutzbare Rauminhalt der Glocke hat zu dem Umfange der für jeden Füllungsvorgang möglichen Karbidvergasung in entsprechendem Verhältnis zu stehen usw. Andere Bestimmungen beziehen sich auf die Aufstellung und den Transport der Anlagen. Einige allgemeine Einrichtungen der Entwickler müssen wir aber, der Wichtigkeit halber, kurz besprechen.

Allgemeine Einrichtungen der Azetylenentwickler. Bei allen Azetylenentwicklern muß, wenn der beim Karbidzersetzen gebildete Schlamm nicht jedesmalig bei Neubeschickung mit Karbid mitsamt dem Karbidbehälter entnommen werden kann, eine genügend große Entschlammungsvorrichtung vorgesehen sein (*G* in Abb. 38, *E* in Abb. 45). Die Entschlammung soll besonders bei ortsfesten Anlagen so erfolgen, daß während ihrer Dauer keine Luft ins Entwicklerinnere eintreten oder hineingesaugt werden kann. Dies wird dadurch erreicht, daß man entweder soviel frisches Wasser zufließen läßt, als man im Augenblick an Schlamm entnimmt, oder daß man durch Öffnen eines Zwischenhahns (*i* Abb. 44) eine Verbindung zwischen Gasglocke und Entwickler herstellt, damit eine der abgelassenen Schlammmenge entsprechende Gasmenge von der Glocke zum Entwickler strömen kann. Mitunter werden auch kleine Hilfsentwickler aufgestellt, die während des Entschlammens des ortsfesten Entwicklers diesen mit Azetylen anfüllen. Dadurch kann sich im Entwickler kein Unterdruck bilden, und die Gefahr des Luftansau-

gens ist beseitigt. Abb. 59 veranschaulicht einen bei Gasgeneratoren gebräuchlichen und auch verschiedentlich für Azetylenentwickler angewandten Wasserverschluß. Am Entwicklerboden *A* ist eine wassergefüllte Tasse *B* angeordnet, in welche der untere zylindrische Teil des Entwicklers *A* hineintaucht. Hierdurch wird ein dauernder Abschluß des Entwicklers gegen die atmosphärische Luft auch beim Schlammblassen in Richtung *a*, also bei gehobenem Hebel *C* und geöffnetem Ventil *D*, gewährleistet.

Die bei plötzlicher Drosselung der Gasentnahme bei allen Entwicklern auftretende Nachvergasung (Nachentwicklung) infolge Vergasens bereits stark angenähten Karbids, muß von den Glocken aller beweglichen Anlagen fast restlos aufgenommen werden können, ohne daß etwaige Übergasung der Entwickler, wie sie allerdings nicht immer ganz vermeidbar ist, sicherheitstechnische Bedenken erregt. Übergasungsrohre dürfen an beweglichen Entwicklern nicht angebracht sein, sind aber bei allen ortsfesten Anlagen Gegenstand besonderer Vorschriften. Wir finden dort ins Freie, z. T. durch einen Sicherheitstopf führende Übergasungsrohre, z. B. bei *k* Abb. 44, *p* Abb. 47, *C* Abb. 38.

Aus Gründen sicherheitstechnischer wie auch wirtschaftlicher Natur ist ferner bei Einwurfentwicklern eine zweckmäßige Vorkehrung zu treffen, die verhütet, daß ins Entwicklerwasser fallendes, frisches Karbid nicht in bereits vorhandenen Kalkschlamm fällt. Durch Einbettung frischen Karbids in oft teigigen, zumindest aber dickflüssigen Schlamm bildet sich bei spärlichem Wasserzutritt zum Karbid örtliche Überhitzung, und außerdem werden oft nennenswerte Mengen unvergaster Karbidstücke beim Entschlammn mit abgeführt. Diesem Übel kann man in einfachster Weise durch Anbringung eines durchlöcherten Bodens begegnen. Eine drehbare Anordnung dieses Zersetzungsrostes (auf ihm erfolgt die Karbidzersetzung, der Schlamm fällt unten durch; man kann deshalb jenen Teil des Entwicklers, in welchem die Zersetzung des Karbids stattfindet, auch als Vergaser bezeichnen) erhöht seine Wirksamkeit, weil sein Wenden (in gewissen Zeitzwischenräumen) durch Spülung die restlose Vergasung etwa noch unvergast zurückgebliebener Karbidstücke verbürgt. In der Grundform Abb. 40 und bei *K* in Abb. 38 sind derartige Entwicklerroste zu erkennen; allerdings sind solche Vorrichtungen nur bei Stückkarbid notwendig, da Feinkornkarbid rasch vergast und durch die Löcher des Rostes fallen würde. Drehbare Roste haben die Entwickler der Abb. 43 und 44, Abb. 44 bei *l* mit Kurbel *m*; in Abb. 43 sieht man links vorn am Entwickler die Kurbel des Drehrostes.

In allen selbsttätigen Entwicklern ortsfester Anlagen sind ferner gegen gefahrbringende Gasdrucksteigerungen, wie sie infolge Verstopfung der Gasabgangsrohre (Verschlammung, Einfrieren u. dgl.) eintreten können, geeignete Sicherheitsmaßnahmen zu treffen; z. B. Anbringen von Überdruckrohren (*n* und *o* Abb. 44).

Weiter ist es wichtig, den Eintritt von Luft ins Entwicklerinnere, auch während der Beschickung mit Karbid, soweit als nur möglich einzuschränken, am besten gänzlich zu unterbinden. Wenngleich es in den seltensten Fällen gelingt, diese Aufgabe bei beweglichen Entwicklern befriedigend zu lösen, und ihr dort auch nicht die große Bedeutung zukommt wie bei ortsfesten Anlagen, ist dieser Anforderung bei letzteren verhältnismäßig leicht nachzukommen, beispiels-

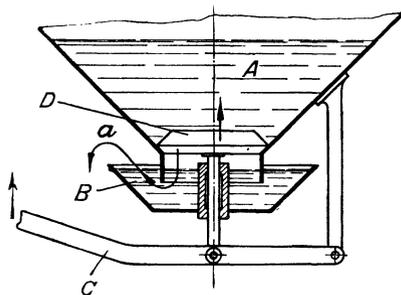


Abb. 59. Kalkschlammablaß

weise durch Anbringen eines ebenfalls bei Generatoren oft vorzufindenden Beschickungsverschlusses (Abb. 44 bei *b*, *a*, *e*).

Für die Retortenentwickler nach Abb. 47 und 50 sind besondere Vorschriften vorhanden, deren wesentlichste sich auf die Regelung des Wasserzuflusses zu den Vergasungsretorten erstreckt. Danach soll der Retorte entweder das zur vollkommenen Zersetzung der gesamten Karbidmenge erforderliche Wasser auf einmal zufließen (wobei genügend groß bemessene Gasglocken Voraussetzung sind; man spricht dann von einer „Totalvergasung“) oder eine kleinere Wassermenge mit entsprechend kleineren Karbidmengen in Berührung gelangen. Da jedoch die gänzliche Vergasung des gesamten Karbidvorrats zugleich unverhältnismäßig große Gasglocken bedingt, sind fast alle Entwickler dieses Systems so gebaut, daß kleineren Mengen Karbid geringe Wassermengen zufließen. Die in die Vergasungsretorten eingeführten, schubladenartigen Karbidbehälter sind deshalb meist durch eine Anzahl stegförmiger Zwischenwände (*d* in Abb. 60) in einzelne Kammern getrennt. In Abb. 60, die uns den Längsschnitt durch eine solche Schublade zeigt, sind 5 Kammern angebracht, wovon zunächst der mit 1 bezeichneten Wasser zugeführt wird (in Pfeilrichtung *b*; bzw. von *i* in Abb. 50).

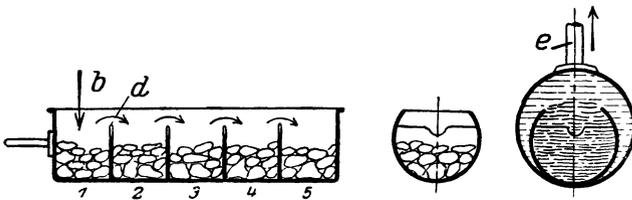


Abb. 60. Richtige Karbidfüllung der Retorten.

Ist in der ersten Kammer der Vorrat an Karbid zersetzt, so fließt das Wasser von der ersten zur zweiten Kammer selbsttätig über, da die Stege gegen den oberen Rand des Einsatzes zurückstehen. Nach Vergasung des Inhalts von Kammer 2 läuft das (immer bei *b* zufließende) Wasser zum dritten Fach usw., bis schließlich die ganze Retorte mit Wasser überschwemmt ist. Darauf kann der Einsatz mit dem Schlamm herausgezogen werden. Wird der gesamte Gasvorrat der Glocke entnommen, dann entsteht in dieser ein so niedriger Druck, daß das noch zu den Retorten nachfließende Wasser z. B. in den Rohren A_1A_2 der Abb. 47 hochsteigen und Schlamm in das Sperr- und Kühlwasser des Raumes *W* überführen kann. Seine Entfernung erfolgt bei *O*. Unter allen Umständen ist auf vorschriftsmäßige Füllung der Kammern mit Karbid zu achten. Wie Abb. 47 und 50 zeigen, dürfen alle Kammern nur bis zur Hälfte mit Karbid angefüllt werden. Da der bei der Karbidzersetzung zurückbleibende, aufquellende Kalkschlamm annähernd den doppelten Raum des reinen Karbids einnimmt, wird nach beendeter Karbidzersetzung jede einzelne Kammer des Einsatzes normalerweise gerade ganz angefüllt sein, wie dies Abb. 60 rechts darstellt. Meist sind die Schubladen so eingerichtet, daß durch eine eingebaute Vorrichtung (Gitter, Rost) die vorgeschriebene Ladeschichthöhe nicht überschritten werden kann (s. Abb. 58). Als Folge der Mißachtung des Überladungsverbots der Kammern ist nicht allein eine Verstopfung der Rohröffnungen (*e* Abb. 60) mit Schlamm zu gewärtigen, sondern auch eine sehr unvollkommene Vergasung des Karbids, weil das Karbid in den etwa 50 vH leichteren Schlamm eingeschlossen wird. Hierdurch entsteht, abgesehen von der gesteigerten Entwicklungstemperatur, auch nach Entleerung der Einsätze die starke Gefahr der Nachentwicklung und Bildung explosibler Gasluftgemische in den Schlammgruben. Trotz Einhaltung dieser Vorschrift und ständiger, äußerer Kühlung der Retorten durch das an der Entwicklung nicht beteiligte Wasser sind bei starker Gasentnahme bedeutende Temperatursteigerungen im Retorteninnern kaum zu vermeiden. So ist einwandfrei festgestellt, daß die bei

jeder Entwicklungsperiode in Schubladenentwicklern entstehende Temperatur etwa 90° erreicht, demnach für Entwickler dieses Systems als normal angesprochen werden kann. Die höchstzulässige Temperatur im Vergaser darf lt. Gesetz 100° nicht überschreiten. Im Gassammler darf nur eine Höchsttemperatur von 50° bestehen.

Die gegenüber den Einsetzen im Durchmesser größer gehaltenen Retorten sind vor neuer Karbidbeschickung jedesmal mit Wasser gründlich auszuspülen, damit der in ihrem Innern zurückgebliebene Kalkschlamm entfernt wird. Bei Entfernung dieses Schlammes aus den Schubladen ist die Verwendung von Gummihandschuhen zum Schutze gegen die stark ätzende Wirkung der im Schlamm zurückgebliebenen Phosphor- und Schwefelverunreinigungen sehr angebracht.

Um die Reinigung zu erleichtern und das Waschwasser sicher abfließen zu lassen, sind die Retorten meist mit einem Gefälle nach vorn verlegt.

Allgemeine Behandlung der Azetylenentwickler¹. Leider sind die von den Fachfirmen ihren Anlagen mitgegebenen Bedienungsvorschriften häufig mangelhaft abgefaßt und lassen mitunter den die Anlage bedienenden Arbeiter über wichtige Einzelheiten im unklaren. Es möge trotzdem vorweg gesagt sein: Außer den im folgenden gegebenen Vorschriften ist natürlich den besonderen Anweisungen der einzelnen Betriebsvorschriften Folge zu leisten. Oft haben Fahrlässigkeit des Schweißers oder Versäumnis scheinbar als nebensächlich betrachteter Handgriffe zu heftigen Explosionen Anlaß gegeben, die bei vorschriftsmäßiger Behandlung der Entwickler ausgeschlossen sind. Wenn nicht anders vermerkt, beziehen sich die Erörterungen hauptsächlich auf Nieder- und Mitteldruckentwickler.

Die Entwickler sind bei der Aufstellung möglichst gut in die Wage zu bringen, da schiefliegende Entwickler falsche Wasserstände im Wäscher und in der Vorlage zur Folge haben und häufig zum Festhängen der schwimmenden Glocke im Gestänge führen.

Bei Inbetriebsetzung von Azetylenanlagen, ganz nebensächlich welchen Systems und welcher Größe, sind vor allem sämtliche für Wasser bestimmten Gefäße anzufüllen (mit der vorschriftsmäßigen Menge), wobei durch Öffnen der Hähne für Entweichen der Luft zu sorgen ist. Die Hähne sind darauf sofort wieder zu schließen. Nun erst darf die zulässige Karbidbeschickung vorgenommen werden. Karbidstaub ist zurückzulassen, da er teils zu Verstopfungen, teils unter bestimmten Umständen zu Gefahren Veranlassung geben kann. Lagert sich der Karbidstaub im Vorratsraum des Entwicklers ab (bei Anlagen nach dem Einwurfsystem) und wird er von feuchtem Gase gespült, so können so hohe Temperaturen eintreten, daß bei Zutritt von Luft plötzliche Zündung und Explosion erfolgt. Die Temperatur des Karbidstaubs kann sich bei Anwesenheit von Luft, sogar ohne Wasserzutritt, bis zur Glühhitze steigern. Aus diesem Grunde haben Entwickler, die zur Vergasung des Karbidstaubs bestimmt sind, besondere Einrichtungen nötig. Zu große Karbidstücke sind erforderlichenfalls in 3÷4 m Abstand vom Entwickler (bei ortsfesten Anlagen außerhalb des Entwicklerraumes) mit dem Hammer zu zerkleinern (Augenschutz durch Drahtbrillen!). Die ersten Liter erzeugten Gases sind immer mit Luft gemischt; man läßt deshalb dieses Gasluftgemisch einige Zeit entweichen, bis sich Azetylen allein durch seinen knoblauchartigen Geruch bemerkbar macht.

Da nach Außerbetriebsetzung des Entwicklers, je nach System und Größe, eine mehr oder weniger große Nachvergasung einsetzt, sollte man dies beim Be-

¹ Es sei auf das vom Ausschuß für wirtschaftliche Fertigung (AWF) unter Mitwirkung des Autogenverbandes herausgegebene Merkblatt für Gasschmelzschweißer hingewiesen, das im Buchhandel als Beuth-Heft Nr. 5 erhältlich ist und alle für den Schweißer notwendigen Sicherheitsvorschriften enthält.

schicken des Entwicklers kurz vor Arbeitsende berücksichtigen und deshalb nur die voraussichtlich erforderliche Mengen an Karbid nachfüllen. Für ortsfeste Anlagen kommt dies allerdings nicht in Frage.

Luftzutritt zu den Entwicklern ist sowohl im als nach dem Betriebe unbedingt zu verhüten. Die zur Erforschung von Ursachen bei Azetylenentwicklerexplosionen und deren Begleiterscheinungen aufgestellte Statistiken haben den mit praktischen Erfahrungen übereinstimmenden Beweis erbracht, daß die folgenschwersten und meisten Unfälle dann eintraten, wenn der Entwickler kurze Zeit nach der Entschlammung und Reinigung wieder in Betrieb gesetzt wurde und während der Entschlammung und Füllung (auch mit Karbid) unzulässig großer Luftzutritt möglich war. Da die Anwesenheit von Luft, insbesondere bei ortsfesten Entwicklern nach dem Einwurfsystem, eine große Gefahr bedeutet, sind neuerdings Bestimmungen herausgekommen, die eine möglichste Beschränkung der toten Räume (Lufttaschen) nach bestimmten Richtlinien vorschreiben.

Nach Arbeitsbeendigung werden alle erforderlichen Gas- und Wasserhähne abgesperrt.

Im Winter etwa eingefrorene Entwickler, Anlagenteile und Rohrleitungen dürfen nur durch heißes Wasser, nie mit glühenden Stangen oder gar offenen Flammen aufgetaut werden. Verstöße gegen dieses Verbot haben des öfteren zu Unglücksfällen geführt. Ein gutes Mittel gegen Einfrieren des Entwickler- bzw. Sperrwassers in den übrigen Teilen der Anlage ist das Frigidol, das im Wasser leicht löslich ist und eine schwache alkalische Reaktion besitzt. Es erniedrigt den Gefrierpunkt des Wassers auf -40° , ist auf den Zersetzungsvorgang ohne erheblichen Einfluß und greift die Metalle nicht an. Der Hauptvorteil liegt in der Verhinderung der Sprengwirkung des Wassers bei tiefen Temperaturen. Einigermaßen brauchbar ist auch eine in Drogerien erhältliche Kalziumchlorid- oder Magnesiumchloridlösung, die dem Wasser stark verdünnt zugesetzt werden kann.

Alle Entwickler, welchen Systems sie auch seien, dürfen unter keiner Bedingung ohne Zwischenschaltung einer Wasservorlage (s. später) benutzt werden.

Ausbesserungen an Azetylenentwicklern dürfen nur von Fachleuten und nur nach Außerbetriebsetzung, auch nur bei Tageslicht, nie bei künstlichem Licht, vorgenommen werden. Die Ausführung der Ausbesserung hat bei beweglichen Entwicklern im Freien zu geschehen. Lötung und Schweißung undichter Stellen sind nur auszuführen, nachdem der Gas- und Karbidraum des Entwicklers selbst geöffnet, geleert und mit heißem Wasser oder mit Kohlensäure gründlich ausgewaschen wurde.

Trotz strengsten Verbots wurden zuweilen Azetylenhäuschen mit offenem Licht betreten, was meistens zu gewaltigen, folgenschweren Raumexplosionen führte. Es sei daher mit allem Nachdruck darauf hingewiesen: das Betreten von Azetylenanlagenhäuschen mit offenem Licht, mit brennenden, glimmenden und glühenden Gegenständen, sowie das Rauchen in diesen Räumen, in unmittelbarer Nähe beweglicher Entwickler und der Karbidschlammgruben ist äußerst gefährlich und daher streng verboten. Wird an Arbeitsstellen außerhalb des Betriebs (an Bauten, auf Straßen, Plätzen usw.) mit Azetylenentwicklern gearbeitet, so sind Fremde auf diese Vorschrift, mit entsprechendem Hinweis auf die Gefahr, aufmerksam zu machen. Ferner ist vor der Anordnung einer unter Umständen als Zündquelle dienenden, elektrischen Signalvorrichtung an den Entwicklern und Gassammlern (welche Karbid- oder Wassermangel, eigentlich Gasmangel, anzeigen soll) zu warnen, da durch überspringende Kontaktfunken Explosionsmöglichkeit besteht. Offene Beleuchtungs-

körper sollen mindestens 3 m nach jeder Richtung vom Entwickler entfernt sein. Insbesondere beim Herausnehmen der Karbidbehälter und beim Schlammablassen ist Fernhaltung brennender, überhaupt zündender Körper vom Entwickler zu beachten. Azetylen-, mehr noch Karbidlagerbrände, können nicht mit Wasser gelöscht, sondern dadurch höchstens noch mehr entfacht werden. Zur Löschung solcher Brände wird Erde und Sand verwendet, sofern nicht geeignete Trocken- oder Schaumlöcher zur Verfügung stehen. Mit Tetrachlorkohlenstoff beschickte Feuerlöschgeräte haben sich nach Versuchen von Dr. Mies am besten bewährt.

Das Schlammablassen zur rechten Zeit — soweit der Schlamm nicht mit den Karbideinsätzen herausgezogen wird — zählt zu den wichtigsten Handtierungen am Entwickler und beeinflusst die Betriebssicherheit in hohem Maße. Merkwürdigerweise besteht in dieser Hinsicht oft größte Unkenntnis, so daß man nicht selten völlig verschlammte Entwickler sicherheitswidrig im Betriebe antrifft. Mit Rücksicht auf die Wichtigkeit dieses Faktors müssen wir uns hiermit näher befassen.

Wie früher errechnet, sind zur vollkommenen Zersetzung von 1 kg Karbid $0,562 = \text{rund } \frac{1}{2} \text{ kg} = \frac{1}{2} \text{ l Wasser}$ erforderlich. Das entspricht z. B. bei einem Entwickler mit 4 kg Karbidfüllung 2 l Wasser. An gleicher Stelle wurde nebenbei auf die Zersetzungswärme hingewiesen, die rund 400 WE auf 1 g vergastetes Karbid beträgt. Um diese nicht unerhebliche Wärmemenge unschädlich zu machen, muß ein ausreichender Überschuß an aktivem (d. h. unmittelbar an der Azetylen-erzeugung beteiligtem) Entwicklerwasser vorhanden sein, und zwar soll dieser Überschuß nach den gesetzlichen Bestimmungen 10 l auf 1 kg Karbid betragen. Demnach muß ein 2 kg-Entwickler mindestens $2 \times 10 = 20 \text{ l}$, ein 4 kg-Entwickler mindestens 40 l Entwicklerwasser enthalten. Dies entspricht dem 20fachen Betrage der zur Zersetzung selbst erforderlichen Wassermenge. Wengleich diese Bedingung in erster Linie auf ortsfeste Anlagen Bezug nimmt, ist sie für bewegliche Entwickler nicht minder wichtig und auch leicht einzuhalten. Bei einer Anfangstemperatur des Entwicklungswassers von 15° ergibt sich dann durch dessen Temperatursteigerung infolge der Reaktionswärme des zersetzten Karbids eine Endtemperatur von $\frac{400 \cdot 10}{100} + 15 = 55^{\circ}$. Praktisch bleibt diese Temperatur etwas tiefer, da die Wärmeableitung an das Metall und an die umgebende Luft mit in Rechnung zu stellen ist.

Nun vermag aber Wasser Azetylen zu lösen, d. h. aufzunehmen. Das Lösungsvermögen des Wassers für Azetylen beträgt über 100 vH; z. B. lösen 100 Teile Wasser bei 14° 118 Teile Azetylen. Die Löslichkeit des Azetylens nimmt mit steigendem Druck zu und mit steigender Temperatur ab. So löst Wasser von 4° etwa 1,53, bei 10° 1,31 und bei 60° etwa 0,85 l Azetylen. Da im Kalkwasser Azetylen weniger löslich ist als in reinem Wasser, wirkt durch Kalkschlamm verunreinigtes Entwicklerwasser der Löslichkeit von Azetylen entgegen. Die Löslichkeit des Azetylens ist nebenbei bemerkt der Grund, weshalb beim erstmaligen Füllen des Entwicklers mit Karbid nicht sofort die Glocke steigt. Obwohl die Gasentwicklung sofort einsetzt, sättigt sich zuerst das Wasser teilweise mit Azetylen; erst der restliche Teil des Gases wird unter der Gasglocke aufgefangen. Beim Entschlammn geht hiernach mit 1 m³ Wasser auch 1 m³ Azetylen nutzlos verloren (in Wirklichkeit sind die Zahlen nicht ganz so ungünstig, weil zur vollkommenen Sättigung des Wassers mit Gas eine bestimmte Zeit erforderlich ist). Trotzdem muß das für die Betriebssicherheit wichtige, sorgfältige Entschlammn ohne Verzug erfolgen, sobald es Anzeichen im Betriebe des Entwicklers bedingen, und zwar aus folgender Überlegung: In verschlammten Entwicklern oder auch in

überlasteten — Überlastung tritt dann ein, wenn entgegen der Vorschrift zeitweise große Gasmengen, die über die Leistungsfähigkeit des Entwicklers hinausgehen, entnommen werden — steigert sich infolge Mangels an aktivem Wasser die Wassertemperatur sehr rasch und kann gegebenenfalls 100°, also den Verdampfungspunkt des Wassers erreichen. Damit verbundene Gefahren (Selbstzündung, Explosion bei Luftzutritt usw.) sind unverkennbar und wachsen besonders dann, wenn die Gasglocke oder die Karbidbehälter aus dem Entwickler entfernt werden, wobei durch Luftzutritt zum überhitzten Gas oft Unglücksfälle entstanden sind. Durch die geringe Wärmeableitung, hauptsächlich durch die überaus mangelhafte Karbidzersetzung in stark verschlammten Entwicklern, bildet sich sog. überhitztes Azetylen mit seinen nicht allein vielseitigen, sicherheitstechnischen Gefahrenquellen, sondern auch bedeutenden, technischen Nachteilen, die sich erst in der fertigen Schweißung bemerkbar machen. Die Überhitzung des Azetylens kann sogar soweit getrieben werden, daß überhaupt kein reines Azetylgas mehr entsteht, sondern ein Gemisch von verschiedenen Zersetzungserzeugnissen des Azetylens (technisch nennt man den Vorgang Polymerisation), wie Benzol C_6H_6 , Naphthalin $C_{10}H_8$, Styrol C_6H_8 , Anthracen $C_{14}H_{10}$, Reten $C_{18}H_{18}$ usw. (die als Polymere bezeichnet werden). Dieses Gas ist für Schweißzwecke nicht mehr brauchbar. Zersetzungserscheinungen machen sich auch im Karbidschlamm durch gelbe, braune, ja sogar schwarze, teerartige Rückstände bemerkbar.

Nach vorigem muß die Temperatur des sowohl aktiv als passiv (unmittelbar und mittelbar) an der Karbidzersetzung beteiligten Wassers in normalen Grenzen gehalten werden. Dampf der Entwickler, weil das Wasser zu heiß wird, und hat die Wassertemperatur 70° erreicht, so muß frisches Wasser nachgefüllt und eine entsprechende Menge verschlammtes Wasser gleichzeitig abgelassen werden. Stark verschlammte Entwickler sind völlig frisch zu füllen. Die Sicherheit gegen Überhitzung ist eben wichtiger als der Verlust an Azetylen im verschlammten Wasser. Bei großen, ortsfesten Anlagen begegnet man neuerdings diesem Azetylenverlust, indem man das abgeschlammte Wasser durch Pumpen in besondere, hochgelegene Behälter befördert und nach erfolgter Klärung, noch mit dem aufgesaugten Azetylen gesättigt, den Entwicklern wieder zufließen läßt.

Soweit die jeweilige Betriebsvorschrift nichts anderes vorschreibt, und der Schlamm nicht mit den Karbideinsätzen herausgezogen wird, mag als Regel für den Zeitpunkt der Entschlammung der Entwickler folgende Rechnung gelten:

Unter normalen Voraussetzungen, ferner wenn z. B. das Sechsfache der zur Karbidzersetzung nötigen Wassermenge vorhanden ist, und wenn der Entwickler 100 l = 100 kg Wasser faßt, so muß der Schlamm ganz abgelassen und frisches Wasser nachgefüllt werden nach Zersetzung von $\frac{100}{6} = \sim 17$ kg Karbid oder, was dasselbe ist, nach Entwicklung von $17 \times 250 = 4250$ l = 4,25 m³ Azetylen, denn 1 kg Karbid liefert ja 250 l Azetylen.

Der Schlamm darf nicht in Kanäle, vielmehr nur in eigens hierfür bestimmte Kalkgruben oder Behälter geschüttet werden, durch deren örtliche Lage Nachvergasungen nicht gefährlich werden können.

Zusammenfassung der Behandlung der Azetylenentwickler.

1. Alle aus den Betriebsvorschriften ersichtlichen Anweisungen sind zu befolgen.

2. Zur Aufstellung von beweglichen Entwicklern bestimmte Arbeitsräume müssen mindestens 60 m³ Luftinhalt und 20 m² Fläche haben. In diesen Räumen dürfen leicht brennbare Stoffe, wie Benzin, Öl u. dgl. nicht aufbewahrt werden.

3. Offenes Feuer und Licht müssen vom Entwickler mindestens 3 m entfernt sein. Unmittelbar über ihm darf sich keine Lampe befinden.

4. Ortsfeste Anlagen (mit über 10 kg Karbidfüllung) müssen in besonderen, den gesetzlichen Bestimmungen entsprechenden Häuschen untergebracht werden.

5. Das Rauchen und Hantieren mit Licht, Feuer und glühenden Körpern in der Nähe von Azetylenherzeugern, Schlammgruben, Karbidlagern, besonders innerhalb der Gashäuschen, ist streng verboten; Laien sind erforderlichenfalls hierauf aufmerksam zu machen.

6. Die Entwickler und Nebenteile der Anlage müssen gut in der Wage stehen, um Betriebsstörungen durch Festklemmen der Glocken und ähnliches zu vermeiden.

7. Bei Inbetriebsetzung der Anlage sind zunächst sämtliche hierzu vorgesehene Gefäße vorschriftsmäßig mit Wasser zu füllen, und zwar bei geöffneten Hähnen, damit die Luft entweichen kann.

8. Nach erfolgter Füllung mit Wasser sind alle Hähne sofort zu schließen.

9. Hierauf erst kann die Füllung mit Karbid vorgenommen werden.

10. Erstes Gasluftgemisch behutsam ins Freie lassen.

11. Bei Arbeitsunterbrechungen von länger als 10 min Dauer Gashahn am Entwickler bzw. an der Vorlage (nicht allein am Brenner) abstellen.

12. Entwickler zeitweise vorsichtig entschlammen, unter Beachtung aller im vorstehenden besprochenen Einzelheiten.

13. Schlamm nicht in Kanäle abfließen lassen, da Nachvergasung in diesen böse Folgen zeitigen kann, wofür der Besitzer der Anlage haftbar ist.

14. Beschwerung der Gasglocken (bei beweglichen Anlagen) zur Erhöhung des Gasdrucks ist untersagt.

15. Eigenmächtige Verstellung oder Entfernung zwangsläufiger Konstruktionsteile der Entwickler, um eine größere Leistung zu erzielen, ist in allen Fällen unzulässig.

16. Ausbesserungen an Azetylenanlagen dürfen nur von Fachleuten ausgeführt werden.

17. Ausbesserungen sind nur bei Tageslicht, bei beweglichen Entwicklern auch nur im Freien vorzunehmen.

18. Jeder Ausbesserung, besonders solcher, die eine Anwendung von Löt- oder Schweißflammen erheischt, hat eine sorgfältige und gründliche Reinigung des betreffenden Anlagenteiles voranzugehen. Nichtbeachtung dieser Vorschrift hat wiederholt Schweißern das Leben gekostet.

19. Eingefrorene Entwickler und Rohrleitungen dürfen niemals mit brennenden oder glühenden Gegenständen aufgetaut werden; als Auftaumittel ist allein heißes Wasser oder Dampf zulässig.

20. Prüfung der Anlage und Rohrleitungen auf Dichtheit hat ausschließlich durch Einpinseln der betreffenden Teile mit Seifenwasser zu geschehen, keinesfalls durch Ableuchten.

21. Undichtheiten sind sofort zu beheben bzw. den Vorgesetzten zu melden.

22. Sollen in einem Arbeitsraum mehrere bewegliche Entwickler aufgestellt werden, so müssen diese mindestens 6 m Abstand voneinander haben.

f) Nebeneinrichtungen der Azetylenherzeuger.

Als Nebeneinrichtungen der Azetylenanlage sind zu bezeichnen: Gassammel-, Wäscher, Reiniger, Trockner, Sicherheitstöpfe, Stoßfänger, Druckregler, Gasmesser, Druckmesser usw. Hiervon interessieren uns in erster Linie die drei erstgenannten Einrichtungen; die übrigen kommen fast nur für große Azetylen-

gaswerke in Frage und sollen hier unberücksichtigt bleiben. Im weiteren Sinne ist auch die bei Schweißanlagen notwendige Wasservorlage zu den Nebeneinrichtungen der Azetylenherzeugungsanlage zu zählen, doch ist dieser Vorrichtung, ihrer Wichtigkeit und eigentlichen Zugehörigkeit zu den Schweißgeräten halber, ein besonderer Unterabschnitt vorbehalten.

Der Gassammler. Er dient in allen Fällen als Ausgleichstelle zwischen erzeugter Gasmenge und Gasabnahme, und seine Inhaltsbemessung ist ein von der Leistungsfähigkeit des Entwicklers abhängiger Faktor. Dabei ist die bedeutende Raumvergrößerung zu berücksichtigen, die sich bei der Zersetzung des Karbids ergibt. 1 kg Karbid nimmt einen Raum von rund 1 l ein; das aus ihm gewonnene Gas aber den 300fachen Raum, mithin 300 l. Der Gassammler oder, wie man wohl auch sagt, Gasometer, ist bei beweglichen Anlagen in überwiegender Mehrzahl mit dem Entwickler zusammengebaut und an zwei oder drei Stellen geführt; s. z. B. Abb. 39, 42, 47, 52. Getrennt stehende Gasbehälter ortsfester Anlagen haben oft bedeutende Abmessungen. Von der jeweiligen Standhöhe der Gasglocke und deren Eigengewicht ist das im Schweißbrenner bestehende Druckverhältnis

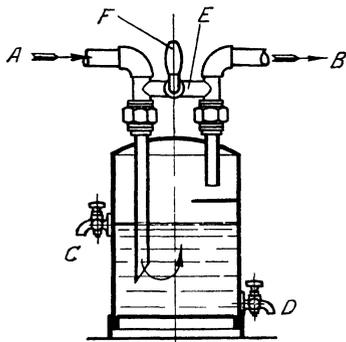


Abb. 61. Wäscher.

der Gase direkt abhängig. Bei hohem Glockenstand ist der Gasdruck natürlich größer als bei niedrigem.

Der Wäscher. Ihm fallen drei Aufgaben zu: 1. Die Kühlung des im Entwickler erzeugten Gases; 2. das Waschen des Gases, d. h. dessen gründliche Befreiung von Schwefelwasserstoff, Siliziumwasserstoff und Ammoniak; 3. die Verhütung des Rücktritts von Gas aus der Glocke zum Entwickler. Wir finden den Wäscher daher, mit sehr geringen Ausnahmen, auch bei allen beweglichen Entwicklern. Auf seine vorschriftsmäßige Füllung ist stets zu achten, wenn Gasverluste unterbleiben sollen. Wir sehen Wäscher in Abb. 43 (das zweite Gefäß von links) und bei B in Abb. 44. Ferner in Abb. 47, woselbst auf den Rohren A_1, A_2 Hauben aufgesetzt sind,

die auf bestimmte Tiefe in den Wasserstand des Raumes *W* eintauchen, damit das Gas nicht aus der Glocke *G* in die Retorten zurückgelangen kann. Das in diesem Falle inaktive (am Zersetzungsvorgang an sich nicht beteiligte) Wasser in *W* ist gleichzeitig Waschwasser. In Abb. 49 spielt die richtige Füllung des Wäschers *C* eine noch größere Rolle, da er in diesem Falle die Regulierung der Gasentwicklung beeinflusst und außerdem bei ungenügender Füllung und herausgenommenen Einsätzen *D* aus den Entwicklerrohren Gas ins Freie abziehen läßt.

Größe und äußere Form der Wäscher richten sich natürlich nach Umfang und Konstruktion der Azetylenanlage, sind aber für die Arbeitsweise bedeutungslos. Der Grundgedanke der Konstruktion (Abb. 61) ist immer der gleiche: das Gaszuführungsrohr *A* taucht ein Stück in das Abschlußwasser ein, so daß das Gas zwar durch das Wasser hindurchströmen und sich über diesem ansammeln bzw. an der höchsten Stelle des Wäschers bei *B* weitergeleitet werden, aber nicht umgekehrt durch das Wasser zurück in das Gaszuleitungsrohr gelangen kann. Wir sehen das auch deutlich in Abb. 44 und 49, wo die Strömungsrichtung des Gases durch Pfeile gezeichnet ist. Gaszu- und -abflußrohr der für ortsfeste Anlagen bestimmten Wäscherkonstruktion Abb. 61 sind durch das Rohr *E* miteinander verbunden. Während des Betriebes ist der Hahn *F* immer geschlossen, während er beim Entschlammern, aus den auf S. 68 angeführten Gründen, geöffnet wird.

Der chemische Reiniger. Er hat in der Hauptsache den Zweck, den Phosphorwasserstoff des Gases zu absorbieren, d. h. an bereits erwähnte chemische Präparate zu binden. Insbesondere das Feinkornkarbid (Kleinkorn- oder granuliertes Karbid) zeigt den Nachteil größerer Phosphorwasserstoffverunreinigung des aus ihm gewonnenen Gases. Wenn nämlich die kleineren

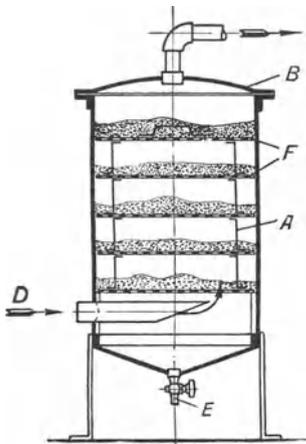


Abb. 62. Chemischer Reiniger für pulverisierte Reinigungsmasse.

Karbidkörnchen, die an und für sich ja schwerer sind als Wasser, auf ihrem Wege durch das Entwicklerwasser von dem ringsum gebildeten Gase blasenförmig eingeschlossen werden, und der Auftrieb dieser Gasblasen größer ist als das Gewicht der umschlossenen Karbidkörnchen, so steigen diese mit an die Wasseroberfläche, zersetzen sich hier völlig und verunreinigen das in der Glocke bereits vorhandene Gas noch stärker. Konstruktion,

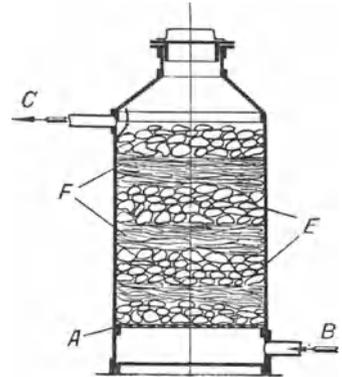


Abb. 63. Chemischer Reiniger für stückförmige Reinigungsmasse.

Größe und Aussehen des Reinigers richten sich nach der Leistungsfähigkeit des Entwicklers und ferner nach der Art der zur Verwendung gelangenden chemischen Reinigungsmasse, ob pulver- oder stückförmig.

Solche Reiniger sind z. B. aus den Abb. 39 (links mit Bügelverschluss), 43 ganz rechts, 44 bei *E* und 49 bei *E* ersichtlich. Abb. 62 und 63 zeigen zwei insofern verschiedene Reinigerkonstruktionen (zugleich im Schnitt), als der in Abb. 62 dargestellte für pulverisierte Reinigungsmasse, der in Abb. 63 dargestellte für stückförmige Masse gebaut ist. Im Reiniger Abb. 62, einem mit 5÷6 gelochten Blechböden *F* ausgerüsteten, zylindrischen Gefäß, wird die Reinigungsmasse auf roher Watte oder lockerem Filz in dünnen Schichten gleichmäßig verteilt aufgetragen. Der Gaszugang erfolgt bei *D* (in Pfeilrichtung), der Abzug bei *C*. *B* ist ein mittels Gummi abgedichteter Deckel, *E* ein Kondenswasserablaßhahn. An Stelle der Gummiabdichtung kann auch eine solche mittels Sperrwasser treten, doch findet man diese seltener vor. Der milchkannenähnliche Reiniger, Abb. 63, hat nur einen gelochten (perforierten) Boden *A*, auf dem Schichten von Reinigungsmasse *E* und Koks, Holzwolle oder Stroh *F* abwechselnd hordenartig übereinander gelagert sind.

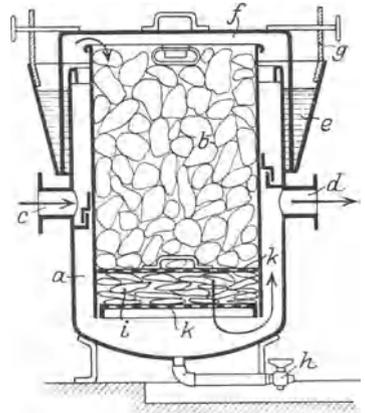


Abb. 64. Chemischer Reiniger größerer Bauart.

Gaseintritt bei *B*, Gasaustritt bei *C*. Eine bei großen ortsfesten Anlagen bewährte Konstruktion zeigt auch Abb. 64. Ein mit stückförmiger Reinigungsmasse angefüllter, nur oben offener und unten durch Siebe *k* geschlossener Behälter *b* wird lose in den Reinigermantel *a* eingehängt. Am oberen Rande des letzteren ist eine mit Wasser angefüllte tassenförmige Erweiterung *e* angebracht, in die der Gefäß-

deckel *f* luftdicht abschließend eintaucht. Der Deckel wird durch die Vorrichtung *g* festgehalten und ist schnell abnehmbar. Gaszutritt erfolgt bei *c*, Weiterleitung bei *d*.

Die Strömungsrichtung des Gases ist für Reiniger mit stückförmiger Masse vorteilhaft von oben nach unten, bei Verwendung pulverförmigen Materials entgegengesetzt zu wählen, doch ist dies nicht Bedingung und von noch anderen Umständen abhängig. Die Füllung beläuft sich bei beweglichen Entwicklern auf 1÷2 kg Reinigungsmasse (mitunter etwas mehr), bei ortsfesten Anlagen hingegen auf bis zu 50 kg für einen Reiniger. Bezüglich der Auswechslung verbrauchter Reinigungsmassen halte man sich an die jeweiligen Angaben der Lieferanten. Die Auswechslung der verbrauchten Reinigungsmasse wird in sehr verschiedenen Zeitabschnitten erforderlich. Auf das Kilogramm Reinigungsmasse bezogen, schwanken die Angaben der Lieferfirmen zwischen 10 und 30 m³ Azetylen, nach deren Verbrauch die Reinigungsmasse auszuwechslern ist.

Nach Vogel beanspruchen die Reinigungsmassen je Kilogramm etwa folgenden Raum, der bei der Bemessung des Reinigers zu berücksichtigen ist:

Frankolin	1,17 l	Acagin	1,25 l
Katalysol	1,17 l	Karburylen	1,39 l
Stückförmiges Frankolin	1,84 l	Klingerit	2,22 : 3,08 l
Heratol	1,17 l	Puratylen	3,12 l
Stückförmiges Heratol	1,78 l		

Koks eignet sich nicht als chemische Reinigungsmasse. Eine durch ihn erreichbare Reinigung kann nur mechanischer Natur sein.

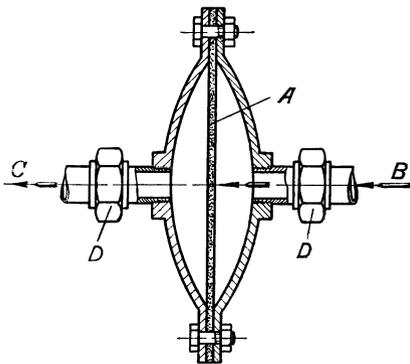


Abb. 65. Mechanischer Reiniger.

Die vom Gase mitgerissenen, mechanischen Verunreinigungen (aus dem Karbid und der Reinigungsmasse herrührend) werden in einem Gasfilter, dem mechanischen Reiniger, entfernt, wie Abb. 65 einen solchen veranschaulicht. Zwischen zwei tellerförmigen, meist gußeisernen Schalen, die mittels Rohrverschraubungen *D* in die Gasrohrleitung eingebaut sind, wird ein Diaphragma (durchlässige Scheidewand) *A* eingelegt. Es besteht aus Filz, gepreßter Rohwatte oder aus Frauenhaar, und muß natürlich zeitweise herausgenommen und von aufgefangenem Staube gereinigt werden. Gaseintritt bei *B*, Gasaustritt bei *C*. Die mechanischen

Reiniger finden seltener Anwendung und werden immer zwischen der Azetylenanlage und der Wasservorlage in die Rohrleitung eingeschaltet. Es kann nicht als die Aufgabe dieses Buches aufgefaßt werden, die mannigfachen Konstruktionsmöglichkeiten auch für die Nebeneinrichtungen anzuführen. Daher mögen vorstehende Hinweise genügen, zumal die Nebengeräte für die gute Arbeitsweise des Entwicklers von untergeordneter Bedeutung sind.

g) Sicherheitsvorlage.

Die Sicherheitsvorlage (Wasserverschluß) ist jedem Azetylenschweißbrenner unmittelbar vorzuschalten und wird mit diesem durch einen Schlauch verbunden. Selbst in großen und größten Schweißereien, wo von der ortsfesten Anlage Rohrleitungen zu den einzelnen Schweißstellen führen, müssen an allen Zapfstellen für Schweiß- oder Schneidbrenner solche Vorlagen angebracht sein. Das ist behördliche Vorschrift. Die Sicherheits-Wasservorlage ist die derzeit einzige auserprobte,

zuverlässige Einrichtung zum Schutze der Azetylenanlagen gegen Gefahren, welche von der Schweißflamme her drohen; sie hat in dieser Eigenschaft verschiedenen Anforderungen zu genügen.

Anforderungen an die Wasservorlage. Tritt aus irgendwelchem Grund eine Verstopfung der Düsenbohrung an der Schweißbrennerspitze ein, so kann der unter höherem Druck stehende Sauerstoff in die Brenngasleitung übertreten und ins Innere des Azetylenerzeugers gelangen, wodurch ein außerordentlich explosives Gasgemisch entsteht, das im Falle der Zündung schwerwiegende Explosionen zur Folge hat. Zweck der Vorlage ist es daher, zunächst den Rücktritt von Sauerstoff in die Azetylenleitung unter allen Umständen zu verhüten. Gasmangel ermöglicht, daß der im Schweißbrennerinnern heftig saugende Sauerstoff infolge Unterdrucks Luft aus der Atmosphäre in den Azetylenentwickler hineinsaugt. Aus bereits bekannten Gründen muß dies vermieden werden, woraus sich die zweite Aufgabe ergibt: die Wasservorlage soll bei Gasmangel das Einsaugen von Luft in den Azetylenerzeuger unbedingt verhindern. Schließlich kommt ihr eine dritte, sehr wichtige Aufgabe zu: die Vorlage muß so eingerichtet sein, daß sie dem Fortschreiten einer vom Brenner her zurückschlagenden Flamme oder Explosionswelle sicher entgegentritt.

Bau- und Arbeitsweise der Wasservorlage. Zum besseren Verständnis möge das Schema der Wasservorlage, Abb. 66, dienen. Zwei Rohre münden mit verschiedener Tauchtiefe in ein bis zu bestimmter Höhe mit Wasser angefülltes zylindrisches Gefäß *F*, Abb. 66 I. Am Schlauchhahn eines Anschlusses im oberen Teil von *F* wird das Gas entnommen. Der durch Rohrleitung mit dem Reiniger verbundenen Vorlage wird das Gas rechts oben (in Pfeilrichtung) zugeführt. Es muß demnach, um in den Gasraum *F* der Vorlage zu gelangen, die Säule des Sperrwassers passieren (Pfeilrichtung) und kann dann durch die mit dem Schlauchhahn hergestellte Schlauchverbindung dem Brenner zuströmen. Die Füllung der Vorlage mit Wasser geschieht oben am mit Füll- und Steigetrichter bezeichneten Teil, dessen Boden durch mehrere kleine Löcher mit dem Steigerrohr in Verbindung steht.

Angenommen, es trete nun durch den Gasentnahmehahn (links) vom Brenner aus Sauerstoff zur Vorlage zurück (Abb. 66 II), so drückt dieser, da sein Druck größer ist als der im Vorlageninnern herrschende Gasdruck, das Sperrwasser in den beiden Tauchrohren in die Höhe. Im Gaszuflußrohr (rechts) besteht dann eine schwebende Wassersäule, die infolge genügender Höhe des Rohres nicht zum Reiniger übertreten kann und den Durchgang von Sauerstoff in umgekehrter Strömungsrichtung (zum Entwickler hin) unmöglich macht. Indessen steigt der andere Teil des Wassers in dem linken Steigerrohr von geringerer Tauchtiefe in die Höhe, schnellt gegen das am oberen Rande des Trichters angebrachte Prall- (Spritz-)blech und sammelt sich im Steigetrichter an. Da nun die untere Öffnung des Steigerrohrs inzwischen freigelegt wurde, kann der Sauerstoff durch dieses und durch den Schlitz zwischen beiden Prallblechen des Trichters ins Freie gelangen. Der Schweißer wird durch ein gurgelndes, vom Sprudeln des Wassers herrührendes

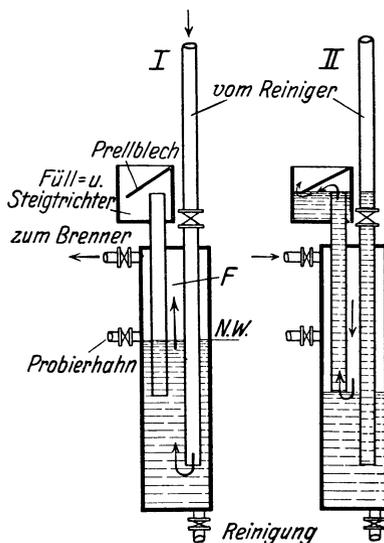


Abb. 66. Schema der Wasservorlage.

Geräusch auf den Rücktritt von Sauerstoff aufmerksam gemacht. Außerdem muß er merken, daß sich das am Brenner ausströmende Gas nicht entzünden läßt, da es reiner Sauerstoff ist. Brenngas kann nicht zuströmen, weil seine Zufuhr durch die Wassersäule im Gaszuleitungsrohr der Vorlage unterbunden ist. Wird der Sauerstoffrücktritt abgestellt, so fließt infolge der Schwere natürlich das Wasser aus beiden Rohren selbsttätig wieder in die Vorlage zurück und stellt den alten, normalen Sperrwasserstand wieder her.

Bei Eintritt von Gasmangel wird durch den Fülltrichter soviel Luft angesaugt (vom Brenner her) als der fehlenden Gasmenge entspricht. Die Luft wird demnach dem Brenner, niemals jedoch dem Azetylenentwickler, zugeleitet. Starkes Glucksen des Sperrwassers kennzeichnet Luftansaugen und damit Gasmangel. Im übrigen sind, wie wir später noch sehen werden, Sauerstoffrücktritt und Gasmangel dem Geräusche nach leicht zu unterscheiden.

Flammenrückschläge oder Explosionswellen von seiten des Brenners nehmen denselben Weg wie rückströmender Sauerstoff, also durch den Steigtrichter ins Freie, wobei immer der Zutritt zum Gaszuführungsrohr durch dessen größere Tauchtiefe wirksam unterbunden wird. Schlägt die Flamme bis zur Vorlage zurück, so schließe man am besten den Durchgangshahn im Gaszutrittsrohr und fülle die Vorlage mit frischem Wasser an.

Die Überwachung (Kontrolle) des richtigen Wasserstandes geschieht am Probierhahn (Abb. 66) und stets bei geschlossenem Gashahn der Gaszufuhrleitung. Andernfalls steht die Vorlage unter Gasdruck und läßt am Probierhahn solange Wasser ausfließen, bis die untere Öffnung des linken Steigerohrs

frei liegt, wodurch nur eine vermeintlich richtige Füllung bewirkt und Gas statt zum Brenner durch den Trichter ins Freie geleitet wird. Zur gründlichen Reinigung des Vorlageninneren und dessen Kontrolle (Tauchtiefen der Rohre) durch amtliche Überwachungsorgane ist der Boden oder der Deckel der Vorlage laut behördlicher Vorschrift abnehmbar anzubringen. Die Vorlage hat außerdem ein Schild zu tragen, aus welchem der Hersteller und die Zulassungsnummer zu ersehen sind.

Eine gebräuchliche Konstruktion von Wasservorlagen für Niederdruck zeigt Abb. 67 in zwei Längsschnitten. Die Vorlage wird bei geschlossenem Gaszufuhrhahn durch den Trichter 1 bis zur normalen Höhe (Kontrollhahn 2) mit Wasser angefüllt. An der höchsten Stelle wird das Gas durch Rohr 3 zugeführt und tritt durch die Löcher 4 in das Sperrwasser. Bevor das Gas am Schlauchhahn 5 austritt, wird es im Rohr 6 zur Strömungsänderung nach unten gezwungen, damit mitgerissenes Sperrwasser abgeschieden wird. Die Ableitung rücktretenden Sauerstoffs und etwa auftretender Explosionswellen ins Freie erfolgt durch das gebogene Rohr 7 und den Trichter 1. Der Ausgleich im Wasserstand zwischen Vorlage und Rohr 7 wird durch die Löcher 8 geschaffen, wodurch eine rasche Ableitung zurückströmenden Sauerstoffs oder der Explosionsrückschläge erreicht wird. 9 ist der laut Vorschrift abnehmbare, mittels Schrauben befestigte Boden.

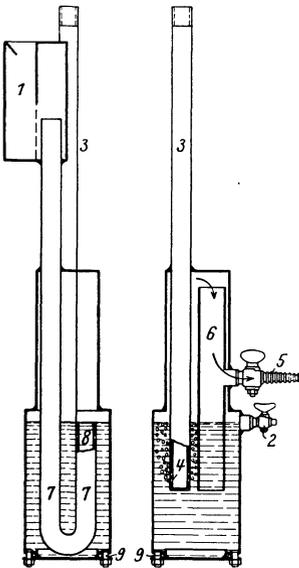


Abb. 67. Sicherheitswasservorlage.

Die neuere Bauart einer Wasservorlage für Mitteldruck bringt Abb. 68 I. Die Zuleitung des Gases erfolgt bei *k*, die Abnahme bei *e*. *f* ist der Kontrollhahn

für den Wasserstand und h ein Entleerungsstutzen. Bei etwaigem Rücktritt von Sauerstoff oder einer Explosionswelle wird die Rückschlagklappe i geschlossen und damit der Zugang zu k . Der Austritt ins Freie erfolgt über das Lippenventil g und das Ansaugrohr (Steigerrohr) c , das in eine abschraubbare Kappe d mündet, die mit Löchern a versehen ist. Da sich nach Abschrauben der Armaturen im Vorlageninneren b keine Teile mehr befinden, die einer Wartung oder Nachprüfung bedürfen, braucht der Boden in diesem Falle nicht abnehmbar zu sein. Ob sich allerdings eine gegen die Luft völlig abgeschlossene Vorlage dieser Art praktisch einwandfrei bewähren wird, ist zweifelhaft. Vom Auslande sind schon diesbezügliche Einwendungen erhoben worden. Hierzu muß erwähnt werden, daß zur Zeit der Drucklegung dieses Buches umfangreiche amtliche Versuche mit Wasservorlagen angestellt werden, die eine wesentliche Umgestaltung der verschiedenen Konstruktionen erwarten lassen.

Weitere Vorlagen sind ersichtlich aus den Abb. 42, 49, 50, 51, 52 und 55.

Hochdruckvorlagen. Als Beispiel der Konstruktion von Hochdruckvorlagen mag Abb. 68 II dienen. Ihre Einrichtung ähnelt bis auf das Ansaugrohr c jener von Abb. 68 I. An die Stelle des Rohres ist eine Metallfolie c getreten, die bei etwa auftretendem Rückschlage gesprengt wird.

Hauptwasservorlage. Um die Sicherheit ortsfester Anlagen von der Zuverlässigkeit des Schweißers (Füllung und Prüfung der Vorlagen) unabhängig zu machen, besteht die behördliche Vorschrift, daß bei mehreren Schweißstellen, also bei Vorhandensein von mehr als einer Vorlage im Betriebe, eine sog. Hauptwasservorlage H in Abb. 44, vorzuschalten ist. Obwohl durch das Sperrwasser dieser Vorrichtung ein weiterer Druckverlust stattfindet, ist die Vorlage sehr erwünscht. Sie soll am besten außerhalb des Entwicklungsraumes aufgestellt finden. Das Schema des Zusammenschlusses zwischen den Vorlagen zeigt Abb. 69. Das Gas tritt bei c in die Hauptvorlage A ein und strömt von hier durch das Verteilungsrohrnetz d und e den Einzelvorlagen B der verschiedenen Schweißstellen zu. Im Falle des Versagens einer Einzelvorlage tritt die Hauptvorlage in Tätigkeit.

Wirkungsgrenze der Wasservorlage. Wir haben gesehen, daß alle der Vorlage obliegenden Tätigkeiten durch das bewegliche Sperrwasser zufriedenstellend ausgeübt werden. Wasser ist an sich ein sicher und leicht bewegliches Medium (Vermittlungsglied). Daraus läßt sich folgern: Rückschlagventile, Hebelübersetzungen, Schwimmer, Federn, Alarmsignale und ähnliche, umständliche Einrichtungen sind bei gut konstruierten Vorlagen oft entbehrlich und möglichst fortzulassen, da beim

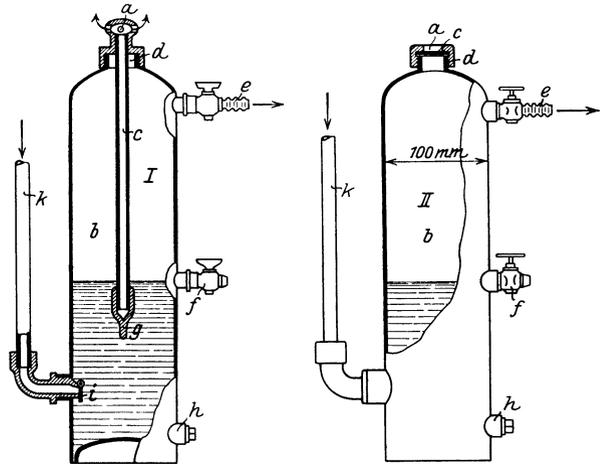


Abb. 68. Mitteldruck- und Hochdruckvorlagen.

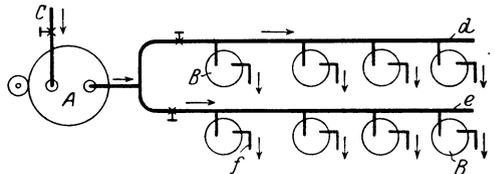


Abb. 69. Hauptwasservorlage und Einzelvorlagen.

Einrosten, Verschlammen oder Festklemmen solcher Vorrichtungen das zuverlässige Arbeiten der Vorlage in Frage gestellt ist. Leider gilt diese Forderung nur unter gewissen Einschränkungen. Mit wachsender Gasdruckhöhe muß auch die Länge der Wassersteige- und Gaseintrittsrohre der Vorlage in entsprechendem Verhältnis steigen, was bei Niederdruckazetylen zwar keine, bei Mitteldruckazetylen indessen schon gewisse Schwierigkeiten verursacht. Schließlich kommen bei Hochdruckazetylenentwicklern, wie wir sahen, besondere Einrichtungen in Betracht, da sie sonst Rohrlängen von 10 m und mehr zur Bedingung hätten. Die Wasservorlage durch eine mechanische Rückschlagsicherung zu ersetzen, deren Konstruktion sich im allgemeinen bekannten Rückschlagventilen anpaßt, ist unzulässig. Wenngleich Sicherheitsventile solcher Art gegenüber der Wasservorlage den Vorzug haben, in ihrer Arbeitsweise weniger von gewissenhafter Bedienung abhängig zu sein, kann von einer vollständigen Betriebssicherheit keineswegs die Rede sein, da die Bewegung der Abschlußteile, zudem fester Körper, auch hier nur durch immerhin schwache Drucke bewerkstelligt wird.

Eingedenk der Wichtigkeit, welcher der guten Wirkungsweise der gegenwärtig noch immer vorzuziehenden Wasservorlage beizumessen ist, darf ihre sachgemäße und zuverlässige Behandlung niemals außer acht gelassen werden. Gerade hierauf soll der häufig mit der Gefahr spielende, über alles sich erhaben dünkende Schweißer nachdrücklichst aufmerksam gemacht sein. Auch ist die Genehmigungspflicht der Wasservorlagenkonstruktion ein begrüßenswertes Gesetz. Die Prüfung erfolgt durch den Deutschen Azetylenverein, bzw. von nun ab durch den Deutschen Azetylenausschuß, Berlin, welcher gleichzeitig dem Erbauer der Vorlage ein besonderes Typenzeugnis ausstellt. Ungeprüfte Vorlagen dürfen nicht verwendet werden. Im allgemeinen ist für jeden Schweiß- oder Schneidbrenner eine Wasservorlage erforderlich; mehrere Brenner dürfen nur dann an eine gemeinschaftliche Vorlage angeschlossen werden, wenn diese für diesen besonderen Zweck genehmigt wurde.

Zusammenfassung der Behandlung der Sicherheitsvorlage.

1. Die Ausführung von Schweiß- und Schneidarbeiten mittels Azetylen ist nur dann gestattet, wenn dem Azetylerzeuger eine Vorlage (oder ein anderes, behördlich zugelassenes Sicherheitsorgan) vorgeschaltet ist.
2. Die Wasservorlage ist vor Arbeitsbeginn und außerdem täglich zwei- bis dreimal auf den vorgeschriebenen Wasserstand am Kontrollhahn zu prüfen.
3. Die Vorlage ist nur dann richtig gefüllt, wenn bei geschlossenem Gaszutritts- und geöffnetem Gasaustrittshahn etwas Wasser aus dem Probierhahn abfließt.
4. Nach Füllung der Vorlage bleibt der Prüfhahn solange geöffnet als Wasser ausfließt, da bei zu hohem Wasserstand Gasmangel (infolge zu großen Gegenstands der Wassersäule [Widerstand]) eintreten oder vom Brenner Wasser angesaugt werden kann. Nach erfolgtem Ablauf überschüssigen Wassers ist der Prüfhahn jedesmal sofort zu schließen.
5. Durch Verdunstung oder andere beliebige Ursache (Rückschlag usw.) verlustig gegangenes Wasser ist unverzüglich zu ersetzen.
6. Das Vorlageninnere ist monatlich einmal durch Ausspülen mittels Wasser gründlich zu reinigen und von anhaftenden Rost- und Schmutzteilchen zu befreien.
7. In demselben Zeitzwischenraum sind alle an der Vorlage etwa vorhandenen, mechanisch betätigten Vorrichtungen (Hebel u. dgl.) auf ihre einwandfreie Wirkungsweise zu prüfen.
8. Ausbesserungen an der Vorlage dürfen nur nach deren Außerbetriebsetzung vorgenommen werden. Undichtheiten sind sofort zu beheben.
9. Insbesondere ist auch den einzelnen Betriebsvorschriften restlos nachzukommen.

4. Schweißbrenner.

a) Konstruktion und Arbeitsweise.

Mit dem Schweißbrenner (kurz Brenner, verschiedentlich auch Pistole genannt) ist uns ein einfaches Mittel an die Hand gegeben, zwei Gase grundverschiedener Art innig zu mengen und durch Verbrennung des entstandenen Brenngas-Sauerstoffgemisches große Wärmemengen auf kleinstem Raume in Form der Schweißflamme zu erzeugen. Der Schweißbrenner macht den wichtigsten Bestandteil der Schweißanlage aus; von seiner richtigen Wirkungsweise ist der Erfolg der Schweißarbeit im höchsten Maße abhängig. Deshalb erfordert die Brennerherstellung besondere Sorgfalt und gründliche Kenntnis der Arbeitsweise dieses Geräts.

Als Baustoff für Schweißbrenner wird mit verschwindenden Ausnahmen Messing, für die Schweißspitzen Kupfer, Aluminiumbronze oder Messing verwendet.

Die Konstruktion des Brenners richtet sich in der Hauptsache nach folgenden Gesichtspunkten: Art, Dichte und Druck des Brenngases, Abmessungen des zu schweißenden Gegenstands, Geschmack des Konstrukteurs. Wir können uns auf die verschiedenen Konstruktionsmöglichkeiten, auf Abmessungs- und Bohrungsverhältnisse des Brenners — die selbstredend in bestimmten Beziehungen zueinander stehen — an dieser Stelle nicht einlassen, vielmehr nur jene Einzelheiten erörtern, deren Kenntnis für ein lückenloses Verständnis der Arbeitsweise des Brenners und seiner Behandlung wünschenswert ist.

Allgemeine Brennereinteilung. Je nach den Drucken, unter welchen die Gase dem Brenner zuströmen, hat man zunächst zwischen Mischdüsen- und Injektorbrennern zu unterscheiden. Strömt das Brenngas dem Brenner unter höherem, dem Sauerstoffdruck annähernd gleichem Drucke selbständig zu (Flaschenazetylen, Wasserstoff, Blaugas, Benzoldampf), so genügt als Mischvorrichtung für die Gase die Mischdüse; fällt dem Sauerstoff aber die Arbeit des Ansaugens eines Brenngases von geringem Druck zu (Azetylen, Leuchtgas), dann wird die Mischdüse durch den Injektor ersetzt. Man kann berechtigterweise auch von Hochdruck- (Gleichdruck-) und von Niederdruckbrennern sprechen.

Wasserstoffbrenner. Man glaubte, in Verkennung der praktischen Erfordernisse, zunächst mit einem überaus einfachen Gerät auszukommen, wie ein solches in Abb. 70 schematisch dargestellt ist. Ein aus dünnem Eisenblech hergestelltes Rohr, das nach hinten birnenförmig erweitert war, mit Schweißspitze und zwei Rohrstückchen war der ganze Brenner. Durch die beiden innen gebogenen Rohransätze wurden die beiden Gase Sauerstoff und Wasserstoff zugeleitet. Wenn der bei dieser Konstruktion häufige Flammenrückschlag

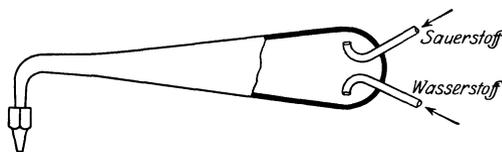


Abb. 70. Wasserstoffbrenner alter Bauart.

eintrat, so brannte das Gasgemisch im Rohrrinnern weiter, und das Rohr wurde sofort rotglühend, so daß Brandwunden an der den Brenner führenden Hand nicht gerade selten waren. Obwohl dieser Mangel durch geeignete Isolations- und Schutzmittel hätte verhütet werden können, stellten sich aber noch andere erhebliche Nachteile ein, die eine völlig geänderte Konstruktion notwendig machten, eine Konstruktion, die mit geringen Abweichungen noch heute fast allen Wasserstoffbrennern zugrunde liegt und die in Abb. 71 veranschaulicht ist. Es handelt sich dabei um den sog. Mischdüsenbrenner. Hinter dem rechtssitzenden Absperr- und Regulierhahn werden die Gase noch getrennt weitergeleitet bis zu den V-förmig zueinanderliegenden Kanälen *a* und *b*, an deren gemeinsamer Mündung bei *c* eine Mischdüse

mittels Gewinde aufgeschraubt ist. Da der Wasserstoff dem Brenner unter höherem Drucke zugeführt, und die Saugwirkung des Sauerstoffs nicht in Anspruch genommen wird, hat das an den Mischraum *c* links anschließende, meist aus Eisen

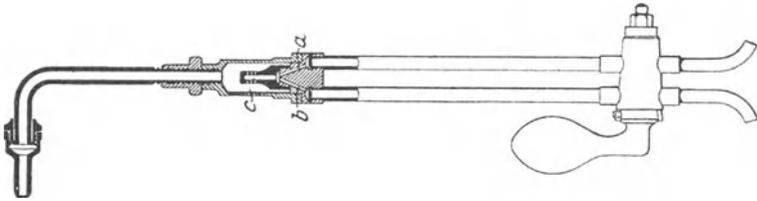


Abb. 71. Wasserstoffbrenner neuer Bauart.

hergestellte Düsenrohr den Zweck, eine weitere gute Mischung zwischen Wasserstoff und Sauerstoff zu gewährleisten. Auf das linke, untere Ende des Düsenrohrs wird die Schweißspitze aufgeschraubt, an deren Austrittsbohrung das Gasgemisch entzündet wird. Abb. 72 veranschaulicht einen Wasserstoffbrenner ähnlicher

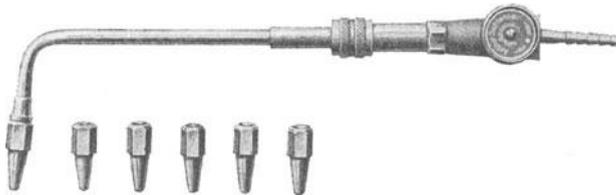


Abb. 72. Wasserstoffbrenner in Ansicht.

Bauart in der Ansicht. Um Irrtümern vorzubeugen, sei erwähnt, daß der zweite Schlauchanschluß durch den im Bilde sichtbaren verdeckt liegt. Brenner für andere, unter höherem Druck zuströmende Gasarten, z. B. für Dissousgas

(Flaschenazetylen) Blaugas und Benzolgas sind ähnlich eingerichtet. Um die Schweißflamengröße, je nach den zu bearbeitenden Materialstärken, rasch verändern zu können, genügt neben der Regulierung der Gasdrucke an den Druckminderventilen eine Auswechslung der Schweißspitzen mit verschiedener Durchgangsbohrung. Der in Abb. 72 abgebildete Brenner besitzt sechs Stück auswechselbare Spitzen. Folglich wird man Schweißbrenner dieser Art fast immer mit einem Satz (4÷8 Stück) auswechselbarer Spitzen (für verschiedene Flammengrößen bzw. Blechstärken) ausrüsten und seltener für jede Flammengröße einen besonderen Brenner anschaffen.

Niederdruckazetylenbrenner (Injektorbrenner). Anders als bei den Brenngasarten mit höherem Druck liegen die Verhältnisse beim Niederdruckazetylen- oder beim Leuchtgasbrenner, da man hier die für die Zeiteinheit erforderliche Gasmenge nicht durch Druckveränderung des Brenngases beliebig vermindern oder vergrößern kann, vielmehr die Abmessungs- und vor allem die Bohrungsbeziehungen zwischen Injektor und Mischkammer mit dem Wechsel der Flammengröße sich stark verändern. Man hat deshalb zwei Gruppen von Azetylschweißbrennern, die sog. Einzelbrenner (Abb. 75 und 76) und die Wechselbrenner (Abb. 77), nach den neuen Normungsvorschlägen auch einfach „Schweißbrenner“ und demgegenüber „Wechselschweißbrenner“ genannt.

Die Grundform eines Injektorbrenners bildet der in Abb. 73 schematisch skizzierte „Daniellsche Hahn“, der als Vorläufer aller Schweiß- und Lötbrenner angesprochen werden kann. Der Sauerstoff (Luft) wird dem Brenner durch das mittlere, auf eine längere Strecke vom Brenngas getrennte Rohr zugeführt und mischt sich mit dem Brenngas erst kurz vor der Austrittsdüse des Gasgemisches. Solche Brenner besitzen indessen eine völlig unzulängliche Mischung der beiden Gase als Hauptmangel. Man hat deshalb die Sauerstoffinjektordüse viel weiter

nach Innen verlegt und ist zum Schema der Abb. 74 gekommen. Durch das Rohr 2 tritt das Brenngas ein und sammelt sich im Raume 3 an, von wo es durch den bei 1 eintretenden Sauerstoff durch die Saugdüse 4 mitgerissen wird. Der Sauerstoff kommt durch die feine Bohrung 5, die in der Mitte der Saugdüse 4 liegt, und tritt dann gemeinsam mit dem Gas seinen Weg durch das Mischrohr 6 an, und das Gasgemisch gelangt an der Spitze 7 zur Verbrennung. Messungen der Druckverhältnisse im Brenner haben folgende Durchschnitts-

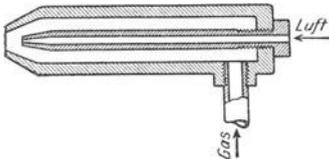


Abb. 73. Urform eines Injektorbrenners.

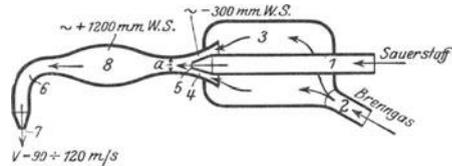


Abb. 74. Schema der Wirkungsweise eines Niederdruckbrenners.

werte ergeben: In der Saugdüse 4 (Abb. 74) besteht ein Unterdruck von etwa 300 mm W. S., im Mischraum 8 ein Überdruck von etwa 1200 mm W.S. Um die Beziehungen zwischen Bohrungs- und Druckverhältnissen aufrechtzuerhalten, ist es notwendig, daß die Kanäle 5, a und 7 mit den Brennereinsätzen (für verschiedene Blechstärken) geändert werden. Darum genüge beim Niederdruckbrenner die Auswechslung der Schweißspitze allein nicht.

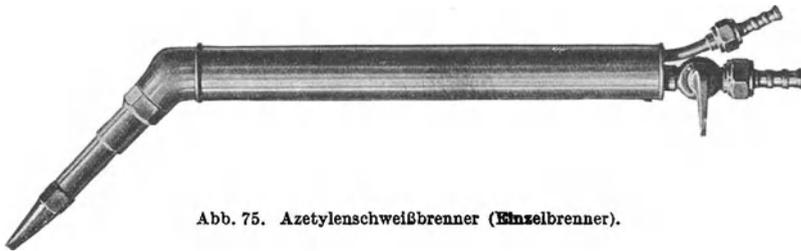


Abb. 75. Azetylschweißbrenner (Einzelbrenner).



Abb. 76. Azetylschweißbrenner (Einzelbrenner).

Die Einzelbrenner sind nur für die Bearbeitung einer bestimmten Blechdicke bzw. für eine kleine, engbegrenzte Gruppe von Metallstärken verwendbar, wie sie den einzelnen Brennerspitzen entspricht. Z. B. soll man mit einem „Schweißbrenner „4÷6“ Bleche von 4÷6 mm schweißen. Die Stufung „4÷6“ soll in die Brennerspitze eingepreßt sein. Diese Zahlenangaben sind übrigens die Vorschläge des Normenausschusses. Bisher tragen die Brenner Nummern (000÷8, siehe Zahlentafel 7). Spitzen und Injektor sind nicht auswechselbar. Man wird diese Sorte Brenner dann bevorzugen, wenn dauernd ein und dieselbe Werkstoffstärke geschweißt werden soll, z. B. zur Schweißung von Massenartikeln.

Für Montagearbeiten, wo mit Schwankungen in den Werkstoffdicken innerhalb weitester Grenzen gerechnet werden muß, im Ausbesserungsschweißereibetrieb oder überhaupt dort, wo die Schweißung verschiedenster Metallstärken und -arten vorkommt, ist der Wechselbrenner entschieden vorzuziehen. Dieser (Abb. 77)

gestattet, wie der Wasserstoffbrenner, die Bearbeitung einer großen Gruppe von Werkstoffdicken, ohne daß der Brenner selbst von den Schläuchen gelöst zu werden braucht. Mischkammer, Injektor und Spitze des Brenners werden hierbei in einem Stück, den sog. Schweißeinsetz, ausgewechselt.

Einzelteile der Niederdruckazetylenbrenner. Ein Schweißbrenner hat im allgemeinen folgende Hauptbestandteile: 1. Handrohr (Schaft), 2. Absperr- oder Reguliervorrichtung, 3. Schlauchanschlüsse, 4. Mischvorrichtung, 5. Brennerspitzen.

Für das Brennergewicht ist vorwiegend das Handrohr, der Schaft, ausschlaggebend (Abb. 77 oben). An ihm sind die Absperrhähne ausnahmslos, die Schlauch-

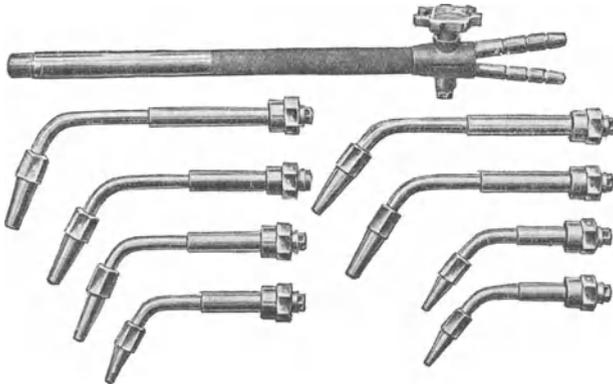


Abb. 77. Wechselschweißbrenner.

anschlüsse zum Teil fest angeordnet. Zweifellos liegt ein möglichst geringes Gewicht des Brenners im Interesse des Schweißers, doch darf die Gewichtsersparnis nicht auf Kosten stabiler Konstruktion und einwandfreier Wirkungsweise des Brenners erfolgen. Trotzdem es für die Arbeitsweise des Brenners belanglos ist, ob die Gasrohre getrennt liegen (Abb. 71) und in dieser Form als Handgriff dienen oder in einem als

Handhabe ausgebildeten Rohr ineinandergelagert sind (Abb. 72 und 75÷77), verdient die letzte Ausführungsart wohl immer den Vorzug, weil sie die stabilste ist und eine Beschädigung des Brenners am besten verhindert. Da ferner das Handrohr für große Brennerflammen möglichst lang sein soll, um die Hand des Schweißers vor übergroßer, lästiger Wärmestrahlung zu schützen, hingegen schwache Brenner recht kurze und leichte Handrohre haben müssen, ist es auch verständlich, weshalb man Wechselbrenner nur bis zu einer gewissen Mindest- und Höchstgrenze ausbauen kann. Gerade die kleinsten und die größten Brenner wird man also am besten als Einzelbrenner bauen, wie das ja praktisch tatsächlich auch geschieht.

Über die Zweckmäßigkeit der Absperrhähne oder -ventile sind die Ansichten in Fachkreisen sehr geteilt und vielfach von Gewohnheit und Erfahrung bestimmt. Brenner ohne Hähne sind jedenfalls unvorteilhaft, um so mehr dann, wenn Azetylenentwickler und Flasche (oder beide Flaschen) in einiger Entfernung von der Schweißstelle Aufstellung finden, wie dies ja vorgeschrieben ist. Der Schweißer ist dann gezwungen, Flammenregulierungen an den Druckminderventilen vorzunehmen. Zudem läßt sich an den Ventilen allein die Flamme nur ungenau einstellen. Ähnliche Mängel ergeben Brenner mit nur einem, alsdann stets für Brenngas vorgesehenen Hahn, Abb. 75. Bei diesen muß der Sauerstoff ebenfalls am Ventil reguliert und abgesperrt werden. Dieser Übelstand macht sich besonders bei Arbeiten in Behältern, Dampfkesseln u. dgl. unliebsam bemerkbar. Beim Aus- und Einschalten des Brenners muß der Arbeiter allemal aus dem Kessel herausklettern, um das Sauerstoffventil zu bedienen. Aus diesen Gründen ist ein Brenner mit zwei Hähnen oder einem Doppelhahn (Abb. 71, 72, 76 u. 77) vorzuziehen, wobei die Drehvorrichtung des Hahns, ob mit Flügel (Abb. 71) oder mit Handrädchen (Abb. 72, 76, 77), gleichgültig ist. Wesentlich ist vor allem die leichte

und genaue Regulierfähigkeit der Flamme. Der Doppelhahn reguliert natürlich Brenngas und Sauerstoff zugleich, wobei sein Gehäuse so eingerichtet sein muß, daß am Hahnkegel weder das Brenngas zum Sauerstoff, noch umgekehrt dieser zum Brenngas gelangen kann, was durch einen durchgehenden Schlitz im Hahngehäuse (Abb. 77) erreicht wird. Der Schlitz ist zeitweise von Schmutz, der ihn verstopft und seinen Zweck illusorisch macht, gründlich zu säubern. Im allgemeinen werden heute nur noch Brenner mit zwei getrennten Hähnen verwendet. In letzter Zeit bevorzugt man Brenner mit vor der Hand (im Brennerrohr und nicht an den Schlauchtüllen) gelegenen Hähnen, da bei dieser Anordnung eine unbeabsichtigte Verstellung der Hähne durch den Rockärmel verhütet wird. Auch alle „Einhandbrenner“ sind so eingerichtet; die Hähne sind hierbei so untergebracht, daß die Bedienung der Ventile auf die den Brenner führende Hand beschränkt bleibt.

Die Schlauchanschlußnippel (Schlauchtüllen) sind teils fest (Abb. 72, 76, 77), teils als Verschraubung (Abb. 75) ausgebildet; bei letzteren erfolgt die Abdichtung der Überwurfmutter sowohl durch Fibreringe als durch konische Flächendichtung der Nippel selbst. Mit der Anzahl der Verschraubungen steigert sich die Wahrscheinlichkeit des Undichtwerdens des Brenners und mehren sich die Ausbesserungen. Darum sind feste Schlauchnippel besser, besonders dann, wenn mit Wechselbrennern oder vereinigten Schweiß- und Schneidbrennern (s. unter Schneiden) gearbeitet wird und der Brenner ständig an die Schläuche angeschlossen bleibt. Sind die Anschlußnippel am Brenner nicht besonders bezeichnet, so dient immer der Anschluß mit größerer Bohrung für den Brenngasschlauch, der kleinere für Sauerstoff, wie dies beispielsweise aus Abb. 75 hervorgeht. Eine sog. Schnellschlauchkupplung „Hukreha“ zeigt Abb. 78. Im Hülsenstück *B*, der fest mit dem Brenner verbunden ist, sitzt ein Gummipuffer *C* mit vorgelagertem Sieb *D*. Das mit dem Brennerschlauch durch Schlauchklemme verbundene Stück *A* trägt einen Stift, der in die entsprechende Führung des Bajonettverschlusses in *B* paßt. Dieser Schlauchanschluß hat sich in der Praxis gut bewährt. Der Gummipuffer *C* ist natürlich von Zeit zu Zeit auszuwechseln.

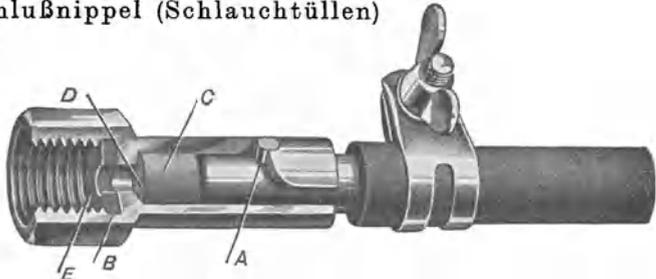


Abb. 78. Schnellschlauchkupplung.

Die Hauptaufgabe des Brenners besteht in der richtigen Mischung der beiden Gase der Menge nach, die so erfolgen muß, daß Störungen im Gleichgewichtszustand zwischen Ausfluß- und Zündungsgeschwindigkeit ausgeschlossen sind¹. Dieser wichtigen Bedingung nachzukommen, ist Gegenstand der Mischdüse im besonderen, weitmehr aber noch des Injektors. Die Injektorkonstruktion beruht darauf, daß die Saugwirkung eines durch eine feine Düse unter höherem Druck ausströmenden Gases (Dampfes) ausgenutzt wird (Abb. 73). Abb. 79 zeigt uns dies im Schnitt durch den Vorderteil des Brenners der Abb. 75. Der bei *o* eintretende

Die Hauptaufgabe des Brenners besteht in der richtigen Mischung der beiden Gase der Menge nach, die so erfolgen muß, daß Störungen im Gleichgewichtszustand zwischen Ausfluß- und Zündungsgeschwindigkeit ausgeschlossen sind¹. Dieser wichtigen Bedingung nachzukommen, ist Gegenstand der Mischdüse im besonderen, weitmehr aber noch des Injektors. Die Injektorkonstruktion beruht darauf, daß die Saugwirkung eines durch eine feine Düse unter höherem Druck ausströmenden Gases (Dampfes) ausgenutzt wird (Abb. 73). Abb. 79 zeigt uns dies im Schnitt durch den Vorderteil des Brenners der Abb. 75. Der bei *o* eintretende

¹ Unter Zündungsgeschwindigkeit versteht man diejenige Geschwindigkeit, mit welcher sich die Zündung im ruhenden Gasgemisch fortpflanzt. Die Ausfluß- oder Strömungsgeschwindigkeit des Gases muß immer größer sein als die Geschwindigkeit der Zündung, andernfalls schlägt die Flamme ins Brennerinnere zurück. Die Strömungsgeschwindigkeit beträgt etwa 70 : 160 m/s. Diese Erläuterung wird hier auch deshalb gegeben, weil häufig die Frage aufgeworfen wird, warum die Flamme zurückschlägt.

und aus der Bohrung *n* des Injektors *G* ausströmende Sauerstoff saugt ringsum das unter niedrigem Druck stehende Azetylen an, reißt es mit in den Mischkanal *H* und mischt sich mit ihm auf dem Wege zur Austrittsöffnung der Schweißdüse. Der Sauerstoff verleiht gleichzeitig dem Gasgemisch die erforderliche Strömungsgeschwindigkeit.

Die Misch- oder Injektoreinrichtung *G* ist meist in den Schweißeinsetz eingebaut, welcher in Abb. 79 die Teile *E, F* umfaßt. Sehen wir von den für die Konstruktion besonders wichtigen Bohrungsbeziehungen ab, so fällt uns unter den einzelnen abgebildeten Brennern zunächst der Längenunterschied der Düsen mit den zugehörigen Mischrohren auf. Während die Mischdüse des Brenners, Abb. 75, ziemlich kurz ist, sind die als Rohre ausgebildeten Mischkammern der übrigen Brenner viel länger. Letzteres ist für innige Mischung der Gase und für gute Flammenbildung von Vorteil; die Flammenkerne (*D* Abb. 79) sind durchschnittlich länger und stabiler. Bei den Brennern Abb. 71 und 72 wird bekanntlich nur die Schweißspitze ausgewechselt; das Mischrohr ist im rechten Winkel zum Handrohr abgebogen, so daß die Flamme das Schweißgut auch im rechten Winkel trifft. Da-

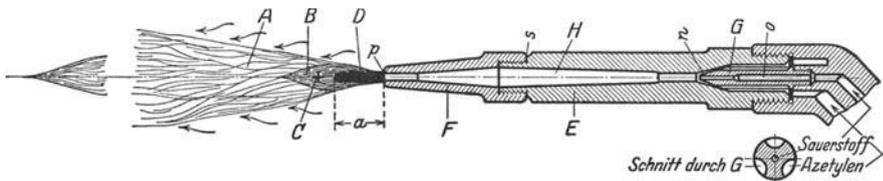


Abb. 79. Vorderteil des Azetylenbrenners mit Schweißflamme.

gegen bildet die Schweißdüse des gewöhnlichen Azetylenbrenners mit dessen Handrohr immer einen stumpfen Winkel von annähernd 135° (Abb. 75 ÷ 77), was später noch als vorteilhaft nachgewiesen wird.

Die Schweißdüsen sind meist aus Messing, die Mischrohre seltener aus Eisen und die Spitzen bei Azetylen immer aus Kupfer, bei Wasserstoff und Leuchtgas immer aus Messing, bei Azetylen-Dissous sowohl aus Messing als aus Kupfer hergestellt. Die Befestigung der Schweißspitzen geschieht mittels Gewinde im Sechskant, desgleichen das Anziehen der Schweißdüsen (Abb. 75, 77), wenn nicht der Sechskant oder die Sechskantüberwurfmutter durch Rundmuttern, die von Hand angezogen werden können (Abb. 72), vertreten wird.

Kühlung und Rückschlagsicherungen. Unter anderen Konstruktionen sind auch Brennerdüsen mit Sauerstoffkühlung auf den Markt gekommen, was den Vorteil der Verhütung von Flammenrückschlägen gewährleisten soll. Die Praxis zeigt zwar eine umständlichere Konstruktion des außerdem noch aus Eisenrohren zusammengeschweißten Brenners, nicht aber den vom Konstrukteur erwarteten Erfolg. Wirksame Kühlung der Düsen ist sehr günstig, aber zweckentsprechend nur unter Zuhilfenahme von Wasser erreichbar. Brennerdüsen von Schweißmaschinen sind stets wassergekühlt, derart, daß die Mischdüse mit einem Kühlmantel umgeben ist, in welchem fließendes Wasser kreist. Mitunter trifft man diese Vorkehrung auch wohl bei ganz großen, von Hand geführten Brennern für schwere und schwerste Werkstücke an. In wieder anderen Brennern findet man zuweilen Einrichtungen, um von außen eine Verstellung der Injektordüse bewerkstelligen zu können. Auch diese Sonderheit birgt keinerlei praktischen Nutzen.

Eine weitere, früher vielfach verworfene Neuerung, wie sie im Augenblick abermals einige Konstrukteure beschäftigt, erstreckt sich auf den Einbau von

Rückschlagventilen und anderen Rückschlagsicherungen in die Brenngasleitung des Brenners, zwecks Verhütung von Flammenrückschlägen zum Entwickler. Aus den auf dem Markte befindlichen Einrichtungen dieser Art sei eine besonders hervorgetretene Bauart herausgegriffen, die den Flammenrückschlag durch eine besondere Ausgestaltung der Injektordüse zu verhindern sucht. Abb. 80 zeigt den Längsschnitt durch den betreffenden Brennerteil. Man hat sich links das Mischrohr und rechts das Handrohr fortgesetzt zu denken. Das Azetylen wird durch eine große Zahl feiner Bohrungen *a* hindurchgeleitet, in einem Ringkanal *b* gesammelt und abermals durch eine gleiche Anzahl rechteckiger Schlitze *c* getrennt, vor die Injektorbohrung geführt, wo es mit dem Sauerstoffstrom zusammentrifft. Die beabsichtigte Wirkung soll also hervorgerufen werden durch Druckverteilung auf feine Strahlen und durch Wärmeableitung an größere metallische Massen. Aber auch diese Konstruktion ist nur von bedingtem Wert. Zwar kann sie das Weiterbrennen der zurückgeschlagenen Flamme in der Azetylenleitung bis zu einem bestimmten Grade erschweren, doch kommen nicht selten dennoch Rückschläge bis zur Wasservorlage vor, weshalb die Verwendung solcher Brenner die sorgfältige Beobachtung und Wartung der Sicherheitswasservorlage keineswegs ausschließt. Ein Vorteil des Brenners nach Abb. 80 ist darin zu erblicken, daß nach erfolgtem Flammenrückschlag das Zünden der Flamme meist sofort wieder selbsttätig (am glühenden Arbeitsstück) stattfindet, so daß unliebsame längere Arbeitsunterbrechungen vermieden werden.

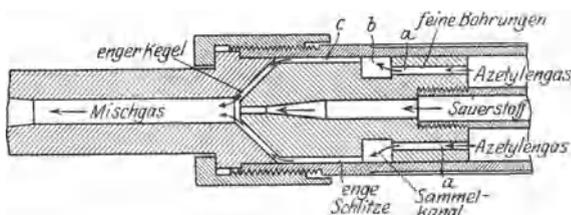


Abb. 80. Schweißbrenner mit Rückschlagsicherung.

Die Verhütung von Flammenrückschlägen (Knallen des Brenners) überhaupt dürfte praktisch wohl kaum erreichbar sein, um so weniger, als der schleichende Rücktritt von Sauerstoff in die Brenngasleitung nicht ausgeschaltet werden kann. Letztere Aufgabe hat sich der Erbauer eines Brenners gestellt, welchen Abb. 81 II im Längsschnitt schematisch darstellt. Zum Vergleich ist bei I ein Brenner gewöhnlicher Bauart gegenübergestellt. Bei I tritt der Sauerstoff in der Mitte, ringsum das Azetylen zu. Letzteres passiert die Schlitze *c* des Kopfes *a* und gelangt durch die Kanäle *f* des eingeschraubten Sauerstoffinjektors *b* in den Mischkanal *e*. Die Skizze läßt erkennen, daß es sich um einen Wechselbrenner handelt. Die in II veranschaulichte Ausführung besitzt zwei im Handrohr getrennt geführte Rohre, wovon das eine für Sauerstoff, das andere für Azetylen bestimmt ist. Das Brenngas tritt dann nur an einer Stelle, bei *cg* in einen Ringkanal (ähnlich Abb. 80) und aus diesem durch den Schlitz *f* in den Mischkanal. Entsteht nun durch irgendeine Ursache an der Sitzfläche der Injektordüse *b* (I) auf *a* eine Undichtheit, dann tritt Sauerstoff in die Azetylenleitung zurück. Solch

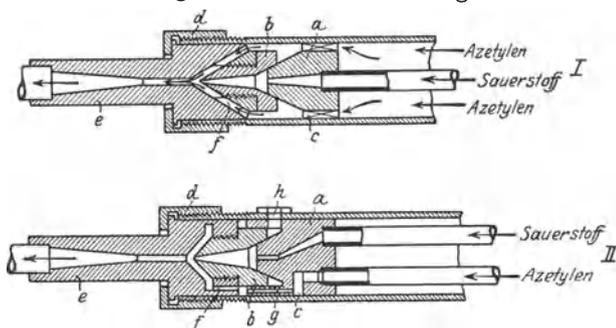


Abb. 81. Schweißbrenner mit Sauerstoffrücktrittsicherung.

Entsteht nun durch irgendeine Ursache an der Sitzfläche der Injektordüse *b* (I) auf *a* eine Undichtheit, dann tritt Sauerstoff in die Azetylenleitung zurück. Solch

eine Undichtheit kann entstehen durch nicht genügendes Anziehen der Überwurfmutter d , durch ein Fremdkörperchen, das sich an der Dichtungsfläche festgesetzt hat, oder durch einen Grat, eine Scharte usw. Jedenfalls ist dieses Vorkommnis nicht gerade selten. Die Bauart *II* sieht nun bei h eine Öffnung vor, durch die sofort der Sauerstoff ins Freie kann, sobald die Flächen zwischen a und b nicht richtig abdichten. Man darf also den Austritt des Sauerstoffs ins Freie mit einiger Sicherheit dann erwarten, wenn eine Undichtheit beim Zusammenschrauben des Brenners (beim Auswechseln der Düsen) entsteht, nicht aber, falls sich die Mündung der Schweißspitze verstopft, was ebenso oft, wenn nicht häufiger, vorkommt. Damit ist auch der Wert dieser Neuerung beschränkt; auch sie macht die Wasservorlage nicht unnötig. Nach den voraufgegangenen Erörterungen ist es klar: die Vorlage ist das einzige sichere Instrument, das alle dem Gasentwickler oder der Gasleitung von seiten des Brenners drohenden Gefahren abwendet.

Außer den bisher erwähnten Einzel-, Wechsel- und Maschinenschweißbrennern sind noch zu nennen: die vereinigten Schweiß- und Schneidbrenner (s. Abschnitt Brennschneiden) und der sog. Universal- oder Mischgasbrenner, der für verschiedene Brenngasarten verwendbar sein soll. Da natürlich die auf die physikalischen Eigenschaften eines bestimmten Gasgemisches abgestimmten Brenneinrichtungen nicht ohne weiteres auch für jedes beliebige andere Gasgemisch brauchbar sein können, ist der Gebrauch solcher Brenner für Schweißzwecke nicht zu empfehlen (beim Schneiden fällt dies weniger ins Gewicht). Im allgemeinen sind allerdings für gewöhnliches Azetylen gebaute Schweißbrenner auch für Flaschenazetylen verwendbar, nie aber umgekehrt besondere Dissousbrenner für Niederdruckazetylen.

Eine von den bisherigen (Spitzdüsen) Schweißspitzen mit nur einer zentralen, zylindrischen Bohrung abweichende Konstruktion, die allerdings weniger für Azetylen als für Leuchtgas in Frage kommt, zeigt schließlich Abb. 82 in dem Schema einer sog. Siebdüse. Die zylindrische, nicht konische Düse, deren vordere Kreisfläche a mit einer größeren Anzahl kleiner, ringförmig angeordneter Löcher b versehen ist, ergibt an jedem dieser Löcher eine kleine, selbständige Flamme. Dadurch tritt natürlich eine wesentliche Verbreiterung der Schweißnaht ein. Brennerspitzen dieser Art sind vornehmlich für Vorwärm- und Lötzwecke gebräuchlich.



Abb. 82.
Brenner-
siebdüse.

Der Framabrenner. Als neueste Erscheinung auf dem Gebiete der Brennerkonstruktion kann der Framabrenner angesprochen werden. Er ist injektorlos eingerichtet und besitzt nur eine besonders konstruierte Mischeinrichtung, der beide Gase (Sauerstoff und Azetylen) unter gleichem Druck zugeführt werden. Die genaue Regelung gleicher Gasdrücke wird durch eine besondere Bauart des Druckminderventils erreicht, in welchem Gummimembranen und Druckfedern die wirksamen Bestandteile sind. Das Framaverfahren bedingt erhöhten Gasdruck, weshalb es sich besonders für die Verwendung von Flaschenazetylen (und Hochdruckazetylenentwicklern) eignet. Niederdruckgas muß erst durch Verdichtungs-einrichtungen (Framakompressor) auf höheren Druck (bis 0,7 at) gebracht werden.

Abb. 83 zeigt den Schnitt durch ein Framaventil, in welchem die Druckgleichheit der Gase zwangsläufig (automatisch) geregelt wird, und zwar wird im Teile E des Ventils zunächst das Gas vom Flaschendruck auf geringeren Druck entspannt und dann dem Druckregelventil D zugeleitet. A ist der Anschlußbügel für die Azetylenflasche, B ist der Anschlußzapfen. Der Sauerstoffschlauch wird nicht unmittelbar mit dem Brenner, sondern mit der Schlauchtülle F des Ventil-

gehäuses *D* verbunden. Der Sauerstoff drückt gegen die Doppelmembran *C*, die ihrerseits das Azetylenventil *G* zwangsläufig steuert und die Gasdrucke regelt. Um eine Mischung der Gase im Ventil selbst auszuschließen, steht der Zwischenraum *H* zwischen den Membranen mit der Außenluft in Verbindung. Wird eine der Membranen undicht, so entweicht das Gas ins Freie. Die beiden Gehäusenhälften des Teiles *D* sind mit je einer Schlauchtülle versehen, an die die zum Brenner führenden Schläuche angeschlossen werden. Beide Gase treten mit gleichem Druck

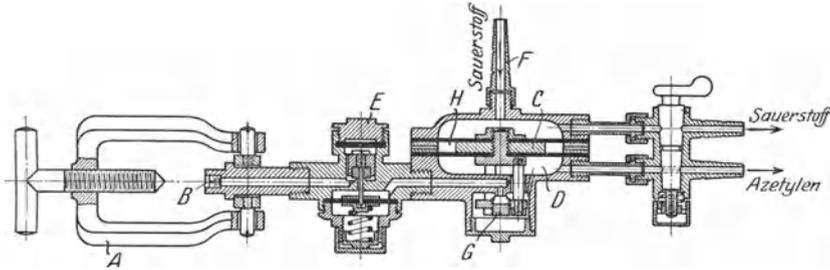


Abb. 83. Framaventil im Schnitt.

von nur $0,2 \div 0,7$ at in den Brenner ein, dessen Einrichtung in Abb. 84 dargestellt ist. Das Azetylen tritt bei *a*, der Sauerstoff bei *b* in den Brenner ein. Die Gasmengenregelung erfolgt am sog. Dosierhahn *c*, an dessen Handrad *d* eine Strichteilung, der jeweiligen Brennerspitze entsprechend einzustellen ist. *e* ist lediglich ein Absperrhahn, *f* ist die Mischdüse und *g* die Brennerspitze, die als einziger Brennerteil mit der zu schweißenden Blechstärke (wie bei allen Hochdruckbrennern, s. Wasserstoffbrenner) ausgetauscht werden muß. Ob sich dieses

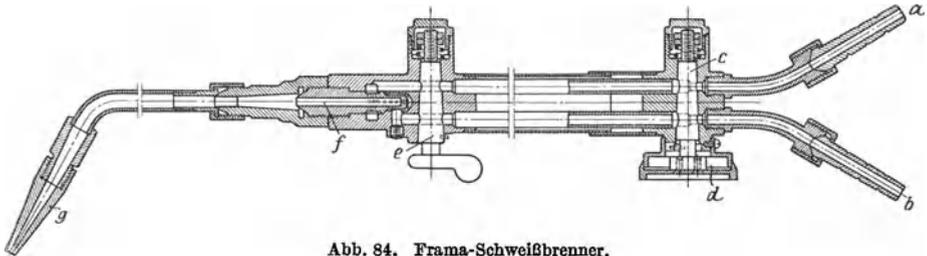


Abb. 84. Frama-Schweißbrenner.

Verfahren, dem zweifellos folgerichtige Gedankengänge und gute Konstruktionsideen zugrundeliegen, in dem vom Erfinder erwarteten Umfang wird einführen lassen, bleibt abzuwarten. Hauptzweck der Erfindung ist gleiches Gasgemisch zu jeder Zeit der Arbeitsperiode ohne die sonst notwendige Regelung der Flamme.

Schweißbrenner für andere Brenngase. Die Bauform der übrigen Brenner paßt sich im allgemeinen den beschriebenen Konstruktionen an.

Beim Leuchtgasbrenner, der ja erheblich größere Mengen an Gas verbraucht als der Azetylenbrenner, da der Heizwert des Steinkohlengases wesentlich niedriger liegt, sind entsprechend größer bemessene Kanäle und Bohrungen erforderlich. Die Einrichtung einer neueren Brennerkonstruktion, bei welcher zwischen Hahngehäuse und Schweißspitze ein biegsamer Schlauch angeordnet ist, scheint weniger praktisch zu sein. Der Schlauch soll den Zweck haben, die Handhabung des Brenners durch verringertes Gewicht zu erleichtern. Das Hahngehäuse bleibt auf den Arbeitstisch liegen und nur der Schlauch wird geführt.

Auch die Ausbildung des Blaugasbrenners erfordert gegenüber den angeführten Schweißbrennertypen keine Sonderkonstruktionen, da ja das Blaugas beim Entspannen vom hohen auf den niedrigen Arbeitsdruck von selbst aus dem flüssigen in den gasförmigen Zustand übergeht (wie Kohlensäure) und demnach dem Brenner gleich gasförmig zugeführt wird.

Anders liegen die Verhältnisse bei unter normalem Druck und bei normaler Temperatur flüssigen Brennstoffen. Hier werden die Brennstoffe dem Brenner in flüssiger Form zugeführt, so daß dem Brenner die Vergasung der Flüssigkeit zufällt. In der in Abb. 85 gezeigten Benzolschweißanlage (Oxy-Benzanlage) älterer Bauart ist der Brenner *J* noch mit einer Heiz- und Vergasungsspirale *k*

versehen. Der Arbeitsvorgang ist kurz folgender:

Der zum Schweißen erforderliche Sauerstoff wird der Stahlflasche *A* nach Öffnen des Ventils *B* entnommen und durch das Druckminderventil *C* und den Gummischlauch *n* dem Brenner *J* zugeführt. Außerdem geht vom Ventil *C* eine zweite Sauerstoffleitung, die bei *D* drosselbar und als Metallrohr spiralförmig um den Gummischlauch *n* gewickelt ist, zum Benzolbehälter *E*, der oben einen Verteilungskörper mit den Absperrventilen F_1 und F_2 besitzt. Der Sauerstoff drückt das flüssige Benzol in die Leitung *g* und durch die Benzolvorlage *H* (Sicherung gegen Flammenrückschlag) nach dem Schweißbrenner. An dem Brenner wird bei Inbetriebsetzung die Vergaserschlange *K* auf einer mit Spiritus geheizten Anwärmevorrichtung 5 min lang erhitzt. Darauf entzündet man die Verdampfer-

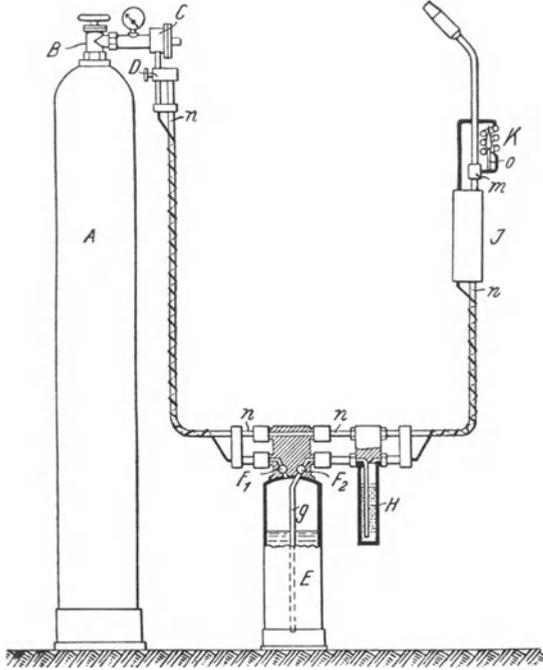


Abb. 85. Benzolschweißanlage älterer Bauart.

flamme *o*, die durch das zunächst vergaste Benzol gespeist wird und die weitere Vergasung des Benzols übernimmt. Bei *m* findet die Mischung des vergastem Benzols mit Sauerstoff statt. Das Inbetriebsetzen des Oxy-Benz-Brenners ist umständlicher und das Arbeiten mit ihm schwieriger als das mit dem Azetylenbrenner.

Da die Zuführung des Brennstoffs zum Brenner mit Hilfe des Sauerstoffs nicht ungefährlich und der Brenner in dieser Form zu schwer ist, sind die neueren Benzolschweißeinrichtungen (Fernholz) nach Art des Schemas, Abb. 10 gebaut. *A* ist wieder die Sauerstoffflasche, *C* das Druckminderventil mit nur einem Anschluß, dem der Sauerstoff durch Schlauch *f* entnommen und durch das T-Stück bei *h* dem Schlauch *h* und von hier dem Brenner *E* zugeführt wird. Die Brennstoffförderung aus dem Behälter *D* zum Brenner geschieht nicht mehr vermittels Sauerstoff, sondern durch eine Handdruckpumpe *g*. Der Brennstoff wird durch das metallische Spiralarohr *h*, welches um den Sauerstoffschlauch *f* gewickelt ist,

dem Brenner *E* bei *k* (Regulierventil, *i* Regulierventil für Sauerstoff) zugeführt. An die Stelle der Rohrspirale *k* (Abb. 85) tritt hier eine einfache Hilfsdüse *m*, die die erforderliche Stichflamme für die Verdampfung der Flüssigkeit unterhält. Der Brenner ist dadurch viel leichter und handlicher geworden.

Normalisierung der Schweißbrenner. In die vom deutschen Normenausschuß in Angriff genommene Normalisierung (Normung) der Autogengeräte sind grundsätzlich nur solche Teile eingeschlossen worden, deren Austauschbarkeit beim Bezug von verschiedenen Werken Vorbedingung für die Weiterverwendung der Haupteinrichtungen ist, oder deren Normalisierung für die Vereinfachung der Lagerhaltung von besonderem Belang erschien. Die Normalisierung beschränkt sich daher bei den Schweißbrennern auf die Anschlüsse an die Schläuche (Schlauchtüllen) und auf die Stufung und Bezeichnung der Schweißbrenner, worauf bereits hingewiesen war (DIN 1901 : 1909).

b) Die Schweißflammen.

Allgemeines. Die Bildung einer Schweißflamme beruht auf der Verbrennung eines Brenngas-Sauerstoffgemisches an der Luft. Unter Verbrennung verstehen wir die Verbindung eines brennbaren Körpers (in unserem Falle: eines brennbaren Gases) mit Sauerstoff und nennen diesen Vorgang Oxydation. Die Verbrennung kann eine unvollständige oder eine vollständige sein, je nachdem ob dem Brenngas nicht genügende oder genügende Mengen Sauerstoff zugeführt werden. Bei unvollständiger Verbrennung sind also in der Schweißflamme noch unverbrannte Gase, die dann das Bestreben haben, sich mit dem Sauerstoff der die Flamme umgebenden Luft zu verbinden; sie entziehen der Luft den Sauerstoff. Eine Entziehung des Sauerstoffs aus einem Körper — der Gegensatz zu dem Hinzuführen von Sauerstoff, der Oxydation — nennen wir eine Reduktion. Wir sprechen also bei einer Flamme, die nicht genügend Sauerstoff erhält und Sauerstoff aus der Luft entzieht, auch von einer „reduzierenden Flamme“. Hat, im Gegensatz dazu, die Flamme mehr als genügend Sauerstoff, d. h. Sauerstoffüberschuß, so ist sie eine „oxydierende Flamme“; sie gibt beim Schweißen Sauerstoff an die Schweißstelle ab, was nur schädlich wirken kann.

Die Leuchtkraft, d. i. die Helligkeit der Flamme, hängt ab von der Natur der in ihr verbrennenden Stoffe, von ihrer Temperatur und Dichte. Das Leuchten der Flamme hat seine Ursache im allgemeinen darin, daß feste Körper in ihr vorhanden sind, welche in der Flammenhitze glühend werden und um so mehr leuchten, je heißer die Flamme ist. Diese Stoffe können der Flamme sowohl von außen zugeführt, als auch während der Verbrennung vom Brennstoff selbst ausgeschieden werden. Der erste Fall (Gasglühlicht) hat für uns hier kein Interesse. Zu den Flammen mit aus dem Brennstoff ausgeschiedenen festen Stoffen, denen die Leuchtkraft zu verdanken ist, gehören alle kohlenstoffhaltigen Gase, wie Azetylen, Leuchtgas, Benzol, Blaugas usw. Hier bildet überall die Leuchtkraft der Flamme feinverteilter, fester Kohlenstoff (Ruß), der durch Zerfall entsteht und zum Glühen erhitzt wird, bevor er zur Verbrennung gelangt.

Man kann sich das an schematischen Skizzen (Abb. 86) am besten klarmachen. Die Verbrennung des am Rohrmundstück *a* (Bild I) austretenden Gasstroms geht nur dort vorstatten, wo der Brennstoff mit dem Luftsauerstoff in Berührung kommt, also an der äußeren Flammenbegrenzung. Im Aufbau der Flamme lassen sich zwei Zonen gut unterscheiden, und zwar der dunkler aussehende Flammkern *b* und der Flammenmantel *d* von größerem Umfange. Im Kern *b* befinden sich unverbrannte, glühende Gase, was sich folgendermaßen beweisen läßt: Hält man ein dünnes Röhrchen in den dunklen Kern *b*, dann steigen die unverbrannten

Gase in diesem in die Höhe und können an dessen oberer Mündung verbrannt werden. Die Länge der Flamme ist vom Gasdruck abhängig; sie steigert sich mit dem Drucke. Ihre Form steht im übrigen in Abhängigkeit vom Querschnitt der Austrittsbohrung des Brenners. Die kegelförmige Gestalt der Flamme wird durch die Einwirkung der ringsum zuströmenden Luft bedingt; je länger diese in den Gasstrom eindringt, um so mehr muß der Flammenquerschnitt (mit der Entfernung von der Austrittsöffnung) abnehmen.

Wird ein kohlenwasserstoffhaltiges Gas (wie sie schon eingangs aufgezählt wurden) in gleicher Weise zur Verbrennung gebracht, so ergibt sich, entsprechend dem Zerfall des Kohlenstoffs, eine etwas verwickeltere Flammenform. Diese ist in Abb. 86 II wiedergegeben. *b* ist wiederum der Kern, gebildet aus unverbrannten Gasen, und *d* der Flammenmantel, innerhalb dessen die restlose (vollständige) Verbrennung der Gase vor sich geht. Zwischen beiden liegt in dessen eine leuchtende Zwischenzone *c*, aus glühendem Kohlenstoff bestehend. Die Gegenwart unverbrannten Kohlenstoffs läßt sich dadurch nachweisen, daß man in diesen Mantel *c* auf kurze Zeit eine Glasscheibe oder ein Kartenblatt *e* wagerecht hineinhält. Beim Herausnehmen desselben zeigt sich, entsprechend dem Querschnitt dieser Zone, ein kreisringförmiger Rußfleck.

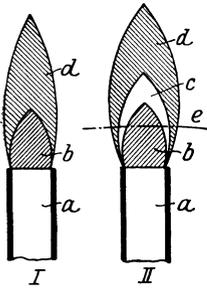
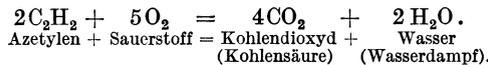


Abb. 86. Flammenaussehen.

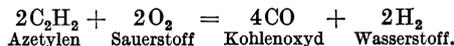
Um die Temperatur einer Flamme zu steigern, bedient man sich der sog. Gebläsebrenner, denen man, je nach Verwendungszweck, die Bezeichnung Heiz-, Löt- oder Schweißbrenner beilegt. Sie werden entweder mit Luftzufuhr (Bunsenbrenner) oder, zwecks Erzielung der erreichbar höchsten Temperaturen, mit Sauerstoffzufuhr (Daniellscher Hahn) versehen; im letzteren Falle liegt der Schweißbrenner vor.

Die Farbe der Flamme wird von den in ihr vorhandenen dampfförmigen Stoffen bestimmt.

Die Azetylen-sauerstoffflamme. Azetylen (C_2H_2) besteht aus zwei Teilen Kohlenstoff und zwei Teilen Wasserstoff. Zur vollständigen Verbrennung von 1 m^3 Azetylen sind $2,5\text{ m}^3$ Sauerstoff (oder $12,5\text{ m}^3$ Luft) erforderlich. Das Mischungsverhältnis beträgt demnach 1:2,5. Um die Dezimale fortzuschaffen, kann man auch sagen 2:5, was dasselbe ist. In die Form einer chemischen Gleichung gebracht, würde man den Verbrennungsvorgang so zu Ausdruck bringen:



Im Brenner kommt das Azetylen zunächst nur mit etwa gleichen Teilen Sauerstoff zusammen, da ja auf die Beteiligung des Luftsauerstoffs an der Verbrennung Rücksicht genommen werden muß. Es findet deshalb vorerst nur eine unvollständige Verbrennung statt, wobei sich folgender Vorgang vollzieht:



Azetylen hat sich also mit Sauerstoff verbunden zu Kohlenoxyd und Wasserstoff. Durch Hinzuziehung des die Flamme umgebenden Luftsauerstoffs schreitet diese unvollständige Verbrennung zu der vollständigen fort nach der Gleichung:



Mit anderen Worten: Teilweise verbrennt der Luftsauerstoff mit dem Kohlenoxydgas zu Kohlensäure (Kohlendioxyd), einem nicht mehr brennbaren Gas; teilweise verbindet er sich mit dem freien Wasserstoff zu Wasser. Wasser und Kohlensäure sind demnach die Erzeugnisse der vollständigen Verbrennung des Azetylens. In Raumprozenten ausgedrückt würde die Azetylenflamme, wie wir sahen, zur vollständigen Verbrennung des Azetylens auf je 1 Teil Azetylen 2,5 Teile Sauerstoff notwendig haben, wobei je Kubikmeter verbrannten Azetylens 2 m^3 Kohlensäure (CO_2) und 1 m^3 Dampf (H_2O) gebildet werden. In der Praxis geht das Bestreben teilweise dahin, das Mischungsverhältnis der beiden Gase im Brenner auf etwa $1 \div 1,1$ bis $1 \div 1,25$ zu bringen, was erhöhte Schweißleistung im Gefolge hat. Wenn wir uns, zum besseren Verständnis, den eben in Form chemischer Gleichungen betrachteten Verbrennungsvorgang zeichnerisch darstellen, dann erhalten wir das Schema Abb. 87, in dem die drei Verbrennungsstufen (Zonen) deutlich zum Ausdruck kommen.

Sehen wir uns nun auf Grund dieser Ausführungen im Vergleich hierzu das Flammenbild in Abb. 79

an, so erkennen wir folgendes: Innerhalb des gewöhnlich als Kern bezeichneten Teiles *D* der Flamme, der dem in Abb. 87 mit leuchtender Hülle bezeichneten Teil entspricht, findet sich ein fast nur mechanisches Gemisch zwischen Sauerstoff und unverbranntem Kohlenstoff vor. Der hell und blendend weiß leuchtende Kern *D* verdankt seine scharfbegrenzte Umrandung dem plötzlichen Zerfall des Azetylens in seine Bestandteile Kohlenstoff und Wasserstoff. Bei kleineren Brennern hat dieser Flammenkern das Aussehen eines schlanken Kegels, der bei steigender Gasmenge und mit zunehmendem Sauerstoffdruck, also mit der Brennergröße, in die Form eines stäbchenartigen, annähernd zylindrischen, vorn am Kopf flach abgerundeten Prismas übergeht. Abweichungen von dieser normalen Form des Flammenkerns, z. B. zu kurzer, zackiger, schiefer, an der Spitze bauchig erweiterter oder auch langer Kern, sind kennzeichnend für entweder schadhafte Brennerbohrungen oder falsche Flammeneinstellung. Die Länge *a* des Kernes läßt sich nicht ohne weiteres für die verschiedenen Brennergrößen festlegen; sie sollte sich im Mittel ungefähr den in Zahlentafel 7 angegebenen Werten nähern. Überdies ist eine Toleranz in der Länge *a* zwischen $+ 25\text{ vH}$ und $- 10\text{ vH}$ unbedingt zulässig; sie ist abhängig vom jeweiligen Sauerstoffdruck. Der ersten Flammenzone, dem Kegel *D*, lagert sich die zweite Zone *B* vor (Schweißzone in Abb. 87, die allerdings nur zeichnerisch angedeutet werden kann, da sie im Flammenbild nicht erkennbar ist), in welcher sich das Erzeugnis der ersten, der unvollständigen Verbrennung vorfindet, und zwar Kohlenoxyd und Wasserstoff. Diesem im Gesamtbilde des Verbrennungsvorgangs nur als Zwischenerzeugnis anzusprechendem Kohlenoxydgas wird der Sauerstoff der Luft zugeführt (Pfeile in Abb. 79), und es verbrennt dann, innerhalb der dritten Flammenzone oder zweiten Verbrennungsstufe, in der meist Streuflamme genannten Oxydationsflamme *A*, zum Verbrennungsenderzeugnis: Kohlensäure und Wasser.

Die wirksamste Stelle der Flamme ist in der Reduktionsflamme *B*, unmittelbar vor dem Kern *D*, bei *C* gelegen und in Abb. 79 und 87 mit einem \times ver-

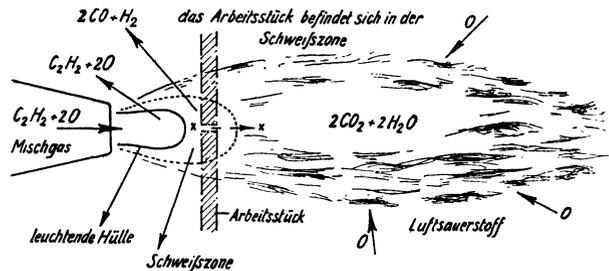


Abb. 87. Azetylen-Sauerstoffflamme.

sehen. An dieser Stelle besteht die höchste Temperatur innerhalb der Flamme. Beim Schweißen muß streng darauf geachtet werden, daß diese Stelle *C* das im Flusse befindliche Schmelzgut trifft, wie dies in Abb. 87 angedeutet ist. Die Temperaturen innerhalb der Flamme schwanken außerordentlich. Kurz vor der Brennerspitze bestehen etwa 300°; in der Mitte der leuchtenden Hülle etwa 600°; an deren Spitze rund 1000°; in der Mitte der Streuf Flamme 2000° und an deren Ende etwa 1200°. Nur in der Schweißzone besteht die höchste Temperatur von 3000÷3500°. Das ist auch der Grund, weshalb die Kupferspitze nicht abschmilzt, wonach häufig gefragt wird. Um einem Irrtum vorzubeugen, sei erwähnt, daß die Darstellung des Flammenbildes, Abb. 79 nicht ganz einwandfrei ist. Die in der Zone *B* gezeichnete Reduktionsflamme darf nicht mit einem Gasüberschuß verwechselt werden. Die dichter zusammenliegenden Linien sollen nur den Bereich der Reduktionszone hervorheben, der ja in Wirklichkeit optisch nicht feststellbar ist und in Abb. 87 deshalb punktiert gezeichnet wurde.

Es wurde schon gesagt, daß der Kern *D* in gewissem Sinne einen Gleichgewichtszustand kennzeichne, wie er zwischen der Verbrennungs- und Ausflußgeschwindigkeit des Gasgemisches besteht. Die Stabilität der Flamme kann nun durch mannigfache Ursachen aufgehoben werden, worauf die Flamme unter lautem Knall ins Brennerinnere zurückschlägt. Der Anlaß zu solchen Flammenrückschlägen (die durch die Wasservorlage unschädlich gemacht werden sollen) kann sein: Verstopfen der Düsenöffnung *p* durch beim Schweißen abspritzende Metallkörnchen oder aus dem Brennerinnern kommende Kohlenstoffteilchen¹, plötzliche Abnahme der Ausflußgeschwindigkeit des Gases durch Verminderung des Sauerstoffdrucks (wie solche beim Einfrieren des Ventils, bei Druckabfall infolge bereits weit fortgeschrittener Flaschenentleerung, bei unabsichtlicher Drosselung des Schlauchquerschnitts infolge Drauftretens usw. eintreten kann), zu starke Erhitzung der Brennermisch- und -schweißdüse u. dgl. Zu diesen Ursachen rein zufälliger Art kommt noch eine Reihe am Brenner selbst auftretender Mängel, z. B. Undichtigkeit bei *s*, Gratbildung an der Düsenbohrung und ähnliches mehr (s. „Behandlung der Brenner“).

Die Gleichheit des Mischungsverhältnisses zwischen den beiden Gasen muß während der ganzen Dauer der Schweißarbeit peinlich überwacht werden, da ein zeitweiliger Überschuß an diesem oder jenem Gase anstatt einer Temperatursteigerung einen Wärmeverbrauch verursacht. Die hin und wieder anzutreffende Meinung, die Flamme durch einen Überschuß an Azetylen „weicher“ zu machen, ist unrichtig. Weich wird die Flamme nur bei geringst bemessener Ausflußgeschwindigkeit des Gasgemisches (unter 120 m/s); Gasüberschuß ist, von wenigen Ausnahmen abgesehen, außerordentlich schädlich, meist schädlicher als ein geringer Überschuß an Sauerstoff. Versuche haben gezeigt, daß gesteigerte Austrittsgeschwindigkeit zwar eine Steigerung der Arbeitsleistung im Gefolge hat, doch sind aus bereits erwähnten Gründen „harte“ Flammen weniger zu empfehlen, da sie, von nicht geübter Hand geführt, zu leicht Fehlschweißungen ergeben können. Bei einer Austrittsgeschwindigkeit von 190 m/s wurde z. B. an einem 10 mm Eisenblech eine um 80 vH verbesserte Schweißleistung festgestellt, bei nebenbei bemerkt etwa 25prozentiger Gesamtgasersparnis (gegenüber Brennern mit geringerem Druck, die entsprechend längere Schweißzeit beanspruchen).

¹ Alle kohlenstoffhaltigen Gase, also auch das Azetylen, haben das Bestreben, ihren Kohlenstoff an heißen, metallischen Körpern in Form von Ruß abzuschleiden. Infolgedessen setzt sich ein Teil des Kohlenstoffs des Azetylens an den Wandungen der Bohrungen von *EF* ab, weshalb auch zeitweise eine gründliche Reinigung des Schweißdüseninneren angebracht ist. Das geschieht am besten durch Auswaschen mit Benzin oder starker Lauge.

Schließlich sei ein mit Entmischung bezeichneter Vorgang erwähnt, der wegen seiner äußerst schädlichen Einwirkung auf das Schweißstück besonderes Interesse verdient. Nach Verlauf eines gewissen Betriebsabschnitts in der Brenner-tätigkeit, tritt, weniger infolge Wärmeableitung von der Flamme her als infolge vom Schweißstück zurückgeworfener Wärmestrahlen, eine erhebliche Erwärmung des Mischkanals *H* (Abb. 79) ein, so daß eine Änderung im Mischungsverhältnis der Gase stattfindet, der man den Namen „Entmischung“ gibt. Es handelt sich bei dieser Erscheinung in erster Linie um eine Abnahme der ursprünglichen, an der Schweißspitze ausströmenden Azetylenmenge, was von der mit wachsender Wärme abnehmenden Dichte des Gases herrührt. Die Dichte ändert sich bei Azetylen ungleich mehr als bei dem infolge seiner Entspannung kälteren Sauerstoff. Letzterer ändert seine Dichte innerhalb des erhitzten Brenners praktisch kaum merklich. Abgesehen von seiner un-günstigen Einwirkung auf das Schweißstück infolge oxydie-rend wirkender Flamme kann auch dieser Vorgang die Ursache von Flammenrückschlägen sein, da ja andere Gasdichteverhält-nisse auch andere Zündungsge-schwindigkeiten bedingen. Die Flamme brennt dann im Brenner-innern weiter, da ja der zur Ver-brennung des Gases notwendige Sauerstoff zugegen ist. Zur Ver-meidung von An- und Ausschmel-zungen metallischer Teile ist es dann von großer Wichtigkeit, den Brennerhahn, insbesondere jenen für Brenngas, sofort ab-zusperren, um ein Weiterbren-nen der Flamme im Innern des Brenners auszuschließen.

Zum Schlusse mögen einige, von einem der Verfasser aufgenommene Lichtbilder das Aussehen der Flamme noch näher kennzeichnen. Abb. 88*a* zeigt die Flamme des ohne Sauerstoffzufuhr verbrennenden Flaschenazetylens; Abb. 88*b* die richtig eingestellte Normalflamme mit Sauerstoffzufuhr. Der stäbchenartige, scharfe Kern geht verloren und macht einem flackernden, helleuchtenden Mantel Platz, sobald ein Überschuß an Azetylen besteht (Abb. 88*c*). Der Kern wird verkürzt, schwach violett gefärbt, und die Gesamtgröße der Flamme stark verringert, wenn ein Überschuß an Sauerstoff besteht (Abb. 88*d*). Ein Überschuß an Sauerstoff darf nicht mit erhöhtem Sauerstoff-druck verwechselt werden. Sauerstoffüberschuß ist gleichbedeutend mit Azetylen-mangel. Endlich veranschaulicht Abb. 88*e* die Flammenbildung, wie sie Brennern mit verstopften oder beschädigten Düsenbohrungen eigentümlich ist.

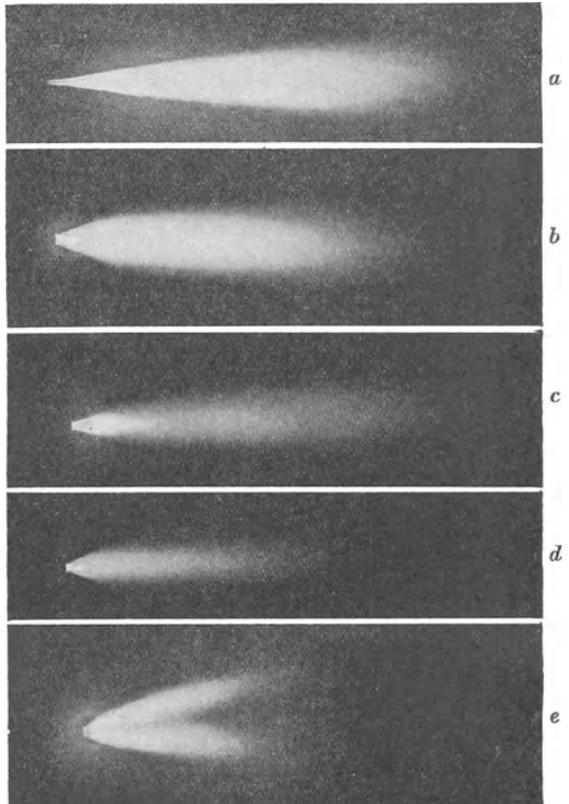
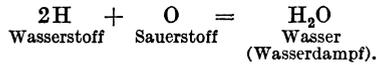


Abb. 88. Azetylenflamme.

Die Wasserstoff-Sauerstoffflamme (Knallgasflamme). Ihr fehlt der scharf-umrissene Kern völlig, und obwohl der Verbrennungsvorgang bei dieser Flammenart bedeutend einfacher ist, ist dennoch die genaue Regulierung der Flamme schwieriger. Die Verbrennung der Wasserstoffflamme geht vor sich nach der Gleichung:



Das Verbrennungsergebnis ist die Verbindung zwischen den beiden Elementen, demnach Wasser bzw. Wasserdampf.

Theoretisch wird zunächst eine vollständige Verbrennung von zwei Raumteilen Wasserstoff mit einem Raumteil Sauerstoff erreicht, wobei eine Flammentemperatur von etwa 3500° entwickelt werden müßte. Leider liegen die praktischen Verhältnisse weit ungünstiger, weil das Verbrennungsprodukt, der Wasserdampf, bei

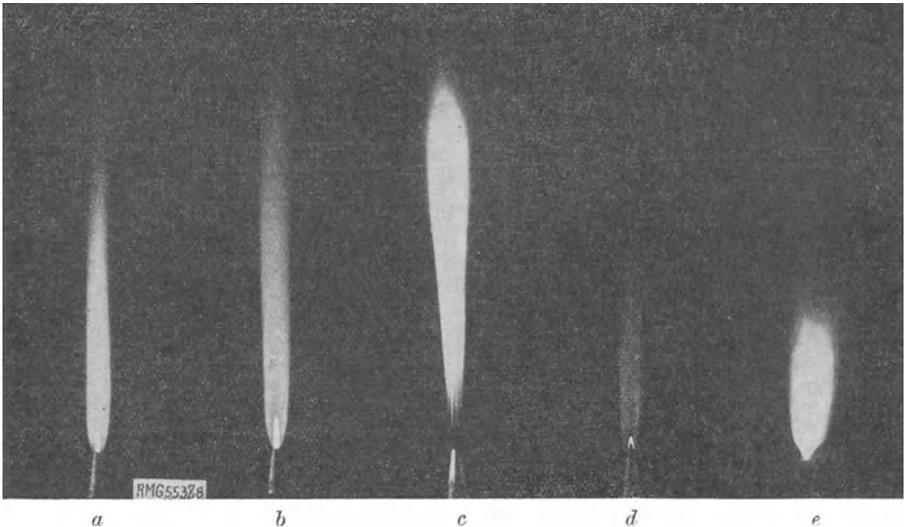


Abb. 89. Verschiedene Brenngas-Sauerstoffflammen.

so hohen Temperaturen in der Flamme nicht beständig ist, sondern in seine Bestandteile, d. h. wieder Wasserstoff und selbständigen Sauerstoff, zerfällt (der Vorgang des chemischen Zerfalls heißt „Dissoziation“). Dieser Zerfall geht auf Kosten der Verbrennungstemperatur vor sich und hat ferner eine Oxydationswirkung des freien Sauerstoffs auf das Schweißgut im Gefolge. Zur Abschwächung dieses üblen Mißstandes, zugleich auch zur Minderung der außerordentlich hohen Zündgeschwindigkeit, gibt man der Flamme einen erheblichen Überschuß an ausgleichend wirkendem Wasserstoff. Das praktische Mischungsverhältnis beträgt vier Raumteile Wasserstoff zu einem Raumteil Sauerstoff, die erzielte Flammentemperatur etwa 2100°.

Die Schwierigkeit in der richtigen Einstellung der Wasserstoffflamme liegt in der überaus mangelhaften Sichtbarkeit des Flammenkegels (entsprechend *D* in Abb. 79) begründet, der sich kaum feststellbar, blau bis hellviolett gefärbt, von der übrigen Flammenmasse schwach abhebt (Abb. 89*d*). Nur ein erfahrener, geübter Schweißer vermag die Wasserstoffflamme zuverlässig einzustellen.

Auch bei dieser Flamme besteht im Innern des Kegels freier Sauerstoff neben freiem Wasserstoff, so daß, ähnlich der Azetylenflamme, eine bestimmte, allein

wirksame Stelle des Flammenkörpers zur Schweißung verwendet werden muß. Diese liegt einige Millimeter vor der Kegelspitze; ein auf der Schweißfläche in der Flammenmitte erscheinender dunkler Punkt ist das einzige Merkmal dafür, daß der Flammenkegel zu nahe an den Werkstoff gekommen ist. Die dunkle Stelle beruht auf der Kühlwirkung des im Kegel vorhandenen, unverbrannten Gasgemisches auf die sonst ringsum durch die übrige Flamme vorgewärmte Metallfläche.

Verschiedene Brenngas-Sauerstoffflammen. Andere Flammen, wie die Benzol- und Leuchtgas-Sauerstoffflamme, sind untergeordneter Natur. Erstere erreicht eine Temperatur von etwa 2500°, letztere von etwa 2000°. Die nächst der Azetylenflamme meist angewandte Benzolflamme ist der Azetylenflamme äußerlich ähnlich; die Leuchtgasflamme gleicht eher der Wasserstoffflamme, unterscheidet sich von dieser aber durch ihren schärferen, deutlicher sichtbaren Kegel. Abb. 89 zeigt der Reihe nach eine Äthan- (a), Äthylen- (b), Methan- (c), Wasserstoff- (d) und Azetylen- (e) Schweißflamme. Die Leuchtgasflamme ähnelt dem Flammenbild von c, die Benzolflamme jenem von b.

c) Behandlung und Handhabung der Brenner.

Behandlung der Brenner. Der Schweißbrenner ist stets sachgemäß zu behandeln, so wie es einem empfindlichen Instrument, von dem man einwandfreies Arbeiten verlangt, zukommt. Der Brenner ist kein Hammer; er darf nicht zum Schlagen, Ausrichten und ähnlichen Handgriffen herangezogen werden; er darf nicht geworfen, und besonders die Düse darf keinerlei Beschädigung ausgesetzt werden. Auf Montagen oder während mehrtägiger Arbeitsunterbrechung im Betrieb ist es ratsam, die Brenner mit den übrigen Schweißgeräten in eigens hierzu vorgesehenen Geräte- (Werkzeug-) kasten unterzubringen, um sie vor Beschädigungen aller Art zu schützen (Abb. 90).

Hat man sich von der Dichtheit der Schlauchanschlüsse am Brenner überzeugt, die zur Ausführung der Schweißarbeiten jeweils notwendige Düsen- oder Brennergröße gewählt und die übrigen Geräte vorschriftsmäßig in Ordnung gebracht, dann probiert man zunächst, ob der Brenner bei geöffnetem Sauerstoffhahn ansaugt und nicht infolge irgendeiner Störung etwa Sauerstoff in die Gasleitung zurückdrückt. Das läßt sich feststellen, wenn man den Finger an den Azetylenanschlußnippel des Brenners hält und die Saugwirkung des Injektors prüft (natürlich bei geöffnetem Brenngashahn am Brenner). Das Anzünden der Flamme erfolgt bei Wasserstoff und Leuchtgas, indem man zuerst das Brenngas allein entzündet und darauf Sauerstoff zugibt. Umgekehrt verfährt man beim Abstellen des Brenners, wobei also zuerst der Sauerstoff und darauf das Brenngas abgestellt wird. Infolge seines hohen Kohlenstoffgehalts verbrennt Azetylen an der Luft mit stark rußender, qualmender Flamme, weshalb man beim Anzünden der Azetylenflamme (auch bei Flaschenazetylen) nie das Gas allein, sondern

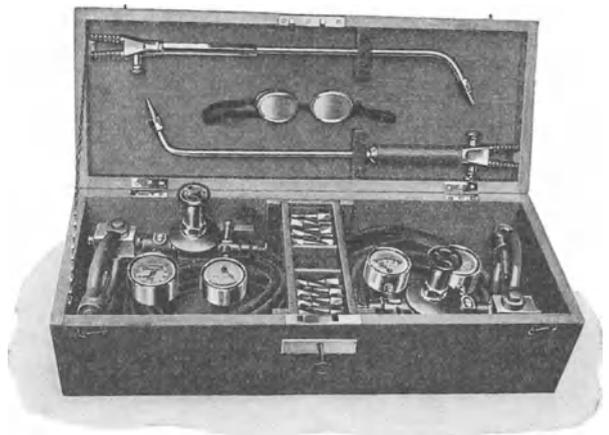


Abb. 90. Gerätekasten.

immer gleich mit der schätzungsweise (oder am Brenner angegebenen) notwendigen Sauerstoffmenge gemischt entzündet. Bei zu hoch eingestelltem Sauerstoffdruck fliegt die Flamme fort, d. h. sie verläßt die Brennermündung und verschwindet schließlich, erlöschend in Richtung des Gasstroms. Zu niedrig eingestellter Sauerstoffdruck führt zum Rückschlag der Flamme ins Brennerinnere. Der beim Anzünden entstehende, mit der Brennergröße zunehmende Knall, welcher auf der großen Zündungsgeschwindigkeit dieses Gasgemisches beruht und durchaus ungefährlich ist, flößt Anfängern häufig Angst ein. Dieser Knall ist vermeidbar, wenn man aus dem Brenner zuerst Sauerstoff allein ausströmen läßt, die Brennermündung über eine Zündflamme hält und dann erst den Azetylenhahn allmählich öffnet, worauf sich die Flamme mit zischendem Geräusch entzündet. Damit die Zündflamme durch den hohen Sauerstoffdruck nicht ausgelöscht wird, muß der Brenner beim Anzünden so gehalten werden, daß seine Düse mit der Flammen spitze nach oben einen spitzen Winkel bildet. Auf Funkenzündung (mittels Cer-eisenfeuerzeugs) findet diese Maßnahme keine Anwendung. Umgekehrt wie beim Anzünden hat das Abstellen des Brenners zu geschehen. Ist am Brenner ein Doppelhahn angebracht, so werden beide Gase ja gemeinsam abgesperrt; andernfalls schließt man zuerst den Azetylenhahn, darauf das Sauerstoffventil. Geschieht das An- und Abstellen des Brenners gegen diese Regeln, so ist fast immer Flammenrückschlag zu erwarten.

Da infolge des flackernden Mantels ein Gasüberschuß (Abb. 88c) um ein Vielfaches leichter erkennbar ist als ein Sauerstoffüberschuß, so erfolgt die Regulierung des Brenners ausnahmslos derart, daß man vom Gasüberschuß auf den normalen, scharfbegrenzten Flammenkern herunterdrosselt (am Gashahn), d. h. man gibt der Flamme zunächst zuviel Brenngas und regelt so lange am Gashahn, bis sich der vorschriftsmäßige Flammenkern bildet. Die Regulierungen für die Feineinstellung der Flamme werden also stets am Brennerhahn, niemals am Druckminderventil oder an der Vorlage vorgenommen.

Tritt aus irgendeiner Ursache Flammenrückschlag ein, ganz gleich bei welcher Gasart und Brennerkonstruktion, so darf nie, wie man dies bei Neulingen öfter sieht, der Brenner aus unbegründeter Furcht fortgeworfen, vielmehr muß er abgesperrt werden, indem der Hahn für Brenngas, am besten auch der für Sauerstoff, geschlossen wird. Geschieht dies nicht, so brennt die zurückgeschlagene Flamme heftig zischend im Brennerinnern weiter (der Brenner „hustet“, wie der Schweißer sagt). Nach einer Arbeitspause von etwa 10 s wird sich in den meisten Fällen die normale Flamme wieder einstellen lassen. Geöffnet werden dürfen die Brennerhähne jedenfalls erst, nachdem das Zischen im Innern aufgehört hat und die Flamme erstickt ist. Die vielen Schweißern eigentümliche Unsitte, die zurückschlagende Flamme durch Aufstoßen der Schweißspitzenbohrung auf Eisenplatten zu ersticken, ist unter allen Umständen zu vermeiden, insbesondere bei geöffneten Brennerhähnen; denn diese widersinnige Handlung leitet die Flamme, bzw. das Gasgemisch, gewaltsam zur Brenngasleitung zurück und hat fast immer eine Beschädigung der Spitzenbohrung und schlechte Flammenbildung (Abb. 88e) zur Folge.

Die Reinigung verstopfter Düsenbohrungen muß ebenfalls, zur Verhinderung von Ausweitungen der Düsenbohrung, recht sorgfältig durchgeführt werden. Man bedient sich hierzu am besten eines Stückchen konischen, harten Rundholzes oder einer Messing- oder Kupfernadel (Draht), damit die Spitze nicht aufgerieben wird. Stark verstopfte Düsen sind mittels Spiralbohrer passender Stärke zu reinigen, und zwar stets bei abgeschraubter Spitze von innen nach außen. Bei Brennern mit hart aufgelöteten Spitzen wird nur Holz oder Messing-

draht verwendet. An der Austrittsöffnung der Düse sitzender Grat ist durch leichten, behutsamen Feilstrich mit einer feinen Schlichtfeile oder auch mit feinem Schmirgelleinen, zu entfernen. Schwach aufgeweitete Austrittsöffnungen können durch sanften Schlag mit einem Niethämmerchen auf die Fläche des abgestumpften Düsenkegels gestaucht werden; darauf folgt leichtes Aufreiben und Runden mit der Reibahle. Durch häufiges Reinigen stark aufgeweitete Spitzen sind durch neue zu ersetzen. Von Zeit zu Zeit ist das ganze Brennerinnere gründlich zu reinigen, indem man Dampf von $1 \div 2$ at statt der Gase durch den Brenner leitet, wodurch aller Schmutz, Rost, Kohlenstoff (Ruß) usw. abgelöst und ausgeblasen wird. Zur Säuberung können außerdem Seifenwasser, Lauge, Benzin u. ähnl. dienen.

Handelt es sich um die Schweißung größerer Werkstücke oder um Schweißarbeiten in Hohlkörpern, in Ecken, oder sonst beengten Stellen, wo umfangreiche Wärmestrahlung des Schweißguts schnelle und starke Erhitzung der Spitze zur Folge hat, dann ist zeitweiliges Kühlen der Brennerspitze unerlässlich; sie werden sonst zu heiß, und es tritt infolge der vergrößerten Zündungsgeschwindigkeit der erhitzten Gase Flammenrückschlag ein. Wie oft die Kühlung zu erfolgen hat, dafür läßt sich eine bindende Regel nicht aufstellen; das beste Kennzeichen ist die außergewöhnliche, schlechte Flammenkernbildung. Die Kühlung des Brenners aus Gründen zu starker Erwärmung oder daraus folgenden Knallens (Flammenrückschlag) ist am wirksamsten, wenn man ihn in ein immer bereitstehendes, mit kaltem Wasser gefülltes Gefäß einige Sekunden eintaucht; hierbei ist die Brenngaszufuhr (am Brennerhahn) auszuschalten, da sonst die Flamme im Brenner bei Rückschlag trotzdem weiterbrennen kann. Außerdem kann das unter Wasser angesammelte Gas, durch Funkenflug oder sonst welche Ursache zur Zündung gebracht, heftige Explosionen und eine Zerspaltung des Kühlwassergefäßes herbeiführen. Nichtbeachtung dieser Vorsichtsmaßregel hat vielerorts Unglücksfälle heraufbeschworen. Indessen ist es empfehlenswert, Sauerstoff ausströmen zu lassen, damit kein Wasser ins Brennerinnere gelangt.

Zur Verhütung des Abschmelzens der Brennerspitze ist auf richtige Haltung des Brenners zu achten (s. später). Metallteilchen, winzig kleine Körnchen, welche vom Schweißgut abspritzen und sich mit der Zeit schichtenförmig an der Spitze ablagern, entfernt man zweckmäßig mittels feiner Schmirgelleinwand. Durch die Hitze tritt eine Dehnung des Kupfers ein, so daß sich die Kupferspitze, sofern sie nicht hart aufgelötet ist, mit der Zeit im Gewinde (bei s Abb. 79) lockert, und an dieser Stelle die Flamme unter lebhaftem Knistern herausschlägt. Dieser Mangel wird durch zeitweiliges vorsichtiges Anziehen des Gewindes mittels passender Schraubenschlüssel abgestellt.

Bei dieser Gelegenheit sei auf stets vorsichtigen Umgang mit der Schweißflamme hingewiesen. Unbesonnenes, auch protzenhaft theatralisches Hantieren und Herumfuchteln mit der Flamme hat nicht selten dem Schweißer selbst, wie seinen Mitarbeitern bedeutende Brandwunden eingetragen. Wird ein größeres Schweißgut mit zwei oder mehr Brennern zu gleicher Zeit bearbeitet, so ist erhöhte Vorsicht im Umgange mit der Flamme geboten. Die im Leben so oft wiederkehrende Tatsache, daß Menschen, einmal an bekannte Gefahren gewöhnt, leichtsinnigerweise mit ihnen spielen, wiederholt sich leider auch hier. Es erscheint angebracht, den Anfänger vor Nachahmung so ungehöriger Eigenarten zu warnen. Von der, man könnte sagen sprichwörtlich gewordenen, z. T. maßlosen Selbstüberhebung vieler Schweißer, besonders der Elektroschweißer, bis zu einer gewissen Art von Größenwahnsinn ist mitunter nur ein kleiner Sprung. Gutes Schweißen ist aber nur von den Kenntnissen, dem Geschick und der über-

legenen Ruhe eines gewissenhaften, tüchtigen Schweißers abhängig, nie von Fertigkeit und wertloser Überanstrengung vorlauten Mundwerks.

Während kurzer Arbeitsunterbrechung abgelegte, noch angezündete Brenner müssen so gelegt werden, daß sie sich weder überschlagen, noch ihre Lage selbsttätig verändern können. Zu diesem Zweck ist die Benutzung von Brennergestellen oder auch sog. Gassparapparaten (s. nächsten Unterabschnitt) empfehlenswert.

Undichte Brennerhähne, die durch leichtes Anziehen der Hahnkegel nicht dicht zu bringen sind, müssen neu eingeschliffen werden, wozu am besten ein breiiges Gemisch von Öl und Glaspulver verwendet wird. Vorsicht beim Schleifen! Nicht zu stark aufdrücken, damit keine Kratzer und Rillen an den Dichtungsflächen entstehen. Nachher ist das Schleifmittel restlos zu entfernen und der Hahnkegel mit Hahnfett (Gemisch von Wachs und Talg) gut einzuschmieren. Das Fett schützt die metallischen Gleitflächen gegen rasche Abnutzung und bewirkt Dichtheit der Hähne.

Bezüglich der Behandlung von Spezialbrennern und solchen für flüssige Brennstoffe halte man sich an die jeweils besonderen Bedienungsvorschriften.

Zusammenfassung der Behandlung der Schweißbrenner.

1. Der Brenner ist vorsichtig zu behandeln; er darf weder gestoßen noch geworfen, noch als Hammer benutzt werden.

2. Auf Montage und während längerer Arbeitsunterbrechung ist der Brenner in zweckmäßigen Werkzeugkasten aufzubewahren.

3. Vor Entzündung der Flamme sind die Schlauchanschlüsse am Brenner auf Dichtigkeit zu prüfen.

4. Prüfen, ob Sauerstoff am Brenngasnippel saugt.

5. Die Zündung kann an offener Flamme, an glühenden Körpern oder mittels Gasanzünder erfolgen.

6. Bei Brennern für Wasserstoff und Leuchtgas wird stets zuerst das Brenngas allein entzündet, darauf wird Sauerstoff zugegeben.

7. Beim Absperrn dieser Brenner wird umgekehrt zunächst der Sauerstoff und dann das Brenngas abgestellt (bei Doppelhähnen natürlich beide Gase gleichzeitig).

8. Die Azetylenflamme wird gleich mit Sauerstoffzufuhr entzündet.

9. Ist kein Doppelhahn vorhanden, so ist beim Azetylenbrenner zuerst der Azetylenhahn und darauf der Hahn für Sauerstoff zu schließen.

10. Tritt Flammenrückschlag ins Brennerinnere ein, ist die Brenngaszufuhr sofort abzusperren, bis die Flamme erloschen ist.

11. Die Brenner sind während des Betriebes zeitweise in bereitstehenden Wassergefäßen durch Eintauchen zu kühlen, wobei jedesmal der Hahn für Brenngas abzusperren ist.

12. Angezündete Brenner müssen vorsichtig aus der Hand gelegt werden, und zwar so, daß sie nicht selbständig ihre Lage verändern können. Es ist unter allen Umständen unstatthaft, daß angezündete Brenner an den Gasflaschen aufgehängt werden, da hierbei leicht Anschmelzungen der letzteren und heftige Explosionen eintreten können.

13. Mit der Schweißflamme muß vorsichtig hantiert werden; Herumfucheln ist streng zu unterlassen.

14. Undichtigkeiten am Brenner sind sofort zu beseitigen. Undichte Hähne sind nachzuschleifen, mit Hahnfett zu versehen, erforderlichenfalls gegen neue auszutauschen.

15. Verstopfte Düsenbohrungen werden von außen mittels zylindrischen Rundholzes oder Messingnadeln, von innen mittels eiserner Reinigungsnadeln (nach Abschrauben der Spitze) gereinigt.

16. Durch öfteres Reinigen aufgeriebene Düsenbohrungen können durch vorsichtiges Stauchen und nachheriges, sorgfältiges Aufreiben ausgebessert werden. Stark ausgeweitete Schweißspitzen sind durch neue zu ersetzen.

17. Anhaftende Metallteilchen werden durch leichtes Feilen (Schlichtfeile) oder mittels Schmirgelleinen von der Schweißspitze entfernt.

Handhabung der Brenner. Die Handhabung des Brenners im Einzelfalle, beim Schweißen dünnen und starken Werkstoffs und beim Arbeiten mit den verschiedenen Metallen, soll im Abschnitt III an entsprechenden Stellen eingehend berücksichtigt werden. Hier sind daher nur zusammenfassende, allgemeine Erläuterungen zu geben.

Es ist uns bekannt, daß die Mischdüse mit dem Schaft des Brenners meist einen Winkel von etwa 135° bildet. Daraus ergibt sich bei Parallelführung des Schaftes (Handrohrs) mit der Schweißfläche ein Anstellungswinkel von etwa 45° (Abb. 91), wie er für die Schweißung der am häufigsten vorkommenden Blechstärken von $1 \div 5$ mm gerade passend ist. Zur Schweißung schwächerer Bleche (unter 1 mm) ist ein so großer Anstellungswinkel des Brenners weniger günstig, da durch die starke Wirkung der den Werkstoff scharf treffenden Flamme im Zuge der Schweißrichtung leicht Löcher ins Blech eingeschmolzen werden. Man wird daher bei schwachen Blechen aus Zweckmäßigkeitsgründen dem Brenner einen geringeren Anstellungswinkel geben, etwa 25° (d Abb. 91).

Zur Verhütung des Fortblasens geschmolzenen Metalles aus der Schweißfuge auf noch kalte, nicht im Flusse befindliche Metallstellen erhöht man bei Verwendung stärkerer Brenner (bei Blechen über 4 mm) den Anstellungswinkel über 45 hinaus, bis dieser bei Blechen von mehr als 8 mm Dicke schließlich 90° erreicht. Dadurch ist auch eine bessere Durchschweißung der gesamten Blechstärke gewährleistet. Wir erkennen also, daß sich die Haltung des Brenners in erster Linie nach der Blechstärke richtet, und daß der Schweißwinkel mit zunehmender Blechstärke von mindestens 25° bis auf höchstens 90° anwächst. Außerdem sind bei allen Schweißnähten drei verschiedene Schweißgeschwindigkeiten zu unterscheiden. Zunächst wird bei Beginn der Schweißung der größere Teil der Flammenwärme an den Werkstoff abgeleitet; es dauert eine gewisse Zeit (entsprechend dem Wärmeleitvermögen des Metalles), bis die Schweißstelle in Fluß kommt. Man wird darum die Flamme zu Arbeitsbeginn möglichst senkrecht auf das Schweißgut halten, um es rascher örtlich zu verflüssigen (c Abb. 91). Dann tritt, nach dieser verzögerten Arbeitsgeschwindigkeit, die normale ein, während welcher der Brenner in der vorhin beschriebenen Weise geführt wird. Gegen Ende der Schweißnaht staut sich die Wärme, da ja die Flamme der Kante des Blechs immer näher kommt. Man merkt das sehr bald daran, daß die Naht das Bestreben hat, breiter zu werden. Das darf aber nicht sein; die Schweißnaht soll auf ihre ganze Länge gleiche Breite haben. Aus diesem Grunde muß, um der beschleunigten Arbeitsgeschwindigkeit gegen Ende der Schweißung Rechnung zu tragen, die Flamme wieder schräger gehalten werden, damit die Vorwärmeflamme (a Abb. 91) über das Blech mehr

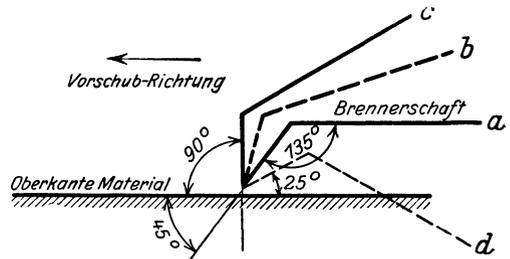


Abb. 91. Anstellungswinkel des Schweißbrenners.

hinwegstreicht und den Werkstoff nicht zu stark erhitzt. Zeichnerisch dargestellt, würden die drei Schweißgeschwindigkeiten dadurch zum Ausdruck kommen, daß vom Nullpunkte aus zunächst die Kurve langsam ansteige, dann eine gerade Strecke entstände (normale Geschwindigkeit) und schließlich wieder eine mehr oder weniger steil verlaufende Kurvenstrecke die gegen Ende der Arbeit beschleunigte Schweißgeschwindigkeit darstellte.

Das Aussehen der beim Schweißen sich bildenden schuppenförmigen Naht hängt vom Anstellwinkel ab. Die in Abb. 92 bei *e* gezeigte Naht deutet auf steile Brennerhaltung, also auf großen Schweißwinkel hin; es handelt sich um stärkeres Blech. Ähnlich wurde der Brenner beim Ziehen (Schweißen) der Naht *b* gehalten. Dagegen läßt die Naht *c* einen kleinen Anstellwinkel, also sehr schräge Brennerhaltung erkennen.

In allen diesen Fällen erfolgt der Vorschub des Brenners, d. h. dessen Bewegung, in Richtung der Pfeile in Abb. 92.

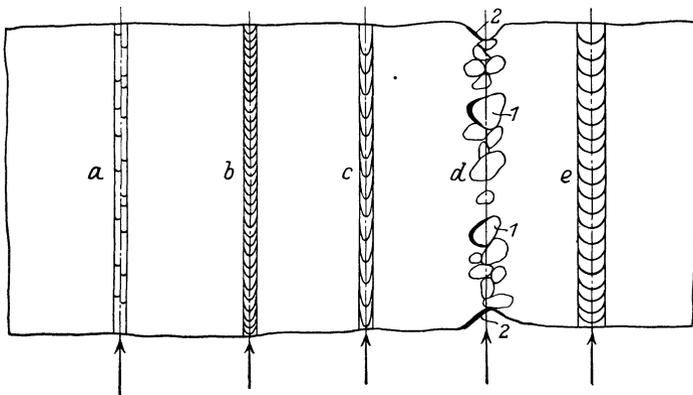


Abb. 92. Aussehen der Schweißnaht.

Zur Zeit ist die Frage der zweckmäßigen Brennerführung, d. h. der vorteilhaftesten Schweißrichtung nach vielen Jahren wieder in den Vordergrund der Schweißtechnik getreten. Man glaubt beim Schweißen in der der bisher üblichen Richtung (nach vorne), die man als Linksschweißung bezeichnet, entgegengesetzten Richtung (rückwärts), bei der sog. Rechtsschweißung bessere technische und wirtschaftliche Ergebnisse zu erzielen. Bei dieser neuen Schweißungsart wird der Brenner von links nach rechts geführt, ohne seitliche Pendelbewegungen auszuführen. Dagegen wird der Schweißdraht, der hinter der Flamme geführt wird, in der Schweißmulde zickzackförmig bewegt. Der Brenner wird viel steiler gehalten als bei der alten Schweißrichtung. Da ausreichende Erfahrungen hierüber noch nicht vorliegen, haben wir von einer ausführlichen Schilderung der Abweichung vom bisher allein gebräuchlichen Verfahren Abstand genommen.

Bei unseren bisherigen Betrachtungen wurde angenommen, daß der Brennerschaft in Richtung der Schweißnaht geführt wird. Das läßt sich aber nicht immer durchführen. Beim Schweißen dünner Bleche deshalb nicht, weil das Schaftende des Brenners auf der Blechoberfläche schleifen und das Schlauchmaterial beschädigt würde, oder bei noch geringerem Schweißwinkel (von ca. 25° , Abb. 91d) der Schaft des Brenners in den zu schweißenden Werkstoff hineinragen, müßte, was natürlich unmöglich ist. Beim Schweißen starker Bleche aber ist die ausstrahlende und zurückgestrahlte Wärme so heftig, daß die den Brenner führende Hand des Schweißers Brandwunden erleiden würde, es sei denn, sie wäre durch

einen wassergetränkten Asbesthandschuh geschützt, was wieder aus technischen Rücksichten — die behandschuhte Hand verliert an Sicherheit und Bewegungsfreiheit — meistens unzweckmäßig ist. Kurz, in solchen Fällen wird der Brennerschaft nicht in Richtung der Schweißnaht geführt, sondern in rechtem Winkel zu dieser, wodurch die Bewegung des Brenners nicht beeinträchtigt wird und andererseits die führende Hand nicht über, sondern neben der Naht entlang geht. Im übrigen richtet sich die Brennerführung in der Hauptsache nach der Form des Schweißguts und der Stellung, welche der Schweißer zu diesem einnehmen muß.

Grundbedingung bei jeder Brennerhaltung ist: die Spitze des Flammenkerns — vor allem beim Azetylenbrenner, von welchem nunmehr ausschließlich die Rede ist, sofern nichts anderes gesagt wird — muß, je nach Flammengröße, 3 ÷ 5 mm von der Oberfläche des im Flusse befindlichen Werkstoffs entfernt bleiben. Hiergegen verstoßen die Schweißer sehr häufig. Wir wissen, daß die Stelle der Flamme, die den Werkstoff treffen soll, dem in Abb. 79 und 87 mit einem × gekennzeichneten Punkte entspricht. Außerdem hat das Eintauchen des Flammenkerns in das Schmelzbad eine starke Erhitzung der Schweißdüse und demzufolge heftiges Knallen des Brenners, schlimmstenfalls sogar Abschmelzung der Kupferspitze zur Folge. Durch eine Verkürzung der Entfernung zwischen Brennerdüse und Werkstoffoberkante wird ferner die lebendige Kraft der zu nahe gebrachten Flamme erhebliche Mengen geschmolzenen Metalles aus dem Bett des Schmelzbades herauschleudern und unsaubere, schlecht verbundene Schweißstellen erzeugen.

Die einfachste Brennerbewegung ist natürlich die, bei welcher der Vorschub des Brenners gleichmäßig und geradlinig entlang der Stoßfuge erfolgt, wie dies allen maschinell geführten Brennern (Schweißmaschinen) eigentümlich ist.

Von Hand ist die geradlinige Brennerbewegung nur beim Schweißen schwacher oder hochkantig nebeneinandergelegter, gebördelter Bleche zugänglich, wobei lediglich ein Zusammenschmelzen des Werkstoffs ohne Werkstoffzugabe (also ohne Schweißdraht) angestrebt wird. Auf diese Weise entsteht eine sehr schmale, flache und meist gewölbte (konvexe), dabei gleichmäßig saubere Naht von einem der Lötnaht ähnlichen Aussehen, Abb. 92*a*. In der Mehrzahl der Fälle ist es aber Bedingung, daß in die Schweißfuge Ergänzungswerkstoff mit eingeschmolzen werden muß. Dann kann ein gleichmäßiges Gefüge in der Naht nur entstehen, wenn die beiden Blechkanten abwechselnd mit der Flamme bestrichen und in die Schweißfuge mit eingeschmolzen werden.

In Abb. 93 ist die Verschiedenartigkeit der Brennerbewegung schematisch dargestellt. Man hat sich die Kurven durch Beobachtung der Bewegung der Brennerspitze von oben entstanden zu denken. Die Kurve *a* können wir damit abtun, daß sie eine nur selten anzutreffende wellenförmige Bewegung des Brenners voraussetzt. Die meisten Schweißer bewegen den Brenner in der bei *b* wiedergegebenen Weise, wobei eine Kette kreissegmentartiger Pendelbewegungen entsteht. Die Flamme wird während des Vorschubs von der Mitte der Naht (wo die Blechkanten stumpf zusammenstoßen; die Stellen sind in Abb. 92 und 93 strichpunktirt gezeichnet)

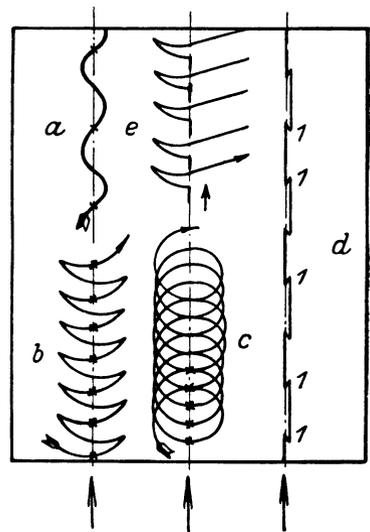


Abb. 93. Brennerbewegung beim Schweißen.

nach links und rechts in gleichen Abständen hin- und herbewegt. Diese Brennerführung ist für Bleche von 1 mm Stärke an aufwärts bis zu den größten Abmessungen anzutreffen. Starke Bleche (über 5 mm) schweißt man vorteilhafter unter Ausübung einer der Kurve *c* ähnlichen, spiralförmigen Kreisbewegung, wobei, wie bekannt, der Brenner auch etwas steiler zu halten ist. Beide Bewegungen ergeben schuppenförmige Schweißnähte, und die Gleichmäßigkeit der Schuppenkette ist vom Grade ruhiger, ruckloser Führung des Brenners abhängig.

Neben den aus erfinderischer Tätigkeit selbstbewußter Schweißer hervorgegangenen, minderwertigen Brennerbewegungen mancherlei Art hat sich, wenn auch glücklicherweise selten, eine ebenso schlechte als widersinnige Flammenführung eingebürgert entsprechend dem Bewegungsschema Abb. 93e. Die Flamme wird ein kurzes Stück auf der Mitte der Stoßfuge geradegeführt, nach links oder rechts, jedoch nur nach einer Seite, segmentbogenartig bewegt; dann läßt man sie bei jedesmaligem Vorschub seitlich abgleiten. Das ist schon aus dem Grunde falsch, weil beim Abgleiten der Flamme die hocherhitzte Schweißstelle jedesmal der oxydierenden Einwirkung des Luftsauerstoffs ausgesetzt wird. Diese und alle ähnlichen Brennerbewegungsarten sind entschieden zu meiden. Während der ganzen Dauer der Schweißung darf die Flamme nicht von der Naht abgehoben werden.

Das tropfenweise Einschmelzen des Endes des (linkshändig geführten) Schweißstabes in die Schweißfuge erfolgt an den mit \times in Abb. 93 gekennzeichneten Stellen, demnach immer nur dann, wenn die Flamme die Mitte der Stoßfuge trifft. Es mag dieser Hinweis zunächst als unausführbar angesehen werden, da diese fast maschinenmäßige Führung von Brenner und Schweißdraht zu schwierig erscheint und dem Gefühle des Schweißers zu wenig Spiel läßt. Dem erfahrenen Schweißer bleibt die von ihm geübte Arbeitsweise — sofern sie zweckmäßig ist — auch ohne weiteres belassen. Die oben angegebene Brennerführung ist bei einiger Übung immer durchführbar und hat sich durchaus bewährt.

Endlich sei noch eine häufiger anzutreffende, richtige Art der Brennerbewegung erwähnt. Zwar ist ihre zeichnerische Darstellung, *d* Abb. 93, nicht ganz richtig, weil die Bewegung von allen Seiten gesehen im Zuge einer geraden Linie (also ohne Auf- und Abwärtsheben und ohne seitliche Ablenkung) verläuft, doch dürfte das Schema *d* im Zusammenhang mit der folgenden Erklärung gut verständlich sein. Die Arbeitsweise ist nämlich die, daß bei jedesmaligem Vorschub der Flamme Zusatzwerkstoff eingeschmolzen und darauf die Flamme um eine kurze Strecke bei 1) in der Wagerechten zurückgezogen wird, bis der Werkstoff völlig planiert ist. Darauf wird die Flamme ein längeres Stück vorgeschoben, Werkstoff aufgetragen, Flamme zurückgezogen usw. Die Flamme streicht demnach nur vor- und rückwärts, und diese Bewegungsart ist bis zu 5 mm Blechstärke sehr vorteilhaft anwendbar, da sie ein gutes Verschmelzen des neu aufgetropften Metalls mit dem Grundwerkstoff verbürgt.

Beim Zusammenschweißen ungleich starker Bleche ist selbstredend die Flamme immer mehr auf den die größere Masse ausmachenden Teil, bei Blechen also auf das stärkere zu halten, damit beide Teile an der Schweißstelle möglichst gleichzeitig flüssig werden. Künftighin ist die Richtung, in welcher die Flamme das Schweißgut treffen soll, in allen Abbildungen durch kleine Pfeile angedeutet.

Der von ungeübten, lernenden Schweißern ausgeführten Naht fehlt jede Gleichmäßigkeit. Der aufgeschweißte Zulegeworkstoff ist ganz wahllos, meist auf noch nicht im Flusse befindliche Stellen aufgetragen; die Enden des Blechstoßes (2, Abb. 92*d*) sind ausgeschmolzen, und die angeklebten „Patzten“ liegen häufig zu zweit und zu dritt nebeneinander, ohne daß sie miteinander verbunden sind.

Mitunter ist die Flamme vorgeeilt, ohne die Blechkanten überhaupt geschmolzen zu haben, mitunter bilden sich auch Löcher (1, Abb. 92*d*), die, beim Versuch sie zuzuschweißen, mangels Übung im Verfahren, statt kleiner immer größer werden. Solche Nähte sind naturgemäß vollkommen unbrauchbar.

Muß die Schweißung der Naht aus irgendeinem Grunde vorzeitig unterbrochen werden (Gasmangel, Arbeitspause, Ausrichten usw.), dann ist darauf zu achten, daß das Ende der bereits geschweißten Naht vorm Auftragen neuen Eisens ein Stück gut angewärmt und auf 5–20 mm Länge (je nach Blechstärke) geschmolzen wird, damit die Stelle, an der die Arbeit unterbrochen wurde, nicht geklebt und undicht wird. Es ist stets Wert darauf zu legen, die Schweißarbeiten möglichst ohne Unterbrechungen zu Ende zu führen.

C. Das Schweißzubehör.

1. Schläuche.

Die Verbindung zwischen Schweiß-, Löt- oder Schneidbrenner einerseits und den Gasquellen Sauerstoff (Druckminderventil) und Brenngas (Druckminderventil oder Wasservorlage) andererseits wird ausschließlich durch Gummischläuche hergestellt. Mit Rücksicht auf wohl immer erforderliche Bewegungsfreiheit sollte weniger als 3 m Schlauchlänge nicht in Frage kommen; abgesehen davon ist auch eine Entfernung der Flamme vom Azetylenerzeuger von mindestens 3 m vorgeschrieben. Natürlich richtet sich die Schlauchlänge auch nach den örtlichen Verhältnissen der Schweißanlage. Der Schlauch muß aus bestem Gummi hergestellt und mit ein oder zwei Hanfeinlagen sowie leinenen Umlagen (Umwicklung) versehen sein. Gewöhnlicher Gasschlauch kann nicht verwendet werden. Wandstärke und Bohrung des Schlauchs sind vom durchgeleiteten Gasdruck und von der Größe des Brenneranschlusses abhängig; für Brenngas ist allgemein eine Wandstärke von 3 mm, für Sauerstoff eine solche von 4 mm ausreichend. Die den Ventil- und Brenneranschlüssen angepaßten, lichten Schlauchdurchmesser betragen für Sauerstoff meist 7–9 mm, für Brenngas 8–10 mm. Die Industrienormen sehen als Mindestwandstärke 2,5 mm, als lichte Schlauchweite für Sauerstoff 6 mm, für Brenngas 9 und 11 mm (letzteren Wert bei hohem Verbrauch) vor. Um Verwechslungen vorzubeugen, ist es gut, Schläuche mit bestimmten Farben (Brenngas rot, Sauerstoff schwarz oder grau) zu wählen. Neue Schläuche müssen vor Verwendung gut ausgeblasen und von Talkumstaub, der von der Herstellung herrührt, gesäubert werden, damit sich die Brennerbohrungen nicht verstopfen.

Von der Behandlung der Gummischläuche hängt zum großen Teil die Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit einer Schweißanlage ab. Dauernder Dichtigkeit der Schläuche, besonders der Anschlüsse, ist besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden, wenn Gasverluste und Gefahren verhütet werden sollen. Die Befestigung der Schläuche an den jeweiligen Anschlußstücken hat ausnahmslos durch geeignete Schlauchklemmen zu erfolgen. Häufiges Umwickeln mit Draht und wieder Lösen des Drahts führt rasch zur Zerstörung der Schlauchenden, die nach und nach abgeschnitten werden müssen, bis schließlich der ganze Schlauch verschnitten ist. Beim Schweißen, noch mehr beim Schneiden, ist für richtige Lage der Schläuche zu sorgen, am besten erhöht vom Fußboden, damit man nicht darauf herumtritt, und sie von abfliegenden und abtropfenden, glühenden oder geschmolzenen Eisenteilchen nicht verbrannt werden. Tritt eine Undichtigkeit im Schlauche auf (Riß, Loch, durchlässige Stelle), die durch einfaches Umwickeln mit Isolierband nicht zu beheben ist, so schneidet man die Schlauchlänge an dieser Quer-

schnittsstelle durch und verfährt nach Abb. 94, indem man die beiden Schlauchenden auf ein in ihre Bohrung passendes Metallröhrchen aufschiebt und durch 1,5÷2 mm starken Messing- oder Kupferdraht in genügend langer Umwicklung befestigt. Hier wird Draht verwendet, weil die Verbindung ständig bestehen bleibt.

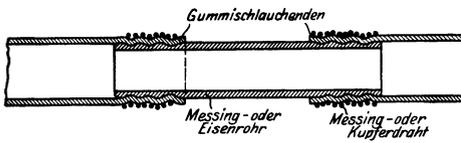


Abb. 94. Verbindung zweier Schlauchenden.

Wenngleich diese Schläuche Arbeitsdrücke von 10 at, wie sie auch für normale Schneidarbeiten immer ausreichend sind, ohne weiteres aushalten, erfordert das Schneiden sehr starker

Werkstücke höhere Sauerstoffdrücke und entsprechend widerstandsfähigeren Sauerstoffschlauch. Man verwendet dann sog. Hochdruck- oder Panzerschlauch, dessen innerer, vielfach mit Hanfeinlagen versehener Kern aus Gummi, entweder mit einem engmaschigen Stahldrahtgewebe oder mit biegsamem Stahlschlauchmantel umgeben ist. Wo nicht unbedingt erforderlich, sollte man von Verwendung solcher empfindlicher und schwer auszubessernder Schläuche besser Abstand nehmen. Mitunter genügt schon ein mit Stahldraht umwickelter Gummischlauch mit guter Hanfeinlage.

Das Einknicken des Schlauches (an den Übergangsstellen zu den Schlauchanschlußnippeln am Brenner und an der Vorlage) kann durch Überziehen dieser Schlauchenden mit einer versteifenden Stahldrahtspirale verhindert werden.

2. Brillen.

Zur Ausrüstung des Schweißers gehört eine mit dunklen Gläsern versehene Schutzbrille. Man trifft zuweilen Gehäuse-, zuweilen Muschel- und auch klappbare Brillen mit blauen, grünen und grauen Gläsern an, wovon die letztgenannten für das Schmelzschweißen am geeignetsten sind. Wahl der Form, Ausführung und Beschaffenheit der Brillen kann dem Geschmack und der Gewohnheit des Arbeiters überlassen bleiben. Die Brille soll nur nicht aus brennbaren Stoffen (z. B. nicht aus Horn oder Zelluloid) bestehen; metallische Teile der Brille sollen die Haut nicht unmittelbar berühren. Seitenschutz an der Brille ist vorteilhaft (Abb. 115), wird der Wärme wegen aber vielfach als lästig empfunden und muß so angeordnet sein, daß die Gläser nicht beschlagen.

Auch beim Schneiden ist das Tragen einer, weniger gegen die große Lichtfülle als gegen sprühende, glühende Eisen- und Oxydteilchen schützenden Brille sehr zu empfehlen. Es genügt hier unter Umständen schon eine engmaschige Drahtgeflechtbrille mit Ledereinfassung (ohne Glas).

3. Verschiedenes Zubehör.

Zur Reinigung der Düsenbohrungen in Schweißbrennern bedient man sich kleiner Reinigungsnadeln aus Messing- oder Kupferdraht, die etwas kleiner im Durchmesser sind als die Spitzenbohrung, oder nach Abschrauben der Spitze, bei Reinigung von innen, entsprechender Spiralbohrer, welche zweckmäßig in geeigneten Haltern mit Spann Futter festgeklemmt werden. Mit einem Satz von 5—6 Nadeln verschiedener Größe wird man wohl immer zurechtkommen.

Wenn für die Schweißung von Massenartikeln besondere Vorrichtungen nicht getroffen sind, wird für diese, wie für alle Schweißarbeiten ein aus Schmiedeeisen (Winkeleisen oder Rohr) hergestellter, in seiner Arbeitsfläche mit Schamottesteinen ausgelegter Schweiß Tisch die beste Unterlage für Schweißstücke sein. Das Auslegen der Platte mit Ziegelsteinen, wie man dies häufig sieht, ist nicht rat-

sam, da die Steine in der hohen Hitze platzen und die abspringenden Steinstückchen geschoßartig fortgeschleudert werden.

Zur Befestigung der Schläuche an den Schlauchanschlußstücken (Tüllen) bedient man sich meist normaler messingner Schlauchklemmen mit Flügelschrauben. Eine Neuheit zeigt die in Abb. 95 im Schnitt dargestellte sehr zweckmäßige und patentierte Schlauchverbindung. *a* ist die Anschlußüberwurfmutter, die über einem Nippel *b* sitzt; auf dem doppelkonischen Ende des letzteren sitzt der Schlauch *g* (mit Hanfeinlage *i*). Die Bohrung von *b* entspricht jener von *g* (*h*). Das Schlauchende wird durch einen kegelförmigen Messingüberwurf *d* festgehalten, der durch eine Mutter *c* fest angezogen und in seiner Lage fixiert wird.

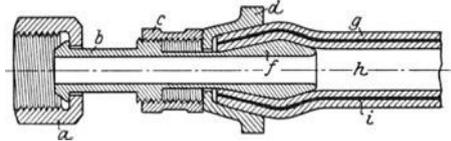


Abb. 95. Schlauchanschlußvorrichtung.

Verschiedentlich hat sich ein als Gas-sparapparat bezeichnetes Gerät eingeführt, das dazu dient, bei jeder Arbeitsunterbrechung den Schweißbrenner durch Drosselung der Gaszufuhr selbsttätig auszuschalten. Der Brenner wird auf einen Bügel gelegt oder gehängt, der seinerseits zwei mit der Gas- und Sauerstoffzuleitung in Verbindung stehende Ventile absperrt. Beim Abheben des Brenners öffnen sich die Ventile wiederum selbsttätig, und der Brenner kann an einer stetig brennenden Zündflamme des Apparates entzündet werden. Da dieser Apparat nur dann seinem Namen Sparapparat Ehre macht, wenn seine vier Schlauchanschlüsse und die Ventile peinlich dicht halten, ist hierauf besonderes Gewicht zu legen. Bei hohen Gaspreisen dürfte sich ein solcher Apparat dort, wo er gut anwendbar ist, sehr bald bezahlt machen.

Zur Sonderausrüstung des Schmelzschweißers gehört unter anderem der Mund und Nase bedeckende Respirator (Atmungs- maske), ein für Zink-, Blei-, Bronze- und Messingschweißer sehr dienliches Instrument, wie ein solches in Abb. 115 gebracht wird. Die beim Schweißen dieser Metalle sich bildenden, z. T. giftigen Dämpfe werden dadurch unschädlich gemacht. Andernfalls müssen am Schweißstisch geeignete Absaug- vorrichtungen angebracht werden.

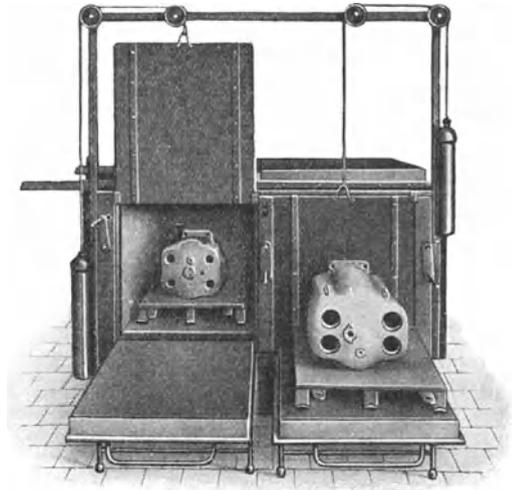


Abb. 96. Muffelöfen.

Zum Schutz gegen übergroße Hitzewirkungen (im Feuer liegender oder darin vorgewärmter schwerer Werkstücke) auf die Haut des Arbeiters ist die Benutzung zeitweise in Wasser abzukühlender Asbesthandschuhe erforderlich. Wenn notwendig, kann die

Schutzbekleidung noch durch Asbestmasken (mit Glimmerfenstern in Augenhöhe), Asbestschürzen oder durch ganze Asbestanzüge vervollständigt werden. Lederschürzen haben sich als besonders geeignet erwiesen.

Endlich mag noch der Muffelofen als Teil der Schweißereiausrüstung genannt sein. In ihm sollen vor allem mit Spannungen behaftete Gußkörper vor dem Schweißen vorgewärmt und nach dem Schweißen gleichmäßig abgekühlt werden.

Der in Abb. 96 veranschaulichte Muffelofen ist zweiteilig und für Gasheizung bestimmt. Er dient der Vorwärmung von Hohlkörpern, vornehmlich der von Autozylindern, Motor- und Pumpengehäusen usw. Beim Einsetzen größerer Werkstücke wird die mittlere Trennwand herausgenommen. Der Ofen besteht aus einem Eisenblechgerüst, dessen Inneres mit Schamotte ausgemauert und gut verankert ist. Die Gußstücke werden auf einen eisernen Tisch gelegt, der von unten durch mehrere Gas-Luftgebläseflammen geheizt wird. Ist die notwendige Rotwärme des Gußstücks vorhanden, was durch eine Luke festgestellt werden kann, dann wird die vordere Tür nach unten geklappt, das Werkstück mittels einer Gabelstange samt dem eisernen Schlitten herausgezogen und auf diesem geschweißt. Inzwischen wird die Schiebetür zugezogen, um Wärmeverluste zu verhüten. Nach beendeter Schweißung wird das Ganze wieder in den Ofen eingebracht, die Schiebetür hochgezogen und die Haupttür geschlossen.

4. Zulegwerkstoff (Schweißdraht).

Zur Ausfüllung und Verstärkung der Schweißfugen, sowie zum Ausgleich der beim Zusammenschmelzen der Werkstoffkanten auftretenden Metallverluste benötigt man sog. Zulegwerkstoff, der in Form von runden, verschieden starken Stangen in das Schmelzbad eingeschmolzen wird. Die Schweißstäbe sind normal $500 \div 1000$ mm lang. Genaueres bezügl. der Zusammensetzung der Stäbe wird noch bei Besprechung der Vorgänge beim Schweißen der einzelnen Metalle erwähnt.

Für die Schweißung von Schmiedeeisen, Stahlguß und gewöhnlichem Stahl verwendet man Stäbe aus gezogenem, kohlenstoffarmen, weichen Eisen, am besten schwedisches Holzkohlen- oder Nageleisen im Durchmesser von 1 bis 8 mm, je nach Stärke des zu schweißenden Schweißgutes. Dort, wo es auf große Festigkeit nicht ankommt, genügt auch geglühter Eisendraht, den man in Ringen beziehen und sich selbst zu Stäben schneiden kann.

Für die Schweißung von Gußeisen werden nur Gußeisenstäbe verwendet mit einem möglichst hohen Gehalt an Kohlenstoff und Silizium, weil diese Bestandteile bei der hohen Temperatur der Schmelzflamme teilweise verdampfen. Die Stäbe haben einen runden, manchmal auch eckigen Querschnitt von 4 bis 15 mm Durchmesser.

Temperguß wird vorzugsweise mit Tempergußstäben von $3 \div 5$ mm Durchmesser geschweißt. Stehen solche nicht zur Verfügung, so kann auch mit Gußeisen- oder Schmiedeeisenstäben geschweißt werden. Die Art der Schweißstäbe ist von der Glühdauer und Güte des getemperten Eisens abhängig und muß von Fall zu Fall praktischen Versuchen überlassen bleiben. Dasselbe gilt für das Zusammenschweißen von Gußeisen mit Schmiedeeisen oder Temperguß mit Schmiedeeisen, wobei sowohl Schmiedeeisen- als auch Guß- bzw. Tempergußstäbe eingeschmolzen werden können.

Legierte, vor allem hochwertige Werkzeugstähle sind infolge ihrer Empfindlichkeit gegen hohe Temperatur nur in sehr beschränkten Grenzen schweißbar. Soweit dies möglich, sind Zulegestäbe zu benutzen, die einen etwas höheren als den in der jeweiligen Stahlsorte enthaltenen Gehalt an Legierungsbestandteilen besitzen.

Zur Schweißung des Kupfers genügt bei kleineren Schweißstücken die Verwendung von Draht aus Elektrolytkupfer ($1,5 \div 5$ mm Durchmesser), während bei starkem Kupfer (Lokomotivfeuerbüchsen) Canzlerdraht (Elektrolytkupfer von $1,5 \div 8$ mm Durchmesser mit Phosphor und Silber legiert) oder Uniscodraht trotz höheren Preises vorzuziehen sind.

Die Schweißung der Legierungen des Kupfers mit Zink und Zinn: Messing, Bronze, Rotguß geschieht mit gleichem Zusatzwerkstoff, d. h. Messing wird mit Messingdraht, Bronze mit Bronzestäben und Rotguß mit Rotgußstäben geschweißt. Im übrigen lassen sich alle diese Kupferlegierungen ohne weiteres auch mit Messingdraht schweißen, wenn es auf Farbenunterschiede an der Schweißstelle nicht ankommt. (Messingdraht $1 \div 5$ mm, Bronze und Rotguß $3 \div 15$ mm Durchmesser.) Hervorragend bewähren sich die neuerdings auf den Markt gekommenen Bronzeschweißstäbe „Poro“, „Robusco“ usw. (s. Abschnitt II C 4).

Beim Schweißen von Aluminium und dessen Legierungen wird nur reiner Aluminiumdraht ($1 \div 10$ mm Durchmesser) als Zusatzwerkstoff verwendet.

Den Edelmetallen Gold, Platin und Silber wird derselbe Werkstoff in Stangenform zugesetzt.

Desgleichen werden bei Blei als Schweißdraht Bleidrähte oder aus Bleiblech ausgeschnittene Streifen verwendet, wie ja auch bei allen übrigen Metallen (insbesondere bei Kupfer, Messing, Aluminium, Eisen) Abfallstreifen desselben Werkstoffs als Zusatzwerkstoff Verwendung finden können.

Nickel wird mit Nickeldraht oder Nickelblechstreifen mit hohem Mangan-gehalt geschweißt.

Im Abschnitt III A werden die Eigenschaften der im vorigen erwähnten Metalle und Legierungen noch näher behandelt.

5. Schweißpulver (Flußmittel).

Wir wiederholen hier zunächst das bereits in Abschnitt I A über Schweißpulver Gesagte: Das Schweißpulver soll vor allem das an der Schweißoberfläche sich bildende Metalloxyd unschädlich machen, indem es mit diesem Oxyd eine glasige, leicht schmelzbare Schlacke bildet. Diese Schlacke schützt die Schweißstelle gegen die Einwirkung weiteren Luftsauerstoffs und läßt sich nach dem Schweißen leicht durch Hammerschläge entfernen. Außerdem soll das Schweißpulver noch den leichten Fluß des Metalls fördern.

Ohne Schweißpulver sind schweißbar: Schmiedeeisen, (Stahl), Stahlguß, (Weichkupfer), (Nickel), Gold, Platin, Silber, Blei und guter Temperguß.

Mit Schweißpulver schweißt man: Gußeisen, (Temperguß), Qualitätsstahl, Kupfer, Messing, Bronze, Rotguß, Aluminium und Nickel. Aluminium läßt sich ohne Schweißpulver so gut wie gar nicht schweißen.

Die Schweißpulver werden überwiegend in Form von Pulver, weniger auch in Form streichfertiger Pasta, die man auch selbst anrühren kann, geliefert. Da in vielen Fällen weitreichende Patente die Selbstherstellung der in Abschnitt III noch genauer angeführten Schweißpulver ausschließen, ist man in der Hauptsache auf deren Bezug von den Patentinhabern bzw. den mit der Herstellung betrauten Firmen angewiesen.

Das einfachste Schweißmittel ist gutgebrannter, von Kristallwasser völlig freier Borax. Seine Verwendung ist aber insbesondere bei Gußeisen außerordentlich nachteilig, bei Messing und Kupfer nur im Notfalle zulässig.

Für Kupfer und dessen Legierungen bestimmte Flußmittel bestehen vornehmlich aus einem Gemisch von Natrium-, Phosphor- und Borverbindungen, für Eisen aus Silikaten und Boraten (Silizium- und Borverbindungen) und für Aluminium aus Alkalichloriden und -fluoriden (Chlor- und Fluorverbindungen), denen noch wirksame Bestandteile, wie ein Lithiumhalogen u. a. zugesetzt werden (s. die betr. Unterabschnitte).

III. Die Technik der Gasschmelzschweißung.

A. Allgemeines über die Eigenschaften der schweißbaren Metalle.

Die Elemente oder Grundstoffe — Stoffe, welche mit unseren jetzigen Hilfsmitteln nicht weiter zerlegbar sind — werden eingeteilt in Metalle und Nichtmetalle (Metalloide). Metalle sind z. B. Eisen, Kupfer, Aluminium, Blei, Zink, Zinn usw.; sie zeigen im allgemeinen einen Metallglanz und sind gute Leiter der Wärme und Elektrizität. Nichtmetalle sind z. B. Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Silizium, Phosphor, Schwefel; sie haben im allgemeinen keinen Metallglanz und sind schlechte Leiter der Wärme und Elektrizität. Eine scharfe Grenze zwischen Metallen und Nichtmetallen gibt es nicht. Manche Nichtmetalle, z. B. Silizium, Phosphor, Schwefel, finden wir oft als Beimengungen in den Metallen; sie verändern dann die Eigenschaften der Metalle unter Umständen wesentlich. Mischungen von Metallen untereinander und auch von Metallen und Nichtmetallen nennen wir „Legierungen“. So ist z. B. Messing eine Mischung (Legierung) von Kupfer und Zink, Bronze eine solche von Kupfer und Zinn. Der Ausdruck „legierte Stähle“ besagt auch, daß dem normalen Stahl noch besondere Metalle, z. B. Chrom, Wolfram, Nickel usw., beigemischt sind. Ein Metall, z. B. Eisen oder Kupfer, müßte streng genommen nur aus Eisen, bzw. Kupfer, ohne jede Beimengung bestehen. Praktisch aber wären dann manche Metalle, insbesondere das Eisen, kaum oder gar nicht verwendbar. Demnach ist also für uns eigentlich jedes Metall eine Legierung, deren Eigenschaften durch Zusetzen einer kleinen Menge anderer Metalle oder Nichtmetalle verbessert werden.

Die schweißbaren Metalle. Das weitaus wichtigste Metall ist das Eisen, das unterteilt wird in Roheisen (mit praktisch $3 \div 4$ vH Kohlenstoff) und in schmiedbares Eisen (mit praktisch $0,05 \div 1,7$ vH Kohlenstoff). Beim Roheisen kennt man zwei Untergruppen, und zwar das weiße Roheisen — bei dem der Kohlenstoff sich fast restlos in gebundener Form (als sog. Eisenkarbid) vorfindet — und das graue Roheisen — bei dem der größte Teil des Kohlenstoffs in reiner Form auskristallisiert ist (als Graphit). Das schmiedbare Eisen wird wieder eingeteilt in Stahl (Schweißstahl oder Flußstahl, je nachdem ob in teigigem oder in flüssigem Zustand hergestellt) und in Schmiedeeisen (Schweiß- oder Flußeisen, vom Praktiker oft kurzweg „Eisen“ genannt). Stahl ist härtbar und hat etwa $0,3 \div 1,7$ vH Kohlenstoff; Schmiedeeisen ist nicht härtbar und hat etwa $0,05 \div 0,3$ vH Kohlenstoff. In Zukunft soll übrigens, nach den Vorschlägen des deutschen Normenausschusses, alles schmiedbare Eisen als Stahl bezeichnet werden, so daß wir dann nur noch Roheisen und Stahl kennen. Roheisen kommt für Schweißungen nicht in Frage, dagegen wohl Gußeisen, das wir aus dem Roheisen durch einfaches Umschmelzen im Kupolofen der Gießerei erhalten. Die weiteren Untergruppen der Eisensorten werden in den betreffenden Einzelkapiteln erwähnt; ebenso wird an diesen Stellen auf die sonstigen Nebenbeimengungen der Eisensorten, wie z. B. Silizium, Mangan, Phosphor und Schwefel, hingewiesen.

Wegen der besonderen Wichtigkeit des Eisens bezeichnet man die übrigen Metalle heute als „Nichteisenmetalle“. Von ihnen sind schweißbar: Kupfer, Aluminium, Nickel, Blei, Zink, Silber, Gold, Platin. Ihre besonderen Eigenschaften sind in den Kapiteln über die Schweißung dieser Metalle behandelt.

Von Legierungen kommen bisher praktisch für Schweißungen in Betracht: Messing (Kupfer mit Zink gemischt), Bronze (Kupfer und Zinn), Rotguß (Kupfer, Zink und Zinn) die Aluminiumlegierungen (Aluminium mit Kupfer, Magnesium, Silizium usw.), Monel und andere. Näheres siehe in den betreffenden Schweißkapiteln.

Farbe. Jedes Metall hat zwar eine ihm eigentümliche Farbe, jedoch sehen die meisten Metalle weiß, grauweiß oder grau aus. Nur Kupfer hat eine kennzeichnende rote (Kupferlegierungen rötlich oder gelb) und Gold eine gelbe Farbe. In Pulverform sind die meisten Metalle glanzlos, in festen und besonders in polierten Stücken zeigen sie aber den sog. metallischen Glanz, der auf einer eigenartigen Lichtspiegelung beruht. Mit steigender Erwärmung geht die normale Farbe des Metalls allmählich verloren. Es entstehen oft Anlauffarben infolge der Verbindung der Oberflächenschichten des Metalls mit dem Sauerstoff der Luft. Weiter sprechen wir z. B. von „Rotglut“ (bei $600^{\circ} \div 900^{\circ}$) und Weißglut (bei $1200^{\circ} \div 1400^{\circ}$) des Schmiedeeisens, weil der Werkstoff bei den angegebenen Temperaturen rot, bzw. weiß aussieht.

Dichte, Gewicht. Die Dichte oder das spezifische Gewicht (Eigengewicht, Einheitsgewicht, d. h. diejenige Zahl, die angibt, um wievielfach schwerer das betreffende Metall ist als der gleiche Rauminhalt Wasser) der Metalle ändert sich mit der Temperatur und ist außerdem von der Art der Bearbeitung — ob nur gegossen oder gewalzt oder gezogen — abhängig. Zahlentafel 4 enthält daher nur Mittelwerte.

Geschmeidigkeit, Festigkeit. Unter der Geschmeidigkeit eines Metalls versteht man seine Dehnbarkeit, Ziehbarkeit und Zähigkeit und unter Festigkeit seine Widerstandsfähigkeit gegen Zug, Druck, Biegung, Verdrehung usw. Ein Metall ist dehnbar, wenn es sich hämmern, walzen, pressen läßt; andernfalls nennt man es spröde. Die Dehnbarkeit ist oft an gewisse Temperaturgrenzen gebunden — z. B. ist Zink nur bei $90^{\circ} \div 170^{\circ}$ walzbar — und nimmt oft auch bei fortgesetzter Formveränderung ab, z. B. beim Kupfer. Ein Metall ist zähe, wenn es sich oft hin- und herbiegen läßt, ohne zu brechen. Die Festigkeit läßt sich mit Hilfe von Prüfmaschinen sehr genau messen. Sie ist bei den einzelnen Metallen sehr verschieden und läßt sich durch Wärmebehandlung wesentlich verändern, ebenso wie die Härte (Härten des Stahls). Nähere Angaben erscheinen hier nicht notwendig; die für das Schweißen wichtigen Zahlen werden im Abschnitt „Güte der Schweißnaht“ erwähnt.

Verhalten in der Wärme. Beim Erhitzen werden manche Metalle allmählich weich und dann erst flüssig, andere gehen fast plötzlich in den flüssigen Zustand über (Schmelzpunkt). Alle Metalle haben einen bestimmten, ihnen eigentümlichen Schmelzpunkt (s. Zahlentafel 4) und Siedepunkt; bei letzterem werden sie gasförmig. Der Siedepunkt liegt wesentlich höher als der Schmelzpunkt, bei Zink aber z. B. schon bei 925° . Der Schmelzpunkt und der Erstarrungspunkt (beim Wiedererkalten) fallen praktisch zusammen. In der hohen Temperatur der Azetylen-Sauerstofflampe sind selbst die schwerstschmelzbaren Metalle (Wolfram 3300° , Tantal 2800° , Molybdän 2500° , Iridium 2350°) glatt zum Schmelzen zu bringen.

Fast alle Metalle dehnen sich beim Erwärmen aus, nehmen also dann einen größeren Raum ein, und ziehen sich beim Erstarren zusammen. Letzteres, das „Schwinden“, ist bei der Schmelzschweißung von besonderer Bedeutung, da die Spannungserscheinungen im Metall hierauf zurückzuführen sind (s. die späteren Abschnitte).

Auch das Wärmeleitungsvermögen des Metalls ist für den Schweißvorgang insofern wesentlich, als die Stärke der Schweißflamme, bzw. die Brennergröße entsprechend zu wählen ist. Alle Metalle sind zwar gute Wärmeleiter,

immerhin aber mit deutlichen Unterschieden. Der beste Wärmeleiter ist Silber. Ihm folgen in absteigender Linie: Kupfer, Gold, Aluminium, Zink, Platin, Zinn, Eisen, Nickel und Blei, so daß also von diesen Metallen Blei das schlechteste Wärmeleitungsvermögen hat. Platin, Zinn, Eisen und Nickel haben nahezu dieselbe Wärmeleitfähigkeit, die des Aluminiums ist etwa $3\frac{1}{2}$ mal, die des Kupfers etwa 6mal so groß. Verschiedene Metalle haben die Eigenschaft, in flüssigem Zustand stark Gase aufzusaugen, zunächst gelöst bei sich zu behalten und bei der Abkühlung wieder abzustößen. Das Gaslösungsvermögen ist z. B. bei Schmiedeeisen, Stahl, Stahlguß und Kupfer besonders groß für Wasserstoff, bei den genannten Eisensorten, ferner bei Nickel und Platin auch groß für Kohlenoxyd (s. auch die späteren Abschnitte).

Zahlentafel 4.

Metall	spezifisches Gewicht	Schmelzpunkt	Metall	spezifisches Gewicht	Schmelzpunkt
Reines Eisen	7,88	1528°	Nickel	8,8	1452°
Schmiedeeisen	7,85	1500°	Kupfer	8,9	1083°
Stahl	7,8	1400°	Aluminium	2,7	659°
Gußeisen	7,25	1200°	Zink	7,1	419°
Platin	21,4	1764°	Blei	11,3	327°
Gold	19,3	1063°	Zinn	7,3	232°
Silber	10,5	961°	(Messing)	8,5	900°

B. Allgemeines über die Technik des Schweißens.

Anwendungsgebiete. Die ungeheuer vielseitige Anwendungsmöglichkeit der Schmelzschweißung schließt eine erschöpfende Aufzählung aller für sie bestimmten Arbeitsgebiete vollkommen aus. In der Hauptsache ist das Schmelzschweißverfahren für folgende Arbeiten geeignet:

1. Als Ersatz des Falzens, Hartlötens und Nietens im Gesamtgebiet der Blechbearbeitungsindustrie.
2. In Konstruktionswerkstätten zur Anfertigung der verschiedensten Konstruktionsteile aus Stab- und Walzeisenprofilen.
3. Beim Rohrverlegen, überhaupt in der Installationstechnik, zur Anfertigung von Formstücken und Verbindung der Rohrenden, an Stelle von Muffen und Flanschen.
4. Als Ausbesserungsverfahren zur Beseitigung von Guß- und Preßfehlern, zur Ausbesserung von Brüchen, Rissen u. dgl. an Metallen aller Art und an Dampfkesseln usw.

Damit soll jedoch nicht etwa gesagt sein, daß andere Verbindungsarten, vor allem das Nieten und Falzen, gänzlich entbehrlich geworden seien. Im Gegenteil, es gibt Fälle, wo die alten Arbeitsverfahren durch ihre jüngere Gefährtin, die Schweißung, nicht zu ersetzen sind. So lassen sich mit metallischen Überzügen fremder Art versehene Bleche (verbleites, verzinktes, verkupferetes oder vermesingtes Eisenblech usw.) nicht ohne weiteres schweißen, wenigstens dann nicht, wenn der Überzug auch längs der Naht bestehen bleiben soll. Andere Körper sind infolge ihrer Form für Schweißzwecke ungeeignet. Im Laufe der nun folgenden Ausführungen werden wir uns bald ein genaueres Urteil bilden können, was schweißbar ist und was nicht.

Allgemeines über die Schweiße. Unter dem Einfluß der bei der Schmelzschweißung angewandten, außerordentlich hohen Flammentemperaturen erleiden die Metalle Veränderungen, deren Umfang vor allem durch die Dauer der

Schweißarbeit, durch die Werkstoffgüte des Schweißstücks und des Schweißdrahts, durch die Reinheit des Schweißgases und nicht zuletzt durch das Geschick des Schweißers bedingt ist. Aus diesem Grunde sind Maßnahmen zu treffen, um Veränderungen im Metallgefüge, die immer auf Kosten seiner Güte vor sich gehen, auf das geringste Maß zu beschränken. Insbesondere ist auf Dichtigkeit, ausreichende Festigkeit, möglichst auch auf sauberes Aussehen der Schweißstelle Wert zu legen.

Je kürzer die Zeitdauer ist, während welcher das Schweißgut im örtlich flüssigen Zustande gehalten wird, um so geringer werden die Veränderungen des Metallgefüges sein. Da nun andererseits die Schweißdauer von der Flammengröße abhängig ist, erklärt es sich, warum geübte, mit großen Flammen rasch arbeitende Schweißer die Metallstruktur viel weniger verändern als ungeübte, mit kleinen Brennern arbeitende. Die Schweißarbeit soll möglichst rasch durchgeführt werden; oft ist es daher zweckmäßig, das Schweißgut zur Arbeitsbeschleunigung vor dem Schweißen im Feuer bis auf Rotglut vorzuwärmen.

Verbesserungen geschweißter (oft überhitzter) Nähte an gewalzten und gezogenen Metallen sind erreichbar durch wärmetechnische und mechanische Nachbehandlungen, wie Ausglühen, Abschrecken, Hämmern (Verdichten) u. a. m. Verbrannte Schweißnähte dagegen können durch kein Mittel wieder brauchbar gemacht werden. Das Metall dieser Nähte ist durch viel zu hohe Erhitzung chemisch verändert, es ist teilweise in schlackenartige Stoffe verwandelt worden, wogegen bei überhitztem Werkstoff nur eine physikalische Veränderung, ein Aufquellen der Kristalle eingetreten ist, das sich durch Ausglühen beseitigen läßt.

Grundbedingung für eine haltbare und gute Naht ist das Durchschweißen, d. h. der Werkstoff muß auf seine ganze Dicke durch und durch geschmolzen und nicht nur oberflächlich verklebt werden. Eine Ausnahme besteht nur bei der Verschweißung von Porositäten und Ausfressungen, bzw. dort, wo zur Verstärkung Werkstoff neu aufgetragen werden soll. Risse, Brüche, Löcher und die Stoßfugen von Blechkanten aber sind stets bis zum Grunde des Werkstoffs durchzuschweißen, ganz gleich um welches Metall es sich handelt.

C. Die Schweißung von Schmiedeeisen und Stahl.

1. Eigenschaften und Schweißbarkeit von Schmiedeeisen und Stahl.

Einteilung und Eigenschaften. Die schmiedbaren Eisensorten werden, wie bereits früher erwähnt, zur Zeit eingeteilt in Schmiedeeisen und Stahl, sollen aber in Zukunft nur als Stahl bezeichnet werden. Sie sind entweder im Puddelofen in teigigem Zustand hergestellt und werden dann Schweißisen ($0,05 \div 0,3\% \text{ vH}$ Kohlenstoffgehalt) oder Schweißstahl ($0,3 \div 1,7\% \text{ vH}$ Kohlenstoffgehalt) genannt, oder sie werden nach den neueren Verfahren flüssig erzeugt und in eiserne Blockformen (Kokillen) gegossen; sie heißen dann Flußeisen (Kohlenstoffgehalt gleich dem des Schweißeisens) oder Flußstahl. Im einzelnen unterscheidet man bei den letztgenannten Sorten noch nach dem Herstellungsverfahren: Bessemer-, Thomas-, Siemens-Martin-Stahl. Der im Tiegelofen verfeinerte Werkstoff ist als Tiegelstahl oder Tiegelgußstahl zu bezeichnen (nicht mehr als „Gußstahl“, da jeder Flußstahl auch ein Gußstahl ist) und der im Elektroofen gereinigte, besonders gute Werkstoff als Elektrostahl. Aus den letzteren beiden Sorten erhält man durch Zusatz von Chrom, Wolfram, Nickel usw. die Sonderstähle oder legierten Stähle. Letztere und Tiegelstahl und Elektrostahl werden auch als Edelstähle bezeichnet.

Neben dem wichtigsten Nebenbestandteil, dem Kohlenstoff, enthalten Schmiedeeisen und Stahl noch wechselnde Mengen von Mangan (unter 1 vH), Silizium (unter 1 vH), Phosphor (unter 0,1 vH) und Schwefel (unter 0,1 vH). Werkstoff mit mehr als 0,1 vH Phosphor ist stark kaltbrüchig — leichtes Reißen beim Bearbeiten in kaltem Zustande —, solcher mit mehr als 0,1 vH Schwefel ist stark warmbrüchig — leichtes Reißen beim Bearbeiten in rotwarmem Zustande. Je geringer der Prozentsatz aller genannten Beimengungen im Schmiedeeisen und im Stahl ist, desto besser sind auch diese Eisensorten schweißbar.

Einwirkung der Schweißflamme. Falsche Einstellung der Schweißflamme — insbesondere der Azetylen-Sauerstoffflamme — kann die Werkstoffeigenschaften wesentlich beeinflussen. Ein Überschuß an Azetylen ergibt in der Flamme freien Kohlenstoff. Die Schweißnaht nimmt diesen Kohlenstoff auf und wird bei Schmiedeeisen stahlähnlich; bei schneller Abkühlung wird sie dann mehr oder weniger hart und spröde und reißt schon bei geringer Beanspruchung. Wird übrigens der Flammenkern (Abb. 79) dem Schmelzbad zu weit genähert, so tritt auch eine Anreicherung des Eisens an Kohlenstoff ein, da ja innerhalb des Flammenkerns noch unverbrannter Kohlenstoff vorhanden ist. Ein Sauerstoffüberschuß in der Azetylen- und Wasserstoffflamme hat eine genau gegenteilige Wirkung. Der Sauerstoff der Flamme verbindet sich mit dem Kohlenstoff des Werkstoffs und mit dem Eisen selbst; der Werkstoff wird kohlenstoffärmer (weicher), und es bilden sich Eisensauerstoffverbindungen (Eisenoxyde), schließlich kann es beim Schweißen sogar dazu kommen, daß der Werkstoff verbrannt wird.

Schweißbarkeit. Schmiedeeisen ist im allgemeinen gut schweißbar. Fast ebensogut lassen sich auch noch die weicheren Stahlsorten (mit etwa 0,3 bis 0,7 vH Kohlenstoff) schweißen, die als Konstruktions- und Baustähle vielseitige Verwendung finden.

Auf besondere Stahlsorten und ihre außerordentlich vielseitigen Bezeichnungen kann hier nicht eingegangen werden. Als Beispiel für die Schweißbarkeit von Baustahl sei hier nur der in

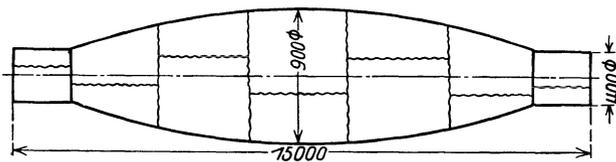


Abb. 97. Bootsmast aus weichen Stahlplatten geschweißt.

Abb. 97 veranschaulichte Bootsmast aus weichen Stahlplatten angeführt. Solche Bootsmaсте wurden in größerer Anzahl für eine ausländische Marine geliefert. Die Schweißnähte der einzelnen Stahlblechschüsse wurden versetzt angeordnet. Des weiteren sei auf die geschweißten Kurbelwellenbrüche, Abb. 136, hingewiesen (Beispiel für die Schweißung von Konstruktionsstahl).

Mit weitersteigendem Kohlenstoffgehalt nimmt die Schweißbarkeit des Stahls beträchtlich ab. Außerdem ist der Stahl, insbesondere der kohlenstoffreichere, wesentlich empfindlicher gegen falsche Wärmebehandlung und auch gegen die Wirkung einer falsch eingestellten Schweißflamme als Schmiedeeisen; er kann viel leichter überhitzt und verbrannt werden. Vorteilhaft ist daher bei kohlenstoffreicheren (härteren) Stählen die Verwendung einer schwächeren Schweißflamme als bei Schmiedeeisen. Alsdann ist aber Vorwärmung des Stahls im Schmiedefeuer auf Rotglut notwendig, damit die Schweißarbeit genügend schnell erledigt werden kann. Scharfe Kanten, Schneiden und Spitzen sind bei Stahl wegen der leicht eintretenden Überhitzung schlecht oder gar nicht schweißbar. Gehärteter Stahl wird natürlich durch das Schweißen ausgeglüht und weich. Ein gut geschweißter Stahl läßt sich aber nachher wieder in befriedigender Weise härten.

Für hochwertige Schweißkörper, die also starken Beanspruchungen ausgesetzt werden sollen, empfiehlt Diegel auf Grund zahlreicher Versuche folgende Zusammensetzung des Werkstoffs: 0,06 ÷ 0,12 vH Kohlenstoff, unter 0,1 vH Silizium, 0,45 ÷ 0,8 vH Mangan, unter 0,05 vH Phosphor, unter 0,05 vH Schwefel. Ein derartiges weiches Flußeisen, bei dem vor allem der geringere Siliziumgehalt auffällt, hat sich als besonders gut schmelzschweißbar erwiesen.

Als Zusatzwerkstoff soll bei Schmiedeeisen und Stahl möglichst immer gleichartiger Werkstoff genommen werden, doch kann man beim Schweißen weicheren Stahls und beim Verschweißen von gewöhnlichem Werkzeugstahl mit Weichstahl oder Schmiedeeisen (z. B. Anschweißen gewöhnlicher Drehstähle) auch Schmiedeeisendraht als Schweißdraht verwenden.

2. Vorbereitungsarbeiten bei Blechschweißungen¹.

Zur Erzielung einer guten Durchschweißung bei geringster Schweißdauer ist eine dem jeweiligen Werkstück angepaßte Vorbereitung notwendig, wie: Auskreuzen, Bördeln, Abschrägen, Abdrehen usw. Die folgenden Ausführungen über solche Vorbereitungsarbeiten beziehen sich zunächst auf das Eisenblech als den weitaus am häufigsten geschweißten Werkstoff. Sie gelten jedoch sinngemäß für andere Werkstoffarten und andere Schweißgegenstände.

Gleich starke Bleche. Am leichtesten schweißbar sind Bleche zwischen 1 und 3 mm Stärke; ober- und unterhalb dieser Abmessungen stellt die Schweißarbeit besonders große Anforderung an Geschick und Übung des Schweißers. Bleche von 1 ÷ 3 mm Dicke schweißt man immer so, wie es Abb. 98 B verbildlicht. Die beiden Blechstöße werden stumpf zusammengestoßen, besser noch mit einem Zwischenraum von $\frac{1}{4}$ der Blechdicke (des gründlicheren Durchschweißens halber). Auch Bleche unter 1 mm lassen sich auf diese Weise schweißen, doch ist es empfehlenswert, wenn zugänglich, solch schwache Bleche an ihren zu schweißenden Enden abzubördeln (Abb. 98 A) und in der Pfeilrichtung zu verschweißen. Man schmilzt hier den Bord bis zur Blechoberfläche nieder, ohne Zusatzwerkstoff einzuschmelzen, da der Bord den Schweißdraht ersetzt. Die Bordschweißung hat den großen Vorteil, daß das unter der Einwirkung der Flamme stark sich verziehende, dünne Blech sich viel weniger wirft, und eine ungleich schönere, ebenmäßigere Schweißnaht entsteht, als dies bei Stumpfschweißung (Abb. 98 B) so schwacher Bleche zutrifft. Aus diesem Grunde verfährt man ebenso bei der Fabrikation der aus zwei Hälften bestehenden, gestanzten und gepreßten Blechhohlkörper. Zotten, Henkeln, Stockgriffen, Türdrückern, Radiatoren und ähnlichen aus zwei Teilen zusammengesetzten Blechkörperteilen gibt man stets einen entsprechenden Schweißbord von etwa 1 ÷ 1,5 mm Höhe (c, Abb. 98 A). Die hin und wieder anzutreffende Ansicht, sehr dünne Bleche zu falzen und dann zu schweißen,

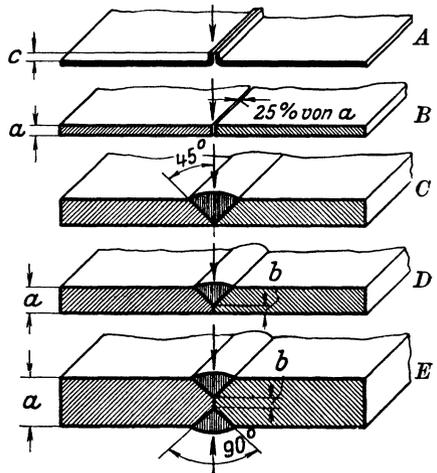


Abb. 98. Vorbereitungsarbeiten bei normalen Blechschweißungen.

Man schmilzt hier den Bord bis zur Blechoberfläche nieder, ohne Zusatzwerkstoff einzuschmelzen, da der Bord den Schweißdraht ersetzt. Die Bordschweißung hat den großen Vorteil, daß das unter der Einwirkung der Flamme stark sich verziehende, dünne Blech sich viel weniger wirft, und eine ungleich schönere, ebenmäßigere Schweißnaht entsteht, als dies bei Stumpfschweißung (Abb. 98 B) so schwacher Bleche zutrifft. Aus diesem Grunde verfährt man ebenso bei der Fabrikation der aus zwei Hälften bestehenden, gestanzten und gepreßten Blechhohlkörper. Zotten, Henkeln, Stockgriffen, Türdrückern, Radiatoren und ähnlichen aus zwei Teilen zusammengesetzten Blechkörperteilen gibt man stets einen entsprechenden Schweißbord von etwa 1 ÷ 1,5 mm Höhe (c, Abb. 98 A). Die hin und wieder anzutreffende Ansicht, sehr dünne Bleche zu falzen und dann zu schweißen,

¹ S. auch Horn: Die Eisenblech-Schmelzschweißung. Hamburg: Hanseatische Verlagsanstalt A. G. 1926.

ist unrichtig, da solche Nähte ganz selten dicht zu bringen sind, sehr unsauber aussehen und ein meist starkes Werfen des Blechkörpers im Gefolge haben.

Über 5 mm starke Bleche werden vorteilhaft nach Art der Abb. 98 *D* geschweißt, d. h. die zu verbindenden Blechkanten werden um je 45° abgeschrägt, so daß eine V-förmige Schweißfuge (sog. Schweißhaltung) von etwa 90° Bodenkante entsteht. Die Schweißmulde wird beim Schweißen durch Schweißdraht ausgefüllt, wie dies auch schon im allgemeinen bei nach Abb. 98 *B* vorbereiteten Blechen geschieht. In der Literatur befindliche Angaben über die Schweißfuge erstrecken sich oft noch auf die Ausführungsform Abb. 98 *C*, obwohl diese entschieden als falsch zu bezeichnen ist. Infolge unzureichender Wärmeableitung werden beim Schmelzen die unteren scharfen Blechkanten erfahrungsgemäß durch Wärmestauung stark überhitzt oder verbrannt. Um diesem Nachteil auf einfache Weise abzuwehren, werden die Blechkanten nicht auf ihre ganze Höhe, sondern beiderseits nur auf $\frac{3}{4}$ der Blechdicke abgeschrägt, während das übrige Viertel ungebrochen bestehen bleibt (Abb. 98 *D* und *E*). Es ist selbstverständlich, daß eine Flamme, die die volle Blechstärke durchschmelzen kann, um so mehr $\frac{1}{4}$ dieser Dicke durchschmilzt, demnach wird ein gutes Durchschweißen durch das Stehenlassen des Viertels *b* nicht behindert. Bei Blechstärken über 15 mm verfährt man am besten nach Abb. 98 *E*. Die Bleche werden, sofern dies technisch durchführbar ist, doppelseitig ausgevaut, so daß sich eine x-förmige Doppelschweißmulde bildet, die vorteilhaft — senkrecht stehende Naht vorausgesetzt — von beiden Seiten (mit 2 Brennern) gleichzeitig geschweißt wird.

Anfängern im Schweißen ist eine Schräglage des zu schweißenden Stoßes anzuraten, derart, daß die Naht eine Neigung von etwa 25° erhält. Der Schweißer beginnt dann am tiefsten Punkt (bei *a* Abb. 99). Auch beim Schweißen senkrechter (stehender) Nähte beginnt man immer ganz unten. Dadurch hat man einigermaßen die Gewähr, daß das Zusatzmetall in richtiger Stärke aufgefüllt und nicht vor der Flamme hergetrieben und auf noch kalte Teile der Schweißfuge aufgeklebt wird.

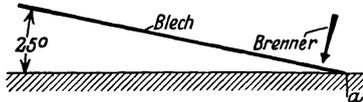


Abb. 99. Schräge Lage der Bleche beim Schweißen.



Abb. 100. Unausführbarkeit der überlappten Schweißung.

Es ist ausdrücklich darauf hinzuweisen, daß es eine überlappte Schweißung beim Gasschmelzschweißverfahren nicht gibt. Alle Verbindungsstellen sind stumpf zu schweißen. Überlappte Schweißung gibt es nur beim Feuer-, Wasser- und stellenweise auch beim Elektroschweißverfahren. Würden überlappte Bleche mit der Azetylenflamme geschweißt, so träten in der Nähe der Naht derart erhebliche Spannungen im Werkstoff ein, daß Riß- und Bruchbildung, mindestens aber starkes Werfen des Schweißstücks zu erwarten wären. Abb. 100 veranschaulicht, wie schon beim Schweißen der einen Blechkante sich die Überlappung abzieht.

Ungleich starke Bleche. Besonders im Apparatebau sind häufig schwache Bleche an stärkere oder Bleche an stärkere Profileisen (Winkeleisen u. dgl.) anzuschweißen. Abb. 101 *A* (linker, oberer Pfeil) zeigt uns, wie dann die Brennerflamme gehalten werden muß, nämlich immer auf die stärkere Werkstoffkante, da sonst das dünnere Blech fortfließen würde, bevor das stärkere auf Schmelzwärme gebracht werden könnte. Die Entfernung *a*, in der die Flamme seitlich neben der Schweißfuge auf dem stärkeren Werkstoff entlang zu führen ist, wächst mit dem Unterschied der zusammenschweißenden Blechstärken.

Sonderfall bei Nichteisenmetallen. Bei einigen Metallen, wie Blei und Zink, in schwächeren Abmessungen auch bei Kupfer, Messing und Aluminium, tritt das Flüssigwerden der erhitzten Schweißfläche plötzlich ein, und die der Schmelzstelle benachbarten, hochehitzten Teile haben so geringe Festigkeit, daß sie schon durch die Last ihres Eigengewichts einbrechen, wodurch große Löcher oder Senkungen (Abb. 101 *B*) eintreten können. Man kann diesem Übelstand entgegenzutreten, indem man, im Gegensatz zur bisher frei liegenden Schweißfuge, unterhalb und entlang der Fuge eine Flach-eisenschiene (Abb. 101 *C*) lagert, in welche eine kleine Nute eingehobelt ist. Der erhitzte Werkstoff wird dann links und rechts der Naht von der Unterlage getragen, während der geschmolzene Werkstoff nur den Raum der Nute einzunehmen, nicht aber fortzulaufen vermag.

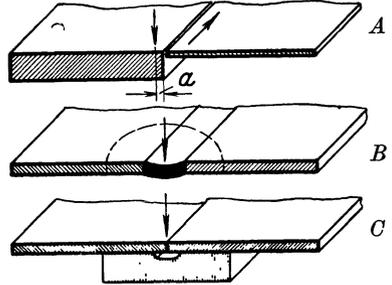


Abb. 101. Vorbereitungsarbeiten bei besonderen Schweißungen.

Dehnungs- und Spannungserscheinungen.

Alle bisherigen Vorkehrungen bezogen sich auf die Gewähr guter Durchschweißung. Sie reichen aber, ausgenommen die Bördelnaht, nicht im entferntesten dazu aus, die infolge Wärmeleitung auftretenden Dehnungs- und Spannungserscheinungen unschädlich zu machen. Zur Verhütung des Verziehens, des Worfens und des gegenseitigen Verschiebens der zusammenschweißenden Bleche sind besondere, der jeweiligen Arbeit zweckmäßig angepaßte Vorrichtungen anzuwenden, was insbesondere für die Schweißung von Massenartikeln gilt.

Erhitzt man ein größeres Stück Blech (besonders dünnes) an irgendeiner Stelle mit der Schweißflamme (Abb. 102), dann tritt infolge ungleicher Dehnung sofort eine Ausbeulung dieser Stelle ein, weil dem Blech kein anderer Weg gegeben ist, der durch die hohen Temperaturunterschiede entstandenen Spannung zu folgen. Würde man die zu schweißenden Blechkanten auf ihre ganze Länge zusammenstoßen, wie dies in Abb. 103 geschehen ist, und ohne weiteres zur Schweißung übergehen, dann würden sich nach kurzer Zeit die beiden Bleche infolge Wärmedehnung übereinanderziehen (punktirierte Lage in Abb. 103 und nicht allein die Fortsetzung der Schweißarbeit ausschließen, sondern auch das Schweißgut gänzlich unbrauchbar machen, da sich die übereinandergezogenen Bleche mit keinem Mittel wieder in ihre alte Lage bringen lassen. Man steuert diesem Übelstand, indem man die Bleche nicht zusammenstößt, sondern, wie Abb. 103 zeigt, an dem Ausgangspunkt der Schweißnaht gegenüberliegenden Ende um etwa 5 vH der Nahtlänge klaffen läßt. Beträgt das Maß l beispielsweise 1000 mm, dann muß $a = 50$ mm ($= 5$ vH) sein. Diese Maßnahme erübrigt sich bei gebördelten Blechen, die man stets der ganzen Länge nach zusammenstößt und engabständig, etwa alle 50 mm heftet. Erst nach Durchführung der Heftarbeit über die ganze Nahtlänge kann mit der eigentlichen Schweißung begonnen werden. Auch stumpf zusammengestoßene Bleche bis zu 5 mm Dicke können auf diese Weise in größeren Zwischenräumen (bis 150 mm) geheftet werden; es fällt dann die in Abb. 106

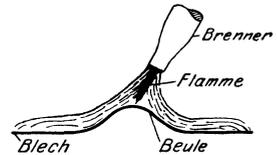


Abb. 102. Werfen des Bleches unter der Flamme.

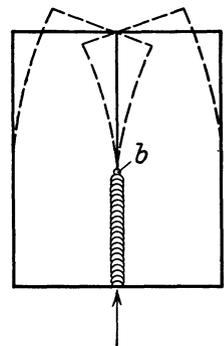


Abb. 103. Wirkung der Wärmedehnung bei Blechen.

veranschaulichte Vorbereitung fort. Schon beim Zusammenheften der Blechkanten macht sich die Wärmedehnung im Sinne der Abb. 104 geltend, die Heftnaht verwindet sich in einem von der Blechdicke abhängigen Maße (bei dünnen Blechen mehr als bei dicken), wovon die dem Heften folgende Schweißarbeit weniger berührt wird. Die Verwindung des Blechstoßes läßt sich nach Fertigstellung der Schweißarbeit durch sachgemäßes Abhämmern und Strecken der Naht beseitigen.

Ähnliche Verhältnisse treten ein, wenn an großflächige Böden aus schwachem Blech Kränze angeschweißt werden. Die Böden (Abb. 105) verziehen und werfen sich, und zwar bei kleinerem Durchmesser etwa, wie *a* zeigt, indem sie sich nach oben durchdrücken; bei größerem Durchmesser oder länglicher Form nach Art der Darstellung *b* (II), also wellenförmig. Wird die Rundnaht (Pfeilrichtung) der Abb. 105 II nach dem Erkalten der Schweißnaht durch Hämmern gestreckt, dann richtet sich der Boden von selbst aus (Naht vorher heften!). Daraus folgt, daß alle Blechnähte nach Möglichkeit gehämmert werden sollten, was bei dem ungebördelten Boden Abb. 105 I nicht in Frage kommen kann. Solch angeschweißte Böden lassen sich im allgemeinen nicht ausrichten.

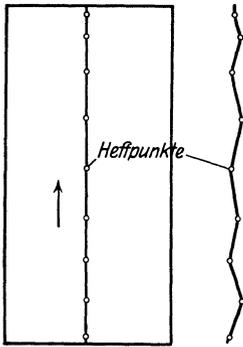


Abb. 104. Werfen der Bleche beim Heften der Naht.

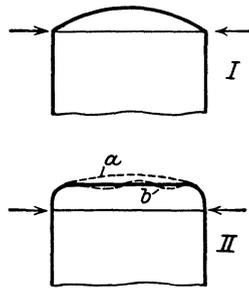


Abb. 105. Werfen von Blechböden.

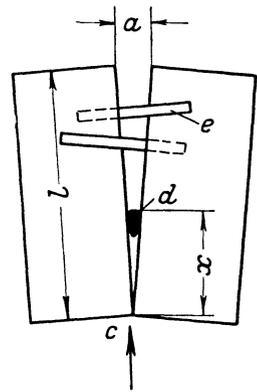


Abb. 106. Hilfsmittel zum Ausgleichen der Wärmedehnungen.

Beginnt man in der Pfeilrichtung bei *c*, Abb. 106, zu schweißen, so bedient man sich zum Offenhalten des Schlitzes eines Keils (Dorns) *d*, der mit fortschreitender Schweißung, in immer gleichmäßigem Abstände *x* von der Flamme entfernt, allmählich im Sinne der Brennerbewegung vorwärtsgeschoben wird. An Stelle des Dorns *d* kann bei Blechen bis 5 mm Stärke auch eine scherenähnliche Einrichtung *e*, Abb. 106, treten, die aus zwei voneinander unabhängigen Flach- oder Rundeisenstäben besteht und außerdem den Vorzug hat, daß man mit ihr Änderungen in der gegenseitigen Höhenlage der Blechränder leichter beheben kann. Sowohl bei Verwendung des Keils als der Schere ziehen sich die beiden Blechränder mit dem Vorschub der Flamme selbsttätig zusammen, so daß nach Erkalten eine ziemlich spannungsfreie Naht entsteht.

Lange Nähte an starken Blechen (über 8 mm) werden vorteilhaft so geschweißt, daß man sie zusammenstößt und, in der Mitte der Länge beginnend, erst in der Richtung zum einen Ende schweißt und dann (nach Vollendung der einen Hälfte) wieder von der Längemitte aus in entgegengesetzter Richtung dem anderen Ende zu.

Das keilförmige Sperrenlassen der Blechkanten ist auch beim Schweißen von Zylinderschüssen, Mänteln usw. von derselben Bedeutung wie bei glatten Blechen.

Längsnähte an sehr dünnen, gebördelten Blechmänteln werden engabständig geheftet und darauf geschweißt, am besten auf einer als Unterlage dienenden, an der Wand oder Werkbank befestigten Eisenbahnschiene, in deren Kopfmittle eine Längsnut von etwa 8 mm Breite und 4 mm Tiefe eingehobelt ist (Abb. 107). Die beiden Blechränder werden über dieser Nute zusammengestoßen und geschweißt. Durch die Nute wird erreicht, daß die Arbeitsgeschwindigkeit durch starke Wärmeableitung der metallischen Masse des Schienenwerkstoffs keine zu große Beeinträchtigung erfährt. Nach der Schweißung der Längsnaht *c* (Abb. 108) hat der Zylinder ein birnenförmiges Aussehen. Durch Hämmern einer als Unterlage dienenden

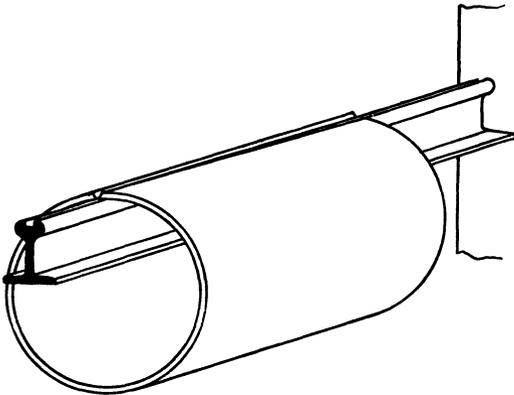


Abb. 107. Schienenauflage für Zylinderschüsse.

Eisenschiene wird die Naht gestreckt und dem Mantel seine zylindrische Form *a* wiedergegeben.

Rundnähte. Ähnlich wie im vorigen verhält man sich beim Schwei-

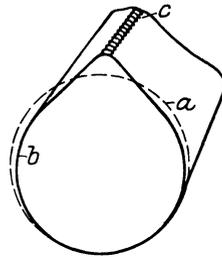


Abb. 108. Form eines Zylinders nach der Schweißung.

ßen von Rundnähten, doch stößt man die Blechschüsse hier immer parallel zusammen, bei dünnen Blechen ohne, bei starken (über 5 mm) mit 3 ÷ 5 mm Spielraum. Rundnähte an Blechen bis zu 5 mm Dicke werden zweckmäßig an verschiedenen Stellen geheftet, und zwar derart, daß man zuerst vier, auf dem Kreisumfang gleichmäßig verteilte Heftpunkte macht und dann die entstandenen vier Kreisabschnitte gleichmäßig mit Schweißpunkten weiter unterteilt. Wichtig ist, daß man der genauen, nicht verwundenen Lage der Blechränder schon beim Heften gebührende Aufmerksamkeit schenkt, da eine gut geheftete Naht die Arbeit erleichtert und um so sauberer geschweißt werden kann. Bei starkwandigen Blechschüssen (über 8 mm) ist das Heften weniger am Platze. Man gibt hier den bereits erwähnten Spielraum und fixiert diese Entfernung durch Spannschrauben oder durch einen im Zylinderinnern angeordneten U-eisenförmigen Ring mit Spannschraube. Vielfach genügen zur Fixierung Drahtbügel, die beim Heften mit in die Naht eingeschmolzen werden können, wie dies in Abb. 109 beim Einschweißen eines Deckels geschehen ist. Auf diese Weise wird auch die Sicherung der infolge geringer Auflagefläche beim Heften Schwierigkeiten bereitenden Deckellage erleichtert. Die Zweckmäßigkeit der einen oder anderen Spann- und Fixiervorrichtung ist von Fall zu Fall zu entscheiden.

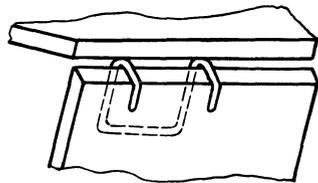


Abb. 109. Drahtbügel zum Fixieren einer Deckelnaht.

Wir haben uns im vorigen mit den praktisch am meisten vorkommenden Beispielen begnügt. Bei der Einzelbesprechung von Schweißarbeiten wird sich noch Gelegenheit finden, auf weitere Vorbereitungsarbeiten hinzuweisen.

3. Schweißung von Blechgefäßen.

Vorteile des Schweißens. Boiler, Behälter, Fässer, Luft- und Wasserdruckkessel, Heizkessel und manch andere Blechkonstruktionen haben durch die Schmelzschweißung eine erhebliche Vereinfachung ihrer Konstruktion erfahren,

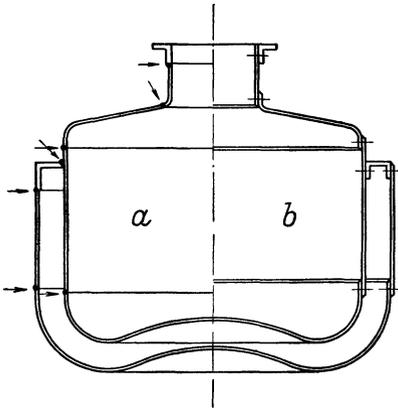


Abb. 110. Kochkessel, geschweißt und genietet.

wie dies beispielsweise in Abb. 110 erkennbar ist. Ein im Schnitt dargestellter, doppelwandiger Kochkessel zeigt uns links bei *a* den Kessel in geschweißtem, rechts bei *b* in genietetem Zustande (5 mm Blech). Die Überlegenheit der Schweißnaht gegenüber der Nietnaht beruht in diesen Fällen auch noch darauf, daß die Blechgefäße länger als beim Nieten gut dicht halten, und auf wesentlicher Gewichtsersparnis. Erforderlich ist, aus sicherheitstechnischen Gründen, zweckmäßige Wahl der Lage der Schweißnaht, die man möglichst immer außerhalb der Beanspruchungslinien des jeweiligen Körpers zu verlegen suchen muß. Eine Anzahl Skizzen (Abb. 111 und 112) sollen die wichtigsten konstruktiven Fälle kurz klarlegen.

Böden von Blechgefäßen. Böden, gleich welcher Form (ob eckig, rund, elliptisch usw.), schweißt man, solange die Gefäße keinem Innendruck unterworfen sind, wie in Abb. 111 bei *a*, *c* und *e* angedeutet ist, in die Mäntel ein.

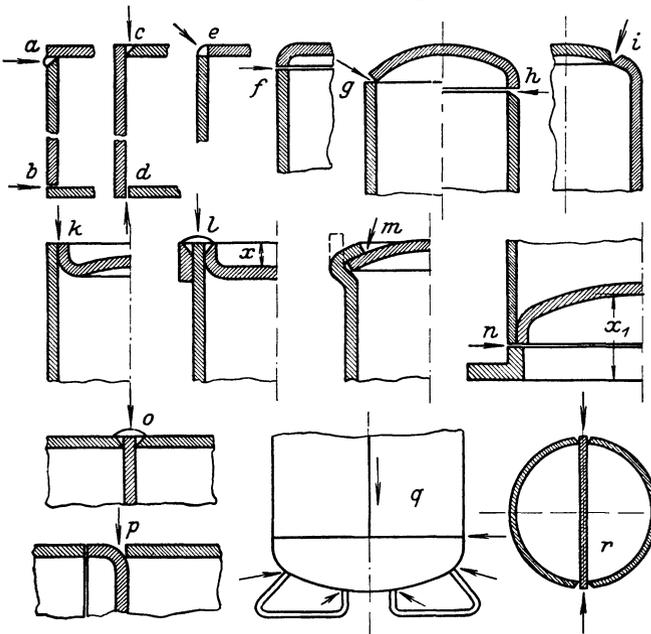


Abb. 111. Schweißung von Blechböden und Zwischenwänden.

c ist für alle Blechstärken gültig; *a* und *c* für stärkere Bleche, während bei schwächeren Blechen die Abschrägung fortfällt und einfach stumpf geschweißt wird (*b* und *d*). Sobald der Blechkörper jedoch Innendruck unterworfen ist, ist die Verbindungsart *a*, *b*, *c*, *d* und *e* unzulässig, weil diese Nähte, Drücken ausgesetzt, aufreißen und unter Umständen Fortfliegen der Deckel zur Folge haben würden. Dasselbe gilt auch vom Kalottendeckel *g*. Man wird demnach nur wenig beanspruchte Gefäße auf diese Weise schweißen dürfen. Im allgemeinen ist bei Druckgefäßen die Anordnung der Schweißnaht nach Art der Abb. 111 *f*, *h* und *i* richtig.

Da für höheren Druck bestimmte Körper meist zylindrisch gehalten sind, erhalten die Böden runde Form und sind dann entweder nach Skizze *f*, besser nach *h* oder *i*, einzuschweißen. An Stelle gekümpelter (mit Umbiegung versehener) Kalottendeckel *f*,

ist, wenn auch bedeutend seltener, die Konstruktion *i* anzutreffen, wobei der Mantel ringsum eingezogen und ein entsprechend kleiner, gewölbter Deckel eingepaßt und stumpf eingeschweißt wird. Beim Einschweißen der Böden ist darauf zu achten, daß die Durchmesser der Böden mit denen der Mäntel genau übereinstimmen. Falsch ist natürlich eine gegenseitige Versetzung der Stoßkanten zueinander, sowohl nach innen als nach außen (Abb. 112 *a*, *b* und *c*). Zuweilen wird auch die Ausführung, Abb. 111 *m*, bevorzugt. In eine gesickte (gekröpfte) Zarge wird ein im Verhältnis zu dieser im Durchmesser etwas reichlicher gehaltener, gewölbter Deckel eingelegt, der Mantelrand über diesem umgelegt und verschweißt.

Neben dem Auf- und Einschweißen von Kalottendeckeln, wie wir es eben besprochen haben, ist, vielleicht weniger bei Deckeln als bei Böden, das Einziehen nach

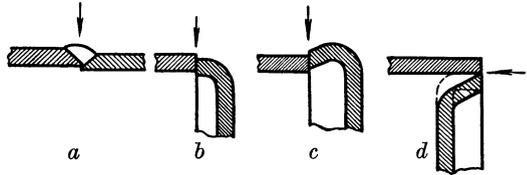


Abb. 112. Falsche Schweißungen bei Blechböden.

Abb. 111 *k*, *l* und *n* üblich. Der stärker gehaltene Boden wird in den Innendurchmesser des in der Wandstärke schwächer bemessenen Zylinders eingepaßt und darauf mit dessen Rande verschweißt (Abb. 111 *k*), was bei kleineren Blechabmessungen (bis 3 mm) ohne Schweißdrahtzusatz geschehen kann. Die Bördelhöhe *x* (Abb. 111 *l*) der Bodenbleche soll die dreifache Blechstärke nicht überschreiten. Kann dieses Maß aus irgendwelchen konstruktiven Ursachen nicht eingehalten werden, dann zieht man zur Erhöhung der Sicherheit einen Flach-, Halbrund-, T-, L- oder U-Eisenring um den Mantel (wie bei *l*) und verschweißt alle drei Bleche in einem Zuge hochkantig miteinander, wobei die Abschrägung der Blechkanten bei stärkerem Werkstoff nicht außer acht gelassen werden darf. Ferner sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß der Boden in den Zylindermantel gut hineinpassen muß; falsch ist ein zu kleiner Boden (Abb. 112 *d*), da er bei hohem Gefäßinnendruck leicht herausgedrückt wird. Ergibt sich die Notwendigkeit besonders großer Stichhöhe x_1 , oder soll das Gefäß senkrecht stehen oder festgeschraubt werden, so schweißt man entweder drei Flacheisenfüße oder einen Winkelfußring (Abb. 111 *n* und *q*) an.

Zwischenwände. Schwierigkeiten bereitet das Einsetzen von Zwischenböden in zylindrische Behälter, und zwar besonders dann, wenn geringe lichte Durchmesser die Schweißung eines abgebördelten Bodens im Zylinderinnern verbieten. Man kommt hier fast immer am besten zuwege, indem man im Sinne der Abb. 111 *o* verfährt, die Wand also unterteilt und den Boden mit dieser an entsprechender Stelle und in bekannter Weise verschweißt. Eine umständlichere Ausführung, die zwei Rundnähte bedingt, zeigt Abb. 111 *p*. Sodann veranschaulicht Abb. 111 *r* den Einbau von Längstrennungswänden in zylindrische Gefäße. Hierbei ist mit Rücksicht auf eine Verwindung des Gefäßes die Anordnung von äußeren Spannrings unerlässlich.

Schweißung gebrauchter Fässer. Schweiß- und Schneidarbeiten an Fässern für entzündliche Flüssigkeiten (Benzol, Benzin, Teeröl usw.) haben häufig zu Explosionen geführt, weshalb an dieser Stelle besonders zur Vorsicht ermahnt sei. Fässer, die entzündliche Flüssigkeiten (Brennstoffe) enthalten haben, sind mit heißem Wasser oder Sodalaug, Fässer, die explosionsfähige Gase enthalten haben, mit Dampf, Kohlensäure, Preßluft oder heißem Wasser auszuspülen, bevor mit der Schweißarbeit begonnen wird. Während dieser sind die Gefäßverschlüsse offen zu halten und die Gefäße selbst so weit wie möglich mit Wasser anzufüllen. Wie man dies durch Einsetzen eines gebogenen Steigerohres in den

Verschluß erreichen kann, ist in Abb. 113 schematisch an einen Benzinfäß veranschaulicht.

Feinblechgefäße. Im Grunde genommen gehört zur Fabrikation von Blechgefäßen auch die Herstellung von Feinblechgefäßen roher, verzinnter, verzinkter oder emaillierter Ausführung, wie Eimer, Kannen, Töpfe, Fässer, Rädertoren, Bottiche, Milchtransportkannen und Geschirr aller Art. Soweit auf diesem Gebiete die Gasschmelzschweißung nicht von der elektrischen Punkt- und Nahtschweißung (nach dem Widerstandsschweißverfahren) verdrängt worden ist, setzt hier fast überall maschinelle Schweißung ein. Die einzelnen Gefäßlängs- und Bodennähte werden auf besonderen Schweißmaschinen selbsttätig geschweißt, meist mit

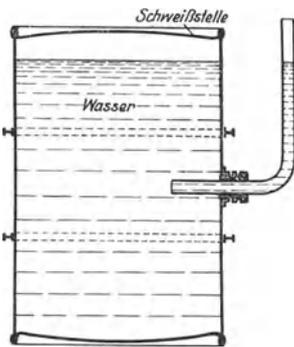


Abb. 113. Schweißung eines Benzinfasses.

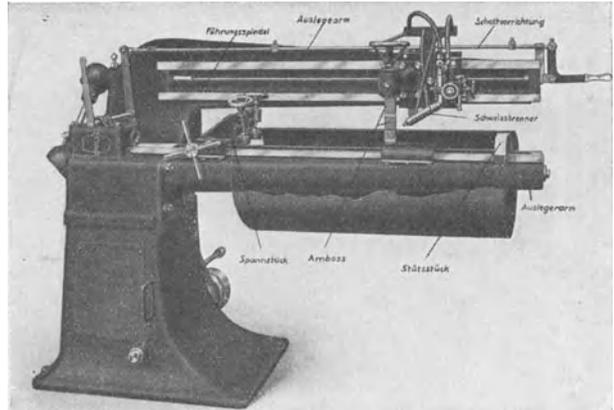


Abb. 114. Längsnahtschweißmaschine.

gebördelten Blechen. Die Bördelränder werden ohne Zusatzwerkstoff niedergeschmolzen. Gerade in der ausgedehnten Massenfabrikation der Emaillewarenindustrie hat der Schweißbrenner ein bedeutendes Arbeitsgebiet einzunehmen vermocht. Abb. 114 veranschaulicht eine der neuesten Konstruktionen von Längsnaht-Schweißmaschinen. Die wichtigsten Elemente der sinnreich eingerichteten Maschine sind in der Abbildung bezeichnet.

Schweißung überzogener Bleche¹. Obwohl gemeiniglich nur Schwarzbleche oder dekapierte (d. h. durch Beizen entzunderter) Eisenbleche für die Schweißung in Frage kommen und die rostschützenden Überzüge von Zink, Zinn und Blei nach erfolgter Schweißung hergestellt werden, tritt dennoch häufig die Aufgabe an den Schweißer heran, Ausbesserungsarbeiten an bereits überzogenen Behältern, Fässern u. dgl. auszuführen.

Die Schweißung verbleiteter Bleche macht keine Schwierigkeiten, da Blei auch auf hoherhitztem oder flüssigem Eisen seine Eigenart beibehält und mit dem Eisen keinerlei Zwischenlegierungen eingeht. Schweißt man verbleitetes Blech, so schmilzt die dünne Bleifolie recht schnell, bildet kleine flüssige Kügelchen und fließt beiderseits der Schweißnaht von dieser rasch ab, so daß sich eine neutrale Zone bildet, breit genug, um die Schweißung des Blechs unter normalen Bedingungen ausführen zu können. Mit Rücksicht auf die Vergiftungsgefahr beim Entstehen von Bleidämpfen sind die für bleiverarbeitende Industrien notwendigen Vorsichtsmaßregeln zu beachten (s. Bleischweißung).

¹ S. auch Horn: Die Schweißung von Blei und Zink und damit überzogener Eisenbleche, in der „Schmelzschweißung“ 1925, Nr. 8.

Natürlich läßt sich beim Schweißen aller überzogenen Bleche ein mit der Blechstärke in der Breite wachsendes Fortschmelzen des Überzugwerkstoffs niemals verhüten. Wir sahen, daß die Entfernung des Überzugs sogar eine absolute Notwendigkeit ist, um den Schweißprozeß ordentlich durchführen zu können. Demnach bedingt jede Schweißarbeit an solchen Blechen normalerweise deren Nachbehandlung, sei es durch galvanisches Aufbringen gleichartigen Überzugs, sei es durch Aufspritzen von Metall oder Aluminiumfarbe (Schoopsches Verfahren).

Nicht so einfach gestaltet sich das Schweißen verzinkter Bleche; vielmehr erfordert dieses verschiedene Maßnahmen, da sich das Zink, von seinem Schmelzpunkt (419°) angefangen, mit dem Eisen legiert (daher auch die Feuerverzinkung). Unter dem Einfluß der Schweißflamme entwickeln sich bedeutende Mengen von Zinkoxyddämpfen, die sehr giftig sind und die Gesundheit des Schweißers ernstlich gefährden können. Das Tragen von Schutzmasken (Abb. 115), Respiratoren, ist aus diesem Grunde beim länger anhaltenden Schweißen verzinkter Bleche unerlässlich. Die Eisenzinklegierung ist stark brüchig und infolge starker Schlackenbildung von sehr geringer Festigkeit. Die Brüchigkeit steigert sich mit abnehmender Blechstärke. Darum genügt es nicht, das stark anhaftende Zink entlang der Naht fortzubrennen, sondern es muß auf 10÷30 mm Breite beiderseits entlang der Schweißfuge mechanisch restlos entfernt werden (durch Abschaben oder Abkratzen).

Ähnlich verhält sich verzinntes Blech (Weißblech). Eine Legierung zwischen Eisen und Zinn ist außergewöhnlich brüchig, besonders bei höheren Temperaturen. Selbst geringe Spuren von Zinn setzen die Festigkeit des Eisens ganz erheblich herab. Die Gefahr einer Vergiftung tritt gegenüber verbleitem und verzinktem Blech zurück, weil die Verdampfung des Zinns erst in der Gegend von 1200° einsetzt, also in der Nähe des Schmelzpunkts des Eisens. Indessen schmilzt auch die Zinnschicht nicht unter der Flamme fort, sondern sie wird vom Eisen, mit diesem eine Legierung bildend, völlig aufgenommen, sobald dieses Rotglut erreicht hat. Für die Entfernung des Zinns gilt deshalb das für Zink Gesagte.

Anschweißen von Walzeisenprofilen an Eisenbleche. Man merke sich hierzu: Bei der Schmelzschweißung kann im allgemeinen nur stumpf und nicht überlappt geschweißt werden; es entstehen also wesentlich andere Konstruktionselemente, als sie beim elektrischen Lichtbogenschweißen gangbar sind. So ist die Schweißarbeit nach Abb. 116 *A* bei *b*, *C* bei *b* und *D* falsch und darf in keinem Falle autogen so ausgeführt werden, da sie außer zweifelhafter Haltbarkeit außerordentlich starkes Verziehen des Gefäßes mit sich bringen würde. Richtig ist es allein, das Winkelprofil an einem Schenkelrande stumpf anzuschweißen (Abb. 116 *B* und *E*) oder, wie bei *a* in Abb. *A* und in Abb. *C* gezeigt, mit der Blechkante zu verbinden. Gewiß ist auch hier auf Spannungs- und Wärmedehnungserscheinungen gebührend Rücksicht zu nehmen.

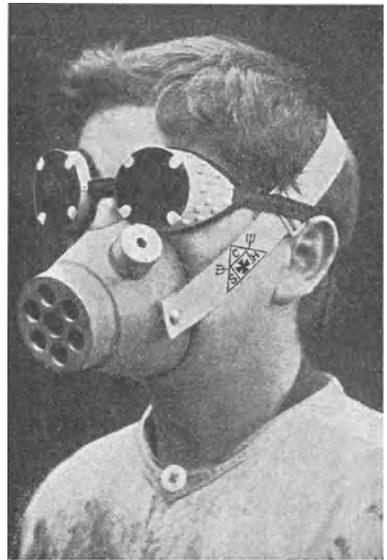


Abb. 115. Atmungs- (Lungenschützer).

Ein im ununterbrochenen Zuge aufgeschweißter Rahmen würde sich nach kurzer Zeit verwinden und vom Blechrand abheben. Um dies zu verhüten, setzt man, wie früher schon erwähnt, Heftpunkte, unabhängig von Form, Größe und Werkstoffstärke des Behälters.

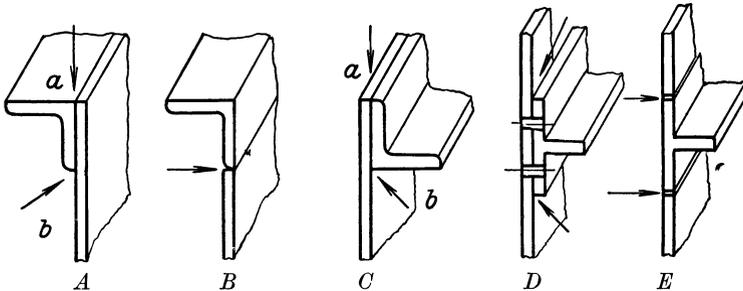


Abb. 116. Falsches und richtiges Anschweißen von Walzprofilen an Eisenbleche.

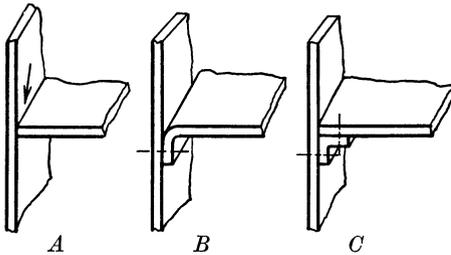


Abb. 117. Winkliger Blechverbindungen.

Im übrigen hüte man sich, ein Blech winklig auf die Fläche eines anderen Blechs schweißen zu wollen (Abb. 117 A). Desgleichen ist das Aufschiessen von Profileisen auf Blechflächen (Abb. 116 D) ausgeschlossen. Sind die dargestellten Verbindungsformen aus praktischen Gründen nicht zugänglich, so ist bei Abb. 116 A, C und D Nietung zu bevorzugen, während beim winkligen Zusammenfügen zweier Bleche entweder das

eine abgekantet und auf das andere aufgenietet wird (Abb. 117 B), oder ein Winkelblech als Verbindungszwischenträger angenietet ist (Abb. 117 C). Aus dem vorigen folgt: Alle auf voller Blechfläche zur Versteifung angebrachten Profileisenkonstruktionen werden angenietet; von einer Schweißung ist im allgemeinen abzusehen.

4. Schweißung von Profileisenkonstruktionen.

Weder die Gas- noch Elektroschweißung sind heute in allen Fällen als vollwertiger Ersatz der Nietung anzusehen. Aus sicherheitstechnischen, z. T. auch wirtschaftlichen Rücksichten ist beim größten Teil, vor allem der Schwerprofilkonstruktionen, die Nietung allein zweckmäßig, und es wird aller Voraussicht nach auch noch einige Zeit darüber vergehen, bis hierin ein grundlegender Wandel zu erwarten ist. Das Gebiet der Eisenkonstruktionsschweißung dürfte im übrigen vorwiegend der elektrischen Schmelzschweißung vorbehalten bleiben.

Aus der Gruppe der Leichtprofilkonstruktionen mögen einige Anwendungsbeispiele der Schmelzschweißung Erwähnung finden. Die Walzprofile, ob L-, U-, T-, I-, Z- oder sonstiges Eisen, werden stumpf zusammengestoßen (Abb. 118 a und 119 a) und stets unter

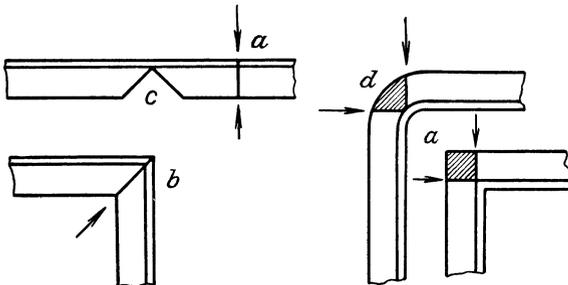


Abb. 118. Winkelleisenschweißungen.

Verwendung von Zusatzdraht geschweißt. Auf Gehrung (winklig) geformte Winkelrahmen schweißt man nach Art der Abb. 118 *b*, indem man den senkrechten Schenkel stehenläßt und um einen gewünschten Winkel kalt oder warm — je nach Werkstoffdicke — abbiegt, nachdem man vorher ein entsprechendes Stück aus dem wagerechten Schenkel (s. oben bei *c*) ausgeschnitten hat. Es braucht dann nur immer ein Schenkel geschweißt zu werden. Kommt das L-Profil nicht nach innen (Abb. 118 *b*), sondern nach außen zu liegen (Abb. 118 *d*), so ist nur ein rechtwinkliger Einschnitt im wagerechten Schenkel erforderlich, wodurch nach Abbiegen der Profilstange ein rechteckiges Stück fehlt. Dies wird durch ein gleich großes, eingeschweißtes Eisenblech ergänzt (schraffierte Fläche Abb. 118 *d*). Auf ähnliche Weise biegt man T-, □- und I-Eisen; beim T-Eisen wird der Steg, beim □-Eisen werden die Schenkel und beim I-Eisen die entsprechenden Flanschen auf Gehrung geschnitten, während der Steg

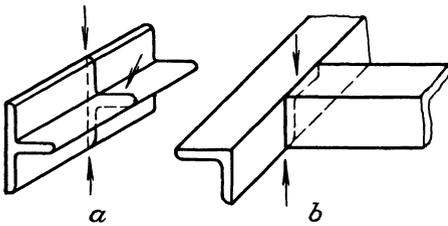


Abb. 119. Profileisenstoßverbindungen.

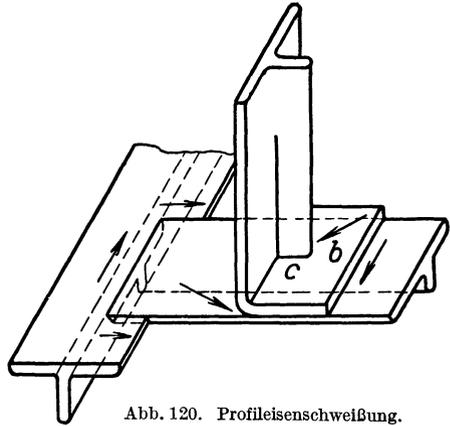


Abb. 120. Profileisenschweißung.

stehenbleibt. Ab. 119 *b* und 120 veranschaulichen einige Profilstoßverbindungen, die mitunter durch stellenweises Ausklinken und Aussparen verbessert werden. Bei *b* in Abb. 120 ist z. B. vom lotrecht aufsitzenden T-Eisen ein Stück Steg abgeschnitten und der dadurch frei liegende Teil des Flansches im rechten Winkel abgelenkt. Dieser Flanschenwinkel dient sozusagen als Fußplatte, die ihrerseits ringsum auf dem Flansch des darunterliegenden Profileisens angeschweißt wird, nachdem auch der Steg bei *c* mit dem Flansch verschweißt wurde.

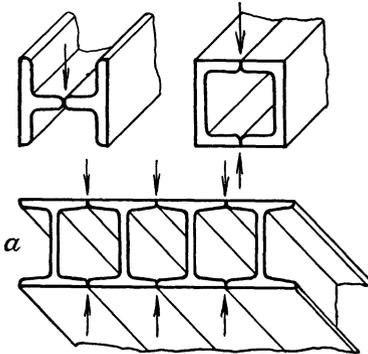


Abb. 121. Profileisenschweißungen.

An Abb. 121 ist gezeigt, wie man auf einfachste Weise durch Zusammenschweißen von Profileisen mannigfache Körper herzustellen vermag, deren Herstellung (z. B. Abb. 121 *a*) in Gußeisen kaum möglich ist.

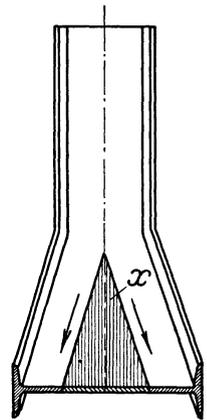


Abb. 122. Profileisen mit eingeschweißtem Blech.

Schließlich verbildlichen die Abb. 122 und 123 verschiedene

Sonderfälle, bei denen man aus konstruktiven Ursachen genötigt ist, ein oder beide Enden normaler Profilträger zu erweitern bzw. einzuziehen. In dem I-Träger, Abb. 122, wurde das Ende des Stags ein Stück der Länge nach aufgeschnitten (mit dem Schneidbrenner) und auseinandergebogen; der nun fehlende,

in der Abbildung schraffiert gezeichnete Werkstoff ist durch ein keilförmig zugeschnittenes, eingeschweißtes Stück Blech (in Stärke des Stegs) ersetzt worden. Die Pfeile deuten, wie in allen übrigen Abbildungen, die Richtung der Brennerbewegung an. Im Gegensatz hierzu wurde aus dem \square -Träger, Abb. 123, ein Stück *a* ausgeschnitten, und der stehengebliebene Teil *b* wurde zur Profilverjüngung eingezogen. Die beiden Stoßstellen wurden darauf verschweißt. Solche und ähnliche Arbeiten lassen sich in größter Vielfältigkeit ausführen.

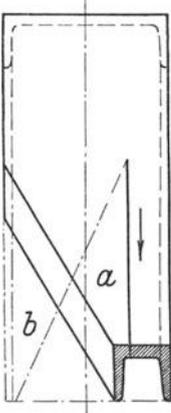


Abb. 123. Profilverjüngung durch Schweißen.

5. Schweißung von Rohren und Rohrkonstruktionen.

Allgemeines. Die gesamte, Rohre verarbeitende Industrie bedient sich der längst erkannten, großen Vorzüge, die der Schweißtechnik für diesen Arbeitsbereich besonders eigentümlich sind. Vom kleinsten Rohr beliebigen Profils bis zum dickwandigsten Rohr größten Durchmessers, für die Fabrikation von Konstruktionsrohren des Fahrzeug-, Flugzeug- und Eisenmöbelbaues, für die Herstellung von Rohrformstücken für die gesamte Gas-, Wasser- und Heiztechnik, zur Anfertigung von Isolierrohr und zur Verlegung von Rohrleitungen aller Art wird die Schweißflamme vorteilhaft herangezogen. Ja, es hat sich hieraus sogar ein selbständiger Fabrikationszweig, die Autogenrohrindustrie, entwickelt. Blechstreifen in einer dem jeweiligen Rohrumfang entsprechenden Breite (Rohrstreifen, Rohrstrips) werden zu Röhren eingerollt oder über Dorne und durch Matrizen auf Ziehbanken zu Rohren gezogen und deren Längsfugen auf

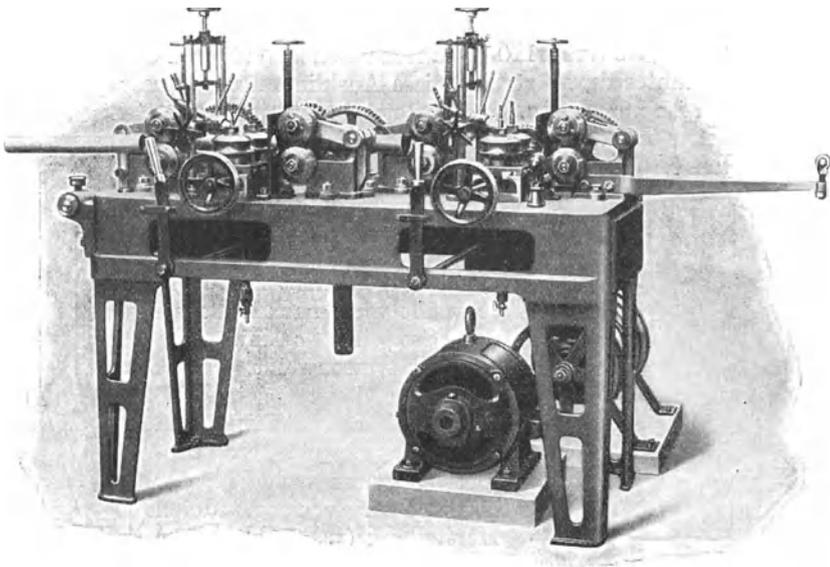


Abb. 124. Zweistraßeige Rohrschweißmaschine.

den Schweißstraßen besonders konstruierter Rohrschweißmaschinen¹ selbsttätig geschweißt. Auf diese Weise werden Rohre bis zu 4" Durchmesser und 4 mm Wand-

¹ S. Horn: Maschinelles Schweißen in „Eisenwelt“ 1919, Heft 19. — S. auch Maschinenbau 1925, S. 539.

stärke hergestellt. Über diese Abmessungen hinausgehende Rohrlängsnähte (z. B. an Wind- und Saugrohrleitungen) werden von Hand geschweißt, so daß für die Schweißung von Rundnähten an so großkalibrigen Rohren im allgemeinen das für die Verbindung von Zylinderschüssen Gesagte zu gelten hat. Eine doppelstrahlige Rohrschweißmaschine zeigt Abb. 124. Sie ist geeignet für Rohre bis zu 50 mm äußeren Durchmesser und bis zu 3 mm Wandstärke. (Bauart Hager & Weidmann A. - G.). Dickwandige, große Rohre werden auch auf Wassergasschweißstraßen (s. Abschnitt I B), kleinere Rohre bis 12' lichte Weite auf Walzenstraßen überlappt geschweißt (sog. patentgeschweißte oder Siederohre). Einige der üblichsten Schweißungen von Rohren und Rohrkonstruktionen mögen hier an Hand von Skizzen als Beispiel für viele beschrieben sein¹.

Rundnähte und Rohrstopfen an Gasrohren. Nach der Art des verwendeten Schneidwerkzeugs richtet sich natürlich das Aussehen des Rohrstoßes. Durch Rohrschneider entstandene Schnitte (*a* Abb. 125) sind insofern für die Schweißarbeit günstiger, als sie zugleich die erwünschte, ausgevaute Schweißmulde herstellen, während der Sägeschnitt Flächenstöße (*b* Abb. 125) hinterläßt. Für Gehrungsschnitte, Abb. 125 *c*, kommt als Trennwerkzeug nur die Metallsäge in Frage, und es ist hierbei für den Schweißvorgang ziemlich belanglos, unter welchem Winkel die Rohrstücke zur Verbindung kommen. Das T- und + -Stück sind im Grunde genommen nur Erweiterungen des L - Stücks; die Schweißung dieser Rohrverbindungen kommt mit am häufigsten vor.

In Abb. 126 sind vier verschiedene Möglichkeiten des Einschweißens von Rohrstopfen veranschaulicht. Bei *a* haben lichte Weite des Stopfens und das ihn aufnehmende Loch im Rohr denselben Durchmesser. Bei *b* ist gezeigt, wie der Außendurchmesser des Stopfens in ein größer gehaltenes (unter Umständen mit dem Schweißbrenner ausgebranntes und nachgefeiltes) Loch hineinpaßt. Die Ausführungsform des Beispiels *b* ist im allgemeinen vorzuziehen. Es bedarf wohl keines besonderen Hinweises, daß das einzuschweißende Rohrende des Stopfens bogenförmig ausgearbeitet sein muß, damit es nicht im Innern des Hauptrohres vorsteht und den Durchfluß der Flüssigkeit oder des Gases hindert. Aus demselben Grunde sind derartige Schweißarbeiten immer mit besonderer Sorgfalt durchzuführen, damit nicht größere Eisentropfen (Schweißbart) den Durchgangs- (lichten) Querschnitt des Rohres verringern, was Reibungsverluste und Wirbelbildung, daher auch eine Abnahme der Durchflußgeschwindigkeit des Wassers oder Gases ergeben müßte. Der Herstellung von Konstruktionsröhren für Fahrzeuge, Möbel und

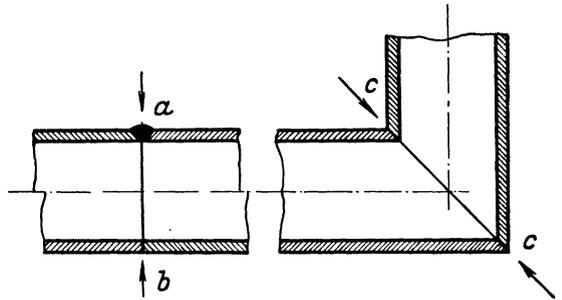


Abb. 125. Nahtschweißungen an Gasrohren.

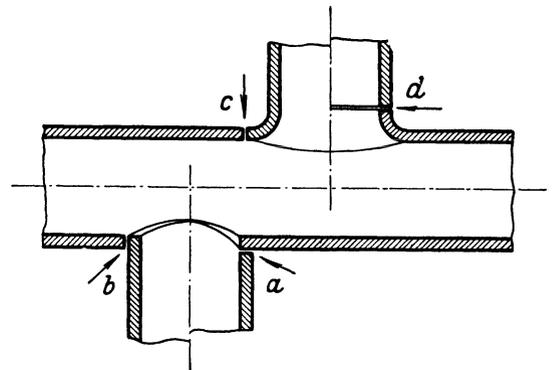


Abb. 126. Rohrstopfenschweißungen.

¹ S. Horn: Moderne Rohrverbindungen in „Die Röhrenindustrie“ 1913, Heft 10.

ähnliches braucht in dieser Hinsicht nicht so viel Aufmerksamkeit geschenkt zu werden, weil hier eine Änderung des nicht benutzten Rohrdurchgangs keine nachteilige Wirkung haben kann.

Im übrigen kann die Abzweigung an jeder beliebigen Stelle und unter jedem beliebigen Winkel angeschweißt werden. Wenngleich die in *a* und *b*, Abb. 126, gezeigten Rohrverbindungen im großen und ganzen ausreichend sind, ist dort, wo es auf möglichst reibungs- und stoßfreien Durchgang ankommt, eine zwar kostspieligere, aber in jeder Hinsicht bessere Verbindungsart *c* und *d*, Abb. 126, zu wählen. Diese hat außerdem den Vorzug, daß die Schweißnaht außerhalb der stark auf Biegung beanspruchten Stoßkante (*a* und *b*, Pfeilrichtung) zu liegen kommt. Bei Ausführungsart *c* ist das Anschlußloch im Hauptrohr größer gehalten als der Durchmesser des Abzweigstutzens, das Schweißende des letzteren herumgeholt (ausgeweitet) und die Umbiegung in das Rohrloch eingesetzt. Die Mehrarbeit liegt hier, wie beim Beispiel *d*, im sauberen Einpassen und der Formgebung des Rohrendes bzw. Rohrlochs. Umgekehrt zeigt Skizze *d* ein im Verhältnis zum Stützendurchmesser kleiner gehaltenes Anschlußloch, dessen Kante eingezogen und dem Durchmesser der Abzweigung angepaßt wird.

Es soll hier gleich noch eine Vorsichtsmaßnahme erwähnt werden, die beim Schweißen enger Zylinder und Rohre, vornehmlich aber beim Schweißen geschlossener Gefäße, Beachtung finden muß. Während des Schweißens gelangen durch die Stoßfuge der Naht mehr oder weniger große Mengen unverbrannter Gase aus der Flamme ins Innere des Blechkörpers, die z. B. beim Zusammenschweißen zweier Rohre in diesen entlang ziehen und an ihren Mündungen verbrennen, oder die Gase explodieren im Rohr unter scharfem Knall und schlagen an den Rohrenden heraus. Würde man z. B. ein Rohr, dessen eine Mündung geschlossen ist, am anderen Ende zuschweißen und mit dem Flammenkern der Fuge zu nahe kommen, dann hätte das im Rohr eingeschlossene unverbrannte Gasmisch keine Gelegenheit zum Abzug und müßte, im Rohrinnern an der glühenden Schweiß zur Entzündung gebracht, explodieren, was ein Zersprengen des Gefäßes zur Folge hätte. Also Vorsicht bei Ausführung solcher Arbeiten!

Rohrformstücke. Im engsten Zusammenhange mit der Herstellung von Abzweigungen aller Art stehen die sog. Rohrformstücke. Hier hat die Schmelzschweißung vollkommen neue Wege gezeigt und der Rohrindustrie in bezug auf

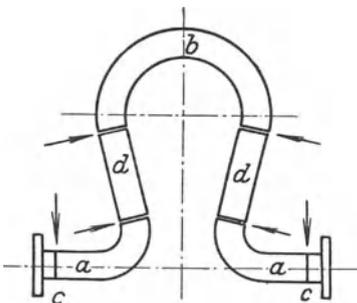


Abb. 127. Geschweißtes Kompensationsrohr.

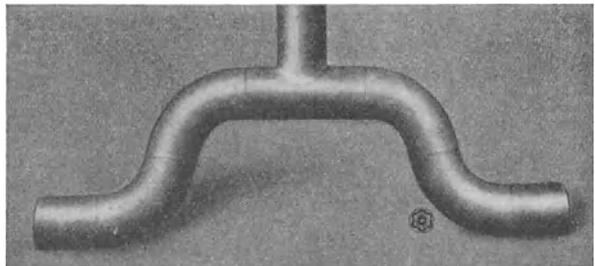


Abb. 128. Geschweißtes Rohrformstück.

Formgebung nahezu unbeschränkte Vielgestaltigkeit ermöglicht. Selbst die schwierigsten Rohrformstücke, die aus technischen oder fabrikatorischen Rücksichten mit gießereitechnischen Mitteln nicht erzeugbar sind, werden durch Zusammenschweißen zweckmäßig geformter Einzelteile (Normalstücke) völlig einwandfrei hergestellt. Als Beispiel einfachster Art mag Abb. 127 gelten, ein aus sieben Teilen zusammen-

geschweißtes, großkalibriges Kompensationsrohr mit Ansatzflanschen (Rohrbogenwerk-Hamburg). Zwei gerade Zwischenstücke d werden mit Normalbogenstücken (a und b) und zwei Flanschen c zusammengeschweißt. Daß ein auf diese Weise hergestelltes, großkalibriges Bogenrohr viel billiger sein muß als ein aus einer Rohrstange (aus einem Stück) gebogenes, dürfte wohl keinem Zweifel unterliegen. Im allgemeinen wächst dabei der Vorteil des Schweißens mit der Größe des Formstücks. Ein aus vier Normalbogenstücken und drei geraden Paßstücken zusammengeschweißtes Rohrformstück veranschaulicht Abb. 128.

Zusammengesetzte Rohrkörper. Unter Zuhilfenahme der Schweißung lassen sich die denkbar verwickeltsten Rohrkörper zusammenstellen; man darf wohl behaupten, daß bei dieser Art der Anwendung der Schweißung unbegrenzte Möglichkeiten ge-

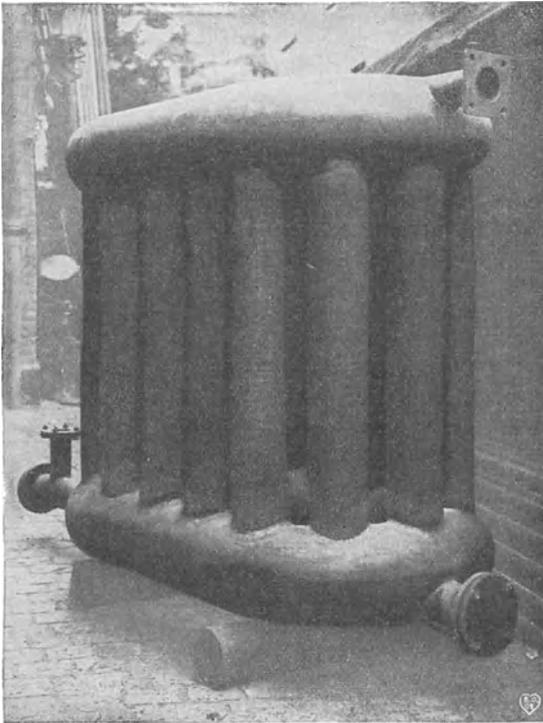


Abb. 129. Geschweißtes Rohrsystem.

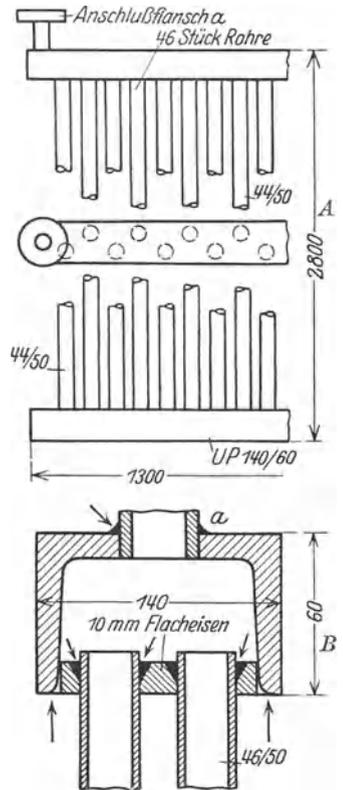


Abb. 130. Heizrohrsysteme für Trockenkammern.

geben sind. So zeigt Abb. 129 ein durch Schweißung zusammengestelltes Rohrsystem größeren Umfangs. Das in Abb. 130 schematisch dargestellte Heizrohrsystem für Trockenkammern ist aus Rohren und \square -Eisen zusammengesetzt und an den in Abb. 130 B mit einem Pfeil versehenen Verbindungsstellen geschweißt. Eine größere Anzahl solcher einzelner Rohrsektionen (meist $20 \div 25$ Stück) werden zu einer Heizrohrbatterie zusammengeschlossen und untereinander durch Anschlußflanschen a verbunden. Zunächst werden die Rohre in entsprechend vorbereitete 10 mm Flach-eisen eingeschweißt und diese dann ringsum mit den Schenkeln des \square -Eisens (Abb. B) durch Schweißung vereinigt. Die in dieser Abbildung veranschaulichten Register wurden auf 15 at Probedruck abgedrückt.

Abb. 131 zeigt das Schema eines Doppelrohr-Gegenstrom-Wärmeaustauschers (Intensivkühlers). Über die innere Rohrschlange *b* sind Rohre *c* von größerem Querschnitt übergestreift, mittels der Schweißflamme *a* an den Enden eingezogen und an *b* angeschweißt. Darauf werden die Rohrbogen *a* an die Stränge *b* angeschweißt und die Verbindungsrohrstücke *d* an *c*. Durch das innere Rohr *b* fließt die zu kühlende Flüssigkeit oder auch Gas, durch Rohr *c* auf umgekehrtem Wege das Kühlmittel (Wasser).

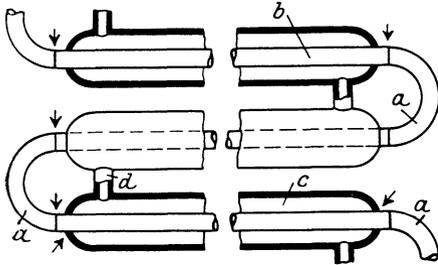


Abb. 131. Geschweißter Intensivkühler.

Längere Rohrleitungen. Nach vorstehendem nimmt es nicht wunder, wenn überall in der Rohrindustrie die Schweißung mehr und mehr in Aufnahme kommt, vor allem im Heizwesen. Wo nur eben tunlich und wo Anspruch auf lösbare Verbindungen nicht erhoben wird, tritt die Stumpfschweißung der Rohrstränge von oft recht ansehnlicher Länge (Fernheizleitungen) in den Vordergrund. Hier bildet die Schweißung, auch wegen ihrer dauernden Dichtigkeit, überlegenen Ersatz für aufgeschraubte Muffen, Winkel, Bogen und andere Fittings. Und noch ein anderer Umstand darf beim Rohrverlegen nicht außer acht gelassen werden: das Gewindeschneiden, das überall dort nicht zu umgehen ist, wo Fittings als Verbindungsmittel dienen. Das auf Kosten der Rohrwandfestigkeit eingeschnittene Gewinde bedingt bedeutend stärkere Rohrwandungen, als für die Beanspruchung des Rohrs an sich erforderlich wären, demnach einen Mehraufwand an Werkstoff. Beim Schweißen fällt diese Schwächung der Rohrwand fort; im Gegenteil, man hat es in der Hand, die Wandstärke an der Verbindungsstelle gewünschtenfalls beliebig zu verdicken.

Flanschenverbindungen. Um lösbare Verbindungen zu erhalten, verwendet man Flanschen, die früher mit Gewinde aufgeschraubt oder als Losflanschen auf gebördelten Rohrenden angeordnet wurden. Mit der zeitgemäßen Schweißverbindung erreicht man dies einfacher, indem man entweder Ansatzflanschen (Abb. 132 A bei *a* und *b*) oder Scheibenflanschen (Abb. 132 A bei *c* oder *d*) an das

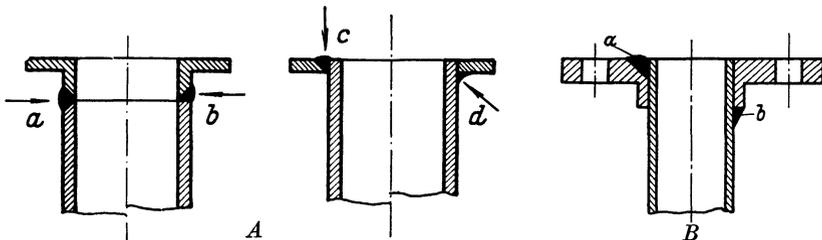


Abb. 132. Flanschenverbindungen.

Rohrende anschweißt. An Stelle der Scheibenflanschen werden häufig auch Ansatzflanschen an die Rohrmündungen angeschweißt, wobei sowohl der Flansch selbst (*a* Abb. 132 B), als auch der Ansatz (*b*) an der Gegenseite angeschweißt werden kann. Einen Dampfverteiler mit neun angeschweißten Anschlußflanschen zeigt Abb. 133. Auch die Verteilerstutzen sind an den Rohrkörper stumpf angeschweißt.

Durch das Schweißen ergibt sich außerdem der Vorteil der Unabhängigkeit von normalen Rohrabmessungen (Rohrnormalien). So könnten z. B. sowohl der

Hauptrohrumpf als sämtliche Stützen des Verteilers, Abb. 133, eingerollt und in der Längsnaht geschweißt werden. Das gilt im besonderen auch für sog. Hochdruckrohre, die in den verschiedensten Abmessungen für Heiz-, Kühl-, Gegenstrom- und Kondensationschlangen Verwendung finden. Umfangreiche Heizrohrregister, Überhitzer, ganze Rohrbatterien und sonstige Rohranlagen werden, wo eben zugänglich, geschweißt, wie dies Abb. 129 ÷ 131 zeigen.

Dünnwandige Rohre und Formstücke. Unsere bisherigen Betrachtungen bezogen sich vorwiegend auf die Verarbeitung mittelstarken Werkstoffs unter sinngemäßer Anwendung auf dickwandige und große Rohre. Bei

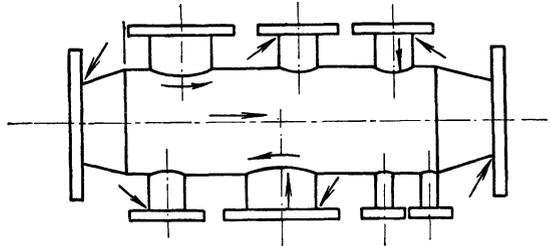


Abb. 133. Geschweißter Dampfverteiler.

den nun noch zu besprechenden, dünnwandigen Rohren und Rohrformstücken handelt es sich in der Hauptsache um Staubsaug- und Windrohrleitungen, um Ventilations- und Rauchabzugrohre, um Elevatorenanlagen und anderes aus Blech von 1 ÷ 2 mm Stärke. Die Querschnittsform der Rohre ist dabei nebensächlich, doch ist das runde Rohr für die Schweißarbeit das günstigste. Bei Blechen unter 1 mm Stärke ist Form und Größe des Rohrkörpers allerdings für die Art des Verbindungsverfahrens maßgebend, und man wird in Anbetracht des beim Schweißen zu erwartenden Verziehs der Rohre mitunter auf dieses Arbeitsverfahren zugunsten des elektrischen Punkt- oder Nahtschweißens oder des Nietens oder Falzens verzichten müssen. Eine allgemeine Entscheidung läßt sich hierüber nicht fällen, das ist Sache der praktischen Erfahrung, vor allem auch vom Aussehen des Schweißstücks abhängig.

Abb. 134 stellt einen aus 1,5 mm Eisenblech hergestellten Rohrbogen von 800 mm Durchmesser dar. Die Anzahl der Segmente, aus welcher der Bogen zusammengesetzt ist, richtet sich neben

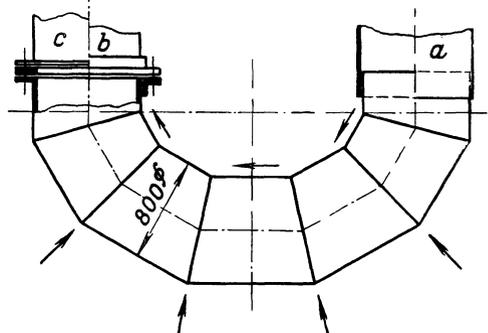


Abb. 134. Geschweißter großer Rohrbogen.

der Mittenentfernung nach dem angestrebten Grad der Rundung; in Abb. 134 sind sieben Segmente vorgesehen, deren Rundnähte unter sich durch Stumpfschweißung verbunden sind. Die Längsnähte der einzelnen Bogenstücke verlegt man auf die kürzeste Linie, also an die Innenseite des Bogens.

An Stelle des Flansches tritt zur Abstimmung der Baulänge bei Montage bei einfacher Ausführung die Steck- oder Schiebenaht (wie bei Ofenrohren), Abb. 134 bei *a*. Ist auf Dichtheit größerer Wert zu legen, dann muß auch für ausreichende Rohrstoßverbindung Sorge getragen werden. Man bördelt in solchem Falle meist die beiden Rohrenden in einer von deren Durchmesser abhängigen Breite rechtwinklig ab, legt zwischen die entstandene Borde einen Flacheisenverstärkungsring und verschraubt diesen mit den Borden (Abb. 134 bei *c*). Bei schwereren Rohrkonstruktionen zieht man um die Rohrenden Winkelrahmen, schweißt oder nietet diese an und verschraubt die so entstandenen Flanschen (Abb. 134 bei *b*).

Muffenrohre. In den letzten Jahren hat sich auch die Schweißung von schmiedeeisernen Muffenrohren stark eingeführt. Die Rohre werden je nach Länge und

Durchmesser über dem Graben geschweißt und dann an Flaschenzügen versenkt oder sie werden gleich im Graben selbst geschweißt, was das Auswerfen entsprechender Kopflöcher erforderlich macht. Aus der großen Anzahl der Ausführungsmöglichkeiten sind in Abb. 135 nur vier herausgegriffen. Abb. 135 *a* zeigt eine normale Muffenrundnaht und *b* eine gebördelte Naht. In Abb. 135 *c* ist das eine

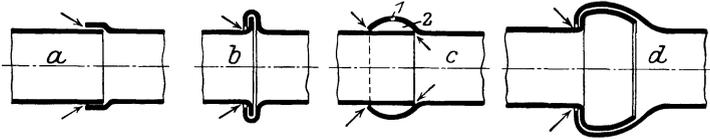


Abb. 135. Muffenrohrschweißungen.

Rohrende zylindrisch geblieben, während das andere als Ballonmuffe ausgebildet ist und einen Hohlraum 2 bildet, der bei 1 ein Anschlußloch hat. Beim Prüfen auf Dichtheit beider Nähte (Innen- und Außennaht nur bei großem Rohrdurchmesser möglich) wird nur der Ringraum 2 mit Wasser angefüllt und abgedrückt. Die kugelförmige Rohrmuffe, Abb. 135 *d*, gestattet geringe Verschiebungen der Rohrenden. Die meisten dieser und ähnlicher Verbindungsschweißungen stehen unter Patentschutz.

6. Die Schmelzschweißung als Ausbesserungsmittel.

Allgemeines. In Betrieben, in denen die Schweißung lediglich als Arbeitsverfahren für Neuanfertigung herangezogen wird, wird dem großenteils nur auf eine bestimmte Arbeit, wenn nicht gar auf einen bestimmten Massenartikel eingestellten Schweißer die Ausübung des Schweißens verhältnismäßig leicht gemacht. Demgegenüber stellt die Arbeit der vielseitigen Ausbesserungsschweißungen, noch dazu an den verschiedensten Metallen, ungleich größere Anforderungen an Geschick und Erfahrung eines schon geübten Schweißers. Der Wert einer Ausbesserungsschweißung wird in erster Linie durch billige, saubere, rasche und vor allem zweckentsprechende Arbeit gesteigert. Der Schweißer muß sich vor Inangriffnahme der Arbeit klar darüber sein, welches die Ursache des entstandenen Risses oder Bruches ist, wie er die Schweißung am besten auszuführen und ihren Erfolg durch Verhütung von Spannungs- und Verbiegungserscheinungen sicherzustellen hat. Er hat in allen Fällen daran zu denken, daß die aus Gründen zu schwach bemessenen Baustoffs hervorgerufenen Brüche und Risse zwar geschweißt werden können, nicht aber eine Haltbarkeit der Schweiße verbürgen, da dem eingeschmolzenen Werkstoff im allgemeinen nicht größere Festigkeit zugemutet werden kann wie dem Grundwerkstoffe selbst. Anders ist es allerdings, wenn die Bruchstelle durch Aufschweißen größerer Werkstoffmengen genügend Verstärkung erhält. Geradezu unübersehbar groß ist die Mannigfaltigkeit der Anwendung des Schweißens auf dem Gesamtgebiete der Ausbesserungsverfahren, weshalb hier nur die grundlegendsten, praktisch wichtigsten Winke und Anleitungen gegeben werden können.

Einfache Risse. Alle bisher genannten Regeln über Vorbereitungsarbeiten und Behandlung des Werkstücks haben selbstverständlich auch bei Ausbesserungsschweißungen sachgemäße Anwendung zu finden. Risse und Anrisse an schmiedeeisernen Werkstücken untersucht man vor dem Schweißen vorteilhaft auf ihren Umfang und ihre Tiefe, derart, daß man den Riß auskreuzt, aushobelt, ausdreht oder ausfräst, und zwar so lange, als sich der Riß noch deutlich durch doppelten Span erkennbar macht. Bereitet die Feststellung von Rißende und Rißtiefe Schwierigkeiten, so hilft man sich zweckmäßig damit, daß man den Riß mit

Petroleum oder dünnflüssigem Öl gut einpinselt und die angefeuchtete Stelle mit feinstem Schmirgelstaub bestreut. Dieses Gemisch dringt in den Riß ein und läßt dessen Grenzen deutlich erkennen. Vorzüglich eignet sich dieses Hilfsmittel bei Feststellung von Anrissen an Gesenkschmiede- oder Preßstücken, z. B. an Lasthaken, Wagen- und Autoachsen, Waggonpuffern, an Pleuel-, Kuppel- und Kurbelstangen usw., alles Gegenstände, deren Neuanfertigung ganz erhebliche Kosten bedingt. Die ausgearbeiteten, muldenförmigen, als Schweißfuge dienenden Stellen werden nach der Vorbereitung unter zeitweise sorgfältigem Hämmern (in Rotglut) sauber mit Zusatzwerkstoff ausgefüllt. Hierbei ist nicht zu vergessen, daß neu aufgefüllter Zusatzwerkstoff nur auf gut vorgewärmtes, bereits im Flusse befindliches Eisen aufgebracht werden soll. Die Haltbarkeit und Gleichmäßigkeit (Homogenität) der Schweiße wird hiervon unmittelbar und einschneidend beeinflußt. Das Aufschweißen von Werkstoff auf infolge starker Abnutzung geschwächte, ausgelaufene Eisenteile ist einfach und möge hier nur im Zusammenhang erwähnt sein. Wirken beim Auftreten von Brüchen starke Zersplitterungen oder nennenswerte Formabweichungen störend auf die Schweißarbeit, so kann man solche Teile aus dem Werkstück ganz herausarbeiten, gegen neue, in diese Form gebrachte Ersatzstücke austauschen und letztere einschweißen. Schmutz, Fett, Farbe und andere fremde Überzüge und Verunreinigungen sind abzubrennen und die Rückstände mittels Drahtbürste sauber zu entfernen!

Wellenbrüche. Häufig kommt die Schweißung von Kurbelwellenbrüchen vor, wie sie in Abb. 136 in verschiedener Form angegeben sind. Hierbei kommt es neben einer guten und haltbaren Schweiße insbesondere darauf an, daß sich die

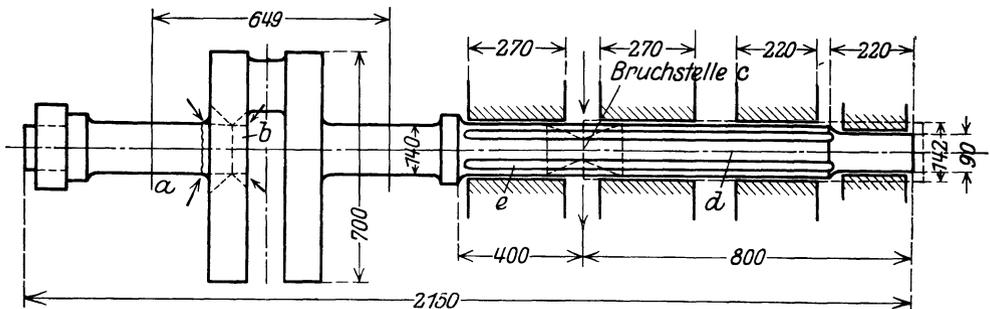


Abb. 136. Schweißung von Kurbelwellenbrüchen.

Kurbelwelle so wenig wie möglich verzieht, damit erhebliche Nacharbeiten vermieden werden. An der in Abb. 136 wiedergegebenen Kurbelwelle eines Gasmotors war das mit *d* bezeichnete Wellenstück bei *c* vollständig abgebrochen. Es wurde, da auch die Nuten *e*, auf welchen außer dem Schwungrad zwei Riemenscheiben aufgekeilt waren, stark beschädigt gewesen sind, durch ein neues, 800 mm langes Stück ersetzt. Die beiden Wellenenden der Schweißstelle (Pfeilrichtung) wurden nach Skizze konisch abgedreht und mittels eines 20 mm Mittelstiftes gegenseitig axial fixiert. Die Schweiße der 140 mm starken Welle wurde nach Aufbringen bestimmter Mengen von Zusatzwerkstoff (Weichstahl) jedesmal gründlich naß gehämmert, wobei die Welle auf hartem Holz gut gelagert war. Nach Fertigstellung wurde die Schweiße ausgeglüht, und man ließ sie an der Luft erkalten. Dann wurde die Welle an der Schweißstelle überdreht und neue Nuten *e* wurden eingefräst, nachdem die Welle vorher auf der Spitzenbank ein wenig ausgerichtet worden war. Die Kurbelwelle ist seit vielen Jahren wieder anstandslos im Betriebe.

Nicht immer liegt der Bruch so günstig wie im eben beschriebenen Falle. So sind Brüche nach Art *a*, die unmittelbar bei der Kröpfung gelegen sind, weniger leicht schweißbar. Zur Erhöhung der Festigkeit ist fast immer das Einsetzen eines neuen Wellenstücks vorzuziehen, derart, daß man im Schenkel der Kröpfung ein Loch bohrt, das das etwas stärker und entsprechend länger gehaltene neue Wellenstück aufnimmt. Die Schenkelbohrung *b* wird beiderseits konisch ausgedreht und die Schweißung von beiden Seiten durchgeführt und gut gehämmert. Nach vollendeter Schweißung wird das Wellenstück auf den normalen Durchmesser bearbeitet.

Zur Schweißung dieser Werkstücke ist ein hohes Maß von Erfahrungen notwendig; im Zweifelsfalle sollte aus sicherheitstechnischen Gründen von „Versuchen“ besser Abstand genommen werden.

Senkrechte Schweißflächen und Überkopfschweißung. Bislang war die Durchführung der Schweißarbeit in der allgemeinüblichen, wagerechten Flächenlage stillschweigend vorausgesetzt. Nicht immer werden die Arbeiten des Schweißers durch eine so handgerechte Lage des Schweißstücks begünstigt. Häufig kommen Fälle vor, wo der Schweißer infolge schlechter Zugänglichkeit der Schweißstelle, oder weil das Schweißstück nicht in wagerechte Lage gebracht werden kann, genötigt ist, eine an sich vielleicht schon hohen Anspruch an Geschicklichkeit stellende Arbeit noch dazu bei beliebiger Lage der Schweißstelle auszuführen. So muß die Forderung, schräge oder stehende Nähte zu schweißen, zu den Meisterarbeiten des Schweißers gezählt werden. Über die Schweißung an senkrechten Flächen hinaus bildet schließlich die Schweißung über Kopf meist den schwierigsten Arbeitsbereich. Das „Überkopfschweißen“ kommt oft bei Kessel- und Behälterausbesserungen, beim Verlegen von Rohrleitungen u. dgl. vor, wobei der Schweißer mitunter gezwungen ist, aus Platzmangel auf dem Rücken liegend, unmittelbar über dem Gesicht zu schweißen. Eine sachgemäße Arbeitsausführung ist hier mehr als sonst der Fertigkeit und sicheren Brennerführung des Schweißers zu verdanken. Es bedarf gewissermaßen eines Kunstgriffs, um das Abtropfen des im Flusse von unten nach oben aufzutragenden Eisens zu verhindern. Ist der Schweißer hierin sicher, so besitzt er die Fähigkeit, schwere und schwierigste Arbeiten an

jedweder Stelle von Werkstücken durchzuführen. Diese Fähigkeit ist mehr noch als das übrige Schweißen lediglich durch praktisches, unverdrossenes Üben zu erlernen.

Soll z. B. ein wagerechter Riß an einer stehenden Wand geschweißt werden, wie dies Abb. 137 darstellt, so würde durch unrichtige Haltung der Flamme, d. h. falschen Schweißwinkel (1 und ähnlich), zumindest für den Anfänger keine Werkstoffbindung, also Ausfüllung der Schweiß-

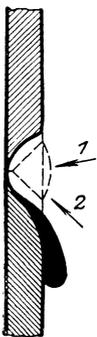


Abb. 137.
Schweißung
einer
stehenden
Naht.

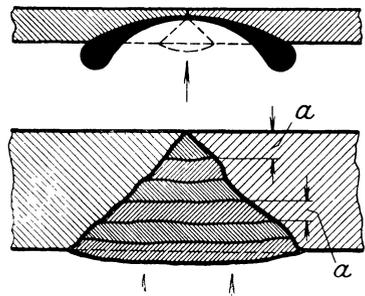


Abb. 138. Überkopfschweißung.

fuge erreichbar sein, sondern bestenfalls Abfließen des geschmolzenen Zusatzwerkstoffs, meist jedoch auch des Grundwerkstoffs. Durch Bewegung der Flamme und Ausnutzung ihrer Ausströmungskraft wird das flüssige Eisen gewissermaßen ange-

preßt (Flammenhaltung 2) und vor dem Abfließen geschützt. Ähnliche Erscheinungen führt uns Abb. 138 oben, eine Überkopfschweißung, vor Augen; ringsum Abtropfen und Abfließen geschmolzenen Eisens. Durch zweckentsprechende

Flammenhaltung wird aber einem in solchen Arbeiten bewanderten Schweißer, auch bei mehrstündiger Überkopfschweißung, ungewollt nicht ein Tropfen flüssiges Eisen verlorengehen. Einer Verdichtung und Veredlung des Metalls ist bei Schweißungen dieser Art besonderer Wert beizumessen. Das geschieht durch gutes Verhämmern des in nicht allzu dicker Schicht (*a* Abb. 138) aufgetragenen Schweißwerkstoffs, wodurch ferner das Verschieden etwa ungebundener Stellen verbürgt wird. Jede aufgetragene Schweißschicht wird also in Rotwärme sorgfältig verhämmert. Am geeignetsten hierfür sind Kugel- oder Ballhämmer.

Hin und wieder wird auch mit an Stangen befestigten Spiegeln (Metallspiegeln) geschweißt. Die Spiegelschweißung kommt dort in Anwendung, wo die Schweißstelle zwar mit dem Brenner erreichbar, infolge Unzugänglichkeit für den Kopf des Schweißers jedoch von diesem nicht zu sehen ist. Am häufigsten dürfte diese schwierige Schweißung beim Verlegen von Rohrleitungen (Steigeleitungen) in Wandnischen und Kanälen vorkommen. Ist eine solche Stelle überhaupt nur von einer Seite aus erreichbar, dann kommt auch die Kappenschweißung zur Anwendung, bei der ein genügend groß bemessenes Loch in das Rohr eingeschnitten, die Schweißung im Innern des Rohres ausgeführt und darauf der ausgeschnittene Teil wieder eingeschweißt wird.

Dampfkesselschweißungen. Die überaus vielfältigen Ausbesserungsschweißungen an Kesseln an dieser Stelle eingehend zu behandeln, verbietet sich von selbst, weil dies den Stoff zu einem recht umfangreichen Sonderbuche geben würde. Nur außerordentlich fortgeschrittene und tüchtige Schweißer (Spezialkesselschweißer) können zu solch verantwortungsvollen Arbeiten herangezogen werden. Als Schweißarbeiten an Dampfkesseln¹ sind anzuführen: Risse und Brüche an Nietlöchern und im gesamten Werkstoff der Flammrohre, Böden und der Außenhaut (Mäntel), Stegrisse in Rohrwänden, Korrosionen (Ausfressungen, innere und äußere) an allen Kesselteilen, abgezehrte Stemmkanten und Niete, Ausbeulungen der Flammrohre usw. Von der Schweißung altersschwachen Werkstoffs ist im allgemeinen abzusehen. Das im folgenden Gesagte bezieht sich nicht allein auf ortsfeste Landkessel aller Bauarten, ob stehend oder liegend, sondern auch auf Schiffs-, Lokomobil- und Lokomotivkessel, die abgesehen von der Raumfrage, alle ziemlich gut schweißbar sind. Fachmännische Umsicht, vereint mit gewissenhafter Sorgfalt, hat über Art und Ausführung der Schweißung zu entscheiden. Man bedenke die nicht zu unterschätzende Beanspruchung des nebenbei noch häufigen Temperaturschwankungen unterworfenen Kesselblechwerkstoffs.

Zu den verhältnismäßig leichten Schweißarbeiten an Dampfkesseln zählt die Ausbesserung von Korrosionen, das sind muldenförmige, bisweilen sehr große und tiefe An- und Ausfressungen, ähnlich umfangreichen Rostnarben, die sich entweder auf der Wasserseite des Kesselblechs befinden und von chemischen Bestandteilen verunreinigten Wassers herrühren, oder, wenn auch weniger, an der Feuerseite der Flammrohre anzutreffen sind, wo sie ihren Ursprung in dem großen Gehalt der abziehenden Rauchgase an Schwefel haben. Die Anfressungen sind vor dem Schweißen gründlich von Rost, Kesselstein und Farbe zu reinigen und auch während und nach erfolgter Schweißung behutsam zu hämmern.

Beim Schweißen von in der Nähe von Nieten und Nietnähten gelegenen Korrosionen, Rissen u. dgl. ist das Leckwerden der Nietstellen und Stemmkanten infolge Wärmewirkung zu berücksichtigen, weshalb in derartigen Fällen vorher

¹ S. Horn: Interessante Dampfkesselreparaturen in „Die Eisenwelt“ 1920, Heft 33; Horn: Dampfkesselreparaturen unter Zuhilfenahme der Schmelzschweißung in „Die Schmelzschweißung“ 1922, Heft 7; Eckermann: Die autogene Schweißung als Ausbesserungsmittel für Dampfkessel. Hamburg: Hanseatische Verlagsanstalt.

oft Nieten entfernt und nach Fertigstellung der Arbeit neu eingezogen werden müssen. Gerade die große Wärmeableitung ist ein Umstand, welcher die Gasschmelzschweißung gegenüber der elektrischen Lichtbogenschweißung teilweise unterliegen läßt. Darum verdient die elektrische Schweißung bei Dampfkesseln, in beschränktem Umfange mit Recht, den Vorzug, weil sie die Schweißwärme viel mehr örtlich beschränkt.

Wo sicherheitstechnische Bedenken nicht bestehen und andere Arbeitsverfahren wenig Erfolg versprechen oder gar nicht anwendbar sind, können Nietköpfe und Nietschäfte, ja ganze Stemmkannten verschweißt werden. Risse werden in bekannter Weise ausgevaut und, wenn sie in ebenem oder nur wenig gebogenem Blech gelegen sind, so geschweißt, daß man zur Verhütung von Spannungsrissen einen Keil in die Rißmitte eintreibt und nach diesem hin von beiden Rißenden aus schweißt; zuletzt verschweißt man das vom Keil hinterlassene Loch. Man merke sich dieses Verfahren auch für die Schweißung von Rissen an anderen starkwandigen Blechgefäßen.

Beachtung verdient des weiteren das Einschweißen von Flickern in Kessel- und Blechgefäßwände. Solche Stücke werden einerseits eingesetzt (nicht etwa aufgesetzt) an Stellen, wo sich eine direkte Verschweißung großflächiger und tiefer Korrosionen nicht mehr verlohnt, andererseits dort, wo Risse oder Anbrüche, durch Einwirkung von Gasen oder Kesselstein entstanden, schlechten Baustoff kennzeichnen. Den Flickern ist, wenn runde oder elliptische Flächenform nicht durchführbar ist, am besten das Aussehen der Abb. 139 II zu geben, bei rechteckiger Form sind zum mindesten aber die Ecken abzurunden (Abb. 139 I). Zur Vermeidung von Spannungsrissen pombiert man zweckmäßig den Flickern, wie *f* Abb. 139 I zeigt, nach einer Seite etwas durch und setzt ihn scharf passend in die Öffnung ein. Die Ausbauchung geht beim Abkühlen des eingeschweißten Blechstücks durch Schrumpfung verloren und sorgt für die angestrebte Stauchung der Schweißnaht.

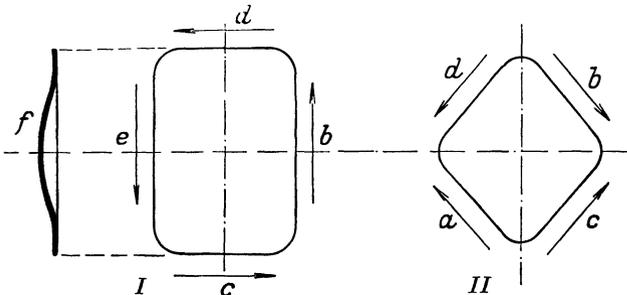


Abb. 139. Einschweißen von Flickern bei Dampfkesseln.

Die Schweißung als solche geht in der in Abb. 139 I bezeichneten Reihenfolge vor sich. Bei *b* wird begonnen, dann kommt Strecke *c*, dann *d*, bei *e* wird aufgehört. Im ununterbrochenen Zuge ge-



Abb. 140. Einsetzen eines Flickers.

schweißte Flicke.nähte ergeben fast immer Spannungsrisse. In Abb. 139 II schweißt man zweckmäßig in der Reihenfolge *a*, *b*, *c*, *d*. Am besten ist, man verfährt nach Abb. 140. Die Kanten des Bleches *b* werden mit der Flamme erwärmt und etwas nach oben herumgebördelt. In die Öffnung wird ein Stück Kesselblech gleicher Stärke eingesetzt und in der Richtung der Pfeile ringsum verschweißt. Wird nach der Schweißung das Blech *a* erwärmt und in die Ebene zurückgehämmert, dann entsteht eine gestauchte und ziemlich spannungsfreie Naht.

Abb. 141 zeigt sodann noch eine größere Schweißung an der Wasserkammerwand eines Dampfkessels. Es waren lange Risse zwischen den Wasserrohrlöchern zu schweißen; beim Ausmeißeln merkte man, wie es auch das Bild deutlich erkennen läßt, daß die Risse sich erweiterten. Durch Prüfung der umliegenden

Blechteile — es handelt sich um die feuerberührte Seite der Wasserkammer — stellte man fest, daß eine größere Werkstofffläche schlecht (verbrannt) war.

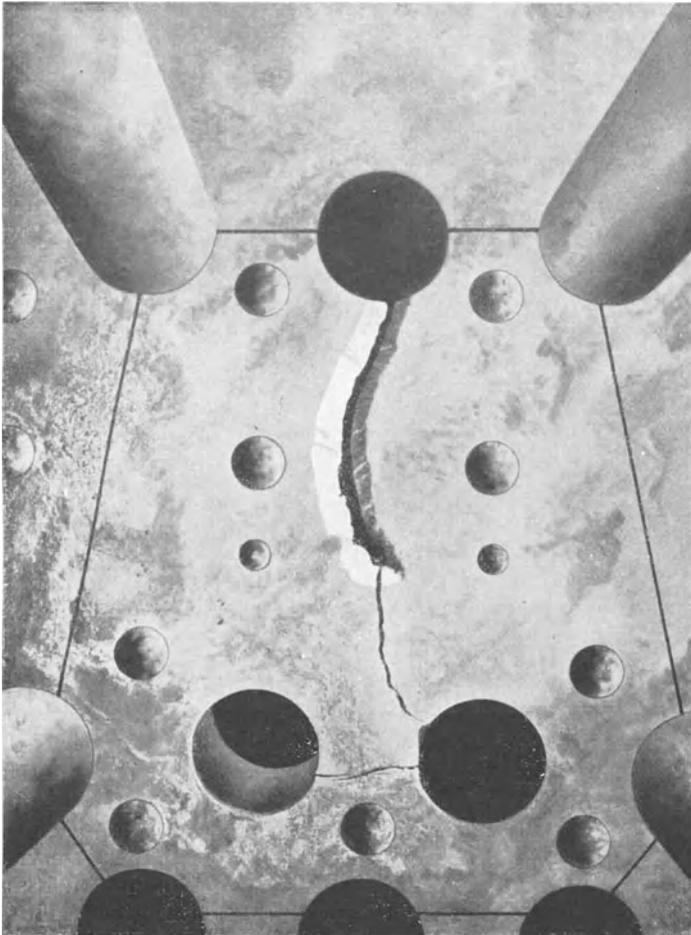


Abb. 141. Risse- und Flickenschweißung in der Wasserkammerwand eines Dampfkessels.

Darauf wurde, wie es die Abbildung in den ausgezogenen Umrandungen des Ausschnitts zeigt, ein größeres Stück ausgeschnitten und ein entsprechendes Einsatzstück eingeschweißt.

7. Aussehen, Bearbeitung und äußerliche Prüfung der Schweißnaht.

Aussehen der Schweißnaht. Das schöne, gleichmäßige und deshalb saubere Aussehen der Schweißnaht oder Schweißstelle ist an sich sehr begrüßenswert, da es den Gesamteindruck des Schweißstücks vom Schönheitsstandpunkte aus vervollkommnet. Leider wird diesem Umstand, der für die Güte der Schweißung nur von nebensächlicher Bedeutung ist, sogar auch in Fachkreisen weit mehr Gewicht als notwendig beigelegt. In erster Linie kommt es natürlich auf eine gute, durchweg gebundene und haltbare Schweißung an; alles andere, auch das schöne Aus-

sehen, ist mehr oder weniger nebensächlich. Wiewohl sich z. B. bei dünnen Blechnähten eine gute und saubere Schweißnaht ziehen läßt, ohne daß dem schönen Aussehen einer gleichmäßigen Schuppenkette Abtrag geschieht, hat dieses Bestreben

bei starkem Werkstoff nicht selten Oberflächenüberhitzung im Gefolge; diese ist darauf zurückzuführen, daß dem Glätten und Verschönen der Oberfläche zu viel Zeit geopfert und das Metall daher zu lange in hochoverhitztem Zustande gehalten wurde. Natürlich soll der Schweißer sich (schon während seiner Lehrzeit) befleißigen, sowohl einwandfreie wie auch schöne Schweißungen zu liefern, schon allein auch deshalb, weil Nachbearbeitungen des Schweißstücks möglichst zu vermeiden sind.

Einige photographische Aufnahmen von geschweißten Eisenblechnähten erläutern die Skizzen der Abb. 92.

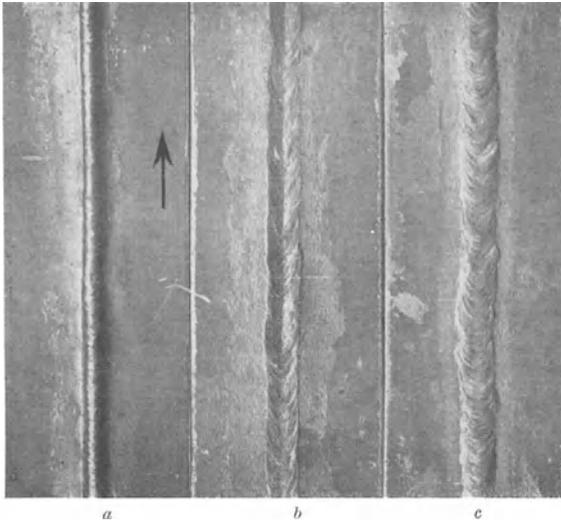


Abb. 142. Normale Schweißnähte an 1 mm-Eisenblechen.

Abb. 142 *b* zeigt die Schweißnaht an einem 1 mm starken Eisenblech, ausgeführt gemäß Abb. 92 *a*, also ohne Zulegen von Draht (ähnlich der Maschinennaht). Die Bördelnaht der Abb. 98 *A* ist in Abb. 142 *a* und die normale Naht in Abb. 142 *c*

veranschaulicht. Fehlerhafte Nähte an ebenfalls 1 mm-Blechen zeigen Abb. 143 *a*, *b*, und *c*. *c* ist die Naht des Anfängers (gemäß Abb. 92 *d*), *a* eine mit falsch eingestellter Schweißflamme (Azetylenüberschuß) und *b* eine mit Sauerstoffüberschuß geschweißte Naht. Die Normalschweißnaht an einem 5 mm starken Blech (Vorbereitung nach Abb. 98 *B*, geschweißt nach Abb. 92 *e*) stellt Abb. 144 dar.



Abb. 143. Fehlerhafte Schweißnähte an 1 mm-Eisenblechen.

Im Querschnitt gesehen, soll die Schweißnaht bei Nähten an dünneren Blechen bis etwa 3 mm Stärke, dem Profil *a* der Abb. 145 *I* nahekommen (Kreissector, d. h. Kreisabschnitt); wir haben dann eine normale, verstärkte Schweißnaht. Falsch ist der bei *b* gezeigte, stark geschwächte Nahtquerschnitt. Hier wurde zu wenig Metall eingeschmolzen; nicht einmal die alte Blechstärke ist wiederhergestellt worden. Der Querschnitt durch die Schweiß-

naht eines stärkeren Bleches ist dem bei *c* in Abb. 145 I dargestellten Profil ähnlich. Der Vorschub der Flamme erfolgt unter größerer seitlicher Flächenbestreichung; die Naht selbst wird demgemäß gleichfalls breiter und flacher. An und für sich hat man es in der Hand, die Nahtdicke beliebig stark zu machen.

Denkt man sich die Schweißnaht der Länge nach durchgeschnitten, so erhält man, wie die Schuppenkette erwarten läßt, keine gerade, vielmehr eine sägenförmige Oberflächenlinie (Abb. 145 II). Den Vorzug verdient sicherlich die Nahtstrecke *a*, die um die Zahnhöhen verstärkte Naht. Weniger befriedigend ist die Nahtstrecke *e*, schlecht die Strecke *b*, die geschwächte Naht mit ungenügend zugesetztem Schweißdraht.

Aus dem Vorausgegangenen läßt sich unschwer folgern, daß ganz allgemein bei allen Schweißstücken lieber etwas mehr Schweißdraht aufgetragen und die Schweißstellen verstärkt werden sollte als umgekehrt.

Bearbeitung der Schweißnaht. Man hat sich an das Bild der Schweißung gewöhnt wie an jenes der Nietnaht und wird in den meisten Fällen auf die Bearbeitung sauberer Schweißnähte verzichten. Späteren Oberflächenveredlungsverfahren (wie Lackieren, Verzinken, Emaillieren) unterworfenen Gegenstände müssen indessen glatt sein; die Naht wird dann abgeschliffen (abgeschmirligt, z. B. mit der elektrischen Handschmirlmaschine), abgefeilt bzw. gefräst, gehobelt oder abgedreht. Häufig genügt schon ein Strecken der sauber geschweißten Naht durch Hämmern oder Walzen im kalten Zustand, womit außerdem auch eine Veredlung des Werkstoffgefüges erreicht wird. Verzogene, unrund oder wellig gewordene Nähte werden durch Hämmern ausgerichtet. Durch Auftragen von Werkstoff entstandene Verstärkungen an geschweißten Werkstücken läßt man, sofern sie im Betriebe nicht hinderlich sind, vorteilhaft bestehen.

Technisch wichtiger sind jene Bearbeitungsverfahren, die eine Güteverbesserung des Werkstoffgefüges der Schweißstelle zum Ziele haben. Darunter sind alle mechanischen und wärmetechnischen Nachbehandlungen zu verstehen, wie Hämmern (Verdichten), Glühen und Abschrecken. Durch Hämmern in Rotglut wird, außer einer Verdichtung des in der Schweißstelle zunächst Gußstruktur besitzenden Gefüges, eine Austreibung der vom flüssigen Metall

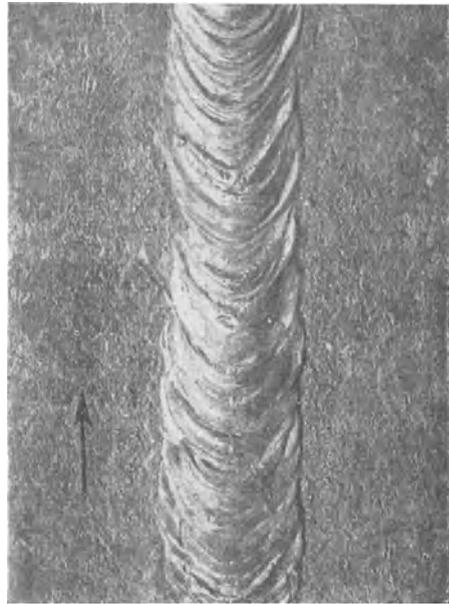


Abb. 144. Normale Schweißnaht an einem 5 mm-Eisenblech.

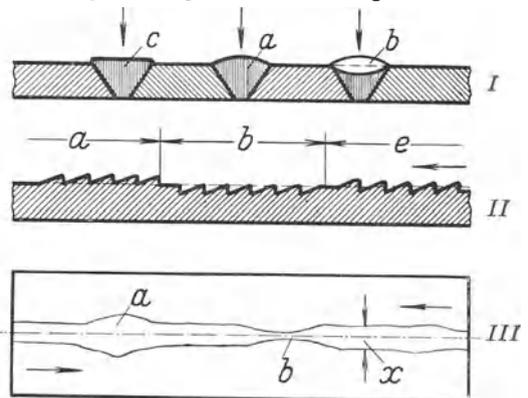


Abb. 145. Aussehen der Schweißnaht.

gelösten Gase (z. B. Kohlenoxyd, Sauerstoff, Wasserstoff) erreicht, und die durch die Gase hervorgerufenen Blasen- und Lunkerräume verschwinden. Das Verdichten der Schweißung durch Hämmern ist bei allen gezogenen und gewalzten Metallen, vornehmlich beim schmiedbaren Eisen und allenthalben, wo technische Hindernisse nicht im Wege stehen, sehr zu empfehlen.

Gleichmäßiges Ausglühen ist außer bei Eisen auch bei anderen Metallen angebracht, wird jedoch vielfach durch umfangreiche Form des geschweißten Gegenstandes erschwert, wenn nicht gar unmöglich gemacht. Ein- bis zwei-stündiges Ausglühen bei etwa 800° hat eine Abnahme der Eisenhärte und Verbesserung etwa überhitzten Eisens zur Folge. Zudem bewirkt die Wärmebehandlung des Werkstoffs eine Umlagerung seiner Gefügebestandteile, die sich in einer Verkleinerung der Eisenkristallkörner äußert; dies trägt wieder wesentlich zur Erhöhung der Festigkeit bei. Schließlich tritt dadurch ein Ausgleich der beim Schweißen durch ungleiche Wärmeaufnahme verursachten Spannungen ein (s. z. B. auch Schweißen des Gußeisens).

Das Abschrecken nach dem Schweißen kommt weniger für Eisen (Härtvorgang) als für verschiedene andere, später zu besprechende Metalle (Kupfer, Bronze, Aluminium) zur Weicherhaltung in Betracht.

Äußerliche Prüfung der Schweißnaht. Wenn wir auch in den im Abschnitt V näher berührten Prüfverfahren der Zerreiß-, Biege- und Schlagprobe, der metallographischen Untersuchung eines Schliffstücks usw. wichtige Hilfsmittel zur Feststellung der Güte von Schweißnähten besitzen, so haben diese Verfahren doch leider keine unmittelbare Bedeutung für das fertige Schweißstück, da sie ja eine Zerstörung des zu prüfenden Werkstoffs bedingen. Überdies erfordern sie umfangreiche und kostspielige technische Einrichtungen. Erwünscht wäre daher eine möglichst einfache und dabei doch genügend zuverlässige Prüfung nach dem äußeren Aussehen. Vorläufig kennt man, was die rein optische Prüfung, mit unbewaffnetem oder auch bewaffnetem Auge anbelangt, nur einen Anhaltspunkt, und zwar die Beobachtung der meist beiderseits der Schweißnaht sichtbaren Anlauffarben, die verschieden starken Oxydationsstufen (Oxydationsfarben, ähnlich wie beim Anlassen des Stahls) ihre Anwesenheit verdanken. Beispielsweise wird ein Eisenblech von bestimmter Dicke und Nahtbreite ein paralleles Farbenband der Breite x , Abb. 145 III, tragen. Eine Verbreiterung dieses Anlauffarbenstreifens (bei a) läßt auf längeres Verharren der Flamme an dieser Stelle schließen, während eine Einschnürung (bei b) nicht genügende Durchschmelzung vermuten läßt. Diese Kontrolle wird natürlich dann wesentlich unterstützt, wenn man in die Lage versetzt ist, die Naht auch auf der Rückseite zu betrachten.

8. Schweißung von Sonderstahl, Stahlformguß, Temperguß.

Während die weicheren Stahlsorten — d. h. die Sorten mit geringerem Kohlenstoffgehalt (etwa 0,3–0,7 vH Kohlenstoff) — gut, fast ebenso gut wie Schmiedeeisen schweißbar sind, sinkt die Schweißbarkeit mit weiter wachsendem Kohlenstoffgehalt beträchtlich. Stahl mit mehr als 1 vH Kohlenstoff ist sehr schwer schweißbar. Im übrigen ist das Notwendige über Eigenschaften und Schweißbarkeit normaler Stahlsorten bereits im Abschnitt C 1 gesagt.

Sonderstähle. Wir verstehen unter diesen Stählen bekanntlich Stahlsorten von hervorragender Güte, deren Eigenschaften durch Zusätze von Mangan, Chrom, Nickel, Wolfram, Titan, Vanadin, Molybdän und Kobalt noch verbessert worden sind. Sie werden auch als „legierte Stähle“ bezeichnet. Einige von ihnen, vor allem die mit Chrom und Wolfram legierten Stähle, sind unter dem Namen

„Schnelldrehstähle“ (Schnellstähle, Schnellschneidstähle) als hochwertige Werkzeugstähle besonders bekannt.

Alle dem normalen Stahl zugesetzten (legierten) Stoffe erschweren die Schweißbarkeit bzw. schließen sie in vielen Fällen gänzlich aus. Im allgemeinen ist also vom Schweißen der Sonderstähle abzuraten. Die Schweißstellen werden meist, trotz aller Vorsicht, schwammig und überhitzt. Wenn man legierte Stähle schweißt, so soll man als Zusatzwerkstoff Draht gleicher Zusammensetzung nehmen. Besser noch gibt man dem Zusatzdraht größere Mengen an Legierungsbestandteilen, als sie im Schweißstück enthalten sind, zum Ersetzen der beim Schmelzen eintretenden Verluste infolge Verdampfung. Die durch verschiedene Veredlungsverfahren dem Stahl verliehenen besonderen Eigenschaften werden durch das Umschmelzen in der Schweißung aufgehoben. Scheinbar unbedeutende Umstände beeinflussen die Güte des

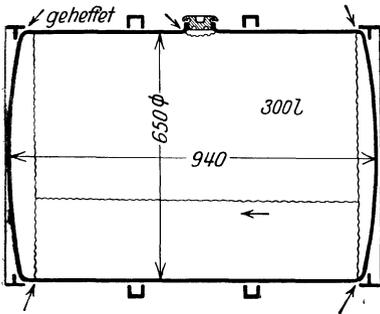


Abb. 146. Geschweißtes Transportfaß für Säure aus V2A-Stahl.

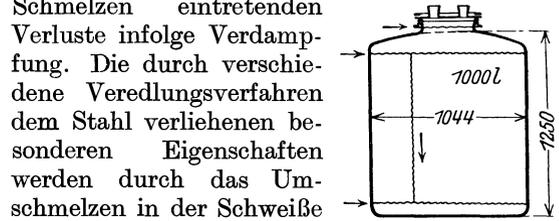


Abb. 147. Geschweißtes Säuregefäß f. Topfwagen aus V2A-Stahl.

Stahls in äußerst ungünstiger Weise. So kann bei nicht peinlichst eingestellter Flamme und Flammenführung eine Anreicherung der Schweißung an Kohlenstoff eintreten, so daß sie den Charakter eines Gußeisens annimmt und sich dann weder schmieden noch härten läßt. Die Schweißung wird dann so spröde, daß freier Fall des Stahls aus geringer Höhe genügt, um sie zu zerstören. Ein geringer Überschuß an freiem Sauerstoff in der Flamme bewirkt eine Entkohlung oder, was dasselbe ist, eine Oxydation, die dem Stahle zwar die Schmiedbarkeit beläßt, in dessen seine Härbarkeit ausschließt. Aus diesem Grunde wird man vielfach von einer Schmelzschweißung des Stahls ganz Abstand nehmen und die Verbindung besser im plastischen (teigigen) Zustande durch Widerstandsschweißung (elektr. Stumpf- oder Punktschweißung) herstellen.

In letzter Zeit machen die nichtrostenden Stähle, insbesondere der V2A-Stahl der Firma Krupp viel von sich reden. Er enthält neben 20 vH Chrom, 7 vH Nickel und 0,2 vH Kohlenstoff und ist bei einiger Übung sehr gut schweißbar. Als Zusatzwerkstoff dienen Blechstreifen des gleichen Stahls oder Draht derselben Zusammensetzung. Aus diesem Sonderstahl hergestellte Blechapparate, wie Eindampfschalen, Transportfässer für Säuren, Säuregefäße für Topfwagen, Vakuumdestillierapparate, Zellstoffkocher usw. lassen sich einwandfrei schweißen. Ein besonderes Gebiet ist die Herstellung von Bierfässern aus diesem Werkstoff. In den obenstehenden Abb. 146 ÷ 148 sind einige dieser geschweißten Gefäße schematisch

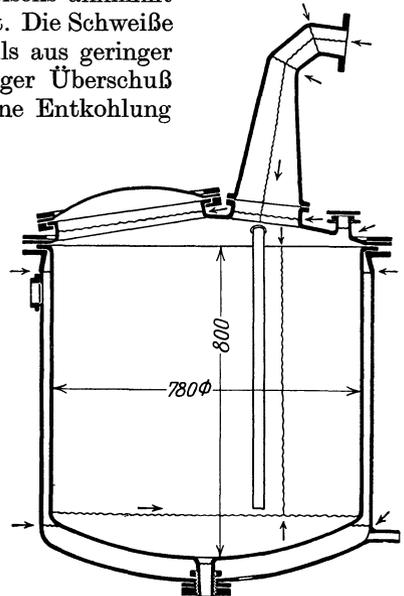


Abb. 148. Geschweißter Vakuumdestillierapparat aus V2A-Stahl (Mantel aus Eisenblech).

dargestellt. Die Schweißnähte sind durch zickzackförmige Linien hervorgehoben. Im übrigen würde man auch bei der Schweißung solcher aus Eisenblech hergestellten Gefäße die Nähte an die gleichen Stellen verlegen. Wo eben angängig, wird jede Naht dieses Werkstoffs doppelseitig geschweißt (auch bei dünnen Blechen). Da das Wärmeleitvermögen des V 2 A-Stahls nur $\frac{1}{3}$ jenes des Flußeisens beträgt, genügen zu seiner Schweißung halb so große Flammen, als sie für die Schweißung des Flußeisens erforderlich sind. Die geschweißten Bleche werden geglüht und abgeschreckt¹.

Zu den neueren Konstruktionswerkstoffen gehört auch der Siliziumstahl (Si-Stahl) mit 0,7÷1,2 vH Silizium. Er hat eine Mindestfestigkeit von 50 kg und eine Dehnung von 22 vH. Siliziumstahl läßt sich zwar gut schweißen, doch ist er außerordentlich dickflüssig, weshalb seine Schweißung große Übung bedingt. Die Schweiße erreicht die Festigkeit und die Dehnung des Mutterwerkstoffs. Das Glühen der Schweiße erhöht deren Festigkeit. Da Silizium unter dem Einfluß der Schweißflamme rasch verdampft, muß als Auffüllstoff ein Siliziumstahl mit höherem Siliziumgehalt verwendet werden.

Stahlformguß (Stahlguß). Der Werkstoff ist Stahl oder Schmiedeeisen — demnach teils mit geringem, teils mit höherem Kohlenstoffgehalt, meist 0,1÷1,0 vH Kohlenstoff — aus dem Tiegel-, Martin- oder Elektroofen in Formen gegossen. Wir

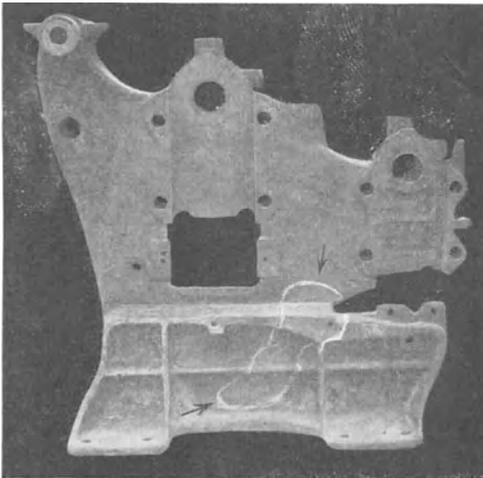


Abb. 149. Gebrochener Stahlgußständer, geschweißt.

haben es also mit einem schmiedbaren Eisen zu tun, das sich, obwohl es schlecht blasen- und lunckerfrei gießbar ist, für Schweißungen meist gut eignet. Stahlguß wird immer mit gewöhnlichem Eisenschweißdraht (ohne Pulver) geschweißt und wie Schmiedeeisen (Flußeisen) behandelt. Die Schweißstellen lassen sich sauber verhämmern. Nunmehr ist zum ersten Male von einer Gußart die Rede, und es darf bei dieser Gelegenheit nicht unerwähnt bleiben, daß beim Schweißen von Guß, je nach Form des Körpers, mit mehr oder weniger großen Spannungen zu rechnen ist, die der gegossene Körper während seiner Abkühlung erhielt. Diese Spannungen sind weit mehr dem spröden Gußeisen gefährlich als dem weichen, geschmeidigen Stahlguß,

weshalb sie erst im nächsten Abschnitt ausführlicher behandelt werden. Schmiedeeisen, Stahl und Stahlguß sind für Gasaufnahme sehr empfänglich, vor allem neigen sie zur Aufnahme von Wasserstoff. Es muß deshalb vor allem beim Schweißen mit Wasserstoff auf diese Erscheinung gebührend Rücksicht genommen und für gute Regulierung der Wasserstoffflamme Sorge getragen werden.

Die Schweißung von Stahlguß erstreckt sich vorwiegend auf die Ausbesserung verschiedener Maschinenelemente, weniger auf die Ausbesserung von Lokomotivrädern (Risse und Sprünge), häufiger auf die Ausbesserung von Lastkraftwagen-

¹ Über die Schweißung von V 2 A-Stahl, Siliziumstahl und Monelmetall s. Horn: Schweißtechnische Streifzüge in „Schmelzschweißung“ 1927, Heft 4 u. 11.

rädern, Rädern überhaupt, Maschinenständern u. dgl. Die Festigkeit der Schweißung erreicht normalerweise jene des Ursprungswerkstoffes. Den geschweißten Stahlgußständer einer Blechschere für 25 mm Kaltschnitt zeigt Abb. 149. Die Schweißung ist durch Pfeile und Umränderung mittels Kreide hervorgehoben.

Temperguß. Kühlt man Roheisen von bestimmter Zusammensetzung rasch ab, so erhält man weißes Roheisen, das im Bruch weiß und strahlig aussieht, den ganzen Kohlenstoff gelöst, also keinen Graphit enthält und sehr hart ist. Aus diesem Weißroheisen wird nun Temperguß gewonnen, indem die aus weißem Roheisen hergestellten Gußstücke tage- oder sogar wochenlang in Temperöfen geglüht werden, und zwar meistens eingebettet in sauerstoffabgebende Stoffe. Solche Stoffe sind Walzsinter, Eisenerze u. a., die bei dem Temperverfahren ihren Sauerstoff an einen Teil des Kohlenstoffes des Weißroheisengusses abgeben, mit diesem Kohlenoxyd bildend. Der im Ausgangswerkstoff vorhandene, an Eisen gebundene Kohlenstoff wird also größtenteils entfernt, teilweise aber auch durch das Glühen in freien Kohlenstoff, Temperkohle, verwandelt; das entstandene Erzeugnis ist Temperguß mit wesentlich anderen physikalischen Eigenschaften, es ist geschmeidiger und schmiedbar geworden (schmiedbarer Guß). Läßt man beim Glühen die sauerstoffabgebenden Stoffe fort, so wird der Kohlenstoff fast nur in Temperkohle verwandelt. Das Gußstück hat einen schwarzen Kern, der von einer dünnen, entkohlten Randzone umgeben ist. Man spricht dann von „Schwarzherzguß“.

Unter allen Metallarten macht die Schweißung von Temperguß die weitaus größten Schwierigkeiten. Beim Schweißen kommt es zunächst auf den Kohlenstoffgehalt des Tempergusses an, der nach den vorigen Ausführungen sehr verschieden sein kann. Ist das Werkstück lange getempert, so ist es kohlenstoffarm und infolgedessen verhältnismäßig leicht schweißbar. Als Zusatzwerkstoff kann man dann Schmiedeeisenstäbe verwenden. Ist das Stück dagegen nur kurze Zeit getempert, so wird es noch ziemlich kohlenstoffreich und in seinen Eigenschaften, auch hinsichtlich der Spannungen, mehr oder weniger dem Gußeisen ähnlich sein. Man kann dann Gußeisenstäbe verwenden und richtet sich hinsichtlich des Schweißens nach den Vorschriften, die für Gußeisen gelten. Allerdings muß man dann auf die Schmiedbarkeit der Schweißung verzichten. Ob der Temperguß mehr schmiedeeisenähnlich oder mehr gußeisenähnlich ist, merkt man bei Beginn des Schweißens sehr bald am Fluß.

Kommt die Schweißung von Temperguß im gleichen Betriebe häufiger in Frage, dann ist es zweifellos ratsam, sich Tempergußstäbe als Zusatzstoff für Schweißarbeiten anfertigen zu lassen. Ihre Verwendung erleichtert nicht allein die Schweißung, sondern verringert auch die beim Schmelzen des Tempergusses so lästige Blasenbildung. Der häufig anzutreffende Vorschlag, um einen Gußstab einen Eisendraht zu winden und beides gemeinsam einzuschmelzen, kann nur als ein Behelfsmittel angesprochen werden.

D. Die Schweißung von Gußeisen.

1. Eigenschaften und Schweißbarkeit des Gußeisens.

Gußeisen ist aus grauem Roheisen durch Umschmelzen in Kupol-, Flamm- oder Tiegelöfen erzeugt. Der Kohlenstoff ist, je nach der Geschwindigkeit der Abkühlung und dem Siliziumgehalt des Gußeisens, in mehr oder weniger großen Mengen als reiner, freier Kohlenstoff — Graphit — auskristallisiert. Gußeisen ist ein spröder, weder schmiedbarer, noch im Feuer schweißbarer Werkstoff. Mit

steigendem Kohlenstoffgehalt sinkt sein Schmelzpunkt, der im allgemeinen 1200⁰ bis 1250⁰ beträgt. Dem Gußeisen sind die Eigenschaften gegossenen Werkstoffs eigentümlich; es hat die Geschmeidigkeit und Biegsamkeit des schmiedbaren Eisens gänzlich eingebüßt und geht, was für den Schweißer wichtig ist, beim Bearbeiten mit der Flamme gleich in den flüssigen Zustand über, ohne vorher eine teigige Zone, wie Schmiedeeisen, zu durchlaufen. Im übrigen ist Gußeisen unter Beobachtung gewisser, im folgenden näher behandelter Vorsichtsmaßregeln im allgemeinen gut schmelzschweißbar. Da der Schmelzpunkt des Eisenoxyds (1350⁰) höher liegt als der des Gußeisens — im Gegensatz zum schmiedbaren Eisen —, so muß für gewöhnlich, um die sich bildende Oxydhaut in eine leichtflüssige Schlacke zu verwandeln, ein Schweißpulver benutzt werden.

Neben 3÷4 vH Kohlenstoff enthält Gußeisen in wechselnden Mengen Silizium, Mangan, Phosphor und Schwefel. Silizium (meist 1÷3 vH) fördert die Ausscheidung des Kohlenstoffs als Graphit und macht infolgedessen den Guß weich. Der Siedepunkt des Siliziums liegt verhältnismäßig niedrig, weshalb es sich teilweise unter Einwirkung der Schweißflamme verflüchtigt (verdampft). Sorgt man daher nicht für hinreichenden Ersatz an diesem Element, so wird die Ausscheidung von Graphit beeinträchtigt, der Werkstoff wird hart. So erklärt es sich, daß die als Zulegwerkstoff dienenden Schweißstäbe einen hohen Siliziumgehalt haben müssen. Mangan (meist 0,5÷1 vH im Guß) behindert die graphitische Ausscheidung des Kohlenstoffs, es macht Gußeisen hart. Seine Anwesenheit in den Schweißstäben ist deshalb nicht erwünscht. Phosphor (0,1÷1,25 vH im Guß) macht Gußeisen dünnflüssig, Schwefel hingegen dickflüssig und erhöht die Sprödigkeit. Der Schwefelgehalt der Gußstücke wird daher auch möglichst unter 0,1 vH gehalten.

In neuerer Zeit, insbesondere in den letzten Jahren, hat man nach verschiedenen Verfahren hochwertiges Gußeisen hergestellt, und zwar in der Hauptsache entweder durch weitgehende Entschweflung und Entgasung oder durch Verwendung kohlenstoffärmeren Gußeisens (mit etwa 2,4÷3,0 vH Kohlenstoff) und heißes Vergießen, nachträgliches Glühen oder Verlangsamung der Abkühlung usw. Hierhin gehören u. a. der Perlitguß von Lanz, der Thyssen-Emmelguß und der Sternguß von Krupp. Alle diese verbesserten Gußeisensorten haben gegenüber gewöhnlichem Gußeisen höhere Zerreiß- und Biegefestigkeit, eine gewisse Dehnung und manchmal sogar eine gewisse Bieg- und Hämmerbarkeit. Ihr Gefüge ist mehr oder weniger perlitisch, d. h. die Graphitausscheidung ist zum Teil unterbunden, der Kohlenstoff ist an das Eisen als Eisenkarbid gebunden; der Guß ist dichter und fester. Diese Gußeisensorten sind naturgemäß nicht schlechter, sondern eher besser schweißbar als der normale Guß, um so mehr, als sie auch weniger Spannungen im Gußstück ergeben.

Anschließend hieran sei noch des Hartgusses gedacht. Hartguß entsteht, wenn Gußeisen in eiserne Formen gegossen wird, worin es an seiner Oberfläche rasch abkühlt. Rasche Abkühlung verhindert die Ausscheidung von Graphit und hat also Härte zur Folge. Demnach wird der Guß in seinen äußeren Schichten viel härter (Hartgußwalzen) als in den inneren. Hartguß ist meist mit starken inneren Spannungen (zwischen den Eisenkristallen) behaftet. An der Schweißstelle wird er ausgeglüht, und die Oberflächenhärtung geht verloren. Von der Hartgußschweißung ist im allgemeinen entschieden abzuraten. Hier kann nur die elektrische Kaltschweißung in Frage kommen.

2. Vorgänge beim Gußeisenschweißen¹.

Es wurde schon betont, daß Gußeisen, ebenso wie die meisten anderen Metalle, nicht wie schmiedbares Eisen vor Eintritt der Verflüssigung einen vorübergehend teigigen, plastischen Zustand einnimmt, sondern, genügend erhitzt, plötzlich flüssig wird. Gußeisen kann deshalb nur in wagerechter Lage geschweißt werden; in jeder anderen Lage fließt das flüssige Eisen dem Gesetz der Schwere folgend ab. Dieser nicht abzuwendende Umstand macht ein häufiges Wenden größerer gußeiserner Werkstücke während des Schweißens erforderlich; die wagerechte Lage des Schmelzbades muß während der ganzen Arbeitsdauer, bis nach erfolgtem Erstarren des geschmolzenen Eisens, gewahrt bleiben.

Normaler Schweißvorgang. Mehr noch als bei anderen Metallen ist beim Gußeisen auf guten Fluß des Grundwerkstoffs und gutes Warmwerden der der Schweißstelle benachbarten Teile zu sorgen, bevor Zusatzgußeisen eingeschmolzen wird, sonst wird die Schweiße stark blasig und porös. Dies ist zum Teil dem im Gußgefüge verteilten, schlecht wärmeleitenden Graphit zuzuschreiben. Eifriges, aber ruhiges Rühren mit dem Zusatzstab im Schweißbade (während des Abschmelzens des Stabes) quer zur Schweißrichtung begünstigt eine porenfreie Schweißung. Das einzuschmelzende, erhitzte Ende des Schweißstabs muß öfter ins Schweißpulver eingetaucht werden, damit ein guter, leichter Fluß erzielt wird. Zur Beschleunigung der Schweißung an schweren Werkstücken, die meist von mehreren Schweißern mittels großer Brenner gleichzeitig vorgenommen wird, hat der Schweißer sein Hauptaugenmerk auf guten Fluß und einwandfreie Bindung des Eisens zu richten; das Gußeisen wird dann in kleinen Brocken durch einen Hilfsarbeiter ins Schmelzbad hineingeworfen und Schweißpulver durch einen an einer langen Eisenstange angebrachten Löffel zugeführt. Mit einem starken Gußstab wird das Schmelzbad gründlich durchgerührt. Arbeitsunterbrechungen sind möglichst zu vermeiden; die Schweißung soll in einem Zuge, falls notwendig, wie gesagt, von mehreren Schweißern ausgeführt werden, die sich gegenseitig auch ablösen können.

Hartwerden der Schweißstelle. Sehr häufig hört man Klagen über Hartwerden der Schweißstelle und die Unmöglichkeit, sie zu bearbeiten. Zweierlei ist für dieses Übel von einschneidender Bedeutung: Zu schnelles Erkalten der Schweißstelle und wesentliche Abnahme an Kohlenstoff und Silizium infolge Verdampfens.

Bleibt das geschweißte Gußstück unbearbeitet, dann kann — von Spannungserscheinungen, von denen nachher gesprochen wird, abgesehen — jedwede Nachbehandlung unterbleiben, die ein Ausglühen der etwa hart gewordenen Schweißstelle zum Ziele hat. Andernfalls muß man das Schweißgut im Muffelofen- oder Holzkohlenfeuer allmählich erkalten lassen, um es wieder bearbeitbar zu machen. Die Ausglühdauer bewegt sich zwischen 3 Stunden und 5 Tagen, je nach der Masse des geschweißten Körpers. Urheber der in der Schweißstelle entstandenen Härte ist bei rascher Abkühlung derselbe Umstand, der auch die Härte des Weißeisens verursacht: Die Unterbindung ausreichender Graphitbildung. Die Ränder der Bruchfläche eines massigen Gußstücks zeigen dies deutlich; sie sind, weil von außen rascher abgekühlt, stets graphitärmer und lassen, schon mit bloßem Auge betrachtet, ein bedeutend feinkörnigeres Gefüge erkennen. Mit der Feinheit der Korngröße wächst zwar die Bruchfestigkeit des Gußeisens, Hand in Hand damit aber auch dessen Härte. Da die Schweißstelle stets ungleich rascher abkühlt als

¹ Ausführliches s. Horn: Die „Gußeisenschmelzschweißung“. Hamburg:  Hanseatische Verlagsanstalt A. G. 1926.

der Gußkörper nach dem Gießen in seiner Form, demnach immer ein viel feineres Gefüge besitzt, ist es auch erklärlich, daß die Gußschweißstelle höhere Festigkeit besitzt als der Grundwerkstoff, eine Erfahrung, die mangels Kenntnis der Vorgänge vielfach Erstaunen auslöst. Bricht die Schweißstelle selbst im Betriebe, so ist das meist ein sicherer Beweis für unsachgemäße Arbeit.

Ganz ähnlichen Härtezustand, einen gehärtetem Stahl sehr ähnlichen, unbearbeitbaren Werkstoff, verursacht ein Verlust der Schweiße an Kohlenstoff und Silizium, weshalb beide Stoffe in genügender Menge im Zusatzstoff enthalten sein müssen. Ein Teil des Kohlenstoffs und Siliziums wird gasförmig (teilweise in Verbindung mit Sauerstoff oder Wasserstoff aus Luft und Flamme) und steigt in Gestalt kleiner Bläschen im Schmelzbade in die Höhe. Erstarrt nun die Schmelze, ohne dem eingeschlossenen Gase Zeit zu lassen, ins Freie abzuziehen, so sind Lunken und Blasenbildung in der Schweiße nicht zu verhüten. Man trachte daher danach, daß die Erstarrung des Schmelzbades nicht plötzlich eintritt, sondern die Flamme längere Zeit auf der geschweißten Stelle verharrt, um diese langsam fest werden zu lassen, was ja nebenbei auch für die Graphitausscheidung vorteilhaft ist.

Nicht selten kommt es vor, daß die Schweiße harte Knötchen enthält, während sie im übrigen weich und gut bearbeitbar ist. Diese harten Inselchen, die besonders an den Übergangsrändern der Schweißstelle zu den Schweißrändern auftreten, sind meist die Folge ungleicher Bindung der Schweißränder mit dem Zusatzstoff, oder der Füllstoff selbst ist verschiedenartig zusammengesetzt. Es ist darauf zu achten, daß der Füllstoff einen dem Querschnitt des Werkstücks angepaßten und nicht zu schwachen Querschnitt hat. Dünnere Stäbe müssen unter der Oberfläche des Schmelzbades und unter anhaltendem Rühren abgeschmolzen werden.

Einfluß der Zusammensetzung des Schweißguts. Mit Formsand und Schlacke durchsetzte Gußstücke werden während der Schweißung durch Auskratzen mit einem schmiedeeisernen Stab von diesen Fremdkörpereinschlüssen befreit. Ganz allgemein müssen alle, in der Schmelzfuge durch starkes Leuchten auffallende Teile (verbrennende Verunreinigungen) immer entfernt oder doch wenigstens an die Oberfläche der Schmelze gebracht werden.

Es gibt Gußsorten, die trotz Anwendung aller erdenklichen Mittel durchaus nicht schweißbar sind. Ein solcher Werkstoff ist vor allem verbrannter Guß (Herdguß oder Brandguß), worunter man ein längere Zeit hindurch hohen Temperaturen oder offenem Feuer ausgesetzt gewesenes Gußeisen versteht. Diesem Guß ist ein großer Teil des Kohlenstoffs und Siliziums entzogen; es hat eine innere Verbrennung (Oxydation) dieser Bestandteile stattgefunden, und es ist ein Werkstoff mit vollkommen anderen Eigenschaften entstanden. Verbrannter Guß wird selbst unter anhaltendem Einfluß der Schweißflamme entweder gar nicht flüssig oder zerbröckelt wie trockener Kitt, ohne daß eine Verbindung herbeizuführen wäre; er erreicht Glashärte. Von der Schweißung solchen Gußeisens (Roststäbe, gußeiserne Kochkessel, Herdplatten, Verdampferschalen, Heizkesselglieder u. dgl.) ist in allen Fällen abzuraten. Nur selten sind marktschreierische Abbildungen von angeblich gelungenen Ausbesserungen dieser Art ernst zu nehmen.

Verziehen des Gußstücks. Bei Wärmezufuhr dehnt das Gußeisen sich aus, mithin auch beim Schweißen, wo ihm Wärme in großer Menge zufließt. Das Maß der darauf beim Erkalten eintretenden Schrumpfung (Zusammenziehung) ist jedoch geringer als das der Dehnung. Dies ist die Ursache des Verziehens (auch die Ursache gewisser Spannungserscheinungen). Die im Abschnitt Gußspannungen angegebenen Hilfsmittel sind auch sinngemäß gegen das Verziehen anzuwenden.

Die bisher nur angedeuteten Spannungen im Gußstück sind für die Schweißung von solcher Bedeutung, daß sie im folgenden in einem besonderen Abschnitt behandelt werden.

3. Bekämpfung der Gußspannungen.

Bei der Beseitigung der fast allen Gußkörpern eigenen Spannungen sieht sich der Schweißer ständig vor neue Aufgaben gestellt. Es ist nicht zuviel gesagt, wenn man behauptet, daß in der Schadlosmachung der Spannungen und ihrer Begleiterscheinungen oft schon der halbe Weg zum Erfolge der Schweißung gewonnen ist. Die Vor- und Nacharbeiten sind beim Schweißen von Guß viel wichtiger als die Schweißung selbst.

Erklärung der Spannungen. Gußspannungen treten hauptsächlich an den Übergangsstellen vom schwachen zum massiveren Werkstoffquerschnitt und in doppelwandigen Hohlkörpern (Zylindern), großflächigen Ebenen, Gittern, Rädern, Scheiben u. dgl. auf und sind ausnahmslos die Folge der Schwindung (Zusammenziehung), verbunden mit ungleichmäßiger Abkühlung des gegossenen Stückes. Sie lassen sich vielfach gar nicht beseitigen, da sich die dünneren Stellen des Gußstückes immer schneller abkühlen werden als die stärkeren. Sitz und Größe der Spannungen richten sich nach Abmessung und Form des jeweiligen Gußkörpers. Zu diesen, fast also in jedem Gußstück vorhandenen Spannungen treten beim Schweißen noch neue Spannungen hinzu, hervorgerufen durch örtliche Erhitzung des Schweißstückes mittels der Schweißflamme. Übersieht oder mißachtet man die im Gußstück bereits vorhandenen und die durch das Schweißen neu hinzukommenden Spannungen, so sind meistens unerwartete Fehlschläge die Folge. Die Körper verziehen sich, reißen, sie bersten, brechen und schlimmstenfalls fliegen sie in Stücke.

Hilfsmittel gegen Spannungswirkungen. Zur Aufhebung und Abdämmung von Spannungen und Verhütung der Übertragung ungewollter Werkstoffdehnungen auf den der Schweißstelle benachbarten Bereich sind die verschiedensten Hilfsmittel gebräuchlich. Einige davon sind: Teilweiser Einbau in feuchten Lehm oder Sand, Abdecken mit feuchten Lappen, Eintreiben von Keilen, Aufziehen von Spannringen, Vorwärmen und langsames Erkalten. Die beiden letzten Vorkehrungen sind die wichtigsten.

Natürlich gibt es eine große Zahl gebrochener, gerissener oder poröser Gußstücke, die ohne jede Vor- und Nacharbeit unvorgewärmt zu schweißen sind. Man findet sich einigermaßen auf diesem schwierigen Gebiete zurecht, wenn man sich grundsätzlich folgende Regel vor Augen hält: Ist der zu schweißende Gegenstand infolge seiner Beschaffenheit befähigt, räumliche Dehnung aufzunehmen, dann kann er kalt, d. h. ohne Vorwärmung im Feuer, geschweißt werden. Tritt indessen irgendein Teil des zu schweißenden Körpers freier Ausdehnung der erhitzten Teile hemmend entgegen, so ist teilweise oder vollkommene Vorwärmung auf Rotglut notwendig.

Vor- und Nachwärmen. Nach vorigem ist es widersinnig zu glauben, die Notwendigkeit des Vor- und Nachwärmens ergäbe sich aus Größe und Gewicht des Körpers; maßgebend ist hierfür allein Form und Beschaffenheit des Gußstückes. Dehnung des erhitzten Gußkörpers und das darauffolgende Zusammenziehen (Schrumpfen) beim Erkalten sind nie gleich groß. Daraus folgt eine gewisse Spannung, die im rotwarmen Zustande des Gußstückes aufgehoben wird; in diesem Zustand ist es ganz spannungsfrei. Der Temperaturunterschied zwischen hochehitztem Werkstück und dessen Schmelzpunkt ist wesentlich geringer als der zwischen dem kalten, unvorgewärmten Körper und dem Schmelzpunkt. Bei

Rotglut hat sich das erwärmte Gußstück bereits stark gedehnt und vermag nun den Wärmeüberschuß, der ihm durch die Schweißflamme zugeführt wird, gefahrlos aufzunehmen; die dadurch bewirkte Dehnungszunahme bleibt nur gering. Ein kaltes Gußstück kann dagegen manchmal an irgendeiner bestimmten Stelle kaum mit der Flamme bestrichen werden, und schon bricht es. So können sich durch das Schweißen auch neue, die alten an Gefahr oft übertreffende Spannungen im Gußstück bilden.

Das geringe Dehnungsvermögen des spröden Gußeisens liegt wiederum an den Graphitkristallen, die den Werkstoffquerschnitt adernförmig, oft blattartig durchsetzen und durch Unterbrechung des Zusammenhanges des Eisens die Zugfestigkeit erheblich vermindern. Dies gibt auch eine Erklärung dafür, warum man an Gußeisen nur wesentlich geringere Spannungs- und Dehnungsanforderungen stellen kann als an den meist viel besser schweißbaren graphitfreien Stahlguß.

Anwärmeverrichtungen. Gleichmäßiges Vorwärmen und Erkaltenlassen erfolgt für kleinere Stücke am zweckmäßigsten im gas-, öl-, feuer- oder elektrischgeheizten Muffelofen, über den jede bessere Ausbesserungsschweißerei verfügen sollte. Wo ein Muffelofen nicht vorhanden, und ferner für größere Gußstücke, ist Holzkohlenfeuer am geeignetsten. Wenn ein Ventilatorgebläse oder verdichtete Luft fehlt, kann das Feuer mittels der Schweißflamme entzündet und durch zeitweiliges Einblasen von Sauerstoff entfacht werden. Der zu erhitze Gegenstand wird gut in trockene Holzkohlen eingebettet, ringsum mit gitterförmig aufgestellten Schamottesteinen eingebaut (damit Luft zum Feuer gelangen kann) und oben mit Asbest- und Blechtafeln abgedeckt. Gleichmäßiges Vorwärmen und Schutz vor starker Zugluft ist vor allen Dingen erforderlich. Fenster und Türen der Werkstätte sind während des Schweißens geschlossen zu halten; der Abzug der Gase erfolgt am besten auf künstlichem Wege (Exhaustor).

Schwere Stücke von starkem Querschnitt wärmt man, um an Gas und Sauerstoff zu sparen, vorteilhaft immer vor, auch wenn dies der Spannungen wegen nicht notwendig wäre.

4. Ausführung von Gußschweißungen.

Grenzfälle für die Schweißung von Gußstücken lassen sich nicht ohne weiteres bezeichnen. Für die obere Grenze der Schweißbarkeit sind, in Anbetracht unserer zeitgemäßen Transportmittel und Hebezeuge, große Gewichte und Abmessungen der Schweißstücke nicht mehr hinderlich. Viel mehr wird die Arbeitsmöglichkeit durch den Werkstoffquerschnitt der Schweißstelle beeinflusst. Zu große Werkstoffdicken bedingen den Aufwand bedeutender, vom Schweißer kaum zu ertragender Wärmemengen. Dann ist das elektr. Warmschweißverfahren am Platze. Nach unten gibt es eine eigentliche Grenze für schwache und kleinste Gußgegenstände nicht, da auch die kleinsten, eisengießereitechnisch herstellbaren Körper genügend dicke Wandungen haben.

Anschließend an die Reihe bereits aufgezählter Werkstücke, von deren Schweißung aus technischen und wirtschaftlichen Gründen abzuraten ist, mögen noch genannt sein: Platten größeren Flächeninhalts, besonders durch Rippen verstärkte Tuschier- und Richtplatten; außergewöhnlich starke Zylinderwandungen, die hohen Innendruck ausgesetzt werden (Wasserdruckpreßzylinder); Gitter (Roste), bei denen Risse oder Brüche der Mitte des Körpers nahegelegen sind, usw. Bestimmte Regeln lassen sich nicht aufstellen, weil auch die zu Gebote stehenden Hilfsmittel und die Güte des Gusses mit ins Gewicht fallen. Die Wahrscheinlichkeit des Gelingens einer Gußschweißung kann nur von Fall zu Fall nach Inaugenscheinahme und nur von erfahrenen Fachleuten beurteilt werden.

Wir wollen nunmehr versuchen, an Hand einiger erläuternder Skizzen uns über die wichtigsten Gesichtspunkte bei der Schweißung verschiedener Gußkörper klar zu werden.

Abb. 150: Doppelarmiger Hebel. Querschnitt und Abmessungen beliebig. Die Dehnung kann allseitig frei erfolgen, deshalb ist ein Vorwärmen unnötig. Risse oder Brüche (*a* oder *b*) werden rings um den Querschnitt verschweißt. Durchschweißen! Hat sich der Hebel verzogen, so stützt man ihn auf zwei Endpunkte mit Durchbiegung nach oben. Darauf wird die Schweißstelle mittels Brenner angewärmt, dann läßt man sie allmählich erkalten, so daß ein Senken der Durchbiegung eintritt. Der Bruch bei *c* ist nur von drei Seiten schweißbar. Vor allem in Längsrichtung der Nabe Querschnitt gut durchschweißen! Soll das Ausbohren der geschweißten Nabe (*c*) wegfallen, so setzt man in die Bohrung einen mit Tonschlamm oder fettdurchsetztem Graphit bestrichenen Bolzen von entsprechendem Durchmesser ein, der ein Durchfließen des Füllstoffs verhütet. Sollte der Bolzen, was seltener vorkommt, nach der erkalteten Schweißung festsitzen, dann wird er ausgebohrt, während an der Bohrung der Nabe selbst keine Nacharbeit erforderlich ist.

Abb. 151: Rahmen. Querschnitt und Abmessungen gleichgültig. Schweißung bei *c* gefahrlos; Abdecken des links von gestrichelter Linie gelegenen Teils (mit

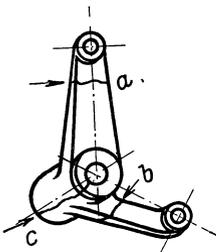


Abb. 150. Doppelarmiger Hebel.

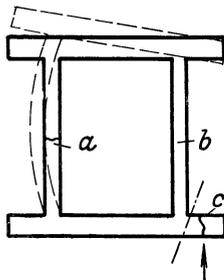


Abb. 151. Rahmen.

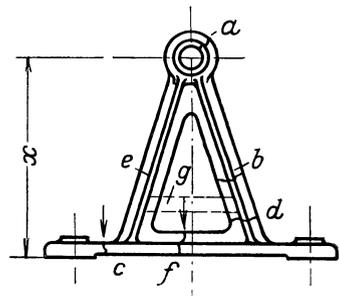


Abb. 152. Lagerbock.

Sand, Lehm u. dgl.) vorsichtshalber (bei Anfängern) empfehlenswert. Trotz Einfachheit des Körpers tritt Verziehen ein (punktierte Lage), wenn bei *a* geschweißt wird, da *b*, in kaltem Zustande belassen, der Dehnung nicht folgen kann. Darum *b* (gegenüberliegende Stelle von *a*) beim Schweißen mit anwärmen (zweite Flamme oder im Feuer), so daß Stäbe *a* und *b* durch Wärme gleichmäßig verlängert werden. Erkaltenlassen in heißer Asche oder heißem Sande gut.

Abb. 152: Lagerbock. Querschnitt der Arme (Streben) beliebig. Brüche bei *a* und *c* gefahrlos, unvorgewärmt schweißbar. Wenn Bruch bei *b* oder *d*, Bestreichen von *e* mit Flamme (wie bei Abb. 151) notwendig. Bleibende, geringe Längenzunahme von *x* wahrscheinlich, durch Abarbeiten der Fußplatte regulierbar. Wenn Bruch in Fußplatte bei *f* gelegen, dann behutsames Eintreiben eines Keiles *g* empfehlenswert, damit Riß etwas klapft; sobald Schweißung beendet, Keil sofort herausnehmen (Stauchung in der Schweißstelle).

Abb. 153: Autoblockzylinder¹. Meist vorkommende Ausbesserungen: Frost- und Hitzerrisse, Flanschenbrüche. Frostrisse entstehen in den Wintermonaten durch versäumtes Ablassen des Kühlwassers; sie liegen meist in den äußeren Mänteln (Kühlmänteln) der Zylinder (bei *a*, *b*, *c*). Dagegen sind Hitzerrisse, die

¹ Ausführliche illustrierte Abhandlung über Zylinderschweißungen s. Horn: Die Schweißung gußeiserner Explosionsmotorzylinder in „Die Schmelzschweißung“ 1925, Heft 4 u. 5.

Folge mangelhafter oder plötzlicher Kühlung, ausschließlich in den inneren Zylinderwandungen, besonders an den Zylinderböden gelegen. Die Schweißung ersterer (Frostrisse) ist leichter als die der Hitzerrisse. Alle diese Risse, gleich welcher

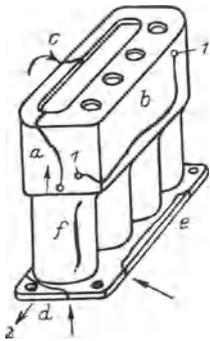


Abb. 153. Autoblock-zylinder.

Lage und welchen Umfanges, bedingen Vorwärmung und langsames Erkaltenlassen des Zylinders im erlöschenden Feuer. Abbohren der Reißenden (1) vor Inangriffnahme der Arbeit ratsam. Schweißung immer an dem in der Fläche gelegenen Reißende beginnen (Pfeilrichtung bei *a* und *c*). Selten und schwierig schweißbar sind am Laufmantel inner- oder außerhalb der Zylinderbohrung aufgetretene Risse (*f*). Gut vorwärmen; nicht zu weit durchschweißen, damit Lauffläche für den Kolben, die sich nicht verziehen darf, nicht beschädigt wird. Bruch bei *d* kann ohne Vorwärmung geschweißt werden; jedoch Flamme immer vom Zylinder weg (Pfeil 2) halten, damit diesem nicht unnötig viel Wärme zugeführt wird. Reiß oder Bruch bei *e*: Zylinder gut vorwärmen. Um innerhalb des Kühlraumes des Zylinders gelegene Risse verschweißen zu können, ist vielfach das Herausbohren von Stücken aus dem

Kühlmantel und Auskreuzen erforderlich, damit die inneren Risse zugänglich werden. Reihenfolge dann: Zylinder vorwärmen, innere Risse verschweißen, langsam abkühlen, Druckprobe. Ist Reiß dicht, dann abermals vorwärmen, ausgeschnittenes Stück in Kühlmantel einschweißen, nachwärmen, Druckprobe. Solche Aus-

besserungen zählen zu den dankbarsten, allerdings auch schwierigsten Arbeiten des Schweißers.

Abb. 154 und 155 zeigen zwei verschiedene, zur Schweißung vorbereitete Autozylinder (mit abgeschrägten Bruchflächen). Bei beiden sind sowohl die Kühlmäntel als auch die Laufmäntel, also die eigentlichen Zylinder stark beschädigt. Der Arbeitsgang bei der Ausbesserung dieser Zylinderblöcke ist uns bereits bekannt. Es mag nur noch gesagt sein, daß das Innere der Zylinderbohrung, die Lauffläche, nicht immer mit der Flamme bearbeitet werden darf, da sich kleinere oder größere Mulden (Gruben) oder auch nur Poren beiderseits entlang der Schweißse niemals ganz verhüten lassen, so daß beim ausgeschliffenen Zylinder an den Über-

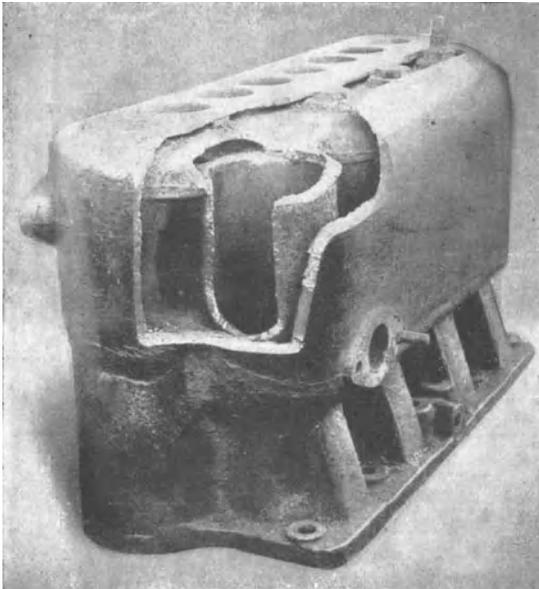


Abb. 154. Beschädigter Autodoppelpylinder.

gangsrändern zwischen Schweißse und Grundwerkstoff fehlerhafte Stellen zurückbleiben, die die Brauchbarkeit des Blocks in Frage stellen können. Selbstverständlich müssen beide in den Abbildungen gezeigte Zylinderblöcke nach der Schweißung ausgeschliffen werden. Das läßt sich bei Arbeiten an den Bohrungen auch dann nicht vermeiden, wenn ordnungsgemäß nur von außen (nach Aus-

kreuzen eines entsprechend großen Stücks aus dem Wassermantel) geschweißt wird. Da die Schweißnähte an bearbeiteten und lackierten Zylindern überhaupt nicht mehr sichtbar ist, kann hier von der Wiedergabe von Bildern geschweißter Blocks Abstand genommen werden.

Abb. 156: Zahnrad¹. Abgebrochene Zähne kleineren Moduls (kleinerer Teilung) schweißt man wie bei *a* (völliger Bruch) und bei *b* (Teilbruch) gezeigt, indem man die abgebrochenen Teile durch Aufschweißen neuen Gußeisens ersetzt. Zähne kleinster Teilung werden, wie bei *d* gezeigt, samt der nebenliegenden Zahnücke vollgeschweißt, besonders dann, wenn mehrere nebeneinanderliegende Zähne abgebrochen sind. Bei gebrochenen Zähnen größter Teilung schweißt man im allgemeinen das abgebrochene Stück wieder an. Im übrigen gilt für Zahnradschweißungen das zu Abb. 158 Gesagte.

Die in Abb. 157 durch Kreideschraffur kenntlich gemachten Zähne eines schweren Walzwerkzahnrades sind aufgeschweißt worden. Das Rad hatte einen Durchmesser von 3500 mm und 400 mm Zahnbreite. Das Gewicht der abgebrochenen Zähne betrug je 13 kg.

Abb. 158: Riemenscheibe. Häufig vorkommende Arbeit. Speichenbrüche bei *a* und *b*. Bei *e* Nabenbruch; *c*, *d*, *g* Kranz- (Felgen-) Brüche. Bei der Schweißung derartiger Schäden haben Anfänger oder wenig erfahrene Schweißer meist einen Mißerfolg. Riemenscheiben und Räder sind von Haus aus mit bedeutenden Spannungen behaftet; diese werden bei unsachgemäßer Behandlung mit der Schweißflamme wesentlich erhöht,

¹ Ausführliches s. Horn: Die Schweißung gußeiserner Scheiben und Räder in „Die Schmelzschweißung“ 1925, Heft 9, 10 u. 11.

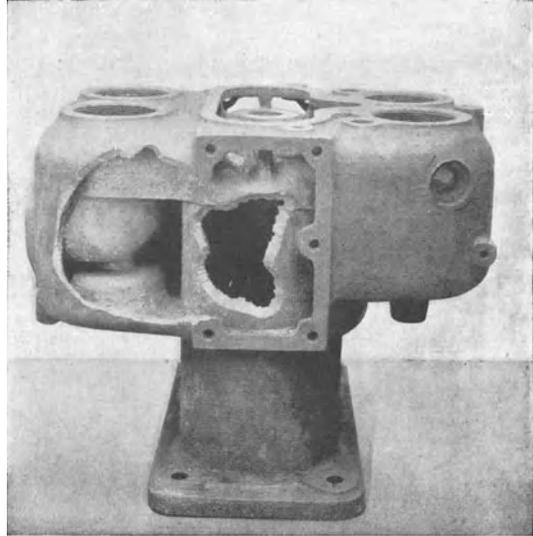


Abb. 155. Stark zerstörter Autovierzylinderblock.

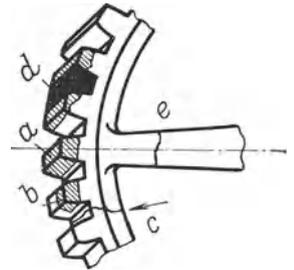


Abb. 156. Zahnrad.

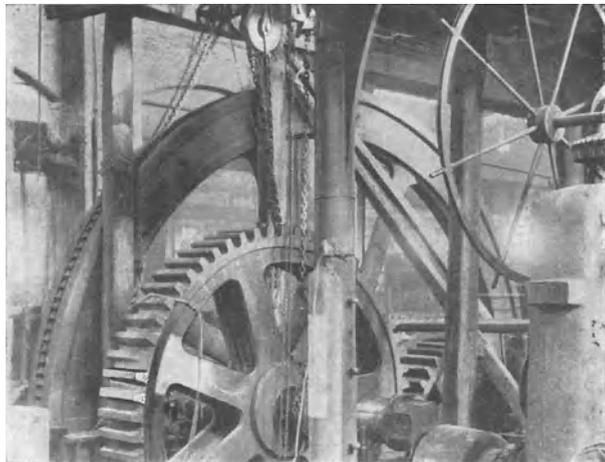


Abb. 157. Geschweißtes Walzwerkzahnrad.

so daß neue Risse entstehen, sogar völliges Zubruchgehen des Gußkörpers nicht selten ist.

Speichenbruch *a* sei zu schweißen; im übrigen sei das Rad in Ordnung. Vorgang: Vorwärmen des ganzen Rades, damit gleichmäßige Dehnung aller Teile eintritt, dann Schweißen und im Feuer langsam abkühlen lassen. Bei großen Scheibendurchmessern kann Vorwärmung fortfallen, wenn in Richtung *i* zwischen

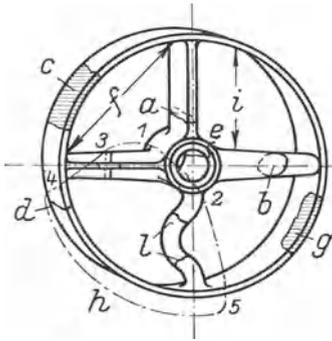


Abb. 158. Riemenscheibe.

Nabe und Kranz ein Spannriegel eingezwängt wird (nicht übertreiben!), so daß der Riß klapft (ähnlich Abb. 152). Nach vollzogener Schweißung wird die Spannvorrichtung *i* sofort wieder entfernt, und man läßt das Rad langsam erkalten. An Stelle dieses Hilfsverfahrens kann an der Bruchstelle ein $2 \div 5$ mm breiter Schlitz (je nach dem Durchmesser des Rades) eingesägt werden, doch läuft man hierbei Gefahr, daß sich der Kranz nach innen etwas einzieht, und daher die Scheibenfläche unrund wird. Dasselbe gilt für die Schweißung von *b*. Treten beide Brüche oder Risse (*a* und *b*) gemeinsam auf, dann wird zuerst der eine geschweißt, darauf läßt man das Rad erkalten, dann erst wird der zweite Riß ver-

schweißt. Brüche in gebogenen Speichen (bei *l*) sind meist ohne Vorwärmung oder sonstige Vorkehrung gefahrlos zu schweißen, da die Dehnung durch die Biegung der Speichen aufgenommen wird. Im allgemeinen sind Räder mit gegenüberliegenden Speichen (gerade Anzahl Abb. 158) schwieriger schweißbar als solche mit wechselweise angeordneten Speichen (ungerade Anzahl).

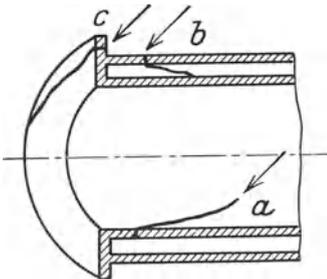


Abb. 159. Doppelwandiger Zylinder.



Abb. 160. Geschweißter Kondensatormantel.

Schweißung des Nabenbruches bei *e*: Rad (bei kleinem Durchmesser vollkommen vor- und nachwärmen oder (bei großem Durchmesser) in Bruchfuge Keil eintreiben (Vorsicht!) und diesen erst kurz vor Beendigung des Schweißens herauschlagen. Ähnliche Wirkung erzielt man bei Vorwärmung der Nabe und der in unmittelbarer Nähe gelegenen Speichenteile. Die Erhitzung der Nabe ist, wenn nur bestimmte Teile der Räder oder Scheiben vorgewärmt werden, peinlich zu verhüten, da sonst Mißerfolge keine Seltenheit sind. Natürlich läßt sich die Vorwärmung und Erhitzung der Nabe nicht umgehen, wenn diese selbst geschweißt werden muß.

Kranzbruch bei *d*: Kleine Räder vor- und nachwärmen; bei größerem Durchmesser zwischen die beiden nächstgelegenen Speichen Spannriegel einziehen (wie bei *f*) und wie bei Schweißung von *a* verfahren. Schweißung des bei *c* ausgebrochenen Kranzstücks: Vorgang wie bei *d*, jedoch zunächst eine Bruchfuge schweißen, das Rad erkalten lassen und darauf die zweite Bruchfuge schweißen. Das für *a* und *d* Ausgeführte gilt auch für *e* und *c* (Abb. 156). Ausgebrochenes Kranzstück bei *g*: Kleinere Stücke werden ohne weiteres eingeschweißt, bei größeren Stücken muß, je nach Abmessung des Rades, dieses ganz oder der in unmittelbarer Nähe der Schweißstelle gelegene Teil vorgewärmt werden. Schließlich sei noch der Fall *h* angenommen. Ein ganzer Teil des Rades ist herausgebrochen, entsprechend der punktierten Linie. Vorgang: Man beginnt die Schweißung in der Mitte des Rades, also bei der Nabe, um den übrigen Teilen die Möglichkeit freier Ausdehnung zu belassen. Zunächst wird 1 und 2 geschweißt; darauf läßt man das Rad erkalten, um Speichen und Kranzbruchfugen, deren Kanten sich beim Erhitzen der Nabe zueinander verschoben haben, wieder in ihre alte Lage zurückzubringen. Sodann werden 3, 4 und 5 (letztere in beliebiger Reihenfolge) geschweißt, wiederum mit jedesmalig dazwischenliegender Erkaltungspause.

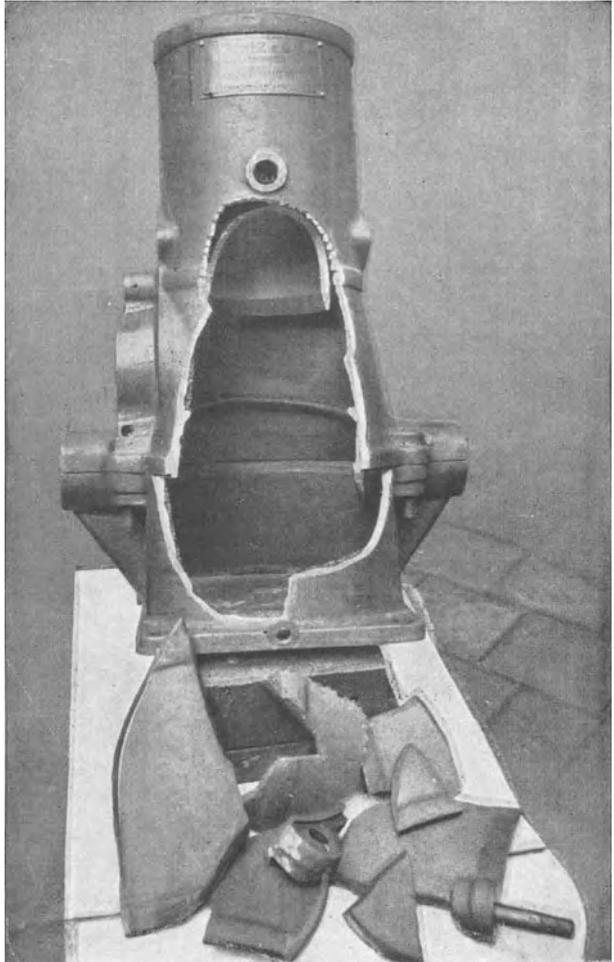


Abb. 161. Stark beschädigter Benzinmotor vor der Schweißung.

Abb. 159: Doppelwandiger Zylinder. Riß und Bruch bei *c*: Der Zylinder wird hochkantig in eine mit heißem Sand oder Asche angefüllte Schweißgrube eingebettet, so daß nur der Flansch wagerecht aus der Einbettung herausieht. Darauf Schweißung. Riß bei *b*: Vollkommene Vorwärmung des ganzen Gußkörpers. Ein Teil der Feuerung wird ins Zylinderinnere gelegt, *b* nach oben. Zylinder ringsum mit einem Schamottesteingitter umgeben und dieses mit ausreichend großem Feuer ausfüllen. Das Feuer muß auch während des Schweißens unterhalten werden, wie dies übrigens auch bei allen ähnlichen Arbeiten zu be-

vorzuzug ist. Besser noch ist Einbetten des Körpers in eine Schweißgrube. Sehr vorsichtig vor- und nachwärmen. Die Schweißung von Rissen im Innern des Zylinders (bei *a*) ist außerordentlich schwierig und nur in den seltensten Fällen möglich. Man wird gut tun, wenn man nicht über weitgehende Erfahrungen und Einrichtungen verfügt, von derartigen Arbeiten Abstand zu nehmen.

Die unbearbeitete Schweißung eines Kondensatormantels ist aus Abb. 160 zu ersehen. Die Abb. 161 und 162 veranschaulichen einen stark beschädigten, stehenden Benzin-

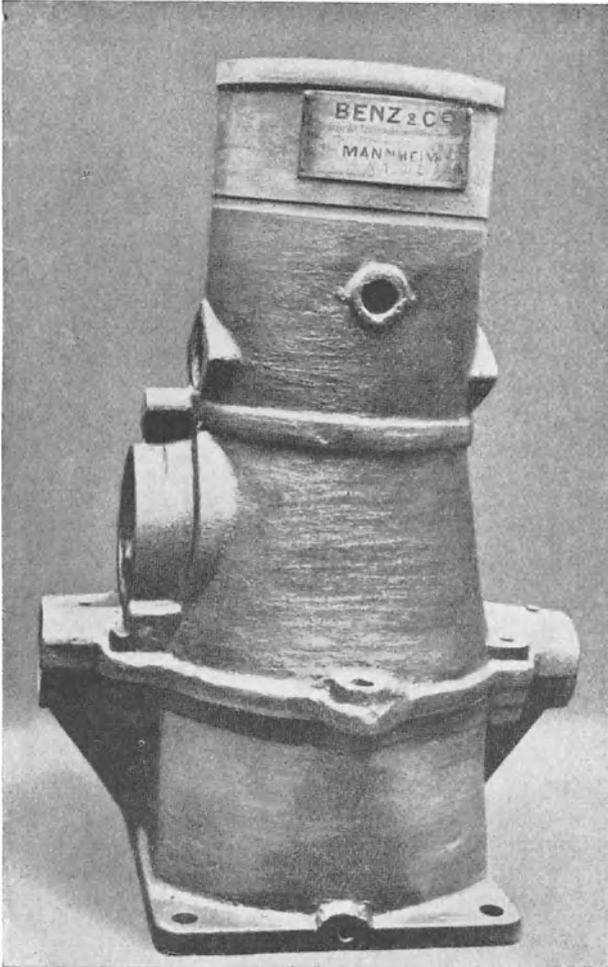


Abb. 162. Motor der Abb. 161 nach der Schweißung.

motor vor und nach der Schweißung. Außer dem Gehäuseober- und -unterteil waren auch der Zylinder und der Kolben gebrochen. Die gut gelungene Ausbesserungsarbeit kommt in Abb. 162 zum Ausdruck. Es braucht wohl nicht besonders hervorgehoben zu werden, daß Arbeiten dieser Art nur von erfahrenen und geübten Schweißern durchführbar sind, und ein mehrmaliges gutes Vorwärmen des mit Unterbrechungen geschweißten Gußkörpers notwendig ist.

Es sei wiederholt erwähnt, daß vorstehende Regeln wegen der Vielseitigkeit der Form der Werkstücke und der Verschiedenartigkeit des GusSES nur sinngemäß an anderen Schweißstücken Anwendung finden können. Über den Arbeitsvorgang und die einzuschlagenden Vorkehrungen ist in jedem Einzelfalle besondere Entscheidung zu treffen. Dies bezieht sich auch auf die Schweißung von Gußfehlern (Poren, Lunker, unvollkommen ausgefüllte

Form), die berufen ist, besonders im Gießereibetrieb selbst eine hervorragende Rolle zu spielen. Es wäre verfehlt zu glauben, kleine Porositäten an Gußstücken könnten ohne weiteres und mit Sicherheit auf Erfolg geschweißt werden. Im Gegenteil! Mit der Flamme angeschmolzene Gußporen nehmen zuweilen ungeahnt großen Umfang an und lassen erst beim Schweißen ihre tatsächliche Größe erkennen, wodurch mitunter noch eher Mißerfolge eintreten als bei anderen Schweißungen. Vor Übereifer

in solchen Fällen sei deshalb gewarnt; man hat derartige Werkstücke genau so zu behandeln wie gebrochene oder gerissene Gußkörper. Formsand, Schlacke und andere in den Gußfehlstellen sich vorfindende Verunreinigungen müssen entweder vor Inangriffnahme der Schweißarbeit oder während dieser durch Auskratzen oder Ausschaben entfernt werden.

Schweißen von Gußrohrleitungen mit Bronze. Den Anlaß zu dieser fälschlich als Schweißung bezeichneten Hartlötung gab in Amerika die Aufnahme der Erzeugung von Röhren nach dem Schleudergußverfahren unter Bevorzugung glatter Röhre. Die Röhre werden stumpf gestoßen, an 2 oder 3 Punkten durch Bronze befestigt und dann, nach Anwärmen der Röhre auf einige hundert Grad, durch Drehen in einer Richtung mit Bronze verschweißt. Im allgemeinen schweißt man Längen bis etwa 50 m über dem Rohrgraben auf Böcken; man kann aber auch, wenn auch schwieriger, im Rohrgraben schweißen. Als Zusatzdraht wird von den Amerikanern eine sog. „Tobin-Bronze“ ($59 \div 63$ vH Kupfer, $36 \div 40$ vH Zink, 0,5 bis 1,5 vH Zinn) genommen, bei deutschen Versuchen ein zinnhaltiges Messing. Als Schweißpulver wird Borax verwendet. Die Schweißnaht wird sehr fest und bis zu einem gewissen Grade biegsam; sie ist billiger als die bisher übliche Muffenverbindung. In Amerika sind auf diese Weise schon größere Strecken geschweißt worden; in Deutschland sind bisher erst Versuchsschweißungen des deutschen Gußrohrverbands bekannt, deren Ergebnis aber im allgemeinen zufriedenstellend war.

E. Die Schweißung der Nichteisenmetalle.

1. Schweißung des Kupfers und seiner Legierungen¹.

a) Eigenschaften von Kupfer, Messing, Bronze und Rotguß.

Kupfer. Das Metall kommt als Hüttenkupfer A÷D mit einem Reinheitsgrade von mindestens $99 \div 99,6$ vH und als Elektrolytkupfer (letzteres hauptsächlich für elektrische Leitungen nicht nach dem Reinheitsgrad, sondern nach der elektrischen Leitfähigkeit beurteilt) in den Handel, und zwar meist als gewalzter und gezogener Werkstoff (in Blech-, Rohr-, Stangen-, Drahtform); sein spezifisches Gewicht ist 8,93, sein Schmelzpunkt 1083° , sein Siedepunkt etwa 2300° . Kupfer hat eine lachsrote Farbe, ist sehr geschmeidig und dehnbar, aber schlecht gießbar, hat ferner eine große Leitungsfähigkeit für den elektrischen Strom und für Wärme. Letzteres ist für das Schweißen von großer Wichtigkeit. Man muß verhältnismäßig größere Schweißflammen verwenden, als sie zur Schweißung derselben Eisenblechstärke erforderlich wären. In erhitztem Zustand verbindet sich Kupfer mit dem Luftsauerstoff zu Kupferoxydul von schwarzer Färbung, dessen Schmelzpunkt unter dem des Kupfers liegt. Im Feuer ist Kupfer weder härtbar noch schweißbar. Durch oberflächliche Oxydation wird Kupfer dunkelrot. Überhitztes und verbranntes Kupfer sieht in der Bruchfläche ziegelrot aus; es ist dann nicht mehr brauchbar und kann nicht wieder brauchbar gemacht werden.

Messing (auch „Gelbguß“ genannt) ist eine Legierung von $58 \div 67$ vH Kupfer, Rest Zink, ausnahmsweise mit kleinen Zusätzen von Blei, und kommt als Hartmessing (Schraubenmessing), Schmiedemessing, Druckmessing und Gußmessing in den Handel, ist gut gießbar und in kaltem Zustand hämmerbar, walzbar, ziehbar. Der Schmelzpunkt schwankt zwischen 800° und 900° ; er ist um so niedriger, je mehr Zink in der Legierung ist. Die Wärmeleitfähigkeit ist infolge des Zinkzu-

¹ Ausführliches s. Horn: Die Schweißung des Kupfers und seiner Legierungen. Berlin: Julius Springer. 1928.

satzes bedeutend geringer als die des Kupfers. Messingähnliche Legierungen sind Deltametall, Duranametall usw., die man jetzt auch als „Sondermessing“ bezeichnet. Sie enthalten, neben Kupfer und Zink, etwa 3 ÷ 5 vH Eisen, Mangan, Blei und Aluminium. Nach den deutschen Industrienormen werden jetzt auch die kupferreicheren Legierungen Halbtombak (Lötmessing), Gelbtombak (Schau-felmessing), Hellrottombak, Mittelrottombak und Rottombak, mit 67 ÷ 90 vH Kupfer, unter die Gruppe der Messinge gerechnet.

Bronze und Rotguß. Bronze ist eine Legierung aus 80 ÷ 94 vH Kupfer, Rest Zinn. Die sog. „Phosphorbronzen“ sind ebenso zusammengesetzt; sie erhalten nur bei der Herstellung einen Phosphorzusatz zur Sauerstoffentfernung (Desoxydation). Der Phosphor soll sich mit dem Sauerstoff des Kupferoxyduls verbinden — auf diese Weise das Kupferoxydul zerstören — und in die Schlacke gehen. Diese Bronze wird also dichter im Gefüge. Die „Sonderbronzen“ enthalten außer Kupfer und Zinn noch etwas Blei oder Aluminium. Der Schmelzpunkt der Bronzen liegt zwischen 720° und 1000°; je höher der Zinngehalt, um so niedriger der Schmelzpunkt. Alle Bronzen sind gut gießbar, aber nur zum Teil schmiedbar.

Rotguß ist eine Legierung von 82 ÷ 93 vH Kupfer, 4 ÷ 10 vH Zinn und 3 bis 6 vH Zink, manchmal auch mit etwas Bleigehalt. Der Schmelzpunkt liegt zwischen 800° und 900°. Die Legierung gibt infolge des Zinkzusatzes besonders dichten und guten Guß. Rotguß gehört nach den Industrienormen jetzt zu den Bronzen und führt auch den Namen „Maschinenbronze“.

b) Ausführung von Kupferschweißungen.

Normale Schweißungen. Entgegen der vielfach noch verbreiteten Ansicht, Kupfer lasse sich nicht schmelzschweißen, ist besonders auf die tatsächlich gute Schweißbarkeit dieses Metalls, selbst der stärksten Bleche, hinzuweisen. Beim Schweißen von Kupfer sind das Ausmeißeln (Ausvauen und Ausixen) der Schweißfuge (bei über 5 mm Blech) und eine besonders scharfe Flammenregulierung Grundbedingungen. Zur Vermeidung starker Wärmestauungen (Überhitzung) muß die Schweißarbeit möglichst rasch vonstatten gehen. Bei stärkerem Werkstoff wird ein zweiter Brenner zur Vorwärmung hinzugezogen; die Schweißung senkrechter Nähte an starken Blechen erfolgt mit zwei Brennern von beiden Seiten gleichzeitig. Infolge der bedeutenden Wärmeleitfähigkeit des Kupfers tritt die zum Schweißen notwendige örtliche Schmelzung erst ein, nachdem der größte Teil der Metallmasse einen hohen Grad von Wärme aufgenommen hat. Die von der oberflächlichen Oxydation herrührende, dunkle Färbung geht allmählich verloren, es zeigen sich rings um die von der Flamme getroffenen Stelle Anlauffarben (verschiedene Oxydationsstufen), und schließlich wird das Metall hellrot; ein Zeichen dafür, daß der Schmelzpunkt fast erreicht ist. Ist dieser erreicht, muß die Schweißung unverzüglich unter schnellem Voranschreiten einsetzen. Die Flamme darf nicht beliebig weit auf die bereits geschweißte Naht zurückgezogen werden, da sonst Überhitzung und Reißbildung zu gewärtigen sind. Kupfer ist bei Temperaturen kurz unter seinem Schmelzpunkte (1083°) sehr brüchig und von nur geringer Festigkeit, worauf beim Ausrichten, Hämmern und anderer mechanischer Bearbeitung des Schweißstücks, insbesondere aber bei der Vorbereitung des Werkstücks, Rücksicht zu nehmen ist. Die Kupferbleche dürfen daher nicht geheftet werden, wie man dies beim Schweißen anderer Bleche gewohnt ist. Geheftete Blechränder haben Reißen der Schweißnaht zur Folge.

Die Schweißung des Kupfers darf, wenigstens bei starken Blechen, nicht im flüssigen, sondern nur im teigigen (plastischen) Zustande des Werkstoffs

ausgeführt werden. Die Schweißstelle wird mit der Flamme ausreichend erhitzt, und sobald sich die Anzeichen beginnendes Schmelzens einstellen, wird das abgeschmolzene Ende des Drahtes aufgetragen. Aus diesem Grunde muß der Schweißdraht möglichst dünnflüssig sein und einen niedrigeren Schmelzpunkt haben als Kupfer (s. weiter hinten).

Da Kupfer im stark erhitzten Zustande seine Festigkeit völlig einbüßt, so daß die beim Schweißen entstehenden Spannungen zum Reißen des bereits geschweißten Metalls führen können, merke man sich: Bei der Ausführung von Kupferlängsnähten kann nicht in einer Richtung geschweißt werden, auch darf die Schweißung nicht am Ende der Naht beginnen.

In Abb. 163 ist dies schematisch dargestellt. Die Schweißung beginnt, unabhängig von der Länge der Naht, stets bei a ($200 \div 300$ mm von der Kante f entfernt) in Richtung des Pfeiles 1 und wird bis zum Ende des Blechstoßes durchgeführt. Erst dann wird das restliche Stück der Naht, das inzwischen ein Arbeiten der Schweißränder gestattete, wiederum bei a beginnend in entgegengesetzter Richtung (Pfeil 2) geschweißt. Dabei ist streng darauf zu achten, daß die Kanten der Bleche c und d niemals zusammenstoßen, sondern daß immer ein Luftspalt e verbleibt, der durch Zwischensetzen eines Keils (b) oder durch Einsetzen von Klammern oder Bolzen erreicht wird. Mit fortschreitender Schweißung werden diese Vorrichtungen in Richtung des Brennvorschubs weitergeschoben, wie dies ja auch beim Schweißen anderer Blecharten gemacht wird.

Einstellung der Schweißflamme. Der richtigen Einstellung der Schweißflamme ist größte Sorgfalt zuzuwenden. Ein Überschuß an Sauerstoff in der Flamme, wie dieser in der Literatur stellenweise anempfohlen wird, ist dem Kupfer ebenso schädlich wie ein Überschuß an Azetylen. Die Flamme muß vielmehr peinlich scharf eingestellt und immer im vorschriftsmäßigen Abstand (Abb. 87) am Kupferblech entlang geführt werden. Zunahe kommen des Flammenkerns an das im Flusse befindliche Metall bestärkt dessen Lösungsvermögen für Gase und hat blasige, poröse, in ihrer Festigkeit herabgesetzte Schweißnähte zur Folge.

Kupfer besitzt nämlich im erhitzten, noch mehr im flüssigen Zustande die ausgeprägte Fähigkeit, Gase in außerordentlich großen Mengen zu lösen, vor allem Wasserstoff. Man spricht aus diesem Grunde auch von einer „Wasserstoffkrankheit“ des Kupfers. Die vom Metall gelösten (aufgesaugten, verschluckten) Gase werden beim Erstarren des Kupfers größtenteils selbsttätig wieder ausgeschieden und steigen in Form kleiner Bläschen an die Oberfläche, wo sie zerplatzen und winzig kleine Kupferkügelchen auf die dem Schmelzbade benachbarten Metallteile schleudern (Spratzen). Hierauf sind die beiderseits entlang der Kupferschweißnaht oft anzutreffenden, kleinen, sandförmigen Aufrauhungen zurückzuführen. Ist die Geschwindigkeit, mit welcher das flüssige Kupfer an seiner Oberfläche erstarrt, größer als die Geschwindigkeit, mit welcher die gelösten Gase ausgestoßen werden, so bleibt ein Teil der Gase im Metall zurück und verursacht mehr oder weniger große Hohlräume (Lunker, Blasen, Poren). Zur Austreibung dieser zurückgebliebenen Gasmengen und Verdichtung des Metallgefüges wird die Schweißnaht im erhitzten Zustande gut verhämmert, bei größeren Werkstoffquerschnitten vorzugsweise mit Kugel- oder Ballhämmern.

Abschrecken des Schweißguts. Durch längere Einwirkung der Schweißflamme auf Kupfer wird dessen Gefüge grobkristallinisch (s. Abb. 194), und durch das Hämmern wird der Werkstoff hart und spröde. Diese Übelstände behebt man

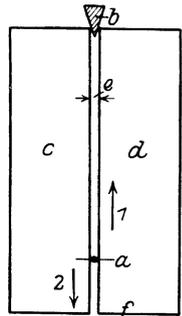


Abb. 163.
Schweißung von
Kupferblechen.

durch Abschrecken der Schweißstelle mit kaltem Wasser, was für alle Fälle angeraten sei, besonders dann, wenn der Schweißung noch mechanische Nachbearbeitung folgt, für die das Kupfer verhältnismäßig weich, dehnbar sein muß. Je nach seiner Form taucht man entweder das geschweißte, hochoverhitzte Kupferstück in einen seiner Größe angepaßten, mit Wasser angefüllten Behälter oder, falls die Abmessungen des Werkstücks dies verbieten, schüttet man Wasser in reichlichen Mengen auf die Schweißstelle. Unter Umständen wärmt man das Schweißgut nach beendeter Schweißung nochmals gleichmäßig an und schreckt es dann ab.

Schweißpulver. Über die Notwendigkeit der Verwendung von Schweißpulver für Kupfer ist man in Fachkreisen geteilter Ansicht. Nach den Erfahrungen der Verfasser ist für minder geübte Schweißer die Verwendung eines zweckmäßigen Flußmittels Bedingung, wohingegen der geübte Kupferschweißer bei dünnen Blechen häufig darauf verzichten kann. Ob Flußmittel notwendig sind oder nicht, hängt in solchen Fällen von der Güte und Stärke des Kupfers ab. Der erfahrene Schweißer unterscheidet zwischen Weich- und Hartkupfer (obwohl ein wesentlicher Unterschied in der Härte des Kupfers nur bedingt feststellbar ist). Ersteres ist leichtflüssig wie Wasser, seine Schweißung geht rasch vonstatten auch ohne Flußmittel. Das sog. Hartkupfer ist dick-, d. h. strengflüssiger, teilweise infolge Anwesenheit von Beimengungen (Verunreinigungen), teilweise infolge von vorhandenen Kupfer-Sauerstoffverbindungen (Oxyden), die die Schmelzbarkeit des Kupfers erschweren und in gewissem Sinne auch als Verunreinigungen anzusehen sind.

Als Richtlinie kann gelten: Kupferbleche von über 5 mm Stärke werden immer mit Schweißpulver geschweißt; die Schweißung schwächerer Bleche kann nur dann ohne Flußmittel erfolgen, wenn es sich um sehr leichtflüssiges, also fast reines Kupfer handelt. Mit steigender Stärke des Kupfers wird reichlicher Zusatz von Flußmitteln immer notwendiger, was leicht erklärlich ist, wenn man der Überlegung folgt, daß mit notgedrungen zunehmender Schweißdauer auch der ungünstige Einfluß sowohl des Sauerstoffs der Luft, als auch des in der Flamme vorübergehend bestehenden Sauerstoffüberschusses auf das Metall wächst.

Wenngleich die Schmelzpunkte des an der Oberfläche hochoverhitzten Kupfers sich bildenden Kupferoxyds und des in flüssigem Metall durch Sauerstoffzutritt entstehenden Kupferoxyduls beide niedriger liegen als der Schmelzpunkt metallischen Kupfers, so hat doch die Gegenwart dieser Oxyde (besonders des Kupferoxyduls) eine Erschwerung der Schmelzbarkeit und demnach eine Verzögerung des Schweißens, sowie eine Überhitzungsgefahr zur Folge. Diesem Übel steuert man, indem dem Kupferschmelzbad geeignete Stoffe zugesetzt werden, die einerseits die Bildung unzulässig großer Mengen Oxydul verhindern, d. h. das Kupfer dem Einfluß des Sauerstoffs entziehen, und andererseits Oxyden, soweit diese schon vorhanden sind, den Sauerstoff entziehen (sie reduzieren) und zu metallischem Kupfer zurückverwandeln. Dies ist der Hauptzweck des Schweißpulvers. Daß nicht jedes beliebige, für das eine oder andere Metall gut geeignete Schweißpulver auch für die besonderen Eigenschaften des Kupfers das richtige sein kann, ist nach vorigem klar, doch in der Praxis viel zu oft unbekannt; nicht selten wird Guß- oder Aluminiumschweißpulver auch zur Kupferschweißung herangezogen. Ein Mißerfolg ist unausbleiblich. Einen Stoff, welcher den Vorzug hat, die Dünnflüssigkeit des Kupfers zu fördern und gleichzeitig stark reduzierend (sauerstoffentziehend) zu wirken, haben wir im Phosphor, weshalb wir ihn in unschädlich geringen Mengen (unter 0,5 vH) — hoher Gehalt an Phosphor macht, ähnlich dem Oxydul, Kupfer brüchig — neben dem weniger wirksamen Bor in den meisten

Flußmitteln für Kupfer antreffen. Andere Bestandteile des Schweißpulvers sind Chlornatrium (Kochsalz), kohlen-saures Natron, Borax u. a. Die Schweißmittel werden sowohl pulverförmig als auch in Form von Pasten hergestellt. Beim Schweißen von Starkkupfer haben sich die Pasten besonders gut bewährt. Der Kupferstab und die beiden Blechkanten werden unter Verwendung eines Pinsels mit Schweißpaste bestrichen und, da diese ein starres Häutchen bildet, gegen das Eindringen des Luftsauerstoffs geschützt.

Schweißdraht. Eine Spur von Phosphor bildet neben einer geringen Menge (bis zu 5 vH) Silber auch einen Legierungsbestandteil des bekannten, patentierten Canzler-Kupferschweißdrahts (D.R.P. 284840), der in Stärken bis zu 8 mm in den Handel gelangt und trotz seines verhältnismäßig hohen Preises zur Schweißung vorwiegend starker Kupferbleche sehr zu empfehlen ist. Dort, wo es auf große Dichte und Festigkeit weniger ankommt, genügt als Zulegedraht unter Umständen auch Hüttenkupfer, bei schwächeren Blechen auch (das chemisch reinste) Elektrolytkupfer, doch sollte man immer den Spezialkupferschweißdraht vorziehen. Neuerdings gelangt auch ein Spezialkupferdraht „Unisco“ auf den Markt, der sich gleichfalls gut einzuführen scheint. Zweck dieser Spezialdrähte ist es, außer einer reduzierenden Wirkung, vor allem auch einen gleichmäßigen und leichten Fluß herzustellen. Der Schmelzpunkt des Drahtes soll immer um einige 100° tiefer liegen als jener des Kupfers selbst.

Anwendungsgebiete. Nach Überwindung der vorstehend geschilderten Schwierigkeiten hat sich die Gasschmelzschweißung auch auf dem Gebiet der Kupferschweißung ein bedeutendes Arbeitsfeld geschaffen. Ihre Anwendung erstreckt sich beispielsweise auf die Herstellung folgender Stücke: Kupferne Blasen, Vakuumkessel, Dämpfer, Destillationsapparate, Säurebehälter; Zargen jeder Art und Größe und für die verschiedensten Zwecke, Zentrifugentrommeln, Walzenüberzüge; Form- und Rohrformstücke, Kühlschlangen usw. Auch Starkkupfer (Bleche von 10 mm an aufwärts) wird schon längst mit erstaunlicher Sicherheit geschweißt, und der Fortschritt hierin findet sein natürliches Ende erst in den praktisch vorkommenden größten Stärken von 30 ÷ 35 mm, bei der Schweißung von Lokomotivfeuerbüchsen, wohl der ebenso bedeutsamen wie schwierigsten Arbeit des Schmelzschweißers. Diese Arbeiten — überdies werden heute ganz nietlose, geschweißte Feuerbüchsen hergestellt — zwingen den Schweißer, um den Ausbau der Büchsen aus der Lokomotive soweit als möglich zu umgehen, die Schweißung auch stehender Nähte und die Überkopfschweißung bei Kupfer zu erlernen. Der Kupferschweißer hat, wie die Praxis zeigt, diese schwierigste Aufgabe gut zu lösen vermocht und damit der Schmelzschweißung die Krone aufgesetzt.

Ausführungsbeispiele. Um den Umfang des Buches nicht unnütz zu erweitern, können hier nur einige wenige Ausführungsbeispiele angeführt werden. Erschöpfende Darstellungen sind aus den in den Fußnoten genannten Arbeiten zu entnehmen.

Abb. 164 zeigt eine Gruppe in den Pfeilrichtungen geschweißter Kupferrohrformstücke. Es handelt sich dabei um Verbindungsrohre von 250 mm Durchmesser und aus 2,5 mm Kupferblech. Die Nähte sind unbearbeitet.

Die in Abb. 165 veranschaulichte Kupferschale hat einen Durchmesser von 1760 mm und eine Tiefe von 1060 mm. Die Wandstärken betragen im Boden 9 und in der Zarge 7 mm. Links davon hat ein geschweißter Aluminiumkessel (1475 mm Durchmesser, 1050 mm Tiefe, 7 und 9 mm Blech) Aufstellung gefunden. Die Nähte beider Kessel sind noch unbearbeitet.

Einen geschweißten kupfernen Vakuum-Verdampfapparat mit einem Fassungsvermögen von 3000 l zeigt Abb. 166.

Schließlich ist in Abb. 167 und 168 die Schweißung einer kupfernen Lokomotivfeuerbüchse dargestellt. Es mußte ein Flicker in die Seitenwand der

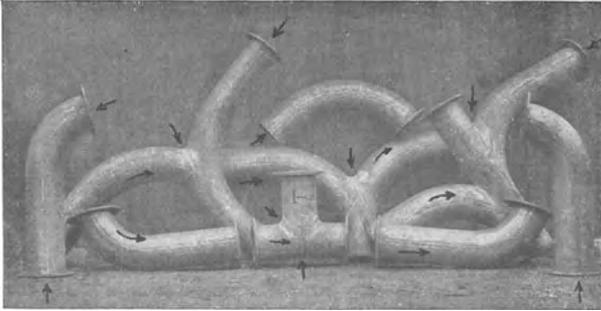


Abb. 164. Gruppe geschweißter Kupferrohr-Formstücke.

Feuerbüchse eingeschweißt werden. Die Vorbereitungen hierzu zeigt Abb. 167. Die Niete der seitlichen Überlappungsnietsnaht wurden herausgenommen, und ein neues Stück Kupferblech mit ringsum genügend Luftspalt lose eingesetzt. Aus dem Umbug (links) mußte ein halbkreisförmiges Stück ausgeklinkt werden, damit die

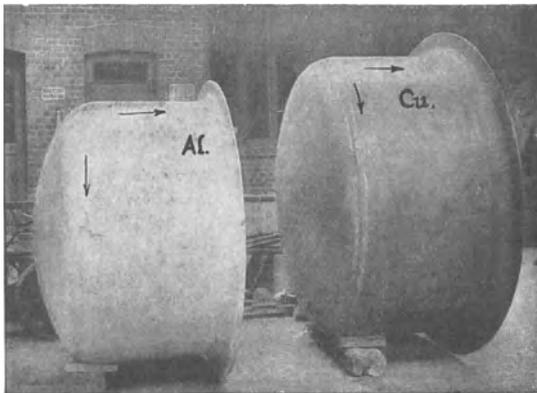


Abb. 165. Geschweißte Kupfer- u. Aluminiumschalen.

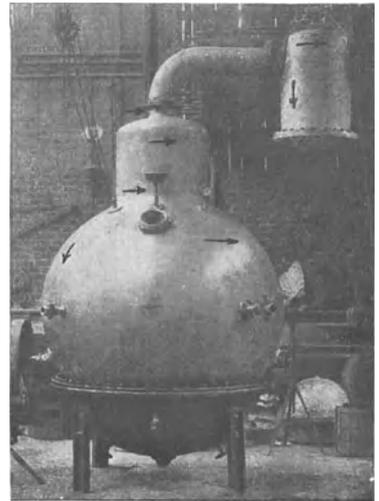


Abb. 166. Geschweißter Vakuum-Verdampfapparat.

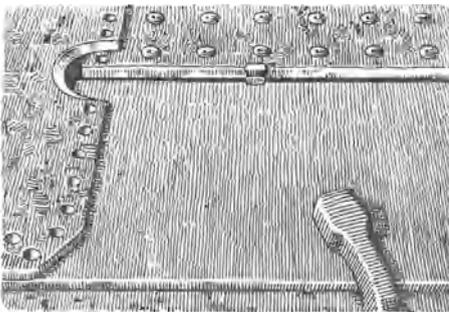


Abb. 167. Zur Schweißung vorbereiteter Flicker einer Feuerbüchse.

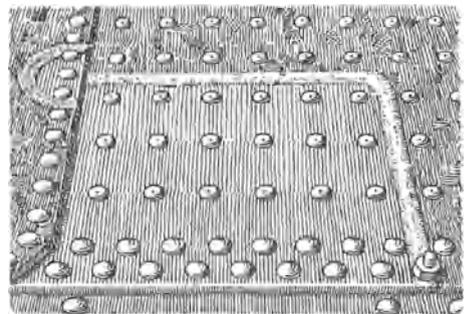


Abb. 168. Vollendete Schweißung der in Abb. 167 vorbereiteten Arbeit.

dann wurde wiederum in der rechten Ecke beginnend das wagerechte Stück nach links verschweißt und schließlich das ausgeklinkte runde Blech ebenfalls wieder

eingeschweißt. Darauf wurden die Nieten und Stehbolzen eingezogen, so daß die fertige Arbeit das Aussehen der Abb. 168 hatte.

c) Ausführung von Messingschweißungen.

Messing ist unter Anwendung entsprechender Vorsichtsmaßregeln gut schweißbar und verhält sich beim Schmelzen ähnlich wie Kupfer; es kommt praktisch in Stärken über 10 mm für Schweißzwecke kaum in Frage. Das im Messing enthaltene Zink hat einen Schmelzpunkt von 419° und einen Siedepunkt von nur 925° , ein für den Schweißvorgang sehr ungünstiger Umstand, da der Siedepunkt des Kupfers (etwa 2300°) viel höher liegt und beim Schweißen also ein starkes Ausdampfen des leichter flüchtigen Zinks eintritt. Wird hierauf nicht genügend Rücksicht genommen, so entstehen stark poröse, schwammige Schweißnähte von nur sehr geringer Festigkeit und von dunklerer Färbung als die Grundmasse, weil durch Verdampfen eines großen Teiles des Zinks eine kupferreichere Legierung zurückbleibt.

Man kann diesem Übelstand auf verschiedene Weise begegnen. Zunächst hält man den Flammenkern etwa dreimal so weit als bisher angegeben vom Metall, um es vor Zufuhr unnötig großer Wärmemengen zu schützen und wärmt die der Schweißstelle benachbarten Stellen mit der Flamme gut vor. Die Schweißung geht dann rasch vonstatten, und die Verflüchtigung des Zinks wird auf ein geringes Maß beschränkt; die Schweißnaht wird völlig oder wenigstens annähernd porenfrei. Porenfreiheit ist aber eine Grundbedingung, hauptsächlich für später zu polierende Messingschweißnähte. Die Güte der Schweißnaht erfährt ferner durch die richtige Haltung des Schweißstabes zur Flamme eine wesentliche Verbesserung, und zwar soll der Flammenkegel immer den Schweißdraht und nur zu Arbeitsbeginn das Grundmetall treffen. Der Draht wird laufend im rechten Winkel zur Flamme vor dieser entlang geführt (Abb. 169).

Durch zeitweiliges Eintauchen des Stabendes in Schweißpulver wird gleichmäßiger und leichter Fluß des Messings gefördert. Als Flußmittel dient meist auch das für Kupfer gebräuchliche, während man als Zulegedraht, neben gewöhnlichem Messingdraht, Canzler-Messingdraht oder auch einem Spezialdraht mit hohem Zinkgehalt, vor allem die schon im Abschnitt II C 4 erwähnten Bronzedrähte verwendet, die einen sehr reinen, leichten und gleichmäßigen Fluß und eine porenfreie Schweißung bewirken. Allerdings ist die allgemein eingeführte Bezeichnung Bronze nicht richtig, da es sich meist um Sondermessing handelt.

Gelangt gewöhnlicher Messingdraht zur Verwendung, dann ist ein Überschuß an Sauerstoff in der Flamme anzuraten, der einzige Fall, wo mit einem Sauerstoffüberschuß gearbeitet werden darf. Letzterer kann bis zu 40 vH ausmachen. Dieser, den Messingschweißern längst bekannte „Kniff“ erleichtert ins besondere die Schweißung sehr dünner Messingbleche und gestattet porenfreie Schweißungen herzustellen. Um beim Schweißen verdampfendes Zink zu ersetzen, kann auch der Schweißdraht zeitweise in dauernd bereitstehendes flüssiges Zink (Zinkschmelztiegel) eingetaucht werden, doch ist der Erfolg hierbei nicht befriedigend.

Das Hämmern geschieht wie beim Kupferschweißen. Abgeschreckt wird Messing nicht, da es infolge seines Zinkgehalts durch rasches Abkühlen zu spröde wird. Sodann empfiehlt sich für den Schweißer noch das Tragen eines Respirators (Atmungsmaske).

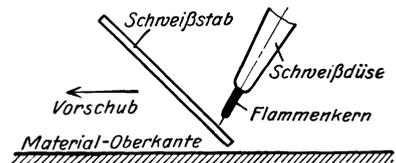


Abb. 169. Führung des Brenners bei Messing- und Aluminiumschweißungen.

d) Schweißung von Bronze und Rotguß.

Uns allen steht eine gigantische Schweißung noch frisch im Gedächtnis, die weit über Deutschlands Grenzen hinaus wohlberechtigtes Aufsehen erregte: die Schweißung an der Berliner Domglocke, einem 3500 kg schweren, wuchtigen Bronzekörper von 80–160 mm Wandstärke. Die verschweißten Risse hatten, von näheren Einzelheiten abgesehen, eine Gesamtlänge von etwa 4500 mm. Bekanntlich wurde der Klang der Glocke nach der Schweißung nicht, wie allerseits erwartet wurde, ungünstig beeinflusst, sondern im Gegenteil reiner und voller, weil die ermüdete Bronze durch die starke Erhitzung der Glocke beim Schweißen aufgefrischt wurde. Diese Leistung führt recht deutlich die überaus wertvolle Anwendbarkeit der Schmelzschweißung auch bei Bronze vor Augen.

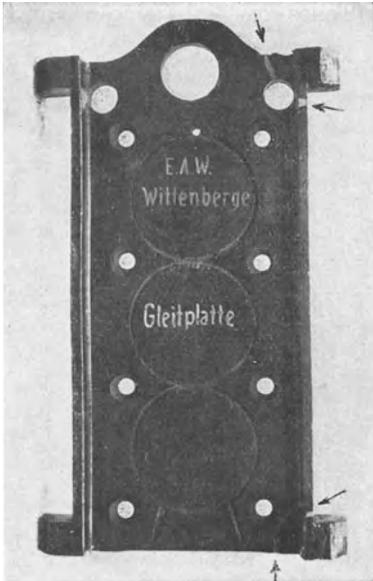


Abb. 170. Geschweißte Gleitplatte.



Abb. 171. Geschweißte Lagerschalen.

Der Schmelzpunkt der Bronze liegt im Mittel bei etwa 900° , der Siedepunkt des Zinns bei 2200° , doch tritt eine wahrnehmbare Verdampfung des letzteren schon bei etwa 1200° ein. Daraus folgt ein der Messingschweißung sehr ähnlicher Schweißvorgang. Außerdem ist bei Bronze zu beachten, daß diese im erhitzten Zustand ihre Festigkeit fast gänzlich einbüßt, und geringe Erschütterungen, Stoß oder Schlag, ja Eigengewicht der Masse und Bewegung des Gußkörpers zu dessen Bruch Veranlassung geben können. Hierauf ist beim Schweißen besonders Rücksicht zu nehmen. Der Bronzegußkörper muß vor Beginn der Schweißarbeit gut unterbaut und so vor Einfallen geschützt werden. Ein Wenden oder Drehen des Schweißstücks darf nur stattfinden, wenn der Guß auf unter 700° abgekühlt ist; andernfalls ist fast immer mit einem Zubruchgehen zu rechnen.

Im übrigen sind Bronze und Rotguß wie Messing zu behandeln. Als Schweißpulver dient das gleiche wie für Kupfer und Messing; als Zusatzwerkstoff für Bronze nur im Notfalle Messing, für Rotguß Messing oder Kupfer, besser jedoch immer Stäbe aus Bronze. Sollen Farbenunterschiede verhütet werden, so ist den Zu-

legestäben ein etwas höherer Gehalt an jenen Legierungsbestandteilen zu geben, die beim Schweißen leicht vergasen; dies betrifft in der Hauptsache Zinn, Zink und Blei.

Die Anwendung der Bronzeschweißung umfaßt vorwiegend die Ausbesserung zerstörter Gehäuse (Steuer-, Pumpen-, Injektor- und Apparategehäuse), die Ausbesserung von Rädern, Lagern, Lagerschalen, Glocken, Statuen, Schiffsschrauben usw.). Um den Umfang des Buches nicht zu sehr zu erweitern, können auch hier nur einige Arbeitsbeispiele angedeutet werden. Es zeigt Abb. 170 eine Gleitplatte mit angeschweißten Knaggen. Sie besteht aus Rotguß und wurde mit Rotgußstäben geschweißt, während die Lagerschalen der Abb. 171 mit Messingdraht geschweißt wurden.

2. Schweißung des Aluminiums und seiner Legierungen¹.

a) Eigenschaften des Aluminiums und seiner Legierungen.

Aluminium, das z. Z. wichtigste Leichtmetall, wird aus Tonerde (Aluminiumoxyd) durch deren elektrolytische Zersetzung hergestellt und kommt als Reinaluminium 99,5, Reinaluminium 99 und Reinaluminium 98/99 (also mit Reinheitsgraden von 98÷99,5 vH) in den Handel. Es ist bekanntlich sehr leicht (spezifisches Gewicht 2,7), sein Schmelzpunkt liegt bei 659°, der Siedepunkt bei etwa 1800°. Die Farbe ist weiß; der Werkstoff ist schmiedbar, streckbar, hämmerbar und auch genügend gießbar, er hat in seinen Eigenschaften manche Ähnlichkeit mit dem Kupfer. In Deutschland geht das Streben seit dem Weltkrieg dahin, Aluminium möglichst viel an Stelle des insbesondere aus Nordamerika eingeführten Kupfers zu verwenden. Aluminium wird bereits stark benutzt zur Herstellung von Kochgeschirr und anderen Haushaltungsgegenständen, von Gärbottichen, Milchversandbehältern, Verdampfern, Schmelzkesseln, sodann in der Automobil- und Flugzeugindustrie, in letzteren Fällen, wie auch anderswo, oft in Form aluminiumreicher Legierungen; es hat eine starke Wärmeleitfähigkeit und eine große Verwandtschaft zum Sauerstoff. Letzteres erschwert das Schweißen deswegen, weil das sich bildende Aluminiumoxyd einen viel höheren Schmelzpunkt (etwa 2050°) hat als Aluminium. Die beim Schweißen an der Oberfläche des Metalls sich absetzenden Oxydteilchen bilden ein derart widerspenstiges Häutchen, daß eine brauchbare Schweißung ohne Zerstörung der Oxydhaut unmöglich ist. Erst die Erfindung geeigneter Schweißmittel, die hauptsächlich aus Alkalichloriden und Fluorverbindungen bestehen und sich mit dem Aluminiumoxyd zu einer leichtflüssigen Schlacke verbinden, hat eine gute Aluminiumschweißung möglich gemacht.

Aluminiumlegierungen. Die wichtigsten Gußlegierungen sind: Die amerikanische Legierung mit 92 vH Aluminium und 8 vH Kupfer, die deutsche Legierung mit 88 vH Aluminium, 10 vH Zink und 2 vH Kupfer und Silumin (im Ausland als „Alpax“ hergestellt) mit 86÷89 vH Aluminium und 11÷14 vH Silizium. Magnalium mit 80÷97 vH Aluminium und 3÷20 vH Magnesium, wird heute nur noch wenig benutzt. Alle diese Gußlegierungen sind gut gießbar, härter und fester als reines Aluminium und gut schweißbar.

Die wichtigsten schmiedbaren Legierungen sind folgende: Duralumin mit 3,5÷4,5 vH Kupfer, 0,25÷1,0 vH Mangan, 0,5 vH Magnesium, Rest Aluminium. Diese Legierung wird auf 480÷520° erhitzt, dann an der Luft zum Erkalten gebracht oder in Wasser abgeschreckt und nun 1÷5 Tage einer selbst-

¹ Näheres s. Horn: Aluminiumschweißen und Aluminiumlöten in „Die Schmelzschweißung“ 1926, Heft 3 u. 5.

tätigen Veredlung überlassen. Ein späteres Erwärmen auf mehr als 180° bedingt einen Rückgang der Festigkeit. Dementsprechend beträgt die Festigkeit einer Schweißnaht aus Duralumin höchstens 50 vH der Festigkeit des vollen Werkstoffs, und außerdem entsteht neben der Schweißnaht eine Zone, die etwa 300° Temperatur erhalten hat, demnach ausgeglüht und wenig fest ist. Das Schweißen von Duralumin kommt hiernach im allgemeinen nicht in Frage. — Aludur ist eine Art Hartaluminium mit 98 ÷ 99 vH Aluminium, schwach magnesiumhaltig, wird in acht Abstufungen hergestellt und durch Druck und Glühen während der Herstellung verfestigt. — Lautal hat 4 vH Kupfer, 2 vH Silizium, Rest Aluminium; Skleron besitzt 12 vH Zink, 3 vH Kupfer, 0,6 vH Mangan, 0,5 vH Silizium, 0,4 vH Eisen und 0,1 vH Lithium. Die neuesten Legierungen sind: Telectal (2 vH Silizium und Lithium), Aldrey (0,5 ÷ 0,6 vH Silizium, 0,4 ÷ 0,5 vH Magnesium, unter 0,3 vH Eisen), Montegal und Constructal (Zusammensetzung noch nicht veröffentlicht). — Alle diese Legierungen sind durch die betreffenden Zusätze und eine mehr oder weniger weitgehende Wärmebehandlung veredelt. Sie sind an und für sich schweißbar, verlieren aber in der Schweißnaht, ähnlich wie Duralumin, an Festigkeit. Bei Aludur und Lautal ist durch Versuche die Möglichkeit einer nachträglichen Vergütung der Schweißnaht (durch Warmhärten) festgestellt worden. — Der Schmelzpunkt aller genannten Aluminiumlegierungen liegt zwischen 575° und 650°.

b) Ausführung von Aluminiumschweißungen.

Bei einiger Übung läßt sich Aluminium sauber und so haltbar schweißen, daß die Festigkeit der Schweißnaht die des sonstigen Werkstoffs mindestens erreicht, wenn nicht übertrifft. Die Schweißnaht läßt sich unbeschränkt verhämmern und bearbeiten und ist im bearbeiteten Zustand in keiner Weise vom übrigen Werkstoff zu unterscheiden.

Als Zulegwerkstoff werden im allgemeinen nur reiner Aluminiumdraht oder Abfallstreifen benutzt. Silumin wird mit Siluminstäben geschweißt.

Schweißpulver. Zur Zerstörung bzw. Reduktion des oxydischen Überzuges (Tonerde) bedient man sich eines Schweißpulvers. Die chlorierende Reduktion des Aluminiumoxyds ist ein der Chemischen Fabrik Griesheim-Elektron patentiertes Verfahren (D.R.P. 222960 und Zusatz-D.R.P. 224284). Die Verwendung ihres Schweißpulvers, wie überhaupt die Schweißung von Aluminium mit einem Schweißpulver solcher oder ähnlicher Art ist lizenzpflichtig. Die Zusammensetzung des „Autogal“ genannten Flußmittels ist ungefähr folgende:

Natriumchlorid (NaCl)	30 vH
Kaliumchlorid (KCl)	45 vH
Lithiumchlorid (LiCl)	15 vH
Kaliumfluorid (KFl)	7 vH
Natriumdisulfat (NaHSO ₄) . . .	3 vH

Durch die Lithiumsalze und Fluorverbindungen wird die Wirksamkeit des Flußmittels (Dünnflüssigkeit) erheblich gesteigert. Der Zusatz von Natriumdisulfat soll eine Schwächung der sehr starken Lichtwirkungen des verbrennenden Pulvers herbeiführen.

Mit Schweißpulver (fast immer von weißer Farbe) darf nicht unnützlich gespart werden; es bewirkt einen schönen, leichten Fluß und tadellose Verschmelzung. Das Schweißpulver kann sowohl in Pulverform als auch in Form streichbarer Pasta (mit destilliertem Wasser oder Alkohol [Spiritus] angerührt) verwendet werden. Die erste Art, die bei den übrigen Schweißpulvern (für andere Metalle) gebräuchlichste, ist auch für starke Aluminiumbleche und -teile sowie für die Schweißung von Aluminiumguß vorzuziehen. Für dünne Aluminiumbleche ist

die breiige Pasta geeigneter; sie wird auf die zu verschweißenden Kanten und den Zusatzwerkstoff mit einem Pinsel aufgetragen. Das Anrühren der Pasta geschieht erst kurz vor Arbeitsbeginn.

Aluminiumschweißpulver ist stark hygroskopisch, d. h. es saugt leicht und schnell die Feuchtigkeit der Luft an und verliert allmählich seine kennzeichnenden Eigenschaften. Es bildet sich eine unbrauchbare, dickflüssige bis teigige Masse von dunkelgelber Färbung. Um dem vorzubeugen, verwahrt man das Flußmittel in Glasfläschchen, die mit eingeschliffenem oder durch Ätzen aufgerauhtem Pfropfen versehen sind. Bei längeren, mehrwöchigen Arbeitsunterbrechungen wie beim Versand verschließt man die Fläschchen vorteilhaft mit Wachs, Siegellack oder Pergament. In Anbetracht seines hohen Preises muß das Aluminiumflußmittel sachgemäß behandelt werden. Man tauche niemals das erhitzte Drahtende in die Glasflasche, sondern entnehme dieser nur immer so viel Pulver in eine kleine Schale (Blechdeckel), als man jeweils voraussichtlich für eine bestimmte Arbeit verbraucht. Andernfalls klumpt sich das Pulver im Fläschchen zusammen und wird minderwertig. Dies ist darauf zurückzuführen, daß nur eine sehr feine, staubförmige Verteilung der Verbindungsbestandteile die Verschiedenheit der Schmelzpunkte der zum Teil schwer schmelzbaren Stoffe auszugleichen vermag.

Das Schweißen selbst. Der Übergang vom festen in den flüssigen Zustand tritt bei Aluminium ganz plötzlich ein, ohne daß sich vorher besondere Kennzeichen einstellen. Da außerdem eine Verbindung des Schweißdrahts mit nicht flüssigem Aluminium unmöglich ist, vielmehr das aufgetragene Metall durch die Flamme fortgeblasen wird, so ist für sachgemäße Schweißung guter Fluß des Grundwerkstoffs Bedingung; hierbei ist darauf zu achten, daß sich die unter der Flamme befindlichen, bereits angeschmolzenen Teile nicht setzen (Abb. 101 *B*) oder beim Rühren mit dem Schweißdraht gar durchbrechen (Vorrichtung Abb. 101 *C*). Da Aluminium ein guter Wärmeleiter ist, wandert beim Schweißen immer ein großer Teil der zugeführten Wärme an das der Schweißstelle zunächstliegende Metall ab, weshalb es vorteilhaft ist, vor Beginn des Schweißens das Schweißstück entlang der Naht mit der Flamme etwas vorzuwärmen.

Bei starkem Werkstoff ist leichtes Rühren im Schmelzbade mit dem Schweißstabe angebracht. Die Schweißung von Aluminiumblechen unter 1 mm Stärke bietet einige Schwierigkeit, bei weniger als 0,5 mm Stärke selbst geübten Schweißern. Wo möglich, erleichtert man sich die Arbeit, indem man die Bleche bördelt (Abb. 98 *A*) und den Bord niederschmilzt. Außerdem sind schwache Aluminiumbleche (auch schwache Messingbleche) vorteilhaft mittels Wasserstoff zu schweißen. Zur Steigerung der Verbindungsfähigkeit ist ferner das metallische Blankmachen der Schweißstellen (vornehmlich bei schwachem Blech) angebracht. Richtige Haltung der Schweißflamme erleichtert besonders die Schweißung dünner Bleche mit Azetylen bedeutend, und zwar soll die Flamme immer den Zulegedraht, nicht das Blech, treffen (Abb. 169). Dünnere Bleche (bis 2 mm) sind am besten mit Wasserstoff zu schweißen, da einmal die Arbeitsdurchführung als solche viel leichter ist, und zum anderen auch die Güte (Festigkeit) der Schweißung günstiger wird. Indessen zeigt es sich, daß zur Schweißung über 2 mm starker Bleche Azetylen den Vorzug verdient.

Durchbrechen und Einfallen ganzer Metallteile verhütet man beim Schweißen von Löchern, Rissen oder Brüchen in großflächigen Aluminiumgußkörpern durch Unterhalten eines der Form des Schweißstücks angepaßten, gutanliegenden Eisenblechs von 1 ÷ 2 mm Stärke. Auf diese Weise kann man auch größere Flächen gewissermaßen ausgießen, derart, daß man die offenen Stellen durch Einschmelzen von Draht ausfüllt. Nach Erkalten des Körpers läßt sich

die gegengehaltene Form leicht entfernen, da Eisen mit Aluminium nicht ohne weiteres eine Verbindung eingeht.

Ähnlich Bronze ist erhitztes Aluminium, besonders gegossenes, äußerst bröcklich. Mit Rücksicht hierauf muß beim Wenden und Bewegen geschweißter, noch hochehritzer Stücke sorgfältig verfahren werden. Wo ein Abschrecken geschweißter Aluminiumteile technisch angängig ist, trägt es zur Verbesserung des Schweißnahtgefüges bei. In allen Fällen wird die Schweiße durch Ausglühen und Hämmern wesentlich veredelt. Mit Spannungen behaftete Aluminiumgußstücke wärmt man, soweit dies durchführbar ist, mit der Flamme vor; größere Stücke werden, wenn kein besonders für Aluminium eingerichteter Muffelofen zur Verfügung steht, auf eine etwa 2 mm starke Eisenblechtafel gelegt, unter der man ein Holzkohlenfeuer unterhält. Vorsicht! Der Körper kann leicht zu heiß werden

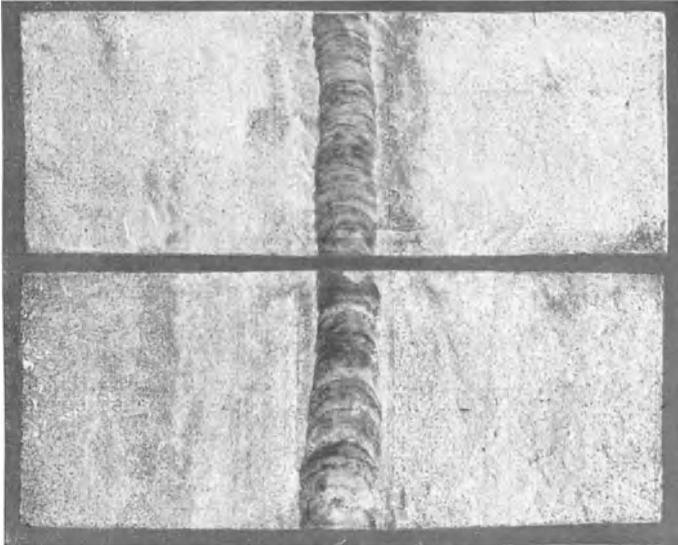


Abb. 172. Längsschliffe der Schweißnaht von Aluminiumblech.

und ganz oder teilweise zusammenschmelzen. Es ist ratsam, insbesondere dünne Bleche in der Schweißzone metallisch blank zu machen (Befreiung von Oxyd, Öl, Fett u. dgl.), da hierdurch von vornherein eine leichtere Bindung der Stoßkanten erreicht wird.

Die Bearbeitung der Schweiße geschieht bei Gußgehäusen und ähnlichen Gußkörpern zweckmäßig mittels Fräser, Holzraspel, Holzstemmeisen, Schaber und Feile. Bei Blechnähten genügt meist ein leichtes Schlichten mit dem Hammer. Wichtig ist außerdem, daß die Schweiße gründlich abgewaschen und mit einer feinen Stahldrahtbürste von den Resten des Schweißpulvers befreit wird, damit das Aluminium nicht von diesen angegriffen wird. Die gut trockene Schweiße reibt man mit etwas Fett, Öl oder Paraffin ein.

Das Aussehen einer normalen Aluminiumblechnaht zeigt Abb. 172, während Abb. 173 drei verschiedene Rillenformen veranschaulicht. Die Naht *a*, bei der die Rillenform (Schuppenkette), wie sie auch bei den Schweißnähten anderer Metalle üblich ist, erhalten ist, wurde mit einer in der Größe richtig bemessenen Flamme geschweißt. Bei *b* ist schon eine zu starke Flamme und bei *c* eine viel

zu große verwendet worden. *b* ist noch schwachrillig, *c* indessen völlig rillenlos. Das Gefüge dieser letzteren Schweißen läßt Überhitzung erkennen (s. Abb. 196 Abschnitt V). Im allgemeinen soll die Nahtbreite nur das Dreifache der Blechdicke ausmachen.

In Abb. 174 ist eine Gruppe geschweißter Aluminiumhohlkörper zusammengestellt ($\frac{1}{2}$ natürlicher Größe), die Versuchten mit innerem Wasserdruck unterworfen

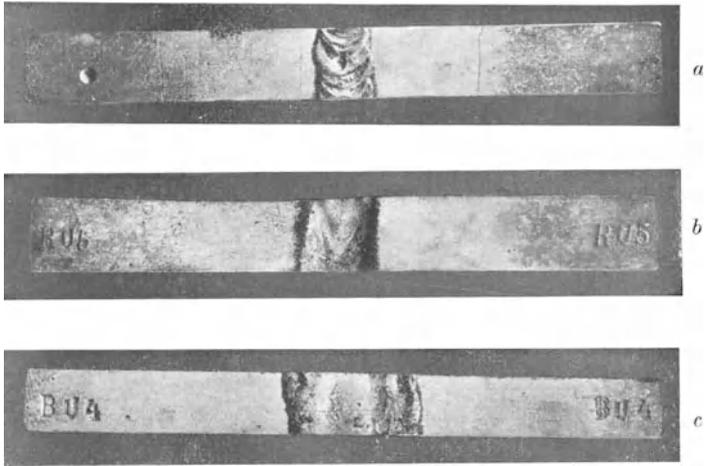


Abb. 173. Aluminiumschweißnähte. *a*) normal, *b*) schwachrillig, *c*) rillenlos.

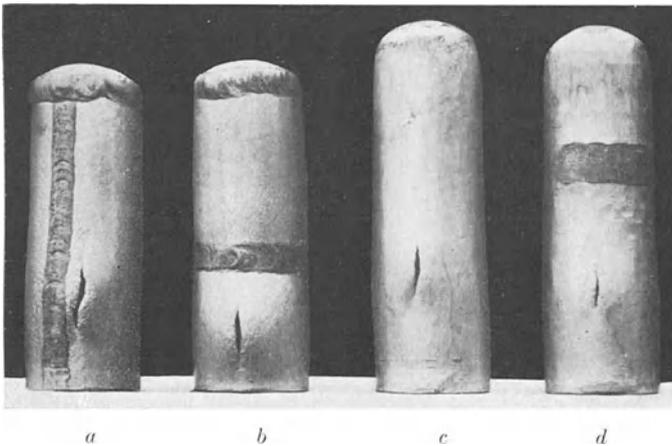


Abb. 174. Geschweißte Versuchshohlkörper, durch Innendruck zerstört.

wurden. Es handelte sich dabei um Zylinder aus 98prozentigem Aluminium mit Längs- und Rundschweißnähten. Die Zylinder wurden mit 65, 70, 115 und 120 at gedrückt und platzten bei diesen Drucken außerhalb der Schweißnähte. Die beiden Gefäße *c* und *d* waren einschließlich der Schweißnähte nachträglich gehämert, aber nicht geglüht worden; *a* und *b* waren keinerlei Nachbearbeitung unterzogen. Die Bilder bestätigen die allgemeine Erfahrung, daß die Eigenschaften einer guten Schweißung jenen des ungeschweißten Werkstoffs gleichwertig sind. Abbil-

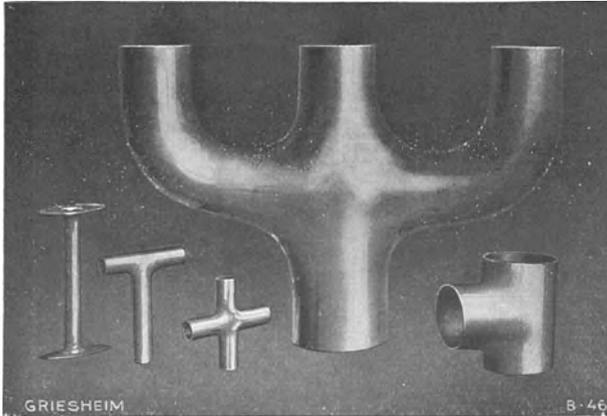


Abb. 175. Geschweißte Aluminiumformstücke.

Abbildung 175 zeigt eine Gruppe mit „Autogal“ geschweißter Aluminiumformstücke (Flugzeugrohrteile). Die Schweißnähte sind bearbeitet und hier, wie in allen anderen Fällen unsichtbar, da eine Änderung der Farbtonung durch das Schweißen nicht eintritt. Eine Reihe gasgeschweißter Aluminiumgefäße für Brauereien ist in Abb. 176 photographisch festgehalten. Die zwölf Gefäße fassen je 260 hl.

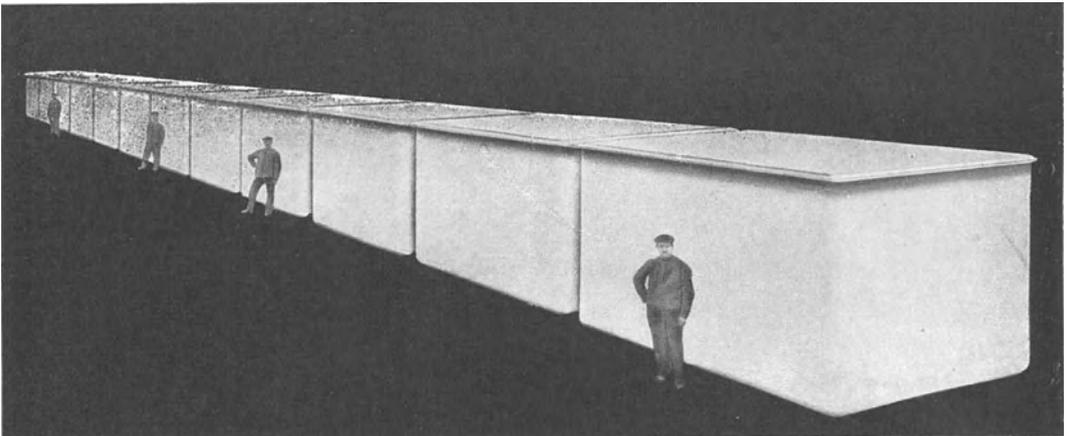


Abb. 176. Nietlose, geschweißte Aluminiumbottiche für Brauereibetrieb.

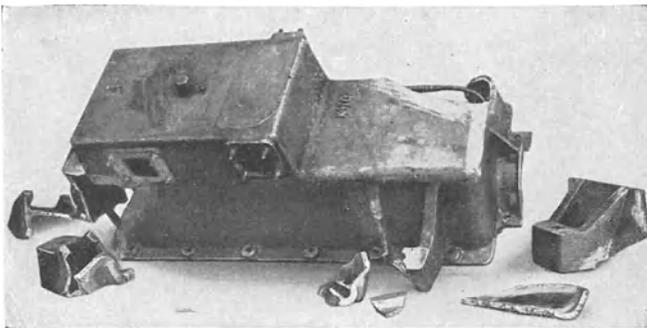


Abb. 177. Zerbrochenes Motorgehäuse aus Aluminiumguß.

Als Beispiel für eine Aluminiumgußschweißung ist in Abb. 177 ein zerstörtes Automotorgehäuse vor und in Abb. 178 nach der Schweißung (in un bearbeitetem Zustande) veranschaulicht. Bei derartigen Arbeiten kommt es außer auf Festigkeit (Gehäuse-lagerarme), auf Dichtigkeit der Schweißung (Öl-

wanne im Unterteil; Öl dringt durch jede kleine Pore), nur darauf an, daß sich die Dichtungsflächen (zwischen Gehäuseober- und -unterteil) nicht verziehen, da ein

starkes Werfen der Fläche das Gehäuse, trotz im übrigen gelungener Schweißung, unbrauchbar macht. Zum Schlusse sei noch kurz darauf hingewiesen, daß sich Aluminium auch nach dem Hammerschweißverfahren verbinden läßt. Die Blech-

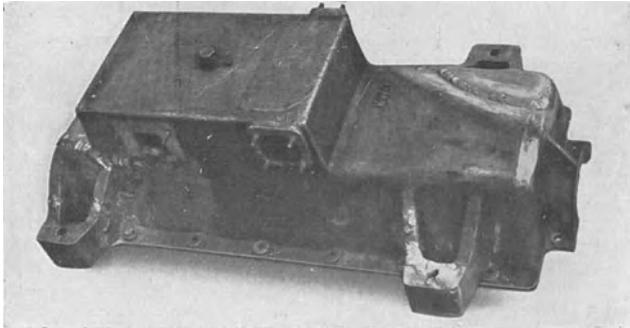


Abb. 178. Gehäuse der Abb. 177, geschweißt, aber noch unbearbeitet.

ränder werden dabei in 3 ÷ 5facher Blechdicke überlappt, auf geeigneten Unterlagen auf etwa 450° (mittels der Brennerflamme) erhitzt und dann mit Kugelhämmern verschiedener Durchmesser zusammengehämmert. Dieses Verfahren ergibt (wo es anwendbar ist) noch bessere Schweißen als die Schmelzschweißung, ist aber auch in allen Fällen teurer.

3. Schweißung der übrigen Metalle.

Bei Besprechung der Schweißung dieser Metalle können wir uns kurz fassen. Einmal handelt es sich um Sondergebiete, welche den Durchschnittsschweißer wenig oder gar nicht interessieren, zweitens können alle im vorausgegangenen gemachten Ausführungen größtenteils auch auf diese Metalle ausgedehnt werden.

a) Nickel.

Nickel, ein weißes Metall von hellem Glanze und bei gewöhnlicher Temperatur von nur sehr geringer Oxydationsfähigkeit, hat einen Schmelzpunkt von 1452°. Es kommt als Hüttennickel (Würfel-, Rondellen-, Platten- oder Granalnickel), Kathodennickel (Elektrolytnickel) und umgeschmolzenes Nickel mit 97 ÷ 99,5 vH Nickel in den Handel und zeigt im allgemeinen dem Eisen ähnliche Eigenschaften. Sein Bestreben, im geschmolzenen Zustande größere Mengen von Gasen aufzunehmen, hat es mit dem Kupfer gemein und beim Schweißen auch ein dem Kupfer gleichendes Verhalten. Aus diesem Grunde ist scharfe Einstellung der Schweißflamme, ohne jeden Überschuß an Brenngas und Sauerstoff, wesentlich. Erfahrungsgemäß ist Reinnickel besser schweißbar als seine Legierungen, aus denen es sich beim Schweißen mitunter absondert.

Beim Schmelzschweißen des Nickels traten neben geringer Festigkeit der Schweißnaht — große Hohlräume infolge Aufnahme großer Gasmengen (Kohlenoxyd); beim Hämmern riß die Naht meist auf — häufig auch Risse in der Naht selbst auf, die nachzuschweißen ein stets zweckloser Versuch war. Man half sich daher so, daß man die zu verbindenden Stellen metallisch blank machte, in Länge der 3 ÷ 5fachen Werkstoffdicke überlappt und, durch Schweißflammen erhitzt, zusammenhämmerte, ein der Feuerschweißung und der Wassergasschweißung verwandtes Verfahren. Als Unterlage diente ein der jeweiligen Form des Schweißstücks entsprechender, beheizter Amböß.

Vor nicht zu langer Zeit ist es indessen den Vereinigten Schwerter Nickelwerken gelungen, ein Verfahren ausfindig zu machen, Nickel mit der Schweißflamme zufriedenstellend stumpf schmelzzuschweißen. Das Verfahren ist allerdings patentiert und beruht auf einem Zusatz bestimmter Mengen von Mangan zum Nickel wie zum Zusatzwerkstoff. Anderenorts sollen mit Vanadin, an Stelle des Mangans, gute Erfolge erzielt worden sein. Auch ein Zusatz von Magnesium von 0,1 ÷ 0,2 vH verhindert die Aufnahme von Kohlenoxyd und verbessert die Schweißung.

Die Schweißung von Nickel ist sehr schwierig; sie kann nur von durchaus geübten Schweißern ausgeführt werden und bedingt die Verwendung geeigneter mangan- und phosphorhaltiger Schweißpulver.

Eine bekannte Legierung zwischen Nickel, Kupfer und Zink ist das Neusilber, das sich bei einiger Übung zufriedenstellend schweißen läßt. Grundbedingung ist möglichst rasche Herstellung der Schmelzhitze und Anwendung von Mitteln, die eine Oxydation und Gasaufnahme verhindern. Das geschieht am einfachsten durch Zusatz einer geringen Menge von Aluminium oder Magnesium. Die Schweißung selbst muß so schnell wie möglich durchgeführt werden, damit oberflächliche Zinkverdampfung, die ein Porigwerden der Metalloberfläche zur Folge hat, verhütet wird. Hämmern und Ausglühen der geschweißten Naht bei etwa 700° ist in allen Fällen Voraussetzung.

Eine amerikanische Nickellegierung ist Monelmetall, das auch in Deutschland hergestellt wird und insbesondere für Dampfturbinenschaufeln und für Ventile Verwendung findet, die bei hoher Festigkeit allen zersetzenden Einflüssen widerstehen müssen. Monelmetall ist eine Naturlegierung mit 67 vH Nickel, 28 vH Kupfer und 5 vH Mangan + Eisen, d. h. die Grundstoffe sind schon im Erz in der genannten Zusammensetzung vorhanden. Es ist gut gießbar, schmiedbar und auch kaltziehbar; sein Schmelzpunkt liegt bei etwa 1360°. Es läßt sich gut schweißen, wenn man eine lange spitze Flamme verwendet, die man durch Zufuhr von Azetylen unter höherem Druck als gewöhnlich erreicht. Ein Schweißpulver (Borax) ist nicht unbedingt erforderlich. Als Zusatzdraht nimmt man gut blanken Moneldraht. Monelmetall läßt sich auch gut mit fast jedem anderen Metall oder Legierungen verschweißen. So wurden z. B. die von den deutschen Besatzungen bei Kriegsbeginn gesprengten Schiffsmaschinenzylinder in Amerika mit Erfolg mit Monelmetall wieder geschweißt. Es läßt sich auch löten, und zwar mit Silberlot oder mit Hartlot (mit etwas Silberzusatz).

b) Blei.

Anders liegen die Verhältnisse beim Blei. Die längst bekannte Bleilötung ist nichts anderes als eine Schmelzschweißung; es wird Blei in das Grundmetall Blei eingeschmolzen. Blei ist eins der weichsten Metalle (unter den technisch brauchbaren Metallen das weichste), sein Schmelzpunkt liegt bei 327°, sein Siedepunkt bei etwa 1525°, indessen beginnt die Verdampfung schon bei Rotglut. Bekanntlich sind die Bleidämpfe sehr giftig. Sie setzen sich in der Umgebung der Schweißstelle in großen Mengen als gelber, übelriechender Belag ab. Bleischweißer müssen daher Respiratoren (Atmungsmasken) tragen. Zwei dem Blei eigentümliche Eigenschaften erschweren seine Schweißbarkeit: Große Verwandtschaft zum Sauerstoff und daher Bildung von Bleioxydul und dessen über der Schmelztemperatur metallischen Bleis gelegener Schmelzpunkt. Die sich entwickelnde Schicht von Bleioxydul ist zäh und sehr dickflüssig und hindert die Schweißarbeit beträchtlich. Ein Abschaben, d. h. vorheriges gründliches Blankmachen der Verbindungsstellen, wie auch des Bleidrahtes (unter Umständen mit Schmirgel-

papier), ist deshalb unerlässlich. Die Drahtstärke hat sich nach der Bleidicke zu richten, doch sollten wegen der Schmiegsamkeit des Bleis Drähte unter 2 mm Durchmesser keine Verwendung finden. Schweißpulver findet beim Schweißen des Bleis keine Verwendung.

Die Vorbereitung der Schweißnähte kann, abweichend von der der übrigen Metalle, für Blei sehr beliebig sein. Erscheinungen, wie Verziehen, Reißen u. a., die wir als Folge von Spannungen kennenlernten, haben auf Blei überhaupt keinen Bezug, da es nicht allein ein sehr schlechtes Wärmeleitvermögen besitzt, sondern auch, was hier noch mehr ins Gewicht fällt, außerordentlich große Weichheit und Formanpassungsfähigkeit (auch in kaltem Zustand), die ihm große Bewegungsfreiheit nach jeder Richtung gestatten. Darum kann, je nach Bedarf und Belieben, stumpf, gebördelt oder überlappt geschweißt werden. Die Bleischweißung findet ausgedehnte Anwendung im Rohrleitungsbau, bei der Herstellung von Bleikammern für Schwefelsäurefabriken, beim Auskleiden Säure aufnehmender Behälter usw.

Besonders für dünne Bleibleche eignet sich die heiße Azetylenflamme weniger als die Wasserstoffflamme; wir finden die letztere daher beim Bleischweißen am meisten verbreitet. Starkwandige Bleigegegenstände werden mit normalen Wasserstoffschweißbrennern (also unter Zufuhr von Sauerstoff) oder mit Azetylenluftgebläsen bearbeitet, dünnwandige mit Wasserstoff allein, mit sog. Starkbrennern. Bei den letzteren wird die erforderliche Verbrennungsluft infolge der Strömungsgeschwindigkeit des austretenden Wasserstoffs selbsttätig angesaugt.

Die Gefahr einer Bleivergiftung des Schweißers bedingt, daß er von Zeit zu Zeit auf seinen Gesundheitszustand ärztlich untersucht werden muß. Die Schweißer werden amtlich auf die Krankheitserscheinungen aufmerksam gemacht und haben eine besondere Lebensweise zu führen.

c) Zink.

Zink kommt als Feinzink I (über 99,9 vH Zink), Feinzink II (über 99,8 vH Zink), Rohzink und Raffinadezink und als umgeschmolzenes Zink (Remelted-Plattenzink) in den Handel, hat einen Schmelzpunkt von 419° und den sehr niedrigen Siedepunkt von 925° (Verdampfung schon bei 500°).

Das Zink zeigt unter der Flamme ein dem Blei ähnliches Verhalten, und es muß hier wie dort die Stärke des Schweißdrahtes zur Werkstoffdicke in einem gut abgestimmten Verhältnis stehen, damit die fortschreitende Abschmelzung des Füllstabes der zur Auffüllung der Schweißmulde notwendigen Werkstoffmenge entspricht. Während Blei ohne Schweißpulver geschweißt wird, empfiehlt es sich, beim Zinkschweißen die Schweißbränder, wie den Zinkstab mit konzentrierter Salmiaklösung zu bestreichen. Auch bei der Schmelzung des Zinks ist streng darauf zu achten, daß sich der Schweißer durch Tragen einer Atmungsmaske gegen Einatmung der giftigen Zinkdämpfe schützt.

Über das Schweißen mit Blei, Zink und Zinn überzogener Bleche war auf S. 120 Entsprechendes ausgeführt.

d) Silber, Gold, Platin.

Silber hat einen Schmelzpunkt von 961° und von allen Metallen die größte Leitfähigkeit für Wärme und Elektrizität. Gold schmilzt bei 1063°, Platin bei 1764°.

Diese Edelmetalle sind infolge ihres geringen Oxydationsvermögens durchweg ohne Schweißpulver sehr gut schweißbar, und die Juwelenindustrie macht von der Schmelzschweißung ausgedehnten Gebrauch. Die Schweißstellen erreichen

große Dichte und Festigkeit, sind gut bearbeitbar und vom Grundmetall nicht zu unterscheiden. Alle drei Metalle werden vornehmlich mit Azetylen geschweißt. Einer der Verfasser hatte selbst die seltene Gelegenheit, 1,3 mm starke Platinrohre und Silberrohre von 3,5 mm Wandstärke (für chemische Versuchsapparate) zu schweißen. Die Vereinigung von Stoßfugen (stumpf) ließ sich mit der Azetylenflamme und ohne Verwendung von Schweißpulver vollkommen einwandfrei durchführen.

IV. Das Löten mit dem Schweißbrenner.

(Autogenes Löten).

Allgemeines. Das Löten unterscheidet sich vom Schweißen in der Hauptsache dadurch, daß die zu lötende Stelle nicht auf Schmelztemperatur gebracht wird, sondern nur so weit vorgewärmt wird, als es der Schmelzpunkt des als Träger der Festigkeit dienenden Verbindungsmittels, des Lots, verlangt. Beim Löten hat demnach stets ein Fremdkörper, das Hartlot (Schlaglot) oder das Weichlot, die Verbindung herzustellen, die beim Hartlöten durch Eindringen eines oder mehrerer Bestandteile des Lots in das vereinigte Metall erhebliche Verstärkung erfährt. Eine scharfe Grenze zwischen Löten und Schweißen läßt sich nicht immer bestimmen. So sahen wir beispielsweise, daß die Bleilötung nichts anderes als eine Schmelzschweißung ist. Ähnlich liegen die Verhältnisse beim Zusammenlöten von Kupfer und Messing mit Messingdraht; für Kupfer ist es nach vorstehendem eine Lötung, da Messing als Fremdkörper zu betrachten ist; für Messing indessen ist es ein regelrechter Schweißvorgang.

Wir haben zwischen zwei stark voneinander abweichenden Lötverfahren zu unterscheiden: zwischen Hartlöten und Weichlöten. Alle mit Hartlot (Schlaglot), ob im Holzkohlenfeuer oder mit der Gasflamme ausgeführten Lötungen sind als Hartlötung zu bezeichnen. Ihr gegenüber steht die Weichlötung, gekennzeichnet dadurch, daß der zu verbindende Werkstoff nicht erwärmt, vielmehr das leicht schmelzbare Weichlot (Lötzinn) mittels eines heißen Lötkolbens abgeschmolzen und auf das vorher metallisch blank gebeizte (geätzte) Metall in dünner Schicht aufgetragen wird. Beide Lötarten sind unter Zuhilfenahme von autogenen Schweißgeräten mustergültig durchführbar. Man spricht dann von „autogenem Löten“. Das Löten soll im folgenden nur hinsichtlich der Verwendung der Schweißgeräte besprochen werden. Der Lötvorgang selbst wird als bekannt vorausgesetzt.

Hartlötung. Hierbei finden, je nach Art der zur Verfügung stehenden Anlage, Azetylen-, Wasserstoff-, Leuchtgas- oder Benzolflammen (mit Sauerstoff, teilweise mit Luft betrieben) Anwendung. Die Erwärmung im Holzkohlenfeuer, ein an und für sich ebenso unsauberer und umständlicher, wie unübersehbarer Erhitzungsvorgang, wird durch das weitaus bessere und vollkommenere Mittel, die offene Flamme, ersetzt. Als Lot dienen in der Hauptsache Hartlote (Schlaglote) aus 42÷54 Teilen Kupfer, Rest Zink (Schmelzpunkt 820°÷875°). Für Kupfer- und Bronzestücke kommen bei feineren Arbeiten auch Silberlote in Frage, die 30÷50 Teile Kupfer, 25÷52 Teile Zink und 4÷45 Teile Silber enthalten (Schmelzpunkt 720°÷855°). Als Lötpulver (entsprechend dem Schweißpulver) genügt Borax.

Zusammenlöten läßt sich auf diese Weise: Kupfer mit Kupfer, Kupfer mit Messing, Eisen mit Messing, Eisen mit Kupfer usw., wobei, einige Übung voraus-

gesetzt, sehr haltbare und saubere Löt Nähte entstehen. Die Gesteungskosten sprechen in allen Fällen sehr zugunsten der autogenen Lötung, besonders im Fahrradrahmenbau und in der Kupferrohrinstallation.

Weichlötung. Hierfür kommt der mit Azetylen bzw. Leuchtgas und Luft beheizte Löt Kolben fast ausschließlich in Frage. Besonders konstruierten Brennern werden meist verstellbare Kupferkolben mannigfacher Form und Größe vorgelagert und vom Gasluftgebläse geheizt. Die Heizung kleinerer Kolben erfolgt mit Hilfe der bekannten Bunsenbrennereinrichtung, welche die zur Verbrennung des Gases notwendige Luftmenge selbst ansaugt, die Heizung größerer Kolben mit Gas-Preßluft- oder Gas-Sauerstoffgebläseflammen. Für Weichlötzwecke (Bunsenbrenner) eignen sich vornehmlich Azetylenentwickler mit hohem Gasdruck. Als Lot dient in der Hauptsache Weichlot (Lötzinn) mit wechselnden Mengen von Zinn und Blei (Schmelzpunkt $180^{\circ} \div 240^{\circ}$). Als Löt mittel (Oxydationsschutz) verwendet man „Löt wasser“ (Zink in Salzsäure aufgelöst), „Löt salz“ (Löt wasser mit Zusatz von Salmiak) oder „Löt fett“.

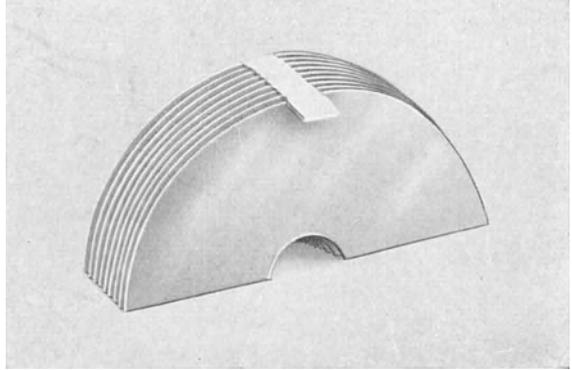


Abb. 179. Gelöteter Radio-Kondensator.

Der Hauptvorzug und die Wirtschaftlichkeit der Autogenweichlötung liegt vor allem in der leichten Regelbarkeit der Flammengröße und in der durch dauernde Beheizung des Kupferkolbens erzielten, ununterbrochenen Arbeitsmöglichkeit.

Aluminiumlötung. Von besonderem Interesse ist auch das Löten von Aluminium, wobei ebenfalls zwischen Hart- und Weichlötung unterschieden werden kann. Das brauchbarste der beiden Arbeitsverfahren ist das Hartlöten, während die Aluminiumweichlötung nur als Notbehelf angesehen werden kann. Das Löten von Aluminium und seinen Legierungen fällt nicht

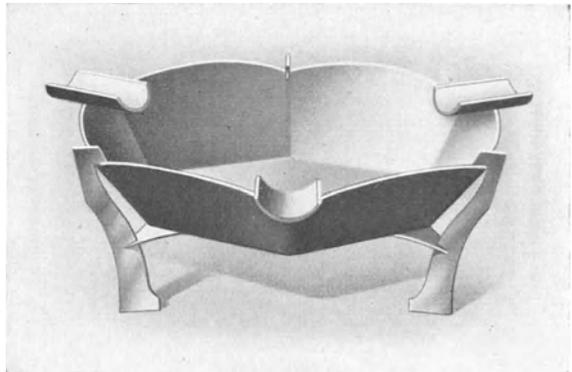


Abb. 180. Aschbecher.

unter die Griesheimpatente, solange als Verbindungswerkstoff nicht Reinaluminium, sondern ein Fremdmittel, nämlich das Lot, verwendet wird, gleichviel ob hierbei Haloidsalze (Verbindungen der Halogene, Chlor, Brom, Jod, Fluor mit Metallen und Alkalien) oder Gemische hieraus als Flußmittel verwendet werden oder nicht. Das Flußmittel darf jedoch nicht als Schweißpulver dienen, weil dies eine Verletzung der Patente bedeuten würde.

Zur Aluminiumhartlötung dienen Lote, sog. Echtlote, die als Hauptbestandteil Aluminium enthalten. Der Schmelzpunkt dieser Lote liegt immer ober-

halb 500°, meist nur um einige Grade tiefer als der Schmelzpunkt des Aluminiums. Die der Weichlötung weitaus überlegene Hartlötung ergibt farbengleiche, haltbare und saubere Verbindungen. Die Lötstellen werden gründlich metallisch blank gemacht und unter Verwendung des stabförmigen Lotes und eines geeigneten Flußmittels vereinigt, wobei meist eine Schweißflamme (bei größeren Stücken auch mehrere) als Wärmequelle dient.

Die Aluminiumweichlote sind demgegenüber sehr aluminiumarm und enthalten vorwiegend Schwermetalle, wie Zinn, Zink, Blei, auch Wismut, Antimon u. a. Man hat diesen Loten, deren einziger Vorzug der niedrige Schmelzpunkt (200 bis 400°) ist, die verschiedensten Namen gegeben, die ihre vermeintlichen Vorzüge, die praktisch aber nicht vorhanden sind, kennzeichnen sollen (Schmier-, Modellier-, Reib-, Weich-, Kaltlot usw.). Die Mängel der Lote (Farbunterschiede im Vergleich zum Aluminium, geringe Haltbarkeit, Zersetzung der Lötstelle u. a.) wachsen mit zunehmendem Gehalt des Weichlots an fremden Metallen, wengleich dadurch eine Herabsetzung des Schmelzpunkts und demnach eine Erniedrigung der Löttemperatur bewirkt wird, was ja den Vorteil des Lötens ausmacht. Die Aluminiumweichlötung kommt nur dort in Frage, wo es auf Festigkeit und Farbenunterschiede nicht ankommt und wo die Lötstelle durch geeignete Schutzmittel (Öl, Farbe, Fett usw.) vor atmosphärischen Einflüssen und demnach vor Korrosions- (Zersetzungs-) Erscheinungen sicher behütet bleibt.

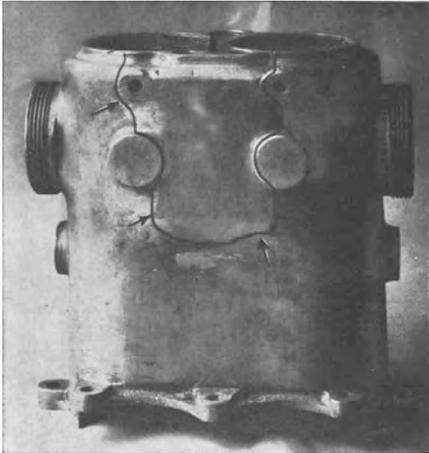


Abb. 181. Flugzeugmotorvergaser mit weichgelötetem Wassermantel.

Einige typische Anwendungsfälle der Aluminiumhart- und -weichlötung sind in den Abb. 179, 180 und 181 veranschaulicht. Abb. 179 zeigt einen mit „Firinit“ hartgelöteten Radiokondensator, dessen Lamellen und Steg aus sehr dünnem Aluminium bestehen und deshalb weder geschweißt noch weichgelötet werden konnten. Desgleichen ist der Aschbecher, Abb. 180, an 18 Stellen hartgelötet. Der Wassermantel des in Abb. 181 wiedergegebenen Flugzeugmotorvergasers wurde an den mit Pfeilen hervorgehobenen Stellen durch Weichlötung mit „Forumus“ ausgebessert.

V. Die Güte der Schweiße und ihre Prüfung.

A. Allgemeiner Überblick.

Güte der Schweiße. Von der Güte der Schweiße hängt die Anwendung und der Anwendungsbereich der Gasschmelzschweißung in erster Linie ab. Daher ist eine möglichst hohe Güte der Schweiße nicht nur bei Probeschweißungen, sondern auch bei allen laufenden Betriebsarbeiten zu erstreben, und um diese Güte zu erreichen, sind wiederum Prüfungen der Schweiße unerlässlich. Es darf zunächst nicht übersehen werden, daß die Güte der Schweißungen von einer ganzen Reihe von Größen abhängt, von denen die wesentlichsten folgende sind: Güte der Schweiß-

einrichtung, Kenntnisse und Handfertigkeit des Schweißers, chemische Zusammensetzung, Kristallaufbau und Bauart des Schweißstücks und Güte des Schweißstabwerkstoffs. Da vor allem im normalen Betrieb bisher selten alle genannten Anforderungen zugleich erfüllt werden, ist es nicht verwunderlich, daß die Güte der Schweißungen sehr unterschiedlich und oft nur eine recht mäßige ist. Wichtig ist es nach vorigem zunächst, im Betrieb für gute Schweißeinrichtungen, guten Schweißstabwerkstoff und gute Schweißer zu sorgen und den Schweißbetrieb sorgfältig zu überwachen. Sodann ist es notwendig, die Schweiße in möglichst einfacher Weise auf ihre Güte hin prüfen zu können.

Werkstattprüfungen. Eine äußerliche Betrachtung der Schweißnaht läßt schon, wie es die früheren Abbildungen zeigen, gewisse Schlüsse auf die Güte der Naht zu. Insbesondere wird man ausgesprochen schlechte Schweißungen schon rein äußerlich als solche erkennen können. Ferner können geschweißte Hohlkörper durch Dampf-, Luft- oder Wasserdruck auf Dichtigkeit und Festigkeit geprüft werden, wobei ein leichtes Abhämmern der unter Druck stehenden Schweißstelle zu empfehlen ist. Die Verwendung von Röntgenstrahlen, um Gasblasen und Schlackeneinschlüsse in der Schweiße festzustellen, steckt noch in der Entwicklung und kommt zur Zeit für eine Werkstattprüfung noch nicht in Frage.

Während vorgenannte Prüfverfahren im Betrieb am fertigen Schweißstück Anwendung finden können, muß zur Vornahme von technologischen, Festigkeits-, metallographischen und chemischen Untersuchungen dem Werkstück eine Probe entnommen, das Stück also mehr oder weniger unbrauchbar gemacht werden, oder man muß besondere Schweißproben für die Untersuchung anfertigen. Für die Werkstatt sind überdies die meisten der vorgenannten Untersuchungen zu langwierig und zu kostspielig. Als einzige brauchbare Werkstattprüfung kommt vorläufig nur die Kaltbiegeprobe in Frage. Hierbei wird der Probestab um einen Dorn von bestimmtem, von der Probestabstärke abhängigem Durchmesser gebogen. Man mißt im allgemeinen den Biegewinkel. Richtiger ist es, aus Probestärke und Dorndurchmesser die Dehnung der Schweißnaht zu bestimmen. Ein Nachteil der Biegeprobe ist der, daß sich insbesondere bei stärkeren Proben der an die Schweißstelle angrenzende Werkstoff mehr biegt als die Schweiße selbst, bzw. daß sich der Probestab beim Biegen dann nicht dicht an den Dorn anlegt. Eine Biegeprobe mit Hin- und Herbiegen des Stabs bis zum Bruch eignet sich nur für dünne Querschnitte. Bei Probeschweißungen empfiehlt es sich, die Probe immer von demselben eingearbeiteten Schweißer ausführen zu lassen und ferner den Schweißer, besonders bei Betriebsproben, schweißen zu lassen, wie er es gewohnt ist, vorausgesetzt, daß er dabei nicht offensichtliche Fehler macht.

Laboratoriumsprüfungen. Genauere Prüfungen der Güte der Schweißnaht werden stets an besonderen Probestücken, die aus dem vollen Stück entnommen oder besonders angefertigt worden sind, im Laboratorium vorgenommen. Sie haben den Vorteil, daß sie zahlenmäßige Ergebnisse liefern, bei deren Vergleich man aber vorsichtig sein muß und alle Begleitumstände bei Herstellung der Schweiße berücksichtigen soll. Durchgeführt werden heute verschiedenartige Festigkeitsuntersuchungen, ferner metallographische und chemische Untersuchungen sowie Röntgenprüfungen, von denen allen im folgenden näher die Rede sein soll. Allgemein sei hier noch bemerkt, daß die Anwendbarkeit und Ausbildung von Werkstatt- und Laboratoriumsprüfungen der Schweißnaht zur Zeit Gegenstand der Beratung in Fachvereinen und Ausschüssen (s. Abschnitt „Förderung der Schweiß- u. Schneidtechnik“) ist. Es ist zu hoffen, daß in nächster Zeit Richtlinien für zweckmäßige Prüfverfahren und ihre Anwendung herausgegeben werden können.

B. Festigkeitsuntersuchungen.

Zugversuche. Die Güte einer Schweißnaht wurde nach den bisherigen Anschauungen meistens dadurch festzustellen gesucht, daß man die Zugfestigkeit (in kg/mm^2) und Bruchdehnung (in Prozenten der ursprünglichen Stablänge) der Schweißnaht mit den entsprechenden Werten des vollen, unverletzten Werkstoffs verglich, indem man Probestäbe mit Hilfe einer Zerreißmaschine zerriß. Bei Gasschmelzschweißungen ist nach den Versuchen, soweit sie aus der Literatur und sonstigen Unterlagen bekannt sind, die Zugfestigkeit zu $76 \div 100$ vH derjenigen des vollen Blechs und die Bruchdehnung zu $20 \div 88$ vH derjenigen des vollen Blechs festgestellt worden. Genauere Zahlenangaben über neuere Einzelversuche folgen im übernächsten Unterabschnitt. Die Zugfestigkeit der Naht ist nach den vorigen allgemeinen Angaben als gut zu bezeichnen, während die Dehnung noch oft zu wünschen übrig läßt. Im übrigen geht aus den großen Unterschieden der genannten Grenzwerte zur Genüge hervor, daß es bei der Gasschmelzschweißung wie bei jedem anderen Schweißverfahren in erster Linie auf geübte Schweißer und sorgfältige Arbeit ankommt, wenn gute Ergebnisse erzielt werden sollen. Zu erwähnen ist noch, daß eine Anzahl der bisherigen Zugversuche insofern nicht einwandfrei ist, als nicht angegeben, bzw. nicht darauf Rücksicht genommen wurde, ob die Schweißnaht dicker oder dünner als der übrige Werkstoff oder etwa gleich stark war. Besonders ist sodann noch hervorzuheben, daß man bei diesen Versuchen immer die Dehnung des ganzen Probestabs, nicht aber die Dehnung der Schweißstelle allein mißt. Es kommt z. B. öfters vor, daß der Zerreißstab außerhalb der Schweißstelle reißt, und zwar sowohl bei der rohen wie bei der abgedrehten Probe. Dann stellt man erstens ganz richtig eine Zugfestigkeit der Schweißnaht von mindestens 100 vH derjenigen des vollen Blechs fest, zweitens aber auch eine sehr günstige Dehnung. Diese Dehnung rührt aber nur vom ungeschweißten Blech her, ist also als Dehnung der Schweißstelle ganz irreführend.

Zur Beurteilung einer Schweißung, die höheren Temperaturen ausgesetzt ist (Dampfkessel, Lokomotivfeuerbüchsen), muß an die Stelle des bisher behandelten Kaltzugversuchs der Warmzugversuch treten, d. h. der Probestab wird in erwärmtem Zustande zerrissen.

Zusammenfassend ist zunächst festzustellen, daß der Zugversuch zur Feststellung der Zugfestigkeit der Schweißnaht wertvoll ist und daß mit ihm ein Anhaltspunkt für die Güte von solchen Schweißnähten gegeben ist, die nur ruhenden Belastungen, nicht stoßweise auftretenden, ausgesetzt sind. Die beim Zugversuch ermittelte Dehnung hat nur mittelbaren Wert; sie kann jedenfalls nicht ohne weiteres als Maßstab für die Zähigkeit der Schweißnaht dienen.

Sonstige Festigkeitsprüfungen. Neben der schon unter Werkstattprüfungen erwähnten Kaltbiegeprobe, die natürlich auch als Laboratoriumsversuch ausgeführt werden kann, kommen in der Hauptsache noch der Schlagbiegeversuch, der Kerbschlagversuch, die Schlagzugprobe, Dauerversuche und Härteprüfungen in Frage. Beim Schlagbiegeversuch wird der Probestab bei freier Auflage mit einem Vorschlaghammer geschlagen, bis die Schenkel einen bestimmten Winkel einschließen (z. B. 150°). Dann wird der Stab gewendet und durch weitere Schläge in seine Anfangslage zurückgebogen. Beim Kerbschlagversuch wird ein eingespannter, mit einer Kerbe versehener Probestab mit Hilfe eines Pendelhammers durchschlagen und die Kerbzähigkeit (spezifische Schlagarbeit) in mkg/cm^2 gemessen. Beim Schlagzugversuch wird auch der vorerwähnte Pendelhammer benutzt. Der Probestab ist mit dem einen Ende in das Pendelgewicht selbst, mit dem anderen Ende in einen am Pendelgewicht sitzenden Bär eingeschraubt, der

beim Durchgang des Pendels durch die tiefste Lage gegen Stoßflächen des Maschinengestells trifft und das eine Ende des Probestabs zurückhält, während das andere Ende mit dem Pendel weiterschwingen will; der Stab zerreißt infolge der ruckartigen Zugbeanspruchung, und es wird wieder die zum Zerreißen erforderliche spezifische Schlagarbeit in mkg/cm^2 festgestellt. Bei Dauerversuchen wird gewöhnlich der auf zwei Lagerstellen aufliegende Rundstab in der Schweißnaht durch einen kleinen Fallbär vielfach geschlagen und dabei nach jedem Schlag um einen bestimmten Winkel gedreht; außerdem ist die Schweißstelle eingekerbt. Die Anzahl der Schläge bis zum Bruch dient als Vergleichszahl. Härteprüfungen werden meist in Form des Kugeldruckversuchs nach Brinell ausgeführt, bei dem eine Kugel von $2,5 \div 10$ mm Durchmesser aus gehärtetem Stahl mit bestimmter Belastung (z. B. 3000 kg für Eisensorten bei 10 mm Kugeldurchmesser) in die Oberfläche des Werkstücks hineingedrückt wird. Die Brinellhärte ist dann das Verhältnis: Belastung in kg zu eingedrückter Kalottenfläche in mm^2 . Die Zugfestigkeit eines normalen Stahls ist $= 0,36 \cdot \text{Brinellhärte}$, so daß man mit der einfachen und ohne Entnahme eines Probestücks ausführbaren Brinellprobe gleichzeitig Härte und Zugfestigkeit ermitteln kann. Die Kugeldruckprobe kommt im übrigen hauptsächlich für die Prüfung von Auftragsschweißungen in Frage.

Für Schweißungen, die stoßweise wirkenden Beanspruchungen ausgesetzt sind, kommen der Schlagbiegeversuch, der Kerbschlagversuch, der Schlagzugversuch und der Dauerversuch in Betracht; der statische Zugversuch (d. h. der Versuch bei ruhender bzw. nur langsam gesteigerter Belastung) genügt nicht, da das Arbeitsvermögen der Schweißnaht festgestellt werden muß. Zur Erklärung des „Arbeitsvermögens“ sei darauf hingewiesen, daß die äußeren Kräfte, welche eine Schweißstelle zu zerstören versuchen, dabei eine gewisse Arbeit leisten, Formänderungsarbeit genannt. Die Schweißstelle hat nun entweder ein genügendes Aufnahmevermögen (Arbeitsvermögen) für diese Formänderungsarbeit, dann hält sie, oder sie hat es nicht, dann bricht sie. Das Arbeitsvermögen der Schweißstelle ist abhängig von ihrer Zugfestigkeit und Dehnung. Mißt man also die Zugfestigkeit und die wirkliche Dehnung (s. vorigen Unterabschnitt „Zugversuche“) der Schweißstelle, so hat man Anhaltspunkte für ihr Verhalten gegen stoßweise auftretende Beanspruchungen. Mit Hilfe des Kerbschlagversuchs und des Schlagzugversuchs kann man das Arbeitsvermögen der Schweißnaht unmittelbar feststellen.

Neuere Festigkeitsergebnisse von Gasschmelzschweißungen. Versuche von Diegel (1922 vorgenommen¹) betreffen den Vergleich von Lichtbogen- und Gasschmelzschweißungen. Es wurden Schweißproben aus weichem Flußeisen von 20 mm Breite und 18 mm Dicke hergestellt; die Gasschmelzproben wurden mit blanken und umhüllten Stäben aus Kjellberg- bzw. Friländerdraht (Gothenburg-Schweden), die elektrischen Proben mit 5-mm-Elektroden aus umhülltem Kjellbergdraht bei $20 \div 25$ V und 150 A mit Gleichstrom oder Wechselstrom (Genauerer nicht angeben) von Kjellberg ausgeführt. Alle Proben sind nach dem Schweißen auf $15 \div 16$ mm Dicke heruntergeschmiedet (zur Verdichtung der Nähte) und bei 900° eine Viertelstunde lang ausgeglüht worden. Die Mittelwerte der Zugversuche sind aus Zahlentafel 5 zu ersehen. Die günstigen Dehnungswerte sind wohl hauptsächlich auf die Nachbehandlung der Schweißproben zurückzuführen. Die Zugfestigkeit der Lichtbogenschweißung erreicht hier fast diejenige des vollen Blechs. Im ganzen schneidet die Lichtbogenschweißung günstiger ab als die Gasschmelzschweißung; bei den anschließend ausgeführten Biegeversuchen

¹ S. Stahl und Eisen 1922, Nr. 34.

Zahlentafel 5.

Werkstoffzustand	Zugfestigkeit		Bruchdehnung	
	absolut kg/mm ²	in vH der- jenigen des vollen Werk- stoffs	absolut vH	in vH der- jenigen des vollen Werk- stoffs
Volles Blech	36,6	100	31,5	100
Gasschmelzschweißproben	33,43	91,4	17,04	54,2
Elektrische Lichtbogenschweißproben	35,86	98	23,76	75,5

lagen die Verhältnisse aber umgekehrt. Entsprechend den Zugproben behandelte Kaltbiegeproben von 50 mm Breite wurden über einem Dorn von der Dicke des Probestabs gebogen mit dem Ergebnis, daß beim Biegen um 180° und nachherigem vollständigen Zusammendrücken der Biegestelle die Gasschmelzschweißstäbe entweder gar nicht rissen oder nur Anrisse zeigten, während fast alle elektrisch geschweißten Stäbe viel eher rissen. Die Lichtbogenschweißnaht ist hiernach, wie auch andere Versuche zeigen, im allgemeinen spröder als die Gasschmelzschweißnaht, wahrscheinlich infolge des höheren Sauerstoff- und Stickstoffgehalts.

Versuche von Höhn (1921 und 1923 vorgenommen¹) beziehen sich auf die elektrische und nebenbei auf die Gasschmelzschweißung. Bei den gasgeschweißten Zugproben von 1921 war die Zugfestigkeit der Schweißnaht 93 bis 101 vH und ihre Bruchdehnung 31 ÷ 88 vH derjenigen des vollen Werkstoffs. Höhn machte dann unter den Versuchen von 1923 auch solche mit geschweißten Hohlkörpern. Dabei hatten zwei Walzenkessel von 776 mm Durchmesser, 1250 mm Länge und 6 mm Wandstärke (Boden 12 mm stark) nach dem Gasschmelzschweißverfahren hergestellte Nähte; diese rissen bei einem Druck von 50 bzw. 66 at.

Versuche von Bock (1925 vorgenommen²) betreffen wiederum in der Hauptsache die elektrische und nebenbei die Gasschmelzschweißung von Flußeisenblechen. Neben der statischen Zugprobe wurde die Schlagzugprobe benutzt. Die erzielten Zugfestigkeiten sind sowohl bei der elektrischen wie bei der Gasschmelzschweißung zum Teil auffallend niedrig, noch mehr die Dehnungen und die Schlagarbeit, ein Zeichen dafür, wie stark unterschiedlich die Güte von Schweißungen sein kann. Wahrscheinlich ist aber bei beiden Schweißverfahren zum Teil unter ungünstigen Verhältnissen gearbeitet worden. Nach Bock soll sich der Schlagzugversuch besonders gut zur Prüfung von stoßweise auftretenden Belastungen eignen.

Nach Bardtke (1927) hat die schweißtechnische Versuchsabteilung der Reichsbahn von über 800 Schweißern, die die Fortbildungskurse der Versuchsanstalt besuchten, fortlaufend Schweißproben anfertigen und verschiedenen Festigkeitsprüfungen unterwerfen lassen. Der Durchschnitt der Zugfestigkeit war bei gasgeschweißten Proben 90 ÷ 100 vH und bei elektrisch geschweißten Proben 80 vH der Zugfestigkeit des vollen Blechs. Bardtke weist auch auf Festigkeitsprüfungen an fertigen Stücken im Schiffbau, an Eisenkonstruktionsteilen und im Eisenbahnbetriebe hin. So wurden z. B. an 2 Versuchswagen die Achshalterstege, Längsträger, Pufferkörbe usw. durchschnitten und alsdann elektrisch oder mit Gasschmelzschweißung geschweißt. Darauf stieß man die schwer beladenen Wagen mit 40 km Stundengeschwindigkeit auf einen verankerten Tender und ließ sie längere Zeit im normalen Betriebe von Ablaufbergen ab, ohne daß die Schweißstellen eine Beschädigung zeigten.

¹ S. E. Höhn, Über die Festigkeit elektrisch geschweißter Hohlkörper. Berlin: Julius Springer 1924.

² S. Maschinenbau 1925, Heft 20.

Versuche von Streb (1926 durchgeführt¹) beziehen sich auf den Einfluß der Verunreinigungen von Sauerstoff und Azetylen auf Güte und Wirtschaftlichkeit der Schweißnaht. Es zeigt sich, daß eine Sauerstoffverunreinigung bis zu 5 vH (durch Stickstoff) und eine Verunreinigung des Azetylens bis zu 0,007 vH durch Schwefelwasserstoff, bis zu 0,03 vH durch Phosphorwasserstoff auf die Güte der Schweißnaht keinen Einfluß haben.

Daeves (1926) weist auf ein Prüfverfahren für den Bau geschweißter Hochdruckbehälter hin, bei denen eine völlige Gewißheit über die Sicherheit der Verbindungen notwendig ist. Hochdruckkessel u. dgl. werden nach der Schweißung zunächst einem Druck ausgesetzt, der sie bis etwas über die Streckgrenze hinaus beansprucht. Jede fehlerhafte Stelle der Schweißnaht macht sich alsdann bemerkbar. Um aber nun die bei dieser hohen Probebeanspruchung aufgetretenen Reckungen, die Veranlassung zu Alterungserscheinungen des Werkstoffs und der Schweißnaht geben, wieder zu beseitigen, wird der Kessel nachträglich vollkommen ausgeglüht.

Dies Verfahren läßt sich auch zur Prüfung von Ketten und aller anderen geschweißten Teile verwenden, deren Form und Abmessungen eine Glühung ermöglichen. Abb. 182 zeigt uns einen, allerdings mit Wassergas geschweißten Kessel aus Blech von $33,1 \div 35,2 \text{ kg/mm}^2$ Zugfestigkeit bei $29 \div 33 \text{ vH}$ Bruchdehnung². Er wurde in der Längsnaht und in Rundnähten (für die Böden) geschweißt und dann im Ofen geglüht. Darauf unterzog man ihn einer Druckprobe bei 126 at (= $15,6 \text{ kg/mm}^2$ Zugbeanspruchung, mit Sicherheit unterhalb der Streckgrenze

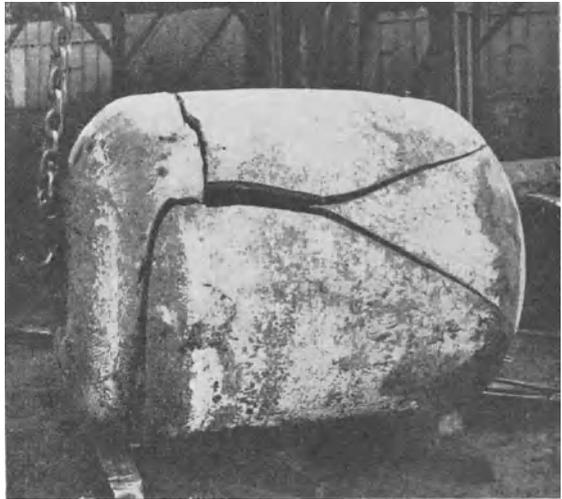


Abb. 182. Wassergasgeschweißter Hochdruckkessel.

liegend) — wobei die Formänderung im Umfang 2,5 mm betrug und nach der Entlastung auf 1 mm zurückging —, dann einer zweiten Druckprobe bei 200 at (= 24 kg/mm^2 Zugbeanspruchung, Streckgrenze sicher erreicht) — wobei eine Formänderung im Umfang von 65 mm, aber kein Anriß auftrat — und schließlich einer dritten Druckprobe, wobei der Kessel bei 280 at (= $34,3 \text{ kg/mm}^2$ Zugbeanspruchung) in der aus der Abbildung ersichtlichen Weise zersprang und die Risse, zum mindesten größtenteils, im vollen Werkstoff lagen. Es wurde bei diesen Prüfungen auch durch Kerbschlag- und metallographische Proben nachgewiesen, daß das nachträgliche Glühen die bei hochtriebener Druckprobe entstandenen Gefügeumänderungen mit Sicherheit beseitigt.

Die „Bauvorschriften für Landdampfkessel“ sehen für Schmelzschweißungen vor, daß die Festigkeit der Naht bis zu 0,5 der Festigkeit des Werkstoffs in Rechnung gestellt werden darf. Sind besondere Einrichtungen für die Erzeugung hochwertiger Schweißarbeiten vorhanden und ist die Leistungsfähig-

¹ S. Autogene Metallbearbeitung, 1926, Heft 23.

² S. Wallmann, Geschweißte Kesseltrommeln u. hochbeanspruchte Siederohre, Bericht zur Hauptversammlung der Großkesselbesitzer, 1924.

keit durch besondere Versuche nachgewiesen, so darf der Wert 0,5 bei neuen Kesseln auf 0,55 und bei Ausbesserungsarbeiten in Sonderfällen bis auf 1,0 erhöht werden. Bei der durch sachgemäßes Schmieden in erneuter Rotglut vergüteten Schmelzschweißnaht darf bis zu 0,65 und in Sonderfällen bis zu 1,0 der Festigkeit des Werkstoffs gerechnet werden. Alle diese Nähte darf man aber nicht auf Biegung beanspruchen. Die nur auf Zug zu beanspruchenden Nähte sind bei größeren Mänteln und anderen größeren Kesselteilen durch Laschen oder andere gleichwertige Konstruktionsteile so zu sichern, daß die auf die Verbindung wirkenden Kräfte von diesen Teilen aufgenommen werden. Bei kleinen, mit geringen Drucken arbeitenden Kesseln (z. B. Vulkanisierkesseln, Kesseln für Bügelmaschinen usw.) soll es dem zuständigen Sachverständigen überlassen bleiben, ob eine Schweißung ohne Lasche zugelassen wird.

Einfacher Biegeversuch. Die Gruppe für Arbeitsverfahren im Fachausschuß für Schweißtechnik des V.D.I. hat Richtlinien für diesen einfachen, aber dabei doch sehr scharfen Versuch ausgearbeitet, aus denen das Wesentlichste wieder-

gegeben sei. Die Probestücke sind in der Weise vorzubereiten, daß aus Tafeln von Kesselblechgüte von 6 und 12 mm Dicke Stücke von 600 mm Länge und 200 mm Breite herausgeschnitten werden; die Abschrägung (Schweißhaltung) beträgt bei jedem Blech 30°, der Abstand beider Bleche an einem Ende 2 mm, am anderen Ende 6 mm, wenn ohne Hämmern fortlaufend in einer Richtung geschweißt wird. Werden die Schweißen mit einem Kugelhammer von etwa 200 g Gewicht gehämmert — was bei

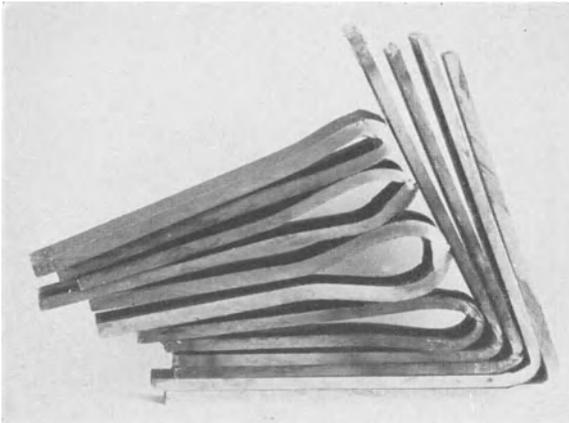


Abb. 183. Einfache Biegeprobe.

der zweiten Hälfte der Proben gemacht werden soll —, so wird, bei 2 mm Blechabstand, in der Mitte mit dem Schweißen begonnen, die eine Hälfte der Schweißfuge fertiggeschweißt, das Blech herumgedreht und wieder von der Mitte aus die zweite Hälfte der Fuge geschweißt. Aus den geschweißten Tafeln sind sodann Streifen von 30 mm Breite und 400 mm Länge herauszuschneiden und diese werden entweder in einfachster Weise in den Schraubstock eingespannt und gebogen oder besser durch einen abgerundeten Stempel zwischen die Rollen eines Auflagebocks gedrückt und so gebogen. Wesentlich ist naturgemäß bei solchen Biegeversuchen, daß die Schweißnaht im Scheitel des Biegewinkels liegt. Verlangt wird für Gasschmelzschweißungen ein Biegewinkel von mindestens 120°, und für Lichtbogenschweißungen ein solcher von mindestens 60°, ohne daß die Schweißstelle Anrisse zeigt.

In Abb. 183 sind eine Anzahl Biegeproben wiedergegeben; sie stammen von Gasschmelzschweißversuchen her, die an der Staatlichen Gewerbeakademie Chemnitz nach den vorgenannten Richtlinien ausgeführt wurden. Bardtke gibt an, daß der Durchschnitt der erreichten Biegewinkel bei den umfangreichen Versuchen der schweißtechnischen Versuchsanstalt der Reichsbahn bei gasgeschweißten Proben 150°, bei elektrisch geschweißten Proben 75° betrug. Hoffmann erreichte bei 50 Probeversuchen an Gasschmelzschweißungen 100÷180°.

C. Metallographische Untersuchungen.

Allgemeines. Der Metallograph untersucht das Kleingefüge des Metalls und dessen Aufbau und zieht aus der Struktur des meist im Mikroskop stark vergrößerten Werkstoffs Schlüsse auf dessen Herstellung und Behandlung. Er entnimmt dem zu prüfenden Werkstück kleine Stückchen, feilt, schleift und poliert eine Fläche und macht, da auf der glänzenden Fläche selten etwas zu erkennen ist, das Gefüge dadurch sichtbar, daß er die Schlißfläche entweder anläßt oder, was am häufigsten vorkommt, mit gewissen Säuren ätzt. Meist erfolgt ein Ätzen mit Kupferammoniumchlorid bei Prüfungen des Großgefüges (mit bloßem Auge, makroskopische Prüfung) oder mit alkoholischer Salzsäure bei Prüfungen des Kleingefüges (mikroskopische Prüfung). Durch das Anlassen oder Ätzen treten die einzelnen kristallinen Bestandteile des Metalls in verschiedenen Farben oder erhaben hervor. Die Schlißätzungen werden entweder unvergrößert oder in vielfacher Vergrößerung photographiert, wie es uns die folgenden Abbildungen zeigen. Für einen Vergleich von Bildern des vergrößerten Gefüges ist es wichtig, daß jedesmal die Vergrößerung angegeben wird (z. B. Abb. 191: $V = 100$, d. h. 100 fach vergrößert).

In Abb. 184 — wie die nächstfolgenden ohne nennenswerte Vergrößerung — sehen wir zunächst eine gute Schweißnaht¹ eines Flußeisenblechs, die zu etwa $\frac{1}{5}$ von der oberen und zu $\frac{4}{5}$ von der unteren Seite ausgeführt wurde. Die Güte der Schweißung ist durch ein gleichmäßiges, poren- und schlackenfreies, insbesondere gleichartiges Aussehen gekennzeichnet. Interessant sind die Ätzungen der



Abb. 184.
Gute Schweißung
eines
Flußeisenblechs.

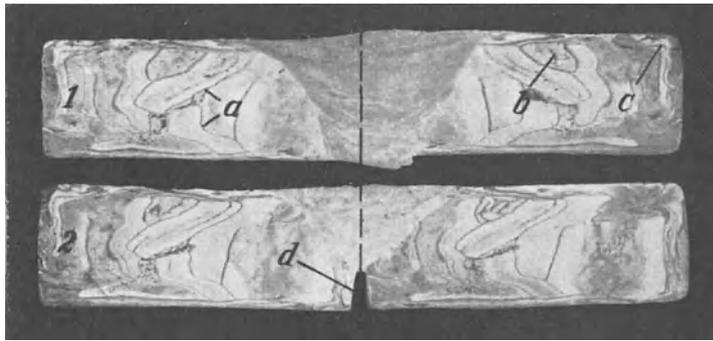


Abb. 185. Schweißungen von Schweißisen.

Abb. 185 (1 und 2), die geschweißtem Schweißisen entnommen sind. Schon die Marmorierung des Flacheisens — um solches handelt es sich hier — läßt auf Schweißisen schließen. An den mit *a*, *b* und *c* bezeichneten Stellen befinden sich Schlackeneinschlüsse und Seigerungen (Ausscheidungen) von Phosphor, Schwefel, Silizium usw.

Abb. 185 läßt im Schliß 1 Spuren einer Kohlenstoffanreicherung (dunkle Färbung), im übrigen aber eine tadellose Schweißung erkennen. Der in Schliß 2

¹ Die Proben (Abb. 184 ÷ 188) entstammen Schweißnähten an Eisenblechen. Schlitze und Aufnahmen (Abb. 185 ÷ 188) sind von einem der Verfasser angefertigt und dessen Arbeiten entlehnt. Bei allen Proben sind die Schweißnähte quer zur Schweißrichtung geschnitten; die gestrichelten Linien entsprechen ungefähr der Mitte der Naht, mithin der ursprünglichen Stoßstelle der beiden Blechkanten.

dargestellte Werkstoff ist absichtlich nur zu etwa $\frac{2}{3}$ seiner Dicke durchgeschweißt worden, so daß ein Spalt d bestehen bleibt, der zeigen soll, daß man solche Schweißarbeiten keiner hohen Beanspruchung aussetzen darf. Die Schweißung selbst wurde mit gut regulierter Flamme durchgeführt, wie sich aus der mit dem Grundwerkstoff übereinstimmenden, gleichmäßig hellen Färbung folgern läßt. Die im Grundwerkstoff in hohem Maße vorhandenen Verunreinigungen sind an und, was wichtiger ist, in den Schweißfugen völlig verschwunden.

Der Unterschied zwischen Kohlung und Entkohlung tritt in Abb. 186 (Fluß-

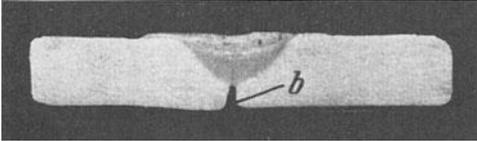


Abb. 186. Schlecht geschweißtes Flußeisenblech.

schlechten Schweißens kann die Kohlung (Zementation) des Eisens so weit getrieben werden, daß der Nahtquerschnitt in der Schlißätzung ausgesprochen schwarz erscheint. Solche Schweißungen sind, gleich den verbrannten, vollkommen unbrauchbar.

Während die bisherigen Bilder einseitig geschweißte Bleche wiedergaben, zeigen uns die nun folgenden Abb. 187 und 188 doppelseitig geschweißte Flußeisenbleche von 30 mm Stärke. Die Ätzung in Abb. 187 stammt von einer Schweißnaht, die trotz geringer Mängel als gut anzusprechen ist, da Bleche von solchen

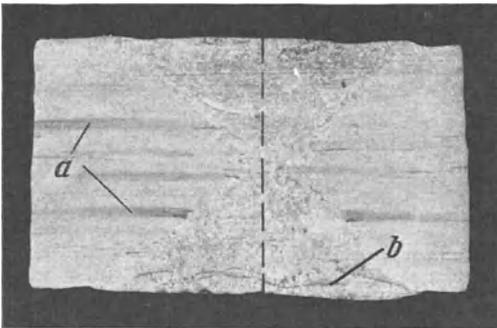


Abb. 187. Starkes, doppelseitig geschweißtes Flußeisenblech.

Weise vom Grundwerkstoff, dessen Gefüge von streifigem, langgezogenem Aussehen ist, abhebt. Man erhält bei ungehämmerten, ungeglühten Schweißnähten das Gefüge eines gegossenen Werkstoffs, denn die Schmelzschweißung ist im Grunde genommen nichts anderes als ein Kleingießverfahren. Das beim Walzen des Blechs entstandene, in der Schweißfuge unterbundene, faserige Gefüge kann annähernd wiederhergestellt werden, wenn die Schweißnaht im rotwarmen Zustande (oberhalb 800°) gut gehämmert, gestreckt (ausgebreitet) oder gewalzt wird. Diese mechanische Bearbeitung muß aber stets bei einer Temperatur erfolgen, bei welcher das Eisen nicht mehr magnetisch ist (deutliche Rotglut, über 770°). Hieraus erklärt es sich, warum man in Schweißereien mitunter kleine Hufeisenmagnete antrifft; sie dienen dazu, die zulässige untere Grenze der Hämmer-

wurde zuerst mit Gasüberschuß (dunkle Färbung), darauf mit Sauerstoffüberschuß (helle Färbung) geschweißt. Im obersten Teile der Schweißnaht machen sich schon Anzeichen von Überhitzung und die Einlagerung von Fremdkörpern (Oxydeinschlüsse) bemerkbar. Infolge schlechten Schweißens kann die Kohlung (Zementation) des Eisens so weit getrieben werden, daß der Nahtquerschnitt in der Schlißätzung ausgesprochen schwarz erscheint. Solche Schweißungen sind, gleich den verbrannten, vollkommen unbrauchbar.

Abmessungen schwer schweißbar sind. Hier ist die Wassergasschweißung am Platze. Nur an der Stelle b ist dem Schweißer ein Fehler unterlaufen insofern, als er eine Oxydschicht nicht genügend zerstört und mit eingeschmolzen, beziehentlich den Werkstoff nicht ausreichend geschmolzen (kaltgeschweißt) hat. Bei a sehen wir Schwefeladern, die an der Schweißfuge unterbrochen sind.

Aus Abb. 187 ist auch die kristallinische, körnige Gefügestruktur des eingeschmolzenen Zusatzwerkstoffs ersichtlich, der sich auf diese

temperatur auf einfachste Weise festzustellen. Da Eisen unterhalb 770° wieder seinen Magnetismus zurückerhält, darf es in diesem Zustande nicht gehämmert werden, wenn innere Spannungsrisse im Werkstoff verhindert werden sollen, die späterhin im Betriebe zu Bruchbildung Veranlassung geben können.

Welchen Einfluß die Verwendung unreinen, daher erfahrungsgemäß ungeeigneten Zusatzwerkstoffs hat, soll Abb. 188, die Schlifffläche eines ebenfalls 30 mm starken, im übrigen doppelseitig gut geschweißten Flußeisenblechs zeigen. Umfangreiche Schlackeneinschlüsse sind an verschiedenen Stellen der Naht (insbesondere bei *b*) eingelagert und beeinträchtigen deren Querschnittsfestigkeit erheblich. In Abb. 188 sind bei *a* noch Schwefeleinschlüsse zu erkennen. Bei *c* treffen die beiderseitigen ersten Schweißlagen zusammen.

Abb. 189 veranschaulicht die Gasschmelzschweißnaht eines Rohres¹ in geringer Vergrößerung (2,4fach). Die Schlifffläche zeigt eine starke Phosphorseigerung (dunkle Streifen). Es ist nicht ordentlich durchgeschweißt worden, wie insbesondere die offene Stelle (in der Abbildung oben) erkennen läßt.

In Abb. 190 haben wir eine Gasschmelzschweißnaht — sämtliche Abbildungen stammen übrigens von Gasschmelzschweißnähten — aus dem Wasserrohrkessel eines Torpedoboots in unbearbeitetem Zustande vor uns, und zwar oben im Querschnitt und unten im Längsschnitt, in der Richtung *a* ÷ *b* geschnitten. Die Schweißung zeigt im nichtvergrößerten Bild 190 kleine Poren und hat trotzdem 11 Jahre tadellos gehalten. Auch dann riß sie nicht, sondern das Torpedoboot wurde außer Dienst gestellt. Zu berücksichtigen ist in diesem Falle besonders, daß der Schweißer unter ungünstigen Licht- und Platzverhältnissen und zum Teil über Kopf schweißen mußte. Die Abb. 191 und 192 zeigen kleine Ausschnitte

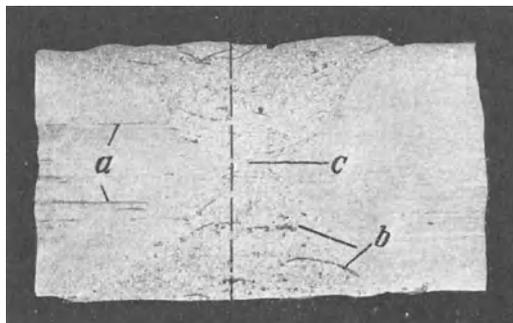


Abb. 188. Starkes, doppelseitig geschweißtes Flußeisenblech mit Schlackeneinschlüssen.

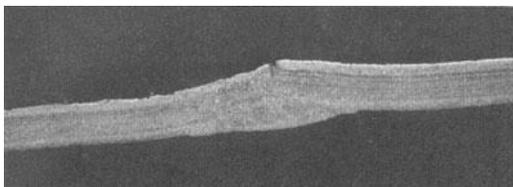


Abb. 189. Schlechte Schweißnaht eines Rohres.

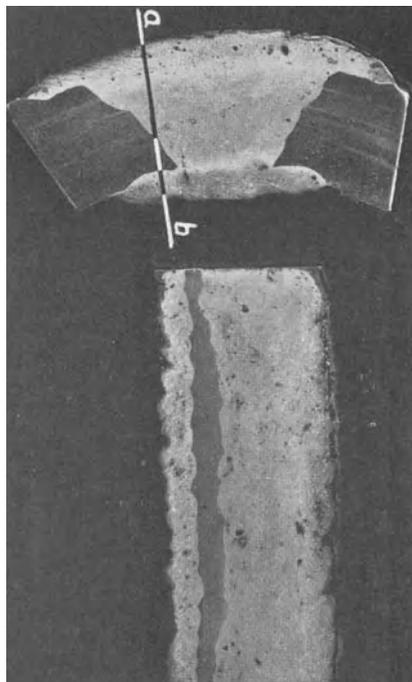


Abb. 190. Schweißnaht eines Wasserrohrs in einem Torpedobootskessel.

¹ Die Abb. 190 ÷ 194 sind aus der Materialprüfanstalt der Staatl. Gewerbeakademie Chemnitz.

aus der Schweiße in 100facher Vergrößerung. In Abb. 191 ist eine verhältnismäßig gute Schweißstelle mit 3 kleinen Poren — das Grundgefüge Ferrit von martensitischem Aussehen — und in Abb. 192 eine Übergangsstelle zwischen Schweiße und Ursprungswerkstoff mit starken Schlackeneinschlüssen (dunkle, dicke Streifen) zu sehen.

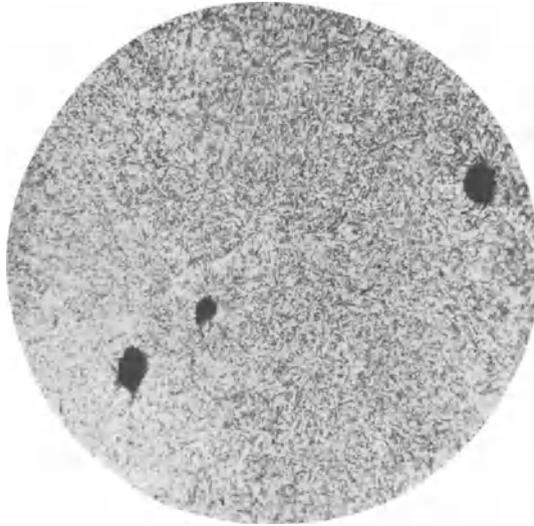


Abb. 191. Einzelstelle aus Abb. 190 mit 3 Poren ($V = 100$).



Abb. 192. Einzelstelle aus Abb. 190 mit starken Schlackeneinschlüssen ($V = 100$).

Abb. 193 und 194 zeigen uns das Kleingefüge von Kupferblechen von 2 mm Stärke in 115facher Vergrößerung. In Abb. 193 haben wir den reinen Werkstoff des Blechs in einiger Entfernung von der Schweißstelle vor uns. Die Kupferkristalle sind feinkörnig und gleichmäßig. In Abb. 194 sehen wir demgegenüber

die Kristalle in der Schweißnaht; sie sind sehr grobkörnig. Die schwarzen Stellen sind Hohlstellen bzw. Einschlüsse von Kupferoxydul, die schon im Ursprungswerk-



Abb. 193. Kleingefüge von Kupfer, ungeschweißt ($V = 115$).

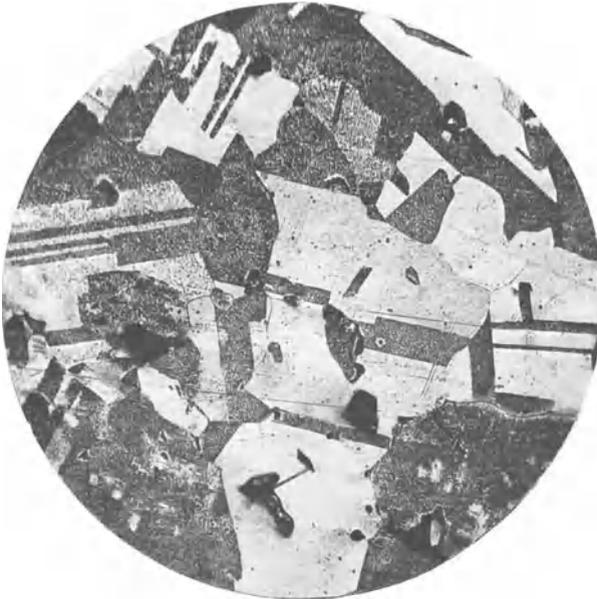


Abb. 194. Grobkristallinisches Kleingefüge der frischen Kupferschweißnaht ($V = 115$).

stoff vorhanden waren. Die grobe Kristallstruktur der Schweißnaht läßt sich durch Verhämmern wieder verfeinern; sie sieht dann fast genau so aus wie in Abb. 193 und ist hierdurch als verbessert anzusprechen.

Schließlich zeigen noch die Abb. 195 und 196 in 80facher Vergrößerung das Gefüge der bereits in Abb. 173a und 173b wiedergegebenen Aluminiumschweißnähte. Der normalen Schuppennaht der Abb. 173a entspricht das feinkörnige

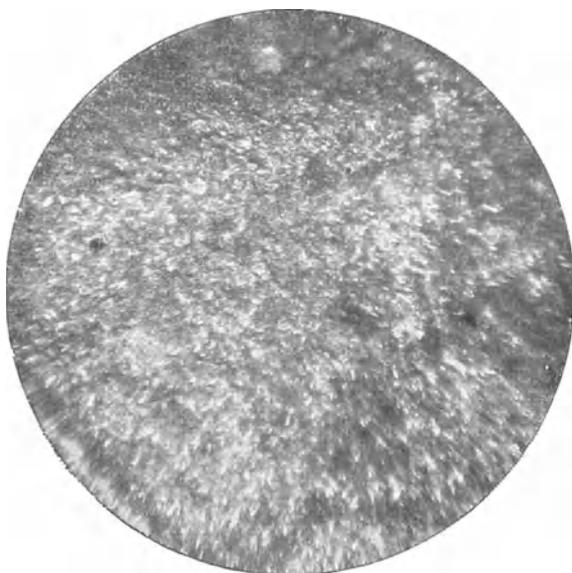


Abb. 195. Feinkörnige Aluminiumschweiße ($V = 80$).



Abb. 196. Grobkörnige Aluminiumschweiße ($V = 80$).

Gefüge der Abb. 195. Demgegenüber veranschaulicht Abb. 196 (entsprechend der schwachrilligen Naht in Abb. 173b) schon eine grobkristallinische Struktur und kennzeichnet damit eine gewisse Überhitzung.

D. Chemische Untersuchungen.

Werkstück. Flußeisenblech für hochwertige Schweißkörper soll nach Diegel folgende chemische Zusammensetzung haben: 0,06÷0,12 vH Kohlenstoff (C), unter 0,1 vH Silizium (Si), 0,45÷0,8 vH Mangan (Mn), unter 0,05 vH Phosphor (P) und unter 0,05 vH Schwefel (S). Jedoch hebt Mangan die schädliche Wirkung des Siliziums auf, so daß bei Anwesenheit von 0,5 vH Mn noch bis zu 0,15 vH Si zulässig sind. Bei einer Zugfestigkeit von 34÷45 kg/mm² ist dieses zweckmäßig im Siemens-Martin-Ofen hergestellte Flußeisen dem Schweißblech mindestens gleichwertig. Als gutes Gußeisen für Schweißungen ist nach Neese zu bezeichnen ein Werkstoff mit folgender Zusammensetzung 3÷3,5 vH C, 3÷3,5 vH Si, 0,5÷0,7 vH Mn, bis 0,8 vH P, bis 0,06 vH S.

Schweißstäbe. Nicht die chemische Analyse allein ist, wie schon früher erwähnt, maßgebend für die Güte des Drahts, sondern auch sein Verhalten beim Probenschweißen. Neese stellte z. B. mit folgendem Flußeisen Schweißproben an:

1. Normaler Schweißdraht: 0,04 vH C, Spuren Si, 0,5 vH Mn, 0,04 vH P, 0,04 vH S,
2. Sehr reiner Draht: 0,04 vH C, Spuren Si, 0,1 vH Mn, 0,01 vH P, 0,03 vH S,
3. Durchschnitts-Thomas-
draht: 0,07 vH C, Spuren Si, 0,47 vH Mn, 0,082 vH P, 0,054 vH S.

Der nach der Analyse beste Draht 2 ergab die niedrigste Zugfestigkeit und der wesentlich schlechtere Draht 3 stand bezüglich der Zugfestigkeit an zweiter Stelle. Die Zusammensetzung der bei den Diegelschen Festigkeitsversuchen benutzten und als gut befundenen Schweißdrähte war:

Kjellberg-Draht: 0,09 vH C, 0,004 vH Si, 0,065 vH Mn, 0,045 vH P, 0,01 vH S,
Friländer-Draht: 0,06 vH C, 0,03 vH Si, 0,04 vH Mn, 0,07 vH P, 0,0075 vH S.

Im allgemeinen hat es sich bewährt, einen weichen Draht (unter 0,1 vH C) mit niedrigem Silizium-, Phosphor- und Schwefelgehalt (jedes unter etwa 0,04 vH) vorzuschreiben. Auch ein Kupferzusatz von etwa 0,30 vH ergab gute Schweißungen und wird in Nordamerika vorgeschrieben. Der Graugußstab bei der Warm-schweißung soll aus normalem Gußeisen mit aber nicht weniger als 3 vH Silizium bestehen (Siliziumabbrand im Lichtbogen); Zusammensetzung also etwa: 3÷3,5 vH C, mindestens 3 vH Si, 0,5÷0,7 vH Mn, bis 0,8 vH P, bis 0,06 vH S.

Die Gruppe für „Betriebsstoffe für Schweißstäbe“ im Fachausschuß für Schweißtechnik im V.D.I. hat Richtlinien für die Beschaffenheit, Güteprüfung und Lieferung von Schweißstäben aufgestellt, aus denen — in Ergänzung des im vorigen Gesagten — noch einiges hervorgehoben sei:

Beschaffenheit: Der Schweißdraht muß gleichmäßig dick, kreisrund und von glatter, fehlerfreier Oberfläche, zähe und ohne Schiefer sein und sich warm und kalt gut verarbeiten lassen. Die Oberfläche soll frei von Zunder, Rost und Öl sein. Bei der Gasschmelzschweißung kommt für die Beurteilung des Werkstoffs ein ruhiger, schlacken- und blasenfreier Fluß der Schmelze in Frage. Für Auf-tragsschweißungen und Festigkeiten über 50 kg/mm² (Brinellhärte über 150) soll die Zusammensetzung 0,45÷0,8 vH C, 0,5÷0,8 vH Mn, 0,15 vH Si, unter 0,04 vH P und S sein. Dann gibt es noch Hartschweißdraht für verschleißfeste Schweißungen mit einem Kohlenstoffgehalt von 0,8 vH an aufwärts.

Güteprüfung: Der Draht wird auf Eisenblech mit dem Schweißbrenner abgeschmolzen, soll dabei leicht und gleichmäßig fließen und darf nur schwach spritzen. Außerdem ist eine Blechschweißung mit anschließender Biegeprobe vorzunehmen, wie früher angegeben (Abschnitt B dieses Kapitels). Der Schweiß-

draht für Auftragsschweißungen wird durch Abmeißelversuche geprüft, und die Schweißraupe soll auch über 150 Brinelleinheiten hart sein (Brinellsche Kugeldruckprobe), sich dabei aber noch feilen lassen. Schließlich muß aller Draht den angegebenen chemischen Analysen genügen.

Lieferung: Schweißdraht für Gasschmelzschweißung ist in Längen von 1 m gegläht und gebeizt oder gegläht und blank gezogen zu liefern, die gußeisernen Stäbe bei Stärken von 4÷6 mm in Längen von 500 mm, bei Stärken von 7÷9 mm in Längen von 750 mm und bei Stärken von 10 mm an aufwärts in Längen von 900 mm.

Schweiße. Hoffmann fand bei Versuchen die aus Zahlentafel 6 ablesbaren Unterschiede zwischen der chemischen Zusammensetzung des Schweißstabs und der Schweiße bei Flußeisen- und Flußstahlschweißungen. Der Kohlenstoffgehalt des Schweißdrahts nimmt also, insbesondere, wenn er höher ist, beim Übergang in die Schweiße infolge von Verbrennungsvorgängen ab; der Phosphor- und Schwefelgehalt bleiben praktisch unverändert. Der Sauerstoff- und Stickstoffgehalt der Schweiße aber nimmt, infolge Sauerstoff- und Stickstoffaufnahme aus der Luft, ziemlich stark zu, allerdings lange nicht so stark wie bei der elektrischen Lichtbogenschweißung. Bei Gußeisenschweißungen zeigen Schweiße und Gußstück im allgemeinen nahezu dieselbe Zusammensetzung, wie dies ja auch erwünscht ist.

Zahlentafel 6.

Gegenstand	Kohlenstoff C vH	Phosphor P vH	Schwefel S vH	Sauerstoff O vH	Stickstoff N vH
Probe 1: Schweißdraht	0,05	0,010	0,018	0,031	0,028
Schweiße	0,06	0,010	0,018	0,082	0,048
Probe 2: Schweißdraht	0,40	0,014	0,021	0,025	0,020
Schweiße	0,24	0,010	0,017	0,071	0,040
Probe 3: Schweißdraht	0,80	0,012	0,017	0,026	0,019
Schweiße	0,62	0,011	0,017	0,041	0,021
Probe 4: Schweißdraht	1,10	0,016	0,019	0,021	0,020
Schweiße	0,93	0,014	0,018	0,038	0,028

E. Untersuchungen mittels Röntgenstrahlen.

Untersuchungen mittels Röntgenstrahlen an der fertigen Schweiße haben den großen Vorteil, daß eine Schwächung oder gar Zerstörung der oft gut gelungenen



Abb. 197. Röntgenbild einer Gasschmelzschweißung.

Schweißarbeit nicht erforderlich wird. Die Werkstoffdurchleuchtung beruht darauf, daß die Werkstoffe durch besondere kurzwellige Röntgenstrahlen durchdringbar sind und daß diese Strahlen je nach den Hemmungen, die sie im Werkstück finden,

einen Leuchtschirm mehr oder weniger stark zum Aufleuchten bringen bzw. die photographische Platte mehr oder weniger schwärzen. Abb. 197 zeigt uns z. B. die Röntgenaufnahme einer Gasschmelzschweißung an Lokomotivkesselblechen, wobei die hellen Stellen Undichtigkeiten der Naht angeben.

Die Röntgenanlage ist bisher noch sehr teuer — es wird, nebenbei bemerkt, mit Gleichstromspannung von 80000 ÷ 190000 V gearbeitet — und außerdem sind die Belichtungszeiten noch sehr hoch, meist 1 ÷ 4 h. Die Stromkosten für den Betrieb sind allerdings verschwindend gering. Man ist dabei, fahrbare und billigere Röntgenanlagen zu schaffen, und es ist zu hoffen, daß in absehbarer Zeit das Verfahren praktisch verwertbar sein wird.

VI. Leistungen und Kosten der Gasschmelzschweißverfahren.

Blechsweißungen. Die weitgehendsten Unterlagen und Erfahrungen liegen naturgemäß über Eisenblech vor. Sie können, unter Berücksichtigung des beim Schweißen der anderen Metalle Gesagten, auf Blechsweißungen der Nichteisenmetalle entsprechend übertragen werden. Bei Kupferblechsweißungen und Verwendung von Canzler-Zusatzdraht kommt man z. B. gerade mit zwei Schweißbrennern aus, von denen jeder ebenso groß sein muß als der eine Brenner, welcher für das Schweißen gleich starker Eisenbleche notwendig ist; man wird dann also etwa den doppelten Gasverbrauch haben gegenüber der entsprechenden Eisenblechsweißung. Bei Verwendung von Elektrolytkupferdraht ist der Gasverbrauch wesentlich höher, da man dann wesentlich stärkere Brenner nehmen muß.

In Zahlentafel 7 sind alle für das Schweißen von Eisenblech wichtigen Leistungszahlen als Durchschnitt der von den verschiedenen Firmen angegebenen Werte und auf Grund von Erfahrungszahlen der Verfasser zusammengestellt. Ausdrücklich aber sei betont, daß die in Spalte 5 angeführten, erreichbaren Schweißnahtlängen im m/h sich auf die Leistungsfähigkeit eines guten Schweißers und auf die reine Schweißarbeit beziehen. Im Durchschnittsbetrieb wird man hinter diesen Werten zurückbleiben. Auch dem in Spalte 6 und 7 angegebenen Verbrauch an Azetylen bzw. Sauerstoff legt man zweckmäßig bei Kalkulationen (Berechnungen) höhere Werte zugrunde, schon allein mit Rücksicht auf Gasverluste, Gasreste in den Flaschen usw. Werte für durchschnittliche Tagesleistungen werden noch im folgenden angegeben.

Zahlentafel 7.

1 Blechstärke mm	2 Nummer (Größe) d. Schweiß- brenner- spitze	3 Annähernd. Sauerstoff- druck at	4 Annähernde Länge des Flammen- kerns mm	5 Erreichbare Schweißnaht- länge m/h	6 Gasverbrauch für 1 m Naht		7
					Azetylen l	Sauerstoff l	
bis 0,3	000	0,2	3	7 ÷ 8	4	5	
0,3 ÷ 0,5	00	0,3	4	8 ÷ 9	8	10	
0,5 ÷ 1	0	0,5	6	9 ÷ 10	13	15	
1 ÷ 2	1	0,8	8	6 ÷ 8	34	40	
2 ÷ 4	2	1,0	12	4 ÷ 6	87	100	
4 ÷ 6	3	1,3	15	3 ÷ 4	220	250	
6 ÷ 10	4	1,5	17	2 ÷ 3	440	500	
10 ÷ 15	5	1,8	19	1,5 ÷ 2,5	800	900	
15 ÷ 20	6	2,2	21	1 ÷ 1,5	1500	1800	
20 ÷ 25	7	2,8	23	1 ÷ 1,2	2450	2800	
25 ÷ 30	8	3,2	25	0,8 ÷ 1,0	3250	3700	

Neuere Blechschweißversuche. Die Abb. 198 und folgende geben die wesentlichsten wirtschaftlichen Werte für Gasschmelzschweißungen mit Azetylen und in Abb. 199 (zur nachfolgenden Vergleichsrechnung) für die elektrische Lichtbogen-schweißung wieder. Sie entstammen in der Hauptsache den Versuchen der Verfasser, die 1924 an der Staatlichen Gewerbeakademie in Chemnitz durchgeführt wurden und allgemein als gut verwendbare Werte anerkannt worden sind¹. Neuere Versuche von Strelow, die sich auf den Vergleich zwischen Schmelzschweißung und Nietung und zwischen Gas- und Elektroschmelzschweißung beziehen², sind an verschiedenen Stellen mit angezogen.

In Abb. 198 sind ähnliche wie die in Zahlentafel 6 in Spalte 5 ÷ 7 wiedergegebenen Werte zeichnerisch (graphisch) dargestellt, wodurch sie an Übersicht gewinnen. Um dem Schweißer das Lesen und Verstehen derartiger Darstellungen zu erleichtern, seien kurz folgende Erläuterungen gegeben: Man trägt auf einer Wage-

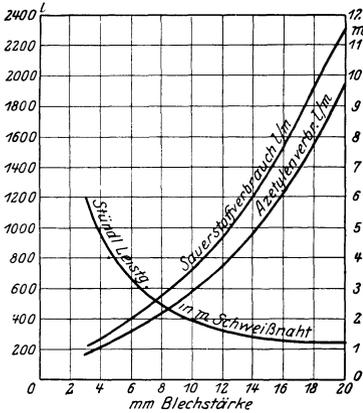


Abb. 198. Sauerstoff- und Azetylenverbrauch in l/m Naht u. stdl. Leistung in m Naht bei der Gasschmelzschweißung.

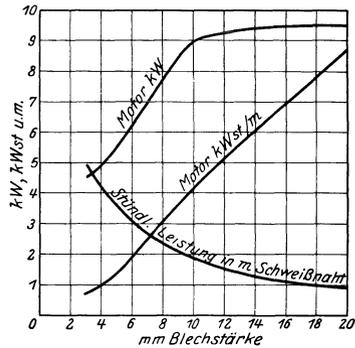


Abb. 199. Motorleistung u. Stromverbrauch für 1 m Naht und stdl. Leistung in m Naht bei der Elektroschmelzschweißung.

rechten in beliebigem Maßstabe Abstände auf, die in unserem Falle je 2 mm Blechstärke entsprechen, und ebenfalls, in irgendeinem anderen Maßstabe, auf einer Senkrechten Abstände, die (links) je 200 l Sauerstoff bzw. Azetylen und (rechts) je 1 m Schweißnaht entsprechen. Man kann nun jeden Wert der Zahlentafel 7 in Abb. 198 durch einen Punkt festlegen, indem man z. B. für den Sauerstoffverbrauch des 6 mm Blechs (rund 400 l) die Senkrechte für 6 mm Blechstärke mit der Wagerechten für 400 l Gasverbrauch oder z. B. für die stündliche Leistung in m Blechnaht beim 10 mm Blech (rund 2 m) die Senkrechte für 10 mm Blechstärke mit der Wagerechten für 2 m Schweißnaht zum Schnitt bringt. Werden in derselben Weise weitere Punkte aufgezeichnet und dann miteinander verbunden, so erhält man eine gerade oder gekrümmte Linie — allgemein gesagt: eine Kurve — für den Sauerstoff- bzw. Azetylenverbrauch in Liter für 1 m Schweißnaht für alle Blechstärken (in Abb. 198 für Blechstärken von 3 ÷ 20 mm) und entsprechend eine Kurve für die stündliche Leistung in m Schweißnaht. Haben wir nun solche Kurven von vornherein vor uns, so können wir leicht für jede beliebige Blechstärke den Sauerstoffverbrauch usw. finden. Z. B. ergibt sich aus Abb. 198 nunmehr der Sauerstoffverbrauch für 1 m Schweißnaht bei 14 mm Blechstärke zu 1200 l,

¹ S. Maschinenbau 1925, Heft 3.

² S. Maschinenbau 1927, Heft 11 ÷ 13.

indem wir bei 14 mm Blechstärke die Senkrechte bis zur Sauerstoffkurve hoch- und dann wagerecht nach links herübergehen und dort die Zahl 1400 ablesen.

Die Werte der Abb. 198 und 199 sind durch Versuche an Blechen von 500 mm Länge gefunden. Bei der Gasschmelzschweißung geht, wegen des Anwärmens der Bleche, das Schweißen zu Anfang langsamer vor sich als in der Mitte und gegen Ende der Schweißzeit — im Gegensatz zur Lichtbogenschweißung, bei der stets annähernd gleich schnell geschweißt werden kann —; auf 1 m Länge bezogen würden also die Schweißzeiten bei der Gasschmelzschweißung eigentlich noch etwas günstiger sein, als in Abb. 198 angegeben ist. Die in Abb. 198 und 199 angegebenen stündlichen Leistungen in m Schweißnaht sind aber — was ausdrücklich hier hervorgehoben sei — Höchstleistungen, die nur von geübten Schweißern kurze Zeit (etwa 1 h lang) erreicht werden. Zur praktischen Verwertung der gefundenen Stundenhöchstleistungen sind in Abb. 200 vier Leistungskurven eingetragen.

Die Kurve *a* zeigt die aus Abb. 198 entnommene, höchsterreichbare Stundenleistung in m Schweißnaht für die Gasschmelzschweißung. Gibt man zu der bei dieser Leistung gebrauchten Zeit etwa 25 vH Zuschlag, so kommt man auf die Leistungskurve *b*, die als die Normalleistung eines Schweißers im Betrieb bei kurzen Schweißungen bis zu etwa 1 h Schweißzeit auch einschließlich etwaiger kleinerer Nebenarbeiten angesehen werden kann. Für eine Tagesleistung von

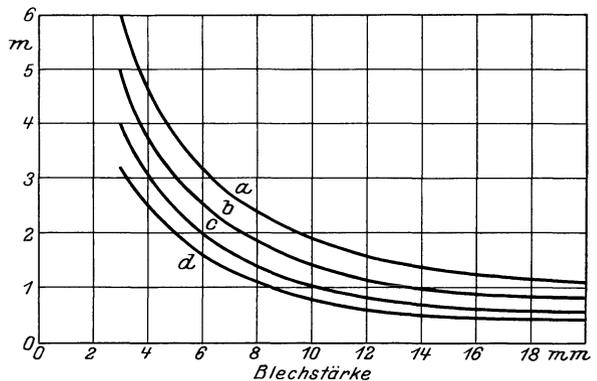


Abb. 200. Stündl. Höchst- u. Normalleistungen in m Schweißnaht (Gasschmelzschweißung) bei kurzer u. langer Arbeitszeit.

8 h sind auf Grund der vorliegenden Unterlagen aus der Praxis etwa 50 ÷ 110 vH (der Prozentsatz mit steigender Blechstärke steigend) Zuschläge zu den für Kurve *a* gebrauchten Zeiten zu geben, um in Kurve *c* auf die höchsterreichbare Leistung bei achtstündiger Schweißzeit zu kommen. Unter wiederum 25 vH Zuschlag zu den Schweißzeiten, die der Kurve *c* entsprechen, erhalten wir in Kurve *d* schließlich die normale Betriebsleistung eines Schweißers bei achtstündiger Arbeitszeit. Hervorgehoben sei noch, daß sich alle Leistungskurven auf einfache Blechschweißungen, ohne wesentliche Umwendarbeiten usw., beziehen. In entsprechender Weise erhält man die Normalleistung bei der Lichtbogenschweißung aus der Höchstleistung in Abb. 199, indem man wieder etwa 25 vH mehr an Zeit rechnet. Bei der Tagesleistung sind 40 ÷ 70 vH an Schweißzeit zuzuschlagen, also weniger als bei der Gasschmelzschweißung. Der Schweißdrahtverbrauch ist beim Lichtbogen- und Gasschmelzschweißen praktisch gleich, wie es die in Abb. 201 angegebenen Versuchszahlen zeigen; die geringfügigen Unterschiede rühren nur von nicht ganz gleichmäßiger Abschrägung der Bleche her. Die Linie *a* gilt für die Lichtbogen-, die Linie *b* für die Gasschmelzschweißung. Man kann den Schweißdrahtverbrauch für 1 m Schweißnaht also durch eine gerade Linie von etwa 150 g beim 3-mm-Blech zu etwa 1300 g beim 20-mm-Blech darstellen.

Nach Versuchen von Strelow ist weiter noch der Gasverbrauch im Dauerbetrieb bei der Gasschmelzschweißung in Abb. 202 dargestellt. Die Kurven liegen höher, zeigen also einen größeren Verbrauch an als die entsprechenden Kurven

in Abb. 198. Dies ist ganz natürlich, weil im vollen Tagesbetrieb, wie im vorigen Absatz ausgeführt, längst nicht die Schweißgeschwindigkeiten kürzerer Versuche erreicht werden und man ferner die unvermeidlichen Unterbrechungen der Schweißung, die Verluste an Gas und durch Verwitterung an Kalziumkarbid usw. stärker berücksichtigen muß.

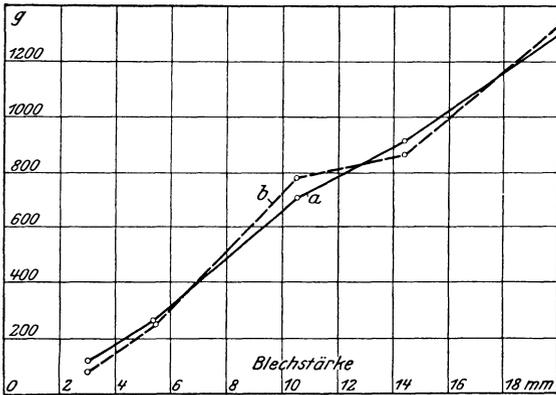


Abb. 201. Schweißdrahtverbrauch bei der Elektro- u. Gasschmelzschweißung.

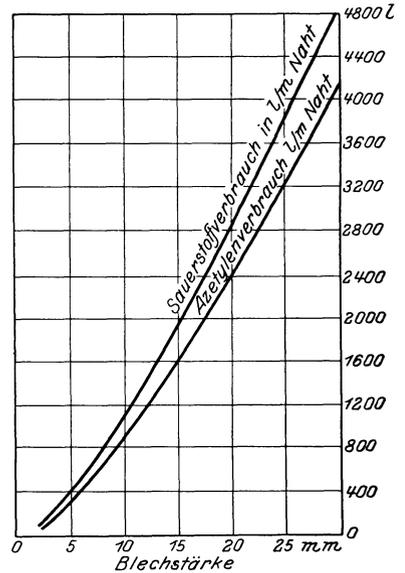


Abb. 202. Gasverbrauch in 1/m Naht bei der Gasschmelzschweißung im Dauerbetrieb.

Einfluß verschiedener Umstände auf Gasschmelzschweißungen. Nach dieser Richtung liegen u. a. umfangreiche und sehr dankenswerte Versuche der J. G.

Farbenindustrie, Werk Autogen in Griesheim vor, aus denen einiges wiedergegeben sei. Zahlentafel 8 zeigt uns z. B. den Einfluß des Brennerabstandes (vom Schweißstück) auf die Schweißleistung bei Flußeisenrohren von 25 mm Durchmesser und 1,5 mm Wandstärke. Wir erkennen, daß mit wachsendem Brennerabstand die Schweißleistung stark, schließlich bis auf ein Drittel der normalen Leistung zurückgeht, während der Sauerstoffverbrauch bis auf das Dreifache wächst. In Zahlentafel 9 ist der Einfluß der Brennergröße auf die Schweißleistung gekennzeichnet, und zwar beim Schweißen von 6-mm-Blech. Mit den wesentlich größeren Brennern kann sowieso nur ein geübter Schweißer bei diesem Blech eine brauchbare Naht erzielen, aber auch dann wächst der Gas-

Zahlentafel 8.

Abstand des Flammenkegels vom Werkstück mm	Leistung (Verhältniszahl)	Azetylenverbrauch in 1/m	Bemerkungen
2	116	86	breite Naht
4	100	100	Normalstellung
6	96	111	—
8	81	124	—
10	72	139	—
15	58	173	enge Naht,
25	33	303	desgl., etwas oxydiert.

Zahlentafel 9.

Brennergröße	Leistung (Verhältniszahl)	Azetylenverbrauch in 1/m	Kaltbiegewinkel	Kaltbiegezahl nach Heyn
4 ÷ 6	75	90	180°	2,6
6 ÷ 9	100	100	180°	2,5
9 ÷ 14	120	134	180°	2,3
14 ÷ 20	140	162	180°	2,1
20 ÷ 30	155	206	180°	1,8

verbrauch bis auf das Dreifache wächst. In Zahlentafel 9 ist der Einfluß der Brennergröße auf die Schweißleistung gekennzeichnet, und zwar beim Schweißen von 6-mm-Blech. Mit den wesentlich größeren Brennern kann sowieso nur ein geübter Schweißer bei diesem Blech eine brauchbare Naht erzielen, aber auch dann wächst der Gas-

verbrauch stärker als die Leistung, und außerdem ersieht man aus den Kaltbiegezahlen nach Heyn, die eine verschärfte Prüfung darstellen, daß die Schweißung mit den zu starken Brennern in der Güte schlechter ist als die mit Brennern von normaler, zur Blechstärke passender Größe. Versuche über den Einfluß der Brennerbewegung auf die Schweißleistung beweisen, daß die einfachen (z. B. geradlinigen oder pilgerschrittartig verlaufenden) Brennerbewegungen die größte Leistung und den geringsten Gasverbrauch, dagegen, naturgemäß, schleifenartige Bewegungen geringere Leistungen und größeren Gasverbrauch, aber eine hochwertigere Schweißnaht ergeben. Der Einfluß der Austrittsgeschwindigkeit der Gase aus der Brennermündung zeigt sich insofern, als hohe Austrittsgeschwindigkeiten zu einer Vergrößerung der Schweißleistung und zu einer Verringerung des Gasverbrauchs für den Meter Naht führen. Mit der sog. Rückwärtsschweißung soll man nach den Griesheimer Versuchen die Schweißleistung um 20 ÷ 30 vH steigern und dabei den Gasverbrauch um etwa 20 vH senken können. Der Einfluß der verschiedenen Gasmischung in der Schweißflamme auf die Schweißleistung usw. erwies sich als weniger bedeutungsvoll. Günstige Werte ergaben sich bei einem Mischungsverhältnis von Sauerstoff zu Azetylen gleich 1,0 ÷ 1,2. Bei niedrigeren und bei höheren Mischungsverhältnissen stieg der Gasverbrauch und sank die Wertigkeit der Schweißnaht, während die Leistungsunterschiede ziemlich gering waren. Nach den aus diesen Versuchen sich ergebenden Richtungen hin läßt sich also die Wirtschaftlichkeit der Gasschmelzschweißung auch im Dauerbetrieb, bei entsprechend ausgebildeten Schweißern, noch wesentlich verbessern.

Streb und das Autogenwerk Griesheim haben weiter durch Versuche festgestellt, daß eine Sauerstoffverunreinigung von bis zu 5 vH auf die Wirtschaftlichkeit der Schweißungen keinen oder doch zum mindesten einen geringeren Einfluß hat als die ungleichmäßige Arbeitsweise des Schweißers. Streb hat dasselbe Ergebnis auch bei einem Feuchtigkeitsgehalt des Azetylens von bis zu 2,5 vH gefunden, während Griesheim hierbei 8 ÷ 10 vH Minderleistungen feststellte.

Vergleich der verschiedenen Gasschmelzschweißverfahren. In Abbildung 203 sind die Leistungen und Kosten der verschiedenen Gasschmelzschweißverfahren (Azetylen-, Wasserstoff- und Benzolschweißung) der Wassergas- und Feuer- (Koks-) Schweißung gegenübergestellt. Die Kosten enthalten die Brennstoffkosten und Arbeitslöhne nach den Preisen von 1914, von denen ja die heutigen Preise nicht wesentlich abweichen. Wir sehen aus den schwarz ausgezogenen Kurven für die Preise, daß die Koksschweißung bei allen Blechstärken teurer ist als die Gasschmelzschweißverfahren, daß die Wasserstoff- und auch die Benzolschweißung teurer sind als die Azetylen-

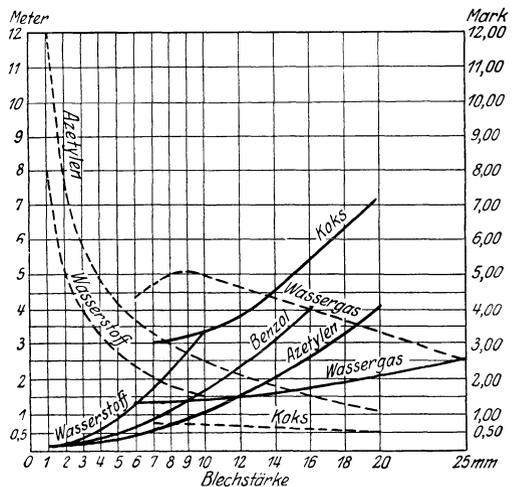


Abb. 203. Stundenleistungen u. Kosten für 1 m Naht für verschiedene Schweißverfahren.

schweißung (weil ihre Kurven höher liegen) und daß nur für größere Blechstärken die Wassergasschweißung am billigsten wird; dabei darf man aber nicht vergessen, daß dieser Vorteil der Wassergasschweißung nur bei umfang-

reichen Arbeiten in Erscheinung treten wird, nicht bei kurzen Blechnähten. Es würde sich dies auch schon aus der Abb. 203 ergeben, wenn noch die Verzinsungs-, Abschreibungs- und Instandhaltungskosten der Anlage miteingerechnet worden wäre. Hinsichtlich der Einwirkung dieser Kosten auf die Wirtschaftlichkeit der Verfahren sei auf den nächsten Absatz verwiesen.

Vergleich zwischen Elektro- und Gasschmelz-Blechschiweißung. Wir stellen eine elektrische Gleichstromanlage mit etwa 3000 M. Anlagekosten der Gasschmelzschweißanlage gegenüber, die mit Brennern und allem Zubehör 400 M. kostet. Für Verzinsung seien 10 vH, für Abschreibung 15 vH, für Instandhaltung 5 vH, insgesamt also 30 vH bei beiden Anlagen gerechnet. Der Sauerstoffpreis schwankt heute (je nach Transportkosten, Verwendung von Eigentumsflaschen oder zusätzlicher Leihgebühr) zwischen 0,65 und 0,95 M./m³ und der Karbidpreis zwischen 25 und 32 M./100 kg. Bei einer Ausbeute von 250 ÷ 300 l Azetylen auf 1 kg Karbid ergeben sich dann Azetylenpreise von 0,83

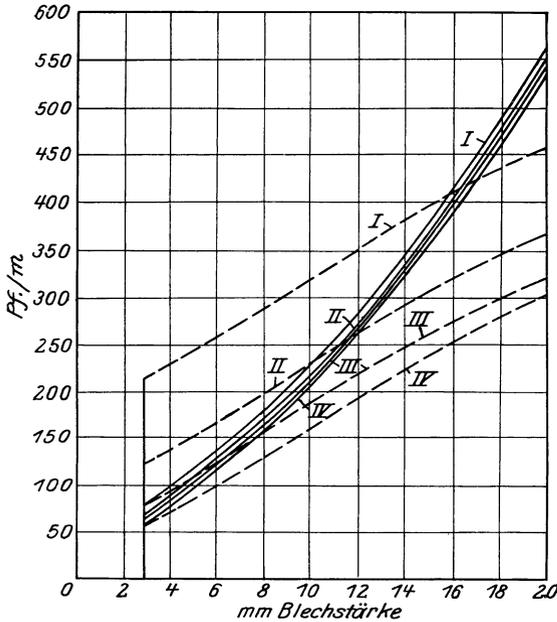


Abb. 204. Kosten von 1 m Blechnaht nach dem Elektro- oder Gasschmelzschweißverfahren.

÷ 1,28 M./m³ (ohne die nachher verrechnete Verzinsung usw.). Azetylen in Flaschen (gelöstes Azetylen) scheidet für den Vergleich aus, da 1 m³ noch etwa 2,75 M. in Leih- bzw. 2,25 M. in Eigentumsflaschen kostet. Der Preis des elektrischen Stroms sei zu 8 ÷ 20 Pf. für 1 kWh angenommen, der Lohn des Schweißers zu 0,70 M. für die Stunde

Zahlentafel 10 (500 m Blechnaht im Jahr).

Blechstärke	3 mm		10 mm		20 mm	
	Gasschmelzschw.	elektr. Schw.	Gasschmelzschw.	elektr. Schw.	Gasschmelzschw.	elektr. Schw.
Gas- bzw. Stromkosten	28 ÷ 44	6 ÷ 18	95 ÷ 143	33 ÷ 82	310 ÷ 465	69 ÷ 172
Verzinsung usw.	24	180	24	180	24	180
Lohnkosten	14	18	50	50	82	90
Schweißdrahtkosten	7	7	32	32	65	65
Gesamtkosten in Pf. für 1 m Schweißdraht	73 ÷ 89	211 ÷ 220	201 ÷ 249	295 ÷ 344	481 ÷ 636	404 ÷ 507

(diese Zahl wurde aus dem 1926 angestellten Vergleich beibehalten) und der Schweißdraht (Schweißelektroden) zu 0,50 M./kg. Wenn man als kleinste Jahresleistung 500 m Blechdraht zugrunde legt, kostet 1 m Schweißnaht an Verzinsung, Abschreibung und Instandhaltung beim Gasschmelzschweißverfahren: $400 \cdot \frac{30}{100} \cdot \frac{1}{500} = 0,24$ M. und beim elektrischen Verfahren: $3000 \cdot \frac{30}{100} \cdot \frac{1}{500} = 1,80$ M. Die Gas-

Strom-, Lohn- und Schweißdrahtkosten errechnet man aus den Abb. 198, 199 u. 201. Z. B. braucht man für 1 m Schweißnaht bei 3 mm Blechstärke etwa $\frac{3}{4}$ kWh (Kosten also $\frac{3}{4} \cdot 8 = 6$ Pf. bis $\frac{3}{4} \cdot 20 = 15$ Pf.) und kann stündlich schweißen 5 m bzw. unter Berücksichtigung von 25 vH mehr an Zeit durchschnittlich nur 4 m; demnach kostet 1 m Schweißnaht an Lohn $\frac{1}{4} \cdot 70 = 17,5$ Pf. Der Schweißdrahtverbrauch ist 150 g für 1 m Naht; das ergibt an Kosten: $0,15 \cdot 50 = 7,5$ Pf. In Zahlentafel 10 sind die Gesamtkosten für 1 m Schweißnaht für beide Verfahren bei 3, 10 und 20 mm Blechstärke zusammengestellt.

Unter Zugrundelegung mittlerer Gas- und Stromkosten ist nun die im vorigen für 500 m Blechnaht im Jahr durchgeführte Rechnung auch auf 1000, 2000 und 4000 m Naht ausgedehnt worden. Gegenüber den Werten in Zahlentafel 10 sind dann nur die Verzinsungskosten usw. entsprechend niedriger zu bemessen. Das Ergebnis ist in den Kurven der Abb. 204 zusammengestellt, aus denen wir bestimmte Schlüsse ziehen können, wenn wir die Kurve I (autogen) mit der Kurve I (elektrisch) usw. vergleichen. Nach Abb. 204 ist die Gasschmelz-Blechschiweißung billiger als die Lichtbogenschweißung

- | | | | | |
|----|--------|-------------------|--------------|------------------------------------|
| 1. | 500 m | Blechnaht im Jahr | (Kurven I) | für Blechstärken herauf bis 16 mm, |
| 2. | 1000 m | „ | „ „ („ II) | „ „ „ „ 11 mm, |
| 3. | 2000 m | „ | „ „ („ III) | „ „ „ „ 6 mm, |
| 4. | 4000 m | „ | „ „ („ IV) | „ „ „ „ 3 mm. |

Wir sehen weiter, daß wir mit den angenommenen Blechnahtmengen im Jahr die wichtigsten Mengen getroffen haben. Von mehr als etwa 4000 m Blechnaht im Jahr an ist die Lichtbogenschweißung für alle praktisch für sie in Betracht kommenden Blechstärken der Gasschmelzschweißung überlegen; bei Blechstärken unter 3 mm schweißt man schon des Aussehens und der Güte der Naht wegen fast immer mit Hilfe der Gasschmelzschweißung. Andere Annahmen der Strompreise, Verzinsung usw. werden das Ergebnis nur unwesentlich beeinflussen.

Strelow macht eine ähnliche Kostenaufstellung, nur mit dem Unterschiede, daß er als Jahresleistung nicht 500 m, 1000 m usw. Blechnaht annimmt, sondern 100 vH, 75 vH, 50 vH und 25 vH Ausnutzung der Anlage. Seine Ergebnisse lassen sich hiernach nicht ohne weiteres mit der vorigen Rechnung vergleichen. Er kommt sogar noch bei 25 vH Ausnutzung zu einem, wenn auch nur ganz wenig günstigeren Ergebnis für die Lichtbogenschweißung, und zwar bei allen Blechstärken. Allerdings dürften verschiedene seiner Annahmen für die Lichtbogenschweißung etwas zu vorteilhaft sein; so rechnet er u. a. mit wesentlich niedrigeren Verzinsungs-, auch Abschreibungssätzen als die Verfasser, was sich naturgemäß zugunsten der Lichtbogenschweißung auswirkt. Nach Ansicht der Verfasser schneidet bei 25 vH Ausnutzung der Anlage die Gasschmelzschweißung besser ab als die Lichtbogenschweißung.

Im übrigen muß man sich davor hüten, solche Ergebnisse zu sehr zu verallgemeinern, bzw. hiervon allein die Wahl eines bestimmten Schweißverfahrens abhängig zu machen. So gibt z. B., wie wir im Abschnitt V sahen, die Gasschmelzschweißung eine gegen Biegung widerstandsfähigere Naht, und die starke Erwärmung eines größeren Teils des Werkstücks, die bei ihr eintritt, ist beispielsweise beim Schweißen dünner Bleche (Vermeidung des Durchbrennens) und beim Kupferschweißen (starke Wärmeableitung) von Vorteil; sie ist aber auch ein Nachteil insofern, als viel leichter als bei der Lichtbogenschweißung ein Verziehen der Bleche vorkommt. Ebenso ist die Lichtbogenschweißung bei allen überlappten Schweißungen unbedingt vorzuziehen. Nicht allein die Wirtschaftlichkeit, sondern auch die Art der Schweißung und die Eigenschaften des Verfahrens sind also bei der

Wahl des Schweißverfahrens mit zu berücksichtigen. Die beiden heute wichtigsten Schweißverfahren, die Gas- und die Elektro-Schmelzschweißung, werden daher sehr wohl gut nebeneinander und einander ergänzend bestehen können.

Schweißung von Stahlmuffenrohren. Hier hat sich nach bisherigen Erfahrungen die Gasschmelzschweißung am besten bewährt. Schlee (1927) macht die in Zahlentafel II wiedergegebenen Angaben über die Kosten von Bleimuffen- und Schweißmuffenverbindungen¹. Hiernach sind die Schweißmuffen ganz wesentlich billiger.

Zahlentafel II.

Bohrdurchmesser mm	Kosten der Bleimuffe M	Kosten der Schweißmuffe M
80	3,40	1,50
100	4,20	1,80
150	6,10	2,30
200	7,50	3,00
250	9,30	3,80
300	11,00	4,50

Ausbesserungsschweißungen. Hierüber liegen selbstverständlich infolge der großen Verschiedenartigkeit der Arbeiten nur Einzelangaben vor. Die Zeitdauer spielt bei diesen Schweißungen lange nicht die Rolle wie bei den Bleischweißungen. Die Kosten sind sehr verschieden; bei Gußschweißungen betragen sie z. B. nach neueren Feststellungen der deutschen Reichsbahn in einzelnen, bestimmten Fällen 11 vH des Neuanschaffungswerts des Stücks und werden sehr oft nur 5÷15 vH

des Neuanschaffungswerts ausmachen. Der Wert der Schweißung liegt übrigens bei diesen Ausbesserungen nicht nur in der vorgenannten, wesentlichen Kostenersparnis, sondern vor allem auch in derjenigen Kosten- und Zeitersparnis, die durch schnellere Wiederinbetriebsetzung der betreffenden Maschinen usw. erzielt wird. Nach Angaben von Bothe kann man z. B. rechnen, daß bei der deutschen Reichsbahn schätzungsweise ständig 200 Lokomotiven mit Feuerbüchsschäden, deren Beseitigung durch Schweißen möglich ist, dem Betrieb entzogen sind und

daß bei diesen Lokomotiven durch Anwendung des Gasschmelzschweißverfahrens durchschnittlich 8 Tage an Ausbesserungszeit gewonnen werden.

Schweißen gegen Nieten. Wenn auch auf dem Gebiet der Eisenkonstruktions- und Kesselschweißungen und verwandter Arbeiten, wo das Schweißen in Wettbewerb mit dem Nieten tritt, die elektrische Lichtbogenschweißung in der großen Mehrzahl der Fälle der Gasschmelzschweißung überlegen ist, so sei doch auch an dieser Stelle in Abb. 205 ein Beispiel aus

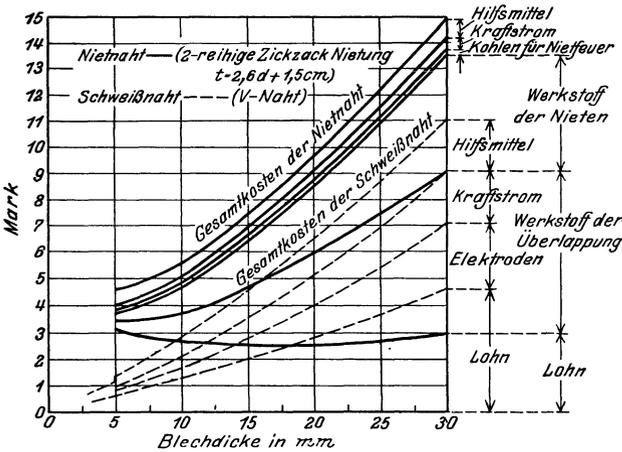


Abb. 205. Kosten von 1 m Nietnaht u. 1 m Elektroschmelzschweißnaht.

den gründlichen und sehr lehrreichen Versuchen und Berechnungen von Strelow wiedergegeben, worin die elektrische Lichtbogenschweißung für verschiedene Blechstärken einer zweireihigen Zickzacknietung gegenübergestellt ist. Bei anderen Nietverbindungen wird das Bild noch günstiger für die Schweißung. Im einzelnen ersieht man aus Abb. 205, daß mit wachsender Blechstärke bei der Schweißung vor allem die Lohnkosten stark steigen, bei der Nietung dagegen vorzugsweise die

¹ S. Das Gas- und Wasserfach 1927, Heft 22.

Kosten des Werkstoffs der Überlappung und der Nieten. Wenn diese in einem Vergleich fortgelassen werden, ändert sich naturgemäß das Bild sofort zugunsten der Nietung. Der Vergleich ist aber dann unvollständig und falsch. Ebenso darf man bei einem Vergleich zwischen 2 Schweißverfahren nicht nur z. B. die Stromkosten den Gaskosten gegenüberstellen usw.

Aus Abb. 205 ist zu erkennen, daß die Schweißung bei Blechen bis etwa 10 mm Stärke nur halb so teuer ist wie die Nietung und auch bei stärkeren Blechen immer noch wesentlich billiger bleibt als die Nietung. Dies Ergebnis darf auf Grund der umfangreichen Versuche von Strelow als allgemeingültig angesehen werden. Dabei ist die Schweißverbindung im Falle der Eisenkonstruktions- und Schiffschweißung u. dgl. in der Güte der Nietung mindestens gleichwertig.

Einzelkostenberechnung für Gasschmelzschweißungen. Wie bereits im Vergleich zwischen Elektro- und Gasschmelzblechschweißung angeführt wurde, kostet eine kleine Gasschmelzschweißanlage mit Brenner und allem Zubehör etwa 400 M. Bei 10 vH Verzinsung, 15 vH Abschreibung und 5 vH Instandhaltungskosten und bei einer Jahresleistung von 1000 m Blechnaht betragen die Verzinsungs-,

Abschreibungs- und Instandhaltungskosten: $400 \cdot \frac{30}{100} \cdot \frac{1}{1000} = 0,12 \text{ M.}$

Die Gaspreise (ab Bahnstation der Erzeugerstelle, Frühjahr 1928) sind:

Sauerstoff: in Eigenflaschen $1 \text{ m}^3 = 0,65 \text{ M.}$; in Leihflaschen $1 \text{ m}^3 = 0,75 \text{ M.}$

Wasserstoff: dieselben Preise.

Flaschenmiete vom 31. Tage an bis zur Rückgabe 5 Pf. für jeden Tag.

Azetylen in Flaschen: in Eigenflaschen $1 \text{ kg} = 2,00 \text{ M.}$; in Leihflaschen $1 \text{ kg} = 2,50 \text{ M.}$ Flaschenazetylen wird jetzt nach kg verkauft. Da $1 \text{ kg} = 0,90 \text{ m}^3$ ist, kostet 1 m^3 in Eigenflaschen 2,22 M., in Leihflaschen 2,78 M. Die Flaschenmiete beträgt hier vom 31. bis zum 60. Tage 5 Pf. und vom 61. Tage bis zur Rückgabe 10 Pf.

Kalziumkarbid: 100 kg grobkörnig bei Großbezug 26,50 M., bei einzelnen Trommeln 28,00 M.

Schweißdraht: 100 kg bei Großbezug etwa 40 M., in kleinen Mengen etwa 50 M.

Zum Gaspreis muß man (bei Sauerstoff, Wasserstoff und Flaschenazetylen) wenigstens 0,60 bis 1 M. Frachtkosten für die Flasche hinzurechnen. 1 m^3 Sauerstoff kostet also für den Kleinverbraucher (aus Leihflaschen) etwa 0,90 M.

Rechnet man, daß 1 kg Kalziumkarbid praktisch (einschl. der Verluste) 4 m^3 Azetylen entwickelt, so kostet 1 m^3 Azetylen $4 \cdot 0,28 = 1,12 \text{ M.}$ aus dem Entwickler erzeugt. Hinzu kommen, gegenüber dem Flaschenazetylen, die Kosten für Verzinsung usw. der Anlage.

Annahme: Es sei 1 m Schweißnaht aus 10 mm Blech herzustellen. — Nach Abb. 198 ist der Sauerstoffverbrauch 700 l, der Azetylenverbrauch 580 l, und die Schweißzeit ergibt sich zu 0,5 h, weil man in 1 h rund 2 m Blech schweißen kann. An Schweißdraht verbraucht man nach Abb. 201 etwa 0,7 kg. Zum Lohn rechnen wir noch 100 vH für allgemeine Unkosten hinzu, um hiermit auf folgende Selbstkosten zu kommen:

Sauerstoff, $0,7 \text{ m}^3$ zu je 0,90 M	0,63 M.
Azetylen, $0,58 \text{ m}^3$ zu je 1,12 M	0,65 M.
Verzinsungs-, Abschreibungs- und Instandhaltungskosten der Anlage (bei 1000 m Blechnaht im Jahr) auf 1 m Naht.	0,12 M.
Schweißdraht, 0,7 kg zu je 0,50 M	0,35 M.
Lohn, 0,5 h zu je 0,90 M	0,45 M.
100 vH Zuschlag zum Lohn für Allgemeinunkosten	0,45 M.
Selbstkosten für 1 m Blechnaht	2,65 M.

Für Ausbesserungsarbeiten rechnet man am besten den Sauerstoffverbrauch durch Ablesen des Gasdrucks an der Flasche bei Beginn und bei Schluß der Arbeit aus (s. S. 30). Den Azetylenverbrauch kann man dann, vorsichtig gerechnet, gleich hoch annehmen. Schweißdrahtverbrauch und Zeit der Schweißung sind im Einzelfalle leicht festzustellen, so daß man dann auch alle Unterlagen für die Berechnung zusammen hat.

VII. Das Brennschneiden (autogenes Schneiden).

A. Grundsätzliches über das Brennschneiden.

Wesen des Schneidens. Bringt man durch die Stichflamme eines Brenners Schmiedeeisen oder Stahl auf seine Entzündungstemperatur von etwa 1350° (helle Weißglut) und leitet man dann einen Strahl möglichst reinen Sauerstoffs unter Druck auf die hochoverhitzte Stelle, so verbrennt das Eisen in diesem. Die hierbei auftretende Wärme ist bedeutend größer als die der heißesten Brenngasflamme. Die Verbrennung geht aber derart schnell vor sich, daß das der Verbrennungsstelle benachbarte Eisen verhältnismäßig wenig erwärmt wird, also nicht zum Schmelzen kommt. Da überdies die verbrannten Eisenteilchen durch den Druck des Sauerstoffstroms fortgeblasen werden, muß demnach ein Loch, eine Schnittstelle, entstehen. Der Sauerstoffstrahl trifft nun beim Weiterführen neue, durch die Verbrennung benachbarter Teile und durch die Brennerstichflamme schon auf Entzündungstemperatur gebrachte Eisenteile, weshalb sich der Verbrennungsvorgang ununterbrochen fortsetzen läßt. Dabei werden Schnittbreite und Schnittgeschwindigkeit vor allem von der Stärke und Form des Eisenstücks, vom Druck des Sauerstoffs und von der Art der Schneidbrennerführung abhängen.

Schneidpatente. Praktische Anwendung fand der vorbeschriebene Schneidvorgang in Deutschland zuerst zum Beseitigen von Ofenansätzen in Hochöfen und zum Aufschmelzen der Stichlöcher an diesen Öfen, und zwar nach dem Patent des Köln-Müsener Bergwerks-Aktienvereins zu Creuzthal (D.R.P. Nr. 137 588) im Jahre 1901, das dann durch ein Zusatzpatent (D.R.P. Nr. 143 640) auf das schnelle Beseitigen, Bohren, Trennen usw. von Metallen ausgedehnt wurde. Patent und Verfahren wurden später von der J. G. Farbenindustrie A.-G., Werk Autogen-Griesheim, übernommen und weiter ausgebildet. Das wesentlichste Patent der Folgezeit war dann das der Deutschen Oxhydic-Gesellschaft in Düsseldorf-Eller (D.R.P. Nr. 216 963) vom Jahre 1905, das „Verfahren und Vorrichtungen zum Schneiden von Metallgegenständen usw. unter Anwendung eines Lötrohrs und von Sauerstoff“ schützte. Griesheim und Oxhydic gestatteten sich gegenseitig die Benutzung ihrer Patente. Die Deutsche Oxhydic-Gesellschaft ging dann auch in den Besitz von Griesheim über. Weitere Verbesserungen der Schneidvorrichtungen, insbesondere durch Griesheim und das Drägerwerk-Lübeck, folgten. Heute werden auch von vielen anderen Firmen gut arbeitende Schneidbrenner auf den Markt gebracht.

B. Die Schneideinrichtungen.

1. Die Schneidbrenner.

Schon der gewöhnliche Schweißbrenner kann zum Schneiden schwacher Bleche dienen, wenn man nach dem Anwärmen das Brenngas absperrt und den Brenner unter alleiniger Sauerstoffzufuhr langsam weiterführt. Nach kurzer Zeit

setzt aber die Verbrennung aus, man muß wieder von neuem anwärmen. Die Schnittzeit wird etwa 10mal so groß als beim richtigen Schneidbrenner.

Düsenlage. Die Sauerstoffdüse (Schneiddüse) soll möglichst dicht (am besten nur 3 mm) über dem Werkstück endigen, damit der Sauerstoffstrahl, der unter genügendem Druck stehen muß, nicht auseinanderflattert. Vorteilhaft ist eine Erweiterung der Schneiddüse am unteren Ende (s. Abb. 206 I bei c), damit der

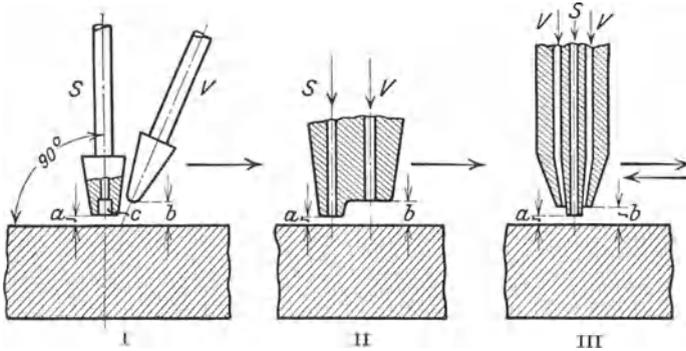


Abb. 206. Düsenlage und Düsenanordnung von Schneidbrennern.

sowieso vom Sauerstoffstrahl angesaugten Luft ein bestimmter Weg, in Form eines Mantels um den Sauerstoffstrahl, gewiesen und auch hierdurch das Auseinanderflattern des Sauerstoffstrahls mit verhindert wird. Die Vorwärmdüse muß weiter als die Schneiddüse vom Werkstück abstehen (s. die Strecken b und a in Abb. 206), da auf die Länge des Flammenkegels Rücksicht zu nehmen ist. Die Schneiddüse muß stets senkrecht zur oberen Werkstofffläche stehen, damit die geringste Werkstoffdicke zu durchschneiden ist und der Schnitt möglichst sauber wird.

Düsenanordnung. Schneid- und Vorwärmdüse können getrennt hintereinander (Abb. 206 I), in einem Gehäusestück hintereinander (Abb. 206 II, Stufendüse) oder konzentrisch, d. h. die Vorwärmdüse als Ringdüse um die Schneiddüse (Abb. 206 III), angeordnet sein. In den beiden ersteren Fällen kann man auch von einem Zweidüsenbrenner (exzentrischem Brenner), in letzterem Fall von einem Ringdüsenbrenner (Zentralbrenner, konzentrischen Brenner) sprechen. Beim Zweidüsenbrenner liegt die Vorwärmdüse V (s. Abb. 206 I und II) stets in der Bewegungsrichtung



Abb. 207. Schneidbrenner für Wasserstoff-Sauerstoff und Acetylen-Sauerstoff.

vor der Schneiddüse S. Die Bewegung dieser Brenner hat also in Abb. 206 I und II nach rechts zu erfolgen (s. die Pfeilrichtung!). Der Ringdüsenbrenner ist besonders vorteilhaft beim Schneiden kleiner Kurven, weil bei ihm, im Gegensatz zum Zweidüsenbrenner, der Sauerstoffstrahl der Vorwärmeblame genauer folgt. Ferner heizt auch allgemein die der Schnitttrichtung gegenüberliegende Ringflammenhälfte den durch den kühlen Sauerstoffstrahl abgeschreckten Werkstoff nach und schmilzt einen Teil des in den Schnittfugen auftretenden Grats nieder. Letzteren Vorteil kann man sich beim Zweidüsenbrenner durch Anordnung einer dritten Düse (mit Heizgas)

hinter der Schneiddüse verschaffen, wie es z. B. Griesheim bei einer Brennerkonstruktion ausgeführt hat. Dabei ist allerdings zu beachten, daß die Flamme nicht zu heizkräftig wird, damit nicht die Kanten der Schnittfuge angeschmolzen werden, wie dies mitunter auch bei Brennern mit Ringdüsen zutrifft.

Normale Schneidbrenner. Als Brenngase für die Vorwärmeflamme können, wie beim Schweißen, in Betracht kommen: Wasserstoff, Azetylen, Benzol, Leuchtgas und Blaugas. Benutzt werden fast nur Azetylen, Benzol und Wasserstoff, doch ist auch hier das Azetylen wirtschaftlich überlegen, wengleich beim Schneiden der Verbrauch an Brenngas gegenüber dem Verbrauch an Sauerstoff stark zurücktritt. In neuerer Zeit werden auch oft die Schneidbrenner sowohl für Wasserstoff wie für Azetylen verwendbar gemacht, wie dies z. B. auch bei Abb. 207 (Mischgasbrenner) der Fall ist. Es sind nur die für die verschiedenen Gase bestimmten Mundstücke auszuwechseln. Der Brenner der Abb. 207 ist ein sog. Zweischlauchbrenner, d. h. die Gase werden nur in zwei Schläuchen zugeführt, während ein Dreischlauchbrenner drei Schlauchleitungen, eine für das Brenngas und je eine für den Sauerstoff der Vorwärmeflamme und für den Schneidsauerstoff hat. In diesem Fall ist ein Doppeldruckminderventil (s. Abb. 29) an die Sauerstoffflasche anzuschließen. Die heute üblichen Brenner haben — von Brennern für Schneidmaschinen und solchen für Schnittstärken über 400 mm abgesehen — alle nur zwei Anschlüsse.

Der Brenner der Abb. 207 wird an einem aufrechten Griff angefaßt, der aber ausgewechselt und durch einen gestreckten Griff ersetzt werden kann. Die Regulierhähne für das Heizgas und für den Heiz- und Schneidsauerstoff sind deutlich erkennbar. Eine Mischung von Heizgas und Sauerstoff wird in den



Abb. 208. Heiz- und Schneidmündstücke zum Schneidbrenner der Abb. 207.

Ringraum der Düse geführt und ergibt die zunächst anzuzündende Vorwärmeflamme. Ist das Eisen weißglühend, so wird der Schneidsauerstoff angezündet und tritt unter einem Druck von $1,3 \div 13$ at (bei Blechstärken von $3 \div 300$ mm) in dem mittleren Rohr aus. Ist der Verbrennungsvorgang eingeleitet, so kann die Vorwärmeflamme etwas schwächer gestellt werden. Für die verschiedenen Schnittstärken sind bei dem Brenner in Abb. 207 verschiedene Heiz- und Schneid-

mündstücke einzusetzen, die in Abb. 208 wiedergegeben sind. Die Rädchen an der Düse dienen zur sicheren Führung des Brenners. Sie sollen nicht zu klein (etwa $20 \div 40$ mm im Durchmesser), leicht drehbar und in senkrechter Richtung verstellbar sein.

Abb. 209 zeigt einen normalen Schneidbrenner einer anderen Konstruktion. Vorteilhaft erscheint hier besonders die bequeme Regulierung des Schneidsauerstoffs mit Hilfe eines Hebels. Normale Brenner werden im allgemeinen für das Durchschneiden von Blechstärken von $2 \div 300$ mm gebaut. Der Deutsche Normenausschuß sieht eine Stufung der Schneidbrenner nach der größten zu schneidenden Blechstärke vor (Bezeichnung: „Schneidbrenner 50“ für Eisenblechstärken von $2 \div 50$ mm, „Schneidbrenner 100“ für Blechstärken von $2 \div 100$ mm und „Schneidbrenner 300“ für Blechstärken von $2 \div 300$ mm).

Besondere Schneidbrennerkonstruktionen. Beim Zerschneiden sehr starkwandiger Stücke ($300 \div 800$ mm Dicke) kommt man mit Zwei- oder Dreischlauchbrennern nicht immer aus, weil der Schneidsauerstoff dann in der Tiefe zu stark ab-

kühlend wirkt und der verbrannte Werkstoff sich nicht entfernen läßt. Man greift dann zum Vierschlauchbrenner, der 2 Sauerstoff- und 2 Brenngaszuführungsschläuche besitzt. Der zweite Brenngasschlauch führt nochmals Brenngas etwa in die Mitte der Dicke des Arbeitsstücks, um den verbrannten Werkstoff zum Schmelzen und Abfließen zu bringen.



Abb. 209. Azetylen-Sauerstoff-Schneidbrenner.

Für diejenigen Fälle, in denen man die verschiedenartigsten Anforderungen an ein solches Gerät stellt, sind in neuerer Zeit vereinigte Schweiß- und Schneidbrenner konstruiert worden. Sie haben auswechselbare Einsätze für das Schweißen bzw. Schneiden und in diesen Einsätzen besondere Düsen für das Arbeiten mit Wasserstoff oder Azetylen. Zum Schneiden wird die Rädchenführung angeschraubt. Mit diesen Brennern kann man Bleche von 0,5÷20 mm schweißen und Werkstoff von 2÷300 mm schneiden.

Für besondere Arbeiten sind den Schneidbrennern Sonderformen gegeben worden. Am bekanntesten von

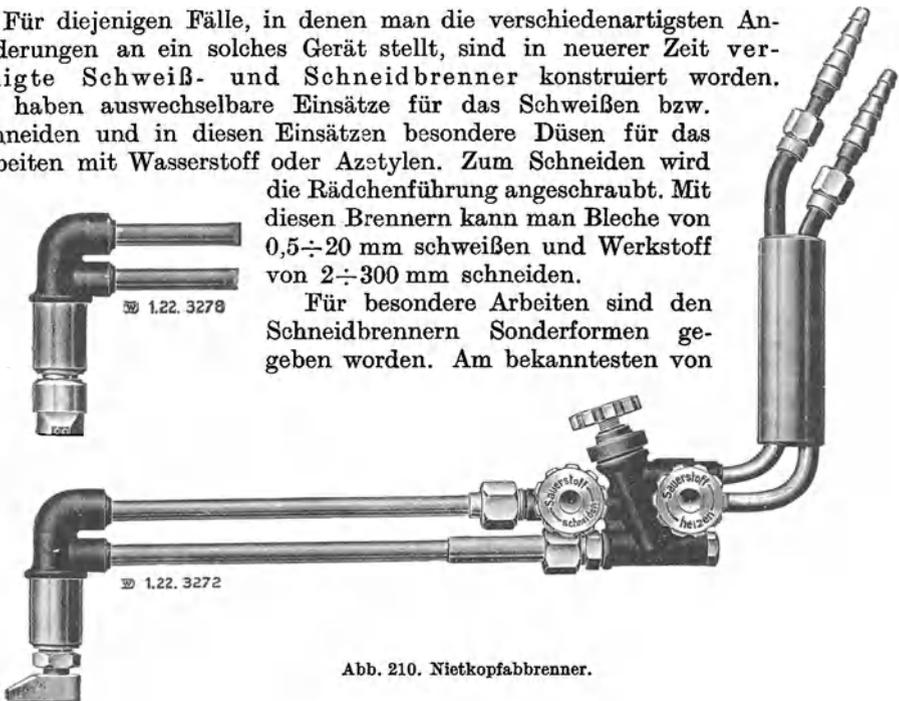


Abb. 210. Nietkopfabrenner.

solchen Sonderkonstruktionen sind wohl die Nietkopfabrenner und Niet-schaftausbrenner, mit denen man in 1 h etwa 150 Nietköpfe von $\frac{3}{4}$ " Stärke ab- und ebenso viele Nietschäfte ausbrennen kann. Abb. 210 zeigt eine dieser Konstruktionen, bei der in den normalen Zweidüsenbrenner nur ein besonderes Mundstück einzuschrauben ist. Der Schuh des Mundstücks wird flach auf das Eisenblech gesetzt, und der Nietkopf quer zur Nietachse glatt über dem Blech abgeschnitten. Vorteilhaft ist es, daß das Mundstück nach beliebiger Seite hin bewegt werden kann.

2. Die Schneidmaschinen.

Schneidmaschinen sind eigentlich nur Schneidbrenner mit einer maschinell bewegten, dem jeweiligen Verwendungszweck angepaßten Führung. Sie sind insbesondere von Griesheim weitgehend ausgebildet worden. Die Hauptarten

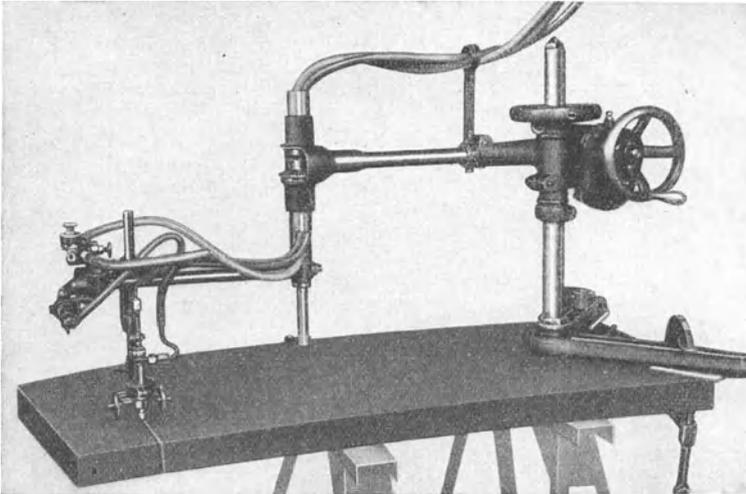


Abb. 211. Kreis-schneidmaschine.

sind Maschinen zum Längsschneiden, zum Kreis- und Lochschneiden, zum Profileisenschneiden, zum Wellenschneiden und zum Siederohrschneiden. Meistens wird der Brenner durch Drehen eines Handrads bewegt. Zum Teil, besonders in Amerika, hat man aber auch ganz selbsttätig arbeitende Schneidmaschinen, angetrieben durch Elektromotore, eingerichtet.

Kreis-schneidmaschine (Abbildung 211). Der Schneidbrenner kann sowohl um die senkrechte Säule rechts mit dem dort angebrachten Handrad gedreht werden, wie auch (bei kleineren Kreisen) um den Endpunkt des Auslegers in der Mitte. Im letzteren Fall wird eine Kupplung eingerückt, und man dreht ebenfalls mit dem rechts angebrachten Handrad durch Kegelräderübersetzung und Welle im Auslegerarm. Der Brenner sitzt an einer verschiebbaren Stange, deren Rollenführung durch Federn auf das Arbeitsstück gedrückt wird.

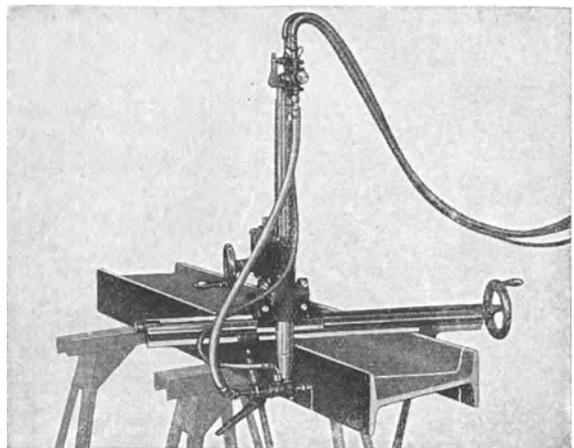


Abb. 212. Profileisenschneidmaschine.

Der Brenner sitzt an einer verschiebbaren Stange, deren Rollenführung durch Federn auf das Arbeitsstück gedrückt wird.

Profileisenschneidmaschine (Abb. 212). Sie arbeitet zunächst wie eine Längsschneidmaschine; deshalb wurde auf die besondere Wiedergabe der letzteren ver-

richtet. Der Schneidbrenner ist an einer schwenkbaren Führungsstange befestigt, welche auf einem durch Spindel und Handrad verschiebbaren Support sitzt. Die Führungsstange ist als Zahnstange ausgebildet und kann durch ein Getriebe und Handkurbel verschoben und auch in jeden beliebigen Winkel eingestellt werden. Beim vollständigen Durchschneiden des in Abb. 212 wiedergegebenen Trägers werden drei Schnitte durchgeführt, ein Schnitt durch den Steg und zwei Schnitte durch die Flanschen. Für die beiden letzteren Schnitte läßt sich der Brenner auch besonders einstellen. Natürlich kann diese Maschine auch für einfache Ausschnitte an Profileisen und Platten und für das Durchschneiden von Blöcken Verwendung finden.

Wellenschneidmaschine (Abb. 213). Um genaue Schnitte an Wellen zu erzielen, kommt es neben sehr gleichmäßiger Bewegung des Brenners darauf an, die Brennerachse stets genau in derselben Richtung zu halten. Die Maschine besitzt

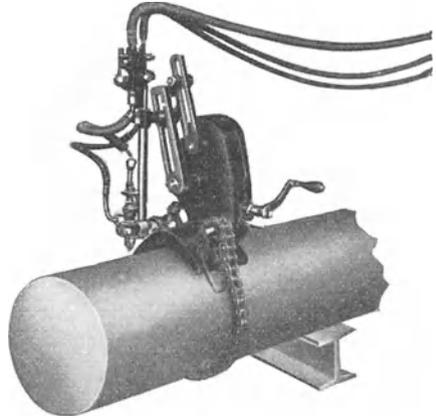


Abb. 213. Wellenschneidmaschine.

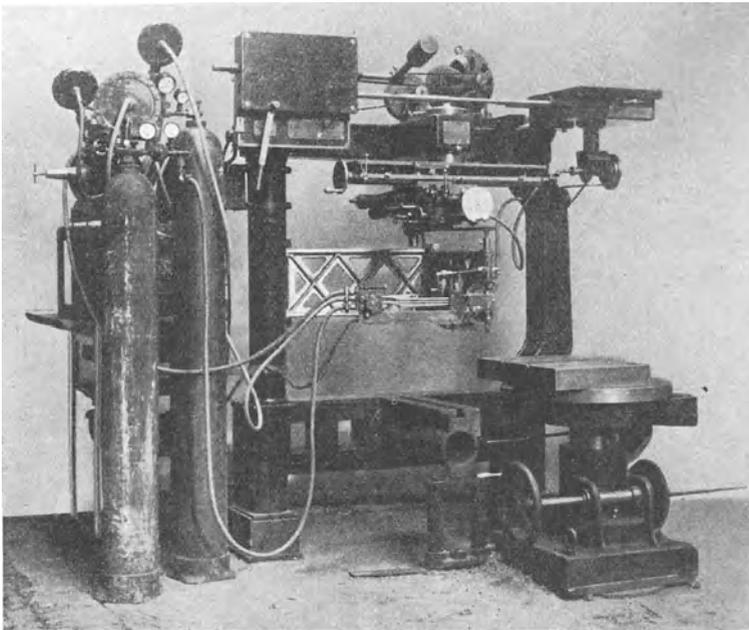


Abb. 214. Gesamtansicht der Godfrey-Schneidmaschine.

deshalb zunächst einen Sattel, der eine Einstellung des Brenners senkrecht zur Wellenachse ermöglicht und der mit Hilfe einer um die Welle gelegten Gelenkkette festgespannt wird. Um dann den Brenner stets in der gleichen Richtung zu halten, wird er von der Kurbel aus durch Schnecke und Schneckenrad (im Kasten eingekapselt) und weiter durch eine besondere Parallelführung bewegt.

Bekanntlich macht gerade das Schneiden von starken Wellen unter allen Schneidarbeiten die meisten Schwierigkeiten. Der eben beschriebene Mechanismus behebt diese Schwierigkeiten vollkommen.

Universalschneidmaschine. Eine ganz selbsttätig arbeitende Maschine zeigt Abb. 214. Sie ist von größeren Abmessungen und hat elektromotorischen Antrieb. Die Tätigkeit des Arbeiters beschränkt sich auf das Ein- und Ausspannen der

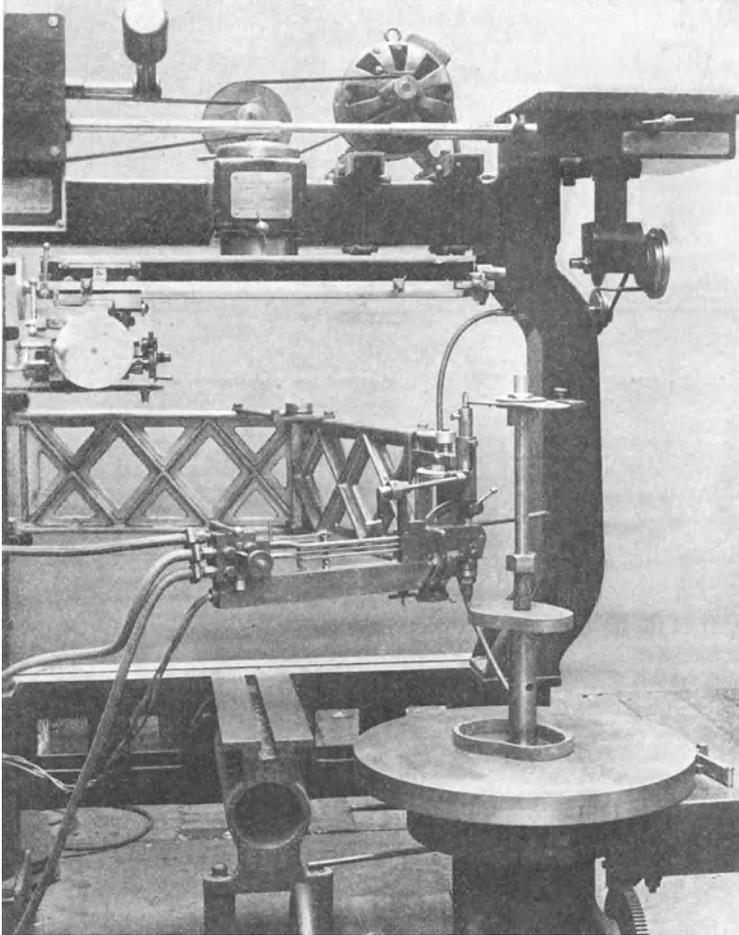


Abb. 215. Schablonenschnitt.

Werkstücke, auf die Ein-, Um- und Ausschaltung des Brennvorschubs, die Einstellung des Gasgemischs und der Schnittgeschwindigkeit. Als Heizgas kommen nur verdichtete Gase, vor allem Azetylen in Flaschen, in Frage. Diese Maschine führt Kreis-, Kurven- und Geradschnitte in beliebigem Winkel und in beliebiger Richtung aus. Mit Rücksicht auf den Raummangel kann hier nicht auf die konstruktiven Einzelheiten der Maschine eingegangen werden. Abb. 215 zeigt die Maschine bei Ausführung eines Kurvenschnitts, und Abb. 216 veranschaulicht eine Platte mit an dieser Maschine (Godfrey-Schneidmaschinen-gesellschaft, München) geschnittenen Löchern.

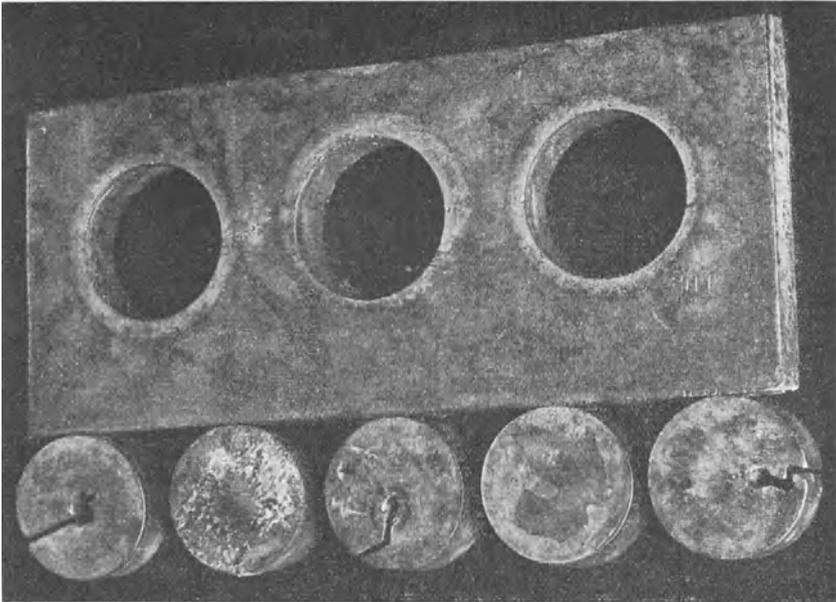


Abb. 216. Mit der Godfreymaschine geschnittene Löcher.

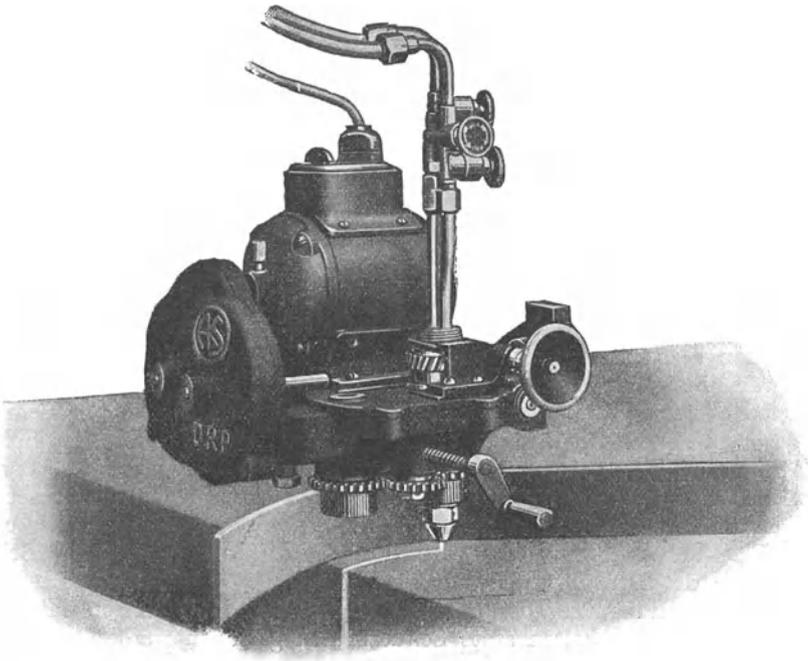


Abb. 217. Kleine Schneidmaschine.

Bekanntgeworden ist vor allem auch die kleine Schneidmaschine der Weberwerke (Siegen), die ebenfalls elektromotorisch angetrieben und an beliebigen Führungsschienen entlang bewegt werden kann. Die in Abb. 217 wiedergegebene



Abb. 218. Ausschneiden von Lokomotivrahmen mit kleinen Schneidmaschinen.

Maschine eignet sich für Schnitte von unbegrenzter Länge, für Kurvenschnitte und Krümmungsradien bis herunter zu 50 mm. In Abb. 218 sehen wir zwei solcher Maschinen in Tätigkeit beim Ausschneiden von Lokomotivrahmen.

C. Die Technik des Brennschneidens¹.

Handhabung der Schneideinrichtung. Hinsichtlich Handhabung und Behandlung der Flaschen für verdichtete Gase, der Azetylenentwickler, der Schläuche und Brenner wird auf das in den entsprechenden Abschnitten unter „Schweißen“ Gesagte verwiesen. Hier ist genau so zu verfahren, nur sei folgendes besonders hervorgehoben:

Die am Brennerkopf befindliche Rädchenführung (bzw. der Führungswagen) ist so einzustellen, daß die Spitze der Schneiddüse etwa 3 mm von dem zu schneidenden Gegenstand entfernt ist. Nach Einstellen der Vorwärmeflamme und Anwärmung der Schnittkante öffnet man das Schneidsauerstoffventil. Der Schnitt beginnt, der Brenner wird langsam auf den Rollen in der Schnittlinie weitergezogen. Wird der Brenner zu schnell fortbewegt, so hört das Schneiden auf. Alsdann muß das Schneidsauerstoffventil sofort geschlossen und das Blech erst wieder stärker angewärmt werden. Bei kurzen Arbeitsunterbrechungen genügt es, die Ventile am Brenner zu schließen, bei größeren Unterbrechungen sind die Flaschenventile zu schließen und die Druckminderventile und Schläuche durch Öffnen der Brennerventile zu entlasten sowie die Regulierschraube am Druckminderventil herauszuschrauben. Häufige Augenverletzungen weisen darauf hin, daß bei Schneidarbeiten stets Schutzbrillen getragen werden sollten.

¹ Ausführliches s. Horn: Das Trennen der Metalle vermittelt Sauerstoff. Halle a. S.: Knapp 1925.

1. Das Schneiden von Schmiedeeisen, Stahl und Stahlguß.

Schmiedeeisen, Stahl und Stahlguß lassen sich gut brennschneiden, die anderen Metalle sind nicht brennschneidbar (s. den folgenden Abschnitt 4).

Blechschnitten. Der Schnitt ist möglichst an einer Blechkante einzuleiten. Soll aber ein Stück mitten aus dem vollen Blech herausgeschnitten werden, so ist es zweckmäßig, zunächst ein Loch von 5 ÷ 10 mm Durchmesser zu bohren und an diesem das Schneiden zu beginnen. Versucht man, ein Loch mit der Stichflamme des Brenners einzuschmelzen, so werden die zurückschlagenden Spritzer leicht die Düse der Vorwärmeblamme verstopfen und ein Zurückschlagen der Flamme herbeiführen. Den normalen Arbeitsvorgang beim Ausschneiden einer kreisförmigen Öffnung aus einem Kesselstück zeigt Abb. 219. Die Wasserstoff- und die Sauerstoffflasche sind auf einem Wagen fahrbar angeordnet.

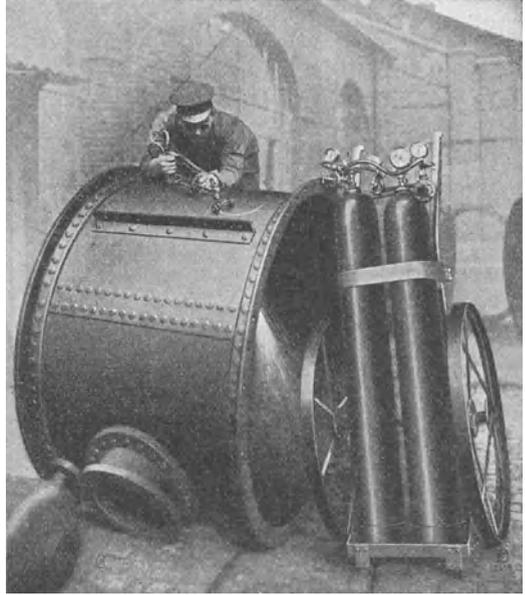


Abb. 219. Ausschneiden einer kreisförmigen Öffnung.

Sehr angebracht erscheint für die verschiedenartigsten Arbeitsmöglichkeiten ein Führungswagen mit Schlitzverstellung und der zweiteilige Führungswagen. Abb. 220 zeigt bei *I* den Brenner in Schrägstellung für einen Gehrungsschnitt, bei *II* den Brenner mit zweiteiligem Wagen für Arbeiten in Hohlkörpern, bei *III* den Brenner mit Zirkelstange für große Kreisschnitte und bei *IV* den

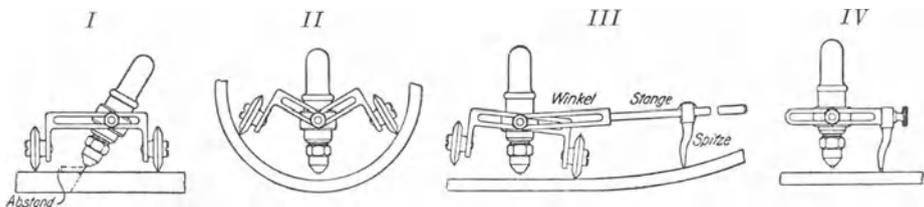


Abb. 220. Führungswagen mit Schlitzverstellung oder zweiteilig.

Brenner mit Zirkelspitze, ohne Zirkelstange, für kleine Kreisschnitte. Bei *III* kann man erkennen, daß auch gewölbte Stücke ausgeschnitten werden können.

Abb. 221 zeigt das Durchschneiden einer Platte von unten. Im allgemeinen sind derartige Schnitte nur bis etwa 50 mm Blechstärke durchführbar, da die auf dem Schneidsauerstoff ruhende, flüssige Masse bei größeren Blechstärken nicht mehr gut fortgeschleudert werden kann. Noch ungünstiger liegen die Verhältnisse beim Durchschneiden mehrerer aufeinandergelegter oder aufeinandergenieteteter Bleche. Derartige Bleche können normalerweise nicht mit einem Schnitt zertrennt werden, da am unteren Rand des ersten Blechs wegen

des Luftzwischenraums eine starke Wärmeableitung einsetzt. Der Schnitt gelingt nur dann, wenn er an der äußeren Blechkante eingeleitet wird und wenn es sich um neues, unverrostetes Blech handelt. Mehrere aufeinandergenietete Bleche sind also — neben der Füllung der Panzerungszwischenräume mit Asche usw. —

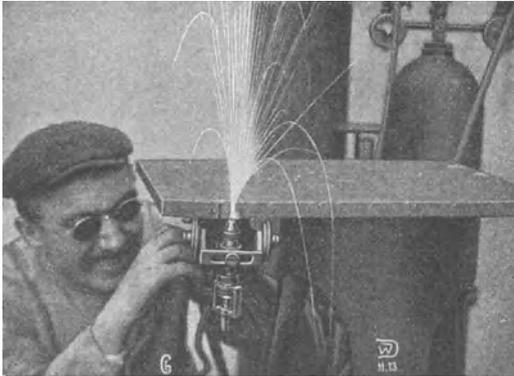


Abb. 221. Durchschneiden einer Platte von unten.

gekropften Kurbelwellen ist eine ganze Anzahl runder und grader Schnitte bei Werkstoffdicken von etwa $150 \div 300$ mm durchgeführt worden. Ähnlich wirtschaftlich vorteilhaft ist das Abschneiden der schweren Gußtrichter bei Stahlgußstücken.

Verschrotten. Schon vor dem Weltkrieg wurden

vielfach alte Lokomotivkessel zerschnitten, auch alte Brückenkonstruktionen, wie z. B. die alte Kölner Rheinbrücke. Im großen sind während und nach dem Kriege alte Schiffe und Geschütze zertrennt worden und dann als Schrott in die Martinwerke gewandert; hierbei mußte, der großen Wandstärken wegen, mit besonders starken Brennern gearbeitet werden. Beim Zerschneiden der Schiffe ist es öfters infolge der Bleifarbenanstriche der Schiffswandungen zu Bleivergiftungen gekommen. Die Bleifarbenanstriche, die nicht selten bis zu 10 mm Dicke aufgetragen sind, müssen daher vor

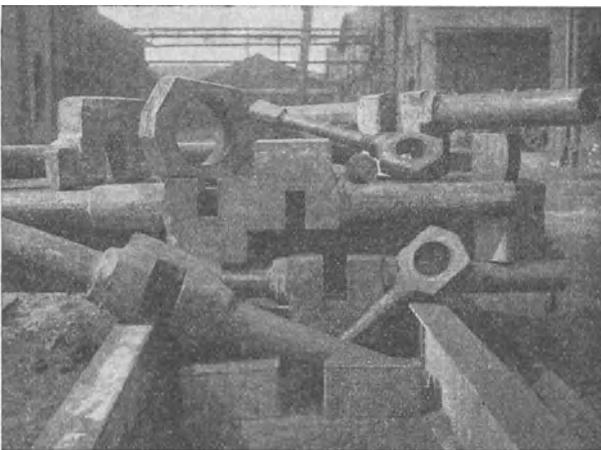


Abb. 222. Mit dem Schneidbrenner geschnittene Pleuelstangen und Kurbelwellen.

dem Zerschneiden in schmalen Streifen mit dem Hammer abgeklopft werden. Der Arbeiter soll überdies möglichst im Freien, nicht im Schiffsinnern, arbeiten, und zwar so, daß ihm der Wind im Rücken steht und etwa entstehende Bleidämpfe dadurch von ihm wegtreibt. Im Notfall ist ein Respirator (Atmungsapparat) als Schutzmittel zu benutzen.

auch geeignete Hilfsmittel gegen das Aufschneiden der Geldschränke durch Einbrecher.

Profileisenschneiden. Hierbei ist mehrmaliger Schnittansatz erforderlich, z. B. bei Winkeleisen zweimaliger Ansatz von der Außenkante der Schenkel her, bei Trägern dreimaliger Ansatz, wie bereits bei Besprechung der Profileisenschneidmaschine (Abbildung 212) erwähnt wurde.

Abb. 222 zeigt die Verwendung des Schneidverfahrens bei neu hergestellten Schmiedestücken; an Pleuelstangen und

Die größten Werkstoffdicken, die praktisch zerschnitten werden können, betragen etwa 800 mm, ausnahmsweise 1000 mm. Die Schnittbreite schwankt bei guten Schnitten, je nach der Stärke des Werkstoffs zwischen 1 und 15 mm. Bei einiger Übung kann man an dünneren Blechen Schnitte von 2–3 mm Breite erzielen.

2. Beeinträchtigungen des Schneidvorgangs.

Einfluß des Sauerstoffs. Der Druck des Schneidsauerstoffs soll nicht höher als notwendig sein. Die Schnittgeschwindigkeit wird durch den Druck nur bis zu einer bestimmten Grenze erhöht. Die Schnittdauer beträgt z. B. nach Versuchen eines der Verfasser bei einem Blech von 40 mm Dicke für 1 m Länge: 10,5 min bei 0,5 at Druck, 7,5 min bei 1,0 at, 5,9 min bei 2,0 at, 4,8 min bei 4 at und 4,8 min bei 5 at. Bei höherem Druck sinkt die Schnittgeschwindigkeit wieder und der Schnitt wird unsauberer. Der richtige Sauerstoffdruck ist also bei dem 40 mm-Blech etwa 4,5 at (s. auch Zahlentafel 13). Je stärker das Blech, desto höher natürlich der günstige Druck, so daß z. B. ein 100 mm-Blech einen Sauerstoffdruck von etwa 8 at erfordert, ein 200 mm-Blech einen Druck von 11 at und ein 300 mm-Blech einen Druck von 13 at (s. Zahlentafel 13). Dem Druck entsprechend steigt der Verbrauch an Schneidsauerstoff. Einige der auf dem Markt befindlichen Brenner haben noch zu große Bohrungen für den Schneidsauerstoff, die sowohl zu großen Verbrauch, wie zu große Schnittbreite ergeben.

Die Reinheit des Sauerstoffs soll möglichst hoch sein. Unreiner Sauerstoff ergibt: Vergrößerung der Schnittdauer, Erhöhung des Drucks und damit stärkeren Verbrauch, Vergrößerung der Schnittbreite. Sauerstoff mit einem Reinheitsgrad von 95 vH ergibt ungefähr doppelte Schnittdauer gegenüber Sauerstoff von 99,5 vH Reinheitsgrad. Im Durchschnitt kann man mit einem Reinheitsgrad von mindestens 98 vH rechnen.

Eine Vorwärmung des Sauerstoffs ist nicht zu empfehlen. Was man durch geringe Beschleunigung des Verbrennungsvorgangs gewinnt, geht durch größeren Verbrauch und größere Schnittbreite wieder verloren.

Einfluß der Vorwärmeflamme. Im allgemeinen sind die Vorwärmeflammen noch zu groß. Sie sollen nur so stark sein, daß sie eine kleine Stelle auf Entzündungstemperatur bringen. Zu große Vorwärmeflammen ergeben Gasvergeudung, Verringerung der Schnittgeschwindigkeit und unsaubere Schnitte. Nur zum Schneiden stark angerosteter Bleche ist eine kräftige Vorwärmeflamme am Platze. Abb. 223 zeigt schematisch bei *a* die durch zu starke Vorwärmeflamme hervorgerufene Kantenabschmelzung und bei *b* das Anhaften flüssigen, wenig verbrannten Eisens. Sind die Ansätze bei *b* reine Schlackenansätze, so sind sie nicht so bedeutungsvoll; sie lassen sich dann auch leicht abschlagen. Ist die Gasmischung der Vorwärmeflamme falsch, so zeigt sich, ebenso wie beim Schweißen, bei einem Sauerstoffüberschuß eine Oxydation, bei einem Azetylenüberschuß eine Kohlenstoffanreicherung der Schnittländer.

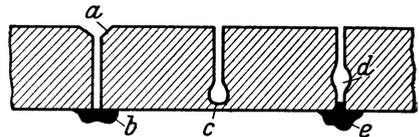


Abb. 223. Einfluß der Vorwärmeflamme und des Schneidwerkstoffs.

Ob Azetylen oder Wasserstoff als Brenngas genommen wird, ist, wie schon früher erwähnt wurde, vorwiegend von wirtschaftlicher Bedeutung. Die Azetylenflamme heizt schneller an. Praktisch macht dies auf die Schnittdauer wenig aus. Das Schneiden mit Azetylen ist stets billiger.

Einfluß des Schneidwerkstoffs. Unsaubere Blechoberflächen, Rost, Farbüberzüge usw. geben unsaubere Schnitte und setzen die Schnittgeschwindigkeit herab. Schlackeneinschlüsse oder sonstige Unreinlichkeiten im Werkstoff führen zu einer Schnitterweiterung (Abb. 223 bei *d*), da sie nicht verbrennen und also für den Schneidsauerstoff ein Hindernis darstellen; außerdem können sie eine besonders starke Schlackenansammlung zur Folge haben, wie in Abb. 223 bei *e*. Der Fall *c* tritt dann ein, wenn der Sauerstoffdruck nicht hoch genug eingestellt wird.

3. Gefügeveränderung der Schnittländer.

Der kalte Schneidsauerstoff kühlt die heißen Schnittländer schnell ab, sie werden auf 1 ÷ 3 mm Tiefe hart, vorausgesetzt, daß der Werkstoff mehr oder weniger härtbar ist. Durch die Wirkung einer falsch eingestellten Vorwärmeflamme ergibt sich, wenn Azetylen als Brenngas dient, eine Kohlung des Schnittlandes, die bei schwachen Blechen verhältnismäßig am stärksten ausfällt. Die zu starke Flamme kann auch ein Überhitzen der oberen und unteren Schnittländer hervorrufen, der unteren insofern, als sich dann im unteren Teil der Schnittfuge leicht eine größere Schlackenmenge ansammelt. Eine wesentliche Beeinträchtigung der Güte des an die Schnittstelle angrenzenden Werkstoffs auf größere Tiefen (über 7 mm) hat man im allgemeinen nicht gefunden.

4. Die Schneidbarkeit der Metalle.

Während sich Schmiedeeisen, Stahl und Stahlguß gut brennschneiden lassen, trifft dies für Kupfer, Aluminium, Bronze, Weißmetall usw. nicht zu. Auch Temperguß ist schlecht oder gar nicht schneidbar. Bei Kupfer und Aluminium ist die große Wärmeleitfähigkeit sehr hinderlich. Im übrigen ist der Hauptgrund folgender: Die Schneidbarkeit eines Metalls hängt vor allem davon ab, daß seine Entzündungstemperatur (die Temperatur, bei der es im Sauerstoffstrahl verbrennt) und der Schmelzpunkt seines Oxyds unter seiner Schmelztemperatur liegen. Ist dies nicht der Fall, so wird das Metall wegschmelzen, ehe es sich entzündet hat, oder das feste Metalloxyd wird sich nicht gut aus der Schnittrinne beseitigen lassen. Bei Gußeisen z. B. liegen Entzündungstemperatur des Eisens und Schmelzpunkt des Eisenoxyds bei etwa 1350°, der Schmelzpunkt des Gußeisens aber bei 1200° ÷ 1250°. Man kann also Gußeisen eigentlich nur durchschmelzen, nicht zerschneiden und erhält natürlich eine breite, unsaubere Schnittrinne (s. nächsten Absatz).

Zum Durchschmelzen der nicht schneidbaren Metalle wird man nicht den Schneidbrenner, sondern den einfachen Schweißbrenner oder den elektrischen Lichtbogen nehmen. Bei letzterem wendet man entweder das Verfahren von Zerer oder das von Bernardos (s. Abschnitt I B) an. Die obere Grenze für dieses Durchschmelzen liegt aber schon bei 40 mm Wandstärke des Werkstoffs, da darüber hinaus der Stromverbrauch übermäßig hoch wird, und ein einfaches Durchschmelzen großer Wandstärken praktisch überhaupt unmöglich ist.

Schmiedeeisen und Stahl, schwieriger auch Bronze und Gußeisen, lassen sich ferner noch mit der Elektrotrennmaschine zerschneiden (Näheres s. Bd. II), die bei großen Schneidmengen wirtschaftlich sehr günstig arbeitet.

5. Das Schneiden von Gußeisen.

Die ersten Versuche, Gußeisen zu schneiden, beruhten darauf, weiches Schmiedeeisen, z. B. in Form eines Rohres mit einzuschmelzen und im Sauerstoffstrom innerhalb des gußeisernen Werkstücks zu verbrennen (D.R.P. Nr. 243939 des

Köln-Müsener Bergwerksaktienvereins). Aber auch hierbei waren die Kosten zu hoch, die Schnitte zu unsauber und der Vorgang viel zu umständlich. Erst neuerdings beschäftigte man sich wieder mit dieser Frage und konstruierte Gußeisenschneidbrenner mit außerordentlich kräftigen Heizflammen, um das bekanntlich schlechte Wärmeleitungsvermögen des im Gußeisen reichlich vorhandenen Graphits zu überwinden. Wie noch gezeigt werden soll, kann aber auch hier von einem Schneiden im eigentlichen Sinne nicht gesprochen werden; es handelt sich vorwiegend um ein regelrechtes Durchschmelzen, da tatsächlich nur ein geringer Teil des Eisens verbrennt.

Brennerkonstruktionen. Neben einer amerikanischen Bauart sind zwei verschiedene Gußschneidbrennerkonstruktionen auf den Markt gekommen, wovon die eine, Abb. 224, aus Frankreich, die andere, Abb. 225, aus Deutschland (Weberwerke, Siegen) stammt. Das Schema des französischen Brenners zeigt Abb. 224. Das Azetylen wird dem Brenner bei *e* zugeleitet und strömt zum Teil der Schneiddüse *a* zu, wo es mit dem aus *d* ausströmenden Hochdrucksauerstoff verbrennt. Der restliche Teil des Azetylens strömt durch das Rohr *f* zur Ringflamme *b*, angesaugt durch den aus der Injektordüse *c* der Mischvorrichtung austretenden Heizrückstrom. Der Hochdruck- (Schneid-) Sauerstoff wird bei *g* in den Schneidkopf eingeführt.

Der Weberbrenner (D.R.P.), Abb. 225, unterscheidet sich von der eben besprochenen Konstruktion vor allem dadurch, daß er nicht eine, sondern drei Vorwärmefflammen hat und den Hochdrucksauerstoff ohne Beimischung von Azetylen der Schneiddüse zuführt. *a* und *b* sind mit Azetylensäuerstoff gespeiste Vorwärmefflammen, *c* ist eine Ringmantelflamme,

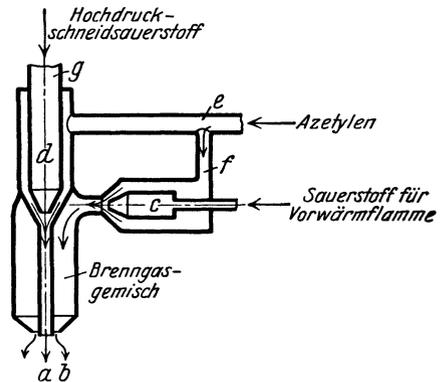


Abb. 224. Gußeisenschneidbrenner (französische Bauart).

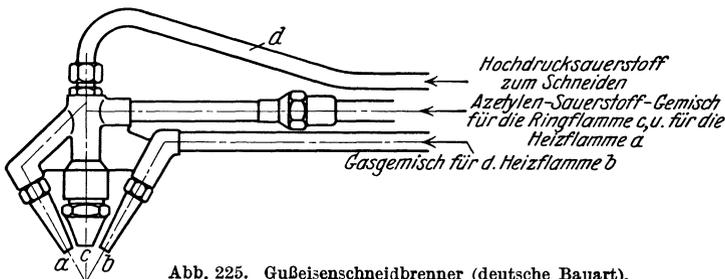


Abb. 225. Gußeisenschneidbrenner (deutsche Bauart).

in deren Mitte der reine Sauerstoffstrahl austritt. Das Hochdruckrohr *d* ist aus Kupfer hergestellt und spiralförmig um den Brennerkopf gewunden (was der Deutlichkeit halber in Abb. 225 fortgelassen ist), damit der Sauerstoff vorgewärmt wird. Die beiden winklig zueinander angeordneten Düsen *a* und *b* ergeben eine breite Schmetterlingsflamme. Abb. 226 veranschaulicht den Brenner in der Ansicht vor einer gußeisernen Säule liegend, die bei einem Gebäudeumbau abgeschnitten werden mußte.

Arbeitsvorgang und Leistungen. Das Schneid-, oder besser gesagt, Schmelzverfahren, verläuft nicht so einfach wie das Schmiedeeisenschneiden. Der Brenner

wird anfänglich an der Kante, an welcher der Schnitt eingeleitet werden soll, schräg gehalten, etwa in einem Winkel von 45° , so daß der Schnitt an der unteren Werkstoffkante und nicht an der oberen beginnt. Dann erst wird der Brenner allmählich rechtwinklig zur Schnittlinie eingestellt und in kleinen Hüben langsam

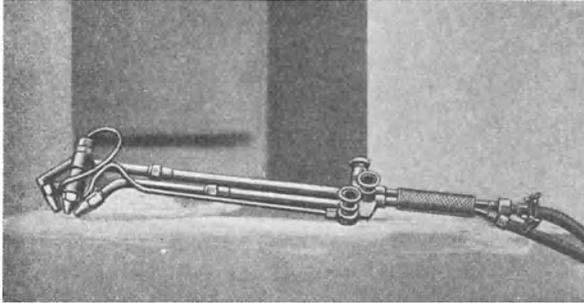


Abb. 226. Gußeisenschneidbrenner in Ansicht.

vor- und rückwärts bewegt (wie beim Sägen), also nicht in einer Richtung, wie dies sonst beim Schneiden üblich ist. Die Vorwärmeflammen sind möglichst mit einem Überschuß an Azetylen einzustellen. Der große Gasverbrauch bedingt leistungsfähige Azetylenentwickler bzw. beim Schneiden mit gelöstem Azetylen den Zusammenschluß mehrerer Gasflaschen.

Nach Angabe der Lieferfirma beträgt der normale Verbrauch an Azetylen für alle drei Düsen etwa 3000 l stündlich, doch steigt er natürlich mit wachsendem Sauerstoffdruck etwas an. Aus Zahlentafel 12 sind die auf Grund praktischer Erfahrungen der Verfasser ermittelten wichtigsten Leistungs- und Verbrauchsziffern für den Schneidbrenner nach Abb. 225 zu ersehen.

Zahlentafel 12.

Werkstoff- dicke mm	Sauerstoff- druck (Schneidstrahl) at	Gasverbrauch je m Schnittlänge		Stündliche Schnitt- leistung m
		Azetylen l	Sauerstoff l	
25	3 ÷ 4	900	1600	3,0 ÷ 3,5
50	4 ÷ 6	1600	3400	2,0
100	6 ÷ 8	2800 ÷ 3000	13000	1,0
150	8 ÷ 10	3900 ÷ 4100	16000	0,6 ÷ 0,7

Anwendbarkeit. Aus der Zahlentafel ergibt sich, daß die Schnittdauer bei Gußeisen wesentlich größer und der Gasverbrauch unverhältnismäßig höher ist als beim Schneiden schmiedbaren Eisens (s. Abb. 229). Die Schnittfugenbreite entspricht bis zu 50 mm Werkstoff etwa der Werkstoffdicke, darüber hinaus beträgt sie $70 \div 30$ vH der Werkstoffdicke. Die Schnittfuge ist meist stark konisch und geht erst bei über 50 mm Werkstoffdicke allmählich in die Senkrechte über. Diese Umstände, vor allem aber die erheblichen Kosten des Verfahrens, verhindern seine Einführung in so umfangreichem Maße, wie dies ursprünglich gedacht war. Im allgemeinen darf man sagen, daß das Verfahren dort gute Dienste leistet, wo es sich um die Verschrottung schwerer und sperriger Werkstücke handelt, deren Transport zur Fallbirne ausgeschlossen ist. Ferner wird man das Verfahren dort anwenden, wo andere technische Hilfsmittel versagen oder zu umständlich sind, z. B. beim Verschrotten eingebauter Gußstücke. Demnach ist das Anwendungsgebiet des Gußeisenschneidens auf nur ganz bestimmte Fälle beschränkt. Einen kennzeichnenden Fall gibt Abb. 227 wieder. Das betreffende Gebäude war erst nachträglich so ausgebaut bzw. zugebaut worden, daß das große gußeiserne Dynamorad beim Abbau zerschnitten werden mußte, damit man dann die Stücke durch die Tür oder das Fenster abtransportieren

konnte. Im allgemeinen wird man sonst auf viel billigere Weise zu verschrotten versuchen, entweder mit Schlag- oder mit Fallwerkzeugen. Für die Ausführung von Schnitten an Neukonstruktionen in Gußeisen kommt das Verfahren schon deshalb kaum in Frage, weil die örtliche Erhitzung der Werkstücke meist Riß-

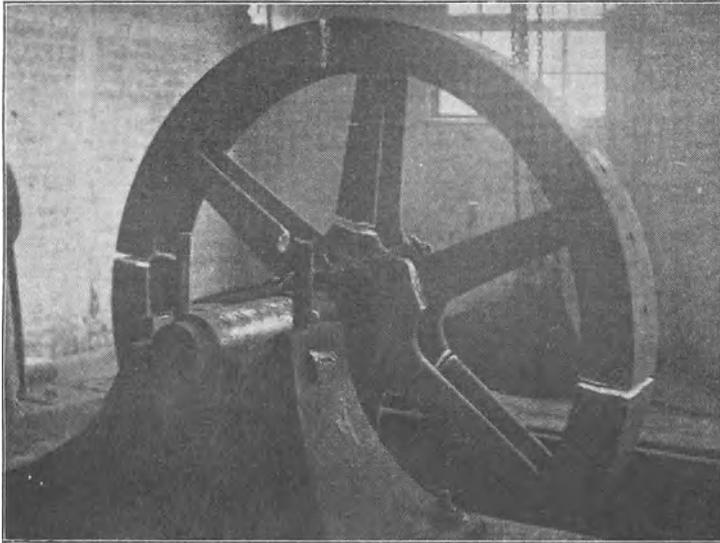


Abb. 227. Zerschnittenes gußeisernes Dynamorad.

bildung und Brüche (Spannungen) zur Folge hat. Versuche der Verfasser, gußeiserne Rohre zu schneiden oder Löcher in ihren Wänden anzubringen, zeitigten jedesmal mehr oder weniger große Rißbildung. Für Arbeiten dieser Art eignet sich das Verfahren nicht.

6. Das Schneiden unter Wasser.

Allgemeines. Die Arbeiten an versenkten oder gesunkenen Schiffen, der Abbruch unterhalb des Wasserspiegels liegender Brückenteile, das Abschneiden von Spundwänden unter Wasser usw. sind das Tätigkeitsgebiet des Unterwasserschneidbrenners. Bei seiner Konstruktion lagen verschiedene Schwierigkeiten vor. Das Verhältnis von Sauerstoff zum Brenngas (üblicherweise Wasserstoff) in der Vorwärmeflamme ist hier ein anderes als über Wasser. Die Flamme muß die ganze, zur vollständigen Verbrennung des Brenngases notwendige Sauerstoffmenge zugeführt erhalten, während man ja über Wasser mit weniger Sauerstoff bzw. mit Brenngasüberschuß arbeitet. In geringer Wassertiefe, bis etwa 3 m, kann der Druck der Flammengase die Flamme noch gegenüber dem Wasserdruck aufrechterhalten. In größeren Tiefen half man sich zuerst damit, daß man um das Brennermündstück ein Gehäuse legte, welches wasserleer gemacht wurde. Dann ging man zur Verwendung von Preßluft über, die aus dem Brenner ringförmig um die Flamme herum ausströmt und so das Wasser zurückdrängt.

Verfahren der Dortmunder Union. In den Jahren 1909÷1914 kamen vier Patente heraus, die das Schneiden unter Wasser durchführbar machten. Sie wurden von den Vereinigten Stahlwerken, Abteilung Dortmunder Union, angekauft und in längeren Versuchen weiter ausgebildet. Abb. 228 zeigt den

mit dem Gerät der Dortmunder Union ausgerüsteten Taucher vor einem Versuchsbehälter stehend. Der Taucher hat in der linken Hand den Unterwasserschneidbrenner mit vier angeschlossenen Schläuchen, einen für Wasserstoff, einen für Vorwärmesauerstoff, einen für Schneidsauerstoff und den vierten für Preßluft. Anfangs erfolgte das Niedergehen des Tauchers mit brennender Vorwärme Flamme. Günstiger ist es und notwendig bei etwaigem Erlöschen der Flamme, wenn der Taucher den Brenner erst an der Arbeitsstelle in Tätigkeit setzt. Die Dortmunder Union hat hierzu einen elektrischen Unterwasserzündapparat konstruiert, den der Taucher in Abb. 228 in der rechten Hand hält. Der Zündapparat besteht im wesentlichen aus einer elektrischen Zünd-

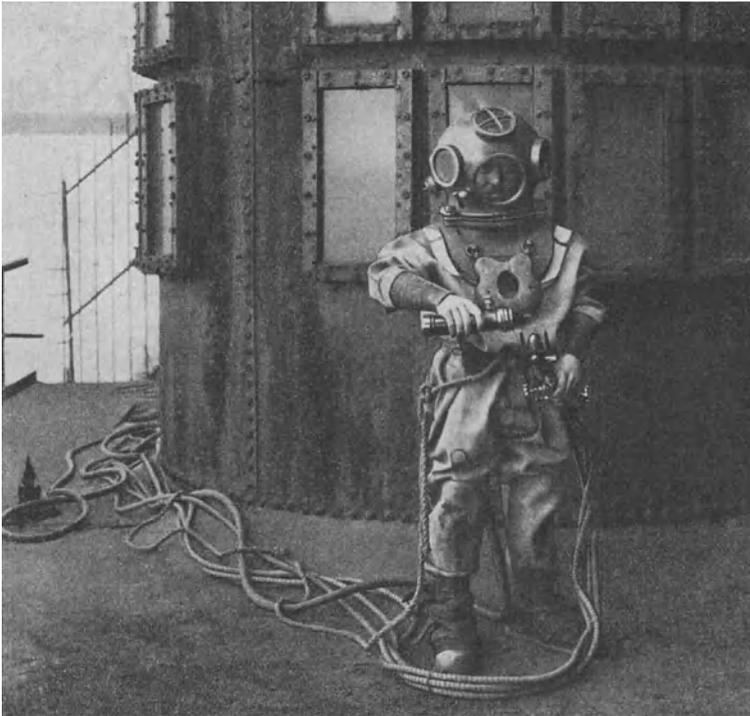


Abb. 228. Taucher mit Unterwasserschneidbrenner.

kerze, die Hochspannungsstrom von einem kleinen Umformer erhält; diesem wird wieder von einem Akkumulator aus Strom zugeführt. Das Wasser im Versuchsbehälter wird mit Hilfe von Druckluft auf verschiedene Drücke eingestellt, wie sie den verschiedenen Wassertiefen entsprechen. Der Schneidbrenner der Union kann Werkstoffstärken bis 150 mm trennen und arbeitet ohne Störung in Wassertiefen bis zu 40 m. Die Gasdrücke für die verschiedenen Wassertiefen sind durch Versuche festgelegt. So sind z. B. für 20 ÷ 25 m Wassertiefe erforderlich: 4,5 at für Preßluft und Wasserstoff, 6 at für Vorwärme- und Schneidsauerstoff.

Weitere Verbesserungen dieser Unterwasserschneidbrenner sind der Dortmunder Union durch zwei Patente vom Jahre 1916 geschützt. Nach D.R.P. Nr. 301271 arbeitet ein preßluftloser Brenner, bei welchem Brenngas und Sauerstoff so gemischt werden, daß die äußere Schicht des Gemisches beim Aus-

tritt aus brenngasarmem oder aus reinem Sauerstoff besteht. Außerdem wird die innere, die Schneiddüse, gegen die äußere zurückgestellt. Infolgedessen brennt die Vorwärmeflamme auch unter Wasser ganz ruhig, und die Zufuhr von Preßluft wird unnötig. Das D.R.P. Nr. 299612 bringt sodann noch ein bewegliches Mundstück für den Brenner, so daß der Taucher durch Verstellen des Brennerkopfes auch an wenig zugänglichen Stellen möglichst viel ausschneiden kann.

D. Schnittleistungen.

Zahlentafel 13 zeigt uns neben den Bohrungsdurchmessern der Schneiddüse und dem Sauerstoffschneiddruck den Gasverbrauch an Sauerstoff, Azetylen und Wasserstoff und die stündlich erreichbaren Schnittleistungen für die einzelnen Blechstärken beim Schneiden von Schmiedeeisen und Stahl (von Hand) als Durchschnittszahlen aus Angaben der Firmen und Versuchen der Verfasser. Beim Schneiden mit Maschinen lassen sich günstigere Zeiten erzielen.

Zahlentafel 13.

Blech- stärke mm	Bohrung der Schneid- düse mm	Sauerstoff- schneiddruck at	Gasverbrauch je m Schnittlänge			Stündl. Schnitt- leistung m
			Sauerstoff l	Azetylen l	Wasserstoff l	
5	0,8	1,3	50	12	60	15
10	0,8	2,0	100	18	80	12
20	1,0	3,0	175	25	100	10
50	1,5	4,6	550	50	190	9
100	1,5	7,5	1200	100	375	7
200	1,5	10,0	2700	200	720	5
300	2,0	11÷13	4700	310	1100	4

Abb. 229 gibt einen Überblick über den Verbrauch an Wasserstoff und Sauerstoff beim Blechschneiden von Hand nach den Angaben von Griesheim. Zweckmäßig nimmt man für Blechstärken bis etwa 50 mm einen kleinen, leichten Schneidbrenner, darüber hinaus einen größeren, schwereren. Beim Azetylen-sauerstoffschneidbrenner ist der Azetylenverbrauch durchschnittlich nur ein Drittel bis ein Viertel des Wasserstoffverbrauchs beim Wasserstoffschneidbrenner. Der Sauerstoffverbrauch ist derselbe, die Schneidzeit auch ungefähr dieselbe wie beim Schneiden mit Wasserstoff-Sauerstoff. Der verhältnismäßig geringe Azetylenverbrauch ist demnach der Hauptgrund dafür, daß das Schneiden mit Azetylen und Sauerstoff billiger ist als das Schneiden mit Wasserstoff. Grundsätzlich ist nicht zu viel Gewicht auf eine, so wieso nur in geringem Maße mögliche Verringerung der Schnittzeit zu legen. Der Gasverbrauch ist das wesentlichste; es ist daher dem Schneidbrenner, der den ge-

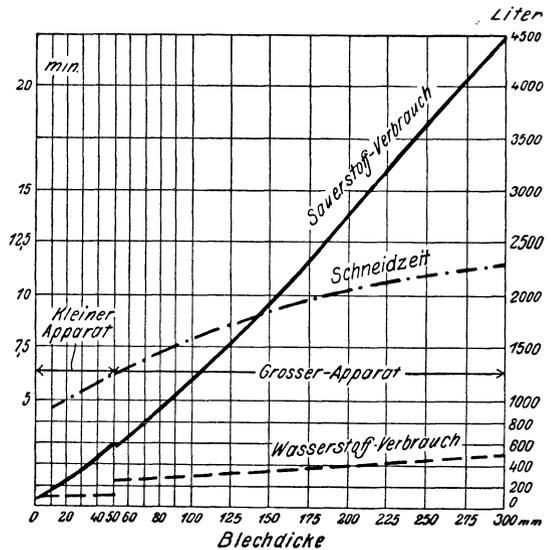


Abb. 229. Gasverbrauch und Zeit für 1 m Schnittlänge beim Wasserstoff-Sauerstoffschneidbrenner.

ringsten Gasverbrauch (insbesondere den geringsten Sauerstoffverbrauch) hat, der Vorzug zu geben.

Schneidversuche mit einem Gemisch von Methan und Wasserstoff als Heizgas der Vorwärmeflamme haben bei einer Mischung von 35 vH Methan und 65 vH Wasserstoff eine Heizgasersparnis von etwa 50 vH gegenüber der Verwendung von Wasserstoff ergeben. Außerdem erwies sich der Ringdüsenbrenner bei diesen Versuchen infolge wesentlich höheren Heizgasverbrauchs als

unwirtschaftlicher als der Zweidüsenbrenner, was mit der breiteren Flamme begründet wird.

Zahlentafel 14.

Maße mm	Schneidzeit min	Gasverbrauch	
		Wasserstoff l	Sauerstoff l
Winkelleisen			
20 · 20 · 4	0,50	5	8
30 · 30 · 6	0,75	8	10
40 · 40 · 8	0,75	9	10
60 · 60 · 8	1,00	11	14
70 · 70 · 9	1,00	12	18
100 · 100 · 12	1,50	20	33
140 · 140 · 15	1,75	25	40
160 · 160 · 17	2,00	30	50
I-Eisen			
NP 3	1,00	8	12
„ 5	1,20	13	17
„ 8	1,40	17	32
„ 12	1,45	24	38
„ 16	2,00	32	48
„ 20	2,10	40	57
„ 26	2,30	58	80
„ 34	3,10	90	150
„ 50	4,00	130	260
□-Eisen			
NP 20	2,10	34	46
„ 48	4,00	110	215
Rundeisen			
20	0,30	15	20
40	0,40	18	30
60	1,00	22	60
100	1,20	48	135
300	3,00	150	1300
600	8,00	7500	8400

Bei dünnen Blechen ist das Schneiden mit der Schere billiger als das Brennschneiden, bei starken Blechen ist es umgekehrt, da, wie man auch aus Abb. 229 erkennt, die Schneidzeit nur wenig bei stärkeren Blechen ansteigt. Beim Abschneiden von Gußtrichtern an Stahlgußstücken wird das Brennschneiden etwa 3÷6mal billiger als das Absägen mit der Kaltsäge. Hinzu kommt noch, was vor allem bei schweren Stücken wichtig ist, daß das Hinschaffen zur Säge und das Verschieben an der Säge nach dem Absägen jedes einzelnen Trichters fortfällt.

Schneidzeit und Gasverbrauch bei Profileisenschnitten sind aus Zahlentafel 14 zu ersehen.

Einzelkostenberechnungen lassen sich auf Grund der Angaben in Abb. 229 und Zahlentafel 13 oder 14 oder der Errechnung des Gasverbrauchs aus dem Ablesen des Gasdrucks an den Manometern in derselben Weise durchführen, wie es im Abschnitt VI für das Schweißen klargelegt wurde.

Beim Schneiden unter Wasser liegen die Verhältnisse naturgemäß wesentlich anders. Der Gasverbrauch beträgt bei gleichen Schnittverhältnissen das 4÷6fache jenes beim Schneiden an der Luft. Die Schnittleistung beträgt etwa 30÷40 vH derjenigen über Wasser; sie hängt im übrigen sehr von der Zugänglichkeit der Schnittstelle, von der Geschicklichkeit des Tauchers und von der Durchsichtigkeit des Wassers ab.

VIII. Förderung der Schweiß- und Schneidtechnik.

Hand in Hand mit der Weiterentwicklung der Schweißeinrichtungen durch die betreffende Industrie geht in Deutschland trotz der Ungunst der Verhältnisse erfreulicherweise eine Förderung, Weiterausgestaltung und Verbesserung der

Schweißverfahren durch wissenschaftliche Arbeiten, Vorträge, Unterrichtsübungen in technischen Schulen, Einrichtung von Schweißkursen usw., worüber kurz das zur Zeit Wesentlichste mitgeteilt werden soll.

Wissenschaftliche Arbeiten. Vorträge. Auf dem Gebiet aller neueren Schweißverfahren, insbesondere auch der Gasschmelzschweißung, arbeiten: Die Laboratorien einiger Hoch- und Mittelschulen und größerer industrieller Werke, die Forschungsgemeinschaft für Schmelzschweißung des Verbands für autogene Metallbearbeitung, der Werkstoffausschuß des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute und der Fachausschuß für Schweißtechnik im Verein Deutscher Ingenieure. Letzterer hat die Untergruppen Schweißgerät, Betriebsstoffe, Arbeitsverfahren, Personalangelegenheiten, Begriffe und Zeichensprache, körperlicher Schutz und Unfallverhütungsmaßnahmen, Fachzeitschriften und eine Förderergruppe gebildet. Weiter betätigt sich nach diesen Richtungen der Verband für autogene Metallbearbeitung mit seinen Ortsgruppen, und zwar sowohl in Sitzungen und Vorträgen wie in seiner Zeitschrift „Die Schmelzschweißung“. Die Mitteilungen des vorher genannten Fachausschusses und andere schweißtechnische Fachbeiträge erscheinen in der Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure, im „Maschinenbau“ usw. Vorträge über die neueren Schweißverfahren werden heute zahlreich von Wissenschaftlern, Fachspezialisten und Vertretern der Fachindustrie abgehalten.

Unterricht an technischen Schulen. Als Hauptschwierigkeiten, den auch in allgemeintechnischer Beziehung so wertvollen Unterricht über neuere Schweißverfahren an allen technischen Schulen einzuführen, haben sich ergeben: Ein Mangel an Anschauungsmitteln für den Vortragsunterricht, Schwierigkeiten in der Beschaffung der Schweißeinrichtungen, Bleche usw., ferner auch ein Mangel an geeigneten Lehrkräften. Durch Entgegenkommen der Schweißindustrie und der die Schweißverfahren benutzenden Industrie, durch Wirken der Fachverbände, ferner durch Veranstaltung von Kursen zur Ausbildung von Lehrkräften wird sich allmählich Abhilfe schaffen lassen. Besonders wichtig ist es jedenfalls, sowohl Vortragsunterricht wie praktische Übungen an den Schulen abzuhalten und die dafür notwendige Zeit im technologischen Unterricht zur Verfügung zu stellen. Weit fortgeschritten in dieser Unterrichtserteilung sind hauptsächlich diejenigen technischen Hoch- und Mittelschulen, an deren Sitz gleichzeitig, und oft in Verbindung mit den Schulen, Schweißkurse eingerichtet sind, insbesondere Aachen, Altona, Berlin, Braunschweig, Bremen, Breslau, Chemnitz, Dresden, Gleiwitz, Hamburg, Köln, Stettin und Zwickau.

Allgemeines über Schweißkurse. In richtiger Erkenntnis der außerordentlichen Bedeutung, die die möglichst weitgehende Verbreitung der grundlegenden Kenntnisse über die neueren Schweißverfahren in allen in Betracht kommenden technischen Kreisen für gute Schweißungen sowohl, wie für die Verbesserung und Weiterausbildung dieser Verfahren hat, sind bereits vor dem Weltkrieg an verschiedenen Stellen Vorkurskurse und auch praktische Übungen eingerichtet worden. So hat sich z. B. damals schon Ingenieur Th. Kautny durch Abhaltung von Kursen an der Kölner Maschinenbauschule nach dieser Richtung hin betätigt, und auch in Hamburg fanden schon seit 1910 an den dortigen Technischen Staatslehranstalten Kurse für autogene Metallbearbeitung statt. Nach dem Krieg hat sich — es soll hier nur von deutschen Arbeiten auf diesem Gebiet die Rede sein — insbesondere der Verband für autogene Metallbearbeitung solcher Kurse wie auch der Weitervervollkommnung der neueren Schweißverfahren angenommen. Von fast allen Ortsgruppen dieses Verbandes, also an über 30 Stellen, werden heute schon in regelmäßigen Abständen Schweißkurse abgehalten und auch an anderen

Orten sind schon vielfach Tageskurse, die etwa eine Woche dauern, durchgeführt worden.

Das Interesse der Industrie und der Fachkreise für solche Schweißkurse ist groß. Teils werden Ingenieure, Meister und Schweißer auf Kosten der Werke zu den Kursen geschickt, teils kommen sie in großer Zahl auf eigene Kosten. Vorläufig nehmen wohl an den meisten Stellen noch Ingenieure, Meister und Schweißer gemeinsam an ein und demselben Kursus teil. Wie aus dem nächsten Absatz näher zu ersehen ist, plant man aber die Unterteilung der Einführungskurse in solche mit mehr elementarer Lehrweise und vorwiegend praktischer Übungen und in solche mit mehr wissenschaftlicher Lehrweise und hat letztere auch schon einzeln durchgeführt. Außer den Einführungskursen sind noch Kurse für Fortgeschrittene vorgesehen und ebenso wie Sonderkurse für bestimmte Fachrichtungen an einzelnen Stellen schon im Gange.

Richtlinien für Schweißkurse. Vom Fachausschuß für Schweißtechnik im Verein Deutscher Ingenieure und vom Verband für autogene Metallbearbeitung werden gemeinsam Richtlinien für Gasschmelz- und Elektroschweißkurse bearbeitet. Dem dringenden Verlangen der Praxis nach Unterlagen für Besuchsbescheinigungen solcher Kurse konnte bereits durch Festlegung des Wortlauts für eine solche Bescheinigung entsprochen werden, auf deren Rückseite der folgende Auszug der Richtlinien abgedruckt ist:

Die Kurse werden auf der Grundlage strengster Neutralität unter Ausschluß jeder Art von Werbung für bestimmte Erzeugnisse durchgeführt. Die Veranstalter bieten Gewähr für sachgemäße Vorträge und Übungen. Die Lehrkräfte sind Fachleute von anerkannten Fähigkeiten. — Es werden A. Gasschmelzschweißkurse und B. Elektroschweißkurse veranstaltet.

A. Gasschmelzschweißkurse.

Kursarten:

I. Einführungskurse (für Anfänger, aber auch für bereits Geübte).

a) Tageskurse: Dauer sechs halbe Tage hintereinander, 12 Stunden Vortrag, 18 Stunden Übungen.

Lehrplan: Vorträge: Grundlagen — Schweißgase — Gasflaschen — Druckminderventile — Entwickler und Zubehör — Schweißbrenner — Schweißdrähte — Sicherheitsmaßnahmen — Prüfverfahren der Werkstatt.

Übungen: Bedienung der Geräte — Flammeneinstellung — Schweißen von Eisen, Kupfer, Aluminium und Legierungen — Brennschneiden — Prüfung der geschweißten Proben.

b) Abendkurse: Dauer mehrere Wochen, 12 Stunden Vortrag, 18 Stunden Übungen.

Lehrplan: wie bei a).

II. Gehobene Einführungskurse (wissenschaftliche Vortragsweise, 18 Stunden Vortrag, 18 Stunden Übungen).

Lehrplan: Vorträge: Schweißgase, insbesondere Azetylen — Gasflaschen — Druckminderventile — Entwickler und Zubehör — Schweißbrenner — Schweißdrähte und ihre Einwirkung auf die Schweißnaht — Metallurgische Vorgänge bei der Schmelzschweißung — Vorbereitung der Schweißnaht — Schweißen von Eisen und Nichteisenmetallen — Prüfung der Schweißnaht in der Werkstatt und im Laboratorium — Die Schweißung als Konstruktionselement — Die Reparaturschweißung — Kalkulations- und Wirtschaftlichkeitsfragen. — Überblick über die sonstigen neueren Schweißverfahren, insbesondere über die Elektroschweißung.

Übungen: wie bei I. a), dazu Besichtigung eines Schweißbetriebes.

III. Praktikerkurse (nur für Fortgeschrittene). Die Teilnehmer müssen auf einer gewissen Höhe praktischer Vorbildung stehen und sich über ihre Fertigkeit vor Zulassung ausweisen. — Erwünscht ist vorherige Teilnahme am Einführungskursus.

Keine Vorträge, theoretische Erörterungen während der Übungen (Teilnehmerzahl höchstens 20).

a) Tageskurse: Je zwei vierstündige Übungen an sechs aufeinanderfolgenden Tagen.

Lehrplan: Die Übungen umfassen sämtliche für Industrie und Handwerk in Frage kommenden Arbeitsverfahren und bestehen hauptsächlich in sachgemäßer Erledigung schweißtechnischer Arbeiten an neuen Werkstücken oder von Reparaturen.

b) Abendkurse: Dauer mehrere Wochen, 16 Übungen von je 3 Stunden.

Lehrplan: wie bei III. a).

IV. Sonderkurse: Neben den vorgenannten Kursarten werden bei Bedarf Kurse, die auf bestimmte Fachrichtungen (z. B. Rohrleitungsbau, Metallschweißung, Kesselbau, Schiffbau usw.) zugeschnitten sind, veranstaltet.

(Für einen Sonderkurs sind Angaben über Ort, Dauer und Lehrplan hier aufzuführen.)

B. Elektroschweißkurse.

Kursarten:

I. Einführungskurse (für Anfänger, aber auch für bereits Geübte).

a) Tageskurse: Dauer sechs halbe Tage hintereinander, 12 Stunden Vortrag, 18 Stunden Übungen.

Lehrplan: Vorträge: Elektrotechnische Grundlagen des Schweißens — Die Stromerzeugung — Hilfsmittel beim Schweißen — Schweißelektroden — Vorbereitungen und Herrichten des Schweißstücks — Die Schweißverfahren — Die beim Schweißen auftretenden Schwierigkeiten, Sicherheitsmaßnahmen — Prüfverfahren der Werkstatt.

Übungen: Bedienung der Schweißmaschinen — Auftretende Störungen und ihre Gründe — Ziehen der Schweißraupen — Flachnähte und Kehlnähte — Wagerichte, senkrechte und Überkopfschweißungen — Auftragsschweißungen — Gußeisen-Kalt- und Warmschweißungen — Widerstandsschweißungen — Prüfung der geschweißten Proben.

b) Abendkurse: Dauer mehrere Wochen, 12 Stunden Vortrag, 18 Stunden Übungen.

Lehrplan: wie bei a).

II. Gehobene Einführungskurse (wissenschaftliche Vortragsweise, 18 Stunden Vortrag, 18 Stunden Übungen).

Lehrplan: Vorträge: Elektrotechnische und metallurgische Grundlagen des Lichtbogenschweißens — Schweißstromerzeugung — Hilfsmittel beim Schweißen — Schweißelektroden und sonstiges Zubehör — Vorbereiten und Herrichten des Schweißstücks — Die verschiedenen Schweißverfahren und ihre Anwendungsgebiete (Ausbesserung und Neubau, Eisenkonstruktions-, Dampfkessel- und Maschinenbau usw.) — Prüfung und Beurteilung der Schweißnähte — Wirtschaftlichkeitsfragen — Überblick über die elektrische Widerstandsschweißung.

Übungen: wie unter I. a), dazu: Besichtigung einer Elektroschweißerei.

Die Angaben über Praktikerkurse und Sonderkurse haben bei den Elektroschweißkursen denselben Wortlaut wie bei den Gasschmelzschweißkursen.

Aus den allgemeinen Richtlinien sei noch auf folgende Punkte hingewiesen:

Technische Einrichtungen. Die Zahl der Azetylenentwickler richtet sich nach der Anzahl der jeweils zugelassenen Teilnehmer, desgleichen der Umfang der erforderlichen Geräte. Im allgemeinen sollen nur 2÷3 Teilnehmer an einem Schweißisch abwechselnd arbeiten, während der oder die beiden anderen beobachten und Hilfeleistung verrichten. Den Teilnehmern ist die Möglichkeit zu geben, auch mit anderen Schweißgasen als Apparateazetylen zu arbeiten, und zwar unbedingt mit Wasserstoff und Flaschenazetylen, möglichst auch mit Leuchtgas und Benzol.

Beim Elektroschweißkurs soll außer mit Gleichstromschweißumformern auch mit Wechselstromschweißtransformatoren gearbeitet werden. Den Übenden mit der praktischen Bedienung von Widerstandsschweißmaschinen vertraut zu machen, ist erwünscht. Stehen Widerstandsschweißmaschinen nicht zur Verfügung, so wird sich meistens der Besuch einer entsprechend eingerichteten Schweißfirma ermöglichen lassen. Ebenso ist es empfehlenswert, den Teilnehmern unter Führung des Übungsleiters den gemeinschaftlichen Besuch einer etwa in der Nähe gelegenen Warmschweißerei an einem der Übungsabende zu erwirken, um gerade nach dieser Hinsicht herrschende falsche Vorstellungen zu beseitigen.

Behandlung des Unterrichtsstoffes. Die Vorträge sind durch gute Lichtbilder zu unterstützen. Es ist zweckmäßig, die Diapositive von einer Zentralstelle aus einheitlich zu beschaffen. Den Teilnehmern ist Gelegenheit gegeben, am Schlusse jeden Vortrages an den Vortragenden Fragen über das besprochene Gebiet zu richten. Am Schlusse jeden Übungsabends werden die Teilnehmer auf besondere Fehler, die sie während des Übens gemacht haben, aufmerksam gemacht und zu einer Aussprache zusammengerufen. Die Art der Werkstoffprüfung wird für alle Kurse vereinheitlicht (Normen des Fachausschusses für Schweißtechnik).

Kursusabschluß. Dem Teilnehmer wird nach Beendigung des Kursus auf Wunsch eine Bestätigung ausgehändigt, auf welcher der Besuch der Vorträge und die Teilnahme an den praktischen Übungen bescheinigt wird. Die Bescheinigung soll für alle Kurse den gleichen Wortlaut haben. Eine Ausstellung von Zeugnissen erfolgt nicht, da sie voraussetzt, daß die Schweißer wesentlich längere Zeit ausgebildet worden sind und sich einer Einzelprüfung unterziehen.

Teilnehmergebühr. Die Festlegung einer allgemeingültigen Teilnehmergebühr ist nicht ratsam. Ihre Höhe richtet sich nach der Anzahl der jeweils zugelassenen Teilnehmer und nach den an den verschiedenen Plätzen des Reiches wechselnden Betriebsunkosten für solche Kurse.

Unfallversicherung. Die Teilnehmer sind für die Zeit der praktischen Übungen gegen Unfall zu versichern. Die Gebühren hierfür sollen in der Teilnehmergebühr einbegriffen sein. Um einen möglichst geringen Prämiensatz zu erzielen, ist es zweckmäßig, die Versicherung von einer Zentralstelle aus für alle Kurse des Reiches abzuschließen, da bisher in einzelnen Fällen die Versicherungsgebühr sogar die Teilnehmergebühr überstieg.

Lehrlingsausbildung und Schweißerhandwerk. Zur Weiterausbildung der Schweißer sind zunächst die vorhandenen Kurse zu benutzen und unter Umständen zu erweitern. In Zukunft ist aber eine einheitliche Lehrlingsausbildung anzustreben, die durch eine Gesellenprüfung abzuschließen ist. Um für die Unterweisung der durch Kurse Auszubildenden wie der Lehrlinge genügend Lehrkräfte zu erhalten, muß auf die Ausbildung von Ingenieuren und Lehrmeistern besonders Wert gelegt und zu diesem Zweck wiederum der schweißtechnische Unterricht an technischen Lehranstalten unterstützt werden; hierbei ist auch zu verlangen,

daß schon bei der praktischen Tätigkeit des angehenden Ingenieurs die neueren Schweißverfahren (insbesondere die Schmelzschweißung) nicht vernachlässigt werden.

Verschiedene Verbände vertreten bereits jetzt den Standpunkt, daß auf Grund der Entwicklung der Schweißtechnik und der hierdurch an die Schweißer zu stellenden Anforderungen der Schweißerberuf in Zukunft als ein Facharbeiterberuf anzusehen ist, d. h. als ein Beruf, der in drei- bis vierjähriger Lehrzeit im Sinne der Gewerbeordnung erlernt werden muß. Eine Anzahl größerer Werke und auch die Reichsbahn haben bereits die entsprechende Lehrlingsausbildung in die Wege geleitet und gehen durchweg so vor, daß sie den Lehrling zunächst $1\frac{1}{2}$ ÷ 2 Jahre lang als Schlosser ausbilden, wobei sie ihn zum Teil $\frac{1}{2}$ Jahr oder länger in der Kesselschmiede und im Apparatebau beschäftigen. Die Weiterausbildung zum eigentlichen Schweißer wird noch verschieden gehandhabt. Allen Ausbildungsarten gemeinsam ist nur ein theoretischer Unterricht im Schweißen neben der praktischen Ausbildung. Letztere aber wird, in der Dauer von 1 bis 2 Jahren, entweder so gehandhabt, daß der Lehrling sowohl in der Gas- wie in der Elektroschmelzschweißung angelernt wird, oder in der Weise, daß er wohl beide Verfahren in halb- oder einjähriger Lehrzeit kennenlernt, dann aber nur als Gasschmelzschweißer oder nur als Elektroschmelzschweißer weiter ausgebildet wird. Richtlinien für die Lehrlingsausbildung im Schweißen werden zur Zeit vom Fachausschuß für Schweißtechnik im Verein Deutscher Ingenieure gemeinsam mit dem Verband für autogene Metallbearbeitung bearbeitet. Auf Einzelheiten dieser Ausbildung kann deshalb hier noch nicht eingegangen werden.

Sachverzeichnis.

- Abschrecken (Kupfer) 155.
Absperrhähne 82.
Acagen 20.
Äthylen 8, 14.
Aludur 162.
Aluminium 161.
Aluminiumlötung 171.
Aluminiumschweißung 162.
Ammoniak 17.
Anstellwinkel (Brenner) 89.
Anwärmeverrichtungen 146.
Anwendungsgebiete der Gasschmelzschweißung 110.
Anzünden (Flamme) 95.
Arten der Schweißverfahren 1, 2.
Asbestbekleidung 105.
Ausbesserungsschweißung 130.
Ausbrennschutz 39.
Ausglühen (Schweißnaht) 138.
Aussehen der Schweißnaht 100, 135.
Autogen (Begriff) 1.
Autogenes Schneiden 196.
Azetylenausschuß 47.
Azetylenbrenner 80.
Azetylen-Dissous 21.
Azetylenherzeugung 15.
Azetylenherzeugungsanlagen 47.
Azetylenweißanlage 8.
Azetylenverordnung 47.
- Beagid 19.
Bearbeitung der Schweißnaht 137.
Begriff des Schweißens 1.
Behandlung der Azetylenentwickler 67.
— der Brenner 98.
— der Druckminderventile 43.
— der Sicherheitsvorlage 78.
— der Stahlflaschen 28, 35
Benardosverfahren 5.
Benzol 15.
Benzolbrenner 88.
Benzolschweißanlage 9.
Berechnung des Flascheninhalts 30.
- Beschickungsverschluß 66.
Bessemerstahl 114.
Bewegung der Brenner 101.
Biegeprobe 178.
Blaugas 10, 14.
Blaugasbrenner 88.
Blaugasschweißanlage 10.
Blechschnitten 205.
Blechsweißung 118.
Blei 168.
Bleischweißung 168.
Bleivergiftung 169.
Bördeln 113.
Borax 107.
Brennereinteilung 79.
Brennerhandhabung 95.
Brennerhaltung 99.
Brennschnitten 196.
Brillen 104.
Bronze 154.
Bronzeschweißung 160.
- Calorie 17.
Canzlerdraht 157.
Chemischer Reiniger 73.
Chemische Untersuchungen 185.
- Dampfkesselschweißung 133.
Dampfverteilerschweißung 129.
Dehnung der Schweißnaht 171.
Dissousgas 21.
Doppeldruckminderventil 42.
Dreischlauchbrenner 198.
Druckmesser 37.
Druckminderventil 36.
Düsenreinigung 96.
Duralumin 161.
- Edelstahl 111.
Eigenschaften der Metalle 108, 153.
Einfrieren der Ventile 44.
Einwurfentwickler 50.
Einzelbrenner 81.
Elektrische Schweißverfahren 1, 2, 4, 5.
Elektrostahl 111.
Entmischung 93.
Entschlammung 70.
- Entschlammungsvorrichtung 64.
Erstarrungspunkt 109.
Euflamol 20.
Explosionsgefahr (Azetylen) 20.
— (Stahlflaschen) 35.
- Farbe der Metalle 109.
Faßschweißung 119.
Fernholzapparat 88.
Festigkeitsuntersuchungen 174.
Flamme (Schweißbrenner) 89.
Flammenbild 91.
Flammenrückschlag 85, 92.
Flaschenverbindungen 128.
Flasche 24.
Flaschenazetylen 21.
Flaschengas 21.
Flascheninhalt 24.
Flaschenventil 26.
Flickeneinschweißen 134.
Flußbeisen 111.
Flußmittel 107.
Flußstahl 111.
Framabrenner 86.
Framaventil 87.
Führungswagen 205.
- Gasglocke 72.
Gasinhalt der Flasche 24.
Gasreinheit (Azetylen) 33.
Gassammler 72.
Gasschmelzschweißung 2.
Gasverbrauch 188, 189.
Gefäßschweißung 120.
Gelbguß 153.
Gerätekasten 95.
Gewicht der Metalle 109.
Goldschweißung 169.
Graphit 141.
Griesogen 20.
Güte der Schweißnaht 172.
Gußeisen 141.
Gußeisenschnitten 208.
Gußeisenschweißung 141.
Gußrohrschweißung 153.
Gußspannungen 145.
- Haltung der Brenner 99.

- Hämmern der Schweißnaht 137.
 Hammerschweißung 1, 2, 167.
 Handhabung der Brenner 95, 99.
 Handrohr 82.
 Hartguß 142.
 Hartlöten 170.
 Hartwerden der Schweißung 143.
 Hauptwasservorlage 77.
 Heratol 20.
 Hochdruckentwickler 60.
 Hochdruckschlauch 104.
 Hochdruckventil 42.
 Hochdruckvorlage 77.
- Inhaltsprüfung der Stahlflaschen** 28.
- Kalkgrube 70.
 Kalorie 17.
 Kalziumkarbid 15.
 Karbid 15.
 Karbidid 19.
 Karburylen 20.
 Katalysol 20.
 Kleingefüge 179.
 Klingerit 20.
 Knallgasflamme 94.
 Korrosion 133.
 Kosten der Schweißung 187.
 Kostenberechnung 195.
 Kreisschneidmaschine 200.
 Kühlung des Sauerstoffs 84.
 Kupfer 153.
 Kupferschweißung 154.
 Kurse für Schweißen 215.
- Lagerung der Stahlflaschen** 33.
 Lautal 162.
 Legierte Stähle 138.
 Legierungen 153, 161.
 Leistungen der Schweißverfahren 187.
 — beim Schneiden 213.
 Lehrlingsausbildung 218.
 Leuchtgasbrenner 87.
 Leuchtgaszerzeugung 13.
 Leuchtgasschweißanlage 8.
 Lichtbogenschweißung 5.
 Lösungsvermögen (Wasser für Azetylen) 69.
 Löten 1, 170.
 — (autogen) 170.
- Magnalium 161.
 Manometer 37.
 Mechanische Reiniger 74.
 Messingschweißung 159.
 Metallographische Untersuchungen 179.
 Methan 8, 14.
- Mischdüse 83.
 Mischdüsenbrenner 84.
 Mischgasbrenner 86.
 Mitteldruckentwickler 57.
 Muffelofen 105.
 Muffenrohrschweißung 129.
- Nachvergasung** 65.
 Nachwärmen der Gußstücke 145.
 Nichtisenmetalle 153.
 Nichtrostender Stahl 139.
 Nickelschweißung 167.
 Niederdruckazetylen 15.
 Niederdruckbrenner 81.
 Nieten 1.
 Nietkopfab Brenner 199.
 Normalisierung 89.
- Oxy-Benz-Brenner** 88.
- Panzerschlauch** 104.
 Perlitguß 142.
 Phosphorbronze 154.
 Phosphorwasserstoff 17.
 Pistole (Brenner) 79.
 Platinschweißung 169.
 Preise (von Karbid, Sauerstoff usw.) 195.
 Preßschweißung 1.
 Profileisenschneidmaschine 200.
 Profileisenschweißung 122.
 Prüfung des Azetylens 33.
 — der Schweißnaht 138, 172.
 — der Stahlflaschen 25.
 Puratylene 20.
- Radikal** 20.
 Regulierung der Schweißflamme 94.
 Reinheit der Gase 33.
 Reiniger, chemische 73.
 — mechanische 74.
 Reinigung der Brenner 96.
 Reparaturschweißungen 130.
 Respirator 105, 121.
 Retortenentwickler 54, 63.
 Richtlinien für Schweißkurse 216.
 Ringdüsenbrenner 197.
 Rißschweißungen 130.
 Röntgenprüfung 186.
 Roheisen 108.
 Rohrleitungen 49.
 Rohrschweißungen 124, 153.
 Rotgußschweißung 160.
 Rückschlag der Flamme 96.
 Rückschlagpatrone 40.
 Rückschlagsicherung der Brenner 85.
 Rückwärtsschweißung 191.
 Rundnahtschweißung 125.
- Sauerstofferzeugung 10.
 Sauerstoffleitung 34.
 Schaft des Brenners 82.
 Schlammablassen 64, 69.
 Schläuche 103.
 Schlauchanschlüsse 83, 103.
 Schlauchtüllen 103.
 Schmelzschweißung 1.
 Schmelzpunkte 110.
 Schmiedbarer Guß 141.
 Schmiedeeisen 111.
 Schneidbarkeit der Metalle 208.
 Schneiden 196.
 Schneidbrenner 196.
 Schneidmaschinen 200.
 Schneidzeit 213.
 Schnelldrehstahl 189.
 Schnittbreite (-tiefe) 207.
 Schnittleistungen 213.
 Schwarzherzguß 141.
 Schweißen (Begriff) 1.
 Schweißbarkeit der Metalle 111.
 Schweißbrenner 79.
 Schweißbrille 104.
 Schweißdraht 106.
 Schweißeinrichtungen 8.
 Schweißisen 111.
 Schweißflamme 89.
 Schweißkurse 215.
 Schweißpulver 107.
 Schweißschulen 215.
 Schweißstäbe 108.
 Schweißstahl 111.
 Schweißstisch 104.
 Schweißzubehör 103.
 Senkrechte Schweißflächen 132.
 Sicherheitsvorlage 74.
 Siedepunkt 109.
 Silberschweißung 169.
 Siliziumstahl 140.
 Siemens-Martin-Stahl 111.
 Silumin 161.
 Skleron 162.
 Slavianooffverfahren 5.
 Sonderstahl 138.
 Spannungen 115.
 Spargarät (Gas) 105.
 Spezifische Gewichte 110.
 Spiegelschweißung 133.
 Stahl 111.
 Stahlflaschen 24.
 Stahlguß 140.
 Strömungsgeschwindigkeit 83.
- Tauchentwickler** 54.
 Technik des Schneidens 204.
 — des Schweißens 108.
 Temperguß 141.
 Thermitschweißung 1, 3.
 Thomasstahl 111.

- Tiegelstahl 111.
 Tonerde 161.
 Tülle (Schlauchtülle) 103.
 Übergasung 65.
 Überhitztes Azetylen 70.
 Überhitzte Schweißnaht 111.
 Überkopfschweißung 132.
 Überlappte Schweißung 114.
 Überschwemmungsentwickler 55.
 Überzogene Bleche 120.
 Undichtigkeiten an Stahlflaschenventilen 32.
 Universalbrenner 86.
 Unterricht 215.
 Unterwasserschneiden 211.
 Verbrannte Schweißnaht 111.
 Verbrauch an Gas 188, 189.
 Verdichtete Gase 10.
 Verdrängungsentwickler 55, 63.
 Verhämmern 137.
 Verschrotten 206.
 Verunreinigungen des Azetylens 17.
 Verziehen der Gußstücke 144.
 Vierschlauchbrenner 199.
 Vorbereitungsarbeiten 113.
 Vorwärme Flamme 197.
 Vorwärmung der Gußstücke 145.
 — des Sauerstoffs 207.
 Wärmeeinheit 17.
 Wärmeleitvermögen 109.
 Wäscher 72.
 Walzeisenprofile 121.
 Wassergasschweißung 3.
 Wasserstoffbrenner 79.
 Wasserstoffherzeugung 12.
 Wasserstoffkrankheit (Kupfer) 155.
 Wasserstoffschweißanlage 8.
 Wasserverdrängungsentwickler 55.
 Wasservorlage 75.
 Wechselbrenner 82.
 Weichlöten 171.
 Wellenbrüche 131.
 Wellenschneidmaschine 201.
 Werkstoffe 108, 153.
 Widerstandsschweißung (elektrische) 4.
 Zerenerverfahren 5.
 Zerreißprüfung 174.
 Zinkschweißung 169.
 Zündungsgeschwindigkeit 83.
 Zubehör beim Schweißen 103.
 Zugversuch 174.
 Zulegwerkstoff 106.
 Zusammenfügungsarbeiten 1.
 Zweischlauchbrenner 198.
 Zweidüsenbrenner 197.
 Zwischenwändeschweißung 119.

Verlag von Julius Springer · Berlin

Praktisches Handbuch der gesamten Schweißtechnik

Von

Dr.-Ing. P. Schimpke und **Hans A. Horn**

Professor, Chemnitz

Oberingenieur, Berlin

Zweiter Band:

Elektrische Schweißtechnik

Mit 255 Textabbildungen und 20 Zahlentafeln. VI, 202 Seiten. 1926

Gebunden RM 13.50

Die neueren Schweißverfahren. Von Dr.-Ing. **Paul Schimpke**, Professor an der Staatl. Gewerbeakademie, Chemnitz. Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 71 Figuren und 4 Zahlentafeln im Text. 70 Seiten. 1926. (Bildet Heft 13 der „Werkstattbücher“, herausgegeben von **Eugen Simon**.) RM 1.80

Die Schweißung des Kupfers und seiner Legierungen Messing und Bronze. Von **Hans A. Horn**, Oberingenieur, Berlin. Mit 102 Textabbildungen. Etwa 100 Seiten. Erscheint Ende März 1928.

Elektrische Widerstand-Schweißung und -Erwärmung. Von Dipl.-Ing. **A. J. Neumann**, Oberingenieur. Mit einem Geleitwort von Prof. Dr.-Ing. **A. Hilpert**. Mit 250 Textabbildungen. VIII, 193 Seiten. 1927. Gebunden RM 17.50

Das autogene Schweißen und Schneiden mit Sauerstoff. Handbuch zum Studium, zur Einrichtung und zum Betriebe von Sauerstoff-Metallbearbeitungsanlagen. Von Ing. **Felix Kagerer**. Dritte, verbesserte und erweiterte Auflage. Mit 127 Abbildungen und 15 Tabellen. 278 Seiten. 1923. (Technische Praxis, Bd. I; Verlag von Julius Springer in Wien.) Gebunden RM 3.—

Die Einsatzhärtung von Eisen und Stahl. Berechtigte deutsche Bearbeitung der Schrift „The Case Hardening of Steel“ von **Harry Brearley**, Sheffield. Von Dr.-Ing. **Rudolf Schäfer**. Mit 124 Textabbildungen. VIII, 250 Seiten. 1926. Gebunden RM 19.50

Die Konstruktionsstähle und ihre Wärmebehandlung. Von Dr.-Ing. **Rudolf Schäfer**. Mit 205 Textabbildungen und einer Tafel. VI, 370 Seiten. 1923. Gebunden RM 15.—

Rostfreie Stähle. Berechtigte deutsche Bearbeitung der Schrift „Stainless Iron and Steel“ von **J. H. G. Monypenny** in Sheffield. Von Dr.-Ing. **Rudolf Schäfer**. Mit 122 Abbildungen im Text. VIII, 342 Seiten. 1928. RM 27.—

Schmieden und Pressen. Von **P. H. Schweißguth**, Direktor der Teplitzer Eisenwerke. Mit 236 Textabbildungen. IV, 110 Seiten. 1923. RM 4.—

Die Werkzeugstähle und ihre Wärmebehandlung. Berechtigte deutsche Bearbeitung der Schrift „The heat treatment of tool steel“ von **Harry Brearley**, Sheffield. Von Dr.-Ing. **Rudolf Schäfer**. Dritte, verbesserte Auflage. Mit 226 Textabbildungen. X, 324 Seiten. 1922. Gebunden RM 12.—

Blöcke und Kokillen. Von **A. W.** und **H. Brearley**. Deutsche Bearbeitung von Dr.-Ing. **F. Rapatz**. Mit 64 Abbildungen. IV, 142 Seiten. 1926. Gebunden RM 13.50

Die Edelmstähle. Ihre metallurgischen Grundlagen. Von Dr.-Ing. **F. Rapatz**. Mit 93 Abbildungen. VI, 219 Seiten. 1925. Gebunden RM 12.—

Das technische Eisen. Konstitution und Eigenschaften. Von Prof. Dr.-Ing. **Paul Oberhoffer**, Aachen. Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 610 Abbildungen im Text und 20 Tabellen. X, 598 Seiten. 1925. Gebunden RM 31.50

Die Werkzeuge und Arbeitsverfahren der Pressen. Mit Benutzung des Buches „Punches, dies and tools for manufacturing in presses“ von **Joseph V. Woodworth**, von Obering. Prof. Dr. techn. **Max Kurrein**, Charlottenburg. Zweite, völlig neu bearbeitete Auflage. Mit 1025 Abbildungen im Text und auf einer Tafel sowie 49 Tabellen. IX, 810 Seiten. 1926. Gebunden RM 48.—

Die Bohrmaschine. Ihre Konstruktion und ihre Anwendung. Gesammelte Arbeiten aus der **Werkstattstechnik**. VI. bis XVII. Jahrgang 1912 bis 1923. Herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. **G. Schlesinger**, Berlin. IV, 158 Seiten. 1925. RM 15.—

Vorrichtungen im Maschinenbau nebst Anwendungsbeispielen. Von Oberingenieur **Otto Lich**, Berlin. Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 656 Abbildungen im Text. VII, 500 Seiten. 1927. Gebunden RM 26.—